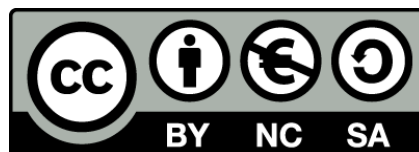




UNIVERSITAT DE
BARCELONA

**La precipitación en la cuenca de la Muga
(Girona, España)
1971-2010**

María José Cordobilla Cascales



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- NoComercial – Compartir Igual 4.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - NoComercial – Compartir Igual 4.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0. Spain License.**



Facultat de Geografia i Història

Departament de Geografia

Programa de Doctorado:

Geografia, Planificació Territorial y Gestión Ambiental

**La precipitación
en la cuenca de la Muga
(Girona, España)
1971-2010**

Memoria presentada para optar al título de
Doctora en Geografía

María José Cordobilla Cascales

TESIS DOCTORAL

Barcelona, 2022.

Departament de Geografia
Facultat de Geografia i Història



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Programa de Doctorat:
Geografia, Planificació Territorial i Gestió Ambiental

**LA PRECIPITACIÓN
EN LA CUENCA DE LA MUGA (GIRONA, ESPAÑA)
1971-2010**

Memoria presentada por:

María José Cordobilla Cascales

Para optar al título de doctora en
Geografía

Director de la Tesis y tutor:

Dr. Javier Martín Vide

Catedrático de Geografía Física

Departament de Geografia

Universitat de Barcelona

Dedicado a mi familia.

Y a todos los que me han acompañado

en la realización de este trabajo.



Agradecimientos

Al Dr. Javier Martín Vide por su incondicional apoyo, confianza, e impulso que han hecho posible la realización de esta tesis doctoral.

He tenido la suerte de conocer y estar rodeada de excelentes personas, profesionales, doctores, futuros doctores y amigos que me han sabido dar su apoyo desde el inicio y hasta el final, con sabios consejos, palabras de ánimo y de incitación para llegar hasta aquí, a todos ellos de todo corazón muchas gracias.

La formación recibida desde el Aula de Informática, con la dirección del Dr. Josep Miquel Raso, en el Servei de Paisatge dirigido por el Dr. Antonio Gómez, en el Grup de Recerca Ambiental de la Mediterrànea (GRAM) con la Dra. Maria Sala, y hasta el Grupo de Climatología (GC, 2014SGR300), con el Dr. Javier Martín-Vide y otros grandes profesionales que forman parte de este grupo, me han formado como persona e investigadora.

En el Laboratorio de Climatología, en la Facultad de Geografía de la Universidad de Barcelona, he compartido el espacio con un grupo excelente de personas y amigos que han llenado el trayecto final de grandes experiencias y lecciones.

En este proceso de formación y presentación del trabajo que se ha dilatado en el tiempo, más de lo esperado, desde que se produjo la inscripción del proyecto de investigación, y que ha compartido en ese periodo muchas fases positivas y negativas, de avance y retroceso. No evita una satisfacción personal y compartida por allegados que esta oscilación temporal no ha impedido poder llegar al final, con la correspondiente satisfacción de presentar lo que en un momento pasado se inició, y con la voluntad de que sea el paso a otro nivel y no la conclusión.

Mi gratitud a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y la Universidad de Cantabria (UC) por los datos proporcionados para este trabajo (Spain02 v4 EURO - CORDEX conjunto de datos, <http://www.meteo.unican.es/datasets/spain02>). Y al Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) y la Agència Catalana de l'Aigua (ACA) por la información suministrada.

Especial reconocimiento a l'Institut de l'Aigua que ha concedido una ayuda para poder publicar y reproducir esta tesis, mi agradecimiento a todo su equipo de gestión y dirección.

A todos aquellos, personas e instituciones, que de una manera u otra han hecho posible la realización de este proyecto. ¡Muchas gracias!

Mi gratitud a los organismos que han dado fondos para proyectos de investigación, formación y divulgación, y en los cuales he podido colaborar y me han formado como investigadora, por su labor y apoyo.

Este trabajo se inserta en los trabajos del Grupo de Climatología (2017 SGR 1362) de la Generalitat de Catalunya y emplea metodologías desarrolladas en el proyecto PRECABAL (CGL2011-29263-C02) y WEMOTOR CSO2014-55799-C2-1-R del Ministerio de Economía y Competitividad.

No puedo finalizar sin agradecer a toda mi familia, padres y hermanos, y, en especial, a mi madre, por su incondicional apoyo y motivación, y que han colaborado a que este trabajo se convierta en realidad. Sin olvidar y recordando en estas líneas, a los que ya no están entre nosotros, mis abuelos y mis tíos. Y, a los que han llegado en este recorrido, convirtiéndose en un apoyo valioso en este tramo final y para el futuro, Javier y Erin.

Resumen

La investigación y gestión en cuencas hidrográficas, o también llamadas cuencas de drenaje, es uno de los objetivos científicos y técnicos promovidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y de su organismo especializado para la agricultura y la alimentación (FAO), para la gestión sostenible del territorio. En este estudio, se ha incidido en la variable de precipitación y su análisis temporal y espacial dentro de la cuenca de estudio, localizada en el sector más oriental de las cuencas internas de Cataluña, en el noreste de la península ibérica. Se encuentra inserta en la franja de clima mediterráneo, que se ha considerado que será una de las zonas que sufrirá más los efectos del cambio climático. Se ha utilizado una metodología estadístico-probabilística para el análisis de la información disponible. Los datos analizados son series largas y representativas, del periodo 1971-2010. Se presenta una diagnosis de las características de la precipitación del área de estudio, su distribución temporal, espacial y frecuencia, y el análisis de episodios extremos en este ámbito. En el análisis de las clasificaciones sinópticas se ha optado por usar la metodología objetiva o automática, con la aplicación de la clasificación automática de Jenkinson y Collison (J&C). Para analizar su relación con los episodios diarios extremos localizados en la cuenca de la Muga y área de estudio, se ha elegido las precipitaciones superiores a 100mm/24h. De este modo se han conocido las características de los tipos sinópticos asociados a estos eventos, frecuencia e intensidad. Las características de los datos y de las variables o índices calculados se han relacionado estadísticamente entre sí para determinar cuáles presentan correlación estadísticamente significativa. Y se han analizado las posibles tendencias climáticas en el área de estudio, mediante el uso de la prueba estadística de Mann-Kendall.

Índice

Resumen	V
Índice	VII
Índice de tablas.....	XI
Índice de figuras	XVII
Índice de fotografías.....	XXV
Acrónimos.....	XXVII
1. Introducción	29
1.1. Justificación	31
1.2. Antecedentes.....	39
1.3. Objetivos.....	40
1.3.1. Objetivo general	40
1.3.2. Objetivos específicos	40
1.4. Plan de trabajo.....	41
2. Base de datos y metodología	43
2.1. Introducción	45
2.2. Base de datos.....	46
2.2.1. Datos climatológicos.....	48
2.3. Procedimientos metodológicos.....	54
2.3.1. Aclaraciones del análisis estadístico.....	54
2.3.2. Análisis espacial y representación cartográfica.....	56
2.3.3. Análisis pluviométrico	58
2.3.3.1. Caracterización de la precipitación anual	58
2.3.3.2. Precipitación diaria e intensidad.....	60
2.3.4. Periodos de retorno (T)	60
2.3.5. La Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) y su influencia sobre la variabilidad pluviométrica y eventos extremos.	61
2.3.6. Índice de Concentración (IC)	63
2.3.7. Clasificación sinóptica de Jenkinson & Collison	66
2.3.8. Análisis de tendencias	70
3. Área de estudio	73
3.1. Localización geográfica y características	75

3.2. Diagnóstico territorial	81
3.2.1. Caracterización del entorno físico. Aspectos generales.....	81
3.2.2. Orografía y geología	82
3.2.3. Paisajes y vegetación	84
3.2.4. Hidrología e hidrogeología	89
3.3. Caracterización del entorno social. Aspectos generales.....	95
3.3.1. Organización territorial	95
3.3.2. Población y distribución	95
3.3.3. Tendencias demográficas	96
4. Análisis y resultados	97
4.1. Presentación de resultados	99
4.2. Análisis y características climáticas	99
4.3. Las precipitaciones	101
4.3.1. Las precipitaciones medias anuales. Distribución espacial.....	101
4.3.2. Las precipitaciones medias mensuales. Distribución espacial.....	111
4.3.2.1. Evaluación de la variabilidad media mensual	115
4.3.3. Régimen pluviométrico probable.....	119
4.3.4. Régimen estacional.....	120
4.3.5. Caracterización de la precipitación anual	124
4.3.6. Precipitación diaria e intensidad	128
4.3.6.1. Índice de concentración diaria (IC)	133
4.3.7. Clasificación sinóptica de Jenkinson y Collison de los episodios de precipitación extrema.....	138
4.3.8. Periodos de retorno (T)	140
4.3.9. La Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) y su influencia sobre la variabilidad pluviométrica	141
4.3.10. La variabilidad y el cambio climático.....	144
4.3.10.1. Precipitación anual (1971-2010).....	145
4.3.10.2. Valores de precipitación mensual (1971-2010).....	145
4.3.10.3. Valores de precipitación estacional (1971-2010)	147
4.3.10.4. Número de días de precipitación anual (1971-2010)	148
4.3.10.5. Valor máximo anual de precipitación diaria, recogida en 24h (1971-2010)	148
5. Conclusiones	149
6. Bibliografía	157
Anexos	175
A. Valores de los parámetros estadísticos básicos, en milímetros, de las series medias de precipitación, en la serie temporal (1971-2010) analizados en las estaciones de la zona principal de la Cuenca de la Muga	177

B. Gráficos de precipitación media mensual, en milímetros, de las series medias de precipitación, en la serie temporal (1971-2010) analizados en las estaciones de la zona principal de la cuenca de la Muga	189
C. Diagramas del régimen pluviométrico probable mensual, en milímetros, en las estaciones de la zona principal de la cuenca de la Muga, en la serie temporal (1971-2010)	195
D. Distribución del régimen estacional de la precipitación, en milímetros, en el año hidrometeorológico en las estaciones de la zona principal de la cuenca de la Muga, en la serie temporal (1971-2010).....	203
E. Caracterización de la precipitación anual media en el régimen pluviométrico anual, en milímetros, en las estaciones de la zona principal de la cuenca de la Muga, en la serie temporal (1971-2010)	213
F. Caracterización de la precipitación anual media en el régimen pluviométrico anual, en la estación de Figueres (9C), en la Cuenca de la Muga, para la serie temporal 1971-2010 y 1950-2015	219
G. Gráficos de frecuencia de la distribución de la precipitación recogida en 24 horas clasificada en clases, en milímetros, analizados en las estaciones de la zona principal de la Cuenca de la Muga (1971-2010).....	221
H. Gráficos de las curvas de concentración, o de Lorenz, en las estaciones del área de estudio, para el período 1971-2010	227
I. Gráficos de las anomalías detectadas en los periodos anuales de precipitación en la serie temporal (1971-2010) analizados en las estaciones de la zona principal de la cuenca de la Muga	235
J. Gráficos de las anomalías detectadas en los periodos anuales de precipitación en la serie temporal (1950-2015) de las estaciones de Figueres y Cadaqués	241
K. Valores de los resultados de Tendencias para los periodos temporales de precipitación estudiados según la prueba estadística de Mann-Kendall, en las estaciones de la zona principal de la Cuenca de la Muga	243
L. Tabla de Radiación solar extraterrestre en MJ m ⁻² d ⁻¹ (Allen et al., 1998)	251
M. Evapotranspiración potencial y balance hídrico	253
N. Aspectos morfológicos de la cuenca de la Muga	257
Ñ. Descripción de episodios y efectos de inundaciones históricas o remarcables en la cuenca de la Muga (1913-2014)	259

Índice de tablas

Tabla 1.1. Resumen de algunos indicadores hídricos, con su grado de certeza y comportamiento proyectado para Cataluña. Fuente: ACA (2009)	37
Tabla 2.1. Estaciones meteorológicas seleccionadas para la realización del presente estudio .	51
Tabla 2.2. Descripción de los valores representados en el diagrama del régimen pluviométrico probable mensual	58
Tabla 2.3. Caracterización pluviométrica por el método de los quintiles.....	59
Tabla 2.4. Periodos de retorno, en años, y sus correspondientes probabilidades y porcentajes de ocurrencia	61
Tabla 2.5. Descripción básica de los tipos de Jenkinson y Collison. Fuente: Martín-Vide et al., 2016.....	67
Tabla 2.6. Interpretación del valor del coeficiente de correlación (r)	70
Tabla 2.7. Interpretación del valor de significancia de p-value (p).....	71
Tabla 2.8. Interpretación del valor del test de Mann-Kendall	72
Tabla 3.1. Estado del embalse de la cuenca de la Muga, a 31/08/2016. Fuente: ACA.....	92
Tabla 4.1. Estaciones meteorológicas y periodo de años óptimo para obtener media climática. Se calculan los años de las variables de precipitación (n Precip), de temperatura máxima (n Tmax), temperatura mínima (n Tmin) y temperatura media (n Tmed).....	100
Tabla 4.2. Valores de precipitación media anual de las estaciones en el área de la cuenca de la Muga (1971-2010).....	105
Tabla 4.3. Valores medios de precipitación media mensual, en milímetros, en la cuenca de la Muga (1971-2010).....	106
Tabla 4.4. Valores de amplitud o rango de la precipitación anual de las estaciones principales, en el área de la cuenca de la Muga, en el periodo 1971-2010	107
Tabla 4.5. Matriz de relación entre variables con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia p-value (Los valores en negrita tiene un nivel de significación alfa=0,05)	110
Tabla 4.6. Resumen estadístico de datos mensuales de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Peralada (7C).....	111

Tabla 4.7. Valores medios de precipitación media mensual, en milímetros, en el periodo 1971-2010.....	114
Tabla 4.8. Clasificación de la variabilidad mensual de las series, para el periodo 1971-2010..	117
Tabla 4.9. Valores medios absolutos (mm) y relativos (%) de la precipitación y regímenes estacionales, en el periodo 1971-2010	121
Tabla 4.10. Caracterización pluviométrica de las estaciones ubicadas en el área de estudio y de la precipitación recogida en el área de la cuenca de la Muga (1971-2010).....	126
Tabla 4.11. Detalle del número de días en las diferentes series del periodo de análisis, precipitación máxima registrada en 24 horas (P 24H) y el valor medio de días anuales de precipitación (\bar{x} anual)	128
Tabla 4.12. Número total de días de precipitación con valores iguales o superiores a 0,1 mm, y promedio de días de precipitación (1971-2010).....	130
Tabla 4.13. Número total de días de precipitación con valores iguales o superiores a 25 mm y máxima cadena de días de lluvia consecutivos registrados (1971-2010)	131
Tabla 4.14. Número total de días de precipitación con valores iguales o superiores a 50 mm, por meses y máxima cadena de días de lluvia consecutivos registrados (1971-2010)	132
Tabla 4.15. Número total de días de precipitación con valores iguales o superiores a 100 mm, promedio de días y máxima cadena de días de lluvia consecutivos registrados (1971-2010) .	133
Tabla 4.16. Cantidad de días sin precipitación (P0), días lluviosos (P1), el índice CI1 y las constantes a y b de las curvas exponenciales, para las estaciones de estudio (1971-2010)....	133
Tabla 4.17. Distribución de frecuencias (clases 1mm), frecuencias relativas acumuladas y porcentajes acumulados de cantidades de precipitación diaria en la estación de Albanyà (1C), (1971-2010).....	134
Tabla 4.18. Cantidades máximas de precipitación diaria (mm) esperadas mediante la función de probabilidad de Gumbel Máxima para diferentes periodos de retorno.....	141
Tabla 4.19. Valores del coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value entre las precipitaciones mensuales y los WeMOi mensuales. (Los valores en negrita tiene un nivel de significación alfa=0,05)	142
Tabla A.1. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Albanyà (1C).....	177
Tabla A.2. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Maçanet de Cabrenys (2C).....	178
Tabla A.3. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Cabanelles (3C)	179
Tabla A.4. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Maçanet de Agullana (4C).....	180
Tabla A.5. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Llers (5C)	181

Tabla A.6. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Espolla (6C)	182
Tabla A.7. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Vilamacolum (8C).....	183
Tabla A.8. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Figueres (9C)	184
Tabla A.9. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Pontós (1L).....	185
Tabla A.10. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Port de la Selva (2L)	186
Tabla A.11. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Cadaqués (13E)	187
Tabla D.1. Matriz de relación entre variables de Albanyà, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05)	201
Tabla D.2. Matriz de relación entre variables de Maçanet de Cabrenys, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05).....	202
Tabla D.3. Matriz de relación entre variables de Cabanelles, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05)	203
Tabla D.4. Matriz de relación entre variables de Agullana, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05)	204
Tabla D.5. Matriz de relación entre variables de Llers, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05)	205
Tabla D.6. Matriz de relación entre variables de Espolla, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05)	206
Tabla D.7. Matriz de relación entre variables de Peralada, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05)	207
Tabla D.8. Matriz de relación entre variables de Vilamacolum, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05).....	208
Tabla D.9. Matriz de relación entre variables de Figueres, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05)	209

Tabla D.10. Matriz de relación entre variables de Pontós, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación $\alpha=0,05$)	210
Tabla D.11. Matriz de relación entre variables de Port de la Selva, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación $\alpha=0,05$).....	211
Tabla D.12. Matriz de relación entre variables de Cadaqués, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación $\alpha=0,05$)	212
Tabla F.1. Caracterización de las precipitaciones anuales medias en la estación de Figueres (9C)	219
Tabla K.1. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para la precipitación total anual del periodo 1971-2010	243
Tabla K.2. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de enero del periodo 1971-2010	243
Tabla K.3. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de febrero del periodo 1971-2010.....	244
Tabla K.4. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de marzo del periodo 1971-2010.....	244
Tabla K.5. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de abril del periodo 1971-2010.....	244
Tabla K.6. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de mayo del periodo 1971-2010.....	245
Tabla K.7. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de junio del periodo 1971-2010.....	245
Tabla K.8. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de julio del periodo 1971-2010.....	245
Tabla K.9. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de agosto del periodo 1971-2010.....	246
Tabla K.10. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de septiembre del periodo 1971-2010	246
Tabla K.11. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de octubre del periodo 1971-2010	246
Tabla K.12. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de noviembre del periodo 1971-2010	247
Tabla K.13. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de diciembre del periodo 1971-2010.....	247

Tabla K.14. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para la precipitación estacional anual en otoño.....	247
Tabla K.15. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para la precipitación estacional anual en invierno	248
Tabla K.16. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para la precipitación estacional anual en primavera.....	248
Tabla K.17. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para la precipitación estacional anual en verano	248
Tabla K.18. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para la frecuencia del número de días de precipitación anual en el periodo de estudio (1971-2010).....	249
Tabla K.19. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para la precipitación máxima registrada en 24 horas de precipitación diaria anualmente en el periodo de estudio (1971-2010).....	249
Tabla L.1. Tabla de Radiación solar extraterrestre en MJ m-2 d-1 (Allen et al., 1998)	251

Índice de figuras

Figura 1.1. Imagen de La Tierra desde el espacio	32
Figura 1.2. Distribución global del agua en la Tierra.....	34
Figura 2.1. Localización de los puntos que aportan información meteorológica en el estudio de la cuenca de la Muga.....	51
Figura 2.2. Delimitación de las áreas de influencia de las estaciones utilizadas, en la cuenca hidrográfica de la Muga, por el método de los polígonos de Thiessen	57
Figura 2.3. Retículo octogonal de 16 puntos usado para la clasificación sinóptica de Jenkinson y Collison.....	68
Figura 3.1. Localización geográfica de la cuenca de la Muga en el contexto europeo y administrativo de España.....	75
Figura 3.2. División administrativa de las cuencas hidrológicas y localización del área de estudio	76
Figura 3.3. Localización de la cuenca de la Muga sobre el territorio administrativo de Cataluña	77
Figura 3.4. División de la cuenca de la Muga en las ocho subcuencas que forman parte de su espacio fluvial.....	80
Figura 3.5. Representación de los embalses de las cuencas internas de Cataluña superiores a 2 hm ³ , capacidad total y valor medio embalsado hace 5 y 10 años, a finales de agosto	91
Figura 3.6. Gráfico del estado del embalse de la cuenca de la Muga, el 29/08/2016 y de media en los últimos 10 años.....	94
Figura 4.1. Estaciones meteorológicas clasificadas con el periodo de años óptimo para obtener una media climática	102
Figura 4.2. Mapa orográfico y de la red fluvial principal del área estudio con las líneas de divisorias de aguas de las subcuencas interiores y la ubicación de las estaciones climáticas analizadas.....	104
Figura 4.3. Distribución de la precipitación media anual en la cuenca de la Muga (1971-2010)	105
Figura 4.4. Diagrama de comportamiento de la precipitación media anual para el área de estudio (1971-2010).....	107
Figura 4.5. Diagrama de comportamiento del CV anual para el área de estudio (1971-2010)	108

Figura 4.6. Mapa de la variabilidad, expresada mediante el coeficiente de variación anual, de la precipitación anual en la cuenca de la Muga (1971-2010)	109
Figura 4.7. Precipitaciones medias mensuales en la estación de Peralada (1971-2010).....	112
Figura 4.8. Distribución geográfica de las precipitaciones medias mensuales, en milímetros, en el área de estudio.....	113
Figura 4.9. Gráfico 'boxplot' del régimen pluviométrico mensual en Peralada (1971-2010) ...	115
Figura 4.10. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Peralada (1971-2010)	116
Figura 4.11. Distribución del CV mensual entre los diferentes meses del año en las estaciones analizadas para el período de estudio (1971-2010).....	119
Figura 4.12. Correlación en la serie de Vilamacolum, entre el porcentaje máximo de concentración estacional y el porcentaje de precipitación recogido en las estaciones de otoño y de verano (1971-2010).....	123
Figura 4.13. Caracterización de la precipitación anual media, 1971-2010, en la estación de Peralada (7C)	124
Figura 4.14. Caracterización de la precipitación anual media en la cuenca de la Muga (1971-2010)	126
Figura 4.15. Distribución del porcentaje de cada serie respecto al total de días de precipitación de los registros en 24 horas superiores a 50 y 100 milímetros (1971-2010).....	130
Figura 4.16. Curvas de concentración, o de Lorenz, de Agullana (4C) y Albanyà (1C), para el período 1971-2010.....	137
Figura 4.17. Distribución de tipos sinópticos de Jenkinson y Collison (J&C) de las fechas con una precipitación igual o superior a 100 mm durante el periodo 1971-2010	138
Figura 4.18. Distribución de los diferentes tipos sinópticos de Jenkinson y Collison (J&C) de las fechas con una precipitación igual o superior a 100 mm durante los dos subperiodos analizados A:1971-1990 y B:1991-2010.....	139
Figura 4.19. Modelos isobáricos promedio teóricos de las situaciones analizadas y obtenidas según los diferentes tipos sinópticos de Jenkinson y Collison (J&C)	140
Figura 4.20. Evolución temporal mensual del WeMOi, en el periodo 1971-2010. Con una media móvil anual y la línea de tendencia de carácter polinómico de grado 5.....	142
Figura 4.21. Distribución mensual de los episodios de precipitaciones torrenciales (1971-2010), en porcentaje	143
Figura 4.22. Distribución mensual de los episodios de precipitaciones torrenciales en los dos subperiodos, A:1971-1990 y B: 1991-2010, en porcentaje.....	144
Figura A.1. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Albanyà (1971-2010)	177

Figura A.2. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Albanyà (1971-2010)	177
Figura A.3. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Cabrenys (1971-2010)	178
Figura A.4. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Cabrenys (1971-2010)	178
Figura A.5. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Cabanelles (1971-2010)	179
Figura A.6. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Cabanelles (1971-2010)	179
Figura A.7. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Agullana (1971-2010)	180
Figura A.8. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Agullana (1971-2010)	180
Figura A.9. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Llers (1971-2010) ..	181
Figura A.10. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Llers (1971-2010)	181
Figura A.11. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Espolla (1971-2010)	182
Figura A.12. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Espolla (1971-2010)	182
Figura A.13. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Vilamacolum (1971-2010).....	183
Figura A.14. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Vilamacolum (1971-2010).....	183
Figura A.15. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Figueres (1971-2010)	184
Figura A.16. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Figueres (1971-2010)	184
Figura A.17. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Pontós (1971-2010)	185
Figura A.18. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Pontós (1971-2010)	185
Figura A.19. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Port de la Selva (1971-2010).....	186
Figura A.20. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Port de la Selva (1971-2010).....	186

Figura A.21. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Cadaqués (1971-2010)	187
Figura A.22. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Cadaqués (1971-2010)	187
Figura B.1. Precipitación media mensual de Albanyà (1C) en el periodo 1971-2010	189
Figura B.2. Precipitación media mensual de Maçanet de Cabrenys (2C) en el periodo 1971-2010	189
Figura B.3. Precipitación media mensual de Cabanelles (3C) en el periodo 1971-2010.....	190
Figura B.4. Precipitación media mensual de Agullana (4C) en el periodo 1971-2010	190
Figura B.5. Precipitación media mensual de Llers (5C) en el periodo 1971-2010	191
Figura B.6. Precipitación media mensual de Espolla (6C) en el periodo 1971-2010.....	191
Figura B.7. Precipitación media mensual de Peralada (7C) en el periodo 1971-2010.....	192
Figura B.8. Precipitación media mensual de Vilamacolum (8C) en el periodo 1971-2010	192
Figura B.9. Precipitación media mensual de Figueres (9C) en el periodo 1971-2010	193
Figura B.10. Precipitación media mensual de Pontós (1L) en el periodo 1971-2010	193
Figura B.11. Precipitación media mensual de Port de la Selva (2L) en el periodo 1971-2010..	194
Figura B.12. Precipitación media mensual de Cadaqués (13E) en el periodo 1971-2010	194
Figura C.1. Régimen probable de precipitación en Albanyà (1971-2010)	195
Figura C.2. Régimen probable de precipitación en Maçanet de Cabrenys (1971-2010)	195
Figura C.3. Régimen probable de precipitación en Cabanelles (1971-2010)	196
Figura C.4. Régimen probable de precipitación en Agullana (1971-2010)	196
Figura C.5. Régimen probable de precipitación en Llers (1971-2010)	197
Figura C.6. Régimen probable de precipitación en Espolla (1971-2010)	197
Figura C.7. Régimen probable de precipitación en Peralada (1971-2010)	198
Figura C.8. Régimen probable de precipitación en Vilamacolum (1971-2010)	198
Figura C.9. Régimen probable de precipitación en Figueres (1971-2010).....	199
Figura C.10. Régimen probable de precipitación en Pontós (1971-2010)	199
Figura C.11. Régimen probable de precipitación en Port de la Selva (1971-2010)	200
Figura D.1. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Albanyà (1971-2010).....	201
Figura D.2. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Albanyà (1971-2010)	201

Figura D.3. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Maçanet de Cabrenys (1971-2010)	202
Figura D.4. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Maçanet de Cabrenys (1971-2010)	202
Figura D.5. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Cabanelles (1971-2010).....	203
Figura D.6. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Cabanelles (1971-2010).....	203
Figura D.7. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Agullana (1971-2010).....	204
Figura D.8. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Agullana (1971-2010)	204
Figura D.9. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Llers (1971-2010).....	205
Figura D.10. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Llers (1971-2010)	205
Figura D.11. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Espolla (1971-2010).....	206
Figura D.12. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Espolla (1971-2010)	206
Figura D.13. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Peralada (1971-2010).....	207
Figura D.14. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Peralada (1971-2010)	207
Figura D.15. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Vilamacolum (1971-2010).....	208
Figura D.16. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Vilamacolum (1971-2010).....	208
Figura D.17. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Figueres (1971-2010).....	209
Figura D.18. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Figueres (1971-2010)	209
Figura D.19. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Pontós (1971-2010).....	210
Figura D.20. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Pontós (1971-2010)	210

Figura D.21. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Port de la Selva (1971-2010).....	211
Figura D.22. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Port de la Selva (1971-2010).....	211
Figura D.23. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Cadaqués (1971-2010)	212
Figura D.24. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Cadaqués (1971-2010).....	212
Figura E.1. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Albanyà (1C)	213
Figura E.2. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Maçanet de Cabrenys (2C)	213
Figura E.3. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Cabanelles (3C)	214
Figura E.4. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Agullana (4C)	214
Figura E.5. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Llers (5C)	215
Figura E.6. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Espolla (6C)	215
Figura E.7. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Vilamacolum (8 C)	216
Figura E.8. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Figueres (9C)	216
Figura E.9. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Pontós (1L)	217
Figura E.10. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Port de la Selva (2L)	217
Figura E.11. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Cadaqués (13E)	218
Figura G.1. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Albanyà (1971-2010)	221
Figura G.2. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Maçanet de Cabrenys (1971-2010).....	221
Figura G.3. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Cabanelles (1971-2010).....	222
Figura G.4. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Agullana (1971-2010)	222

Figura G.5. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Llers (1971-2010)	223
Figura G.6. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Espolla (1971-2010).....	223
Figura G.7. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Peralada (1971-2010).....	224
Figura G.8. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Vilamacolum (1971-2010).....	224
Figura G.9. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Pontós (1971-2010).....	225
Figura G.10. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Port de la Selva (1971-2010).....	225
Figura H.1. Curva de concentración, o de Lorenz, de Maçanet de Cabrenys (2C), para el período 1971-2010	227
Figura H.2. Curva de concentración, o de Lorenz, de Cabanelles (3C), para el período 1971-2010	228
Figura H.3. Curva de concentración, o de Lorenz, de Llers (5C), para el período 1971-2010...	229
Figura H.4. Curva de concentración, o de Lorenz, de Espolla (6C), para el período 1971-2010.....	230
Figura H.5. Curva de concentración, o de Lorenz, de Peralada (7C), para el período 1971-2010 ..	231
Figura H.6. Curva de concentración, o de Lorenz, de Vilamacolum (8C), para el período 1971-2010.....	232
Figura H.7. Curva de concentración, o de Lorenz, de Pontós (1L), para el período 1971-2010	233
Figura H.8. Curva de concentración, o de Lorenz, de Port de la Selva (2L), para el período 1971-2010.....	234
Figura I.1. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Albanyà (1C)	235
Figura I.2. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Maçanet de Cabrenys (2C)	235
Figura I.3. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Cabanelles (3C).....	236
Figura I.4. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Agullana (4C)	236
Figura I.5. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Llers (5C)	237

Figura I.6. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Espolla (6C)	237
Figura I.7. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Peralada (7C)	238
Figura I.8. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Vilamacolum (8C)	238
Figura I.9. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Figueres (9C).....	239
Figura I.10. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Pontós (1L)	239
Figura I.11. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Port de la Selva (2L).....	240
Figura I.12. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Cadaqués (13E).....	240
Figura J.1. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1950-2015, en la estación de Figueres (9C).....	241
Figura J.2. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1950-2015, en la estación de Cadaqués (13E).....	241
Figura M.1. Distribución de la evapotranspiración potencial (ETP) en la cuenca de la Muga ..	254
Figura M.2. Distribución de la disponibilidad hídrica, con la diferencia entre precipitación y evapotranspiración potencial (ETP) en la cuenca de la Muga	255
Figura N.1. Curva hipsométrica y polígono de frecuencias de la cuenca total del río Muga....	257

Índice de fotografías

Fotografía 1. Desembocadura del río Muga en el mar Mediterráneo, al sur del núcleo de Empuriabrava	78
Fotografía 2. Inicio del segundo tramo del río Muga al pie de la presa de Boadella.....	79
Fotografía 3. Aspecto de la comunidad vegetal en zona de montaña después de un episodio de incendio en la cuenca de la Muga	85
Fotografía 4. Bosque de ribera conservado en el río Muga a su paso por Sant Llorenç de la Muga	86
Fotografía 5. Tramo del lecho del río Muga a su paso por el municipio de Sant Llorenç de la Muga con especies invasoras	87
Fotografía 6. Tramo final de la Muga canalizado antes de desembocar en el golfo de Roses.....	90
Fotografía 7. Vista panorámica de la presa de Boadella y del embalse Darnius-Boadella	93
Fotografía 8. Granulometría de los guijarros en el tramo alto del cauce de la Muga a su paso por Sant Llorenç de la Muga	258
Fotografía 9. Marca histórica de hasta donde llegó la mugada el 26-9-1992 en Sant Llorenç de la Muga	265

Acrónimos

ACA	Agència Catalana de l'Aigua
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
CV %	Coefficiente de variación en porcentaje
C	Ciclónico, tiempo sinóptico de Jenkinson y Collison
ED50	European Datum 1950 (Sistema europeo de datum 1950)
ETRS84	World Geodetic System 84 (Sistema geodésico Mundial 1984)
FAO	Food and Agriculture Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
Max	Valor máximo de la serie
Min	Valor mínimo de la serie
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONU	Organización de las Naciones Unidas
SD	Standard Deviation (Desviación Standard o típica)
USGS	United States Geological Service (Servicio Geológico de Estados Unidos)
UTM	Universal Transversal Mercator (Universal Transversal de Mercator)
\bar{x}	Media aritmética
WGS84	World Geodetic System 84 (Sistema geodésico Mundial 1984)
WMO	World Meteorological Organization (Organización Meteorológica Mundial)

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN y OBJETIVOS

1. Introducción

1.1. Justificación

El estudio que se plantea en este trabajo viene definido por el valor y consideración del elemento clave a estudiar: el agua. Y la admiración que siempre planteó a la autora este elemento a lo largo del tiempo y desde las diversas ciencias o puntos de vista en el que se ha tratado, ya sea desde la fisicoquímica con sus propiedades particulares que lo hacen un elemento especial, la Biología como fuente de vida, u otras ciencias. Pero en especial desde la Geografía Física, ámbito de su desarrollo investigador y su especialización climatológica, donde ha querido centrar este trabajo sobre la precipitación y el ámbito de estudio de la cuenca hidrológica como una unidad básica de análisis en el territorio.

Esta investigación ha querido seguir con las técnicas metodológicas estadísticas desarrolladas desde el Grupo de Climatología, e iniciadas desde el Departamento de Geografía de la Universitat de Barcelona. Con el objetivo de analizar el comportamiento de las variables climatológicas y su evolución e impacto en el área de estudio seleccionada, se han utilizado los métodos que se han considerado más idóneos para llevar a cabo este trabajo de investigación.

Se ha centrado también el análisis pluviométrico en los episodios de eventos extremos, con la intención de realizar un análisis temporal y una correcta interpretación de las precipitaciones extremas que periódicamente inciden en el ámbito mediterráneo, provocando avenidas y en muchas ocasiones inundaciones, algunas de ellas catastróficas (Martín-Vide et al., 2008, Llop and Alomar-Garau, 2012, García-Barrón et al., 2012, Llasat et al., 2014, López-Bustins et al., 2016, Lemus-Canovas et al., 2021). Todo ello con el apoyo de los sistemas de información geográfica (SIG) para el tratamiento, gestión y análisis de los datos (Pons, 1996, Ninyerola et al., 2000).

Los eventos extraordinarios y sus efectos no siempre están relacionados con su impacto social y repercusión mediática, sino con el diferente grado de densidad de población y urbanización de las zonas afectadas y, sobre todo con la vulnerabilidad de la población, por encima de la peligrosidad del riesgo (Sanuy et al., 2019, Iglesias et al., 2013, Skansi et al., 2013, Sempere-Torres et al., 1998).

Nuestra área de trabajo y supervivencia: La Tierra, también llamado el planeta azul, inicialmente por los astronautas, dado su color y la gran cantidad de agua presente, y las fotos captadas desde el espacio así nos lo demuestran (Figura 1.1.). Los responsables de que tenga estas tonalidades azules son los océanos y los gases de la atmósfera, es decir, los dos componentes externos a la corteza terrestre, que parecen dar la impresión de estar cubriéndolo todo.

Figura 1.1. Imagen de La Tierra desde el espacio.



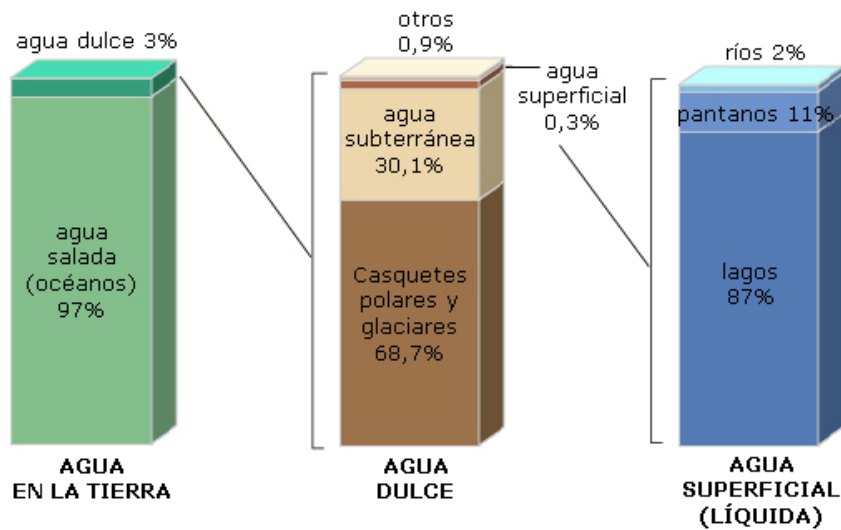
Fuente: NASA/NOAA/GSFC/Suomi NPP/VIIRS/Norman Kuring.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:North_America_from_low_orbiting_satellite_Suomi_NPP.jpg

Esta imagen de la Tierra fue tomada desde el instrumento VIIRS (Visible/Infrared Imager Radiometer Suite) a bordo del satélite de observación terrestre más recientemente lanzado de la NASA - Suomi NPP. Esta imagen compuesta usa una serie de franjas de la superficie de la Tierra tomadas el 4 de enero de 2012. Suomi NPP es el próximo satélite de investigación de observación terrestre de la NASA. Es el primero de una nueva generación de satélites que observarán las diferentes facetas de una Tierra en transformación. Las innovaciones científicas y técnicas para conseguir nuevas bases de datos o metodológicas no dejan de desarrollarse (Aguilar-Alba et al., 2019, Beck et al., 2017, Flener et al., 2015, Marull et al., 2007, 2005, Ninyerola et al., 2000).

Si analizamos la distribución global del agua en la Tierra en la Figura 1.2, se muestran gráficos de barras a partir de datos cuantitativos para poder evaluar porcentualmente la realidad de la distribución del agua y dónde se encuentra. El 70% de nuestro planeta está cubierto por agua, y de esa cantidad el 97% es agua salada. Sólo el 3% es agua dulce, y una gran parte de ella se encuentra en estado sólido, el 68,7% está en los glaciares y polos. Un 30% del agua dulce está en el suelo, en acuíferos subterráneos. Las fuentes superficiales de agua dulce, que están disponibles para sostener la vida humana, vegetal y animal, son sólo el 0,3% del total del agua y son la principal fuente de agua que nos abastece diariamente.

Figura 1.2. Distribución global del agua en la Tierra.



Fuente: USGS (US Geological Service).

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth%27s_water_distribution.gif

Nadie pone en duda que los efectos del cambio climático sobre el elemento vital son importantes, así como el exponencial incremento de la población mundial, con lo que conlleva de uso de agua para el día a día y para la producción energética o de bienes de consumo (Meseguer-Ruiz et al., 2021, Aguilar-Alba and Moral-Ituarte, 2011, Allen et al., 2006).

El agua es un recurso universal. No hay duda actualmente de su importancia, pero hasta hace relativamente poco globalmente no se planteaban los efectos que podría tener un aumento o disminución de su aporte en los balances hídricos regionales y sus efectos en el territorio. Y ahora es la sociedad que ha tenido este recurso en abundancia la que empieza a valorar su influencia en función de su disponibilidad o escasez (Fovargue et al., 2021, Aguilar-Alba and Vetter, 2014).

En el siglo XVIII, el economista Adam Smith estableció en su libro *La riqueza de las naciones* la paradoja del valor utilizando como ejemplo el agua y los diamantes como indicador del valor de las cosas, escogiendo para ello dos bienes con utilidades y valoraciones completamente contrapuestas. Por un lado, presentaba el agua, con una elevada utilidad, pero menospreciada entonces por la sociedad, por su abundancia, y

vendida tremendamente barata. Y por el otro, los diamantes, con una utilidad prácticamente nula y con un precio de mercado elevadísimo, pero escasos (Smith, 2001).

En pleno siglo XXI, esta relación y valoración económica de estos dos elementos sigue existiendo. Aunque hoy más que nunca el agua se considera un bien básico de consumo y una pieza clave para la vida en la Tierra que genera riqueza en un país.

La Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó el 22 de diciembre de 1992 la resolución A/RES/47/193 por la que el 22 de marzo de cada año fue declarado Día Mundial del Agua, a celebrarse a partir de 1993, en conformidad con las recomendaciones de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo contenidas en el capítulo 18 del Programa 21, que se realizó en la Cumbre de Rio de Janeiro (ONU, 1993). El Día Mundial del Agua se celebra anualmente como un medio de llamar la atención sobre la importancia del agua dulce y la defensa de la gestión sostenible de este recurso.

Cada vez nos encontramos con más estudios que pretenden concienciar de esta problemática de carácter mundial pero también regional (Taikan and Kanae, 2006, Iglesias et al. 2007, Tramblay et al., 2020, Lemus-Canovas and Lopez-Bustins, 2021).

Los efectos del cambio climático se han analizado y estudiado desde el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Este grupo se creó en 1988, con el objetivo de proporcionar evaluaciones integrales estado de los conocimientos científicos, técnico y socioeconómico sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta. Fue promovido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (PNUMA). Desde el inicio de su labor, el IPCC ha preparado seis informes, que se han publicado en los años 1990, 1995, 2001, 2007, 2014 y 2021.

En el Cuarto Informe del IPCC, publicado en 2007, se determinó que el origen del calentamiento global y del consecuente cambio climático, ya incuestionable, era, fundamentalmente, antrópico. Y profundizaba de forma destacada en la diagnosis de los impactos previstos con la mejora del conocimiento y la escala en diferentes campos. En comparación con los informes anteriores, en el Quinto Informe de Evaluación, que se

completó en 2014 se hace más hincapié en la evaluación de los aspectos socioeconómicos del cambio climático y sus consecuencias para el desarrollo sostenible, los aspectos regionales, la gestión de riesgos y la elaboración de una respuesta mediante la adaptación y la mitigación (IPCC, 2014).

La Agència Catalana de l'Aigua (ACA) publicó en 2009 un documento que recogía los trabajos que se habían realizado como fruto del III Convenio entre la ACA y la Fundación Nueva Cultura del Agua (ACAM, 2009). Este trabajo titulado "Agua y Cambio Climático. Diagnóstico de los impactos previstos en Cataluña" se presentaba como un documento de divulgación y útil que sirviera como referente de la importancia del vector agua dentro del conjunto de los impactos previstos por el IPCC.

En la tabla 1.1., se hace un resumen de las principales variables climáticas analizadas, con sus respectivos grados de certeza, y los porcentajes de incremento o disminución con relación a los valores medios de treinta años. Los grados de certeza son elevados (E) o medios (M).

Variable	Tiempo presente	Corto-medio plazo (2025-2040)	Largo plazo (2070-2100)
Temperatura	Ha aumentado en 0,5°C por década en promedio, de forma más acusada en verano y para las temperaturas máximas diarias, cada vez con más días cálidos y menos noches frías (E).	El incremento será superior a 1°C, con mayores olas de calor (E).	Se incrementará la temperatura de 4 a 5,5°C (E), de manera más importante en verano y en los Pirineos (M).
Precipitación	Las precipitaciones medias mensuales anuales no presentan tendencias estadísticamente representativas en series históricas de más de 50 años (E).	En conjunto, no se darán cambios significativos de lluvia anual (M), aunque son posibles efectos ligeros de incremento en los Pirineos y disminución en la	La reducción media anual será, con carácter general, del 5 al 15% (M), con un posible aumento leve en invierno (M). En el litoral y en verano la reducción media podría llegar hasta al

Variable	Tiempo presente	Corto-medio plazo (2025-2040)	Largo plazo (2070-2100)
	<p>La precipitación estacional parece mostrar una reducción leve en la primavera (M).</p> <p>La intensidad de lluvia (diaria) parece presentar un ligero incremento (M).</p>	<p>costa (M) así como una cierta tendencia a una concentración mayor de la lluvia en chubascos (M).</p>	<p>40% (M).</p> <p>Se dará una cierta tendencia a la mayor concentración en chubascos (M).</p>
Evapotranspiración	<p>Se mezclan efectos propiamente climáticos con cambios de usos y de la cubierta vegetal a gran escala (cambio global), de manera que es complejo conocer de forma exacta la importancia relativa del cambio climático (M).</p>	<p>Los incrementos medios mínimos serán del 5% (E).</p>	<p>Los incrementos medios serán del 15 al 30%, especialmente concentrados en invierno (M).</p>

Tabla 1. Resumen de algunos indicadores hídricos, con su grado de certeza y comportamiento proyectado para Cataluña. Fuente: ACA (2009).

En relación con las conclusiones del IPCC, muchos artículos científicos han tratado de analizar y descubrir estas tendencias sobre el ámbito de la cuenca mediterránea una de las zonas más afectadas por los cambios. (de Herralde et al., 2012; Lopez-Bustins et al., 2013; Pascual et al., 2014; Lopez-Bustins et al., 2014b).

Y se han puesto en marcha programas como, por ejemplo, LIFE MEDACC, con el lema “Adaptando el Mediterráneo al Cambio Climático”, en Cataluña. El proyecto MEDACC (LIFE ENV/ES/000536 “Demonstration and validation of innovative methodology for regional climate change adaptation in the Mediterranean area”) es un plan multiactor de

5 años que se inició en el verano de 2013 con la financiación del Programa europeo LIFE+ (Políticas Ambientales y Gobernanza). El presupuesto total era de más de 2,5 millones de euros de los cuales un 49,6% es una aportación de la Comisión Europea.

MEDACC nace con el objetivo de probar soluciones innovadoras orientadas a adaptar los sistemas agroforestales y urbanos a los impactos del cambio climático en el ámbito mediterráneo. De esta manera, MEDACC contribuye al diseño y despliegue de las estrategias y políticas de adaptación que se están desarrollando a nivel regional y nacional en el ámbito euro-mediterráneo. Incide, tal como hace el V Informe del IPCC, en la mitigación y adaptación, para reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y de las actividades al cambio climático. Además, evalúa los costes económicos y ambientales asociados a la aplicación o no de medidas de adaptación.

El interés en este proyecto se centra además de sus características en su implementación en tres cuencas bastante representativas de Cataluña: la Muga, el Ter y el Segre, con la intención de extrapolar los resultados y poder diseñar experiencias en otros ámbitos del Mediterráneo.

Por todo lo comentado anteriormente, el desarrollo de este proyecto de investigación en la cuenca de la Muga se ha realizado por encontrarse en un ámbito poco estudiado, pero en una zona relevante para su seguimiento y análisis del comportamiento de las precipitaciones, que permita detectar los efectos del cambio climático. La presencia en su territorio de un importante aprovechamiento agrícola lo hace más vulnerable a los impactos del cambio climático en los países de la cuenca mediterránea que se caracterizan por una elevada irregularidad pluviométrica, y un aumento térmico progresivo, ya constatado (Martín-Vide, 1987, Capel, 2000, Martín-Vide and Olcina, 2001).

1.2. Antecedentes

Los estudios previos en la cuenca hidrológica de la Muga han sido escasos, en el momento de iniciar este proyecto, tanto en la materia que nos ocupa como en otros aspectos comarcales o locales, pero sí variados.

En 1981, Manuel Pérez Almeda presentó su tesis de licenciatura titulada "Estudio termopluiométrico y balance hídrico de las cuencas de los ríos Fluvià y Muga" donde se realiza un trabajo de Climatología analítica. Y posteriormente en 1982, publicó un artículo en la revista *Notes de Geografia Física* (Pérez, 1982).

En su trabajo de investigación utiliza series de datos entre 1913 y 1978, lo que da un intervalo de 65 años, pero advierte de la imposibilidad de establecer un periodo común o uniforme de datos. Avisa de que utiliza series muy cortas y series compuestas de distintos periodos sin continuidad por falta de registros.

Otro trabajo de carácter climático es el que realizó Carles Bayés (2002), que se centró en la caracterización geográfica de las sequías dentro de la cuenca de la Muga y su problemática social. Trabaja con un periodo global entre 1950 y 2001, aunque solo cuatro series superan los treinta años, a una resolución temporal anual y mensual.

Fuera del ámbito de la Climatología, encontramos la obra de David Pavón (2007) publicada por la Diputació de Girona sobre las grandes obras hidráulicas que se proyectaron sobre la cuenca del Fluvià y de la Muga.

La situación actual sobre bibliografía de la zona, cerca de la entrega y presentación de este trabajo ha cambiado, aunque no se encuentran estudios que traten ampliamente la variable de precipitación en la zona de estudio. La zona donde se ubica la cuenca de la Muga, en el noroeste de la península ibérica, ha sido lugar de referencia general de trabajos sobre las tendencias climáticas y sus características especiales (Bayés et al., 2001, Martín-Vide, 2002b, 2002c, Barnolas and Llasat, 2007, de Herralde et al., 2012, Grimalt et al. 2013, Lopez-Bustíns et al., 2014b, 2016, 2020; Pascual et al., 2014, Llasat et al. 2014; Gilabert and Llasat, 2018, Messeguer-Ruiz et al., 2021, Sanuy et al., 2021).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

El objetivo general de la investigación se define en recopilar toda la información hidrometeorológica disponible en el área de la cuenca de la Muga, situada en el sector más oriental de las cuencas internas de Cataluña, con el apoyo de sistemas de información geográfica (SIG) y software, adecuado al volumen y tipo de datos, para utilizar una metodología matemática estadístico-probabilística con el fin de estudiar e identificar su comportamiento, y la de los eventos extremos, con las herramientas y métodos escogidos, para presentar una diagnosis de su distribución temporal, espacial y frecuencia, y los efectos asociados sobre el territorio.

1.3.2. Objetivos específicos

A partir del objetivo general se han definido los objetivos específicos como parte del desarrollo del trabajo, en los siguientes apartados:

- Recopilar la información disponible de instituciones públicas y privadas de la red hidrológica y meteorológica de estaciones que pertenezcan a la zona de estudio o cercanas.
- Revisar y analizar las series temporales para determinar la consistencia y confiabilidad de estas, y, en caso de requerirse, establecer su tratamiento o exclusión.
- Caracterizar la cuenca hidrológica del río Muga con una diagnosis geográfica que relacione las características físicas y territoriales.
- Verificar la relación de la pluviometría con el WeMOi
- Relacionar las variables hídricas con la variabilidad pluviométrica espacial y temporal, y los riesgos naturales asociados con su frecuencia, mediante la catalogación de episodios hidrometeorológicos relevantes.
- Analizar las tendencias climáticas de las variables sobre el área de estudio.

1.4. Plan de trabajo

Para alcanzar los objetivos generales de la investigación con el tipo de metodología que se ha nombrado anteriormente y se describe en el capítulo siguiente, se ha seguido un determinado plan de trabajo. Este plan no se ha llevado a cabo de forma lineal e inalterable, sino que ha sido modificado levemente para ajustarse a la disponibilidad de información en el proceso de desarrollo y evolución de esta investigación. El plan ha contado con las siguientes cuatro etapas:

- Fase A: Base documental
 - Investigación bibliográfica
 - Recogida de datos para el trabajo
 - Análisis y selección de los mismos
- Fase B: Marco geográfico
 - Descripción del área de estudio
 - Diagnóstico territorial
- Fase C: Aplicación metodológica
 - Análisis estadístico-probabilístico
 - Representación espacial
- Fase D: Resultados
 - Evaluación de los datos
 - Significación estadística.

El desenlace de este proceso de investigación se ha materializado con la redacción final de este trabajo, que presenta el texto que incluye los resultados en formato de tablas, gráficos, y mapas. En estos se presentan los resultados de las estaciones meteorológicas más relevantes en nuestra área de estudio. Sin embargo, se ha incluido en el anexo la mayoría de los gráficos y tablas, para hacer más ágil la lectura del texto, dejando el apéndice para ampliar la información o incluir los datos utilizados o creados en este proceso de investigación.

El estudio de la cuenca hidrológica como un sistema, que requiere un estudio de los elementos que lo integran, climáticos, morfoestructurales e hidrológicos, se ha centrado en el análisis de los elementos climáticos y en su variable principal, la precipitación.

La cuenca hidrográfica o hidrológica como unidad territorial de análisis se puede encontrar cada vez en más estudios de investigación (Pérez, 1982, Ventura et al., 2000, Pavón, 2007, Zhang et al., 2009, López-Bustins et al., 2013, Zubieta et al., 2017, Miró et al., 2021).

Algunos datos de carácter hidrológico de la cuenca se han añadido en el anexo, de forma complementaria pero no exhaustiva.

Los datos tratados de la fuente de datos climática son el núcleo principal, en el capítulo 4, del trabajo realizado y donde se muestran los análisis y resultados fundamentales de esta investigación.

La estructura del texto final se ha dividido en diferentes capítulos, apartados y subapartados, que se detallan al inicio de esta obra en el índice. Pero el esquema que se ha seguido es el siguiente:

- Capítulo 1. Introducción y objetivos
- Capítulo 2. Metodología y base de datos
- Capítulo 3. Área de estudio y diagnosis territorial
- Capítulo 4. Análisis y resultados
- Capítulo 5. Conclusiones
- Bibliografía
- Anexos

Para finalizar este apartado, hay que señalar que no se ha considerado necesario incluir en el presente trabajo los datos de partida. La información utilizada se encuentra a disposición pública sin restricciones de uso y análisis (Serra and Cordobilla, 1998). De la misma manera, se ha considerado más importante la definición de la metodología que la lista de programas de ordenador o aplicaciones que se han usado para su cálculo.

Capítulo 2

METODOLOGÍA Y BASE DE DATOS

2. Metodología y base de datos

2.1. Introducción

Si bien cada apartado de este trabajo ha sido objeto de una metodología particular, en función del tema a desarrollar, en todos ellos se ha pretendido aplicar, siempre que ha sido posible, técnicas de cuantificación sin excluir las descripciones necesarias del paisaje.

El apartado más destacado en este trabajo es el análisis del clima, para el cual se utilizan técnicas estadísticas y probabilísticas, propias principalmente de la Climatología cuantitativa, no sólo en términos descriptivos, sino también explicativos (Martín-Vide, 1987).

El método científico seguido se basa en el razonamiento inductivo, en el que observando unos pocos elementos, porción o muestra estadística se infieren propiedades que luego se extrapolan al resto de los elementos, la llamada población estadística (Martín-Vide, 2002b).

Se realiza el análisis de las series temporales con el objetivo de observar la distribución de las variables y las relaciones espaciales que existen entre ellas y definir sus características, junto a las causas sinópticas implicadas, obtenidas con una metodología definida como objetiva. Se ha hecho una selección de los métodos que se han considerado más idóneos para alcanzar los objetivos en el área de estudio y su justificación. Las particularidades de nuestros datos en cada estación y de las variables o índices calculados se han correlacionado entre ellos para determinar cuáles presentan una afinidad alta y son más significativos estadísticamente hablando.

En el capítulo 2, se describen los datos y fuentes de información junto a la descripción del proceso metodológico. En el apartado sobre los procedimientos, que se localiza al final del capítulo, se han explicado las definiciones de los términos estadísticos y su cálculo. Así como también, se han descrito los índices o técnicas utilizadas. En el capítulo 4, se presentan los análisis y resultados de esta investigación.

El uso del software adecuado para tratar los datos climáticos matriciales utilizados, dado el volumen de estos, es muy importante. De igual manera, las herramientas utilizadas para los cálculos matemáticos, el tratamiento de las bases de datos y Sistemas de información Geográfica (SIG), para el análisis y la representación gráfica final de los resultados obtenidos en el estudio, ha sido fundamental.

A través de figuras, tablas y mapas, se le ha querido dar al conjunto del trabajo un carácter didáctico y visual.

2.2. Base de Datos

Se ha recogido la información necesaria para iniciar el análisis climático y caracterización geográfica de la zona de estudio a través de diferentes instituciones. La base de datos está compuesta de archivos digitales (datos alfanuméricos, imágenes, información geográfica) y datos bibliográficos.

Los datos meteorológicos que se han recopilado para este trabajo se han obtenido de diversos organismos y entidades, tanto públicas como privadas, lo que ha obligado a enfrentarse a una información con diferente formato, especificaciones, y periodos. No existe ninguna estandarización de la información recogida de datos y de su formato de difusión. Incluso dentro del mismo organismo o entidad los criterios de recolección y registro de los datos pueden variar a lo largo del tiempo. De este modo se ha obtenido información con diferentes características, que precisan de homogenización. Además, se ha dispuesto de periodos cortos con información muy importante por su resolución temporal. Ya no se trata de totales diarios, en 24 horas, sino datos cada 30 o 10 minutos dependiendo de la estación y del organismo gestor.

También al definir su localización geográfica, la diferente procedencia de la información ha dado lugar a datos expresados en diferentes formatos de coordenadas: en grados decimales, en sistema sexagesimal (grados, minutos y segundos), en el sistema Geodésico Mundial 84 (WGS84) y en el Universal Transversal de Mercator (UTM).

En relación con este último formato de coordenadas UTM, se ha producido en los últimos años una transformación de la información geográfica y cartográfica. El sistema de

referencia geodésico empleado en Europa ha sido el sistema de datum Europeo 1950 (ED50, European Datum 1950), que surgió como resultado de la unificación de los sistemas de referencia europeos. John F. Hayford, estadounidense formado en Geodesia, propuso en 1924 en la Asamblea Internacional de Geodesia y Geofísica (Madrid) un Elipsoide Internacional de Referencia, con $a = 6378388$ y $\alpha = 1/297$, con el objetivo de aproximar la superficie terrestre con fines cartográficos. Este elipsoide fue utilizado ampliamente por la mayoría de los países, no siendo perfeccionado hasta 1964, cuando la Unión Astronómica Internacional en Hamburgo estableció unos nuevos valores de sus constantes para mejorar su cálculo ($a = 6378160$ y $\alpha = 1/298,25$).

En España se adoptó en 1970 el Sistema ED50 como sistema oficial, sustituyendo el antiguo con Elipsoide de Struve y Datum Madrid (Observatorio del Retiro), tomando como parámetros del elipsoide de Hayford los definidos en 1924 ($a = 6378388$ y $\alpha = 1/297$).

En Florencia en 1990, la Subcomisión de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) para el marco de referencia europeo (EUREF) recomendó que el Sistema de Referencia Terrestre para Europa que debía ser adoptado fuera denominado European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89), y fue definido posteriormente en origen. El Real Decreto 1071/2007 establece ETRS89 como sistema de referencia geodésico oficial en España para la referenciación geográfica y cartográfica en el ámbito de la península ibérica y las islas baleares.

Por lo tanto, el ED50 ha sido el sistema oficial de la cartografía de la Península y Baleares hasta 2008, año en el que se adopta como oficial el ETRS89. Para adaptarse a la norma se ha dado un periodo transitorio hasta el 2015 en el que podrán convivir los dos sistemas mientras se re proyecta la cartografía a ETRS89. Y este hecho ha generado más complejidad en la tarea laboriosa de recopilación y homogeneización de los datos.

La información previa recogida, dadas sus características generales y particularidades, no será utilizada en su totalidad para este estudio. Para llevar a cabo este trabajo se ha estimado conveniente hacer una selección de los datos previos recogidos con el fin de generar unos resultados de calidad para el estudio que se pretende presentar.

2.2.1. Datos climatológicos

Con la finalidad de cumplir con uno de los objetivos específicos planteados en el desarrollo de esta investigación y definido en el capítulo anterior, como es la recopilación de la información disponible de instituciones públicas y privadas de la red meteorológica de estaciones que pertenezcan a la zona de estudio o cercanas, el proceso de investigación y recopilación de datos ha sido una parte muy importante en el cronograma del trabajo.

Las series climáticas son la principal fuente para monitorizar el clima pasado y presente, y se convierten en la base para proyecciones climáticas futuras. Por esta razón es importante disponer de series de amplia cobertura temporal, continuas, de calidad y homogéneas (Ashcroft et al., 2018, Corella et al., 2021, Peña-Angulo et al., 2021).

Para el desarrollo de este estudio se han analizado todos los datos disponibles y se ha considerado una serie de criterios para extraer los más idóneos, para llevar a cabo los objetivos planteados al inicio de este trabajo, como fuente de información. Se considera esta labor una primera fase de selección, pero en posteriores etapas a la tesis se tiene intención de utilizar los datos que en este proceso han sido descartados, pero tienen un valor estadístico y bibliográfico importante.

La elección de unos determinados datos o estaciones meteorológicas con respecto a otros se ha visto condicionado por los siguientes criterios:

- Selección de estaciones meteorológicas con series extensas y fiables, y que presenten más del 80% del total de los datos registrados de precipitación mensual y diaria para un periodo mínimo de treinta años.
- Selección por su situación geográfica, siguiendo un criterio de homogeneidad territorial-espacial, procurando, además, la representatividad de las diferentes topologías climáticas del territorio, de forma que entre todas las estaciones se pueda cubrir razonablemente el área de estudio al completo.
- Por último, se han seleccionado las estaciones con los registros de precipitación diaria más completos.

En este estudio, se ha considerado no contabilizar como día de precipitación las cantidades inferiores a 0,1 milímetros, es decir, los días de precipitación inapreciable.

Para el ámbito europeo, dada la necesidad de productos de observación meteorológica de alta resolución diaria para el análisis climático y sus efectos y que cumplan los criterios que se han descrito anteriormente, existe la base de datos E-OBS de libre distribución (Haylock et al., 2008). Esta base de datos, en forma de retícula o malla, fue desarrollada a partir de los datos de redes de observación dentro del proyecto financiado por la Unión Europea ENSEMBLES y se usa ampliamente en la evaluación de Modelos Regionales del Clima (RCM), entre otras muchas aplicaciones. Sin embargo, el uso de la base de datos E-OBS presenta algunas limitaciones que se han demostrado cuando se centra en subregiones específicas (Hofstra et al., 2009). La resolución más alta disponible en E-OBS es de 0,22° en una malla regular de latitud-longitud y rotando el polo norte, y el periodo temporal de 1950-2015.

En el ámbito de España, también se ha generado una base de datos de tipo malla que cubre todo el territorio de la península ibérica y con una resolución espacial mejorada es la base de datos Spain02. Esta base se creó a través de la colaboración de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y la Universidad de Cantabria (UC) (Herrera et al., 2012, 2016).

Finalmente, se ha decidido utilizar los datos meteorológicos disponibles en la base de datos Spain02 v4 EURO-CORDEX (Haylock et al., 2012, Herrera et al., 2012, 2016, Gilabert and Llasat, 2018).

Dentro de la base de datos seleccionada, Spain02, y con una resolución de 0,11° en una malla regular de latitud-longitud, se disponen de 8 puntos localizados en el interior de la cuenca, 2 en el límite y 12 distribuidos alrededor del área de estudio. En total 22 puntos que cubren de una forma regular toda el área de estudio. La serie temporal abarca un periodo de 40 años, como sugiere la OMM, empezando por un decenio terminado en 1 y acabado en 0. En el análisis se han incorporado dos estaciones más, una dentro del área de estudio y otra situada fuera, cuyas series proceden del organismo catalán que gestiona la información meteorológica en la comunidad, el Servei Meteorològic de Catalunya. Son datos climáticos que abarcan un periodo temporal, un poco más amplio, de 66 años (1950-2015). Sin embargo, en el análisis conjunto de todos los puntos de observación se considera

el periodo común 1971-2010 (40 años) para poder analizar una muestra de datos común y de características similares. No se puede olvidar que el conjunto de datos que se analizan representa una muestra estadística de una población teórica que se supone más amplia y que deben tener las mismas características para ser comparables (Domonkos et al., 2021).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomendó inicialmente elegir un periodo de 30 años para obtener los valores climatológicos de referencia o normales, periodo suficientemente largo para estabilizar las distribuciones de las variables meteorológicas. Posteriormente se vio la necesidad de recomendar un determinado periodo, conocido como internacional, tales como 1931-1960; 1961-90; etc. El criterio ahora recomendado es actualizar tales valores normales cada diez años, al principio de cada década (1951-1980; 1961-90; 1971-2000; etc.). En el caso de las temperaturas un periodo mínimo de 20 años se considera adecuado. Tras la Conferencia de Varsovia de 1935, la OMM considera que el periodo de observación óptimo para analizar climáticamente llanuras es de 40 años y de 50 años para zonas montañosas. En el capítulo 4 se calcula si se cumplen con los criterios para aceptar la longitud de la base de datos.

Las estaciones meteorológicas o puntos de información empleados en este trabajo se encuentran repartidos de forma relativamente homogénea por el área de estudio. Se han utilizado más estaciones que las de la propia área de estudio para abarcar un ámbito más amplio y así facilitar el análisis de la información con garantías y la interpretación de los resultados, como se puede observar en la siguiente figura (2.1.).

En la tabla 2.1., se expone la codificación y nomenclatura de los puntos seleccionados para el trabajo, su localización geográfica mediante coordenadas geográficas en grados decimales (latitud y longitud), y la altitud, en metros. Para la denominación de la situación de los datos meteorológicos, se han asignado los nombres del municipio donde se encuentran ubicados dentro de Cataluña, en el noroeste de la península ibérica. Cuando el punto origen de los datos queda fuera de este ámbito se ha optado por utilizar el nombre genérico 'Exterior' y se ha omitido su altitud.



Figura 2.1. Localización de los puntos que aportan información meteorológica en el estudio de la cuenca de la Muga.

Tabla 2.1. Estaciones meteorológicas seleccionadas para la realización del presente estudio.

IDc	IDg	Latitud	Longitud	Localización	Altitud (m.)	Periodo
1C	grid04771	42,351	2,565	Albanya	1026	1971-2010
2C	grid04814	42,374	2,709	Maçanet de Cabrenys	574	1971-2010
3C	grid04813	42,266	2,740	Cabanelles	458	1971-2010
4C	grid04855	42,396	2,854	Agullana	147	1971-2010
5C	grid04854	42,288	2,884	Llers	153	1971-2010
6C	grid04895	42,418	2,999	Espolla	360	1971-2010
7C	grid04894	42,311	3,029	Peralada	43	1971-2010
8C	grid04893	42,203	3,059	Vilamacolum	2	1971-2010
9C	grid00030	42,306	2,955	Figueres	31	1971-2010*
1L	grid04853	42,181	2,915	Pontós	89	1971-2010
2L	grid04936	42,333	3,173	Port de la Selva	155	1971-2010

IDc	IDg	Latitud	Longitud	Localización	Altitud (m.)	Periodo
1E	grid04772	42,459	2,534	Exterior	-	1971-2010
2E	grid04815	42,481	2,679	Exterior	-	1971-2010
3E	grid04856	42,504	2,824	Exterior	-	1971-2010
4E	grid04896	42,526	2,969	Exterior	-	1971-2010
5E	grid04937	42,440	3,144	Portbou	148	1971-2010
6E	grid04975	42,354	3,318	Exterior	-	1971-2010
7E	grid04935	42,225	3,203	Exterior	-	1971-2010
8E	grid04892	42,095	3,089	Albons	8	1971-2010
9E	grid04852	42,073	2,945	Sant Jordi Desvalls	66	1971-2010
10E	grid04812	42,159	2,770	Esponella	219	1971-2010
11E	grid04770	42,244	2,596	Montagut	240	1971-2010
12E	grid04769	42,136	2,626	Mieres	338	1971-2010
13E	grid00576	42,291	3,280	Cadaqués	30	1971-2010*

*Se dispone de un periodo superior de datos (1950-2015).

De las 24 estaciones seleccionadas para este estudio, algo más de la mitad se encuentran en el interior del área de trabajo o en sus límites. Las 12 estaciones que se ubican en ese ámbito son las que están bajo el identificador (IDc): 1C, 2C, 3C, 4C, 5C, 6C, 7C, 8C, 9C, 1L, 2L y 13E. Los resultados obtenidos a través de ellas se consideran relevantes para el área de estudio y serán detallados mediante gráficos y tablas.

Los mapas que se han realizado de la cuenca se han generado utilizando técnicas estadísticas (regresión múltiple con corrección de residuos), sistemas de información geográfica (SIG) e interpolación espacial a partir de los datos meteorológicos (Pons, 1996, Ninyerola et al. 2000).

Datos hidrológicos

La recopilación de este tipo de datos e información del área de estudio se realizó en la Agència Catalana de l'Aigua (ACA), pero finalmente no se ha utilizado en la presentación final de este trabajo, centrada exclusivamente en aspectos climáticos.

La agencia del ACA se encuentra adscrita al Departamento de Territorio y Sostenibilidad de la Generalitat de Cataluña, surgió de la fusión entre la Junta de Saneamiento y la Junta de Aguas, como la empresa pública encargada de planificar y gestionar el ciclo integral del agua en Cataluña.

La ACA fue constituida por la Ley 25/1998, que le otorgaba las competencias en materia de aguas, y pasa a ser la única administración hidráulica de la Generalitat de Cataluña. Posteriormente, mediante el Decreto 125/1999, modificado por el Decreto 73/2001, la Generalitat de Cataluña aprobaba los estatutos de la ACA.

De acuerdo con la Ley 6/1999 de ordenación, gestión y tributación del agua, y del decreto Legislativo 3/2003, del 4 de noviembre, por el cual se aprueba el texto refundido de la legislación en materia de aguas de Catalunya (DOGC 4015 de 21.11.03), en el territorio de Cataluña se distinguen:

- Las cuencas hidrográficas internas, que son las correspondientes a los ríos Muga, Fluvià, Ter, Daró, Tordera, Besòs, Llobregat, Foix, Gaià, Francolí y Riudecanyes, y las de todas las rieras de la costa entre la frontera con Francia y la desembocadura del río Sènia. Ocupan una superficie de 16.411 km², es decir el 52 % del territorio de Cataluña.
- Las cuencas hidrográficas intercomunitarias, integradas por la parte catalana de las cuencas de los ríos Ebro, Garona y Júcar, en los términos establecidos por la legislación vigente. Ocupan una superficie de unos 15.676 km², es decir el 49% de la superficie territorial de Catalunya.

Las cuencas hidrográficas internas, que constituyen el Distrito de la Cuenca Hidrográfica o Fluvial de Catalunya de acuerdo con la Ley 6/1999, son competencia exclusiva de la Generalitat de Catalunya y su gestión está asignada a la ACA.

Dentro del capítulo 3, en la descripción del área de estudio, se incluye una figura describiendo la zona de estudio, con la cuenca de la Muga, en el marco de la Ley 6/1999 de ordenación, y la distinción entre cuencas internas e intercomunitarias.

La información digital referida a la delimitación de la cuenca hidrográfica de la Muga, para mantener los nuevos límites definidos dentro de los estudios de planificación de la gestión del espacio fluvial del área de estudio, se ha obtenido a través de la información cartográfica ofrecida por la ACA.

La ACA difunde de forma pública, un conjunto de aplicaciones de consulta para extraer datos relacionados con el agua y el medio y un catálogo de servicios y de descarga de datos, con el fin de fomentar el uso y la información generada por la administración. En los datos obtenidos de esta fuente se ha indicado claramente la procedencia de la información (Serra and Cordobilla, 1998).

2.3. Procedimientos metodológicos

Se describen a continuación las técnicas y procesos metodológicos generales principales llevados a cabo en el conjunto del trabajo y que se ha considerado oportuno explicar en este apartado para introducir de una forma global. Se ha utilizado el análisis estadístico (correlación, variabilidad temporal, tendencias), el análisis espacial y representación cartográfica, y el método de la clasificación sinóptica objetiva de Jenkinson & Collison entre otros.

2.3.1. Aclaraciones del análisis estadístico

Para el cálculo del comportamiento de las series climatológicas en el ritmo o régimen estacional se han considerado, como es habitual, las siguientes estaciones climáticas:

- Invierno (I, DEF): con los meses de diciembre, enero y febrero, del 1 de diciembre al 28/29 de febrero.
- Primavera (P, MAM): con los meses de marzo, abril y mayo, del 1 de marzo al 31 de mayo.
- Verano (V, JJA): con los meses de junio, julio y agosto, del 1 de junio al 31 de agosto.

- Otoño (O, SON): con los meses de septiembre, octubre y noviembre, del 1 de septiembre al 30 de noviembre.

Al calcular el régimen estacional, el periodo de análisis se ha visto reducido, al utilizar el mes final del año anterior y los meses siguientes, desde el periodo estacional 1971-1972 hasta el periodo 2009-2010 (Peña-Angulo et al., 2021).

Para el estudio estadístico de las variables se han usado las principales y básicas que se definen a continuación: (Martín-Vide, 2002)

Media (\bar{x}): Medida de tendencia central que se expresa como cociente de la suma de los valores y el número de ellos.

Mediana: Medida de tendencia central el valor de la cual es igual o superior a la mitad de los datos analizados e inferior a la otra mitad. No está afectada por los valores extremos de la muestra.

Moda: Medida de tendencia central el valor de la cual coincide con el dato de partida más frecuente o repetido.

Desviación estándar o típica (SD): medida de dispersión equivalente a la raíz cuadrada de la varianza. Coeficiente de variación (CV): Medida de dispersión que se expresa como coeficiente de la desviación tipo y la media, multiplicado por cien. Esta es la medida comparativa más útil de la variabilidad de los resultados de una muestra.

Clase o intervalo de clase: Grupo de valores que componen un intervalo en una distribución de frecuencias.

Para calcular el número óptimo de intervalos (i) en función del número de datos de la muestra, se ha utilizado una de las reglas empíricas más conocidas que fue propuesta por Herbert Sturges, en 1926 (Martín-Vide, 2002b, Keller, 2011).

$$i = 1 + \log_2 (N)$$

Donde N es el número total de los datos de la muestra.

Distribución de frecuencia: Clasificación de los valores en un conjunto de intervalos con el número de datos que pertenecen a cada clase, denominado frecuencia absoluta. También se pueden obtener los datos de frecuencia relativa en función del número total de la muestra. Asimismo, de forma individual o acumulativa.

LONGITUD DE LAS SERIES CLIMÁTICAS

Para encontrar el número de años necesarios (n) y estimarlo con un error del 10% y a un nivel de significación $\alpha = 0,05$, o nivel de confianza del 95%, límites aceptados en climatología. Se debe aplicar la formula:

$$n = (1,96^2 \times s^2) / (0,1 \times \bar{x})^2$$

Donde \bar{x} es la media y s la desviación tipo. El resultado que se obtiene se redondea para obtener el número final de años (Fernández, 1995, Martín-Vide, 2002b).

2.3.2. Análisis espacial y representación cartográfica.

El análisis espacial tiene como objetivo establecer las relaciones existentes entre los valores puntuales registrados en los diferentes observatorios y los factores que los determinan con la finalidad de definir un modelo de distribución espacial que permita extrapolar la información puntual a un espacio más extenso a fin de poder obtener la variable, por ejemplo, la precipitación, registrada en una superficie.

Para este estudio, se ha utilizado el método geoestadístico o estocástico de interpolación espacial "kriging". Este método supone que la variación espacial de la variable a representar puede ser explicada al menos parcialmente mediante la correlación espacial de los datos, en el que la variación espacial de los valores de la variable puede deducirse de los valores circundantes, analizando la correlación espacial entre los datos en función de la distancia y dirección entre ellos y midiendo la varianza entre datos separados por distancias diferentes. En este sentido, el método kriging minimiza el error estimado de la varianza de la variable aleatoria.

Por otro lado, también se ha utilizado el método de los polígonos de Thiessen para extraer los valores correspondientes a la cuenca de estudio. Se parte de la hipótesis de que la

precipitación o cualquier otra variable registrada o calculada para una estación meteorológica representan la precipitación media de una zona más extensa, próxima a ella (Chow et al., 1994). El área asignada a cada observatorio se delimita mediante una serie de polígonos, que se construyen a partir de la malla triangular en la que los vértices de cada triángulo corresponden a los observatorios existentes para a continuación trazar las mediatrices de los lados de cada triángulo, formándose una malla poligonal, cuyos límites exteriores son los de la cuenca hidrográfica. A cada polígono se le asigna el valor de la variable registrada en la estación situada en su interior. En la siguiente figura, se observa el esquema de los polígonos trazados alrededor de los puntos de observación climáticos utilizados en la cuenca hidrológica de la Muga.

Figura 2.2. Delimitación de las áreas de influencia de las estaciones utilizadas, en la cuenca hidrográfica de la Muga, por el método de los polígonos de Thiessen.

La precipitación total de la cuenca, considerando la unidad superficial básica de los polígonos, que se podría denominar S_{1C} , S_{2C} , S_{3C} ,... S_n y el área total S , será:

$$p = p_1 (S_{1C} / S) + p_2 (S_{2C} / S) + p_3 (S_{3C} / S) + \dots p_n (S_n / S)$$

Esta metodología clásica sigue siendo de máxima actualidad por los buenos resultados que ofrece, similares a técnicas complejas más recientes (Shope and Maharjan, 2015).

2.3.3 Análisis pluviométrico

El cálculo de las medidas de dispersión, con los cuantiles, tiene un gran interés en el estudio ya que proporcionan un estudio del régimen pluviométrico probable, es decir, unas cantidades que se igualan o se superan una vez cada 'x' años. Los cuartiles, quintiles y deciles tratan de evaluar la distribución de los valores de una serie teniendo en cuenta el conjunto de ellos.

Valor	Descripción
Primer decil (1D)	El 10% de los meses no alcanzan la cantidad señalada
Primer quintil (1Q)	El 20% de los meses no alcanzan la cantidad señalada
Primer cuartil (1C)	El 25% de los meses no alcanzan la cantidad señalada
Segundo quintil (1Q)	El 40% de los meses no alcanzan la cantidad señalada
Mediana o segundo cuartil (2C)	El 50% de los meses no alcanzan la cantidad señalada
Tercer quintil (3Q)	El 60% de los meses no alcanzan la cantidad señalada
Tercer cuartil (3C)	El 75% de los meses no alcanzan la cantidad señalada
Cuarto quintil (4Q)	El 80% de los meses no alcanzan la cantidad señalada
Noveno decil (9D)	El 90% de los meses no alcanzan la cantidad señalada

Tabla 2.2. Descripción de los valores representados en el diagrama del régimen pluviométrico probable mensual.

En relación con el significado de los valores calculados, se han resumido en el cuadro anterior, para facilitar la interpretación de los gráficos.

2.3.3.1. Caracterización de la precipitación anual.

Existen varias definiciones que se han propuesto a lo largo del tiempo según países y organismos. La Organización Meteorológica Mundial estableció en 1986 que hay sequía en una región cuando la precipitación anual es inferior al 60% de la normal durante más de dos años consecutivos en más del 50% de la superficie de la región. Su objetivo es dar una definición de aplicación general, basada en el supuesto que los ecosistemas naturales y los sistemas sociales y económicos pueden resistir una disminución de la precipitación de un 40% durante un año, pero se ven afectados seriamente cuando esta situación se prolonga (OMM, 2011a, 2011b).

La metodología utilizada es la que emplea la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para caracterizar los años pluviométricos de las cuencas hidrográficas españolas. Se aplica el método de los quintiles, adoptado del sistema de cálculo de Gibbs and Maher (1967), para clasificar los meses o años en cinco categorías, que se resumen en la siguiente tabla:

Calificación	Precipitación	Quintil (Q)
Muy seco (MS)	0-20%	Inferior a 1Q
Seco (S)	20% - 40%	Entre 1Q y 2Q
Normal (N)	40% - 60%	Entre 2Q y 3Q
Húmedo (H)	60% - 80%	Entre 3Q y 4Q
Muy húmedo (MH)	80% - 100%	Superior a 4Q

Tabla 2.3. Caracterización pluviométrica por el método de los quintiles.

El quintil (Q) es el 20% del total de la muestra que ha sido ordenada de menor a mayor por una variable como es la precipitación anual. El periodo total, 40 años, se divide en 5 grupos con el mismo número de elementos. En AEMET se utiliza el uso de la media climática de 1971-2000, para proporcionar valores medios normales de distintos parámetros climatológicos. En este estudio se valoran los datos en relación con los proporcionados por el periodo de estudio, 1971-2010, en cada estación.

La caracterización pluviométrica permite observar la relación entre métodos para indicar y evaluar los periodos de precipitación como también de sequía, ambas situaciones están relacionadas, y es inevitable hablar de equilibrio entre ellas (López-Bustins et al., 2013, Fernandes et al., 2014, Trambly et al., 2020, Lemus-Canovas and López-Bustins, 2021, Mathbout et al., 2021).

2.3.3.2. Precipitación diaria e intensidad.

El análisis de la precipitación a resolución diaria tiene una gran importancia para comprender los fenómenos físicos (meteorológicos, hidrológicos, geomorfológicos, etc.). Por lo cual, el estudio a esta escala de resolución diaria, de la irregularidad o concentración pluviométrica, es una primera aproximación para conocer su estructura a una escala temporal fina (Martín-Vide, 1987, Meseguer-Ruiz et al., 2019c, Martín-Vide et al., 2022).

Los efectos de la intensidad de la precipitación mediante la cantidad registrada en 24 horas, es la que podemos realizar en este estudio. Sin embargo, datos temporales más discretizados son de vital importancia para analizar algunos episodios extremos en profundidad (Sempere-Torres et al., 2000).

La información y características de la precipitación diaria y sus máximos, es una información importante no sólo desde el punto de vista científico sino también de planificación. Sin embargo, el pronóstico del aumento de los episodios a causa del cambio climático requiere de medidas para adaptarse y reducir el riesgo (Webster et al., 2011, Garcia-Barrón et al., 2017, Trambly et al., 2020). Y prevenir la conservación del territorio y sus efectos en la agricultura (Salhi et al., 2021a, Torres-Bagur et al., 2020, Vetter et al., 2015, Köchy, 2008).

2.3.4. Periodos de retorno (T).

El periodo de retorno (T) o también llamado intervalo de recurrencia media, es el número de años que, en promedio han de suceder para que un valor se repita. Por lo que se puede expresar como una probabilidad de ocurrencia. Por ejemplo, en un periodo de retorno de 100 años se puede interpretar como la probabilidad de ocurrencia de 1 cada 100 o como un 1% de ocurrencia en cualquier año. En la siguiente tabla se expresan los periodos de retorno que se van a calcular y su relación entre probabilidad y porcentaje de ocurrencia.

Periodo de retorno T (años)	Probabilidad de ocurrencia	Porcentaje de ocurrencia
1	1 en 1	100%
5	1 en 5	20%
10	1 en 10	10%
15	1 en 15	6,7%
30	1 en 30	3,4%
50	1 en 50	2%
100	1 en 100	1%
200	1 en 200	0,5%

Tabla 2.4. Periodos de retorno, en años, y sus correspondientes probabilidades y porcentajes de ocurrencia.

Para calcular el periodo de retorno se utilizó la siguiente fórmula:

$$T(x) = \frac{1}{1-F(x)}$$

Donde:

- $T(x)$: tiempo de recurrencia de una precipitación de x milímetros, en años.
- $F(x)$: probabilidad de ocurrencia anual de un evento inferior a x milímetros de precipitación.

El periodo de retorno de un suceso con una magnitud dada puede definirse como el intervalo de recurrencia promedio entre sucesos que igualan o exceden una magnitud especificada.

Se ha calculado la función de distribución de probabilidad de Gumbel Max. o de Valor Extremo de Tipo I (Gumbel, 1941, 1954, Navarro-Gonzalez et al., 2021).

2.3.5. La Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) y su influencia sobre la variabilidad pluviométrica y eventos extremos.

La precipitación como variable climática y en especial en el ámbito mediterráneo presenta una alta respuesta a la variabilidad interanual del sistema climático. Como se ha podido comprobar en el análisis de la variabilidad de la precipitación mensual y estacional y en los datos obtenidos, alejados de los valores medios. La causa de esta variabilidad es la relación con la circulación atmosférica, y en especial, la circulación ciclónica, que forma un sistema de baja presión que es una de las principales causas de precipitación y provoca el ascenso del aire húmedo en superficie y favorece la condensación del vapor de agua que contiene.

La variabilidad de la circulación atmosférica se ha presentado por medio de patrones que fluctúan. El más conocido es la Oscilación del Atlántico Norte (North Atlantic Oscillation, NAO) que revela el movimiento entre el alta subtropical (Azores o Lisboa) y la baja polar (Islandia). Valores altos del índice, por un aumento en la diferencia de la presión da lugar a la formación de bajas profundas y un aumento en el número e intensidad de las tormentas invernales que, con dirección nordeste, cruzan el Océano Atlántico. Mientras se registra un tiempo húmedo y cálido en Europa, en gran parte de la península ibérica disminuye la precipitación invernal, siendo seco en el Mediterráneo. En la situación contraria, con

valores bajos el aire húmedo es desplazado hacia el mediterráneo aportando un aumento de la precipitación en el sur de Europa, y frío en Europa del norte.

El Mediterráneo occidental, por su posición geográfica está en una zona de transición entre el clima templado de latitudes medias y el clima cálido subtropical, sensible a la variabilidad interanual de la circulación atmosférica. Las características orográficas también interfieren en la dinámica de la circulación, provocando una distribución estacional de la precipitación que difiere de la típicamente mediterránea, en la fachada oriental de la península ibérica, a sotavento de la influencia atlántica, donde el otoño es la estación más lluviosa y el invierno es relativamente seco (Martín-Vide and Olcina, 2001). Esta región oriental de la Península presenta una débil influencia de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), el patrón de variabilidad de baja frecuencia que determina el tiempo meteorológico en invierno sobre la mayor parte de la Europa Occidental (Hurrell, 1995).

Martín-Vide y López-Bustins (2006) para caracterizar la circulación propia en el área de la cuenca occidental mediterránea definieron un nuevo índice de teleconexión, cuyo primer ensayo se presentó en el III Congreso de la Asociación Española de Climatología (AEC) (Martín-Vide, 2002a), que explica el comportamiento pluviométrico de la fachada mediterránea de la península ibérica: el índice de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (Western Mediterranean Oscillation index, WeMOi).

La Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) es un patrón de teleconexión regional configurado a partir de las oscilaciones atmosféricas, a partir de datos de presión, entre el suroeste de la península ibérica (San Fernando) y el norte de Italia (Padua).

La fase positiva se configura a partir de un anticiclón hacia el oeste de la península ibérica, sea como potente alta de Azores o una dorsal de ella, junto con una depresión en el norte de la Península Itálica, sea en Liguria o en el Adriático. Tal situación sinóptica genera flujos de componente norte hacia el interior de la cuenca del Mediterráneo occidental.

La fase negativa se corresponde, por el contrario, con una baja en el golfo de Cádiz o en el área delimitada por Azores-Madeira, Canarias y el suroeste ibérico, junto con altas presiones en Centro Europa y el norte de Italia. Tal situación comporta flujos de componente este en buena parte de la cuenca marítima del mediterráneo con anomalías

positivas de temperatura de aguas superficiales en el Mediterráneo y lluvias sobre la región de estudio (Redolat et al., 2019, Lemus-Canovas, 2022).

Los datos que se han utilizado de WeMOi abarcan el periodo de estudio, 1971-2010, pero el periodo temporal que abarca el índice y su base de datos es bastante más amplia, 1821-2013 (Lemus-Canovas et al., 2021, López-Bustins et al. 2014a, 2020).

El cálculo del índice estandarizado de anomalías se ha utilizado en varios estudios para ver la relación de las anomalías pluviométricas y el patrón de circulación atmosférica (Nery and Carfan, 2014, Fernandes et al., 2014, Loureiro et al., 2015). Para el cálculo de las anomalías se extrae del total de precipitación anual, el valor de la media climatológica del periodo, y se divide por la varianza. El resultado que se obtiene puede ser positivo o negativo.

2.3.6. Índice de concentración (IC).

La distribución de frecuencias de las cantidades diarias de precipitación es ajustable mediante curvas exponenciales negativas dado que existen muchos días con precipitaciones escasas, sean inferiores a 1 mm y pocos con precipitaciones altas, descendiendo la frecuencia de forma exponencial. Con el objeto de evaluar la contribución relativa de los días más lluviosos, se ha seguido la metodología del índice de concentración diaria de la precipitación (Concentration Index, CI) propuesta por (Martín-Vide, 2004). El CI se utiliza para medir la irregularidad y la concentración de las precipitaciones diarias, determinando la contribución relativa de los días de lluvia a la cantidad total de lluvia. Mediante la representación gráfica de las curvas de concentración, o de Lorenz (Benhamrouche and Martín-Vide, 2012, 2018).

Se clasifican las cantidades diarias de precipitación en clases de longitud 1 mm, comenzando por la [0,1-0,9], en orden creciente, [1,0-1,9], [2,0-2,9], etc. La distribución de frecuencias resultante muestra claramente una forma exponencial negativa. Ver datos en el capítulo 4 y apartado 4.3.6.1.

Se clasifican las cantidades diarias de precipitación en clases de longitud 1 mm, comenzando por la [0,1-0,9], en orden creciente, [1,0-1,9], [2,0-2,9], etc.

La línea de equidistribución (un caso ideal) representaría una distribución de la precipitación diaria perfecta, con valores extremos ideales de 0 (todas las cantidades diarias iguales) y 1 (un solo día de precipitación). El índice CI representa el tanto por uno del área comprendida entre la recta de equidistribución, la curva exponencial y la ordenada $Y=100$, y el área del triángulo mencionado. Cuanto mayor sea el valor de CI más peso tienen unos pocos días muy lluviosos en el total pluviométrico.

Se han calculado las curvas de concentración o Lorenz de las estaciones meteorológicas, sustituyendo las poligonales por las curvas exponenciales que mejor las ajustan (Benhamrouche and Martín-Vide, 2012, 2018). El procedimiento de cálculo ha sido el siguiente para el ajuste:

$$Y = aXe^{bx} \quad (1)$$

Las constantes a y b de la ecuación (1) se han determinado mediante mínimos cuadrados:

$$\ln a = \frac{\sum x_1^2 \sum \ln y_1 + \sum x_1 \sum x_1 \ln x_1 - \sum x_1^2 \sum \ln x_1 - \sum x_1 \sum x_1 \ln y_1}{N \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{N \sum x_1 \sum \ln y_1 + \sum x_1 \sum \ln x_1 - N \sum x_1 \ln x_1 - \sum x_1 \sum \ln y_1}{N \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2} \quad (3)$$

Siendo N el número de pares de valores.

Una vez determinadas las dos constantes (a , b), la integral definida de la curva exponencial entre 0 y 100 muestra la superficie comprendida entre la curva, el eje de abscisas y la ordenada 100, que equivale a:

$$s = \left[\frac{a}{b} e^{bx} \left(x - \frac{1}{b} \right) \right]_0^{100} \quad (4)$$

Así, se obtendrán los valores más elevados de (**S**) cuanto más se aproximen las curvas exponenciales a la recta de equidistribución. Como nuestro interés radica en evaluar la irregularidad o concentración pluviométrica diaria, es decir, la separación respecto a la recta de equidistribución, hay que restar **5000** (área del triángulo bajo la recta de

equidistribución) y el valor obtenido en la ecuación (4), para así hallar el área comprendida entre la curva, la recta de equidistribución y la ordenada $Y=100 (S')$ con esta superficie puede definirse el **CI** como:

$$CI = \frac{s'}{5000} \quad (5)$$

O simplemente. $CI = S' / 5000$. (Martín-Vide, 2004)

De esta forma, se obtendrán valores más elevados en las estaciones meteorológicas que presentan mayor concentración en la precipitación diaria. Según las ecuaciones (2, 3 y 5),

El uso de clases de 1 mm de longitud para el cálculo del índice CI1 puede considerarse costoso, no por el tiempo de cálculo, hoy mínimo, sino por la demanda de datos diarios de alta resolución y calidad (Benhamrouche and Martín-Vide, 2020, Benhamrouche et al., 2015, 2022).

2.3.7. Clasificación sinóptica de Jenkinson & Collison.

En las últimas décadas se han propuesto numerosos catálogos de clasificaciones sinópticas subjetivas o manuales cuyo ámbito de estudio comprende la región del Mediterráneo Occidental. Entre las clasificaciones subjetivas se encuentran las de Linés (1981), Font Tullot (1983), Martín-Vide (1991) o Capel Molina (2000). Todas presentan un enorme interés climatológico, y han supuesto un avance substancial en lo que se refiere a la comprensión climática del sector occidental de la cuenca mediterránea, aunque tienen como inconveniente estar basadas en procedimientos sometidos a consideraciones subjetivas y a la propia experiencia del investigador.

Frente a las propuestas de clasificación subjetivas, los métodos objetivos o automáticos de clasificación de situaciones sinópticas del tiempo atmosférico tienen como principal característica que los resultados se obtienen con el uso de un algoritmo de cálculo transferible y aplicable a distintas áreas y a períodos diferentes. El método de clasificación de Jenkinson y Collison compuesto por unas reglas definidas, evita la subjetividad del

proceso y facilita la reproducción de los resultados.

La clasificación automática de Jenkinson y Collison (1977), adaptada a la península ibérica por Spellman (2000), y ya utilizada por Martín-Vide (2002a). Aunque otros autores la han adaptado buscando una mejor caracterización geográfica como Grimalt et al. (2013) para las islas baleares o Messeguer (2019c) para la península ibérica con la intención de superar las limitaciones del método original de Spellman. Y se han extendido los estudios que lo aplican a nivel mundial (Monjo and Martín-Vide, 2016) y a otras partes del mundo (Trigo and DaCamara, 2000, Linderson, 2021, Post et al., 2002, Martín-Vide et al., 2008, 2016, Tang et al., 2009, Llop and Alomar-Garau, 2012, Grimalt et al., 2013, Gilabert and Llasat, 2018, Sarricolea et al., 2019, Velez et al., 2019, Meseguer-Ruiz et al., 2019a, 2020, Benhamrouche and Martín-Vide, 2020, Grimalt-Gelabert et al., 2021, Lemus-Canovas et al., 2021).

Una dificultad añadida es la de la propia complejidad de la atmósfera en la región catalana y zona de estudio, en el sentido de que la presión atmosférica en superficie no guarda a menudo relación con la de los niveles superiores, o bien el gradiente de presión es aquí poco definido sobretudo en época estival. La clasificación sinóptica de Jenkinson y Collison es un método objetivo que permite conocer el tipo de circulación atmosférica, y que utiliza única y exclusivamente datos de presión en superficie.

Esta clasificación sinóptica consta de 27 tipos de tiempos (8 advectionivos puros, 1 ciclónico, 1 anticiclónico, 8 híbridos advectionivo-anticiclónicos, 8 híbridos advectionivos-ciclónicos y 1 indeterminado). Resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 2.5. Descripción básica de los tipos de Jenkinson y Collison. Fuente: Martín-Vide et al., 2016.

<p>N, NE, E, SE, S, SW, W y NW: Advecciones puras del N, NE, E, SE, S, SW, W y NW, respectivamente, constituidas por un haz de isobaras dispuestas rectilíneamente sobre la Península Ibérica marcando flujos de viento de las citadas direcciones.</p> <p>AN, ANE, AE, ASE, AS, ASW, AW y ANW: Advecciones mixtas de carácter anticiclónico del N, NE, E, SE, S, SW, W y NW, respectivamente, constituidas por isobaras con curvatura anticiclónica sobre la Península Ibérica marcando flujos de viento de las citadas direcciones.</p> <p>CN, CNE, CE, CSE, CS, CSW, CW y CNW: Advecciones mixtas de carácter ciclónico del N, NE, E, SE, S, SW, W y NW, respectivamente, constituidas por isobaras con curvatura ciclónica sobre la Península Ibérica marcando flujos de viento de las citadas direcciones.</p> <p>A: Anticiclón centrado sobre la Península Ibérica.</p> <p>C: Depresión o borrasca centrada sobre la Península Ibérica.</p>

U: Campo de presión en superficie poco definido, sin apenas gradiente bórico, caracterizado por la ausencia de isobaras o la presencia de algunas laxas (pantano barométrico).

El uso de esta metodología se ha extendido a cualquier trabajo donde las condiciones sinópticas de la atmósfera tienen un valor relevante (Martín-Vide et al., 2016).

La versión que se ha utilizado en este estudio con la finalidad de hacer un análisis detallado de las relaciones entre los episodios de precipitación extrema y la situación sinóptica que los ha propiciado, es la que utiliza una malla de 16 puntos (Meseguer-Ruiz et al., 2019c, 2020, Lemus-Canovas et al., 2021).

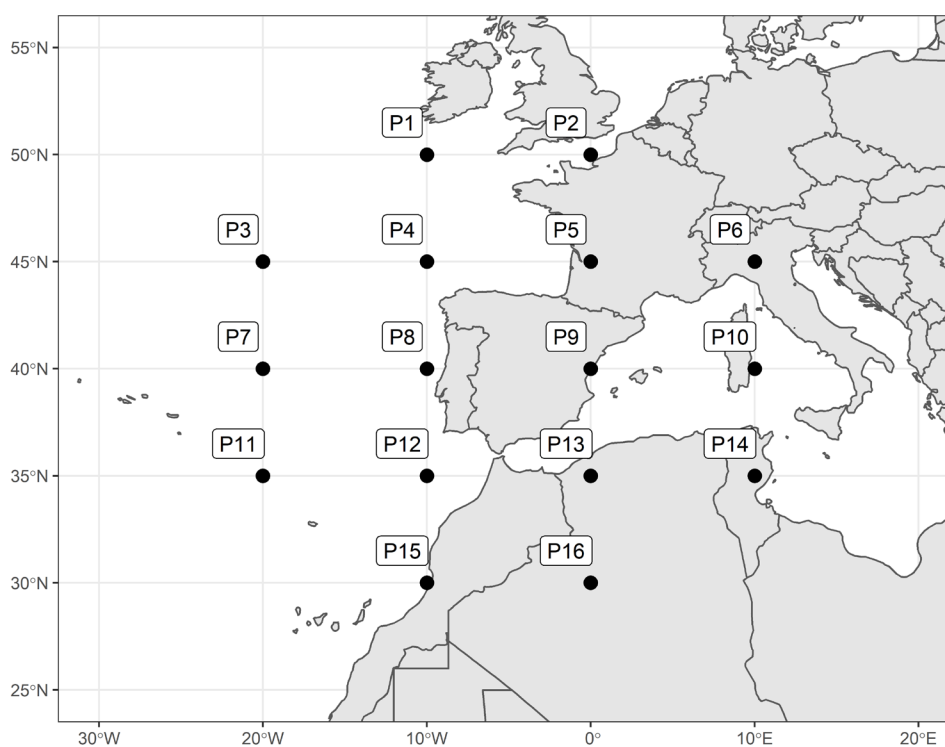


Figura 2.3. Retículo octogonal de 16 puntos usado para la clasificación sinóptica de Jenkinson y Collison.

La clasificación de Jenkinson y Collison se basa en 7 variables deducidas exclusivamente a partir de la presión atmosférica en superficie. Estas variables son:

W, componente zonal del viento (superficial) geostrófico, calculada, por ejemplo, como gradiente de presión, por ejemplo, entre 35° y 45°N para la Península Ibérica;

S, componente meridiana del viento (superficial) geostrófico, calculada, por ejemplo, como gradiente de presión, por ejemplo, entre 0º y 10ºW para la Península Ibérica;

D, dirección del viento (º azimut);

F, velocidad del viento (m/s);

ZW , componente zonal de la vorticidad;

ZS , componente meridiana de la vorticidad;

Z, vorticidad total.

Para el ámbito de la Península Ibérica puede usarse el retículo octogonal de 16 puntos, P01, P02, P03,...,P16 de la figura 1, cuyos puntos son intersecciones de los paralelos 30º, 35º, 40º, 45º y 50ºN con los meridianos 10ºE, 0º, 10ºW y 20ºW, exceptuando los vértices del retículo. Podrían usarse otros retículos (Grimalt et al, 2013). Conociendo la presión atmosférica en superficie en los 16 puntos, sean, usando la misma notación, P01, P02, P03,...,P16, se hallan los valores de las 7 variables. Las expresiones analíticas empleadas para su cálculo son las siguientes (Martín-Vide et al., 2016):

$$W = 0,5(P_{12}+P_{13})-0,5(P_4+P_5)$$

$$S = 1,3052[0,25(P_5+2P_9+P_{13})-0,25(P_4+2P_8+P_{12})]$$

$$D = \arctg (W/S)$$

$$F = (W^2+S^2)^{1/2}$$

$$ZW = 1,1207[0,5(P_{15}+P_{16})-0,5(P_8+P_9)]-0,909[0,5(P_8+P_9)-0,5(P_1+P_2)]$$

$$ZS = 0,852[0,25(P_6+2P_{10}+P_{14})-0,25(P_5+2P_9+P_{13})-0,25(P_4+2P_8+P_{12})+0,25(P_3+2P_7+P_{11})]$$

$$Z = ZW + ZS$$

A partir de los valores de estas 7 variables se aplican las 5 reglas del método de Jenkinson y Collison siguientes:

- 1) La dirección del flujo viene dada por D (se usa una rosa de vientos de 8 rumbos y se tiene en cuenta el signo de W y de S).
- 2) Si $|Z| < F$, existe un tipo advectivo o direccional puro, definido según la regla 1 (N, NE, E, SE, S, SW, W y NW).
- 3) Si $|Z| > 2F$, existe un tipo ciclónico (C), si $Z > 0$, o anticiclónico (A), si $Z < 0$.
- 4) Si $F < |Z| < 2F$, existe un tipo híbrido, según el signo de Z (regla 3) y la dirección del flujo (regla 1) (CN, CNE, CE, CSE, CS, CSW, CW, CNW, AN, ANE, AE, ASE, AS, ASW, AW y ANW).
- 5) Si $F < 4,8$ y $|Z| < 4,2$, existe un tipo indeterminado (U).

De este modo se obtienen los 27 tipos.

(Hay que indicar que las constantes de la regla 5 pueden variar dependiendo del realce que quiera darse al tipo indeterminado)

2.3.8. Análisis de tendencias

Para poder determinar la relación o tendencias entre variables se ha calculado el coeficiente de correlación de Pearson o r de Pearson, el cual es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente, cuyos valores absolutos oscilan entre -1 y 1 (Pedhazur, 1997).

A partir de los valores del coeficiente de correlación (r) podremos saber si existe o no correlación entre dos variables. La correlación puede ser lineal, exponencial, polinómica, etc.

El coeficiente nos informa del grado de relación, si esta es una correlación lineal perfecta, r será 1 o -1. Cuando el valor de r sea positivo la relación será positiva, es decir, al aumentar x aumenta y . Mientras que el coeficiente r será negativo en el caso contrario, si al aumentar x disminuye y . En la tabla siguiente podemos ver resumido la valoración del coeficiente r según el resultado obtenido:

<i>Resultado</i>	<i>Valoración</i>
$r = -1$	Correlación inversa perfecta
$-1 < r < 0$	Correlación inversa
$r = 0$	No hay correlación
$0 < r < 1$	Correlación directa
$r = 1$	Correlación directa perfecta

Tabla 2.6. Interpretación del valor del coeficiente de correlación (r).

En general, los valores obtenidos de r no tienen que ser muy altos o estar próximos a 1 para que exista algún tipo de relación, depende del número de parejas de datos con las que vayamos a realizar el cálculo y del nivel de seguridad con el que queramos extraer nuestras conclusiones.

Por este motivo, para encontrar el nivel de significancia estadística de las correlaciones realizadas se ha calculado el p-value o valor de probabilidad. El valor p (p-value) se puede definir como el menor nivel de significación al que se puede rechazar la hipótesis nula (H_0) cuando es verdadera (Gujarati, 2006). Es decir, el valor p es la probabilidad, cuando la hipótesis nula es cierta, de obtener un valor de la prueba que es igual a, o más extremo, que su valor observado (Keller, 2010). En la siguiente tabla, se muestran los valores de p-value y su significación.

<i>Resultado p-value</i>	<i>Valoración</i>
$p < 0,01$	Evidencia muy fuerte contra la H_0
$\geq 0,01$ $p < 0,05$	Evidencia moderada la H_0
$\geq 0,05$ $p < 0,10$	Evidencia sugestiva contra la H_0
$p \geq 0,10$	Poca o ninguna evidencia real contra la H_0

Tabla 2.7. Interpretación del valor de significancia de p-value (p).

En el presente estudio, se rechaza la hipótesis nula si el valor de p observado es igual o menor que el nivel de significación de 0,05, o $\alpha = 0,05$. En este sentido, esto representa una seguridad del 95% de que la relación que estamos estudiando no es por el azar (y un 5% de probabilidad de error).

Para valorar las tendencias temporales se ha utilizado la prueba de Mann-Kendall (Mann, 1945, Kendall, 1975) para estimar la tendencia y su grado de significación, junto con la estimación Sen, de pendiente.

La prueba de Mann-Kendall es una prueba no paramétrica basada en la correlación de rango que permite evaluar el significado de una tendencia ascendente o descendente, y que la OMM recomienda utilizar en sus manuales (OMM, 2011b). La prueba de Mann-Kendall que se ha utilizado es su versión monotónica anual, para la detección de tendencia con significancia estadística. Además, se ha complementado con la estimación Sen de pendiente de la tendencia, que complementa el test (Sen, 1968). Para estos cálculos se ha utilizado la macro 'Makesens', desarrollada por Tino Salmi del Finnish Meteorological Institute (Salmi et al., 2002). Es una herramienta ampliamente utilizada en múltiples campos de investigación por su poder de extracción de tendencias y tolerancia al ruido (Miró et al., 2010).

Es importante la valoración de los grados de significación estadística de los resultados, ya que cuanto más alto es el grado de significación, la tendencia será en el mismo sentido más fiable. En este sentido, en la siguiente tabla se muestran los grados de confiabilidad, que son:

<i>Resultado</i>	<i>Valoración</i>	<i>Significado tendencia</i>
***	Excelente	99,9% de significación
**	Muy Buena	99% de significación
*	Buena	95% de significación
+	Aceptable	+ 90% de significación
(en blanco)	Dudosa	menos del 90% de significación

Tabla 2.8. Interpretación del valor del test de Mann-Kendall.

Junto con ello, también se valora la confiabilidad de la pendiente Sen (Q) mediante intervalos de confianza. Se incluyen dos, siendo el más exigente el del 99% (Qmin99 y Qmax99) y el segundo del 95% (Qmin95 y Qmax95). Si los intervalos de confianza son laxos y entran tanto en terreno negativo como positivo, entonces la tendencia será dudosa, y, en el caso contrario, será confiable.

Capítulo 3

ÁREA DE ESTUDIO

3. Área de estudio

3.1. Localización y características geográficas

La cuenca del río Muga se localiza al sur de Europa, en el sector más oriental de la península ibérica. Dentro de la demarcación administrativa de España se encuentra en la comunidad autónoma de Cataluña, y en el extremo nororiental de la provincia de Girona. Tal como se puede observar en la siguiente figura.



Figura 3.1. Localización geográfica de la cuenca de la Muga en el contexto europeo y administrativo de España.

Las cuencas internas de Cataluña incluyen la cuenca hidrológica de la Muga, además de otras diez, como se ha descrito en el capítulo 2, ocupando 634 municipios. El conjunto de las cuencas se organiza en 28 unidades hidrológicas o subcuencas, bajo la gestión de la Agència Catalana de l'Aigua (ACA), y la competencia exclusiva de la Generalitat de Cataluña. En el mapa 4 se muestra la división administrativa de las cuencas hidrológicas de Cataluña y la localización de la cuenca de la Muga.

La cuenca se encuentra cerrada por los Pirineos, al norte, y abierta al mar Mediterráneo por el este. El ámbito de la cuenca de la Muga definido por la ACA ocupa una extensión de

961 km² y comprende la cuenca hidrográfica de la Muga y sus afluentes. Y se divide en las siguientes 8 subcuencas: la Muga, de Arnera, el Manol, el Llobregat d'Empordà, l'Anyet, l'Orlina, el Rec Sirvent y el Rec Madral.

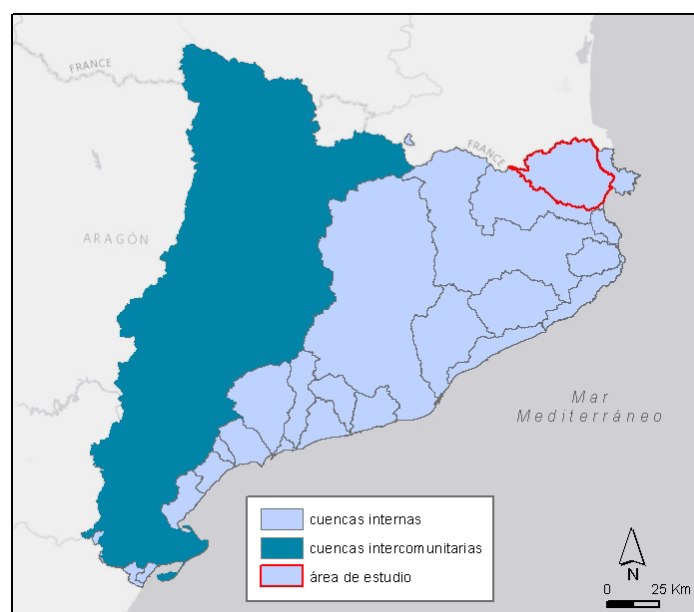


Figura 3.2. División administrativa de las cuencas hidrológicas y localización del área de estudio.

En la siguiente figura, se ha reducido la escala de localización y ampliado el detalle dentro de Cataluña, en la provincia de Girona, observándose que la cuenca se sitúa casi en su totalidad en la comarca del Alt Empordà, exceptuando un pequeño porcentaje que se encuentra en la comarca de la Garrotxa (menos del 1%) y otra zona, inferior al 2%, en territorio francés.



Figura 3.3. Localización de la cuenca de la Muga sobre el territorio administrativo de Cataluña.

La cota máxima de la cuenca se sitúa en el límite occidental, en la cima del Montnegre (1443 m), cerca del nacimiento de la Muga. La cota mínima se encuentra en la desembocadura del curso principal en el mar Mediterráneo, al sur del núcleo de población de Empuriabrava.

La red fluvial de la cuenca tiene un eje principal orientado de noroeste a sudeste, que marca el río Muga. Su nacimiento se localiza en el término municipal de Albanyà, en la zona del Pla de la Muga. El eje del curso fluvial principal tiene una longitud total de 69,8 km y supera un desnivel total de 1240 metros.

A lo largo de su recorrido se diferencian cuatro tramos:

1. Desde el nacimiento hasta el embalse de Boadella (pendiente media de 3,6% y longitud de 36,1 km).
2. Desde el pie de la presa del citado embalse hasta la confluencia con el río Llobregat d'Empordà (pendiente media de 0,42% y longitud de 21,4 km).

3. Desde la confluencia con el Llobregat d'Empordà hasta su posterior unión con el Manol (pendiente media de 0,23% y longitud de 3,4 km).

4. Desde la concurrencia con el Manol hasta la desembocadura (pendiente media del 0,1% y longitud del tramo de 8,9 km).



Fotografía 1. Desembocadura del río Muga en el mar Mediterráneo, al sur del núcleo de Empuriabrava.

En su recorrido el río Muga atraviesa los siguientes términos municipales: Albanyà, Sant Llorenç de la Muga, Darnius, Boadella i les Escaules, Pont de Molins, Cabanes, Peralada y Castelló d'Ampúries.



Fotografía 2. Inicio del segundo tramo del río Muga al pie de la presa de Boadella.

La estructura general de la red hídrica es muy simétrica respecto a la Muga, como se puede observar en la siguiente figura, con afluentes que vierten sus aguas por la margen derecha (orientados de oeste a este) y por la margen izquierda (orientados de norte a sur). Entre los principales afluentes de la Muga destacan:

- Río de Arnera, que desemboca en la Muga por su margen izquierda, en el embalse de Boadella.
- El río Manol, que incluye el caudal procedente de la riera de Àlguema, y desemboca en la Muga aguas abajo de la ciudad de Figueres.
- La riera de Figueres desemboca en la Muga por su margen derecha, donde se reúnen la Muga con el Manol.
- El Llobregat de l'Empordà es el principal afluente por la margen izquierda y recoge las aguas procedentes de otros afluentes, entre ellos, el del Ricardell, del Merdanç, l'Orlina y la riera d'Anyet.

La zona aluvial situada en la comarca de l'Alt Empordà tiene dos cursos que drenan las precipitaciones de forma difusa y desembocan directamente en el mar. Estos son:

- Mugueta (o Rec Madral), que drena el agua pluvial y está conectado de forma indirecta por una obra hidráulica, aguas abajo del núcleo urbano de Castelló d'Empuries, con el objetivo de regular los excesos de precipitación.
- Rec de Molí de Fortià (o Rec Sirvent), que drena las aguas del sur de la zona aluvial de la Muga, desembocando directamente en el sistema de humedales (aiguamolls) que hay entre la Muga y el río Fluvià.

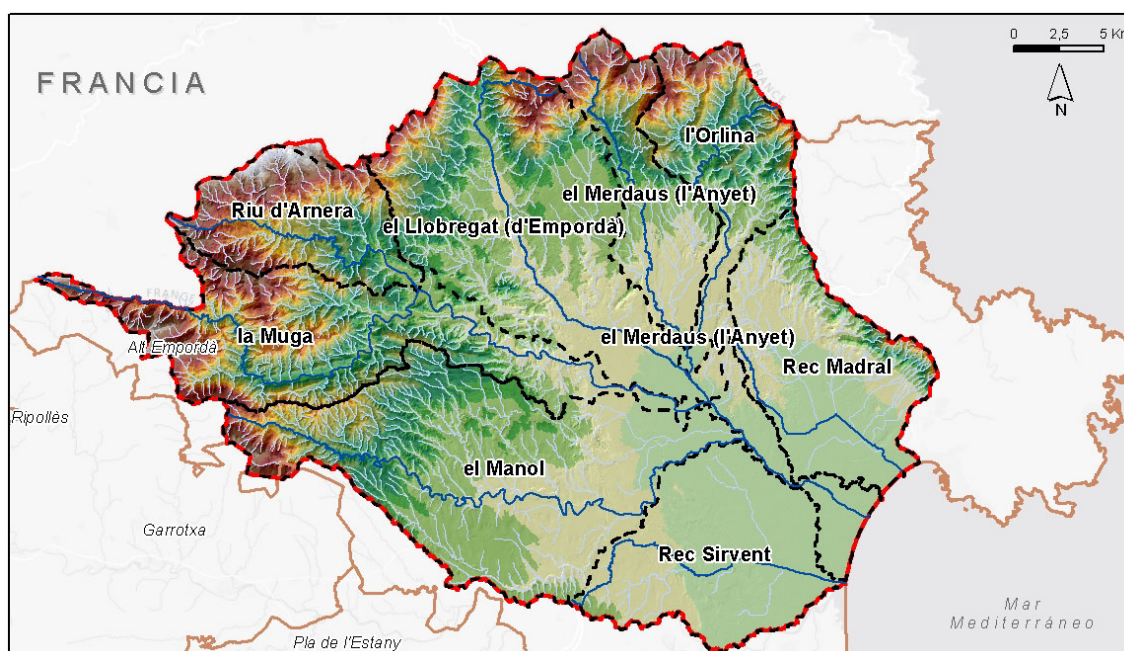


Figura 3.4. División de la cuenca de la Muga en las ocho subcuencas que forman parte de su espacio fluvial.

La descripción de la red fluvial dentro de la cuenca no debe ocultar que las divisiones de las subcuencas son las que determinan sus características geográficas y su gestión hídrica. En los planes hídricos anteriores, de gestión del espacio fluvial de la cuenca de la Muga, no se habían considerado como parte de ella las rieras o canalizaciones de la zona aluvial, de las subcuencas de Rec Sirvent y Rec Madral.

3.2. Diagnòsis territorial

El objetivo de este apartado es presentar un breve resumen de los aspectos más importantes desde el punto de vista físico y también social, que se dan en el área de estudio. Y que dan una visión geográfica al territorio.

3.2.1. Caracterización del entorno físico. Aspectos generales

Las características que presentan los diferentes elementos climáticos en la comarca de l'Alt Empordà, comunes a grandes rasgos con el resto de las tierras litorales de Cataluña, son las propias del clima mediterráneo. Este se define como un clima de transición entre los climas subtropicales secos y calurosos de latitudes más bajas y los climas más fríos y húmedos, de latitudes medias (Bayés et al., 2001).

El clima mediterráneo de la cuenca de la Muga está influido por la acción termorreguladora del mar. Las temperaturas del aire se suelen caracterizar por ser moderadas, con una media alrededor de los 15°C, con inviernos suaves o frescos y veranos bastantes calurosos. También se destaca por la presencia de periodos áridos en verano y una importante irregularidad en las precipitaciones (Pérez, 1982, Bayés, 2002, Salat et al., 2016).

A pesar de los rasgos característicos generales señalados, el clima mediterráneo presenta diferentes matices entre unas zonas y otras, sobre todo con relación al comportamiento de las temperaturas y las precipitaciones a lo largo del año. Estas variaciones son debidas principalmente a factores físicos como el relieve o la continentalidad.

El Alt Empordà se puede subdividir en diferentes zonas en función de los factores comentados. Por un lado, la franja de la costa, la llanura y las áreas de relieve de escasa altitud, que definen un clima seco sub-húmedo típicamente mediterráneo, caracterizado por unos periodos estivales muy secos y especialmente áridos en los meses de julio y agosto, y por inviernos suaves. Este clima propio de los sectores oriental y meridional de la comarca se va convirtiendo en más húmedo a medida que nos desplazamos a la zona interior y de montaña. Los espacios montañosos localizados en el sector occidental y

septentrional de la comarca se definen por tener un comportamiento climático de carácter fresco y húmedo, más propio de los climas templados de tendencia atlántica.

3.2.2. Orografía y geología

El Alt Empordà es un territorio marcado por su proximidad entre el mar y el Pirineo. Al norte está limitado por la barrera de los Pirineos donde se pueden distinguir dos áreas conocidas como la sierra de l'Albera y las montañas de les Salines. Con el nombre de sierra de l'Albera se conoce todo el macizo pirenaico más oriental. Mientras que desde el centro hasta el extremo noroccidental de la comarca del Alt Empordà recibe el nombre popular de montañas de les Salines, que le han dado el monte y el santuario de este mismo nombre sobre el municipio de Maçanet de Cabrenys. La utilización indiscriminada del nombre de l'Albera a todo el macizo y utilizando el plural de les Alberes, de forma general y extensivo es de alguna manera incorrecto.

La estructura de los Pirineos en la cabecera de la cuenca de la Muga son macizos granítico-esquistosos, con materiales paleozoicos afectados por plegamientos hercinianos y por la erosión, que han originado vertientes abruptas que contrastan con las cimas generalmente aplanadas.

El sector pirenaico de les Salines mantiene un aspecto de alta montaña. Donde se encuentra la roca de Frausa (1.446 m), que es el punto más alto de la comarca. Más al sur se extiende una compleja serie de sierras más bajas, pre-pirenaicas, de las Garrotxes d'Empordà, entre los profundos valles de los ríos de la cuenca de la Muga, que desde el Fau y el Bac-Grillera (1.060 m) bajan hacia la zona plana (Santa Magdalena, 527 m, Sant Baldiri, 480 m, sierras de los Avalls, 347 m, y de los Tramonts, 201 m, etc), hasta que las últimas colinas entran en contacto con la zona plana aluvial, en la línea de los municipios de Pont de Molins, Llers y Figueres.

La carena de la sierra de l'Albera se eleva hasta los 1.256 m, en el Puig Neulós, el punto más destacado. Su vertiente en territorio catalán está drenado por la red hidrográfica del lado izquierdo del curso medio del río Muga, con afluentes que originan fracturas transversales entre el relieve que va disminuyendo de altitud hasta la zona media. Como,

por ejemplo, el macizo del Montroig (296 m) y las sierras de Sentinella (320 m) y de Rocamalora (264 m), en el sector occidental. En la zona de levante del río Llobregat d'Empordà, especialmente, aparecen grandes superficies de erosión, en lugares donde predomina el gneis, la zona más extensa se localiza en el municipio de Cantallops. También forman parte de esta zona de relieve de transición la sierra de Cominera (320 m), las Serres (241 m) y Puig castellar, que enlazan con la franja de colinas dispersas o llamada 'els aspres'. Este tipo de zona tiene bastante amplitud y llega hasta los términos municipales de Cabanes, Peralada y Garriguella, donde entra en contacto con las tierras planas.

Hay que señalar que en la zona plana aluvial no existe, excepto en algunos sectores de la franja litoral, grandes espacios totalmente planos, ya que emergen pequeñas colinas esparcidas y pequeñas elevaciones eocénicas que lo convierten en un territorio ligeramente ondulado (Pavón, 2007).

'Els aspres' son los terrenos formados por ondulaciones que preceden las cadenas de montañas que rodean la llanura por el norte y noreste. Compuestos geológicamente por terminales paleozoicos o mesozoicos formados por hileras de colinas redondeadas y terrazas en proceso de erosión. La zona llamada 'terraprim' occidental se incluye en el ámbito de 'els aspres' por su relación de contacto con la zona aluvial de la llanura. Y están formados por colinas de origen paleógeno (margas eocénicas y depósitos pleistocénicos).

La zona de la llanura está formada por sedimentos de los ríos Muga y Fluvià que en época post-cuaternaria colmataron los grandes estuarios del plioceno limitados por los macizos montañosos. Con la formación de cordones de dunas entre Cap de Creus y la sierra de Montgrí se creó una gran albufera. Esta franja de arena más las colinas y pequeñas sierras que emergieron por toda la zona contribuyeron a acelerar el proceso de sedimentación y la formación de la llanura. Surgiendo una amplia zona de terrenos pantanosos y de marismas con una gran cantidad de estanques y lagunas litorales. Las pequeñas elevaciones eocénicas del territorio sirvieron para el establecimiento de los primitivos núcleos de población.

3.2.3. Paisajes y vegetación.

El paisaje en nuestra área de estudio se centra morfológicamente en una zona plana de hundimiento en la zona litoral que se encuentra enmarcada por un grupo de montañas que se van desplazando hacia el sur disminuyendo su altura en forma de escalones, y que forman un área paisajística definida como 'els aspres' para pasar a otro paisaje característico conocido como 'terraprim'. Por lo tanto, podríamos hablar básicamente de tres zonas importantes desde la cabecera, las sierras o macizos montañosos, a continuación, se pasa a 'els aspres' y zona de colinas aisladas conocido también como 'terraprim', para finalmente situarnos en la zona aluvial de la llanura.

Las montañas del norte presentan una zonificación altitudinal de carácter pirenaico. Por encima del alcornoque (surera, *Quercus súber*) y la encina (alzina, *Quercus ílex*) con durillo (marfull, *Viburnum tinus*). El encinar montano (alzinar muntanyenc, *Quercetum mediterraneo-montanum*) asciende hasta 600-700 m de altitud. En este nivel y más abajo en algunas umbrías, comienza la presencia de los robledos submediterráneos (roure martinenc, *Quercus pubescens*; roure de fulla gran, *Quercus petraea*). En la parte superior de las montañas, de 800 - 1.000 m por encima, la presencia de hayas (fagedes, *Fágus Silvática*) nos indica que se han quedado alejadas las condiciones del clima mediterráneo. Como estas montañas son de origen silíceo, presentan suelos ácidos, en los que se pueden encontrar castañeros (castanyedes, *Castanea sativa*), plantados antiguamente por el hombre. En las áreas donde el bosque se ha destruido, aparecen las landas atlánticas, como nos muestra la siguiente fotografía.



Fotografía 3. Aspecto de la comunidad vegetal en zona de montaña después de un episodio de incendio en la cuenca de la Muga.

Dentro del catálogo de paisaje de las Comarcas Gerundenses se definen los 'aspres' caracterizados por un relieve irregular y suave, con presencia de pequeñas colinas y altiplanos de suelos secos y poco profundos, a consecuencia del efecto del viento del norte más conocido como tramontana. Siendo la zona de transición entre la llanura ampurdanesa y los macizos de l'Albera y de les Salines. La vegetación potencial propia es el dominio del alcornoque (surera, *Quercus súber*) y en menor medida, por la encina (alzina, *Quercus ilex*). El dominio del alcornoque, se encuentra interrumpido por los territorios ocupados por la vegetación de ribera, en ambos márgenes de los cursos de agua más importantes, se extienden alisedas (vernedes, *Alnus glutinosa*) y los mosaicos formados por estas y otras comunidades riparias o de ribera.

En un tramo del río Muga a su paso por el término municipal de Sant Llorenç de la Muga, se realizan labores para favorecer este bosque de ribera muy sensible y con un alto interés de conservación, integrado por especies del tramo alto donde predominan las alisedas (vernedes, *Alnus glutinosa*) y los mosaicos formados por estas con fresnos (freixes, *Fraxinus angustifolia*) y sauces (salzes, *Salix alba*) y considerado hábitat prioritario para la directiva "Hábitats" de la Unión Europea (Directiva 92/43/CEE).



Fotografía 4. Bosque de ribera conservado en el río Muga a su paso por Sant Llorenç de la Muga.

La degradación de los márgenes del río en el tramo alto, se produce por la presencia cada vez mayor de especies de jardinería como el plátano (plàtan, *Platanus x hybrida*), o de especies exóticas invasoras como son la falsa acacia o robinia (robínia, *Robínia pseudo-acácia*) y la caña (canya, *Arundo donax*). Al mismo tiempo, han ido apareciendo en los últimos años especies arbóreas de rápido crecimiento típicas de ribera, pero propias de lechos más amplios y de tramos más bajos del río, como son el álamo blanco (àlber, *Pópulus alba*) o el álamo negro (pollancre, *Pópulus nigra*). Todas estas especies han estado sustituyendo la vegetación característica con las repercusiones ambientales y ecológicas que supone.



Fotografía 5. Tramo del lecho del río Muga a su paso por el municipio de Sant Llorenç de la Muga con especies invasoras.

El 'terraprim' ampurdanés es una zona de paisajes uniformes con pequeñas colinas y valles fluviales que engloba el espacio de transición hacia la zona aluvial y de costa. Se trata de un paisaje de mosaico principalmente agrícola donde se pueden encontrar bosques de encinas (alzina, *Quercus ilex*) y pinos, una gran red fluvial y grandes extensiones de campos de cultivo. En medio de este territorio se encuentran pequeños pueblos con un fuerte carácter agrícola que se sitúan encima de estas elevaciones del relieve tan características (Pavón, 2007, Bayés, 2002, Torres-Bagur et al., 2020).

La llanura ampurdanesa corresponde a la zona de la encina con durillo (marfull, *Viburnum tinus*). Los restos del bosque de encinas más o menos bien conservados, con su acompañamiento de arbustos, lianas y plantas herbáceas son todavía frecuentes. Pero las tierras planas actualmente, en su mayoría, están dedicadas al cultivo, sobretodo de cereales de invierno. En medio de los campos son frecuentes los claros de vegetación silvestre, principalmente el bosque de pino blanco (pi blanc, *Pinus halepensis*) que a

menudo cubre coscojas (garric, *Quercus coccífera*) o arbustos de romero (romaní, *Rosmarinus officinalis*) y brezo de invierno (bruc d'hivern, *Erica multiflora*). Una gran parte de las tierras cubiertas de setos o arbustos debían haber sido robledos o olmedas en tiempos antiguos; robledos en las vertientes umbrías al norte y frescas y olmedas en las tierras más húmedas.

Hacia el mar la zona es más húmeda y aparece la vegetación propia de marismas y humedales (aiguamolls). Se trata de un terreno impermeable y plano con vegetación predominantemente herbácea. Sin embargo, a veces con la presencia de plantas leñosas de altura reducida como el tamarisco (tamariu, *Tamarix gallica*).

La acción humana, desde tiempos históricos, además de la acción natural, ha contribuido a los grandes cambios del paisaje de la llanura. Desde la edad media hasta el siglo pasado se han producido una serie de acciones que han transformado el paisaje, a favor de la ocupación del hombre, como la desecación de estanques y zonas de humedales con la creación de espacios de pastos y cultivos, desviaciones de ríos, canalizaciones, etc.

La palabra 'aiguamoll' era una palabra en desuso hasta que el 'Grupo de Defensa dels Aiguamolls Empordanesos' la rescató para utilizarla en su campaña "Els últims aiguamolls de l'Empordà en perill" el año 1976, para concienciar de su desaparición a raíz de un proyecto urbanístico de construcción que pretendía ocupar una extensión de 525 ha entre el río Muga y el Fluvià.

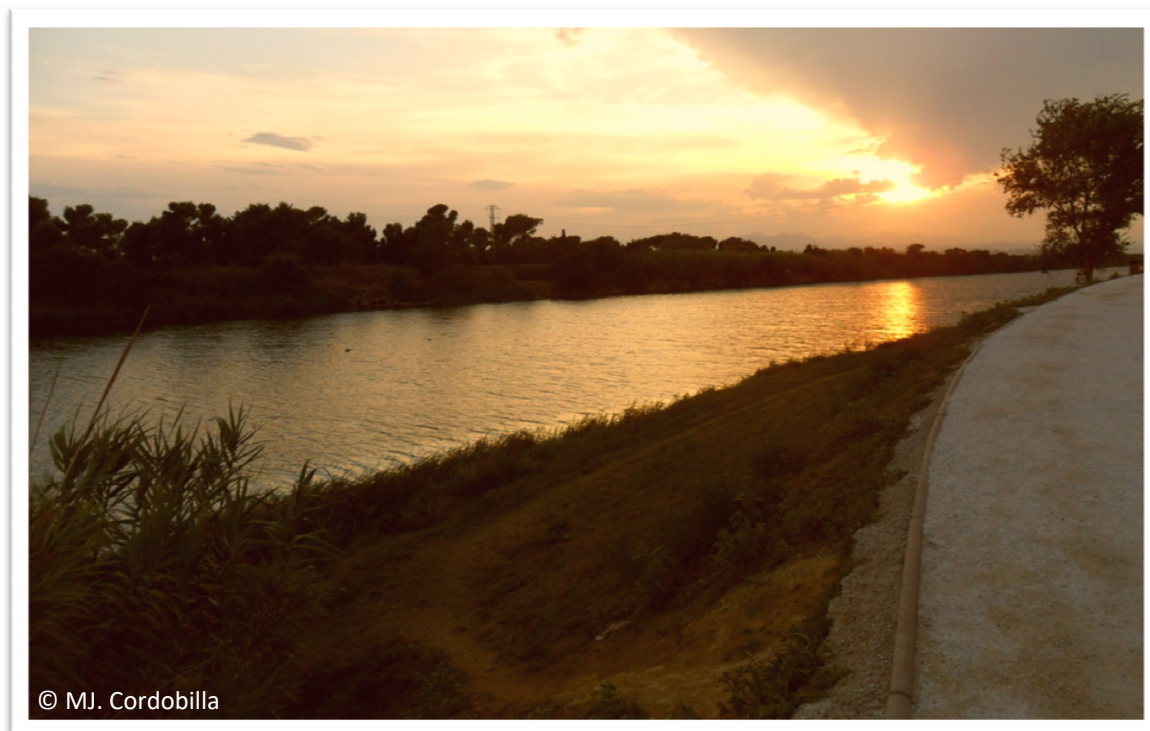
En abril de 1982 las asociaciones naturalistas presentaron un proyecto de ley de protección de los 'aiguamolls' a los grupos parlamentarios. Y finalmente, el 13 de octubre de 1983 el Parlamento de Cataluña aprobaba por unanimidad la ley que declara los 'aiguamolls' del Empordà parajes naturales de interés nacional y reservas zoológicas y botánicas. No obstante, esta ley solo declara protegida una parte de los 'aiguamolls' ampurdaneses, aquellos que se encuentran en la desembocadura del río Muga y Fluvià en la comarca del Alt Empordà, y omite desprotegiendo los paisajes de las zonas húmedas del río Ter y del Daró en la comarca del Baix Empordà.

La cartografía de hàbitats de Catalunya sirve para la valoración del componente biológico y tratarlo de una forma homogénea en el territorio (Marull et al. 2005).

3.2.4. Hidrología e hidrogeología

La Muga, conocida como Sambuca en documentos medievales, se convirtió en sa Muga. Drena el sector septentrional de la comarca del Alt Empordà, y su cuenca hidrogràfica ocupa pràcticamente casi toda la comarca. La Muga, un nombre femenino para un río de género masculino, y que significa frontera, entre dos estados, entre dos condados y frontera entre dos regiones (Negre, 1946).

Nace en los Pirineos, en el Pla de la Muga a 1.115 metros de altitud, en el límite con la zona de Vallespir al sur de Francia. Desde la zona del Hostal de la Muga, el río marca la línea divisoria con Francia, en el límite de Vallespir, durante unos 5,5 km. El tramo alto del río discurre encajado entre profundos valles pre-pirenaicos en terrenos calcàreos donde presenta grandes desniveles. Después de Albanyà y Sant Llorenç de la Muga, cuando su valle se amplia, entra en el estrecho paso llamado 'la Muga Torta', un desfiladero cerca de Darnius y Boadella, donde se ha construido el pantano de Boadella, para regular las avenidas que producen frecuentes inundaciones en la llanura. En el municipio de Pont de Molins, el río de la Muga entra en la llanura del Alt Empordà, que atraviesa desviándose un poco hacia el sureste hasta desembocar en el golfo de Roses, en la playa de Castelló d'Empúries.



Fotografía 6. Tramo final de la Muga canalizado antes de desembocar en el golfo de Roses.

En la edad media, se desvió su tramo final que desembocaba más al norte, muy cerca del municipio de Roses, en el llamado 'grau de la Muga'. Con el objetivo de desecar los estanques de Castelló d'Empúries, Pau y Palau-Savardera que actuaban como gran estuario de la Muga. El antiguo brazo es el conocido como la Mugueta. Desde la zona del municipio de Castelló d'Empúries hasta el mar el río se encuentra canalizado.

El caudal medio del río en su desembocadura es de $8 \text{ m}^3/\text{s}$, aunque su régimen es principalmente pluvial tiene una ligera influencia nival. El régimen hidrológico es variable presentando un máximo de caudal en febrero y un mínimo en diciembre. Este comportamiento está relacionado con las aportaciones naturales de precipitación y de las demandas o necesidades hídricas de la población.

La red hídrica de la cuenca es compleja, sobretodo en su margen izquierda, donde el Llobregat del Empordà, tan caudaloso como la Muga, que se une cerca de Peralada y aporta su caudal además del que recoge del Ricardell, la Orlina, el Anyet, la riera de Torrelles y otros menos importantes. El Manol es el más importante por el margen derecho de la Muga y recoge principalmente las aguas de la riera de Àlguema y del Rissec.

El origen aluvial de la llanura o 'plana empordanesa' ha hecho que el agua de las capas subterráneas haya sido tradicionalmente muy abundante, sobre todo en las zonas de hondonadas y también en zonas húmedas donde también hay superficial. Pero también se ha dispuesto de agua suficiente en algunas zonas de los 'aspres' en la montaña media. La explotación de las aguas freáticas se ha producido para el suministro de agua a la población y para las actividades agrarias, antiguamente mediante pozos. En los últimos tiempos el aumento de la explotación de los acuíferos, las necesidades crecientes de agua y, probablemente un uso inadecuado explica que los caudales de agua potable hayan sido insuficientes en una veintena de municipios en la zona de los aspres y la montaña. En verano, algunas de estas poblaciones se han tenido que acoger a los planes de alerta roja de la administración por falta de suministro de agua. Otros lugares como Cadaqués, y algún otro núcleo urbano del litoral, se añaden a la problemática cuando su población estacional aumenta de forma significativa.

En España existe una gran tradición en la construcción de presas, para poder gestionar el agua y las precipitaciones estacionales, para el abastecimiento de la población. Actualmente, siguen en uso presas construidas en época romana, es el caso de las de Cornalbo y Proserpina que se construyeron el siglo I y abastecían a la ciudad de Mérida (Badajoz). Actualmente, se encuentran en servicio más de un millar de presas con las que se consigue una capacidad de almacenamiento total superior a los 60.000 hm³. En Cataluña, dentro del dominio de las cuencas internas, los embalses con una capacidad superior a 2 hm³ son en total 9: Darnius-Boadella (Darnius), Sau (Vilanova de Sau), Susqueda (Osor), la Baells (Cercs), la Llosa del Cavall (Navès), Sant Ponç (Clariana de Cardener), Foix (Castellet i la Gornal), Siurana (Cornudella de Montsant) y Riudecanyes. Con una capacidad total de 694,45 hm³, que representan un poco más del 1% del total global estatal.

El embalse de Darnius Boadella situado en la cuenca de la Muga, con una capacidad total de 61,10 hm³, es el quinto dentro de las cuencas internas por capacidad máxima de embalse, tal como se observa en el siguiente gráfico.

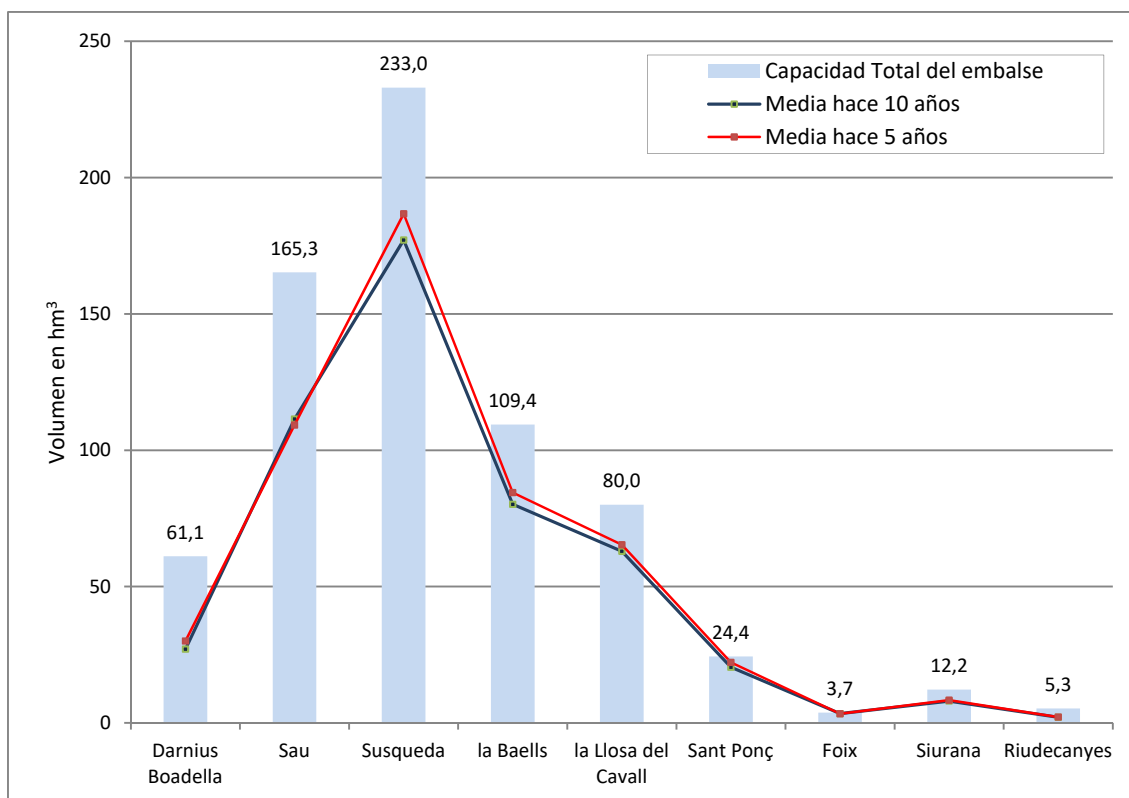


Figura 3.5. Representación de los embalses de las cuencas internas de Cataluña superiores a 2 hm³, capacidad total y valor medio embalsado hace 5 y 10 años, a finales de agosto. Fuente: ACA.

En la siguiente tabla, se recogen los datos de agua embalsada y que en el mes de agosto no son muy elevados, debido al aumento también de la demanda en la época estival (Ventura et al., 2000).

Embalse	Capacidad Máxima	Estado actual		Estado hace 1 año		Media en la misma fecha, hace:	
	hm ³	hm ³	%	hm ³	%	5 años hm ³	10 años hm ³
Darnius-Boadella (Darnius)	61,10	23,84	39,02	34,60	56,62	30,04	27,05

Tabla 3.1. Estado del embalse de la cuenca de la Muga, a 31/08/2016. Fuente: ACA.

La presa de Boadella fue construida entre 1959 y 1969, bajo la tipología de gravedad, y con una superficie de 363,3 ha y una altura de 60 metros desde el lecho del pantano.



Fotografía 7. Vista panorámica de la presa de Boadella y del embalse Darnius-Boadella.

El embalse de Boadella, centrandonos en su localización geográfica, a pesar de su nombre histórico, se ubica al sur del municipio de Darnius y una gran parte de su superficie se incluye en el mismo término. De los 3,6 km² de superficie que ocupa la lamina de agua cuando el nivel es máximo, cerca del 90% se encuentra en Darnius, y el resto del 10% entre el sector oriental de Sant Llorenç de la Muga, y de forma residual en Terrades y Maçanet de Cabrenys. Por esta razón, y después de mucho tiempo de debates en medios locales y comarcales, en 1981 el Ayuntamiento de Darnius a través de su pleno municipal solicitó a los organismos competentes que pasara a llamarse "pantano de Darnius". Insistiendo logró en diciembre de 2013 una primera aprobación por la Comisión de Toponimia y tras alegaciones en contra de Boadella se paralizó el cambio. Finalmente, se ha adoptado el nombre de "Darnius-Boadella" que fue aprobado por el Consejo Ejecutivo el 10 de febrero de 2015, y su uso como referencia para la edición de cartografía, rotulación, guías y otras publicaciones o productos informativos.

El embalse Darnius-Boadella fue construido para cumplir tres funciones:

1. Garantizar el abastecimiento de agua en el marco de una demanda creciente. Tanto para usos agrarios y urbanos, en primer lugar, y después para el abastecimiento turístico.
2. Prevenir los efectos de las avenidas ocasionadas por el río la Muga (popularmente conocidas como 'mugades', la última importante que favoreció el desarrollo de la construcción fue en octubre de 1940).
3. Producir energía eléctrica.

El volumen del agua embalsado sufre un importante descenso durante los meses de verano por el aumento de la demanda. Esta demanda proviene tanto de agua potable para consumo como para la agricultura, el aumento de la población estacional en la época de verano aumenta esa demanda temporal. Un aumento de la demanda y que va relacionada con la disminución de la frecuencia y cantidad de precipitaciones, y por tanto de aportaciones (Torres-Bagur et al., 2020).

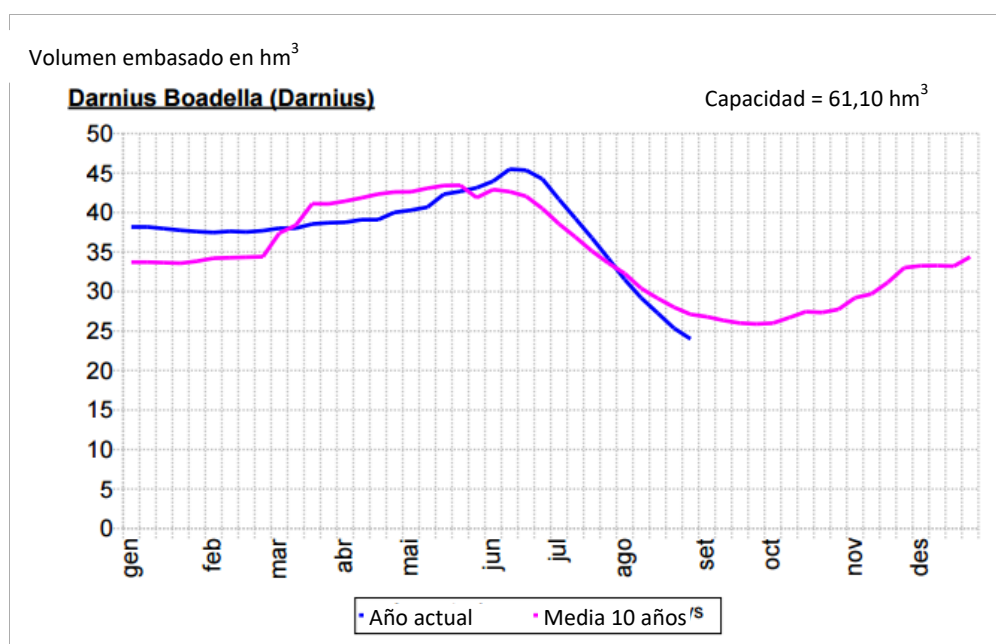


Figura 3.5. Gráfico del estado del embalse de la cuenca de la Muga, el 29/08/2016 y de media en los últimos 10 años. Fuente: ACA. (<https://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca/>)

Tal como se observa en el gráfico anterior, la pendiente de la demanda y descenso de reservas, de media de hace diez años, no era tan pronunciada como la que se produce en la actualidad y con un mayor volumen de gasto de agua.

3.3. Caracterización del entorno social. Aspectos generales

La zona del Alt Empordà y sus características físicas y de situación, como zona plana cerca del mar, y próxima a los collados de las cimas más bajas y accesibles del Pirineo, le han convertido en un territorio de paso, de tránsito fácil, casi obligado. Y le han conferido unas características al territorio especiales que ha desarrollado su principal actividad económica dentro del sector de los servicios, con más de un 65% de su población ocupada. Pero el sector de la agricultura y ganadería también es muy relevante dentro de sus rentas. Ambos sectores son dependientes de las condiciones climáticas, de la disponibilidad de agua y de los efectos de los episodios hidrometeorológicos extraordinarios.

Se han creado índices con el fin de valorar la matriz territorial y ayudar en la planificación y gestión del riesgo, con su idoneidad para usos concretos o su vulnerabilidad (Iglesias et al. 2007; Marull et al. 2007).

3.3.1. Organización territorial

La zona de l'Alt Empordà espacio territorial ocupado en su mayoría por la cuenca de la Muga tiene una capital destacada en la ciudad de Figueres. Esta ciudad mantiene su condición de centro neuralgico de la comarca a pesar de la transformación urbana con un importante crecimiento de los núcleos de población de la costa con el turismo y las segundas residencias.

Las particularidades morfológicas del territorio, centrado por la llanura abierta al mar y bordeado de montañas y de sierras de poca elevación, con muy pocas poblaciones sin un contacto fácil y directo con esta zona central, la ha mantenido como punto central de comunicación con el resto de la comarca.

3.3.2. Población y distribución

La distribución de la población en la comarca del Alt Empordà es una continuidad de los primeros asentamientos de la época medieval, a pesar de las transformaciones y evolución posterior. Se pueden distinguir tres sectores: la zona de la llanura, la montaña y el litoral.

La llanura, era un espacio de fácil tránsito y abierto a los peligros del mar, con zonas húmedas y marismas, se caracteriza por núcleos de población agrupada, básicamente agrarios, que surgían alrededor de la parroquia, y a veces del castillo, generalmente sobre colinas o pequeñas eminencias del terreno. En las zonas de montaña y de las sierras adyacentes el poblamiento era disperso, con masías diseminadas por valles y replanos, de base económica principalmente forestal y ganadera. La población relacionada con el mar, excepto en algunos casos especiales, vivía oculta, un poco apartada de la costa por los problemas de piratería. Cuando esta situación desapareció volvieron a ocupar antiguos asentamientos y surgieron las poblaciones de pescadores en la costa.

3.3.3 Tendencias demográficas

Desde 1960, el crecimiento de la población ha sido constante, la principal causa fue la llegada de la inmigración procedente del resto de España, sobretodo de Andalucía. El crecimiento vegetativo de la población que había sido muy bajo, cambio con la integración de los nuevos habitantes, a partir de 1976. La población aumentó un 35% el año 2001 respecto 1951. Y se sitúa, actualmente, por encima de los 100.000 habitantes en la comarca. El turismo y el número elevado de segundas residencias provoca también un aumento de la población estacional y sus demandas de consumo (Torres-Bagur et al., 2020).

Dentro de la cuenca de la Muga, se encuentran con una densidad de población muy elevada los municipios de Figueres (2349,5 Hab./km²), Vilafant (663 Hab./km²), Vilabertran (393,9 Hab/km²) y Castello d'Empúries (257 Hab/km²),

El aumento de la población supone un aumento de la urbanización, y de la intervención antrópica en el territorio. Así como un aumento del consumo de agua y de la demanda, que hace perder una sostenibilidad frágil con el sistema natural e hidrológico de la zona. La tendencia de concentración de la población y el aumento de la densidad de población en unas áreas concretas de conexión fluvial provocan, así mismo, el incremento de su vulnerabilidad (Ventura et al., 2000).

Capítulo 4

ANÁLISIS Y RESULTADOS

4. Análisis y resultados

4.1. Presentación de resultados

La mayoría de los resultados que se han obtenido, en tablas o gráficos, se han adjuntado en la parte final del trabajo, para favorecer una lectura general continua sin sobrecargarla de información gráfica. No obstante, se presentan en el cuerpo del texto los datos globales y aquellos obtenidos individualmente de las estaciones en donde tienen un valor estadístico más significativo, para entender los análisis y, posteriormente, explicar los resultados generales obtenidos. Los valores finales alcanzados en las otras estaciones ubicadas en el área de estudio, recopilados y mostrados en los anexos, permiten observar y entender el comportamiento individual con un mayor grado de detalle, además de suministrar otros datos de interés pero que no se han incluido en la redacción principal.

4.2. Análisis y características climáticas

Como es sabido, existen dos métodos de estudio climático básicos: el método analítico y estático y el método sinóptico o dinámico. La elección de cada uno viene condicionada por el fin perseguido en la investigación.

El método dinámico trata de explicar el clima a través de los procesos que se producen en la atmósfera y, en concreto en la troposfera, estudiando las situaciones sinópticas que se desencadenan y sus efectos en relación con los distintos elementos climáticos.

El método analítico no busca la explicación dinámica o genética en sí, sino la explicación espacial y comparativa del clima de un lugar concreto, eso quiere decir hacer un análisis climático de las diferentes variables a nivel del suelo y buscar sus causas.

No obstante, en la mayoría de los casos, para definir un clima, es necesario aplicar conjuntamente ambos métodos. En este trabajo se utiliza principalmente el método

analítico para el análisis de las variables climáticas. Sin embargo, en el análisis y estudio de los casos extremos se aplica el método dinámico, a través de la utilización de la clasificación sinóptica objetiva de Jenkinson y Collison (1977).

Dentro de los subapartados se han tratado y analizado en profundidad los datos de precipitación, a diferentes escalas temporales (anual, mensual y diaria) en el periodo de estudio (1971-2010) y en los subperiodos de 1970-1990 y 1991-2010, y su relación espacial dentro de la cuenca. Así mismo, se ha tratado la relación de los valores mensuales del índice de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMOi) con los valores de precipitación y de los episodios torrenciales detectados en la serie temporal analizada.

En el capítulo 2, ya se comentó la importancia de la homogeneidad y la longitud de las series climáticas analizadas y las recomendaciones de la OMM al respecto. Por esta razón, cualquier variabilidad provocada de forma artificial ha quedado eliminada por el proceso previo de homogeneización de las series de datos, por lo que solo se deben detectar los cambios en el comportamiento atmosférico. A través del uso de la prueba de Mann-Kendall, detallado en el apartado de procesos metodológicos en el capítulo 2, se pretende detectar los cambios temporales significativos de las series temporales analizadas.

Antes de iniciar el análisis individual se analiza la longitud de las series de las variables y si son representativas en función de sus características estadísticas.

En la tabla siguiente, se ha calculado de una forma objetiva el número de años necesarios (n) para obtener una media climáticamente significativa en función de los datos de partida (Martín-Vide, 2002). Cuando se trata de precipitación este dato es muy importante dada la gran variabilidad espacial y temporal que presenta esta variable.

Tabla 4.1. Estaciones meteorológicas y periodo de años óptimo para obtener media climática. Se calculan los años de las variables de precipitación (n Precip), de temperatura máxima (n Tmax), temperatura mínima (n Tmin) y temperatura media (n Tmed).

IDc	Localización	Periodo	Años	n Precip	n Tmax	n Tmin	n Tmed
1C	Albanyà	1971-2010	40	24	3	51	4
2C	Maçanet de Cabrenys	1971-2010	40	23	3	43	4

IDc	Localización	Periodo	Años	n Precip	n Tmax	n Tmin	n Tmed
3C	Cabanelles	1971-2010	40	24	3	24	3
4C	Agullana	1971-2010	40	27	4	32	3
5C	Llers	1971-2010	40	32	4	22	3
6C	Espolla	1971-2010	40	28	5	36	4
7C	Peralada	1971-2010	40	42	4	22	3
8C	Vilamacolum	1971-2010	40	46	5	17	3
9C	Figueres	1971-2010	40	33	1	15	-
1L	Pontós	1971-2010	40	35	4	16	3
2L	Port de la Selva	1971-2010	40	43	6	25	4
1E	Exterior	1971-2010	40	33	4	150	7
2E	Exterior	1971-2010	40	23	3	48	4
3E	Exterior	1971-2010	40	27	3	39	4
4E	Exterior	1971-2010	40	30	4	41	4
5E	Portbou	1971-2010	40	36	5	33	4
6E	Exterior	1971-2010	40	55	6	24	5
7E	Exterior	1971-2010	40	33	6	22	4
8E	Albons	1971-2010	40	47	6	13	4
9E	Sant Jordi Desvalls	1971-2010	40	38	5	12	3
10E	Esponella	1971-2010	40	29	3	15	2
11E	Montagut	1971-2010	40	23	2	22	2
12E	Mieres	1971-2010	40	24	2	15	2
13E	Cadaqués	1971-2010	40	39	-	-	-

Las estaciones que presentan unos datos más dispersos respecto a la media necesitan una serie más larga.

El periodo de años total previo para la variable de temperatura media y temperatura máxima son correctos. En cambio, con los datos de precipitación y de temperatura mínima las series no son siempre lo suficientemente largas y significativas con relación al comportamiento de los valores en la serie, en relación con su desviación tipo (s) y media (\bar{x}).

En la siguiente figura, se pueden observar dos mapas donde se han representado las estaciones en función del valor de sus series, a la izquierda la variable de precipitación y a la derecha la de temperatura mínima.

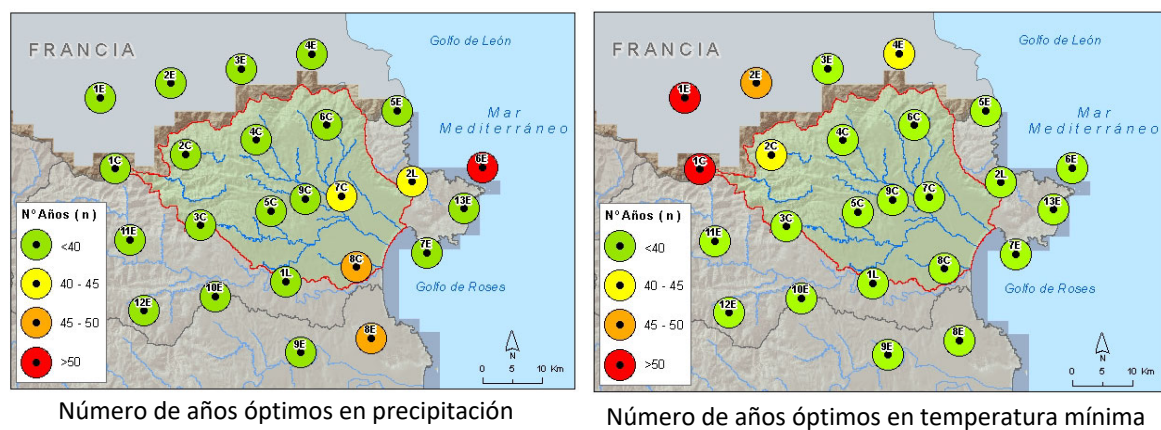


Figura 4.1. Estaciones meteorológicas clasificadas con el periodo de años óptimo para obtener una media climática.

En el caso de los datos de precipitación, la longitud de la serie temporal optima no se alcanza en la estación de Vilamacolum, ubicada en el sector final de la cuenca, y tampoco en la estación situada cerca de la costa en Albons. Para ambas, se estima en más de cinco años los datos por encima del periodo de estudio. Otras estaciones en el mismo tramo final de la de la cuenca, Peralada y Port de la Selva, un poco más alejadas de la costa, presentan una falta de datos con un máximo de tres años. En el caso de las temperaturas mínimas, las estaciones que no cumplen con el número óptimo de años se localizan en zonas montañosas ubicadas por encima de los 570 metros, donde los valores de temperatura que se alcanzan son negativos una parte estimable del año.

4.3. Las precipitaciones

El elemento climático que de manera más directa influye en la configuración del medio natural, junto con las temperaturas, son las precipitaciones. Su ritmo temporal y su distribución espacial condicionan la agricultura y la distribución de las principales especies vegetales y animales. Sin olvidar su influencia de manera directa en la economía y mantenimiento de nuestras sociedades.

El estudio de la variable precipitación se ha querido hacer desde el campo de la Geografía, tratando su variabilidad espacial y sus características climáticas. Para ello es necesario el tratamiento de la pluviometría mensual y anual, así como, también, de la estacional, como marco y conocimiento de la precipitación en el territorio estudiado.

Los valores medios obtenidos en las diferentes unidades de tiempo y los datos sobre la variabilidad de las cantidades de partida son del máximo interés geográfico. Esta información servirá para enmarcar y relacionar algunas de las características de la precipitación en nuestra área de estudio, de forma espacial y temporal.

4.3.1. Las precipitaciones medias anuales. Distribución espacial

Mediante la suma de las medias mensuales, hemos obtenido las medias anuales para el periodo de estudio. Como ya se ha comentado anteriormente, las series mensuales de precipitación están completas, y eso ha permitido tener también la serie de totales anuales íntegra para el periodo 1971-2010.

La variabilidad de este hidrometeoro es el rasgo que mejor define a este elemento climático y obtiene una singular importancia en climas de transición, como es el mediterráneo. Estas variaciones son tanto espaciales como temporales, relacionadas con la dinámica general de la atmósfera, que marcarán el régimen pluviométrico anual y las oscilaciones interanuales, y con la topografía y el relieve, que provocan diferencias en la distribución espacial de la precipitación, en ocasiones muy marcadas.

La cuenca de la Muga, localizada en el extremo más nororiental de Cataluña, dentro de la comarca del Alt Empordà, presenta unas características propias determinadas por sus características orográficas y el efecto de los vientos dominantes presentes en esta área,

del noroeste o norte, conocido como la tramontana. Un viento frío y turbulento que aprovecha el sector del norte de los Pirineos y el suroeste del Macizo Central en Francia, como zona de aceleración, y puede generar varios días seguidos rachas máximas superiores a los 200 km/h.

Finalmente, también la localización geográfica de la cuenca de la Muga, entre las latitudes $42^{\circ}30'0''$ y $42^{\circ}10'0''$ en el hemisferio norte, que desemboca en el mar Mediterráneo, determinan su ubicación bajo los efectos y características de un clima mediterráneo que no es pluviométricamente el típico. Aun estando el área de estudio en la costa occidental de la masa continental euroasiática, el mar más próximo, el Mediterráneo, se localiza al este, lo que da lugar a unas características pluviométricas algo singulares en el marco del clima mediterráneo.

En el siguiente mapa, se muestra la información orográfica que caracteriza nuestra área de estudio y compartimenta la red fluvial de la cuenca de la Muga, junto a la representación de las líneas divisorias de aguas de las subcuencas interiores que se pueden definir dentro de la cuenca de la Muga y la distribución de las estaciones climáticas analizadas en este estudio.

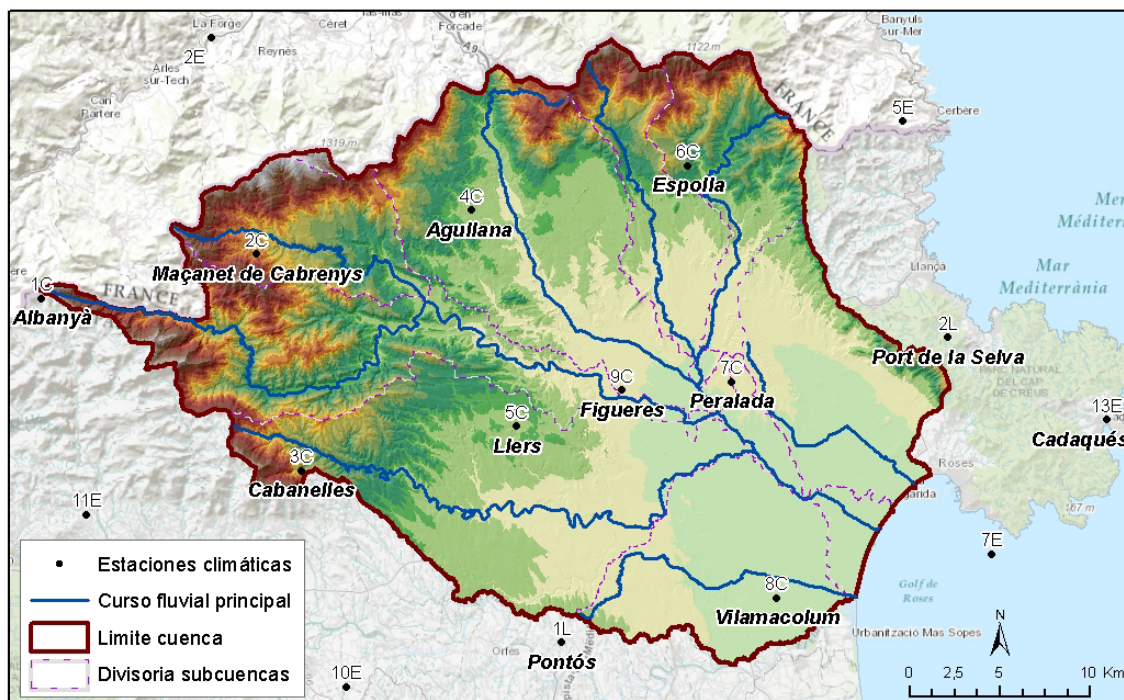


Figura 4.2. Mapa orográfico y de la red fluvial principal del área de estudio con las líneas de divisorias de aguas de las subcuencas interiores y la ubicación de las estaciones climáticas analizadas.

Se han analizado los 24 puntos con series de datos de precipitación ubicados en el área de estudio y sus alrededores, para obtener las precipitaciones medias mensuales, el régimen estacional y las medias anuales, en el periodo 1971-2010.

A continuación, se presentan, en una tabla, las cantidades medias anuales de precipitación (mm), de las estaciones principales en el área de estudio.

IDc	Localización	Periodo	Precipitación anual (mm)
1C	Albanyà	1971-2010	1039,3
2C	Maçanet de Cabrenys	1971-2010	1017,5
3C	Cabanelles	1971-2010	962,8
4C	Agullana	1971-2010	912,9
5C	Llers	1971-2010	836,5
6C	Espolla	1971-2010	899,4
7C	Peralada	1971-2010	749,1
8C	Vilamacolum	1971-2010	712,2
9C	Figueres	1971-2010	671,6
1L	Pontós	1971-2010	794,9
2L	Port de la Selva	1971-2010	757,7

Tabla 4.2. Valores de precipitación media anual de las estaciones en el área de la cuenca de la Muga (1971-2010).

En el mapa siguiente se ha representado cartográficamente la distribución espacial de la precipitación media anual en la cuenca de la Muga. Se puede observar de forma general la disminución de la precipitación media anual de norte a sur y desde el área interior a la zona de costa.

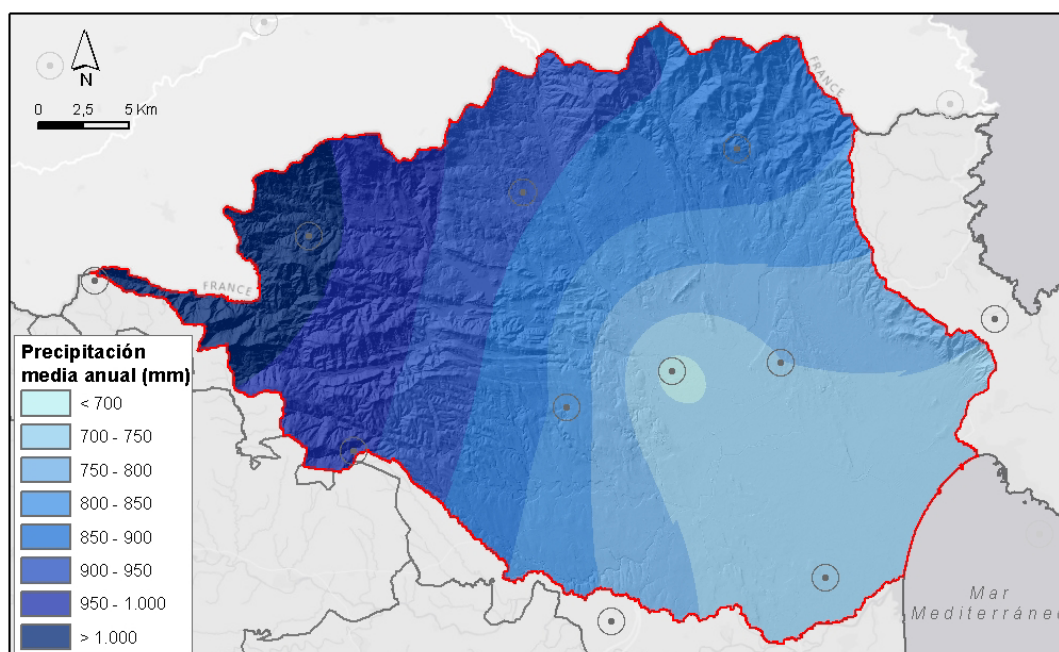


Figura 4.3. Distribución de la precipitación media anual en la cuenca de la Muga (1971-2010).

El sector que concentra los valores más altos de precipitación media anual se encuentra en la zona noroeste de la cabecera de la cuenca. Las estaciones de Albanyà (1C), Maçanet de Cabrenys (2C) y Cabanelles (3C) presentan totales medios anuales por encima de los 950 mm. En el sector intermedio de la cuenca, geográfico y altitudinal, y con valores por encima de los 800 mm, estarían las estaciones de Agullana (4C), Llers (5C) y Espolla (6C). Finalmente, hay un descenso gradual de los valores a medida que nos acercamos a la zona de la costa. Destaca un mínimo en la región de Figueres (9C) y alrededores para volver a aumentar ligeramente hasta la costa en la zona de los Aiguamolls de l'Empordà, en las estaciones de Peralada (7C) y Vilamacolum (8C).

Las diferencias de precipitación media anual que se pueden encontrar en la cuenca, para la serie temporal estudiada, se sitúan alrededor de los 350 mm, entre los puntos de registro máximo y mínimo, entre Albanyà y Figueres. Una diferencia absoluta considerable, como la precipitación media anual del sudeste peninsular en ámbitos extremos dentro del clima mediterráneo. Sin embargo, el promedio recogido de precipitación dentro de la cuenca de la Muga, en el período de 1971-2010, como se muestra en la tabla siguiente, se sitúa por encima de los 800 mm. Un valor que se encontraría por encima de la barrera de los 600 mm que se utiliza para distinguir entre la España húmeda y la seca.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
70,3	54,6	59,2	85,8	95,3	62,1	48,0	58,3	75,2	97,8	71,0	69,9	847,4

Tabla 4.3. Valores medios de precipitación media mensual, en milímetros, en la cuenca de la Muga (1971-2010).

La pluviometría media anual en los observatorios analizados marca una relación con la orografía. Tal como muestra el siguiente gráfico, el comportamiento de la precipitación aumenta hacia las cotas más altas, disminuyendo desde la zona de cabecera de la cuenca hacia la zona plana de la desembocadura fluvial.

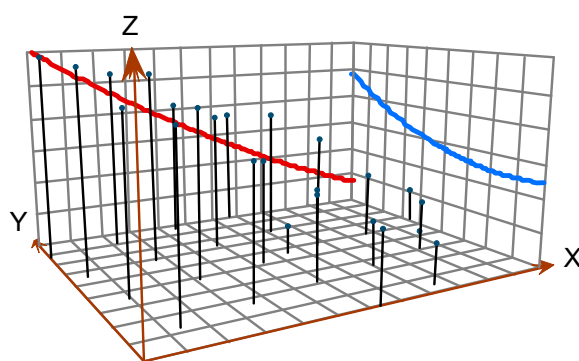


Figura 4.4. Diagrama de comportamiento de la precipitación media anual para el área de estudio (1971-2010).

Esta valoración de las medias anuales de precipitación se debe ampliar con el análisis de otros valores estadísticos calculados, para tener una visión más precisa del comportamiento interanual irregular de los valores pluviométricos, propios del carácter mediterráneo del clima.

IDc	Localización	Periodo	Precip. Máxima anual	Precip. Mínima anual	Amplitud
1C	Albanyà	1971-2010	1897,7	705,1	1192,5
2C	Maçanet de Cabrenys	1971-2010	1881,2	636,1	1245,1
3C	Cabanelles	1971-2010	1760,3	576,5	1183,8
4C	Agullana	1971-2010	1811,6	485,0	1326,6
5C	Llers	1971-2010	1769,7	423,0	1346,7
6C	Espolla	1971-2010	1868,6	470,8	1397,8
7C	Peralada	1971-2010	1803,4	329,8	1473,6
8C	Vilamacolum	1971-2010	1774,7	314,0	1460,7
9C	Figuères	1971-2010	1282,7	331,4	951,3
1L	Pontós	1971-2010	1742,2	401,8	1340,4
2L	Port de la Selva	1971-2010	1855,5	334,9	1520,6

Tabla 4.4. Valores de amplitud o rango de la precipitación anual de las estaciones principales, en el área de la cuenca de la Muga, en el periodo 1971-2010.

Los valores medios anuales dan una visión global de la precipitación media recibida, pero ocultan los valores extremos presentes en la serie. Tal como nos muestra la tabla anterior, los valores máximos y mínimos recogidos presentan valores muy dispersos en el conjunto del área de estudio. Así mismo, el rango pluviométrico o amplitud anual, como la diferencia entre los valores extremos, muestran una diferencia de más de 1.450 mm en las estaciones de Peralada (7C), Vilamacolum (8C) y Port de la Selva (2L) localizadas cerca de la costa y más expuestas a los flujos, húmedos o secos, provenientes del mar

Mediterráneo. En las zonas de la cabecera de la cuenca también encontramos un rango superior a los 1.150 mm. Se pueden recoger valores máximos propios de climas más húmedos o mínimos de climas semiáridos, con valores menores a los 400 mm anuales algún año. Esto demuestra que los valores esperados y los recibidos pueden presentar grandes oscilaciones, como ocurre en el ámbito mediterráneo.

Para precisar la variabilidad de la precipitación anual, en el periodo de estudio con relación a su distribución espacial, se han analizado a través del coeficiente de variación (CV), que se ha calculado para todas las estaciones. Esta medida de la dispersión se expresa como coeficiente de la desviación tipo y la media, multiplicado por cien. Se pueden ver los detalles de los resultados en el apartado A del anexo, donde se presenta el resumen estadístico de los valores medios de las series.

La representación gráfica de los datos del coeficiente de variación, para las diferentes series, muestra un comportamiento en función de su distribución geográfica. Un desplazamiento de oeste a este del área de estudio incrementa la variabilidad y tiene relación con la altitud. Mientras que un desplazamiento latitudinal también muestra un aumento más suave.

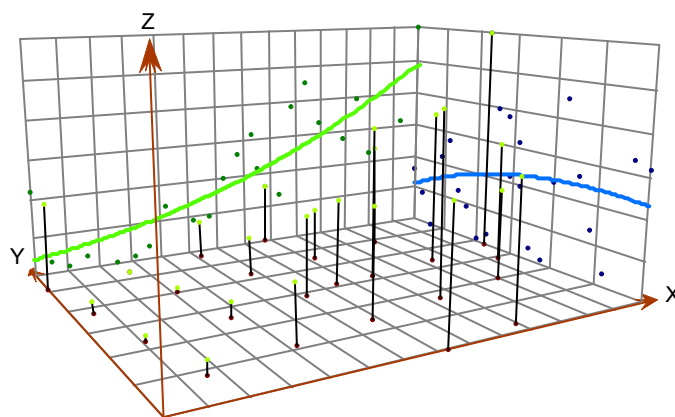


Figura 4.5. Diagrama de comportamiento del CV anual para el área de estudio (1971-2010).

La representación cartográfica, en el próximo mapa, permite observar que la mayor variabilidad, por encima del 30%, se concentra en la zona de la costa y en las áreas cercanas de la zona aluvial de la desembocadura. Como se señalaba anteriormente, se trata de una zona expuesta a contrastes extremos entre los totales anuales por la

cercanía al mar Mediterráneo. La variabilidad se reduce a un nivel moderado-alto, entre un 25 y un 30%, más hacia el interior de la cuenca y en zonas más elevadas. En el extremo nororiental de la cuenca de la Muga y con cotas más elevadas se reduce la variabilidad a un intervalo moderado con valores inferiores al 25%.

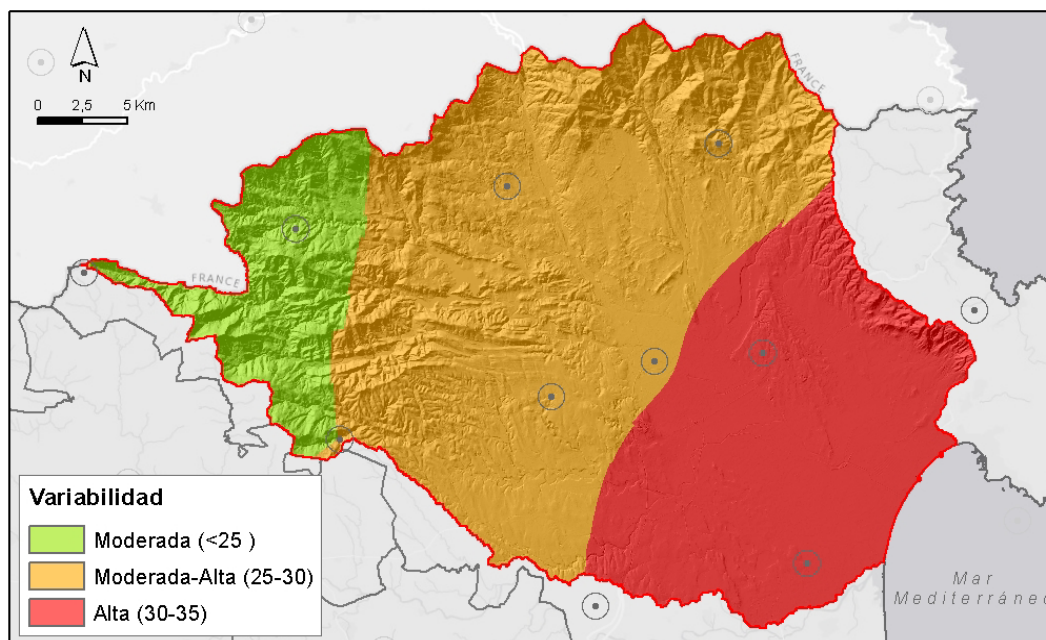


Figura 4.6. Mapa de la variabilidad, expresada mediante el coeficiente de variación anual, de la precipitación anual en la cuenca de la Muga (1971-2010).

En este apartado, como resumen, se ha apreciado un aumento de la precipitación media anual en relación con la latitud y la longitud, al aumentar la latitud en dirección norte y hacia una longitud occidental, y con la orografía de la cuenca de la Muga. El coeficiente de variación también ha presentado una variación negativa al aumentar con relación a la longitud, oeste-este, igual que latitudinalmente de norte a sur, con una relación inversa a la altura del territorio. Estas relaciones se han analizado mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Y posteriormente, se ha determinado si existe o no una significación estadística con al menos un 95% de confianza, o $\alpha < 0,05$.

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla, que muestra una matriz que relaciona los valores del coeficiente de correlación de Pearson entre las diferentes variables, en la parte superior, junto a los valores obtenidos del p-value para definir el nivel de significancia estadística de las correlaciones, en la parte inferior. El valor de probabilidad mínimo en este estudio es del 0,05, como ya se ha comentado en el párrafo

anterior y explicado en el capítulo 2 (estos valores aparecen remarcados en negrita). Y además se han señalado en color los datos con una evidencia de relación muy fuerte en contra de la hipótesis nula ($p < 0,01$).

Coeficiente de correlación de Pearson (r)

Variables	Latitud	Longitud	Z	P anual	SD anual	CV anual	Variables
Latitud		-0,189	0,406	0,482	0,120	-0,498	Latitud
Longitud	0,578		-0,818	-0,833	-0,168	0,847	Longitud
Z	0,216	0,002		0,869	0,441	-0,704	Z
P anual	0,133	0,001	0,001		0,523	-0,821	P anual
SD anual	0,726	0,622	0,174	0,099		0,053	SD anual
CV anual	0,119	0,001	0,016	0,002	0,876		CV anual

Resultado p-value

Tabla 4.5. Matriz de relación entre variables con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia p-value. (Los valores en negrita tiene un nivel de significación $\alpha=0,05$).

Las variables que se han analizado son latitud, longitud, altitud (Z), precipitación media anual (P anual), desviación estándar anual (SD anual) y el coeficiente de variación anual (CV anual). Los resultados muestran que la variable latitud y la desviación estándar anual no presentan ninguna correlación significativa en el área de estudio, aunque la latitud muestre alguna tendencia con la precipitación y el coeficiente de variación. Por otro lado, la variable longitud sí tiene una correlación muy alta y significativa de carácter negativo con la precipitación media anual (-0,833), y una correlación positiva con el coeficiente de variación anual (0,847), ambas con un nivel de confianza superior al 95%. También, el factor altitudinal tiene una correlación muy alta positiva con los datos de precipitación media anual (0,869) y está relacionado de forma negativa con el coeficiente de variación anual (-0,704), con una significación dentro del 95%. Por último, hay que destacar la correlación inversa entre el valor de precipitación media anual y el coeficiente de variación anual (-0,821) y un valor de significancia superior al 95%.

A partir de los valores anuales de precipitación para el período de estudio, 1971-2010, en total 40 años, se ha realizado un análisis de tendencia. Para lo cual se ha utilizado la prueba estadística de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) para estimar la

tendencia y su grado de significación. La tabla con los resultados obtenidos se puede consultar en el apartado D del anexo, en la parte final del trabajo. Los resultados no han revelado ninguna tendencia admisible con un valor de significación del 95%, pero sí que se ha detectado en la estación de Peralada (7C) una valoración de la tendencia aceptable, con más de un 90% de significación.

En el siguiente apartado, se utilizará esta estación como referente para mostrar los gráficos y datos obtenidos, aunque para el resto de las estaciones también se muestran y recogen en la parte final del trabajo, en el anexo.

4.3.2. Las precipitaciones medias mensuales. Distribución espacial

Para conocer con rigurosidad el comportamiento de la precipitación en la cuenca es importante aumentar el detalle y aumentar la escala de análisis temporal y analizar la distribución mensual.

La variabilidad de la temporalidad de la precipitación unido con las particularidades del clima mediterráneo favorece en esta área la presencia de un período de uno o varios meses de sequía, seguido de otro período de lluvias torrenciales, simplificada. En este estudio se han destacado la presencia de eventos extremos y su análisis, pero hablar de períodos secos es inevitable dada la relación entre los dos fenómenos.

En la siguiente tabla se recogen los valores de los parámetros estadísticos básicos, en milímetros, de las series mensuales de precipitación analizados en la estación de Peralada (7C), para la serie temporal (1971-2010).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
\bar{x}	66,7	49,2	54,9	76,6	82,0	48,1	35,5	43,7	68,2	96,4	64,4	63,4	749,1
Mediana	47,8	33,6	52,1	46,5	66,0	44,9	26,7	42,9	56,2	66,0	43,8	36,9	693,2
SD	62,3	48,7	38,6	78,9	63,6	34,5	46,8	27,6	61,5	93,3	57,7	62,4	247,0
CV%	93,4	98,9	70,4	103,0	77,6	71,7	131,9	63,1	90,2	96,7	89,7	98,4	33,0
Max	232,6	199,7	211,2	352,2	315,8	186,3	287,6	116,9	305,2	356,2	254,4	236,0	1803,4
Min	0,1	0,8	3,1	7,3	3,9	1,9	0,7	7,9	4,1	3,2	0,4	1,4	329,8

Tabla 4.6. Resumen estadístico de datos mensuales de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Peralada (7C).

En la tabla presentada, se observa que, durante los 40 años de registro, las precipitaciones han oscilado entre mínimos muy próximos a cero, en todo caso inferiores a 8 mm, y máximos de 356,2 mm en octubre. El menor máximo, de 116,9 mm, corresponde a agosto. La importancia de estos valores extremos determina que la media aritmética de la serie (\bar{x}) sea siempre superior a la mediana.

La variabilidad temporal se manifiesta acusadamente en las series pluviométricas de los diferentes puntos analizados y es una de las razones de que las medias mensuales o anuales sean poco representativas por sí mismas y deban ir acompañadas de otras variables calculadas. Desde un punto de vista estadístico, la variabilidad de una serie puede definirse y evaluarse a partir de los índices de dispersión (por ejemplo, desviación tipo y coeficiente de variación). Este aspecto se ha tratado en el siguiente apartado, aunque los resultados se muestran en la tabla resumen de la estación de Peralada (7C), y para las otras estaciones en el anexo.

Los datos de las medias mensuales, en milímetros, se han obtenido de todos los observatorios y permiten expresar gráficamente el régimen pluviométrico anual, esto es útil para poder establecer comparaciones entre observatorios. Los gráficos de todas las estaciones se han recogido en la parte final del trabajo, en el apartado B del anexo.

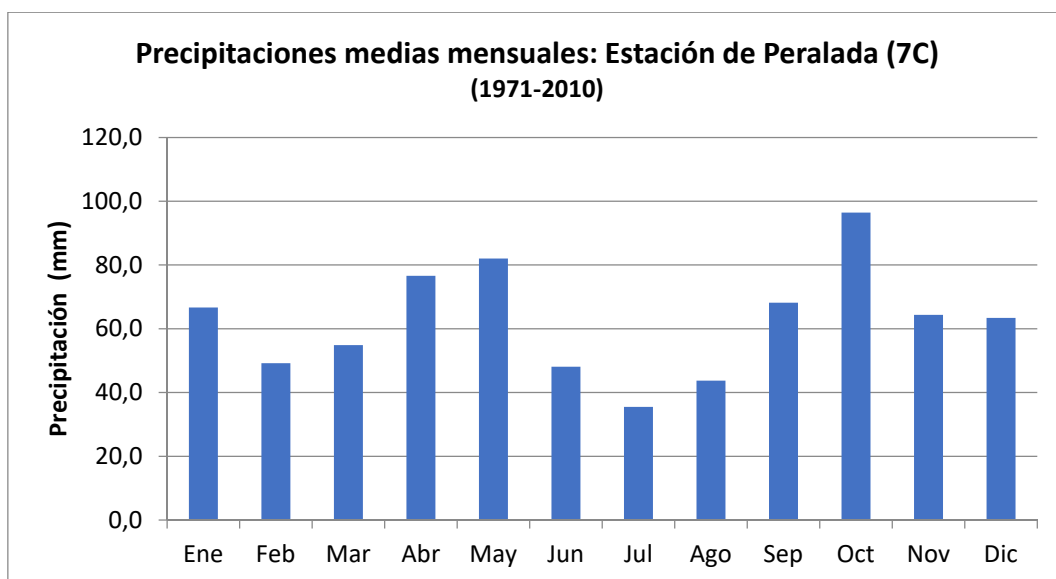


Figura 4.7. Precipitaciones medias mensuales en la estación de Peralada (1971-2010).

En el gráfico anterior, se expresa gráficamente el régimen pluviométrico en la estación de Peralada (7C) de las precipitaciones medias mensuales, para el período 1971-2010. A partir del análisis estadístico descriptivo básico, ver tabla anterior, de las series mensuales se pueden observar unas medias comprendidas entre los 35,5 mm de julio, el mes más seco, y los 96,4 mm de octubre, el más lluvioso. El régimen mensual a lo largo del año presenta un doble máximo equinoccial, en otoño y primavera, y doble mínimo en verano e invierno. Un régimen propio de la franja oriental de la península ibérica, que concentra los máximos en las estaciones intermedias y no en el invierno.

La comparación gráfica del régimen pluviométrico de todas las estaciones, ubicadas geográficamente, permitirá realizar una caracterización pluviométrica, al observar la distribución temporal, a través de los datos de las estaciones analizados, y espacial en la cuenca. En la siguiente figura, se distribuyen los gráficos de la precipitación media mensual.

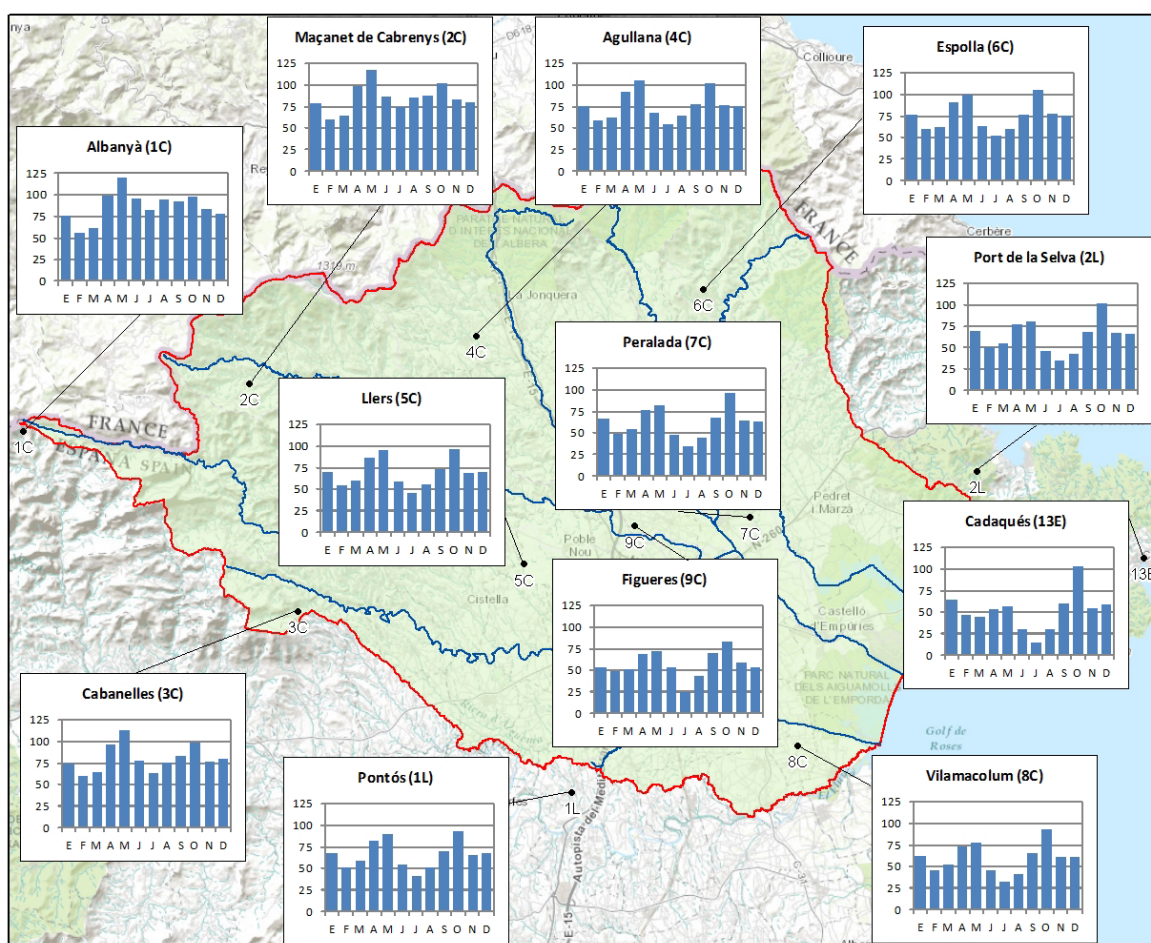


Figura 4.8. Distribución geográfica de las precipitaciones medias mensuales, en milímetros, en el área de estudio.

La diversidad del medio de la cuenca favorece la variedad espacial de las precipitaciones. Existen unas características topográficas marcadas y diferenciadas, entre la zona aluvial de la desembocadura y la costa, la zona intermedia salpicada de colinas y conocida localmente como 'terraprims', y la parte superior de la cuenca montañosa. (Pavón, 2007)

Se puede observar en el mapa anterior de la distribución mensual de las precipitaciones que el valor mínimo mensual, del periodo estudiado, se localiza en el mes de julio para prácticamente todas las estaciones, en un 75% con relación al total de las estaciones. Los valores dentro de la cuenca se sitúan entre 24 y 55 mm, y representan entre un 4 y un 6% del total anual. Las estaciones de Albanyà, Maçanet de Cabrenys y Cabanelles, localizadas en los límites de la cuenca cerca de la divisoria de aguas, tienen su valor mínimo de precipitación mensual en el mes de febrero, con valores entre 56 y 60 mm, que representan entre un 5 y un 6% de los totales medios anuales. El valor máximo mensual en estas tres estaciones se localiza en el mes de mayo, junto también a la estación de Agullana, localizadas en el área más montañosa. Esta zona se encuentra en los meses de abril, mayo y junio más afectada por núcleos convectivos en la mitad norte de la cuenca, favorecidos por la disposición orográfica del Pirineo oriental (Bayés, 2002, Martín-Vide, 1987).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1C Albanyà	76,1	56,2	61,8	98,9	120,6	95,8	82,7	94,8	92,9	98,3	83,9	77,3
2C Maçanet de Cabrenys	78,2	60,2	64,6	99,3	117,7	86,5	74,1	84,9	88,0	101,4	83,0	79,5
3C Cabanelles	74,4	59,8	65,0	96,6	112,8	76,9	63,7	75,2	83,2	99,0	76,7	79,5
4C Agullana	75,4	59,4	62,7	92,6	104,4	68,2	54,9	65,0	77,9	101,9	75,9	74,6
5C Llers	70,9	54,9	60,5	86,0	95,1	59,1	45,2	55,0	73,0	97,1	69,4	70,3
6C Espolla	76,7	59,7	62,2	91,3	100,2	63,8	51,6	60,4	76,4	105,3	77,1	74,7
7C Peralada	66,7	49,2	54,9	76,6	82,0	48,1	35,5	43,7	68,2	96,4	64,4	63,4
8C Vilamacolum	62,9	45,4	52,6	72,6	77,0	44,9	33,1	40,6	66,3	93,6	61,6	61,5
9C Figueres	53,0	48,3	50,6	69,8	71,6	53,1	24,2	43,0	70,7	83,5	58,6	53,5
1L Pontós	67,7	51,2	58,5	81,8	89,5	54,7	41,2	50,7	70,9	93,7	66,4	68,6
2L Port de la Selva	68,8	50,7	54,6	77,6	81,1	46,2	34,8	42,4	67,7	101,1	66,6	66,0
13E Cadaqués	65,2	46,0	43,7	52,8	57,2	29,9	14,7	30,8	60,3	102,9	54,7	59,2

Tabla 4.7. Valores medios de precipitación media mensual, en milímetros, en el periodo 1971-2010.

El resto de las estaciones concentran las cantidades medias mensuales más elevadas en el mes de octubre, con valores dentro de la cuenca entre 84 y 105 mm, que representan entre un 11 y un 13% del total medio anual. El segundo máximo de las medias mensuales

se registra en el mes de mayo. Por tanto, en todas las estaciones existe el doble máximo equinoccial antes indicado.

La causa principal que explica los ritmos mensuales es el desplazamiento de las masas de aire de la circulación atmosférica hacia el sur, durante la época fría del año, y hacia el norte, durante la época cálida. La circulación subtropical domina durante los meses de verano y es la causa del mínimo de julio. El máximo de octubre tiene su origen en la inestabilidad provocada por las altas temperaturas del agua superficial del Mar Mediterráneo que favorecen precipitaciones intensas (Martín-Vide, 1997).

4.3.2.1. Evaluación de la variabilidad media mensual

Para observar las diferencias entre los observatorios analizados en cuanto a la variabilidad mensual se ha representado gráficamente la información. Además de los análisis estadísticos realizados se ha representado la información del régimen pluviométrico mediante un gráfico denominado "en caja" o box-plot, que facilita la comparación de las medianas, los rangos y los valores extremos de cada una de las series.

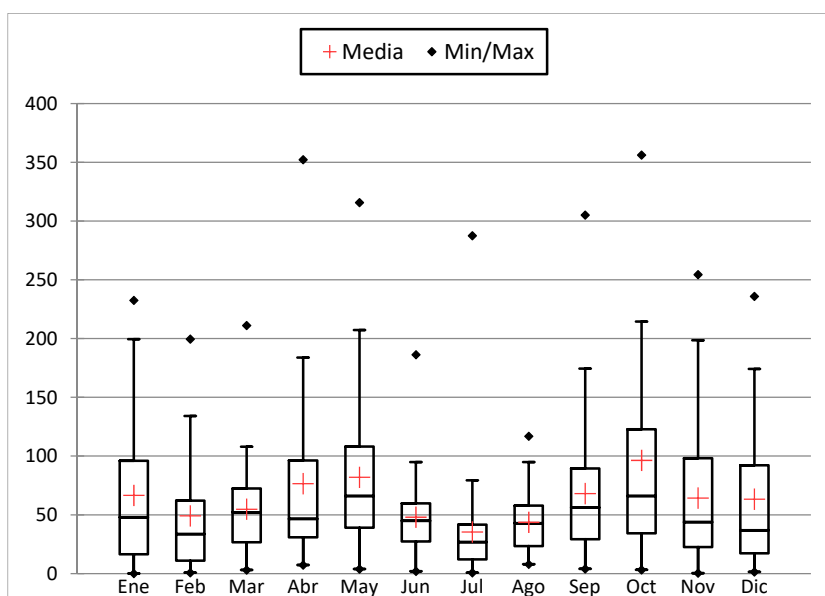


Figura 4.9. Gráfico 'boxplot' del régimen pluviométrico mensual en Peralada (1971-2010).

Mediante este gráfico se han dividido cada una de las series mensuales en cuatro áreas de igual frecuencia. Los límites superiores e inferiores del rectángulo o caja corresponden al cuartil inferior (Q1, 25%) y superior (Q3, 75%) de la serie y la línea horizontal que lo divide es la mediana (Q2, 50%).

Por tanto, en la caja se encuentra el 50% de todos los datos. Las dos líneas verticales que sobresalen, cuya longitud es equivalente a 1,5 veces el valor del rango intercuartílico (RIC, $Q3-Q1$), recogen los valores que no son atípicos dentro de la serie. Se pueden considerar valores extremadamente atípicos aquellos que exceden $Q1-3*RIC$ o $Q3+3*RIC$.

En relación con los datos representados de la estación de Peralada, se puede deducir que el máximo registrado en la serie de julio, 287,6 mm, se encuentra entre los valores extremadamente atípicos y raros del mes.

Por otro lado, el análisis en detalle de los datos del mes de octubre informa que el valor de $Q1$ es 32,8 mm, el de $Q3$ es 128,6 mm, y el rango intercuartílico se sitúa en 95,8 mm. El valor máximo de la serie mensual de octubre, 356,2 mm, no excede $Q3+3*RIC$, que se sitúa en los valores superiores a 416 mm, y por tanto no es un valor extremadamente atípico. Aun así, no deja de ser un valor atípico dentro de la serie, ya que supera el límite de la barra de los últimos valores que no son atípicos, y sobrepasa el valor $Q3+1.5*RIC$, situado en 272,3 mm.

El análisis en detalle de los datos del mes de abril, con el segundo máximo mensual anual, informa que los valores de $Q1$ es 29,2 mm, $Q3$ es 107,9 mm, y el rango intercuartílico se sitúa en 78,7 mm. El valor máximo de la serie mensual de abril, 352,2 mm, sí excede $Q3+3*RIC$, y se sitúa en los valores superiores a 344 mm, y por tanto es un valor extremadamente atípico.

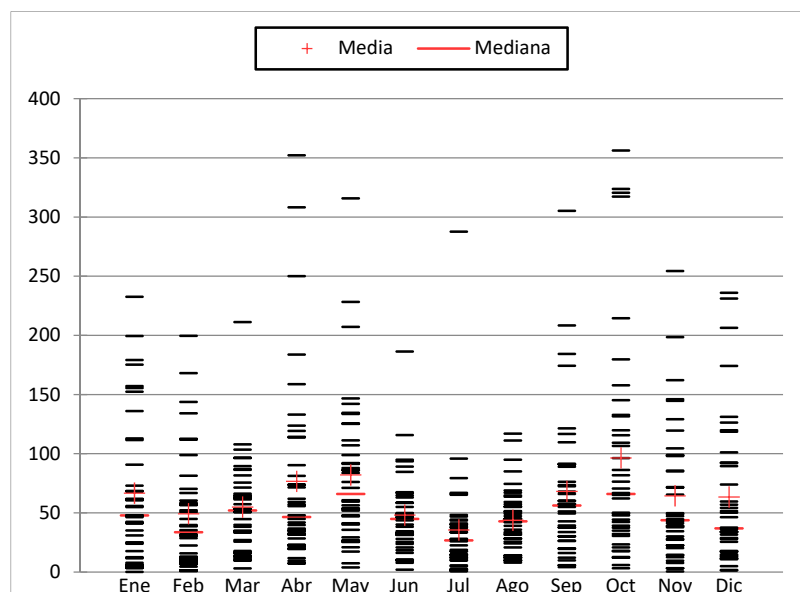


Figura 4.10. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Peralada (1971-2010).

Con el siguiente gráfico de apoyo, conocido como 'strip plot', es mucho más evidente observar la distribución mensual de valores de Peralada. Por ejemplo, el valor máximo registrado en el mes de julio no es un valor elevado habitual, por el contrario, la serie mensual está bastante concentrada entre los 0 y los 100 mm. Sin embargo, en el mes de octubre los valores recogidos se encuentran en un intervalo de valores más amplio, y el valor máximo se aleja del intervalo de la serie de datos típicos, pero no es un caso aislado. Otros meses del año muestran también una enorme variabilidad en los datos recogidos de precipitación, tales como enero, abril, mayo, noviembre y diciembre.

El análisis con relación al resto de estaciones situadas en el área de estudio de la cuenca, mediante la representación de sus datos, en el anexo A, revela que la variabilidad en los diferentes meses del año no se da de la misma manera en todas las estaciones. La presencia de algunos meses excepcionalmente atípicos es frecuente en el mes de julio para la mayoría de las series analizadas. La desviación típica, como medida de dispersión absoluta de los datos mensuales en torno a la media, indica que en Peralada el valor mínimo corresponde a agosto con 27,6 mm y el máximo a octubre con un valor de 93,3 mm; si se expresa en porcentajes respecto a la media, es decir el coeficiente de variación, se observa que es en julio y en abril cuando la variabilidad de las precipitaciones es máxima.

El estudio para el conjunto de las estaciones, y para cada mes del año del periodo temporal de análisis, se puede realizar mediante la clasificación de la variabilidad media mensual de las series en función del porcentaje del coeficiente de variación mensual, pudiendo categorizarse en: Muy baja (**MB**, <20%); Baja (**B**, 20-40%); Moderada (**M**, 40-60%); Moderada-Alta (**M-A**, 60-80%); Alta (**A**, 80-100%); Muy Alta (**MA**, >100%).

Mes	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	9C	1L	2L
Ene	MA	MA	MA	MA	A	A	A	A	MA	A	A
Feb	A	A	MA	A	MA	A	A	A	MA	MA	A
Mar	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A
Abr	M-A	M-A	A	A	A	A	MA	MA	A	A	MA
May	M	M	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A	A	M-A	M-A	A
Jun	M	M	M	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A
Jul	M-A	M-A	M-A	A	MA	A	MA	MA	A	MA	MA

Mes	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	9C	1L	2L
Ago	M	M	M	M	M	M	M-A	M-A	M-A	M	M-A
Sep	M-A	M-A	M-A	M-A	A	A	A	A	MA	M-A	A
Oct	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A
Nov	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Dic	A	A	A	A	A	A	A	MA	MA	A	A

Tabla 4.8. Clasificación de la variabilidad mensual de las series, para el periodo 1971-2010.

En las series se encuentran resultados por encima del 40% del coeficiente de variación, desde un nivel de variabilidad moderada hasta la máxima categoría, con valores porcentuales superiores a 100.

En la tabla se puede comprobar que en el mes de agosto se encuentran los valores de variabilidad más baja de las series, tal como se pudo comprobar en los gráficos de 'boxplot' y 'strip plot'; la distribución presenta una gran compactación de los valores sin datos atípicos. Por el contrario, el mes de julio presenta una de las variabilidades más altas, excepto para las estaciones situadas en cabecera de la cuenca. Bayés (2002) definió que durante el mes de julio se produce un máximo desplazamiento latitudinal, hacia el norte, de las influencias anticiclónicas en altura, coincidente en superficie con bajas térmicas hacia el interior de la península ibérica, lo que es compatible con chubascos y tormentas en las zonas montañosas de la mitad norte peninsular. La presencia de frecuentes chubascos y tormentas en la cuenca, en el mes de julio, se debe también en buena medida a su contacto con el mar, fuente de humedad que penetra hacia el interior de los valles en la cuenca de la Muga. (Salat et al., 2016, Martín-Vide, 1987)

La variedad geográfica de la cuenca se refleja en la disparidad de los totales de precipitación, que refuerzan la propia variabilidad, como se aprecia en la siguiente figura. En el sector de la costa, con las estaciones de Peralada (7C) y Vilamacolum (8C), hay una alta variabilidad por su localización geográfica y de contacto con el mar. Presentan sus máximos de CV en los meses de julio y abril, que representan alrededor de un 15% en ambas series en relación con su precipitación media mensual. Aunque el mes de octubre representa el mes de máximas aportaciones al total y con cantidades más elevadas, no tiene tanta importancia en la variabilidad mensual. La estación de Figueres (9C) se encuentra en un área con un valor de precipitación media anual inferior, aislada dentro de la misma cuenca, y que se encuentra en el límite de la variabilidad media-alta y muy

alta. La estación muestra unos valores de variabilidad mensual que se alejan del comportamiento del resto de series. Y una variabilidad muy alta para el mes de septiembre, junto al mes de febrero y la época de invierno, más propio de las estaciones de la cabecera de la cuenca, en cotas más altas.

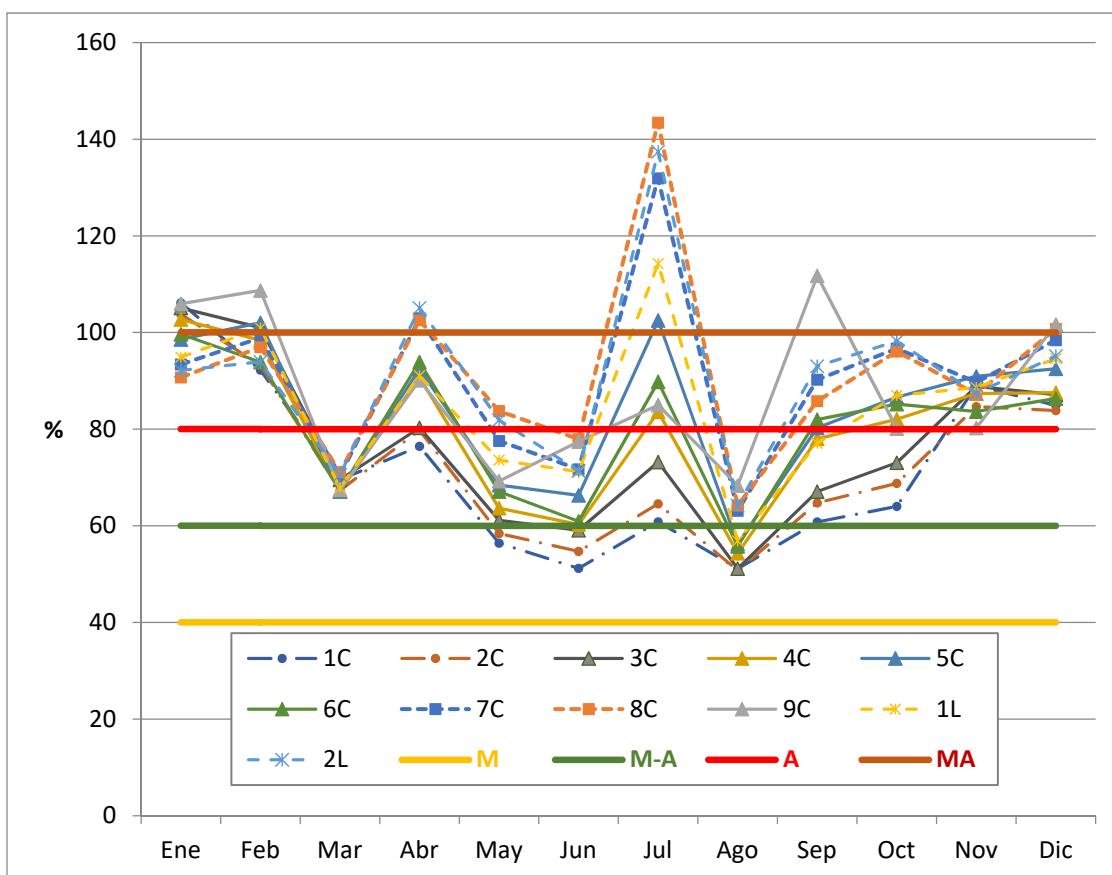


Figura 4.11. Distribución del CV mensual entre los diferentes meses del año en las estaciones analizadas para el período de estudio (1971-2010).

Las series situadas en zonas montañosas y de cabecera de la cuenca también reflejan la variabilidad y la incertidumbre en las aportaciones pluviométricas precisamente en los meses más lluviosos, y de una forma más moderada en el resto de los meses del año.

4.3.3. Régimen pluviométrico probable

El cálculo de las medidas de dispersión, con los cuantiles, tiene un gran interés en el estudio ya que proporcionan unos valores probables, es decir, unas cantidades que se igualan o se superan una vez cada 'x' años. Los cuartiles, quintiles y deciles tratan de evaluar la distribución de los valores de una serie teniendo en cuenta el conjunto de ellos.

Se han obtenido los valores de los cuartiles (C), que dividen la serie en cuatro partes; la mediana, que corresponde al segundo cuartil (2C); los quintiles (Q), que permiten distinguir en la serie cinco subconjuntos de igual tamaño; y las decilas o deciles (D), nueve valores que dividen la serie en diez grupos. Con estos resultados se han construido las gráficas de los diagramas del régimen pluviométrico probable, que se presentan en el anexo final del trabajo en el apartado C.

Al observar los gráficos se pueden apreciar claramente dos tipos de regímenes, uno correspondiente a las estaciones ubicadas más al noroeste y cotas altas, y otro del resto de estaciones más afectadas por los flujos del mar Mediterráneo. En el primer caso, están las estaciones de Albanyà, Maçanet de Cabrenys y Cabanelles, que presentan un diagrama en forma de "M" aproximadamente, con los máximos en los meses de mayo y octubre. El otro grupo de diagramas destaca claramente un máximo en el mes de octubre por encima del resto de meses, aunque el máximo secundario continúa siendo mayo.

De los resultados numéricos obtenidos se puede destacar que, de cada diez meses de mayo, uno registra más de 200 mm en las estaciones de Albanyà (9D= 207,9 mm), Maçanet de Cabrenys (9D= 213,2 mm) y Cabanelles (9D= 211,4 mm). Así mismo, en el mes de octubre también presentan de cada diez meses uno de ellos con valores alrededor de los 200 mm. Las estaciones más alejadas de la zona noroeste de la cuenca presentan un máximo destacado en octubre, con un noveno decil (9D) superior a 250 mm; son las estaciones de Agullana, Llers y Espolla.

4.3.4. Régimen estacional

Para calcular los regímenes o ritmos estacionales se ha tenido en cuenta el año agrícola o hidrometeorológico, que manejan los agricultores para las siembras y cosechas, también utilizado en AEMET, y comprende el período de 12 meses entre el 1 de septiembre y el 31 de agosto. Con el objetivo de detectar el comportamiento pluviométrico estacional del área de estudio y de las diferentes series analizadas. En los resultados del análisis se han obtenido tres ritmos distintos: PVOI, POVI y OPIV (I: invierno, P: primavera, V: verano y O: otoño). En general, el ritmo estacional más habitual es el que presenta el máximo en

otoño y un mínimo en verano. Como se puede observar en la siguiente tabla, a partir de los valores medios de las series y el calculado para la cuenca de la Muga.

	Otoño		Invierno		Primavera		Verano		Régimen estacional
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	
1C Albanyà	273	26,23	211	20,26	280	26,95	276	26,55	PVOI
2C Maçanet de Cabrenys	272	26,66	219	21,52	280	27,50	248	24,32	POVI
3C Cabanelles	261	26,98	216	22,32	272	28,16	218	22,53	POVI
4C Agullana	258	28,13	211	23,04	258	28,15	189	20,68	OPIV
5C Llers	243	28,89	198	23,56	239	28,48	160	19,08	OPIV
6C Espolla	260	28,87	213	23,56	252	27,96	177	19,62	OPIV
7C Peralada	232	30,89	181	24,00	212	28,12	128	16,99	OPIV
8C Vilamacolum	225	31,47	171	23,89	200	27,98	119	16,66	OPIV
9C Figueres	203	30,45	161	24,13	181	27,20	122	18,23	OPIV
1L Pontós	235	29,40	189	23,67	227	28,45	148	18,49	OPIV
2L Port de la Selva	238	31,32	187	24,56	212	27,84	124	16,28	OPIV
Cuenca de la Muga	244	28,80	195	22,98	240	28,35	168	19,87	OPIV

Tabla 4.9. Valores medios absolutos (mm) y relativos (%) de la precipitación y regímenes estacionales, en el periodo 1971-2010.

El régimen estacional OPIV, se localiza en el conjunto de la cuenca, y en las estaciones situadas más lejos de la cabecera, hacia la zona meridional, y en contacto con la costa. Más hacia el este del área de estudio, los datos correspondientes a la estación de Cadaqués (13E) dan un régimen diferente, OIPV, con el segundo máximo en invierno, y un mínimo en la estación de verano. Sin embargo, la variabilidad de la precipitación, de la que ya se ha comentado, propia del ámbito mediterráneo, provoca que cada año se puedan presentar en una misma serie diferentes ritmos estacionales. Al reducir la escala de análisis a cada año, se amplían los ritmos posibles, pudiendo presentarse las posibles 24 permutaciones. Los datos de las estaciones localizadas en el área principal muestran esa variabilidad.

Desde el periodo estacional 1971-1972, iniciado en la estación de otoño (septiembre, octubre y noviembre; 1971) uniendo el mes de diciembre (1971) con el mes de enero y febrero (1972), para obtener el total de precipitación correspondiente a la estación de invierno, y así sucesivamente hasta la estación de verano, con los meses de junio, julio y

agosto. Esta disposición ha conformado 39 periodos, hasta 2009-2010, para cada serie analizada. Se han generado los gráficos de la distribución del ritmo estacional en las estaciones ubicadas en el área principal del área de estudio, también los gráficos de frecuencia del porcentaje máximo estacional anual y los resultados de la correlación realizada entre las variables. Toda esta información, se ha incluido en la parte final del trabajo, en el apartado D del anexo.

Los gráficos revelan la distribución del régimen estacional de la precipitación, en milímetros, en el año hidrometeorológico para las estaciones de la zona principal de la Cuenca de la Muga, en la serie temporal (1971-2010). Y permiten observar que la variabilidad, que antes mencionábamos, es muy evidente y los cambios de ritmo estacional se suceden en el periodo de estudio. Por ejemplo, en los datos de la serie de Albanyà se registran 13 regímenes diferentes, se puede destacar por frecuencia los de OVPI, POVI, y PVOI. En el caso de Figueres, en la zona media de la cuenca y con un total medio pluviométrico algo inferior al del resto de la cuenca, presenta 18 casos diferentes de distribución estacional, los más frecuentes en el periodo de estudio han sido OIPV y OPVI. En el caso de la serie más cercana a la costa, en Vilamacolum, se detectan hasta 17 ritmos diferentes en la concentración estacional, y destacan OPIV, IOPV y POIV. En cualquiera de los casos la estación de verano ha podido representar en algún momento el máximo estacional, igual que cualquiera de las otras tres estaciones.

Los gráficos de frecuencias del porcentaje máximo de concentración de la precipitación estacional, muestra como en las series situadas más al norte y en la cabecera de la cuenca, como son Albanyà, Maçanet de Cabrenys y Cabanelles, presentan valores moderados y frecuencias altas en torno al 30% como máximo estacional, pudiendo llegar hasta un 50%, de forma poco habitual. No obstante, a medida que nos acercamos a la zona de la costa la concentración máxima de precipitación estacional se eleva siendo más frecuente la presencia de valores de hasta casi un 70%.

Por otro lado, se ha evaluado la correlación entre los totales de precipitación, del año hidrometeorológico, el porcentaje máximo estacional y los porcentajes de precipitación correspondientes a las cuatro estaciones (otoño, invierno, primavera y verano), tal como se puede ver en detalle en los resultados recogidos en el anexo, en el apartado D.

La precipitación total de las series localizadas en el área de la cuenca, con relación a las otras variables que se han citado, es decir, el porcentaje estacional para cada estación climática o el porcentaje máximo no presenta una significación mínima del 95%. Pero con los datos de la estación de Cadaqués, situada más al este del área de estudio, y lejos de la cuenca, con un comportamiento más variable y extremo, sí muestra una relación significativa entre los totales de precipitación y la aportación en la estación de verano, con una correlación de Pearson de signo negativo (-0,333) y un valor de p-value de 0,039. Por este motivo, las relaciones con el porcentaje máximo de concentración de lluvia estacional, en esta localización que alcanza casi el 80%, tiene un peso más importante con la precipitación recogida en otoño y menos en primavera o verano. En el área de la cuenca nos encontramos que en las estaciones más cercanas a la costa y con una muy alta variabilidad, aunque con porcentajes máximos no tan elevados como en Cadaqués, como las series de Vilamacolum, Peralada y Figueres, se obtiene una correlación significativa entre el porcentaje máximo de concentración estacional y el peso entre los datos de precipitación en otoño, positivo, y los valores en verano, negativo, con una relación inversa con la aportación del porcentaje estival.

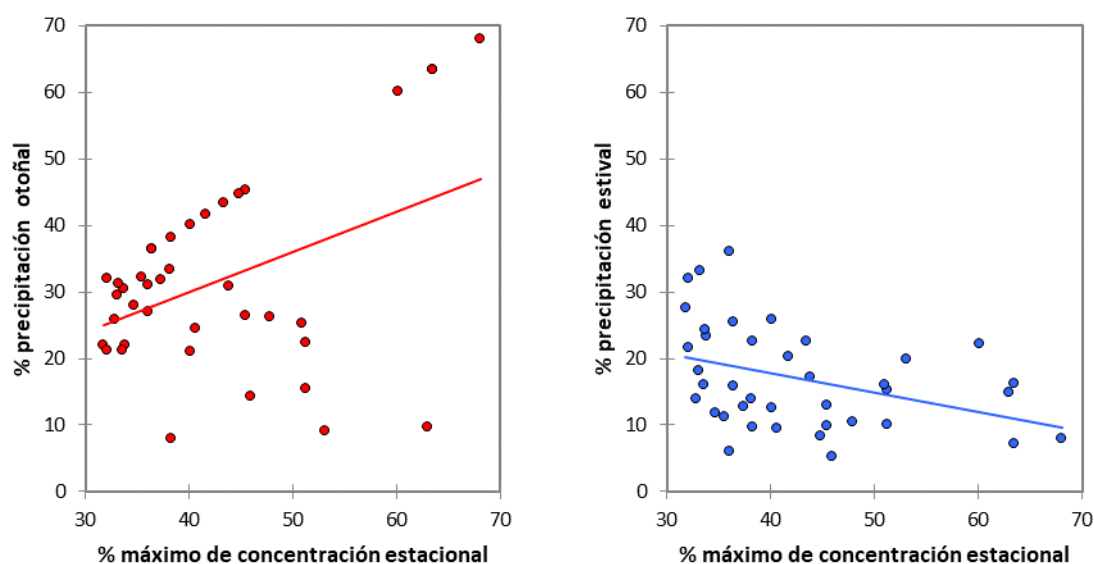


Figura 4.12. Correlación en la serie de Vilamacolum, entre el porcentaje máximo de concentración estacional y el porcentaje de precipitación recogido en las estaciones de otoño y de verano (1971-2010).

Finalmente, también entre los resultados de la correlación de variables se han detectado relaciones estadísticas significativas entre los porcentajes de precipitación entre las diferentes series. La estación del año con más relación y valor estadístico es la estación de otoño y se correlaciona con los valores de invierno y primavera, en todas las series. Sólo en el caso de Figueres los valores de verano también presentan una relación significativa con el otoño ($r = -0,362$, $p\text{-value} = 0,024$), situada en la zona media de la cuenca, y a resguardo de los efectos de la zona de costa. La correlación significativa entre las aportaciones porcentuales de precipitación entre la estación de verano y de primavera se presenta en la serie de Albanyà, Maçanet de Cabrenys y Cabanelles, en áreas más montañosas, en la cabecera de la cuenca.

4.3.5. Caracterización de la precipitación anual.

En este apartado se analiza el riesgo climático asociado a la precipitación y en relación con su variabilidad. El objetivo habitual de la metodología que se utiliza es evaluar los periodos de sequía, pero, como al inicio del capítulo se comentó, la ausencia o la abundancia de precipitación son dos factores que están relacionados.

En el siguiente gráfico se presentan las precipitaciones anuales registradas en Peralada desde 1971 hasta 2010, ambos inclusive. En dicho gráfico se indica también la caracterización de cada año desde el punto de vista pluviométrico, mediante el uso de quintiles.

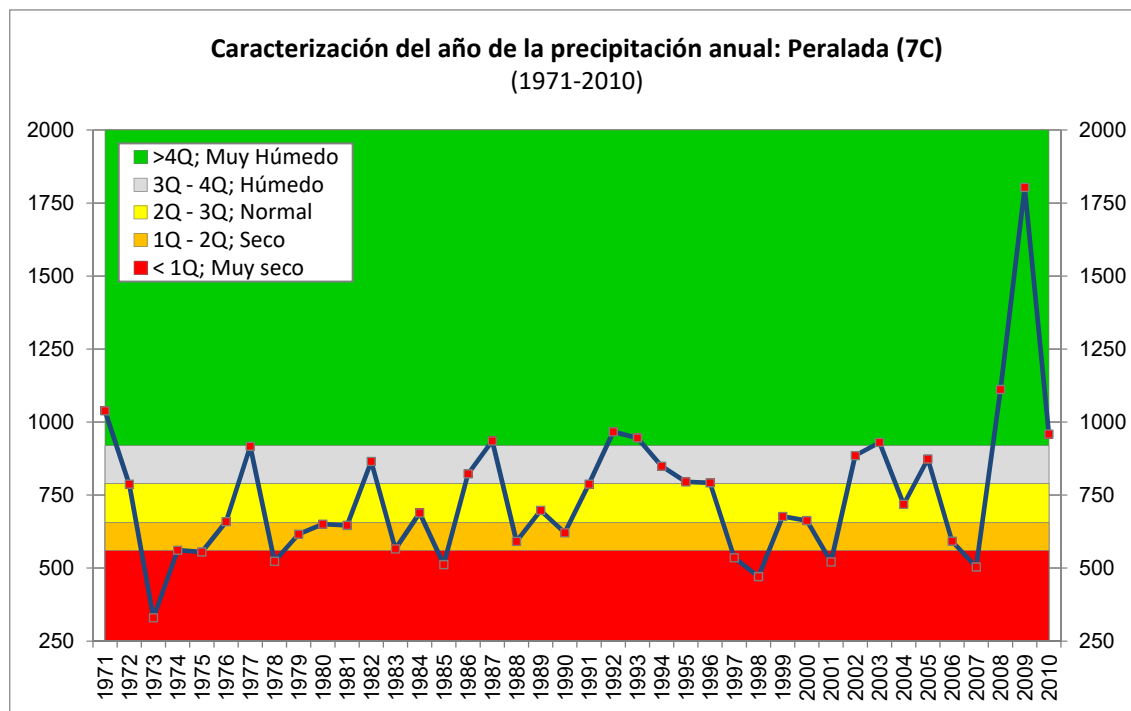


Figura 4.13. Caracterización de la precipitación anual media, 1971-2010, en la estación de Peralada (7C).

La representación gráfica se ha realizado para todas las series que se encuentran en la zona principal de la cuenca de la Muga, y también para la estación de Cadaqués situada más al oeste y fuera del límite de la cuenca, dentro del anexo en el apartado C. Una característica que se repite en casi todas las estaciones dentro del área de la cuenca es el aumento de la precipitación total anual en la última parte de la serie temporal analizada. El gráfico correspondiente a la estación de Figueres no refleja este comportamiento, sino que en 2009 presenta un comportamiento opuesto al del resto de series de la zona con una cantidad de precipitación baja, que se clasifica como año muy seco. Nótese que su ubicación geográfica, en el sector medio de la cuenca y en una zona de compartimentación entre varias subcuencas, ya le provoca recibir unos totales de precipitación media anual más bajos que otras áreas.

Los valores de precipitación para el conjunto de la cuenca de la Muga, en la serie temporal estudiada, como se puede ver a continuación en el gráfico, refleja también el aumento puntual extraordinario de las aportaciones un año antes del final del periodo analizado.

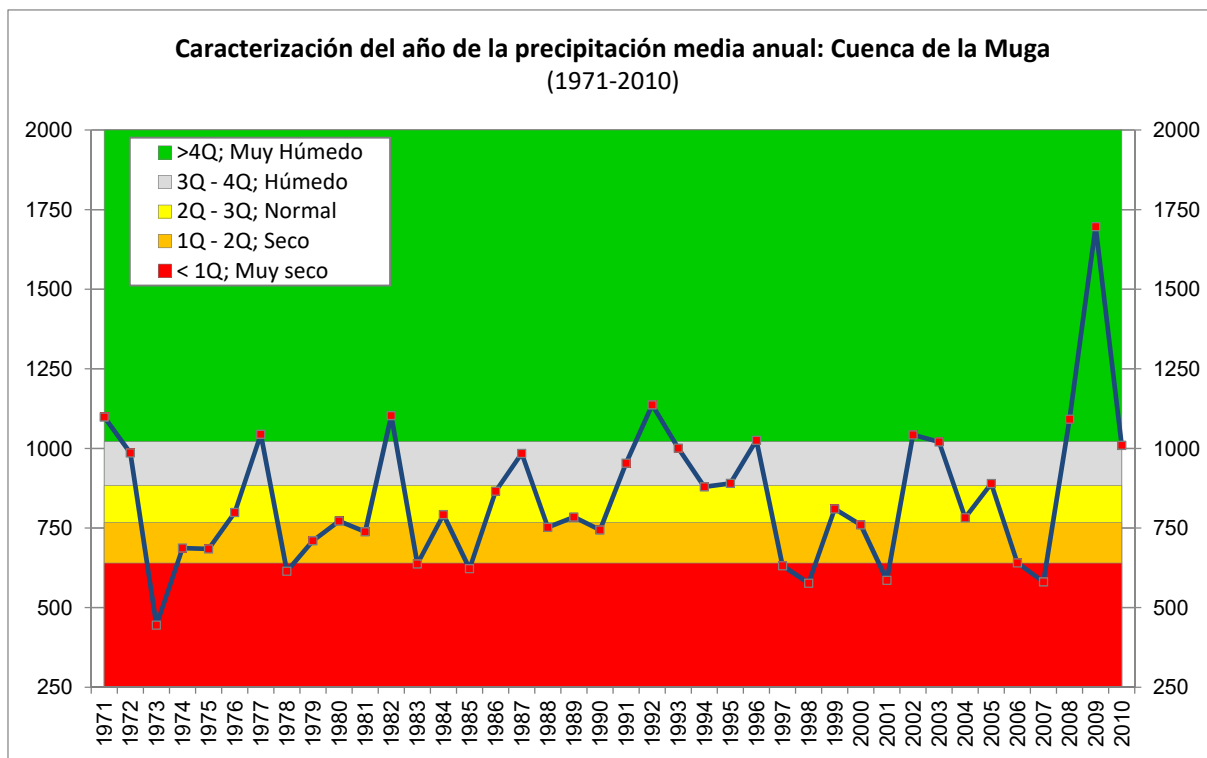


Figura 4.14. Caracterización de la precipitación anual media en la cuenca de la Muga (1971-2010).

La caracterización pluviométrica de todos los años de las diferentes series queda delimitada con los límites que establecen el primer (1Q), segundo (2Q), tercero (3Q) y cuarto (4Q) cuartil. Y también se han realizado en la serie calculada para el conjunto de la cuenca de la Muga. En la siguiente tabla, se puede ver como quedan clasificados los diferentes años pluviométricos para cada serie analizada.

Año	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	9C	1L	2L	C. la Muga
1971	H	H	H	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH
1972	MH	MH	MH	H	H	H	N	H	MH	H	N	H
1973	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
1974	S	S	S	S	S	S	S	S	MS	S	S	S
1975	N	S	S	S	S	S	MS	S	S	S	MS	S
1976	H	H	H	N	N	N	N	N	H	N	S	N
1977	H	H	MH	H	MH	H	H	MH	MH	MH	MH	MH
1978	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	S	MS	S	MS
1979	S	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S
1980	N	N	N	N	N	N	S	S	S	N	N	N
1981	S	S	S	S	S	S	S	S	H	S	S	S
1982	MH	MH	MH	MH	MH	MH	H	H	MH	MH	H	MH
1983	MS	MS	MS	MS	S	MS	S	MS	MS	S	MS	MS
1984	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1985	S	MS	S	MS	MS	MS	MS	MS	S	MS	MS	MS

Año	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	9C	1L	2L	C. la Muga
1986	S	N	N	N	N	N	H	H	N	N	H	N
1987	H	H	H	H	H	H	MH	MH	H	MH	H	H
1988	N	N	N	N	S	S	S	S	N	N	S	S
1989	S	S	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N
1990	H	N	N	S	S	S	S	N	MS	S	S	S
1991	H	H	MH	H	H	H	N	H	H	H	N	H
1992	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH
1993	N	H	H	H	H	H	MH	MH	MH	MH	MH	H
1994	N	N	N	N	H	N	H	H	H	H	H	N
1995	H	H	H	H	N	H	H	N	S	N	H	H
1996	MH	MH	MH	MH	H	MH	H	N	MH	H	H	MH
1997	S	S	MS	MS	MS	MS	MS	MS	S	MS	MS	MS
1998	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	N	MS	MS	MS
1999	N	N	S	N	N	N	N	N	H	S	N	N
2000	N	S	S	S	S	N	N	S	N	S	N	S
2001	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
2002	MH	MH	MH	MH	MH	MH	H	H	MH	H	H	MH
2003	H	H	H	MH	MH	MH	MH	H	N	H	MH	H
2004	MS	S	S	S	N	S	N	N	H	N	N	N
2005	S	N	N	H	H	H	H	H	N	H	H	H
2006	MS	MS	MS	S	MS	S	S	S	MS	MS	S	S
2007	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
2008	MH	MH	H	MH	MH	MH	MH	MH	S	MH	MH	MH
2009	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MH	MS	MH	MH	MH
2010	MH	MH	H	H	H	H	MH	MH	H	H	MH	H

Tabla 4.10. Caracterización pluviométrica de las estaciones ubicadas en el área de estudio y de la precipitación recogida en el área de la cuenca de la Muga (1971-2010).

La visualización en conjunto de la caracterización pluviométrica de los datos obtenidos para todas las series de las estaciones ubicadas en el área de estudio y la determinada por los datos calculados en la cuenca de la Muga permite observar varias tendencias. La presencia de años muy secos (**MS**) suele tener una afectación muy amplia en todo el territorio de la cuenca, aunque los valores de precipitación mínimos no son los mismos para todas las series. Por el contrario, la presencia de años muy húmedos (**MH**) puede darse de forma localizada en algunos sectores de la cuenca y no siempre de forma general en el área de estudio. Se observa una combinación brusca entre años muy húmedos (**MH**) y muy secos (**MS**), que tienden a aumentar su duración en el tiempo, dentro de nuestro periodo de estudio.

Con la intención de mejorar el análisis de la estación de Figueres, se ha aprovechado la disponibilidad de una serie temporal más amplia (1950-2015) para realizar su caracterización pluviométrica y compararla con el periodo de estudio (1971-2010). Los resultados se muestran en el anexo, en el apartado G, y nos revelan una similitud en la clasificación anual de los años muy húmedos, húmedos, normales, secos y muy secos. En algunos años presenta un comportamiento aislado y diferente, en ocasiones más moderado que el resto de la cuenca.

4.3.6. Precipitación diaria e intensidad.

En este apartado se analiza el número de días de precipitación, la cantidad registrada y su distribución en las series analizadas en la cuenca de la Muga, en el periodo 1971-2010. Se han considerado como días de precipitación cuando la cantidad registrada en 24 horas es igual o superior a 0,1 milímetros, si la cantidad es inferior se ha considerado precipitación inapreciable (ip). En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos:

	No. días Periodo	Días de precipitación	P 24H	\bar{x} anual
1C Albanyà	14610	6505	115,2	163
2C Maçanet de Cabrenys	14610	6321	153,7	158
3C Cabanelles	14610	5768	156,0	144
4C Agullana	14610	5901	226,1	148
5C Llers	14610	5164	164,9	129
6C Espolla	14610	6113	174,4	153
7C Peralada	14610	4910	159,6	123
8C Vilamacolum	14610	4785	157,9	144
1L Pontós	14610	5195	155,9	130
2L Port de la Selva	14610	5097	210,5	127

Tabla 4.11. Detalle del número de días en las diferentes series del periodo de análisis, y precipitación máxima registrada en 24 horas (P 24H) y el valor medio de días anuales de precipitación (\bar{x} anual)

El número medio de días de precipitación anual se ha calculado como promedio entre los datos del número de días de precipitación y el número de años del periodo. Se han obtenido unos resultados que se sitúan entre las series analizadas como mínimo por encima de un tercio del total de días anuales. El número de días de precipitación es más elevado en las estaciones situadas a más altura y cerca de la cabecera de la cuenca y van

disminuyendo al aproximarse a la línea de costa. Sin embargo, al observar la columna de la tabla anterior con los datos de precipitación máxima registrada en 24 horas, los datos máximos se localizan en las estaciones de Agullana, Llers y Espolla, ubicadas en la zona intermedia de la cuenca de la Muga.

La distribución de la frecuencia de los días de precipitación según la cantidad de lluvia recogida en 24 horas, agrupada en clases, nos revela el tipo de episodios que suelen producirse en relación con su importancia, en cantidad y frecuencia, en el periodo temporal analizado. Los gráficos han sido creados para las 10 series de datos que tenemos a escala diaria, correspondientes a Albanyà (1C), Maçanet de Cabrenys (2C), Cabanelles (3C), Agullana (4C), Llers (5C), Espolla (6C), Peralada (7C), Vilamacolum (8C), Pontós (1L) y Port de la Selva (2L). Los resultados se pueden ver en el anexo, en el apartado G. La precipitación diaria se ha agrupado en clases, y la correspondiente a los días que han recogido cantidades de lluvia igual o superior a 0,1 mm y 1 mm, es el grupo más numeroso y que se da con más frecuencia en nuestro periodo de estudio. Se ha optado por fraccionar la barra para poder visualizar correctamente el resto de las clases y los valores de frecuencia recogidos. Sus valores oscilan entre un máximo con los 2.616 días en Agullana que representa un 44%, de los días con precipitación, y los 1.682 días que se registran en la serie de Vilamacolum, con un 35% del total. La siguiente clase, entre 1 y 2 milímetros, recogidos en un día, es la segunda categoría con más frecuencia. Esto se debe a que el número de días en que se registra una precipitación poco cuantiosa es superior al número de días con precipitación elevada, ajustándose, en general, a una distribución exponencial negativa (Martín-Vide, 1987).

En el gráfico siguiente, se puede observar que, en el periodo de estudio 1971-2010, el porcentaje del número de días de precipitación superior a 50 mm registrados en las series, en relación con el total de días de precipitación, varía entre un mínimo de 0,85% en Albanyà y un 0,90% en Vilamacolum, ambos registros se sitúan en los extremos de la cuenca, en la cabecera de la Muga, al noreste y en la desembocadura cerca de la costa. El porcentaje máximo está localizado en Agullana, en la cabecera de la subcuenca del Llobregat d'Empordà, en la zona centro superior de la cuenca de la Muga.

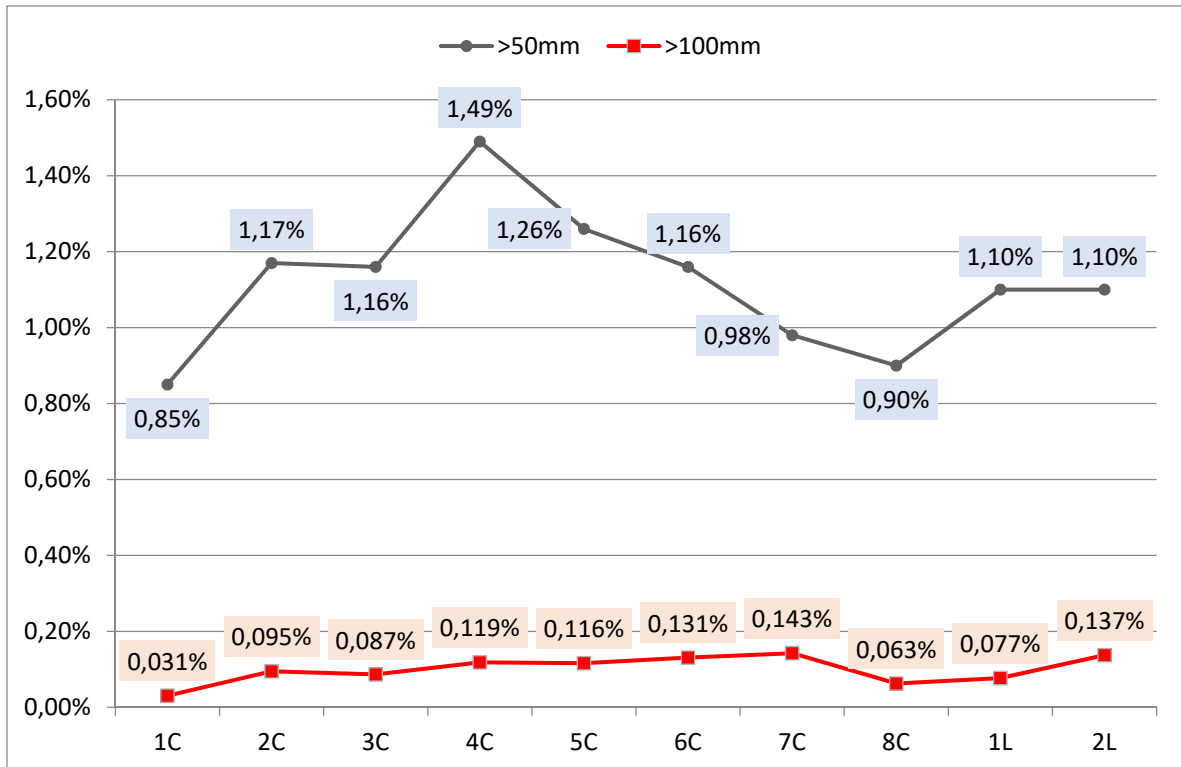


Figura 4.15. Distribución del porcentaje de cada serie respecto al total de días de precipitación de los registros en 24 horas superiores a 50 y 100 milímetros (1971-2010).

Obsérvese la tabla de la frecuencia de los días de precipitación considerados y su distribución mensual, a lo largo de todo el periodo de análisis, localizada al final de este párrafo. Podemos comprobar que su distribución es bastante uniforme, se detecta un descenso del número de días precisamente en el mes de julio, el mes más seco, con la excepción de las series de Albanyà (1C), Maçanet de Cabrenys (2C) y Cabanelles (3C), situadas en zonas elevadas de la cuenca y bajo los efectos de frecuentes procesos convectivos y orográficos estivales.

$\geq 0,1$ mm	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	1L	2L
Enero	500	502	414	465	393	490	398	377	400	426
Febrero	480	461	373	411	357	464	353	324	353	387
Marzo	512	503	457	468	427	476	389	401	432	419
Abril	646	618	561	582	513	586	481	467	513	475
Mayo	697	669	625	630	534	642	513	495	542	524
Junio	589	570	528	518	442	534	422	403	438	448
Julio	501	463	421	408	345	385	286	277	345	287
Agosto	515	495	496	455	427	455	381	392	440	369
Septiembre	491	477	480	453	427	451	383	391	433	383
Octubre	545	536	520	520	466	555	452	437	469	471

Noviembre	510	511	460	497	423	526	420	419	423	453
Diciembre	519	516	433	494	410	549	432	402	407	455
\bar{X} días	542	527	481	492	430	509	409	399	433	425

Tabla 4.12. Número de días de precipitación con valores iguales o superiores a 0,1 mm, y promedio de días de precipitación (1971-2010).

La variable precipitación muestra un comportamiento de persistencia, favoreciendo una relación de dependencia entre días sucesivos lluviosos que aumenta progresivamente a medida que aumentan los días con precipitación anteriores, tal como reveló E.V. Newman (1916). Sin embargo, no se ha profundizado con el análisis de la persistencia de la precipitación, a través de las cadenas de Markov, pero se ha considerado importante analizar la secuencia máxima de días lluviosos seguidos entre días sin precipitación. El principal motivo radica en que no es lo mismo un episodio de 20 mm en un día que en una cadena de cuatro días seguidos de 5 mm cada uno. (Martín-Vide and Gomez, 1999)

Por supuesto, cuando se analizan episodios totales en 24 horas y con registros elevados también se deben considerar. Ya que sus efectos sobre el área de la cuenca, la escorrentía del agua y respuesta hidrológica, son vitales para hacer una gestión adecuada del riesgo del fenómeno.

A continuación, se muestra la distribución de los días de lluvia con una cantidad superior o igual a 25 mm, y su distribución mensual en el periodo de estudio.

>25 mm	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	1L	2L
Enero	33	37	34	36	32	36	24	26	24	28
Febrero	17	25	25	27	19	24	15	15	17	18
Marzo	15	21	20	22	17	24	18	16	11	16
Abril	34	32	38	32	33	28	21	25	31	27
Mayo	23	38	27	41	25	30	22	20	23	26
Junio	27	27	23	18	13	15	9	5	12	9
Julio	25	26	18	22	11	16	6	6	10	8
Agosto	33	34	22	28	14	23	10	5	10	13
Septiembre	37	36	30	29	23	29	23	24	22	23
Octubre	38	43	39	44	39	43	37	36	40	36
Noviembre	37	38	34	32	32	29	26	25	28	25
Diciembre	36	32	35	32	31	33	25	23	23	22
Max. P ₀₁₁₀	2	2	2	4	4	4	5	3	3	3

Tabla 4.13. Número total de días de precipitación con valores iguales o superiores a 25 mm y máxima cadena de días de lluvia consecutivos registrados (1971-2010).

El número de días de precipitación ha disminuido notablemente con relación al número total de días de lluvia. En las estaciones situadas en el sector de montaña su frecuencia y distribución es bastante similar a lo largo de los meses del año. A medida que nos desplazamos a la costa, los valores del número de días superior o igual a 25 mm en los meses de verano son más escasos. Se observa también en las estaciones situadas cerca de la costa, un aumento en la longitud de la cadena de días lluviosos con una cantidad igual o superior a 25 mm.

Se analiza el número de días con precipitación recogida en 24h superior o igual a 50 mm en la siguiente tabla. Destaca una frecuencia estimable en los meses de enero y octubre. La longitud máxima de la cadena de días lluviosos de 50 mm asciende a 3, y, en general, es 2.

>50 mm	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	1L	2L
Enero	9	10	9	11	8	11	4	5	8	9
Febrero	4	5	4	7	5	6	4	2	4	3
Marzo	1	4	2	5	1	1	0	0	1	1
Abril	3	7	5	7	4	4	5	5	7	5
Mayo	3	3	6	6	7	5	6	5	7	5
Junio	3	2	2	3	3	3	2	1	2	2
Julio	6	5	3	4	3	3	3	3	2	3
Agosto	4	4	2	3	2	2	0	0	0	1
Septiembre	4	6	7	8	6	8	4	3	4	6
Octubre	5	7	9	15	12	16	11	8	10	13
Noviembre	6	11	9	10	8	6	5	7	5	4
Diciembre	7	10	9	9	6	6	4	4	7	4
\bar{X} días	5	6	6	7	5	6	4	4	5	5
Max. P ₀₁₁₀	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3

Tabla 4.14. Número total de días de precipitación con valores iguales o superiores a 50 mm por meses y máxima cadena de días de lluvia consecutivos registrados (1971-2010).

Por último, se han analizado las series de días que registran una cantidad máxima recogida en 24 horas igual o superior a 100 mm, que comportan situaciones de riesgo extraordinarias. Muestra una frecuencia inferior como se esperaba. Sin embargo, aparece algún caso en todas las estaciones de estudio. Los meses de verano (junio, julio y agosto) no recogen ningún evento de este tipo. Mientras en otoño, en el mes de octubre registra

las máximas frecuencias en las estaciones analizadas. Las estaciones con más casos se encuentran en la zona media de la cuenca en la llanura.

>100 mm	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	1L	2L
Enero	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Febrero	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0
Marzo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril	0	1	1	2	2	2	2	0	0	1
Mayo	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
Junio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Julio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Septiembre	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2
Octubre	1	2	2	3	3	3	3	3	2	3
Noviembre	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Diciembre	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Max. P ₀₁₁₀	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 4.15. Número de días de precipitación con valores iguales o superiores a 100 mm, por meses y máxima cadena de días de lluvia consecutivos registrados (1971-2010).

4.3.6.1. Índice de concentración (IC)

En este trabajo se ha aplicado el índice de concentración de precipitación diaria introducido por Martín-Vide (2004). Este índice mide la irregularidad de la distribución de la lluvia determinando y cuantificando el área de la curva de concentración o curva de Lorenz como la acumulación de días de lluvia contra la lluvia acumulada, como se detalló en el capítulo 2 de metodología.

Los valores más altos de este índice indican que la precipitación está más concentrada en unos pocos días lluviosos durante el año. Se pueden clasificar de la siguiente manera (Martín-Vide, 2004): <0,56 bajo, 0,56-0,59 moderado, 0,60-0,69 alto y ≥0,70 muy alto.

Los valores que se han obtenido en las estaciones de estudio se presentan en la siguiente tabla.

ID estaciones	P0	P1	CI1	a	b
1C Albanyà	8105	6505	0,64	0,0208	0,0381
2C Maçanet de Cabrenys	8289	6321	0,67	0,0137	0,0420

ID estaciones	P0	P1	CI1	a	b
3C Cabanelles	8842	5768	0,65	0,0179	0,0394
4C Agullana	8709	5901	0,71	0,0059	0,0503
5C Llers	9446	5164	0,66	0,0166	0,0400
6C Espolla	8497	6113	0,70	0,0080	0,0473
7C Peralada	9700	4910	0,67	0,0145	0,0414
8C Vilamacolum	8292	6318	0,67	0,0139	0,0419
1L Pontós	8293	6317	0,67	0,0140	0,0418
2L Port de la Selva	9513	5097	0,69	0,0098	0,0452

Tabla 4.16. Cantidad de días sin precipitación (P0), días lluviosos (P1), el índice CI1 y las constantes a y b de las curvas exponenciales, para las estaciones de estudio (1971-2010).

El valor más bajo de este índice se encuentra en la estación de Albanyà (1C) con un resultado de 0,64 y el más alto en Agullana (4C) con un dato de 0,71. El valor promedio de las estaciones sería de 0,67. Pero, claramente, se observa cómo la mayoría de las estaciones se clasificaría en un intervalo alto (0,60-0,69) y las estaciones de Agulla (4C) y Espolla (6C) en la categoría de muy alto ($\geq 0,70$).

A modo de ejemplo, un valor de IC de 0,66 indica que el 75% de la precipitación se concentra en unos pocos días de lluvia, aproximadamente el 25% de los días más lluviosos del año para una determinada estación.

En la siguiente tabla, se muestran los datos calculados y extraídos en la estación de Albanyà (1C).

CLASE	MARCA	n_i	$\sum n_i$	P_i	$\sum P_i$	$\sum n_i(\%)=X$	$\sum P_i(\%)=Y$
0,1-0,9	0,5	2.054	2.054	1.027,0	1.027,0	31,58	2,5
1,0-1,9	1,5	855	2.909	1.282,5	2.309,50	44,72	5,5
2,0-2,9	2,5	541	3.450	1.352,5	3.662,00	53,04	8,8
3,0-3,9	3,5	430	3.880	1.505,0	5.167,00	59,65	12,4
4,0-4,9	4,5	334	4.214	1.503,0	6.670,00	64,78	16,0
5,0-5,9	5,5	275	4.489	1.512,5	8.182,50	69,01	19,6
6,0-6,9	6,5	244	4.733	1.586,0	9.768,50	72,76	23,4
7,0-7,9	7,5	199	4.932	1.492,5	11.261,00	75,82	27,0
8,0-8,9	8,5	159	5.091	1.351,5	12.612,50	78,26	30,2
9,0-9,9	9,5	123	5.214	1.168,5	13.781,00	80,15	33,0
10,0-10,9	10,5	118	5.332	1.239,0	15.020,00	81,97	36,0
11,0-11,9	11,5	102	5.434	1.173,0	16.193,00	83,54	38,8
12,0-12,9	12,5	116	5.550	1.450,0	17.643,00	85,32	42,2
13,0-13,9	13,5	89	5.639	1.201,5	18.844,50	86,69	45,1
14,0-14,9	14,5	76	5.715	1.102,0	19.946,50	87,86	47,8
15,0-15,9	15,5	70	5.785	1.085,0	21.031,50	88,93	50,3

CLASE	MARCA	n_i	Σn_i	P_i	ΣP_i	$\Sigma n_i(\%)=X$	$\Sigma P_i(\%)=Y$
16,0-16,9	16,5	63	5.848	1.039,5	22.071,00	89,90	52,8
17,0-17,9	17,5	58	5.906	1.015,0	23.086,00	90,79	55,3
18,0-18,9	18,5	62	5.968	1.147,0	24.233,00	91,74	58,0
19,0-19,9	19,5	34	6.002	663,0	24.896,00	92,27	59,6
20,0-20,9	20,5	33	6.035	676,5	25.572,50	92,77	61,2
21,0-21,9	21,5	35	6.070	752,5	26.325,00	93,31	63,0
22,0-22,9	22,5	27	6.097	607,5	26.932,50	93,73	64,5
23,0-23,9	23,5	31	6.128	728,5	27.661,00	94,20	66,2
24,0-24,9	24,5	22	6.150	539,0	28.200,00	94,54	67,5
25,0-25,9	25,5	30	6.180	765,0	28.965,00	95,00	69,3
26,0-26,9	26,5	22	6.202	583,0	29.548,00	95,34	70,7
27,0-27,9	27,5	22	6.224	605,0	30.153,00	95,68	72,2
28,0-28,9	28,5	17	6.241	484,5	30.637,50	95,94	73,3
29,0-29,9	29,5	24	6.265	708,0	31.345,50	96,31	75,0
30,0-30,9	30,5	20	6.285	610,0	31.955,50	96,62	76,5
31,0-31,9	31,5	22	6.307	693,0	32.648,50	96,96	78,2
32,0-32,9	32,5	21	6.328	682,5	33.331,00	97,28	79,8
33,0-33,9	33,5	18	6.346	603,0	33.934,00	97,56	81,2
34,0-34,9	34,5	14	6.360	483,0	34.417,00	97,77	82,4
35,0-35,9	35,5	11	6.371	390,5	34.807,50	97,94	83,3
36,0-36,9	36,5	5	6.376	182,5	34.990,00	98,02	83,8
37,0-37,9	37,5	10	6.386	375,0	35.365,00	98,17	84,7
38,0-38,9	38,5	12	6.398	462,0	35.827,00	98,36	85,8
39,0-39,9	39,5	10	6.408	395,0	36.222,00	98,51	86,7
40,0-40,9	40,5	4	6.412	162,0	36.384,00	98,57	87,1
41,0-41,9	41,5	5	6.417	207,5	36.591,50	98,65	87,6
42,0-42,9	42,5	6	6.423	255,0	36.846,50	98,74	88,2
43,0-43,9	43,5	4	6.427	174,0	37.020,50	98,80	88,6
44,0-44,9	44,5	6	6.433	267,0	37.287,50	98,89	89,3
45,0-45,9	45,5	6	6.439	273,0	37.560,50	98,99	89,9
46,0-46,9	46,5	4	6.443	186,0	37.746,50	99,05	90,4
47,0-47,9	47,5	2	6.445	95,0	37.841,50	99,08	90,6
48,0-48,9	48,5	2	6.447	97,0	37.938,50	99,11	90,8
49,0-49,9	49,5	3	6.450	148,5	38.087,00	99,15	91,2
50,0-50,9	50,5	2	6.452	101,0	38.188,00	99,19	91,4
51,0-51,9	51,5	5	6.457	257,5	38.445,50	99,26	92,0
52,0-52,9	52,5	3	6.460	157,5	38.603,00	99,31	92,4
53,0-53,9	53,5	4	6.464	214,0	38.817,00	99,37	92,9
54,0-54,9	54,5	2	6.466	109,0	38.926,00	99,40	93,2
55,0-55,9	55,5	1	6.467	55,5	38.981,50	99,42	93,3
56,0-56,9	56,5	3	6.470	169,5	39.151,00	99,46	93,7
57,0-57,9	57,5	3	6.473	172,5	39.323,50	99,51	94,1
58,0-58,9	58,5	2	6.475	117,0	39.440,50	99,54	94,4

CLASE	MARCA	n_i	Σn_i	P_i	ΣP_i	$\Sigma n_i(\%)=X$	$\Sigma P_i(\%)=Y$
59,0-59,9	59,5	3	6.478	178,5	39.619,00	99,58	94,8
61,0-61,9	61,5	2	6.480	123,0	39.742,00	99,62	95,1
63,0-63,9	63,5	1	6.481	63,5	39.805,50	99,63	95,3
66,0-66,9	66,5	2	6.483	133,0	39.938,50	99,66	95,6
67,0-67,9	67,5	1	6.484	67,5	40.006,00	99,68	95,8
68,0-68,9	68,5	2	6.486	137,0	40.143,00	99,71	96,1
70,0-70,9	70,5	1	6.487	70,5	40.213,50	99,72	96,3
74,0-74,9	74,5	1	6.488	74,5	40.288,00	99,74	96,4
75,0-75,9	75,5	2	6.490	151,0	40.439,00	99,77	96,8
77,0-77,9	77,5	1	6.491	77,5	40.516,50	99,78	97,0
79,0-79,9	79,5	1	6.492	79,5	40.596,00	99,80	97,2
80,0-80,9	80,5	1	6.493	80,5	40.676,50	99,82	97,4
81,0-81,9	81,5	3	6.496	244,5	40.921,00	99,86	98,0
82,0-82,9	82,5	1	6.497	82,5	41.003,50	99,88	98,2
87,0-87,9	87,5	2	6.499	175,0	41.178,50	99,91	98,6
90,0-90,9	90,5	1	6.500	90,5	41.269,00	99,92	98,8
91,0-91,9	91,5	1	6.501	91,5	41.360,50	99,94	99,0
95,0-95,9	95,5	1	6.502	95,5	41.456,00	99,95	99,2
96,0-96,9	96,5	1	6.503	96,5	41.552,50	99,97	99,5
103,0-103,9	103,5	1	6.504	103,5	41.656,00	99,98	99,7
115,0-115,9	115,5	1	6.505	115,5	41.771,50	100,00	100,0
		6.505	41.771,5			7.412,2	5.945,6

Tabla 4.17. Distribución de frecuencias (clases 1mm), frecuencias relativas acumuladas y porcentajes acumulados de cantidades de precipitación diaria en la estación de Albanyà (1C), (1971-2010).

Se representan gráficamente los datos de Albanyà (1C) y Agullana (4C), donde se puede observar más claramente la diferencia entre las dos series y su distribución de la precipitación diaria.

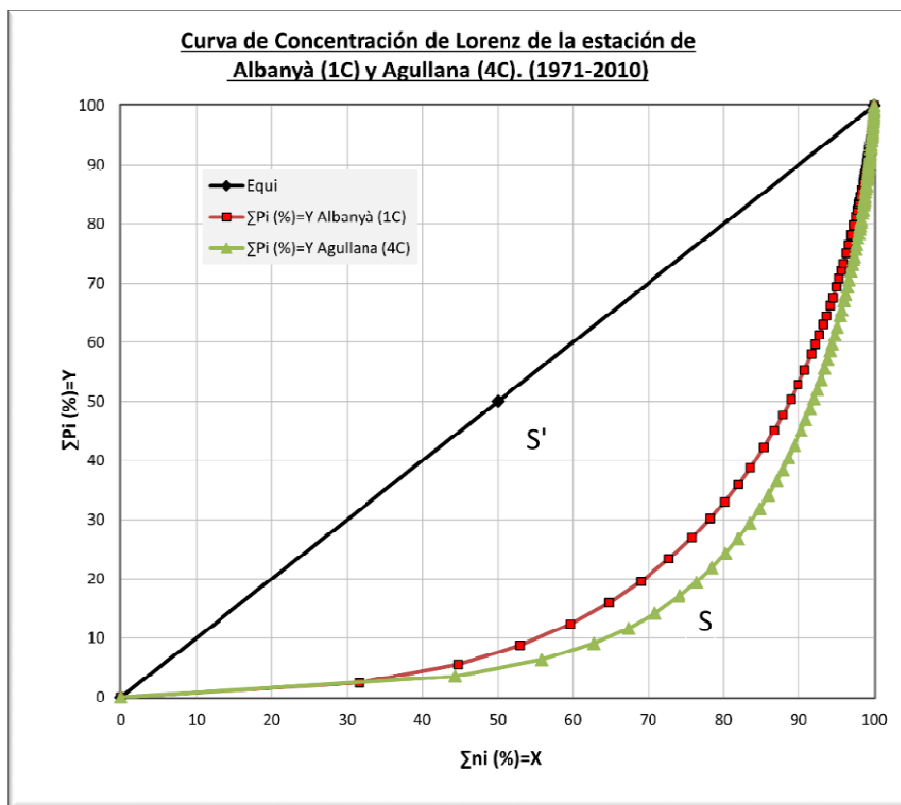


Figura 4.16. Curvas de concentración, o de Lorenz, de Agullana (4C) y Albanyà (1C), para el período 1971-2010.

La línea de equidistribución (un caso ideal) representaría una distribución de la precipitación diaria perfecta, con valores extremos ideales de 0 (todas las cantidades diarias iguales) y 1 (un solo día de precipitación). El índice de concentración representa el tanto por uno del área comprendida entre la recta de equidistribución, la curva exponencial y la ordenada $Y=100$, y el área del triángulo mencionado. Nótese que cuanto mayor sea el valor de CI más peso tienen unos pocos días muy lluviosos en el total pluviométrico. En la figura anterior se representan las curvas de concentración o de Lorenz de Albanyà (1C) y Agullana (4C). La estación de Agullana muestra una separación más alta respecto a la recta de equidistribución, lo cual indica una concentración notable de la precipitación diaria. En la estación meteorológica de Albanyà (1C) el 10% de los días más lluviosos representa el 55% del volumen total (el 90% de los días que quedan representa el 45%), y en la estación meteorológica de Agullana (4C) el 10% de los días

más lluviosos representa el 65% del volumen total (el 90% de los días que quedan representa el 35%).

4.3.7. Clasificación sinóptica de Jenkinson y Collison de los episodios de precipitación extrema

En nuestra área de estudio, a partir de las 10 estaciones analizadas, con 14.610 días cada una, que forman el periodo temporal de 40 años (1971-2010), se han encontrado 55 casos de episodios de precipitación igual o superior a 100 mm. Las fechas responsables de estos sucesos han quedado reducidas a 17. El motivo de esto se explica porque los episodios de las diferentes estaciones con una precipitación igual o superior a 100 mm a pesar de sus diferentes ubicaciones se dieron en las mismas fechas. Los episodios torrenciales pueden tener una repercusión local, pero también pueden darse de forma extendida, y afectar a un número elevado de estaciones separadas en el territorio, como ha sucedido en este caso en algunas fechas.

Una vez clasificadas según J&C las fechas con precipitación torrencial en la cuenca del río Muga, se ha obtenido que el tipo ciclónico puro predomina con un 59% de los casos, seguido de tipos advectivos o direccionales puros (23%) y un 12% de tipo híbridos.

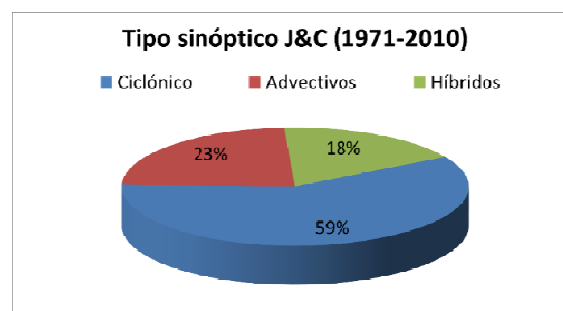


Figura 4.17. Distribución de tipos sinópticos de Jenkinson y Collison (J&C) de las fechas con una precipitación igual o superior a 100 mm durante el periodo 1971-2010.

Al comparar los datos obtenidos entre los dos subperíodos de 20 años (1971-1990 y 1991-2010), para detectar posibles variaciones, se observa que, en efecto, existen. En la siguiente figura, se puede observar cómo en el primer subperíodo los resultados muestran que los tipos sinópticos asociados a los episodios de precipitación torrencial son en un 50% de tipo ciclónico puro y un restante 25% de origen advectivo, empatados con

los tipos híbridos. En el segundo subperíodo (1991-2010) destaca un aumento al 67% de los episodios con el tipo ciclónico puro, y el resto de los casos, un 22% de tipos advectivos y un porcentaje bajo de los tipos híbridos (11%).

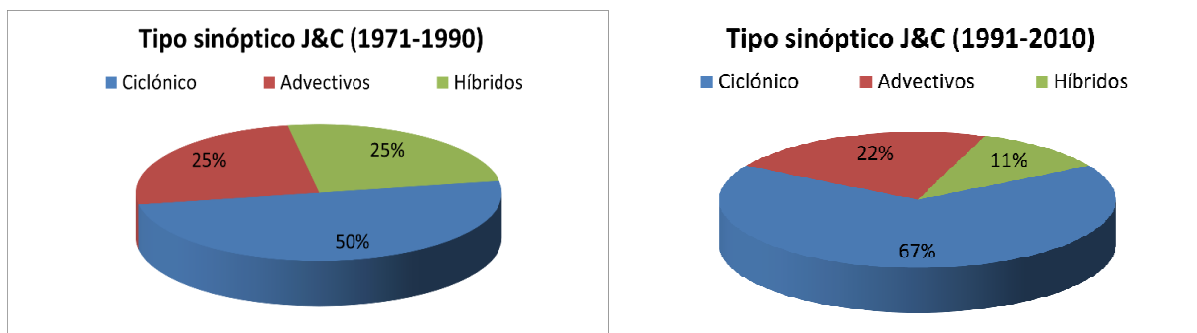


Figura 4.18. Distribución de los diferentes tipos sinópticos de Jenkinson y Collinson (J&C) de las fechas con una precipitación igual o superior a 100 mm durante los dos subperiodos analizados A:1971-1990 y B:1991-2010.

De la configuración isobárica básica de los 27 tipos sinópticos de Jenkinson y Collinson sobre la Península (Martín-Vide et al., 2016), se han registrado 7 configuraciones tipo. Dentro de los tipos advectivos, que corresponden a advecciones puras del norte (N), noreste (NE), noroeste (NW) y sur (S), con flujos de vientos de las citadas direcciones. También se han dado tipos híbridos, que se han reflejado en advecciones mixtas de carácter ciclónico del norte (CN) y del sur (CS). Y, por último, pero no por ello menos importantes, también ha habido situaciones sinópticas de tipo ciclónico que corresponden a una depresión o borrasca centrada sobre la Península Ibérica y que recoge la mayoría de los casos analizados.

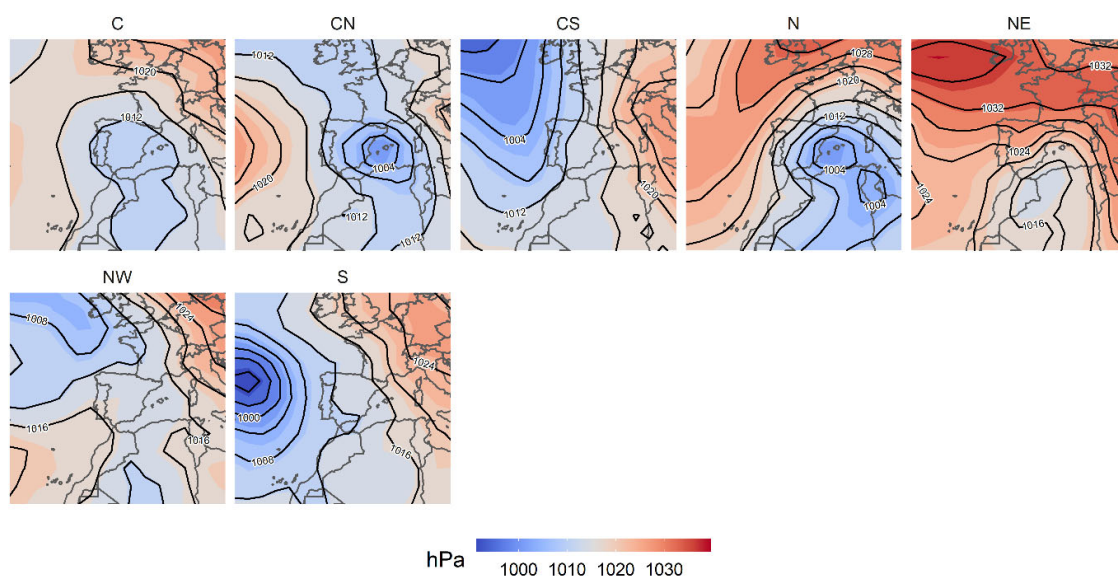


Figura 4.19. Modelos isobáricos promedio de las situaciones analizadas y obtenidas según los diferentes tipos sinópticos de Jenkinson y Collison (J&C).

La alta frecuencia del tipo sinóptico Ciclónico en la costa de Cataluña, y en nuestra área de estudio, pone de manifiesto el carácter claramente ciclogénico de la región, sobre todo el de los golfos de León y de Génova, en el que se generan procesos de ciclogénesis a sotavento de los Alpes (Bayés, 2002, Gilabert and Llasat, 2018)

En un estudio anterior, Llop et al. (2012) utilizaron la clasificación sinóptica de Jenkinson y Collison para conocer el origen sinóptico de los días de precipitación mayor o igual a 100 mm en la franja litoral catalana e islas Baleares, los resultados en el área catalana fue que de los 304 episodios analizados casi un 57% se clasificaron como eventos de carácter ciclónico (C), en el periodo de análisis entre los años 1950 y 2005. Otros estudios más recientes también han obtenido resultados similares (Grimalt et al., 2013, Grimalt-Gelabert et al., 2021)

4.3.8. Periodos de retorno (T).

En este apartado se ha procedido a la obtención de la cantidad máxima de precipitación esperada en un día, con relación a distintos periodos de retorno. El análisis de los eventos

extremos de precipitación y el resultado de los periodos de retorno, permiten describir la intensidad dando una aproximación de la frecuencia de aparición del evento.

Como se ha comprobado en el apartado de frecuencia de días de precipitación para diferentes umbrales, la magnitud de un fenómeno pluviométrico extremo está relacionado de forma inversa con su frecuencia de ocurrencia. Por esta razón las precipitaciones intensas ocurren con una frecuencia menor que las moderadas o débiles (Chow, 1993).

		Periodos de retorno (T)							
		5 años	10 años	15 años	30 años	50 años	100 años	200 años	500 años
1C	Albanyà	78,36	90,79	97,73	109,25	118,15	129,72	141,24	156,44
2C	Maçanet de Cabrenys	91,52	106,03	114,13	127,60	135,63	138,01	165,00	182,77
3C	Cabanelles	92,50	109,26	118,60	134,13	146,14	161,72	177,26	197,75
4C	Agullana	107,06	128,50	140,45	160,33	175,69	195,64	215,52	241,74
5C	Llers	96,62	116,20	127,12	145,27	159,30	177,52	195,67	219,62
6C	Espolla	97,41	115,37	125,39	142,04	154,91	171,62	188,28	210,25
7C	Peralada	93,89	112,92	123,52	141,15	154,78	172,48	190,11	213,37
8C	Vilamacolum	90,01	108,11	118,20	134,98	147,95	164,79	181,57	203,71
1L	Pontós	85,75	100,28	108,38	121,85	132,27	145,79	159,26	177,03
2L	Port de la Selva	100,25	128,18	144,18	171,05	191,87	218,81	245,46	280,25

Tabla 4.18. Cantidades máximas de precipitación diaria (mm) esperadas mediante la función de probabilidad de Gumbel Máxima para diferentes periodos de retorno.

Los valores obtenidos revelan que la presencia de episodios de precipitación superiores a 100 mm, en 24 horas, no son tan extraordinarios. En la estación de Agullana (4C) se presentan en un periodo de retorno de tan solo cinco años, o en Port de la Selva (2L).

Los valores más elevados se concentran en la zona intermedia de la cuenca, entre la montaña y la costa.

4.3.9. La Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) y su influencia sobre la variabilidad pluviométrica y eventos extremos.

En este apartado se presentan los resultados de correlacionar la variabilidad intraanual del WeMOi con las precipitaciones mensuales de las series y analizar su correspondencia

con las anomalías pluviométricas anuales presentes en la serie temporal de estudio. Los datos que se han utilizado de WeMOi abarcan el periodo de estudio, 1971-2010.

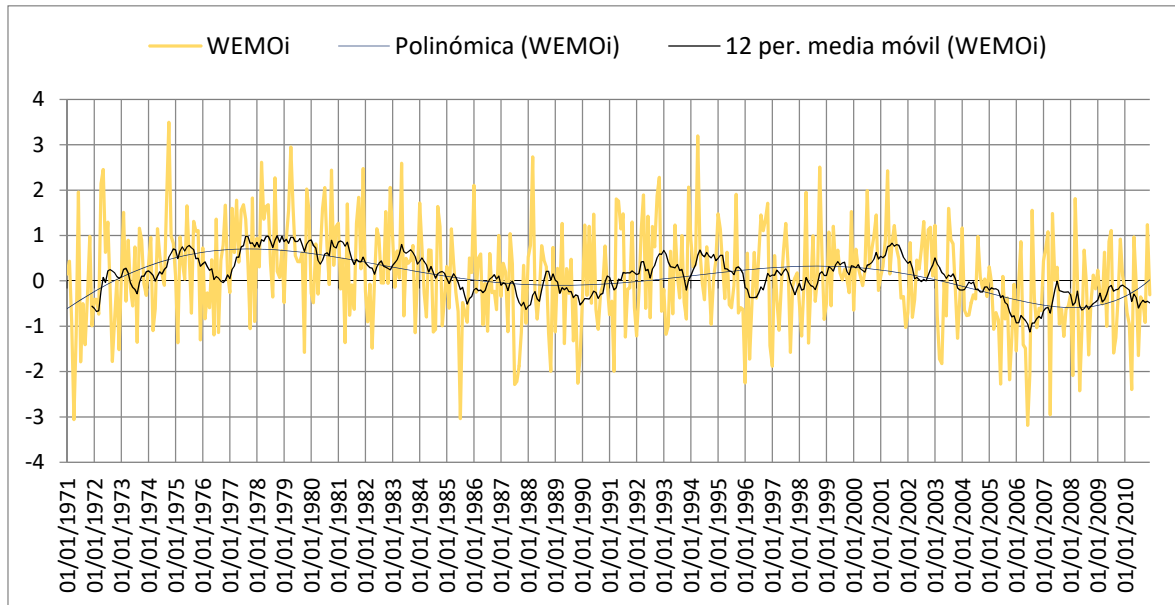


Figura 4.20. Evolución temporal mensual del WeMOi, en el periodo 1971-2010, con una media móvil anual y la línea de tendencia de carácter polinómico de grado 5.

Los gráficos que se han construido recogen las anomalías detectadas en los periodos anuales de precipitación, recogidos en el apartado I del anexo, al final de este trabajo. Aunque la tendencia gráfica de los valores anuales de las anomalías de la precipitación muestra una similitud con la evolución temporal del WeMOi, la correlación de los datos anuales no ha sido significativa.

Por el contrario, los datos de precipitación mensual sí han revelado una correlación y valoración significativa con el índice WeMO, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Precip. Mensual/WeMOi	Pearson (r)	P-value
1C Albanyà	-0,184	< 0,0001
2C Maçanet de Cabrenys	-0,202	< 0,0001
3C Cabanelles	-0,221	< 0,0001
4C Agullana	-0,211	< 0,0001
5C Llers	-0,219	< 0,0001
6C Espolla	-0,205	< 0,0001
7C Peralada	-0,203	< 0,0001
8C Vilamacolum	-0,202	< 0,0001

Precip. Mensual/WeMOi	Pearson (r)	P-value
9C Figueres	-0,187	< 0,0001
1L Pontós	-0,217	< 0,0001
2L Port de la Selva	-0,200	< 0,0001
13E Cadaqués	-0,153	0,001

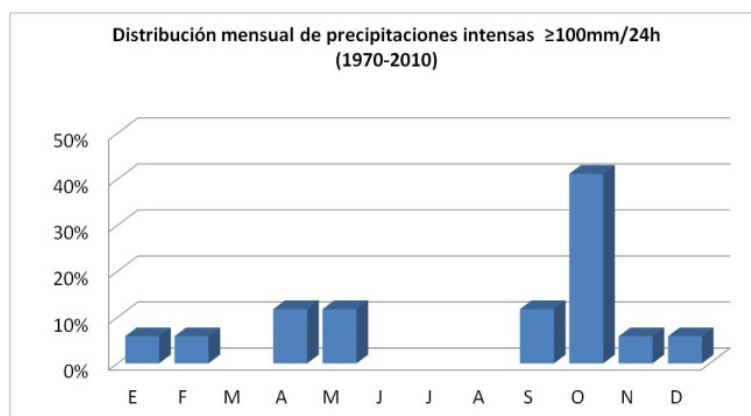
Tabla 4.19. Valores del coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value entre las precipitaciones mensuales y los WeMOi mensuales. (Los valores en negrita tiene un nivel de significación alfa=0,05).

Los resultados muestran una correlación estadística negativa y muy significativa para todas las series analizadas, con una evidencia muy fuerte contra la hipótesis nula.

En relación con los valores mensuales de WeMOi y la ocurrencia de episodios torrenciales, los resultados mostraron que en un 87% de los días con valores de precipitación torrencial el WeMOi diario fue negativo una clara asociación entre los valores negativos de este índice de teleconexión y la ocurrencia de precipitación torrencial en la cuenca del río Muga. Los valores del WeMOi más negativos se observan en otoño, especialmente durante octubre, coincidentes con la ocurrencia del mayor número de episodios torrenciales.

El análisis de la distribución intraanual de los episodios de lluvias torrenciales se concentran en el mes de octubre durante el periodo de estudio de forma destacada (Fig.4.21), y en los dos subperíodos (Fig.4.22). Sin embargo, se observa en el segundo subperíodo la presencia de un segundo máximo pluviométrico de precipitaciones torrenciales en primavera y una concentración del resto de los episodios en otoño.

Figura 1.21. Distribución mensual de los episodios de precipitaciones torrenciales (1971-2010), en porcentaje.



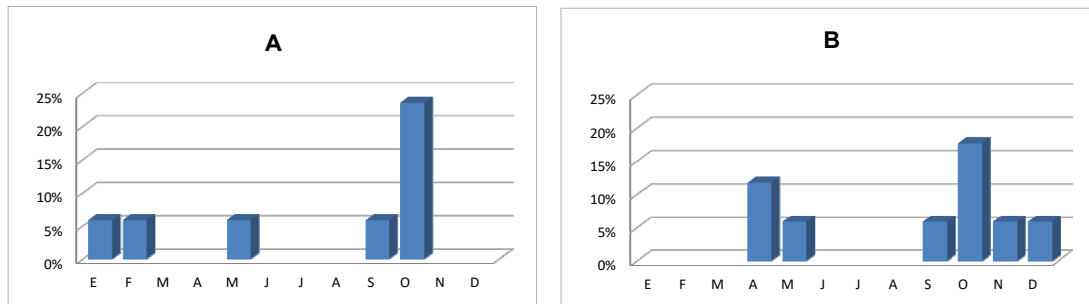


Figura 4.22. Distribución mensual de los episodios de precipitaciones torrenciales en los dos subperíodos, A:1971-1990 y B: 1991-2010, en porcentaje.

Los valores del WeMOi más negativos se observan en otoño, especialmente durante octubre, coincidentes con la ocurrencia del mayor número de episodios torrenciales en octubre, lo que explica que este mes sea el mes más húmedo en la mayoría de los observatorios del litoral catalán y de otras áreas de la facha oriental de la Península Ibérica (Lopez-Bustins et al.,2016). La mayor frecuencia de episodios extremos negativos de la WeMO durante octubre, configurados con la presencia de altas presiones en Centroeuropa y bajas presiones en el Golfo de Cádiz, favorece la circulación de vientos de levante sobre la Península. Esta circulación mediterránea es el ingrediente principal para favorecer la ocurrencia de episodios torrenciales en el este peninsular (Martín-Vide, 2005).

4.3.10. La variabilidad y el cambio climático

Los cambios que se están produciendo a escala planetaria, por causas antrópicas, y de los cuales casi nadie pone en duda sobre el cambio climático, se resumen, en el informe elaborado por la Mesa Intergubernamental de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (IPCC). Los cambios observados en los últimos informes con relación a la zona climática donde se localiza nuestra área de estudio, en las latitudes medias, un análisis de la variabilidad temporal de los datos se considera primordial. Y muchos trabajos así lo han tratado. (Aguilar-Alba and Moral-Ituarte, 2011, Lemus-Canovas and López-Bustins, 2021)

En este sentido, siempre se ha considerado que un aumento, o una disminución, climáticamente significativa de la media de un elemento como la temperatura o la precipitación responde al concepto de cambio climático. Pero también hay que considerar otras variables, o el análisis de datos de frecuencias o de las varianzas para este análisis de variabilidad temporal.

Con el objetivo de detectar algún tipo de tendencia significativa en el comportamiento de las variables climáticas, se han analizado diversos datos y variables, obtenidos previamente. Las tablas resumen con los resultados obtenidos, tras realizar la prueba estadística de Mann-Kendall y la pendiente de Sen, se encuentran recogidas al final del trabajo para poder observar el detalle del cálculo.

Se detallan los resultados de los diferentes análisis realizados en los siguientes subapartados.

4.3.10.1. Precipitación anual (1971-2010)

Los resultados del análisis de las tendencias para la precipitación total anual del periodo 1971-2010 han dado como resultado y sólo para la serie localizada en Peralada (7C) un nivel de tendencia significativo, como se adelantaba al inicio del capítulo. Es aceptable, aunque no muy elevado, pues su nivel de confianza es de un 90%. El resto de las series presentan una valoración dudosa, con menos del 90% de significación, de alguna tendencia significativa.

4.3.10.2. Valores de precipitación mensual (1971-2010)

Los resultados del análisis de las tendencias para la precipitación mensual del periodo 1971-2010, con los datos referidos a los doce meses del año, nos ha dado como resultado destacado que el mes de junio concentra las tendencias significativas de precipitación mensual, pero también se han encontrado tendencias significativas en el mes de agosto, octubre y noviembre.

En relación con la precipitación mensual de junio, se ha detectado una tendencia claramente negativa, con la reducción de su cantidad de precipitación. A continuación, el resumen de los resultados obtenidos más relevantes:

*** Maçanet de Cabrenys (2C), Cabanelles (3C), Agullana (4C) y Espolla (6C).

Estas series presentan una significación estadística excelente, al 99,9% de significación, y una inequívoca tendencia a la reducción de la precipitación total mensual de junio.

** Albanyà (1C), Llers (5C), Peralada (7C), Vilamacolum (8C), Port de la Selva (2L) y Cadaqués (13E)

Los resultados obtenidos de estas series presentan una significación estadística muy buena, al 99% de significación, de la tendencia de reducción de la precipitación total mensual en junio.

* Figueres (9C) y Pontós (1L)

En este último grupo, también se puede hablar de una significación estadística buena, con un 95% de nivel de confianza.

No hay dudas de que se está produciendo de una forma generalizada en el área de estudio una reducción de la precipitación mensual en el mes de junio.

Los datos de precipitación mensual en agosto muestran que la serie de Cabanelles (3C) es la única que presenta una disminución de la precipitación con una significación estadística aceptable, de más del 90% de significación. Y para el resto de las series, en este mes, su tendencia es dudosa con menos del 90% de significación.

En el mes de octubre, por el contrario, se detecta un aumento de la precipitación total mensual, en el periodo de análisis, en las series de Maçanet de Cabrenys (2C) y de Figueres (9C). Su significación estadística es aceptable con más del 90% de significación.

Las tendencias en el mes de noviembre también son positivas, pero sólo significativas para las series de Albanyà (1C) y Maçanet de Cabrenys (2C). La serie de Albanyà presenta un nivel de significación estadística buena con un 95% de significación. Y la serie de Maçanet de Cabrenys presenta unos resultados que indican que la tendencia positiva, de incremento de la precipitación en noviembre, es aceptable con más de un 90% de significación.

Hay que añadir que en el mes de mayo también hay una serie con tendencia significativa, pero se trata de la estación de Cadaqués, que se ha utilizado de referencia y que no se encuentra cerca de nuestra área de estudio. Se ha obtenido una tendencia negativa, que indica una reducción de la precipitación, con una valoración aceptable y significación de más de un 90%.

4.3.10.3. Valores de precipitación estacional (1971-2010)

El análisis de las tendencias de la precipitación estacional, para las diferentes estaciones del año (otoño, invierno, primavera y verano) calculadas según el año hidrometeorológico, nos han revelado tendencias significativas únicamente en el periodo estival, y con un descenso de las precipitaciones. A continuación, el resumen de los resultados obtenidos más relevantes:

*** Cabanelles (3C) y Cadaqués (13E).

Estas series presentan una significación estadística excelente, al 99,9% de significación, y muestran una inequívoca tendencia a la reducción de la precipitación total en la estación de verano.

** Albanyà (1C), Maçanet de Cabrenys (2C), Agullana (4C), Llers (5C) y Espolla (6C).

Los resultados obtenidos de estas series presentan una significación estadística muy buena, al 99% de significación, de la tendencia de reducción de precipitación total mensual en el periodo estival.

* Peralada (7C), Vilamacolum (8C), Pontós (1L) y Port de la Selva (2L).

En el siguiente grupo, también podemos hablar de una significación estadística buena, con un 95% de significación.

+ Figueres (9C)

Finalmente, la serie de la estación de Figueres también presenta una tendencia a la reducción de las precipitaciones en verano, con una significación estadística aceptable, con más de un 90% de significación.

Todas las estaciones analizadas han mostrado una tendencia significativa de la reducción de la precipitación en la época estival, que suma los datos de precipitación de junio, julio y agosto.

4.3.10.4. Número de días de precipitación anual (1971-2010)

El análisis de las tendencias del número total anual de días registrados con precipitación diaria, superior o igual a 0,1 mm, en el periodo de estudio, ha revelado una tendencia significativa positiva, con el incremento de días de lluvia en las series de Albanyà (1C), Maçanet de Cabrenys (2C) y Espolla (6C). Los resultados nos dan una valoración no muy marcada de la tendencia, con más de un 90% de significación.

4.3.10.5. Valor máximo anual de precipitación diaria, recogida en 24h (1971-2010)

El análisis de tendencia de los datos anuales de precipitación máxima recogida en 24 h sugiere una tendencia positiva, es decir, un incremento de la intensidad, pero únicamente tiene un carácter significativo en la serie de Espolla (6C). En este caso, con un resultado que nos indica una valoración buena de la tendencia con un 95% de significación.

Capítulo 5

CONCLUSIONES

5. Conclusiones

En este trabajo se ha utilizado una metodología estadístico-probabilística para el análisis de la información disponible y otros métodos afines para analizar las características de la precipitación en la cuenca de la Muga.

Se han cumplido los objetivos generales y específicos planteados al inicio del trabajo, al haberse recopilado toda la información meteorológica disponible en el área de estudio; analizado la consistencia y fiabilidad de las series temporales; caracterizado la cuenca del río Muga y su medio con una diagnosis geográfica que relaciona las características físicas y territoriales; verificado la relación de la pluviometría y el WeMOi; relacionado las características de la precipitación, en especial su variabilidad; catalogado sinópticamente los episodios extremos; y analizado las tendencias climáticas de las variables en el área de estudio.

La cuenca de la Muga se encuentra afectada por una alta variabilidad pluviométrica y la incertidumbre de las aportaciones totales de precipitación anual. Su ubicación geográfica entre dos zonas climáticas, la templada y la subtropical, con predominio de las características mediterráneas, la hace especialmente vulnerable a los cambios climáticos previstos a corto, medio y largo plazo.

Se ha realizado el análisis de la precipitación espacial y temporalmente. Los valores analizados han sido los totales mensuales y anuales y sus respectivos valores medios. Se

ha contado también con datos referentes a la precipitación máxima recibida en 24 horas, y se han analizado las cantidades, como también la frecuencia de los días de lluvia, teniendo en consideración diferentes umbrales de precipitación diaria total y su índice de concentración.

Las conclusiones que el análisis pluviométrico determina indican una cuenca claramente diferenciada en cuanto a la cantidad de precipitación se refiere, y su distribución mensual y estacional, así como por su variabilidad. Los valores máximos y mínimos recogidos presentan valores muy dispersos en el conjunto del área de estudio. Los valores extremos, muestran una diferencia de más de 1.450 mm en las estaciones localizadas cerca de la costa y más expuestas a los flujos, húmedos o secos, provenientes del mar Mediterráneo. En las zonas de la cabecera de la cuenca también encontramos un rango superior a los 1.150 mm. La variabilidad a la cual se hacía referencia es la responsable de registrar valores máximos de precipitación propios de climas más húmedos o mínimos de climas semiáridos, con valores menores a los 400 mm anuales algún año.

La cantidad de precipitación anual y su distribución en la cuenca está en función directa de la altitud. La cuenca de la Muga presenta una diferencia altitudinal de 1240 m. El sector que concentra los valores más altos de precipitación media anual se encuentra en el noroeste de la cabecera de la cuenca. La precipitación media anual disminuye de norte a sur y desde el área interior a la zona de la costa.

La correlación de las variables latitud, longitud, altitud, precipitación media anual, desviación estándar anual y el coeficiente de variación anual muestra que la variable latitud no está correlacionada significativamente con ninguna otra. La variable longitud sí tiene una correlación muy alta y significativa de carácter negativo con la precipitación media anual (-0,833), y una correlación positiva con el coeficiente de variación anual (0,847), ambas con un nivel de confianza superior al 99%. El factor altitudinal tiene una correlación muy alta positiva con los datos de precipitación media anual (0,869) y de forma negativa con el coeficiente de variación anual (-0,704). También se ha encontrado una correlación inversa entre el valor de precipitación media anual y el coeficiente de variación anual (-0,821), con un valor de significancia superior al 99%.

La distribución mensual de las precipitaciones muestra un valor mínimo mensual en julio. Además, se presenta en un 75% de las series un máximo en octubre. Sin embargo, las estaciones localizadas en la cabecera tienen su valor mínimo de precipitación mensual en el mes de febrero, y un valor máximo mensual en el mes de mayo, junto a la estación de Agullana, localizada en el área más montañosa. Este hecho que resalta el papel de la orografía y su influencia en las precipitaciones recibidas, en la mitad norte de la cuenca, en los meses de abril, mayo y junio.

El régimen estacional medio dentro de la cuenca muestra diferencias entre las zonas a mayor altura, con una distribución regular a lo largo del año, y el resto de las series. Por consiguiente, la regionalización de las precipitaciones en la cuenca responde a factores geográficos como son la altitud y la distancia al mar.

De forma complementaria, la variabilidad anual de los datos mensuales muestra valores excepcionalmente atípicos en el mes de julio para la mayoría de las series y un mes de agosto con los valores de variabilidad más bajos. A pesar de los diferentes regímenes de las estaciones, el mes de octubre destaca con la presencia de episodios probables de precipitación con totales en el umbral de los 200 mm. Se puede destacar que, de cada diez meses de mayo, uno registra más de 200 mm en las estaciones de Albanyà (9D= 207,9 mm), Maçanet de Cabrenys (9D= 213,2 mm) y Cabanelles (9D= 211,4 mm). Así mismo, en el mes de octubre también presentan de cada diez meses uno de ellos con valores alrededor de los 200 mm. Las estaciones más alejadas de la zona noroeste de la cuenca presentan un máximo destacado en octubre, con un noveno decil (9D) superior a 250 mm; son las estaciones de Agullana, Llers y Espolla. Y Los valores obtenidos revelan que la presencia de episodios de precipitación superiores a 100 mm, en 24 horas, no son tan extraordinarios, en la estación de Agullana (4C) se presentan en un periodo de retorno de tan solo cinco años, o en Port de la Selva (2L).

El régimen estacional OPIV es el predominante en el conjunto de la cuenca. Sin embargo, la variabilidad de la precipitación, propia del ámbito mediterráneo, provoca que en cada estación meteorológica se puedan presentar diferentes ritmos estacionales dependiendo del año. Al reducir la escala de análisis a cada año, se amplían los ritmos posibles, y podrían presentarse las 24 permutaciones teóricas. Los datos de frecuencia

del porcentaje máximo de concentración de la precipitación estacional se elevan a medida que nos desplazamos hacia la costa, con valores de hasta casi un 70%.

La caracterización de la precipitación anual ha mostrado la combinación de años muy secos y años muy húmedos de forma consecutiva. Del mismo modo, los años secos o muy secos tienen una distribución espacial por la cuenca más amplia que los años caracterizados como húmedos o muy húmedos.

El porcentaje de precipitación de episodios con lluvias intensas es más alto en la zona media y baja de la cuenca. En las zonas de montaña los episodios de precipitación intensa no garantizan la caracterización de un año húmedo.

Los episodios de lluvias intensas en 24h no son los únicos responsables de inundaciones y afectaciones en el territorio y la población, puesto que los días encadenados de precipitación moderada-alta también pueden tener graves consecuencias en el territorio.

El índice de concentración de la precipitación de las estaciones da valores que se clasifican en un intervalo alto o muy alto, ratificando la concentración de los totales de precipitación en un porcentaje bajo de los días de lluvia. El valor medio de 0,66 para la cuenca refleja que el 75% de la precipitación total se concentra en unos pocos días de lluvia, aproximadamente el 25% de los días más lluviosos del año.

El tipo sinóptico de Jenkinson y Collison más representativo, a través del análisis de 16 puntos de presión, de las precipitaciones torrenciales con valor igual o superior a 100mm/24h es el ciclónico. En los resultados del análisis de los subperíodos se aprecia un aumento en la frecuencia de este patrón sinóptico en los casos de fuertes lluvias durante el segundo subperíodo.

La cantidad de precipitación máxima en 24 h estimada para diferentes periodos de retorno mediante la distribución de probabilidad de Gumbel máximo muestra que los episodios de precipitación con valores superiores a 100 mm no son tan extraordinarios. Y que en la serie de Agullana tienen un periodo de recurrencia inferior a cinco años.

En relación con los valores de WeMOi y la ocurrencia de episodios torrenciales, los resultados mostraron que en un 87% de los días con precipitación torrencial el WeMOi diario fue negativo en la cuenca del río Muga. Los valores del WeMOi más negativos se observan en otoño, especialmente durante octubre, coincidentes con la ocurrencia del mayor número de episodios torrenciales. Sin embargo, se observa en el segundo subperíodo la presencia de un segundo máximo pluviométrico de precipitaciones torrenciales en primavera y una concentración del resto de los episodios en otoño.

Las precipitaciones mensuales con el WeMOi mensual se ha confirmado una correlación estadística significativa. Mientras que con los datos anuales no ha sido posible.

A partir del análisis realizado con la prueba estadística de Mann-Kendall se confirma la existencia de un cambio estructural en la precipitación en los últimos 40 años, dentro del período temporal analizado, 1971-2010.

En primer lugar, hay que señalar que en los totales anuales no hay tendencias significativas en la mayoría de las series analizadas, a excepción de la estación de Peralada, que muestra una tendencia positiva aceptable de más de un 90% de significación. En segundo lugar, hay que destacar que el estudio desagregado de la precipitación, primero por meses y después por periodos estacionales, sí ha mostrado resultados importantes sobre el cambio climático que se está produciendo. A nivel mensual se ha observado un cambio muy destacado en todas las series en el mes de junio, con una tendencia negativa general, y con diferentes niveles de significación, pero todos elevados. Fuera de este mes del año, encontramos en algunas series puntuales variaciones en su comportamiento y en algunos otros meses, como son noviembre (aumento), octubre (aumento) y agosto (descenso), especialmente en estaciones ubicadas a más altura en la cabecera de la cuenca. En el análisis de la precipitación estacional se ha obtenido, también para todas las series analizadas, en verano un descenso de las precipitaciones. Las series localizadas en la zona media y alta de la cuenca de la Muga presentan un nivel de significación más elevado en relación con otras localizadas más cerca de la costa.

La frecuencia del número de días de precipitación anual registrados en las diferentes series también se ha analizado obteniéndose una tendencia significativa y de carácter positivo en el aumento de la frecuencia para casi un tercio de estas. Sin embargo, en algunas de las series se ha observado una ligera tendencia negativa que en ningún caso es significativa.

Los valores máximos de precipitación recogida en 24 h para cada año del periodo se han analizado y solo en el caso de la serie de Espolla, ubicada en el sector este de la cuenca cerca de la zona de cabecera, ha mostrado una tendencia positiva.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

[ACA, 2009] Agència Catalana de l'Aigua, ACA (2009) Aigua i Canvi Climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya. 3r Conveni Agència Catalana de l'Aigua i Fundació Nova Cultura de l'Aigua. Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge. 331 pp.

[Aguilar-Alba and Moral-Ituarte, 2011] Aguilar-Alba, M. and Moral-Ituarte, L. (2011). Análisis y valoración del tratamiento del cambio climático en el proyecto de Plan Hidrológico de la demarcación del Guadalquivir, Congreso Ibérico de gestión del agua, España, pp.1-9

[Aguilar-Alba and Vetter, 2014] Aguilar-Alba, M. and Vetter, M. (2014). Aproximación a las tendencias pluviométricas y escenarios climáticos futuros en Doñana. Posibles efectos sobre la vegetación de humedales y lagunas, Biogeografía de sistemas litorales. Dinámica y conservación, Editor: Cámara Artigas, R., Rodríguez Pérez, B. and Muriel Gómez, J.L., Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Sevilla y Grupo de Geografía Física de la AGE, España, pp.359-366, ISBN. 978-84-617-1068-3.

[Aguilar-Alba et al., 2019] Aguilar-Alba, M., Naranjo, J.M.C. and Gutiérrez, J.A.A. (2019). Geovisualization Technologies Applied to Statistical Characterization of the Iberian Peninsula Rainfall Using the Global Climate Monitor Web Viewer. In: Ragia L., Grueau C. and Laurini, R. (eds) Geographical Information Systems Theory, Applications and Management. GISTAM 2018. Communications in Computer and Information Science, vol 1061. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-29948-4_5

[Allen et al., 1998] Allen, R.G., Pereira, L.S. and Raes, D. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Disponible: www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm#Contents

[Allen et al., 2006] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos - FAO Irrigation and drainage paper 56. Disponible: www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm

[Ashcroft et al., 2018] Ashcroft, L., Coll, J., Gilabert, A., Domonkos, P., Brunet, M., Aguilar, E., Castella, M., Sigró, J., Harris, I., Unden, P. and Jones, P. (2018). A rescued dataset of sub-daily meteorological observations for Europe and the southern Mediterranean region, 1877–2012. Earth System Science Data. 10. 1613-1635. DOI: 10.5194/essd-10-1613-2018.

- [Barnolas and Llasat, 2007] Barnolas, M. and M. C. Llasat (2007). A flood geodatabase and its climatological applications: the case of Catalonia for the last century. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, pp. 271-281.
- [Bayés et al., 2001] Bayés i Bruñol, C., Soler i Temprano, X., Martín i Vide, J., Pallí i Buixó, Ll., Roqué i Pau, C. and Linares i Santiago, R. (2001). Termopluiometria. Cartografia temàtica de les terres gironines. Universitat de Girona i Diputació de Girona.
- [Bayés, 2002] Bayés i Bruñol, C. (2002). Caracterització geogràfica de les sequeres a la Conca del riu Muga (1950 - 2001). Tesis doctoral dirigida per Ribas i Palom, A. and Martín Vide, F.J. Universitat de Girona. Institut de Medi Ambient. 303 pp.
- [Beck et al., 2017] Beck, H.E., van Dijk, A.I.J.M., Levizzani, V., Schellekens, J., Miralles, D.G., Martens, B. and de Roo, A. (2017). MSWEP: 3-hourly 0.25 global gridded precipitation (1979–2015) by merging gauge, satellite, and reanalysis data, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 589–615. DOI: 10.5194/hess-21-589-2017
- [Benhamrouche and Martín-Vide, 2012] Benhamrouche, A. and Martín-Vide, J. (2012). Avances metodológicos en el análisis de la concentración diaria de la precipitación en la España peninsular. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 32. DOI: 10.5209/rev_AGUC.2012.v32.n1.39306
- [Benhamrouche and Martín-Vide, 2018] Benhamrouche, A. and Martín-Vide, J. (2018). Análisis espacial de los valores de los índices de gini y de concentración con intervalos de clase 1, 5 y 10 mm en el litoral de la cuenca del mediterráneo occidental (1951-2010). *Geo-Eco-Trop*, 42, 1: 187-198.
- [Benhamrouche and Martín-Vide, 2020] Benhamrouche, A. and Martín-Vide, J. (2020). Análisis sinóptico de los años extremos en concentración diaria de la precipitación en la cuenca del mediterráneo occidental (1970-2010). *Revista de Climatología*, Vol. 20, 103-116 ISSN 1578-8768.
- [Benhamrouche et al., 2015] Benhamrouche, A., Boucherf, D., Hamadache, R., Bendahmane, L., Martín-Vide, J. and Teixeira Nery, J. (2015). Spatial distribution of the daily precipitation concentration index in Algeria. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. Vol. 15, pp 617-625.
- [Benhamrouche et al., 2022] Benhamrouche, A., Martín-Vide, J., Pham, Q., Kouachi, M.E. and García, M.C. (2022). Daily precipitation concentration in Central Coast Vietnam. *Theoretical and Applied Climatology*. DOI: 10.1007/s00704-021-03804-9.
- [Cabello-Villarejo et al., 2015] Cabello-Villarejo, V., Willaarts, B.A., Aguilar-Alba, M. and Del Moral-Ituarte, L. (2015). "River basins as social-ecological systems: linking levels of societal and ecosystem water metabolism in a semiarid watershed", *Ecology and Society*, Volumen. 20, nº 3, ISSN. 1708-3087.
- [Capel, 2000] Capel Molina, J.J. (2000). El clima de la península Ibérica, Ariel, Barcelona.
- [Chow et al., 1993] Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W. (1993). *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill, 583 pp.

[Corella et al., 2021] Corella, J., Benito, G., Monteoliva, A., Sigró, J., Calle, M., Valero-Garcés, B., Stefanova, I., Rico, E., Favre, A.C. and Wilhelm, B. (2021). A 1400-years flood frequency reconstruction for the Basque Country (N Spain): Integrating geological, historical and instrumental datasets. *Quaternary Science Reviews*. 262. 106963. DOI: 10.1016/j.quascirev.2021.106963.

[de Herralde et al., 2012] de Herralde, F., Savé, R., Nadal, M., Pla, E. and López-Bustins, J.A. (2012). Global change influence on wine quality in Priorat and Montsant (NE Spain). *Acta Horticulturae (ISHS)* 931: 39-46.

[Dessouky and Jenkinson, 1977] Dessouky, T.M. and Jenkinson, A.F. (1977). An objective daily catalogue of surface pressure, flow and vorticity indices for Egypt and it's use in monthly rainfall forecasting. *Meteorological Research Bulletin*, volumen (11), 1-25.

[Domonkos et al., 2021] Domonkos, P., Guijarro, J., Venema, V., Brunet, M. and Sigró, J. (2021). Efficiency of Time Series Homogenization: Method Comparison with 12 Monthly Temperature Test Datasets. *Journal of Climate*. 34. 1-49. DOI: 10.1175/JCLI-D-20-0611.1.

[Fernandes et al., 2014] Fernandes Teixeira, N., Teixeira Nery, J. and Martín-Vide, J. (2014). Spatiotemporal Analysis of precipitation in the Semiarid of the NE Brazil. EGU General Assembly 2014, At Geophysical Research Abstracts Vol. 16, EGU2014-13776. DOI: 10.13140/2.1.4275.4889.

[Fernandez et al., 2020] Fernandez, A., Meseguer-Ruiz, O., Condom, T., Martinez, R., Pabón Caicedo, J.D., Costa, F., Pineda, L., Nieto, J., López, F- and Villacis, M. (2020). Climatological and Hydrological Observations for the South American Andes: In situ Stations, Satellite, and Reanalysis Data Sets. *Frontiers in Earth Sciences*. 8. DOI: 10.3389/feart.2020.00092.

[Fernández, 1995] Fernández, F. (1995). *Manual de Climatología Aplicada. Clima, medio ambiente y planificación*. Editorial Síntesis S. A., Madrid, España. 285 p.

[Flener et al., 2015] Flener, C., Wang, Y., Laamanen, L., Kasvi, E., Laitamäki, J. and Alho, P. (2015). Empirical Modeling of Spatial 3D Flow Characteristics Using a Remote-Controlled ADCP System: Monitoring a Spring Flood. *Water*. 7. 217-247. DOI: 10.3390/w7010217.

[Fovargue et al., 2021] Fovargue, R., Rezapour, S., Rosendahl, D., Wootten, A., Zamani Sabzi, H., Moreno, H. and Neeson, T. (2021). Spatial planning for water sustainability projects under climate uncertainty: Balancing human and environmental water needs. *Environmental Research Letters*. 16. DOI: 10.1088/1748-9326/abdd58.

[García-Barrón et al., 2011] García-Barrón, L., Aguilar-Alba, M. and Sousa, A. (2011). Evolution of annual rainfall irregularity in the southwest of the Iberian Peninsula. *Theoretical and Applied Climatology*, 103(1), 13-26.

[García-Barrón et al., 2012] García-Barrón, L., Morales-González, J., Aguilar-Alba, M. and Sousa-Martín, A. (2012). Evolución de la agresividad pluviométrica en las cuencas hidrográficas españolas (1940-2010), en *Cambio climático. Extremos e impactos*, Editores. Rodríguez Puebla, C., Ceballos Barbancho, A., González Reviriego, N., Morán Tejeda, E. and Hernández Encinas, A., Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC) Serie A, nº 8, España, pp. 329-337, ISBN. 978-84-695-4331-3.

- [García-Barrón et al., 2017] García-Barrón, L., Aguilar-Alba, M., Morales, J. and Sousa, A. (2017). "Intra-annual rainfall variability in the Spanish hydrographic basin", *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.5328. ID: JOC5328.
- [Gibbs and Maher, 1967] Gibbs, W.J. and Maher, J.V. (1967). Rainfall Deciles as Drought Indicators. Bureau of Meteorology Bulletin, No. 48, Commonwealth of Australia, Melbourne. 37 pp.
- [Gilabert and Llasat, 2018] Gilabert, J. and Llasat, M. (2018). Circulation weather types associated with extreme flood events in Northwestern Mediterranean. *International Journal of Climatology*. 38. 1864-1876. DOI: 10.1002/joc.5301.
- [Grimalt et al., 2013] Grimalt M., Tomàs M., Alomar G., Martín-Vide J. and Moreno-García M.C. (2013). Determination of the Jenkinson and Collison's weather types for the western Mediterranean basin over the 1948-2009 period. Temporal analysis. *Atmósfera*, 26 (1), 75-94. ISSN 0187-6236. DOI: 10.1016/S0187-6236(13)71063-4
- [Grimalt-Gelabert et al., 2021] Grimalt-Gelabert, M., Alomar-Garau, G. and Martín-Vide, J. (2021). Synoptic Causes of Torrential Rainfall in the Balearic Islands. *Atmosphere*. 12. 1035. DOI: 10.3390/atmos12081035.
- [Gujarati, 2006] Gujarati, N.G. (2006). Principios de Econometría. McGraw-Hill/Interamericana de España. Madrid. 3a. edición. 546 p.
- [Gumbel, 1941] Gumbel, E. J. (1941). The return period of flood flows. *Ann. Math. Statist.* 12 (2), pp. 163-190.
- [Gumbel, 1954] Gumbel, E. J. (1954). Statistical theory of extreme values and some practical applications. National Bureau of Standards. Applied mathematics series 33.
- [Haylock et al., 2008] Haylock, M.R., Hofstra, N., Klein Tank, A.M.G., Klok, E. J., Jones, P.D. and New, M. (2008). A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006, *J. Geophys. Res.*, 113, D20119. DOI: 10.1029/2008JD010201.
- [Herrera et al., 2012] Herrera, S., Gutiérrez, J.M., Ancell, R., Pons, M.R., Frías, M.D. and Fernández J. (2012). Development and Analysis of a 50 year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02). *International Journal of Climatology* 32:74-85 DOI: 10.1002/joc.2256.
- [Herrera et al., 2016] Herrera, S., Fernández, J. and Gutiérrez, J. M. (2016). Update of the Spain02 gridded observational dataset for EURO-CORDEX evaluation: assessing the effect of the interpolation methodology. *Int. J. Climatol.*, 36: 900–908. DOI: 10.1002/joc.4391
- [Hofstra et al., 2013] Hofstra, N., Haylock, M., New, M. and Jones, P.D. (2009). Testing E-OBS European high-resolution gridded data set of daily precipitation and surface temperature, *J. Geophys. Res.*, 114, D21101. DOI: 10.1029/2009JD011799.
- [Hurrell, 1995] Hurrell, J.W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science Nature*. Vol. 269, Issue 5224, pp. 676-679. DOI: 10.1126/science.269.5224.676

[Iglesias et al., 2007] Iglesias, A., Garrote, L., Flores, F. and Moneo, M. (2007). Challenges to Manage the Risk of Water Scarcity and Climate Change in the Mediterranean. *Water Resources Management*, Vol. 21, Issue 5, pp. 775-788. DOI: 10.1007/s11269-006-9111-6.

[IPCC, 2014] IPCC, 2014. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. [Equipo principal de redacción, Pachauri, R.K. and Meyer, L.A. (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 p.

[Jenkinson and Collison, 1977] Jenkinson, A.F. and Collison, P. (1977). An initial climatology of Gales Wales over the North Sea, *Synoptic Climatology Branch Memorandum*, 62, Meteorological Office, London.

[Kalnay, et al., 1996] Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R. and Joseph, D. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, volumen (77), 437-470. DOI: 10.1175/1520-0477(1996) 077<0437:TNYRP>2.0.CO;2

[Keller, 2011] Keller, G. (2011). *Statistics for Management and Economics* (9th edition). Mason, OH: South-Western Cengage.

[Kendall, 1975] Kendall, M.G. (1975). *Rank correlation methods*. 4 ed. London: Charles Griffin.

[Köchy, 2008] Köchy, M. (2008). Effects of simulated daily precipitation patterns on annual plant populations depend on life stage and climatic region. *BMC Ecology*, 8, 4. DOI: 10.1186/1472-6785-8-4

[Kranthi et al., 2019] Kranthi, G.S., Rao, K.V. and Kumari, K. (2019). Daily Precipitation Concentration Index for Krishna Basin. *Indian Journal of Dryland Agricultural Research and Development*. 34. 9. DOI: 10.5958/2231-6701.2019.00002.2.

[Lemus-Canovas and López-Bustins, 2021] Lemus-Canovas, M. and López-Bustins, J. (2021). Assessing internal changes in the future structure of dry-hot compound events: The case of the Pyrenees. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 21. 1721-1738. DOI: 10.5194/nhess-21-1721-2021.

[Lemus-Canovas et al., 2021] Lemus-Canovas, M., López-Bustins, J., Martín-Vide, J., Marín, A., Insua-Costa, D., Martínez-Artigas, J., Trapero, L., Serrano-Notivoli, R. and Cuadrat, J. (2021). Characterisation of Extreme Precipitation Events in the Pyrenees: From the Local to the Synoptic Scale. *Atmosphere*. 12. DOI: 10.3390/atmos12060665.

[Lemus-Canovas, 2022] Lemus-Canovas, M. (2022). Changes in compound monthly precipitation and temperature extremes and their relationship with teleconnection patterns in the Mediterranean. *Journal of Hydrology*. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.127580.

[Linderson, 2001] Linderson, M. (2001). Objective classification of atmospheric circulation over southern Scandinavia. *Int J Climatol* 21:155–169.

[Linés, 1981] Linés, A. (1981). Perturbaciones típicas que afectan a la península Ibérica y precipitaciones asociadas, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.

[Llasat et al., 2014] Llasat, M.C., Marcos, R., Llasat-Botija, M., Gilabert, J., Turco, M. and Quintana-Seguí, P. (2014). Flash flood evolution in North-Western Mediterranean. *Atmospheric Research*, 149, pp. 230-243. DOI: 10.1016/j.atmosres.2014.05.024

[Llasat et al., 2021] Llasat, M., del Moral Méndez, A., Cortès, M. and Rigo, T. (2021). Convective precipitation trends in the Spanish Mediterranean region. *Atmospheric Research*. 257. 105581. DOI: 10.1016/j.atmosres.2021.105581.

[Llop and Alomar-Garau, 2012] Llop, J. and Alomar-Garau, G. (2012). “Clasificación sinóptica automática de Jenkinson y Collison para los días de precipitación mayor o igual a 100 mm en la Franja Litoral Catalana e Islas Baleares”. *Cambio climático. Extremos e impactos*. Rodríguez Puebla, C., Ceballos Barbancho, A., González Reviriego, N., Morán Tejeda, E. and Hernández Encinas, A. (Eds.) Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), 2012, Serie A, nº 8. Salamanca, pp. 449-458. ISBN: 978-84-695-4331-3

[López-Bustins et al., 2013] López-Bustins, J.A., Pascual, D., Pla, E. and Retana, J. (2013). Future variability of droughts in three Mediterranean catchments. *Natural Hazards*, 69, pp. 1405-1421.

[López-Bustins et al., 2014] López-Bustins, J.A., Martín-Vide, J. and Barriendos, M. (2014). Actualización de los valores del Índice de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WEMOI): 1821-2013. *Cambio climático y cambio global*. Fernández-Montes, S. and Rodrigo, F.S. (Eds.). Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), 2014, Serie A. Almería, 837 pp. ISBN: 978-84-16027-69-9

[López-Bustins et al., 2014] López-Bustins, J.A., Pla, E., Nadal, M., De Herralde, F. and Savé, R. (2014). Global change and viticulture in the Mediterranean region: A case of study in north-eastern Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research* 12: pp. 78-88.

[López-Bustins et al., 2016] López-Bustins, J.A., Martín-Vide, J., Prohom, M. and Cordobilla, M.J. (2016). Variabilidad intranual de la oscilación del Mediterráneo Occidental (WEMO) y ocurrencia de episodios torrenciales en Cataluña. *X Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología (AEC): Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*, pp. 171-182. DOI: 10.14198/XCongresoAECAlicante2016-16

[López-Bustins et al., 2020] López-Bustins, J.A., Arbiol-Roca, L., Martín-Vide, J., Barrera-Escoda, A. and Prohom, M. (2020). Intra-annual variability of the Western Mediterranean Oscillation (WeMO) and occurrence of extreme torrential precipitation in Catalonia (NE Iberia), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 20, 2483–2501. DOI: 10.5194/nhess-20-2483-2020

[Loureiro et al., 2015] Loureiro, G.E., Fernandes, L.L. and Ishihara, J.H. (2015). Spatial and temporal variability of rainfall in the Tocantins-Araguaia hydrographic region. *Acta Scientiarum. Technology*. Vol. 37, pp. 89-98. ISSN 1806-2563 (impresso) e ISSN 1807-8664 (on-line). DOI: 10.4025/actascitechnol.v37i1.20778

[Mann, 1945] Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*. Vol. 13, nº 3, pp 245-259. The Econometric Society.

[Martínez-Artigas et al., 2020] Martínez-Artigas, J., Lemus-Canovas, M. and López-Bustins, J. (2020). Precipitation in peninsular Spain: Influence of teleconnection indices and spatial regionalization. *International Journal of Climatology*. 41. DOI: 10.1002/joc.6770.

[Martínez-Artigas et al., 2021] Insua-Costa, D., Lemus-Canovas, M., Miguez-Macho, G. and Llasat, M. (2021). Climatology and ranking of hazardous precipitation events in the western Mediterranean area. *Atmospheric Research*. 255. DOI: 105521. 10.1016/j.atmosres.2021.105521.

[Martín-Vide and Gomez, 1999] Martín-Vide, J. and Gomez, L. (1999). Regionalization of Peninsular Spain based on the length of dry spells, *Int. J. Climatol.*, 19, 537–555.

[Martín-Vide and López-Bustins, 2006] Martín-Vide, J. and López-Bustins, J.A. (2006). The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *Int. J. Climatol.*, 26: pp. 1455–1475. DOI: 10.1002/joc.1388

[Martín-Vide and Olcina, 2001] Martín Vide, J. and Olcina Cantos, J. (2001). *Climas y tiempos de España*. Alianza Editorial. 264 pp.

[Martín-Vide et al., 2008] Martín-Vide, J., Sanchez-Lorenzo, A., López-Bustins, J.A., Cordobilla, M.J., García-Manuel, A. and Raso, J.M. (2008). Torrential Rainfall in Northeast of the Iberian Peninsula: Synoptic patterns and WeMO influence. *Advances in Science and Research* 2: pp. 99-105.

[Martín-Vide et al., 2016] Martín-Vide, J., Moreno, M.C., Artola, V.M. and Cordobilla, M.J. (2016). Los tipos sinópticos de Jenkinson & Collinson y la intensidad de la Isla de Calor Barcelonesa. Olcina Cantos, J., Rico Amorós, A.M., Moltó Mantero, E. (eds.). *Clima, Sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. Alicante: Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante, [Sevilla]: Asociación Española de Climatología, 2016. ISBN 978-84-16724-19-2, pp. 565-573. DOI: 10.14198/XCongresoAECAlicante2016-53

[Martín-Vide et al., 2022] Martín-Vide, J., López-Bustins, J., Lemus-Canovas, M., García, M.C., Balagué, X., Gonzalez-Hidalgo, J., Beguería, S., Peña-Angulo, D. and Trullenque, V. (2022). The consecutive disparity of precipitation in conterminous Spain. *Theoretical and Applied Climatology*. 147. DOI: 10.1007/s00704-021-03877-6.

[Martín-Vide, 1987] Martín-Vide, J. (1987). Característiques climatològiques de la precipitació en la franja costera mediterrània de la Península Ibèrica. *Barcelona, Institut Cartogràfic de Catalunya*. p. 245

[Martín-Vide, 1991] Martín-Vide, J. (1991). *Mapas del tiempo: fundamentos, interpretación e imágenes de satélite*. Oikos-Tau, Barcelona, 170 pp.

[Martín-Vide, 2002a] Martín Vide, J. (2002). Aplicación de la clasificación sinóptica automática de Jenkinson y Collinson a días de precipitación torrencial en el este de España. En Cuadrat, J.M., Vicente, S.M. and Saz, M.A. (Eds.). *La información climática como herramienta de gestión ambiental*. Universidad de Zaragoza, pp. 123-127.

[Martín-Vide, 2002b] Martín-Vide, J. (2002). *El temps i el clima*. Barcelona, Departament de Medi Ambient i Rubes, 127 pp.

[Martín-Vide, 2002c] Martín-Vide, J. (2002). Ensayo sobre la Oscilación del Mediterráneo Occidental y su influencia en la pluviometría del este de España. En Guijarro, J.A., Grimalt, M., Laita, M. and Alonso, S. (Eds.), *El Agua y el Clima/ L'Aigua i el Clima* (pp. 35-42), Palma: Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC).

[Martín-Vide, 2004] Martín-Vide, J. (2004). Spatial distribution of daily precipitation concentration index in Peninsular Spain. *International Journal of Climatology*, 24, 959-971 pp.

[Marull et al., 2005] Marull, J., Pino, J., Carreres, J., Ferré, A., Cordobilla, M.J., Llinàs, J., Rodà, F., Carrillo, E. and Ninot, J.M. (2005). Primera Proposta d'Índex de Valor del patrimoni Natural de Catalunya (IVPN), una eina cartogràfica per a l'avaluació ambiental estratègica. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 72, pp. 115-138.

[Marull et al., 2007] Marull, J., Pino, J., Mallarach, J.M. and Cordobilla, M.J. (2007). "A Land Suitability Index for Strategic Environmental Assessment in metropolitan areas", *Landscape and Urban Planning*, 81, pp. 200-212. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2006.11.005

[Mathbout et al., 2020] Mathbout, S., López-Bustins, J., Royé, D., Martín-Vide, J. and Benhamrouche, A. (2020). Spatiotemporal variability of daily precipitation concentration and its relationship to teleconnection patterns over the Mediterranean during 1975-2015. *International Journal of Climatology*. 40. 1435–1455. DOI: 10.1002/joc.6278.

[Mathbout et al., 2021] Mathbout, S., López-Bustins, J., Royé, D. and Martín-Vide, J. (2021). Mediterranean-Scale Drought: Regional Datasets for Exceptional Meteorological Drought Events during 1975-2019. *Atmosphere*. 12. DOI: 10.3390/atmos12080941.

[Meseguer-Ruiz et al., 2019a] Meseguer-Ruiz, O., Cortesi, N., Guijarro, J. and Sarricolea, P. (2019). Weather regimes linked to daily precipitation anomalies in Northern Chile. *Atmospheric Research*. 236. DOI: 10.1016/j.atmosres.2019.104802.

[Meseguer-Ruiz et al., 2019b] Meseguer-Ruiz, O., Corvacho, O., Tosetti, A., López-Cepeda, J. and Sarricolea, P. (2019). Analysis of the Trends in Observed Extreme Temperatures in Mainland Chile Between 1966 and 2015 Using Different Indices. *Pure and Applied Geophysics*. 176. DOI: 10.1007/s00024-019-02234-z.

[Meseguer-Ruiz et al., 2019c] Meseguer-Ruiz, O., Osborn, T., Sarricolea, P., Jones, P., Olcina, J., Serrano-Notivol, R. and Martín-Vide, J. (2019). Definition of a temporal distribution index for high temporal resolution precipitation data over Peninsular Spain and the Balearic Islands: the fractal dimension, and its synoptic implications. *Climate Dynamics*. 52. DOI: 10.1007/s00382-018-4159-6.

[Meseguer-Ruiz et al., 2020] Meseguer-Ruiz, O., Ponce-Philimon, P.I., Baltazar, A., Guijarro, J.A., Serrano-Notivol, R., Olcina Cantos, J., Martín-Vide, J. and Sarricolea, P. (2020). Synoptic attributions of extreme precipitation in the Atacama Desert (Chile). *Clim Dyn* 55, pp. 3431–3444. DOI: 10.1007/s00382-020-05455-4

[Meseguer-Ruiz et al., 2021] Meseguer-Ruiz, O., López-Bustins, J., Arbiol Roca, L., Martín-Vide, J., Miró, J. and Estrela, M. (2021). Temporal changes in extreme precipitation and exposure of tourism in Eastern and South-Eastern Spain. *Theoretical and Applied Climatology*. 144. DOI: 10.1007/s00704-021-03548-6.

[Miró et al., 2010] Miró, J., Estrela, M.J., Pastor, F. and Millán, M. (2010). Análisis comparativo de tendencias en la precipitación, por distintos inputs, entre los dominios hidrológicos del Segura y del Júcar (1958-2008). *Investigaciones Geográficas*, nº 49. Monográfico Cambio Climático, pp. 129-157.

[Miró et al., 2021] Miró, J., Estrela, M., Olcina, J. and Martín-Vide, J. (2021). Future Projection of Precipitation Changes in the Júcar and Segura River Basins (Iberian Peninsula) by CMIP5 GCMs Local Downscaling. *Atmosphere*. 12. 879. DOI: 10.3390/atmos12070879.

[Monjo and Martín-Vide, 2016] Monjo, R. and Martín-Vide, J. (2016). Daily precipitation concentration around the world according to several indices, *Int. J. Climatol.*, 36, 3828–3838.

[Morales et al., 2022] Morales, J., García-Barrón, L., Aguilar-Alba, M. and Sousa, A. (2022). Hazard characterization of the annual maximum daily precipitation in the Southwestern Iberian Peninsula (1851–2021). *Water*, 14(9):1504. DOI: 10.3390/w14091504

[Navarro-Gonzalez et al., 2021] Navarro-Gonzalez, F., Cortés-Molina, M. and Egea, R. (2021). Analysis of Rainfall Time Series with Application to Calculation of Return Periods. *Sustainability*. 13. DOI: 10.3390/su13148051.

[Negre, 1946] Negre Pastell, P. (1946). «Los nombres primitivos de los ríos Muga, Fluviá y Ter: contribución al estudio de la geografía antigua de Cataluña». *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins [Girona]*, núm. 1, pp. 177-208.

[Nery and Carfan, 2014] Nery, J.T. and Carfan, A.C. (2014). Re-analysis of pluvial precipitation in southern Brazil. *Atmósfera*. Vol.27, n.2, pp.103-115. ISSN 0187-6236.

[Newnham, 1916] Newnham, E.V. (1916). The persistence of wet and dry weather. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 42: 153-162.

[Ninyerola et al., 2000] Ninyerola, M., Pons, X. and Roure, J.M. (2000). "A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques", *International Journal of Climatology*, 20, 1823-1841.

[OMM, 2011a] Organización Meteorológica Mundial, OMM. (2011). Guía de prácticas climatológicas (OMM-Nº100), 3a. edición, Ginebra. ISBN 978-92-63-30100-0.

[OMM, 2011b] Organización Meteorológica Mundial, OMM. (2011). Guía de prácticas hidrológicas. Volumen II, Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas (OMM-Nº168). Tiempo-Clima-Agua. 6a. edición, Ginebra. ISBN 978-92-63-30168-0.

[ONU, 1993] Organización Naciones Unidas, ONU. (1993). Asamblea General. A/RES/47/193. Resolución aprobada por la Asamblea General: Celebración del día Mundial del Agua.

[Pascual et al., 2014] Pascual, D., Pla, E., López-Bustins, J.A., Retana, J. and Terradas, J. (2014). Impacts of climate change on water resources in the Mediterranean Basin: A case study in Catalonia, Spain. *Hydrological Sciences Journal*, DOI: 10.1080/02626667.2014.947290

- [Pavón, 2007] Pavón, D. (2007). Gran obra hidràulica i territori a les conques de la Muga i del Fluvià (1850-1980). Ed. L'Institut d'Estudis Empordanesos, Patronat Francesc Eiximenis y Universitat de Girona, Càtedra de Geografia i Pensament Territorial. 2 vol. ISBN 978-84-612-8016-2.
- [Pedhazur, 1997] Pedhazur, E. J. (1997). Multiple Regression in Behavioral Research (3rd ed.). Harcourt Brace, O. FL.
- [Peña-Angulo et al., 2021] Peña-Angulo, D., Gonzalez-Hidalgo, J., Sandoñis-Pozo, L., Beguería, S., Tomas, M., López-Bustins, J., Lemus-Canovas, M. and Martín-Vide, J. (2021). Seasonal temperature trends on the Spanish mainland: A secular study (1916–2015). *International Journal of Climatology*. 41. DOI: 10.1002/joc.7006.
- [Pérez, 1982] Pérez, M. (1982). La distribución anual y estacional de las precipitaciones en las cuencas de los ríos Muga y Fluvià. *Notes de Geografia Física*, 7, pp. 13-16.
- [Pons, 1996] Pons, X. (1996). "Estimación de la Radiación Solar a partir de modelos digitales de elevaciones. Propuesta metodológica". A: VII Coloquio de Geografía Cuantitativa, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Juaristi, J. and Moro, I. (eds.) Vitoria-Gasteiz.
- [Post et al., 2002] Post, P., Truija, V. and Tuulik, J. (2002). Circulation weather types and their influence on temperature and precipitation in Estonia. *Boreal Environ Res* 7:281–289.
- [Redolat et al., 2019] Redolat, D., Monjo, R., López-Bustins, J. and Martín-Vide, J. (2019). Upper-Level Mediterranean Oscillation index and seasonal variability of rainfall and temperature. *Theoretical and Applied Climatology*. 135. DOI: 10.1007/s00704-018-2424-6.
- [Salat et al., 2016] Salat, J., J. Pascual and G. Borràs (2016). Canvi Climàtic, Canvi Global i Meteorologia local: El cas de la conca de la Muga (Conques Internes de Catalunya). IX Congrés Ibèric de Gestió i Planificació de l'Aigua. València.
- [Salhi et al., 2021a] Salhi, A., Benabdelouahab, T., el Hasnaoui, Y., el Mousaoui, M., Mourabit, A., Himi, M., Benabdelouahab, S., Casas, A., Hadria, R. and Martín-Vide, J. (2021). Soil Erosion Assessment and Farmers' Perception in South Mediterranean Basins: A Moroccan Case Study. DOI: 10.1007/978-3-030-51210-1_316.
- [Salhi et al., 2021b] Salhi, A., Martín-Vide, J., Benhamrouche, A., Benabdelouahab, S., Himi, M., Benabdelouahab, T. and Casas Ponsati, A. (2019). Rainfall distribution and trends of the daily precipitation concentration index in Northern Morocco: A need for an adaptive environmental policy. *Springer Nature Switzerland AG* 2019. DOI: 10.1007/s42452-019-0290-1.
- [Salmi et al., 2002] Salmi, T., Mättä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T. and Amnell, T. (2002). Makesens for detecting and estimating trends. Finnish Meteorological Institute, Helsinki.
- [Sánchez, 1992] Sánchez Toribio, M.I. (1992). Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración. Cuadernos Técnicos de la SEG nº 3, Geoforma Ediciones, Logroño, pp: 36

[Sanuy et al., 2021] Sanuy, M., Rigo, T., Jiménez, J. and Llasat, M. (2021). Classifying compound coastal storm and heavy rainfall events in the north-western Spanish Mediterranean. *Hydrology and Earth System Sciences*. 25. 3759-3781. DOI: 10.5194/hess-25-3759-2021.

[Sarricolea et al., 2019] Sarricolea, P., Meseguer-Ruiz, O., Serrano-Notivoli, R., Soto, M.V. and Martín-Vide, J. (2019). Trends of daily precipitation concentration in Central-Southern Chile. *Atmospheric Research*. 85-98. DOI: 10.1016/j.atmosres.2018.09.005.

[Sempere-Torres et al., 1998] Sempere-Torres, D., Corral, C., Berenguer, M., Sanchez-Diezma, R. and Dolz, J. (2000). El episodio pluviométrico del 10 de junio en Cataluña: un primer estudio hidrometeorológico. *Ingeniería del agua*. Vol. 7, num. 2, pp. 105-115.

[Sen, 1968] Sen, P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 63, nº 324, pp. 1379-1389.

[Serra and Cordobilla, 1998] Serra del Pozo, P. and Cordobilla Cascales, M.J. (1998). «Metadata de la información geográfica alfanumérica pública y gratuita en Cataluña». En *Estudios Geográficos*. Tomo LIX, nº 232, julio-septiembre. C.S.I.C., Instituto de Economía y Geografía. Madrid, pp. 572-602. ISSN 0014-1496.

[Serrano-Notivoli et al., 2021] Serrano-Notivoli, R., Tejedor, E., Sarricolea, P., Meseguer-Ruiz, O., Vuille, M., Fuentealba, M. and De Luis, M. (2021). Hydroclimatic variability in Santiago (Chile) since the 16th century. *International Journal of Climatology*. 41. DOI: 10.1002/joc.6828.

[Shope and Maharjan, 2015] Shope, C.L. and Maharjan, G.R. (2015). "Modeling Spatiotemporal Precipitation: Effects of Density, Interpolation, and Land Use Distribution," *Advances in Meteorology*, vol. 2015, Article ID 174196, 16 pp, 2015. doi:10.1155/2015/174196.

[Skansi et al., 2013] Skansi, M., Brunet, M., Sigró, J., Aguilar, E., Groening, J.A.A., Bentancur, O.J., Castellon, Y., Correa, R.L., Jácome, H., Ramos, A., Oria, C., Pasten, A., Sallons-Mitro, S., Villarroel, C., Martinez, R., Alexander, L.V. and Jones, P.D. (2013). Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. *Global and Planetary Change*. 100. 295-307. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2012.11.004.

[Smith, 2001] Smith, A. (2001). *La Riqueza de las naciones: libros I-II-III y selección de los libros IV y V* / Smith, A., 1723-1790. Traducción y estudio preliminar de Rodríguez Braun, C. Alianza Editorial Economía, Madrid. 188 p.

[Spellman, 2000] Spellman, G. (2000). The application of an objective weather-typing system to the Iberian peninsula. *Weather*, Vol. 55, pp. 375-385.

[Stehlík, 2001] Stehlík, J. (2001). Weather to weather links: relationships between Czech circulation pattern classification and other European regional classification schemes. *Acta Universitatis Carolinae Geographica* 2:155–167.

[Taikan and Kanae, 2006] Taikan O. and Shinjiro K. (2006). Global Hydrological Cycles and World Water Resources. *Science* 25 Aug 2006, Vol 313, Issue 5790, pp. 1068-1072. DOI: 10.1126/science.1128845.

- [Tang et al., 2009] Tang, L., Chen, D., Karlsson, P., Gu Y. and Ou, T. (2009). Synoptic circulation and its influence on spring and summer surface ozone concentration in southern Sweden. *Boreal Environ Res* 14:889–902
- [Thom, 1966] Thom, H.C.S. (1966). Some methods of climatological analysis. Geneva: World Meteorological Organization, 53 p. (WMO. Technical note, 81).
- [Thornwaite, 1948] Thornwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38: 55-94.
- [Torres-Bagur et al., 2020] Torres-Bagur, M., Ribas Palom, A. and Subirós, J. (2020). Understanding the Key Factors That Influence Efficient Water-Saving Practices among Tourists: A Mediterranean Case Study. *Water*. 12. DOI: 10.3390/w12082083.
- [Tramblay and Somot, 2018] Tramblay, Y. and Somot, S. (2018). Future evolution of extreme precipitation in the Mediterranean. *Climatic Change*. 151. DOI: 10.1007/s10584-018-2300-5.
- [Tramblay et al., 2020] Tramblay, Y., Koutroulis, A., Samaniego, L., Vicente-Serrano, S., Volaire, F., Boone, A., Le Page, M., Llasat, M., Albergel, C., Burak, S., Cailleret, M., Cindric, K., Davi, H., Dupuy, J.L., Greve, P., Grillakis, M., Hanich, L., Jarlan, L., Martin-Stpaul, N. and Polcher, J. (2020). Challenges for drought assessment in the Mediterranean region under future climate scenarios. *Earth-Science Reviews*. 210. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103348.
- [Trigo and DaCamara, 2000] Trigo, R. and DaCamara, C. (2000). Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal. *Int J Climatol* 20:1559–1581.
- [Velez et al., 2019] Velez, A., Martín-Vide, J., Royé, D. and Santaella, O. (2019). Spatial Analysis of Daily Precipitation Concentration in Puerto Rico. *Theoretical and Applied Climatology*. 136. 1347–1355. DOI: 10.1007/s00704-018-2550-1.
- [Ventura et al., 2000] Ventura, M., Ribas, A. and Saurí, D. (2000). Gestión del agua y conflictividad social en la cuenca del río Muga (Alt Empordà). *Geographicalia*, 38, 55–70.
- [Vetter et al., 2015] Vetter, M., Aguilar-Alba, M. and Sousa Martín, A. (2015). “Aproximación a las tendencias pluviométricas seculares en Doñana”, en Díaz-Paniagua, C. (Coordinadora): *El Sistema de Lagunas temporales de Doñana, una red de hábitats acuáticos singulares*. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, pp. 100-104. ISBN. 978-84-8014-880.
- [Webster and Jian, 2011] Webster, P.J. and Jian, J. (2011). Environmental prediction, risk assessment and extreme events: adaptation strategies for the developing world. *Philosophical Transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences*, 369 (1956), 4768–4797. DOI: 10.1098/rsta.2011.0160
- [Zhang et al., 2009] Zhang, Q., Xu, C.Y., Gemmer, M., Chen, Y.Q. and Liu, C.L. (2009). Changing properties of precipitation concentration in the Pearl River basin, China. *Stoch Environ Res Risk Assess* 23:377–385. DOI:10.1007/s00477-008-0225-7

[Zubieta et al., 2017] Zubieta, R., Saavedra H., M., Silva, Y. and Giraldez, L. (2017). Spatial analysis and temporal trends of daily precipitation concentration in the Mantaro River basin: central Andes of Peru. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 31. DOI: 10.1007/s00477-016-1235-5.

Páginas Web consultadas [verificado acceso en mayo de 2022]

ACA – Agencia Catalana de l'Aigua. Generalitat de Catalunya. Acceso disponible en internet: <https://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca/> [no disponible]
Acceso actual: <https://aca.gencat.cat/ca/inici>

AEMET – Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Agricultura, Alimentación i Medio Ambiente. Acceso disponible en internet: <http://www.aemet.es/es/portada>

Atles Climàtic Digital de Catalunya. Acceso disponible en internet: <http://www.opengis.uab.cat/acdc/catala/presentacio.htm> [no disponible]

ICGC – Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Generalitat de Catalunya. Acceso disponible en internet: <https://www.icgc.cat/>

IDESCAT – Institut d'Estadística de Catalunya. Generalitat de Catalunya. Acceso disponible en internet: <https://www.idescat.cat/?lang=es>

IGN – Instituto Geográfico Nacional. Ministerio de Fomento. Acceso disponible en internet: <https://www.ign.es/ign/main/index.do>

IPCC - The Intergovernmental Panel on Climate Change. Acceso disponible en internet: <https://www.ipcc.ch/>

MEDACC – Adaptant la Mediterrània al Canvi Climàtic. Acceso disponible en internet: <http://medacc-life.eu/ca>

METEO.CAT – Servei Meteorològic de Catalunya. Generalitat de Catalunya. Acceso disponible en internet: <http://www.meteo.cat/>

NOAA –National Oceanic and Atmospheric Administration. Earth System Research Laboratory. Physical Sciences Division. Acceso disponible en internet: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/>

OMM – Organización Meteorológica Mundial. WMO Technical Commissions. Acceso disponible en internet: <https://public.wmo.int/en>

Anexos

A. Valores de los parámetros estadísticos básicos, en milímetros, de las series medias de precipitación, en la serie temporal (1971-2010) analizados en las estaciones de la zona principal de la Cuenca de la Muga.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
\bar{x}	76,1	56,2	61,8	98,9	120,6	95,8	82,7	94,8	92,9	98,3	83,9	77,3	1039,3
Mediana	40,0	34,5	52,8	77,8	100,9	95,4	76,1	81,6	86,1	78,6	64,6	56,6	947,6
SD	80,8	51,8	42,9	75,6	68,0	49,1	50,3	48,5	56,5	62,9	74,7	65,6	259,0
CV%	106,1	92,2	69,5	76,5	56,4	51,2	60,8	51,1	60,8	64,0	89,0	84,9	24,9
Max	320,0	211,7	190,1	374,1	366,5	240,8	286,1	226,6	224,7	229,6	294,2	229,4	1897,7
Min	0,3	7,9	0,6	28,7	37,1	10,5	2,8	33,2	2,2	9,6	2,8	1,1	705,1

Tabla A.1. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Albanyà (1C).

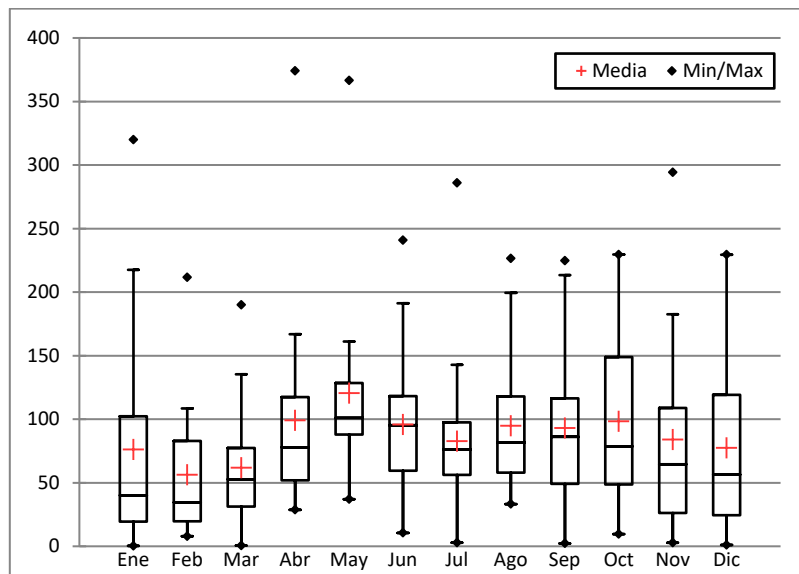


Figura A.1. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Albanyà (1971-2010).

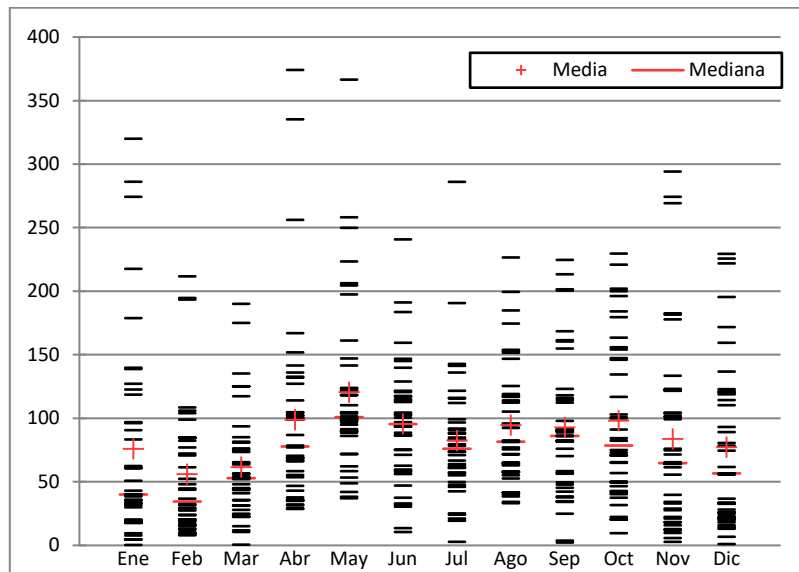


Figura A.2. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Albanyà (1971-2010).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
\bar{x}	78,2	60,2	64,6	99,3	117,7	86,5	74,1	84,9	88,0	101,4	83,0	79,5	1017,5
Mediana	42,3	37,7	53,8	75,6	99,7	88,7	68,4	77,7	77,8	81,7	68,7	63,0	961,1
SD	81,2	56,1	43,5	79,2	68,8	47,3	47,9	43,1	57,0	69,8	70,3	66,7	248,7
CV%	103,8	93,3	67,3	79,8	58,4	54,7	64,6	50,7	64,7	68,8	84,7	83,9	24,4
Max	308,5	246,4	196,4	372,2	356,6	238,7	288,0	192,2	238,7	260,4	289,0	248,3	1881,2
Min	0,6	6,2	0,4	20,8	29,0	4,2	0,5	30,0	3,6	10,0	2,9	1,0	636,1

Tabla A.2. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Maçanet de Cabrenys (2C).

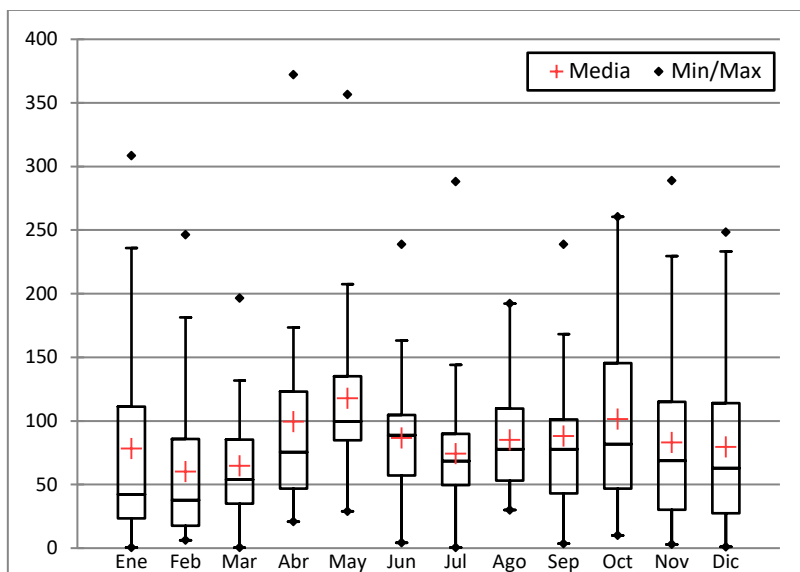


Figura A.3. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Cabrenys (1971-2010).

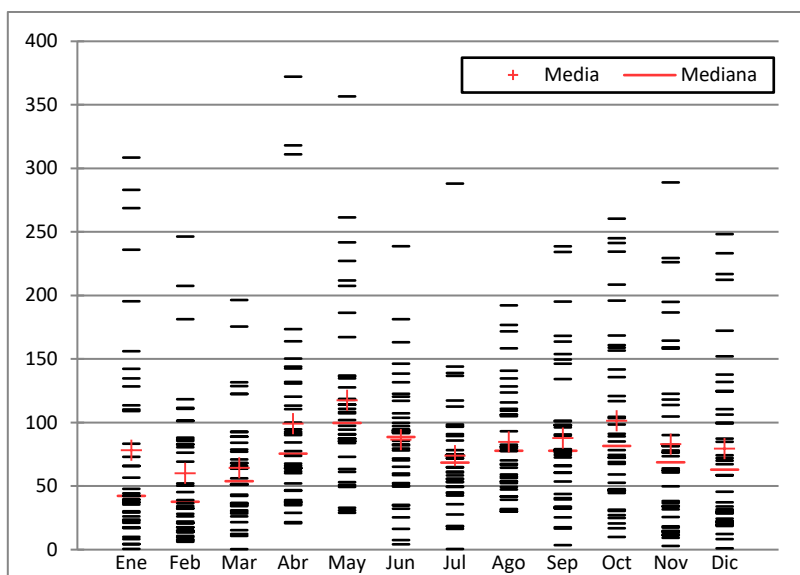


Figura A.4. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Cabrenys (1971-2010).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
\bar{x}	74,4	59,8	65,0	96,6	112,8	76,9	63,7	75,2	83,2	99,0	76,7	79,5	962,8
Mediana	41,9	37,3	58,3	73,8	94,8	70,8	53,0	68,5	72,9	78,7	56,8	63,7	925,4
SD	78,2	60,4	45,2	77,6	68,9	45,5	46,6	38,5	55,8	72,4	68,1	69,3	240,9
CV %	105,1	101,0	69,5	80,3	61,1	59,1	73,2	51,2	67,1	73,0	88,9	87,1	25,0
Max	277,9	292,9	199,8	354,6	332,2	239,8	282,8	172,0	244,9	276,1	263,4	255,6	1760,3
Min	0,1	1,9	1,2	10,7	20,3	3,6	3,1	21,5	1,3	13,0	1,4	0,6	576,5

Tabla A.3. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Cabanelles (3C).

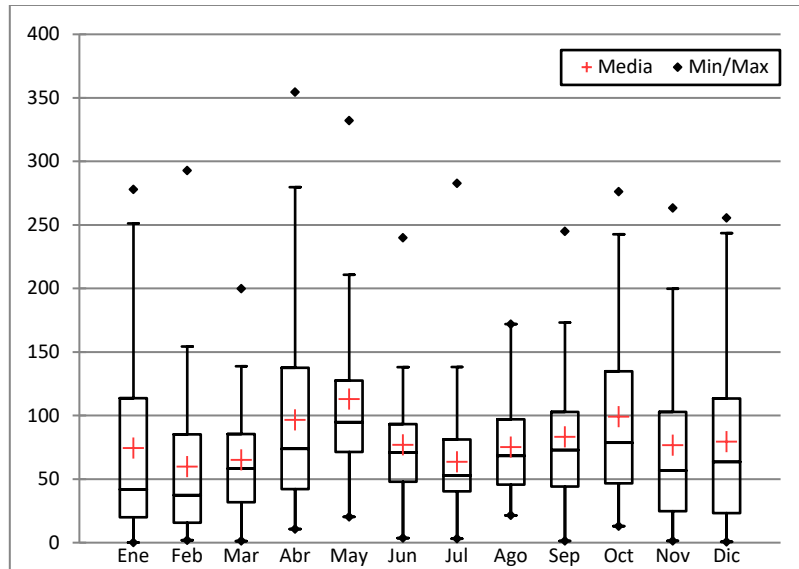


Figura A.5. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Cabanelles (1971-2010).

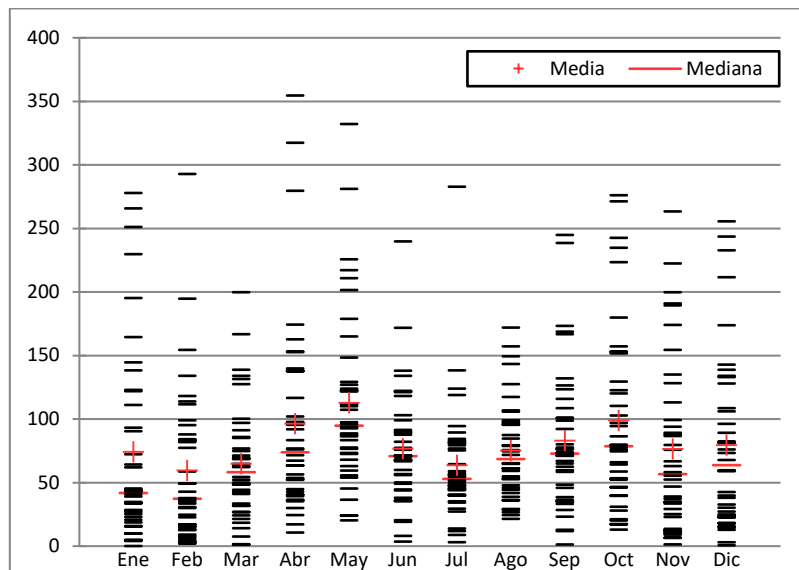


Figura A.6. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Cabanelles (1971-2010).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
\bar{x}	75,4	59,4	62,7	92,6	104,4	68,2	54,9	65,0	77,9	101,9	75,9	74,6	912,9
Mediana	45,6	41,7	57,5	68,1	87,7	60,6	48,0	59,6	63,7	77,9	54,3	55,6	875,6
SD	77,4	58,5	42,1	84,0	66,5	41,1	45,9	35,3	60,7	83,6	66,3	65,3	241,0
CV%	102,7	98,4	67,2	90,7	63,7	60,3	83,6	54,3	78,0	82,1	87,3	87,6	26,4
Max	289,2	261,8	205,1	375,6	333,5	214,4	285,6	153,7	277,4	311,1	273,1	258,5	1811,6
Min	0,6	3,7	2,3	11,9	13,0	2,3	1,6	18,2	0,6	8,3	1,4	0,0	485,0

Tabla A.4. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Agullana (4C).

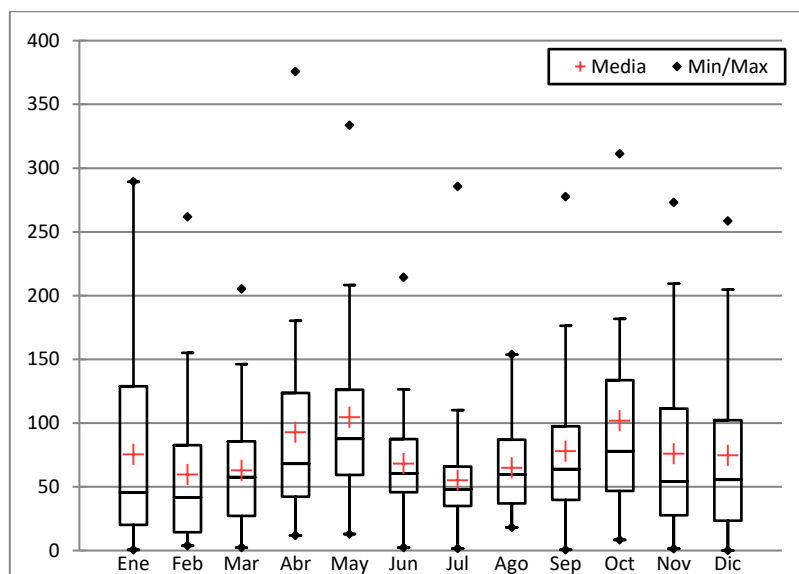


Figura A.7. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Agullana (1971-2010).

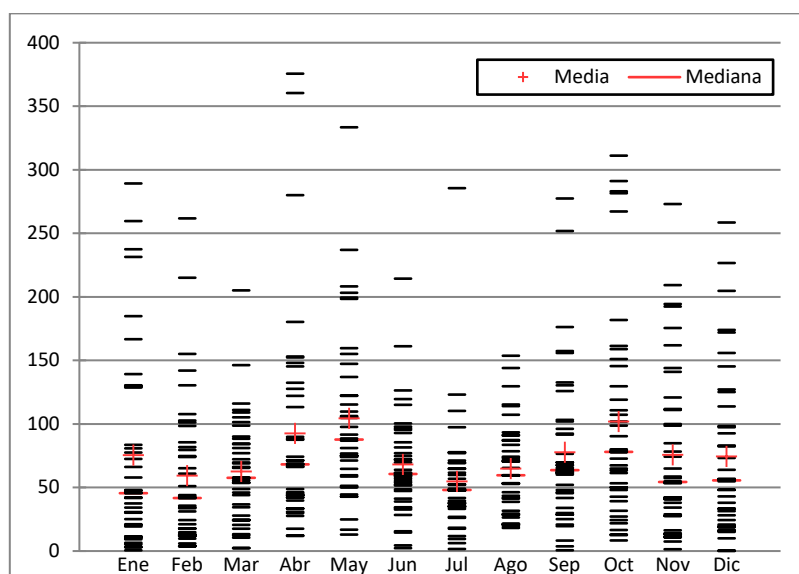


Figura A.8. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Agullana (1971-2010).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
\bar{x}	70,9	54,9	60,5	86,0	95,1	59,1	45,2	55,0	73,0	97,1	69,4	70,3	836,5
Mediana	45,4	35,2	57,6	56,6	76,8	52,4	34,1	51,2	60,2	72,1	46,0	47,2	799,1
SD	69,9	56,1	40,6	79,5	65,1	39,2	46,3	31,0	58,6	84,1	63,1	65,1	240,2
CV%	98,6	102,0	67,1	92,5	68,4	66,3	102,5	56,2	80,3	86,6	90,9	92,5	28,7
Max	261,1	262,5	206,7	348,6	317,5	210,1	283,0	129,8	284,8	314,8	253,7	252,5	1769,7
Min	0,0	1,3	2,7	7,7	8,3	0,5	1,3	11,3	3,7	9,5	0,3	1,5	423,0

Tabla A.5. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Llers (5C).

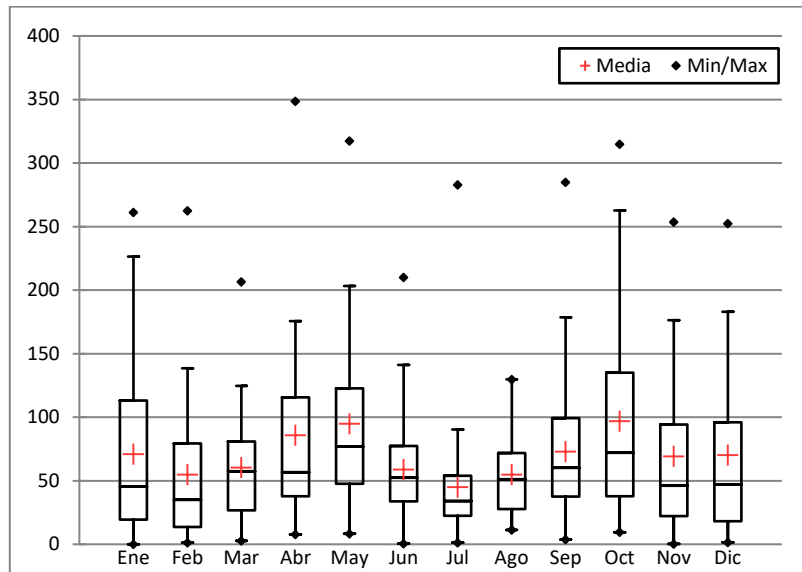


Figura A.9. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Llers (1971-2010).

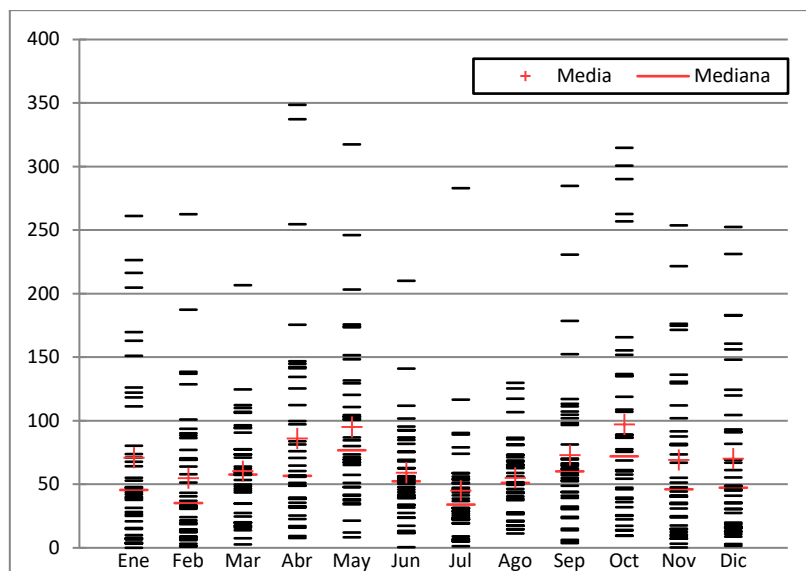


Figura A.10. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Llers (1971-2010).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
\bar{x}	76,7	59,7	62,2	91,3	100,2	63,8	51,6	60,4	76,4	105,3	77,1	74,7	899,4
Mediana	49,0	44,2	60,9	64,6	87,3	58,0	45,7	58,0	60,3	75,2	52,5	53,2	842,7
SD	76,4	56,0	41,8	85,7	67,2	38,9	46,4	33,7	62,6	89,7	64,5	64,5	244,4
CV%	99,6	93,9	67,2	93,9	67,1	60,9	89,8	55,7	82,0	85,2	83,6	86,3	27,2
Max	280,8	232,5	207,8	371,7	342,3	211,5	293,6	152,6	290,6	340,0	282,2	271,7	1868,6
Min	0,9	3,9	2,2	11,9	14,1	1,0	0,6	16,5	0,6	5,1	2,2	0,5	470,8

Tabla A.6. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Espolla (6C).

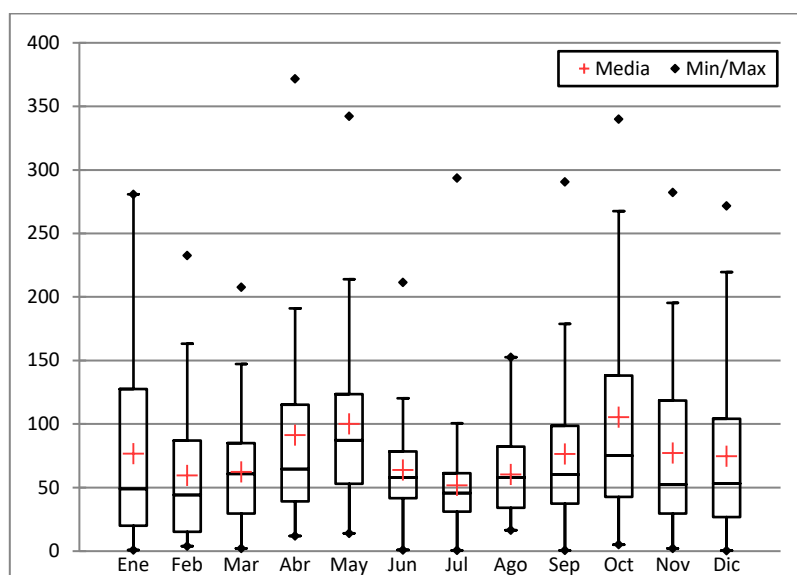


Figura A.11. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Espolla (1971-2010).

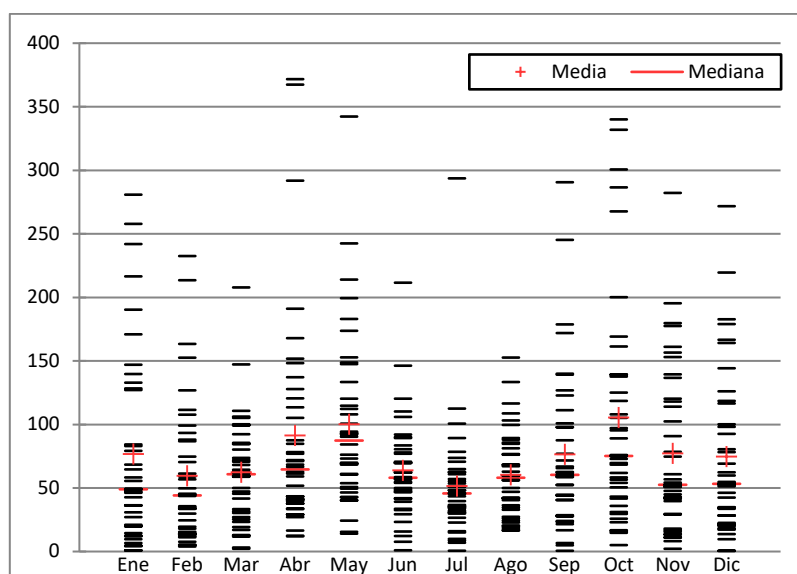


Figura A.12. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Espolla (1971-2010).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
\bar{x}	62,9	45,4	52,6	72,6	77,0	44,9	33,1	40,6	66,3	93,6	61,6	61,5	712,2
Mediana	45,0	33,2	44,9	48,9	61,8	37,5	23,4	36,8	47,9	68,3	48,9	36,2	648,9
SD	57,1	44,0	37,4	74,4	64,5	35,0	47,5	26,1	56,9	89,9	53,8	61,9	246,3
CV%	90,7	97,0	71,1	102,5	83,7	78,0	143,4	64,2	85,8	96,1	87,3	100,8	34,6
Max	201,5	181,9	210,9	347,0	309,1	194,1	287,8	121,2	273,3	377,5	242,4	248,1	1774,7
Min	0,1	0,4	2,8	6,3	3,3	2,2	0,2	4,4	4,9	4,4	0,9	0,6	314,0

Tabla A.7. Resumen estadístico de los datos medios de precipitación, periodo 1971-2010, en la estación de Vilamacolum (8C).

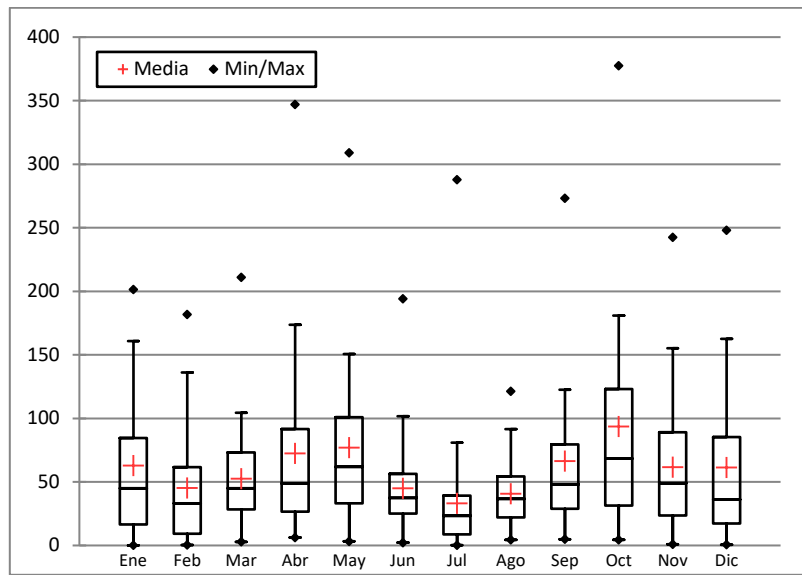


Figura A.13. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Vilamacolum (1971-2010).

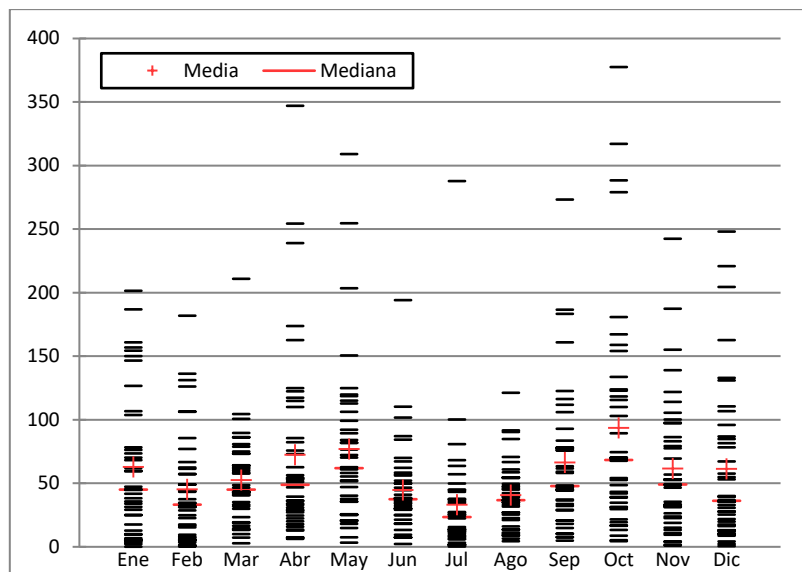


Figura A.14. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Vilamacolum (1971-2010).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
\bar{x}	53,0	48,3	50,6	69,8	71,6	53,1	24,2	43,0	70,7	83,5	58,6	53,5	679,9
Mediana	35,3	38,0	44,8	51,0	62,5	50,0	16,9	33,8	55,0	66,6	41,6	36,8	633,8
SD	58,5	52,2	35,8	69,2	48,7	41,0	20,7	29,4	76,6	66,2	55,9	52,2	198,3
CV%	110,5	108,2	70,8	99,1	68,0	77,2	85,3	68,5	108,2	79,3	95,2	97,6	29,2
Max	264,1	300,1	167,6	317,8	229,7	220,3	91,5	111,5	485,2	260,2	293,2	226,9	1282,7
Min	0,0	0,0	0,0	0,2	2,8	0,0	0,0	3,8	0,0	2,1	0,0	0,0	331,4

Tabla A.8. Resumen estadístico de los datos medios, periodo 1971-2010, en la estación de Figueres (9C).

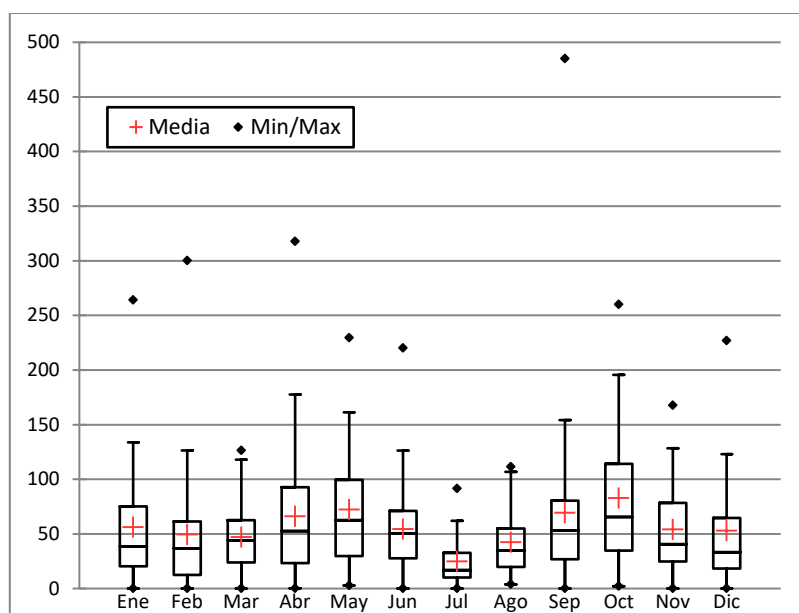


Figura A.15. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Figueres (1971-2010).

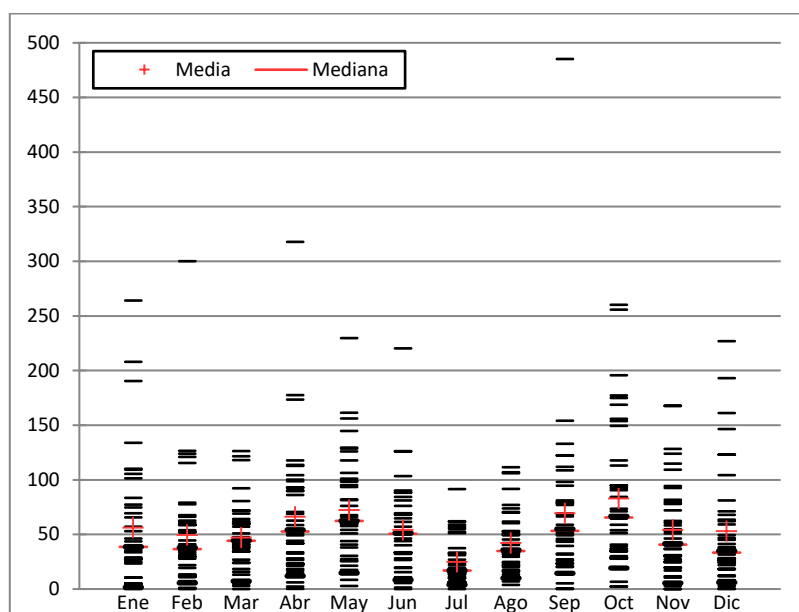


Figura A.16. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Figueres (1971-2010).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
\bar{x}	67,7	51,2	58,5	81,8	89,5	54,7	41,2	50,7	70,9	93,7	66,4	68,6	794,9
Mediana	44,8	33,0	51,8	55,6	73,8	43,9	25,8	48,7	59,4	69,2	44,0	48,2	762,9
SD	64,2	51,7	39,7	74,4	65,8	39,0	47,1	28,9	54,7	81,5	58,9	64,8	239,9
CV%	94,9	101,0	67,8	91,0	73,6	71,2	114,3	56,9	77,1	87,0	88,6	94,6	30,2
Max	229,9	250,7	206,7	343,3	310,3	217,5	283,4	129,5	267,2	322,9	241,3	270,5	1742,2
Min	0,1	0,5	2,5	6,2	7,0	1,2	0,5	8,4	4,9	6,4	0,8	2,1	401,8

Tabla A.9. Resumen estadístico de los datos medios, periodo 1971-2010, en la estación de Pontós (1L).

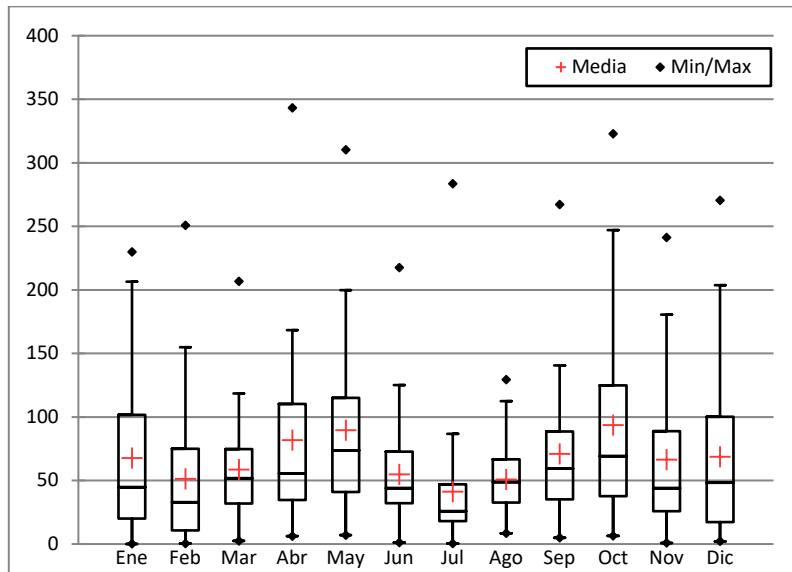


Figura A.17. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Pontós (1971-2010).

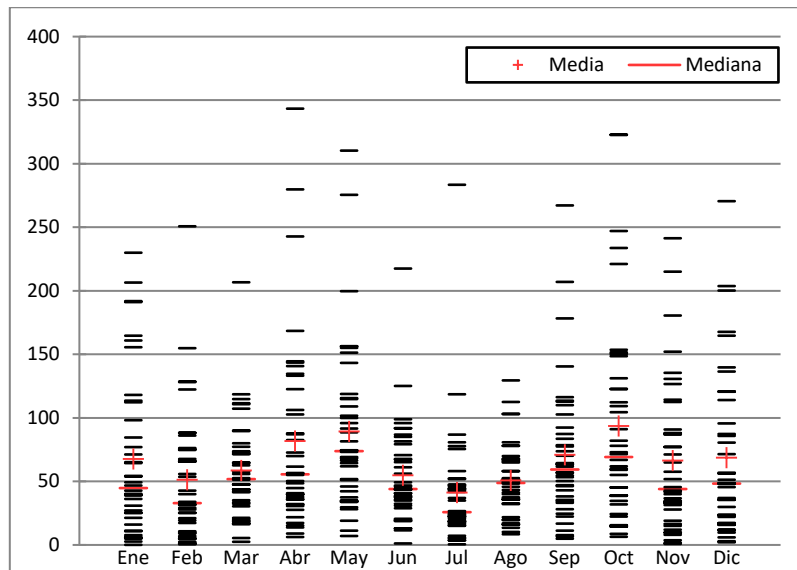


Figura A.18. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Pontós (1971-2010).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
\bar{x}	68,8	50,7	54,6	77,6	81,1	46,2	34,8	42,4	67,7	101,1	66,6	66,0	757,7
Mediana	45,7	38,0	52,6	51,7	68,1	40,2	24,2	39,3	54,5	65,2	44,2	40,6	678,0
SD	63,4	47,7	38,5	81,5	66,4	32,9	47,8	27,2	63,0	99,3	58,2	62,8	252,2
CV%	92,2	93,9	70,5	105,1	81,9	71,4	137,4	64,2	93,0	98,2	87,4	95,1	33,3
Max	230,1	173,1	213,0	365,6	327,4	187,9	296,6	117,1	298,7	388,6	265,3	249,4	1855,5
Min	0,3	1,4	2,6	7,1	5,9	2,5	0,1	8,1	3,0	1,4	0,9	1,2	334,9

Tabla A.10. Resumen estadístico de los datos medios, periodo 1971-2010, en la estación de Port de la Selva (2L).

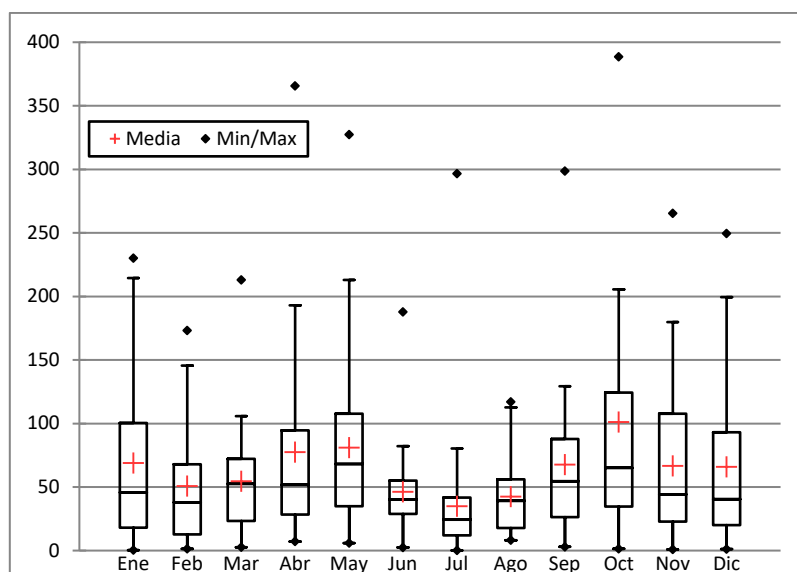


Figura A.19. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Port de la Selva (1971-2010).

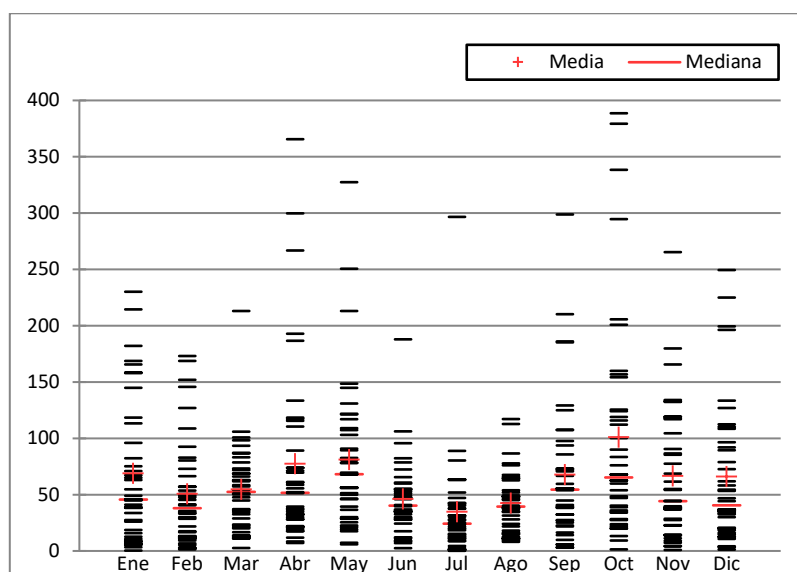


Figura A.20. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Port de la Selva (1971-2010).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
\bar{x}	65,2	46,0	43,7	52,8	57,2	29,9	14,7	30,8	60,3	102,9	54,7	59,2	617,4
Mediana	49,5	38,9	37,6	39,2	44,1	26,9	9,8	25,2	43,5	56,3	37,8	39,8	591,0
SD	62,7	42,5	33,5	50,0	62,2	22,0	16,7	26,1	63,1	126,9	46,9	68,3	195,6
CV%	96,0	193,3	33,0	68,2	398,8	293,3	41,5	46,1	186,0	9067,4	23,0	165,3	31,7
Max	256,3	194,9	176,5	217,3	367,2	111,4	67,8	137,0	315,3	646,6	171,6	284,6	1345,4
Min	0,0	0,4	0,0	7,9	8,0	0,0	0,0	1,3	1,0	0,0	0,2	0,0	259,2

Tabla A.11. Resumen estadístico de los datos medios, periodo 1971-2010, en la estación de Cadaqués (13E).

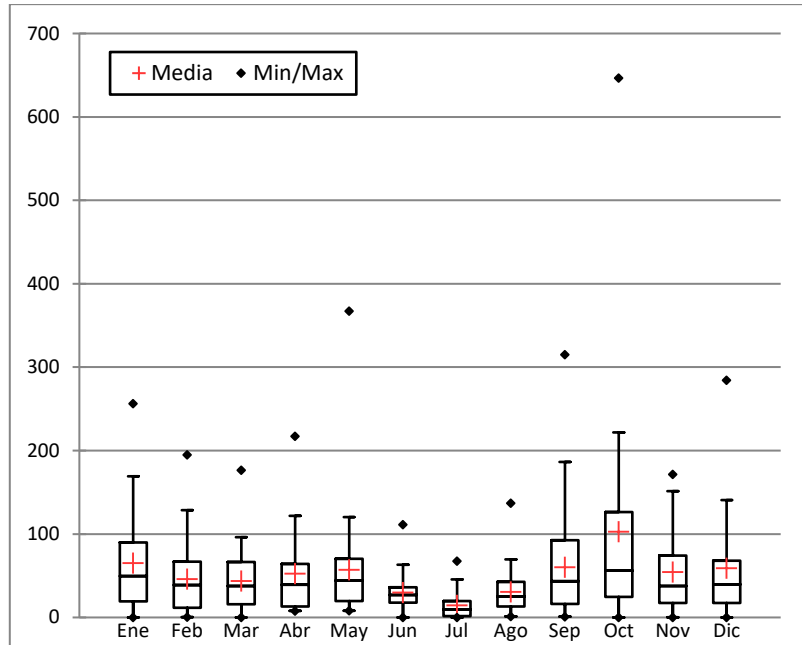


Figura A.21. Gráfico 'boxplot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Cadaqués (1971-2010).

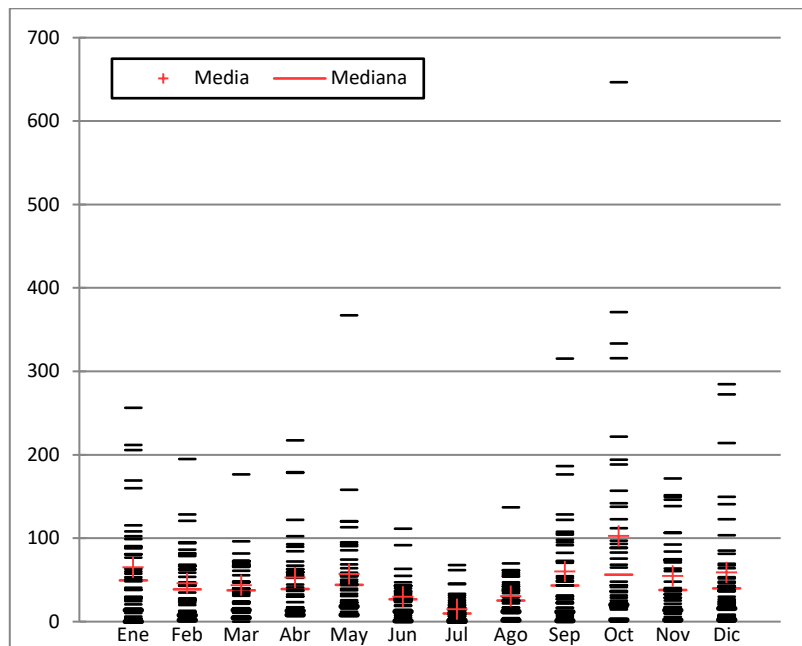


Figura A.22. Gráfico 'strip plot' de los regímenes pluviométricos mensuales en Cadaqués (1971-2010).

B. Gráficos de precipitación media mensual, en milímetros, de las series medias de precipitación, en la serie temporal (1971-2010) analizados en las estaciones de la zona principal de la Cuenca de la Muga.

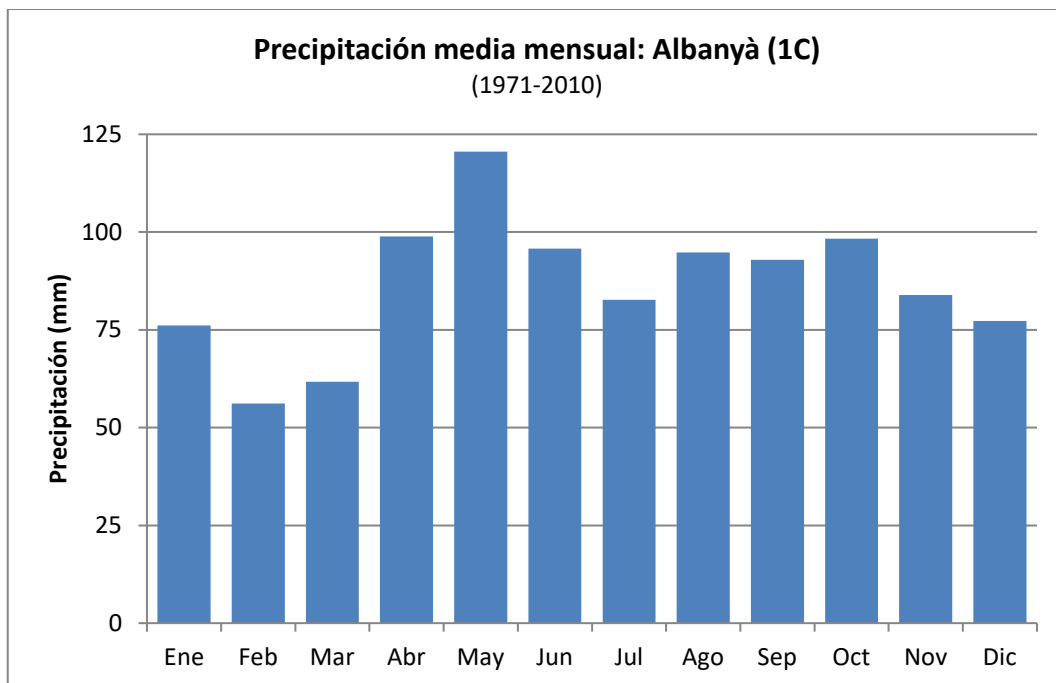


Figura B.1. Precipitación media mensual de Albanyà (1C) en el periodo 1971-2010.

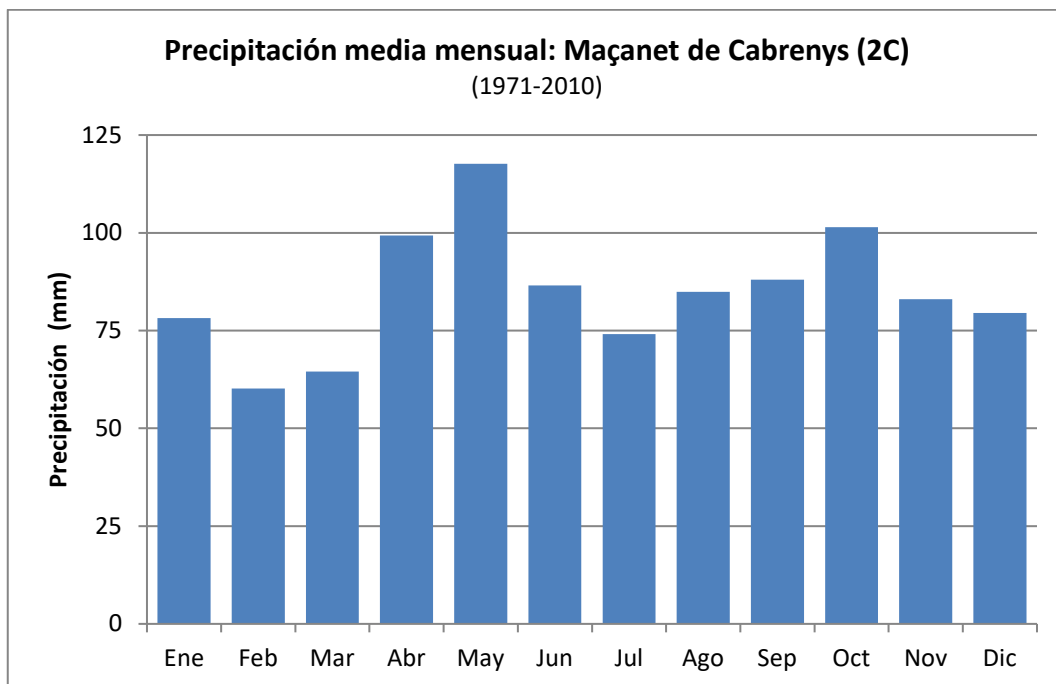


Figura B.23. Precipitación media mensual de Maçanet de Cabrenys (2C) en el periodo 1971-2010.

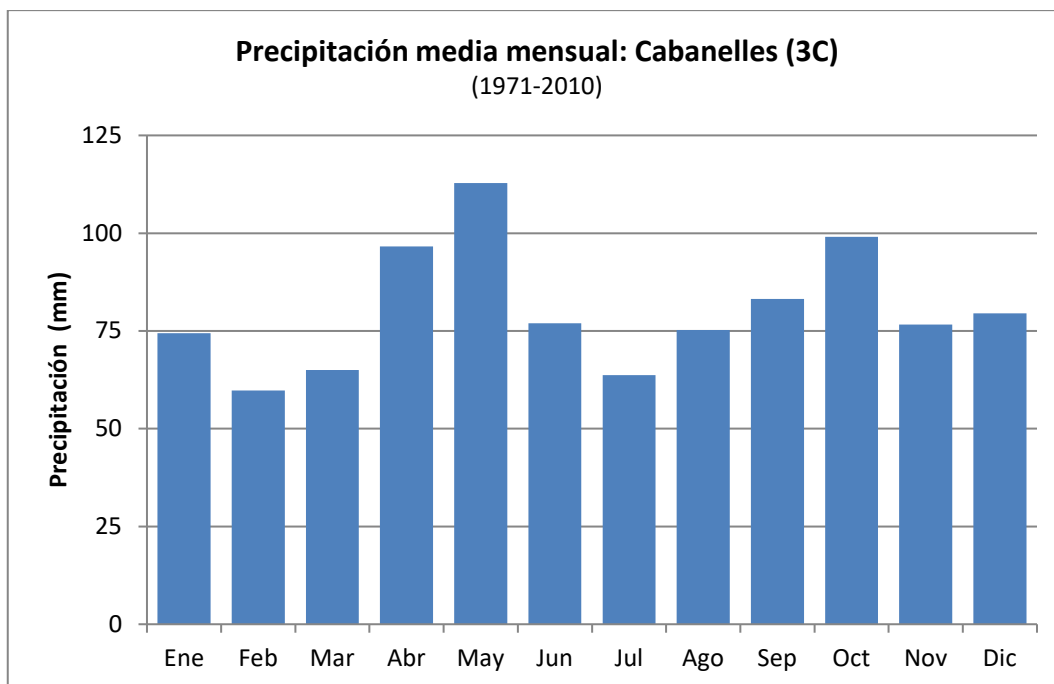


Figura B.3. Precipitación media mensual de Cabanelles (3C) en el periodo 1971-2010.

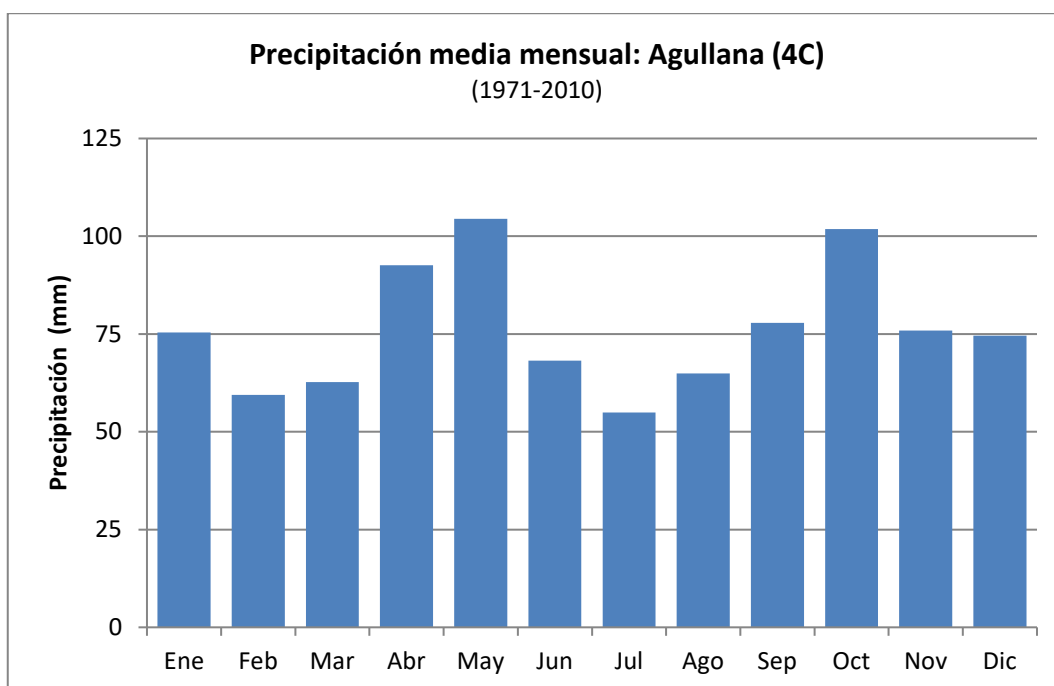


Figura B.4. Precipitación media mensual de Agullana (4C) en el periodo 1971-2010.

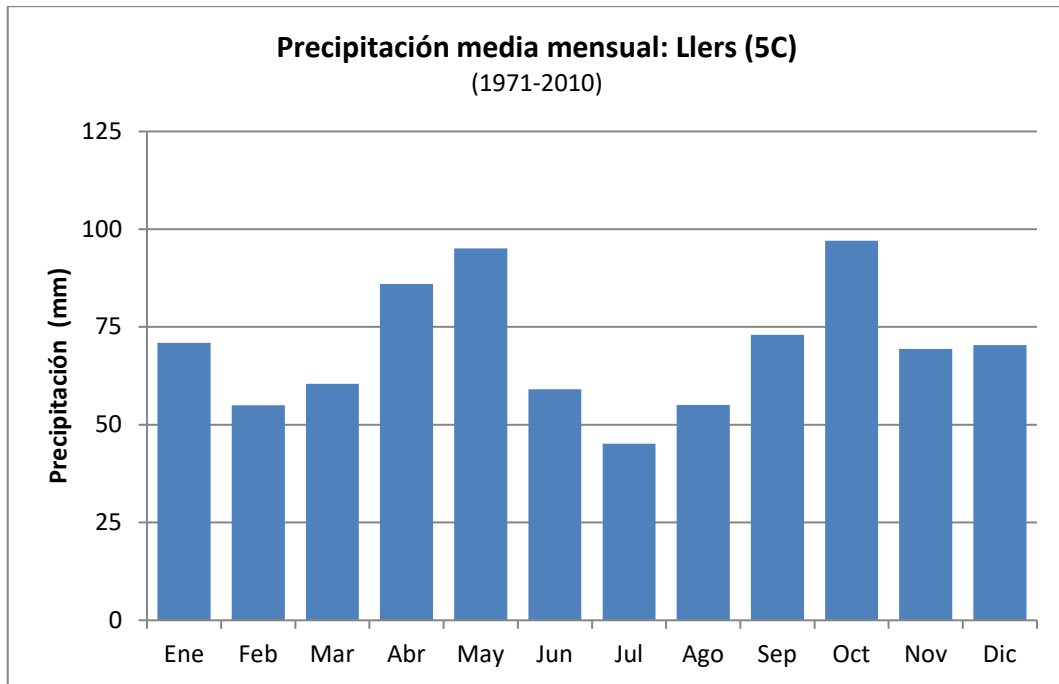


Figura B.5. Precipitación media mensual de Llers (5C) en el periodo 1971-2010.

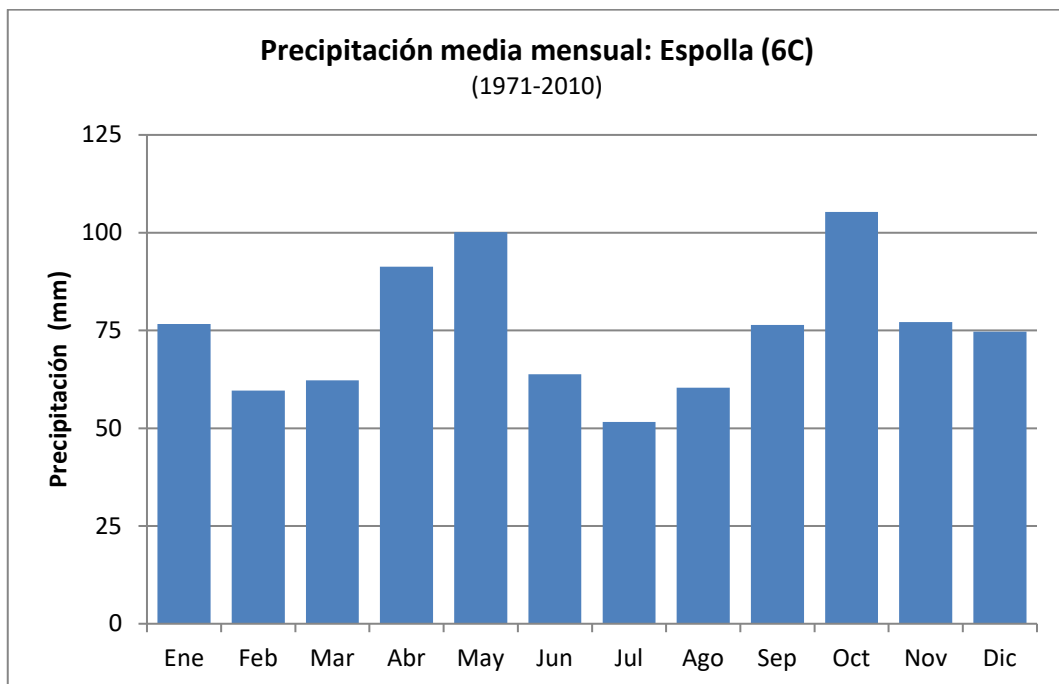


Figura B.6. Precipitación media mensual de Espolla (6C) en el periodo 1971-2010.

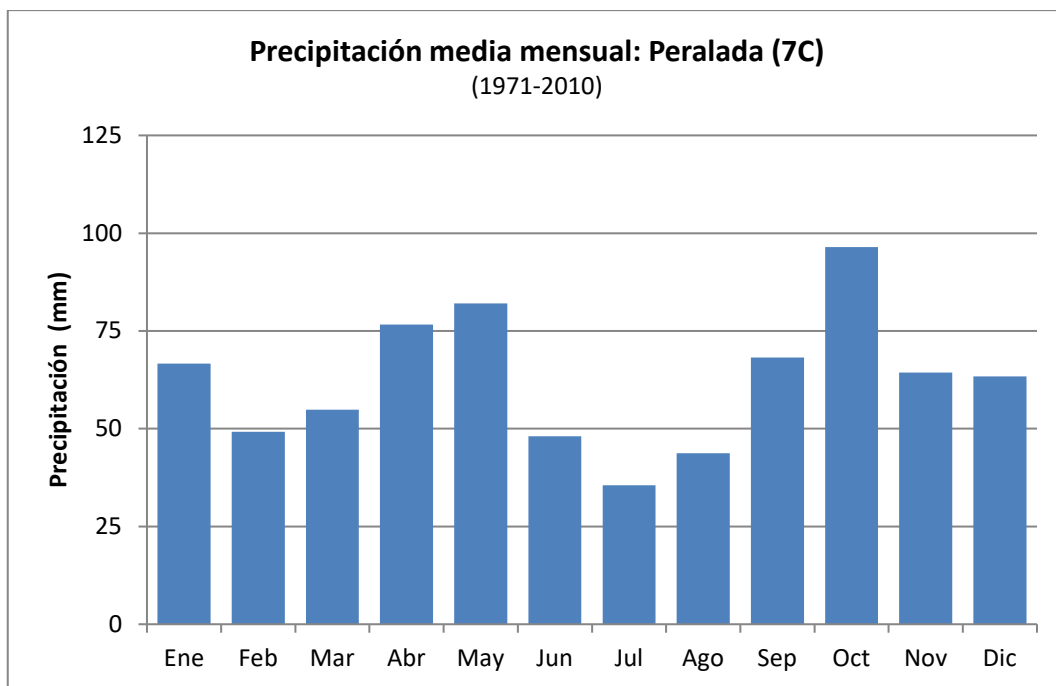


Figura B.7. Precipitación media mensual de Peralada (7C) en el periodo 1971-2010.

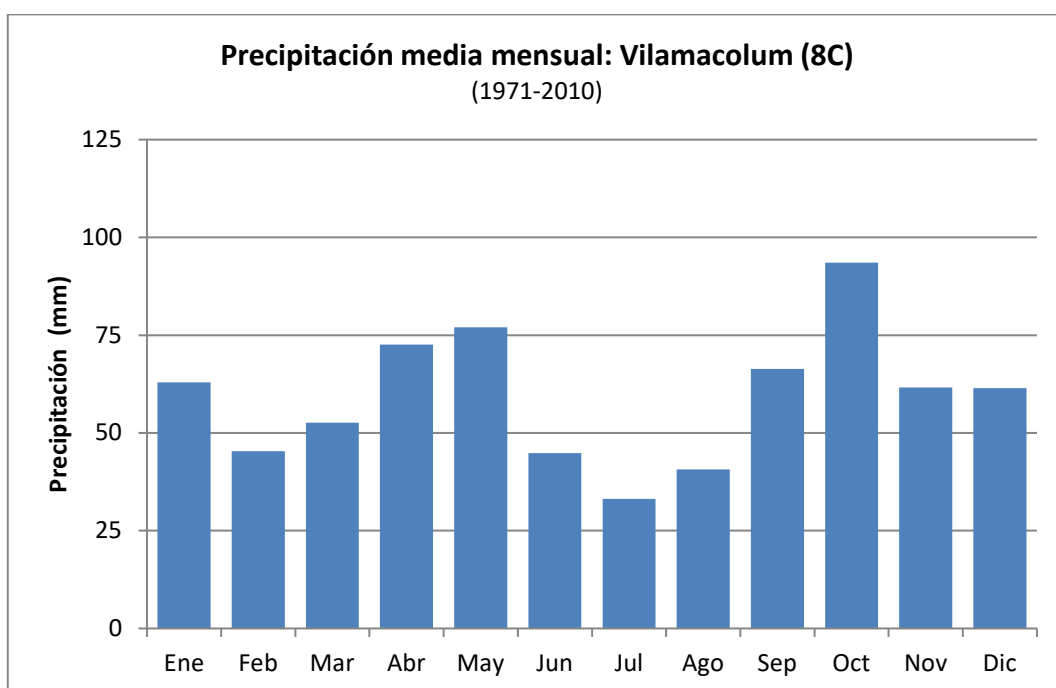


Figura B.8. Precipitación media mensual de Vilamacolum (8C) en el periodo 1971-2010.

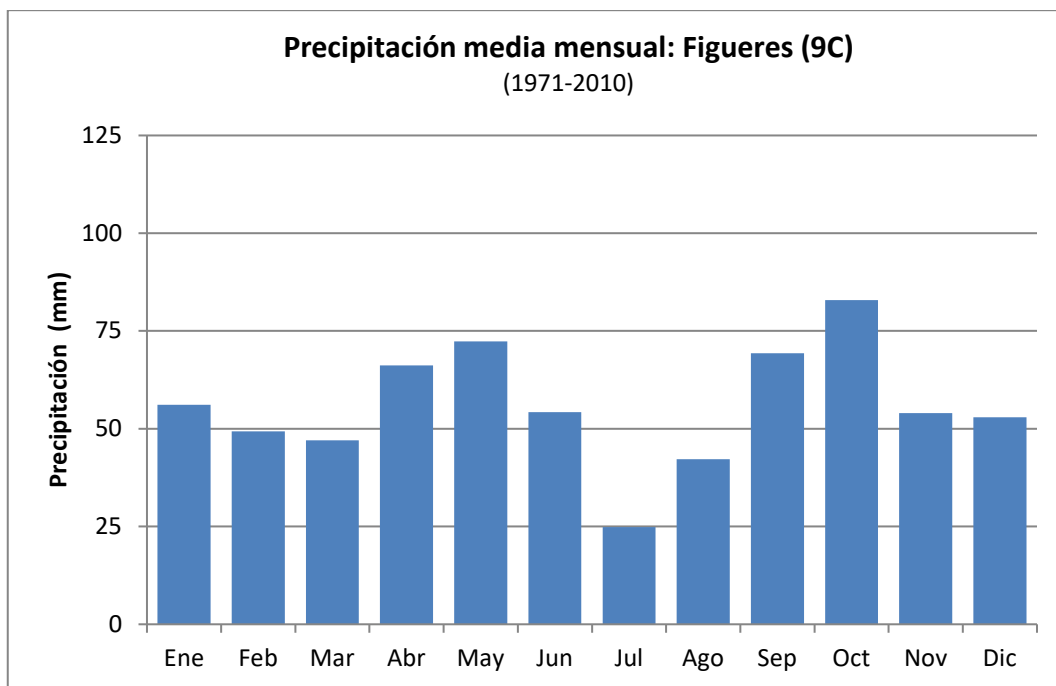


Figura B.9. Precipitación media mensual de Figueres (9C) en el periodo 1971-2010.

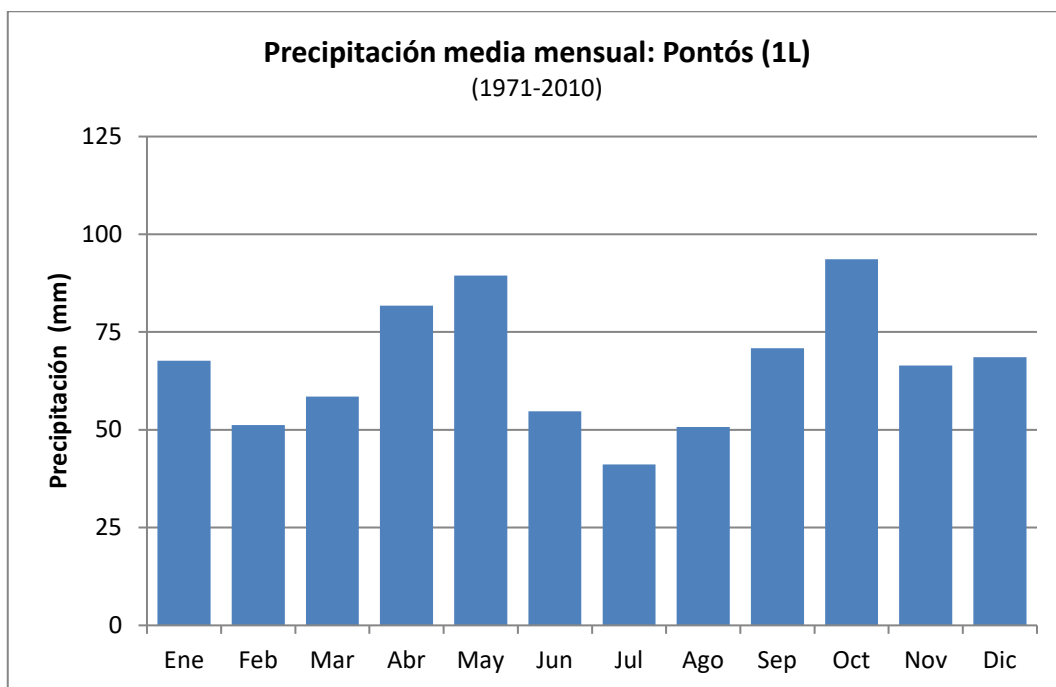


Figura B.10. Precipitación media mensual de Pontós (1L) en el periodo 1971-2010.

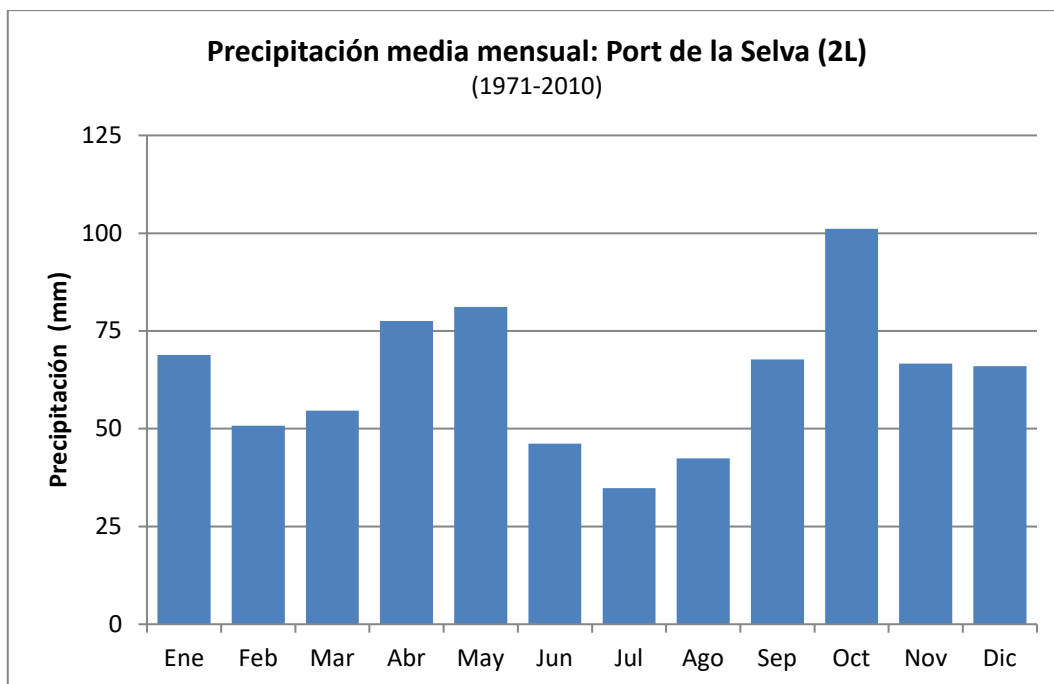


Figura B.11. Precipitación media mensual de Port de la Selva (2L) en el periodo 1971-2010.

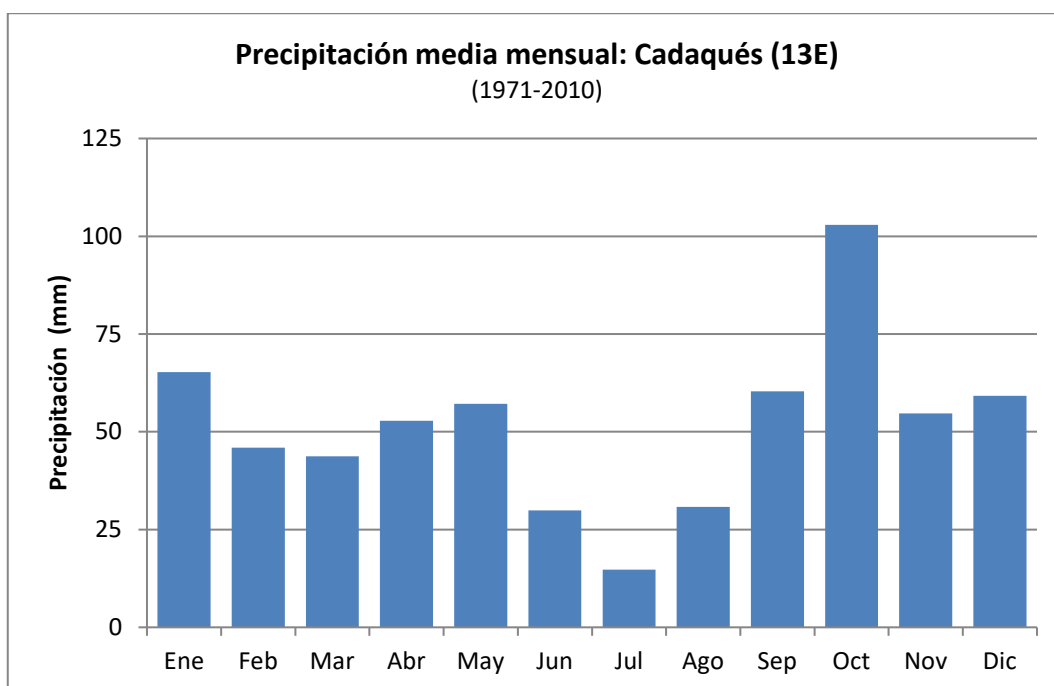


Figura B.12. Precipitación media mensual de Cadaqués (13E) en el periodo 1971-2010.

C. Diagramas del régimen pluviométrico probable mensual, en milímetros, en las estaciones de la zona principal de la Cuenca de la Muga, en la serie temporal (1971-2010)

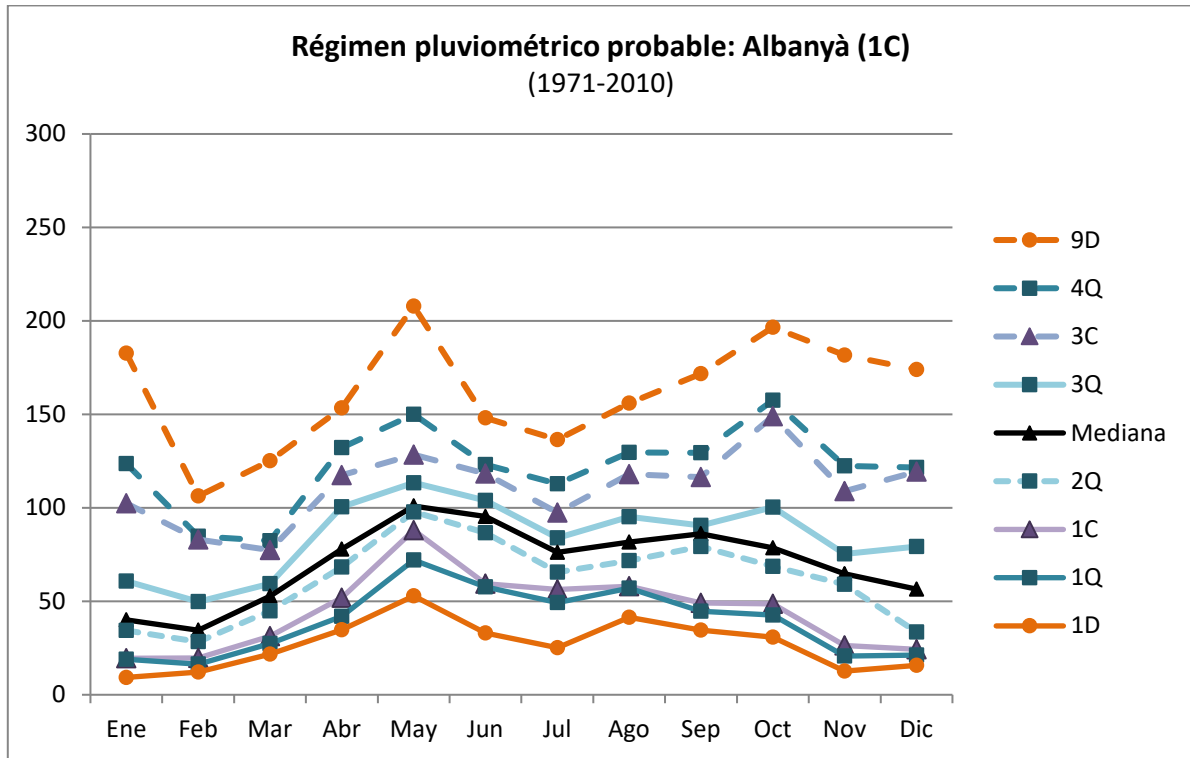


Figura C.1. Régimen probable de precipitación en Albanyà (1971-2010).

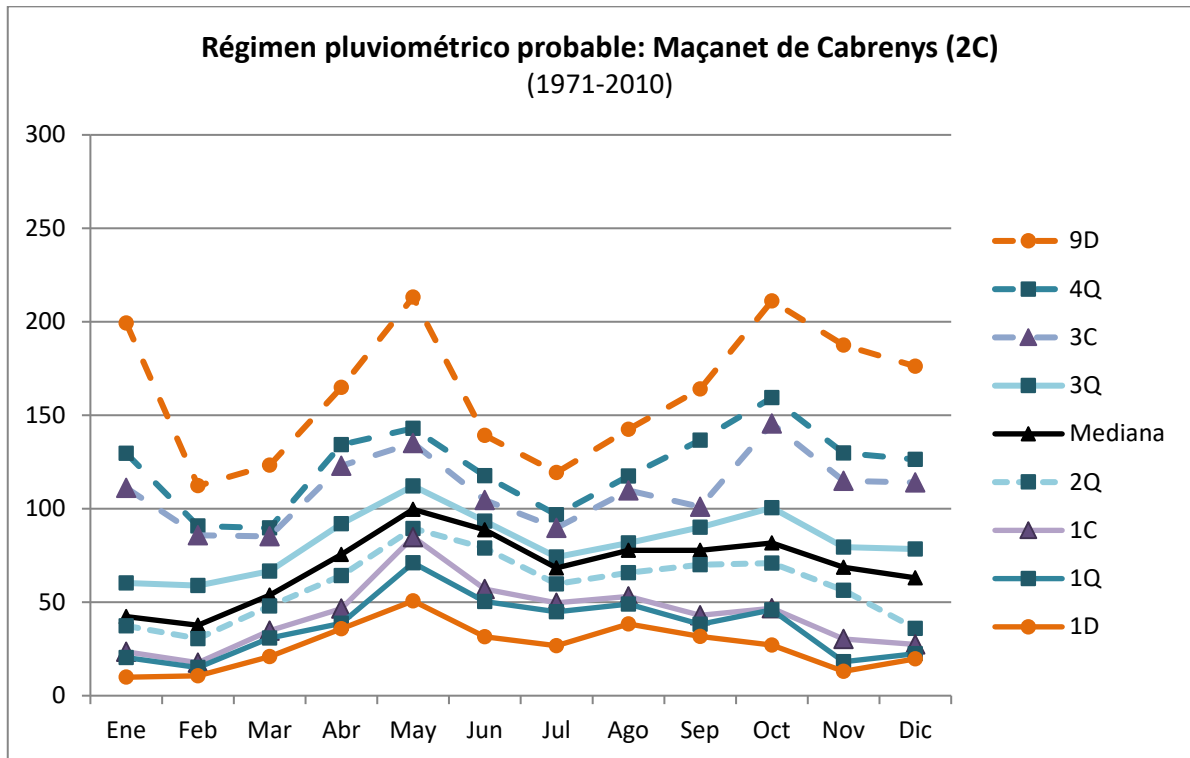


Figura C.2. Régimen probable de precipitación en Maçanet de Cabrenys (1971-2010).

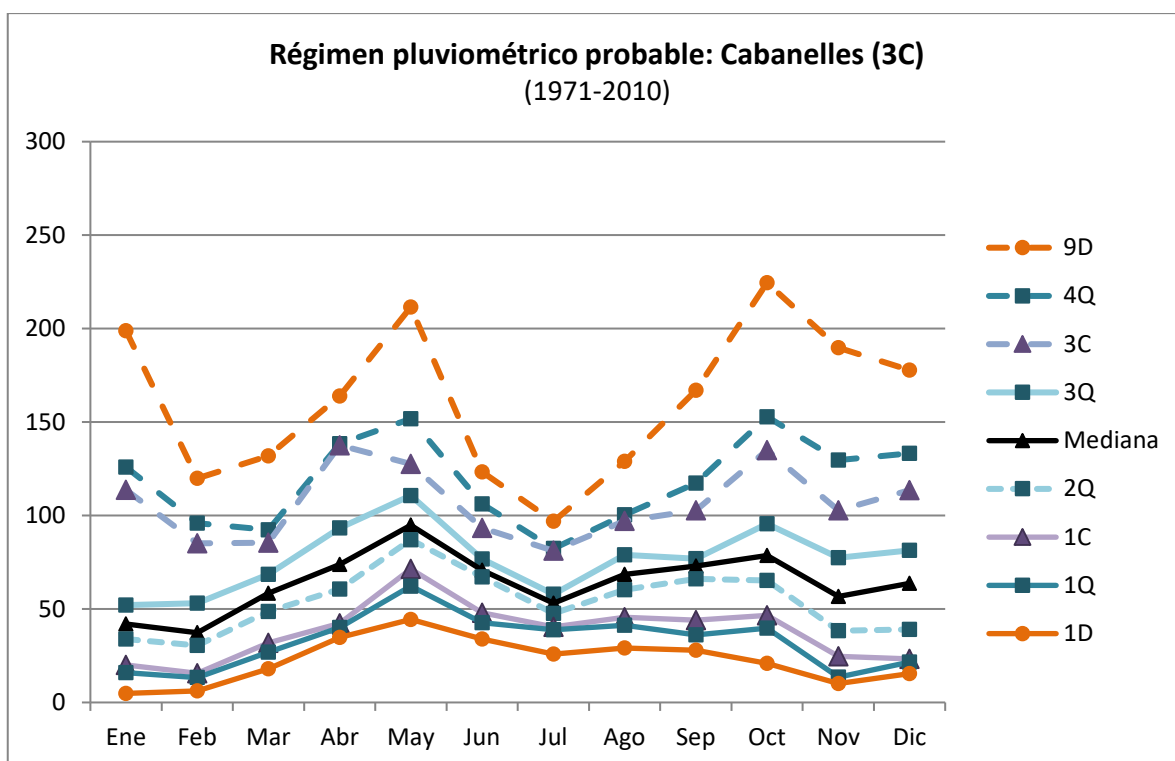


Figura C.3. Régimen probable de precipitación en Cabanelles (1971-2010).

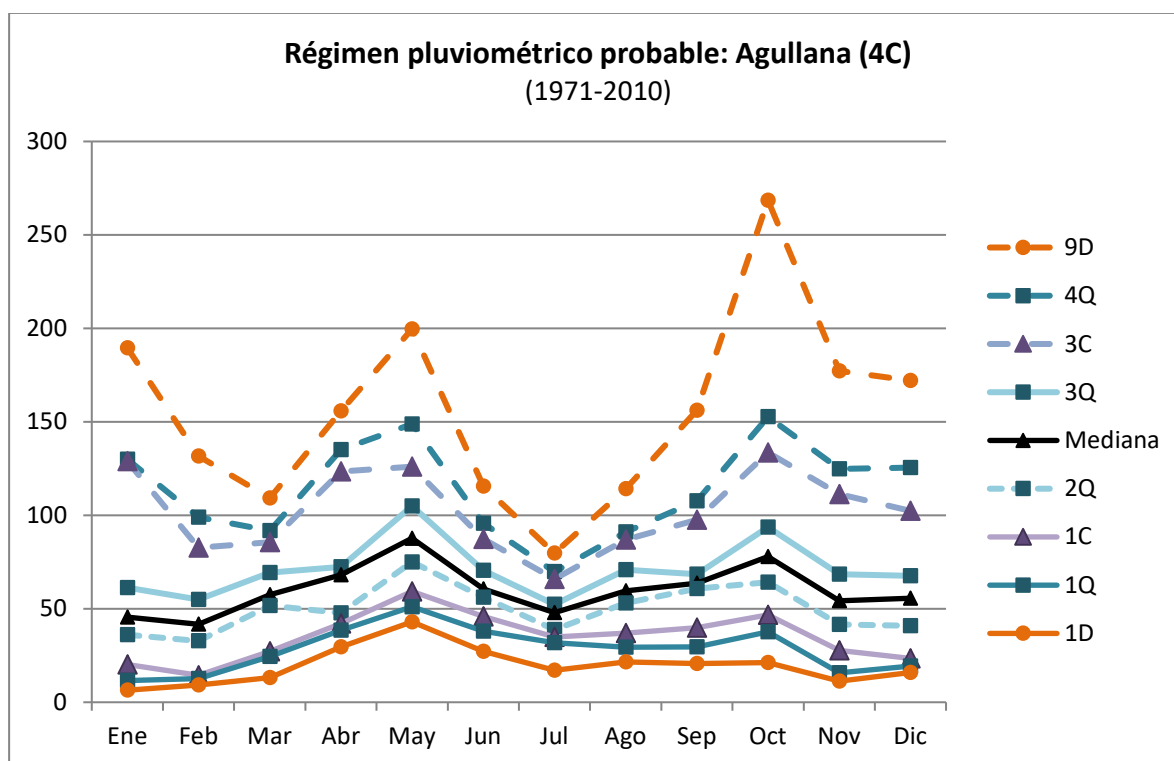


Figura C.4. Régimen probable de precipitación en Agullana (1971-2010).

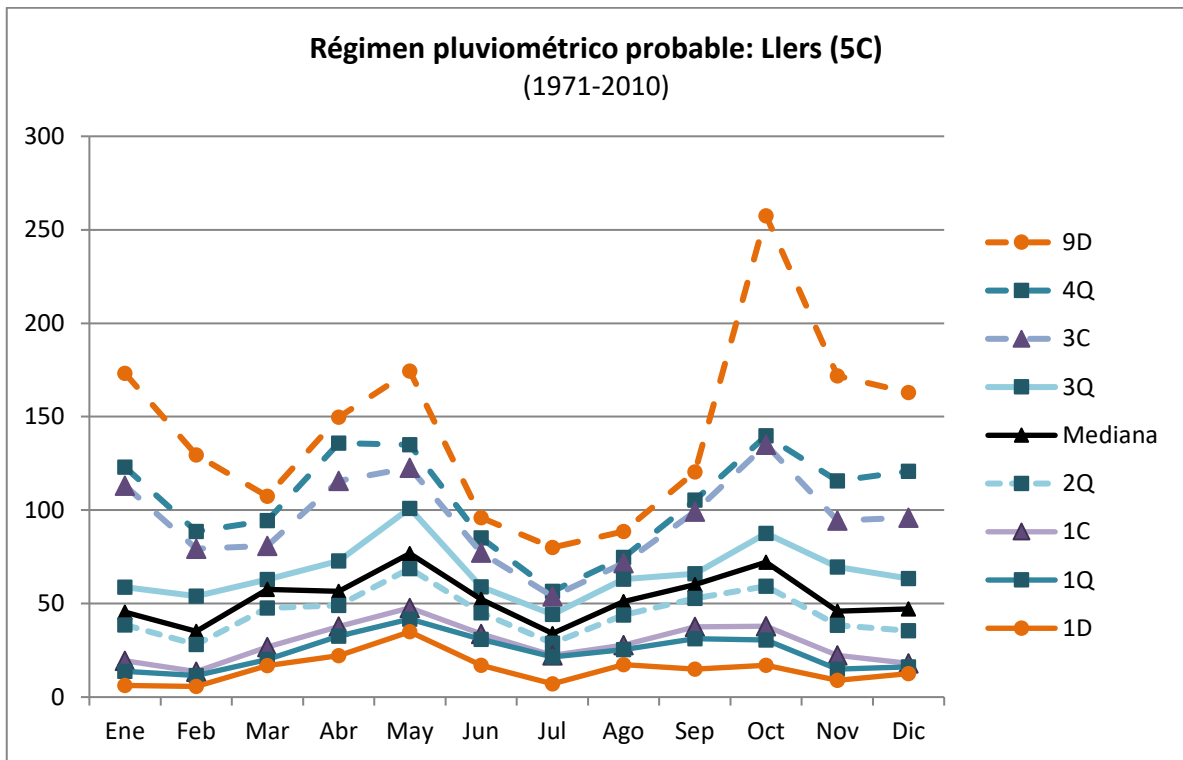


Figura C.5. Régimen probable de precipitación en Llers (1971-2010).

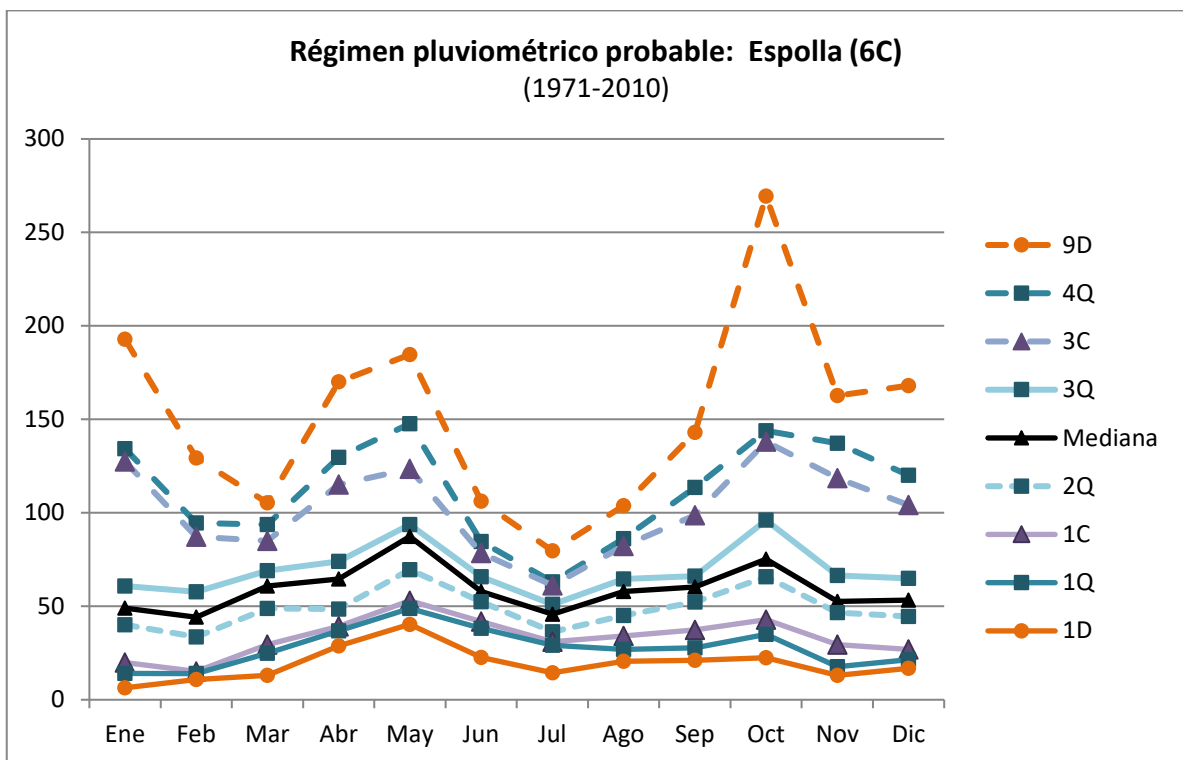


Figura C.6. Régimen probable de precipitación en Espolla (1971-2010).

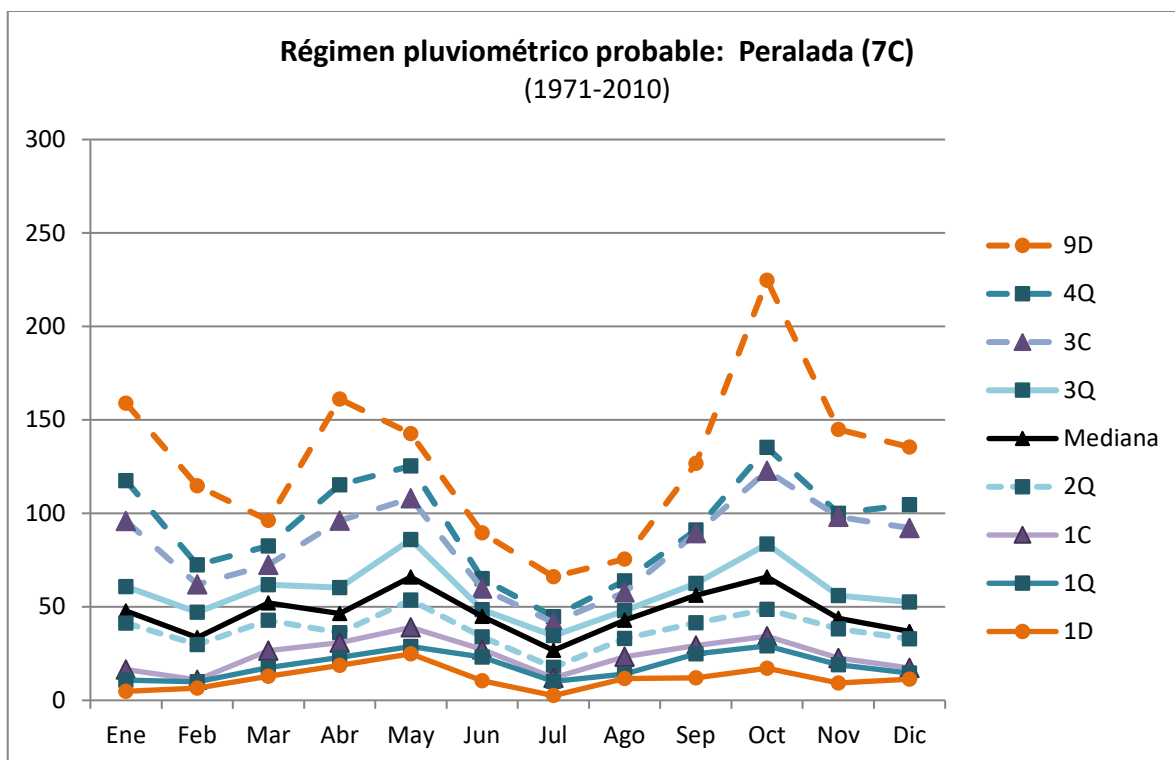


Figura C.7. Régimen probable de precipitación en Peralada (1971-2010).

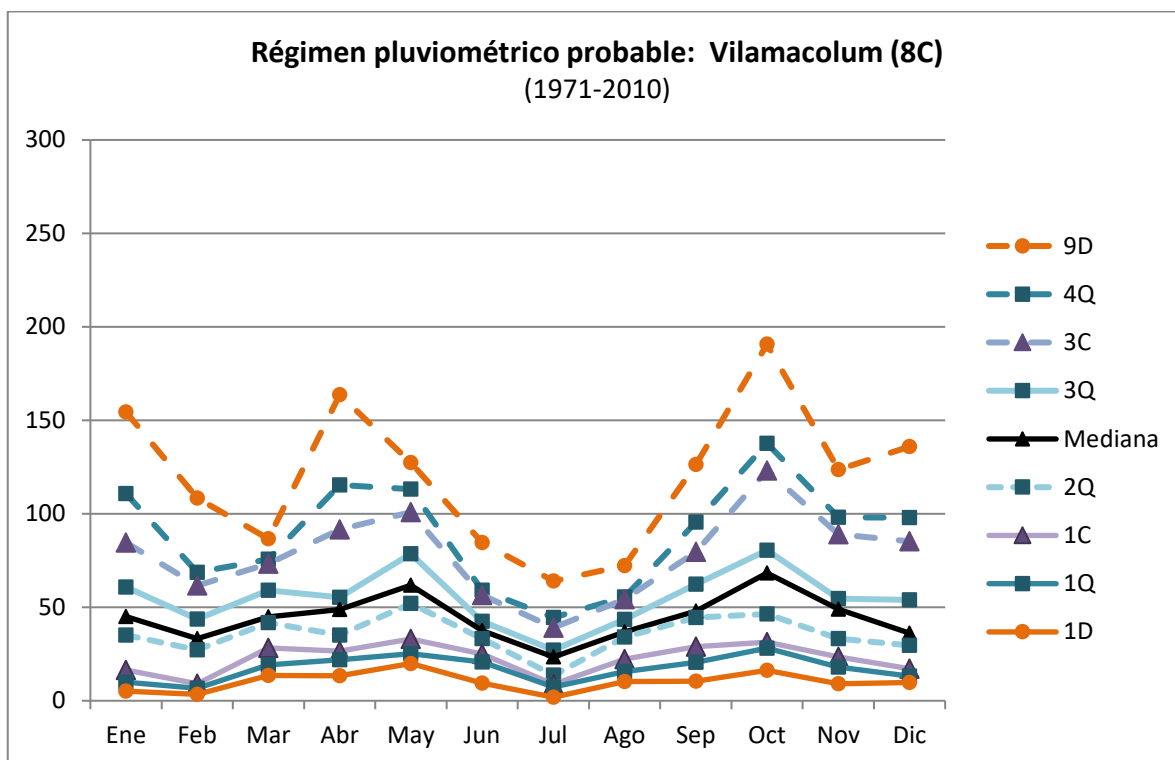


Figura C.8. Régimen probable de precipitación en Vilamacolum (1971-2010).

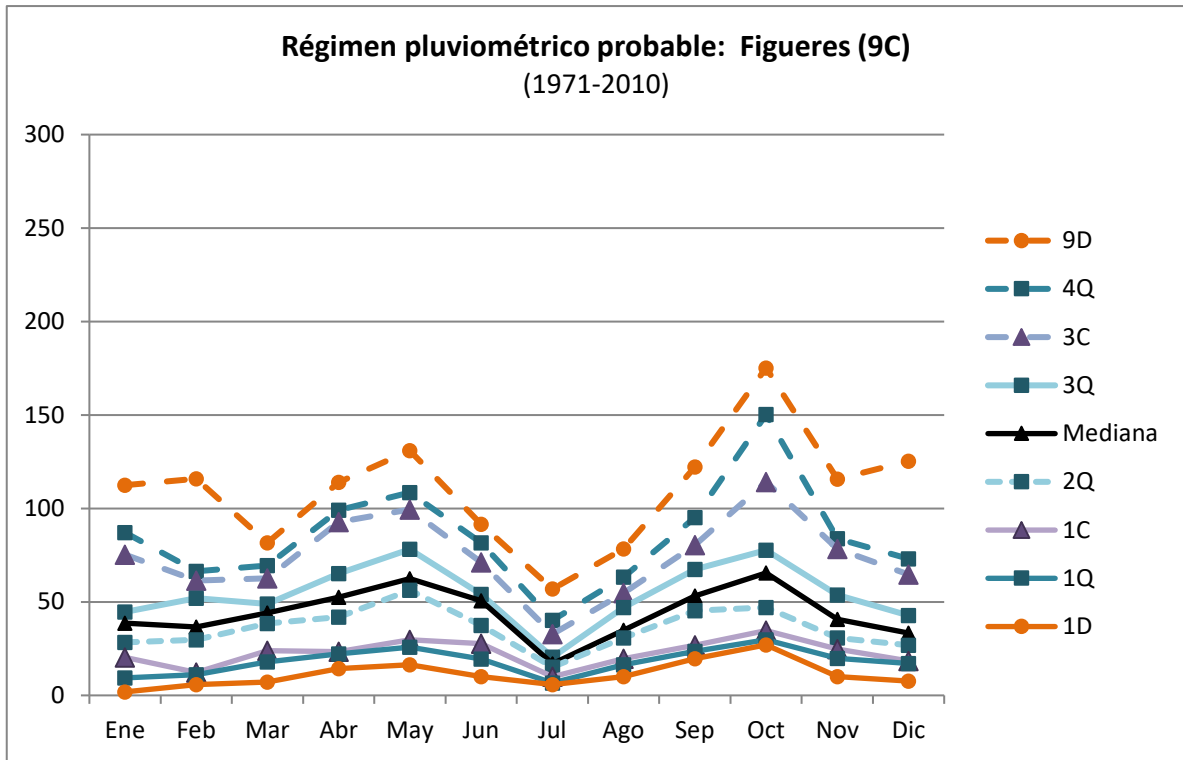


Figura C.9. Régimen probable de precipitación en Figueres (1971-2010).

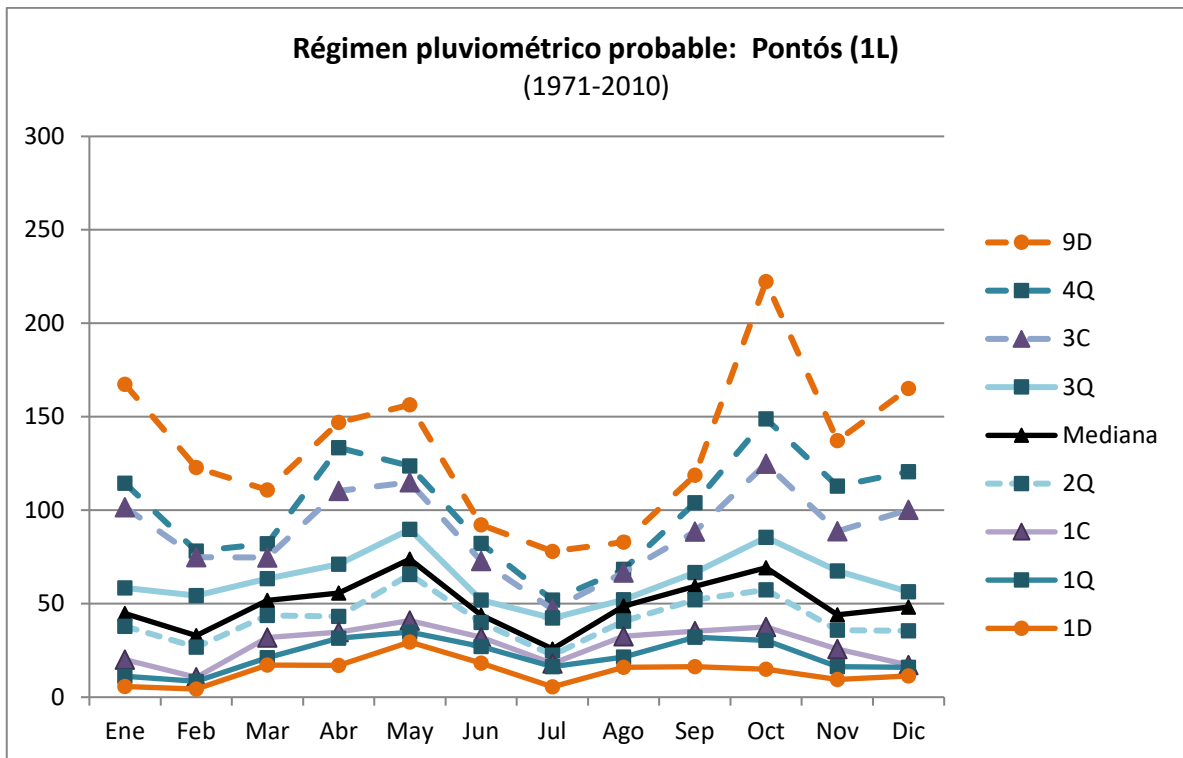


Figura C.10. Régimen probable de precipitación en Pontós (1971-2010).

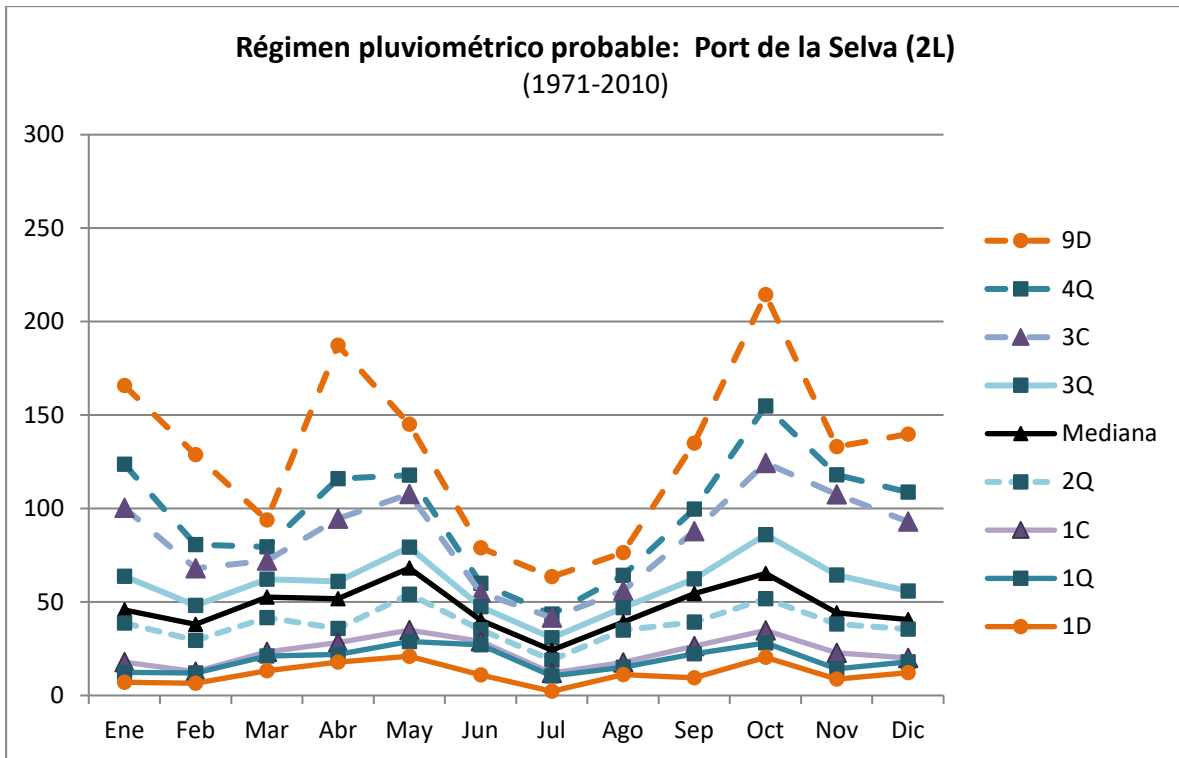


Figura C.11. Régimen probable de precipitación en Port de la Selva (1971-2010).

D. Distribución del régimen estacional de la precipitación, en milímetros, en el año hidrometeorológico en las estaciones de la zona principal de la Cuenca de la Muga, en la serie temporal (1971-2010).

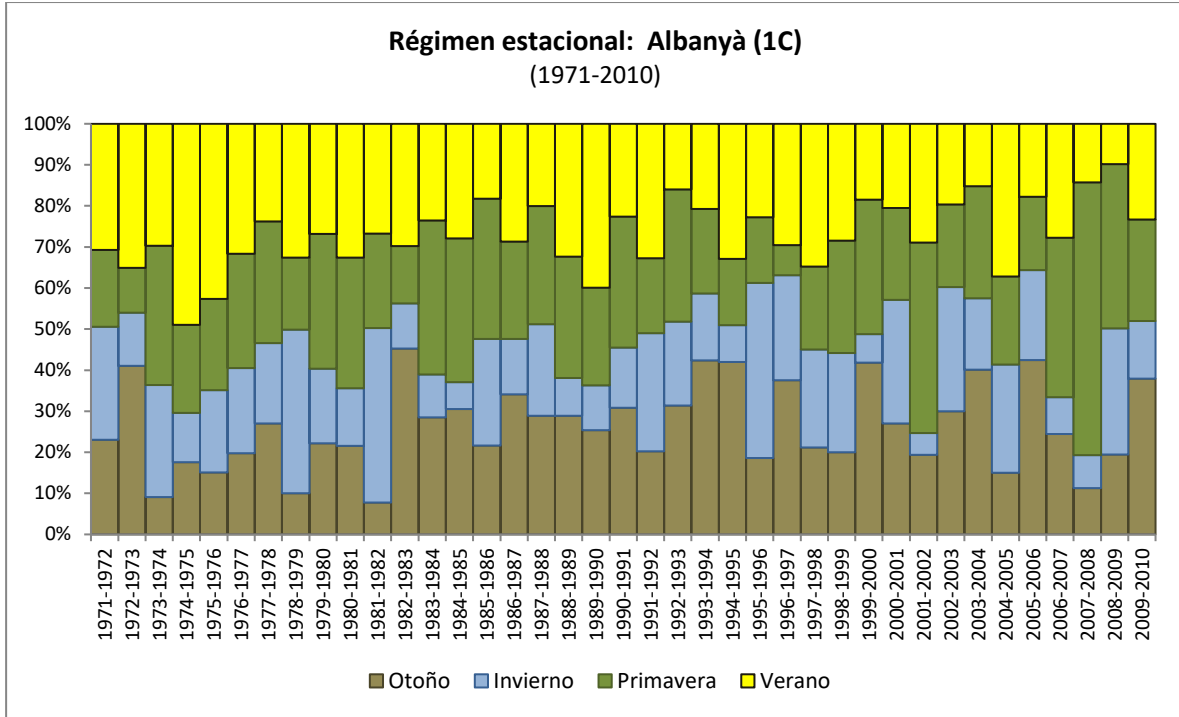


Figura D.1. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Albanyà (1971-2010).

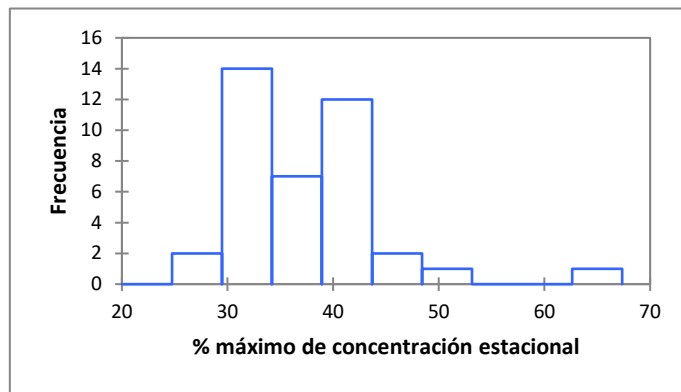


Figura D.2. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Albanyà (1971-2010).

Variables	Coeficiente de correlación de Pearson (r)					
	%otoño	%invierno	%primavera	%verano	Precip. Estac.	% Max. Estac.
%otoño		0,003	-0,345	-0,253	-0,086	-0,067
%invierno	0,003		-0,381	-0,124	0,245	-0,264
%primavera	0,031	0,017		-0,410	0,076	0,306
%verano	0,120	0,450	0,010		-0,286	0,002
Precip. Estac.	0,604	0,133	0,644	0,078		0,042
% Max. Estac.	0,687	0,105	0,058	0,992	0,800	

Resultado p-value

Tabla D.1. Matriz de relación entre variables de Albanyà, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05).

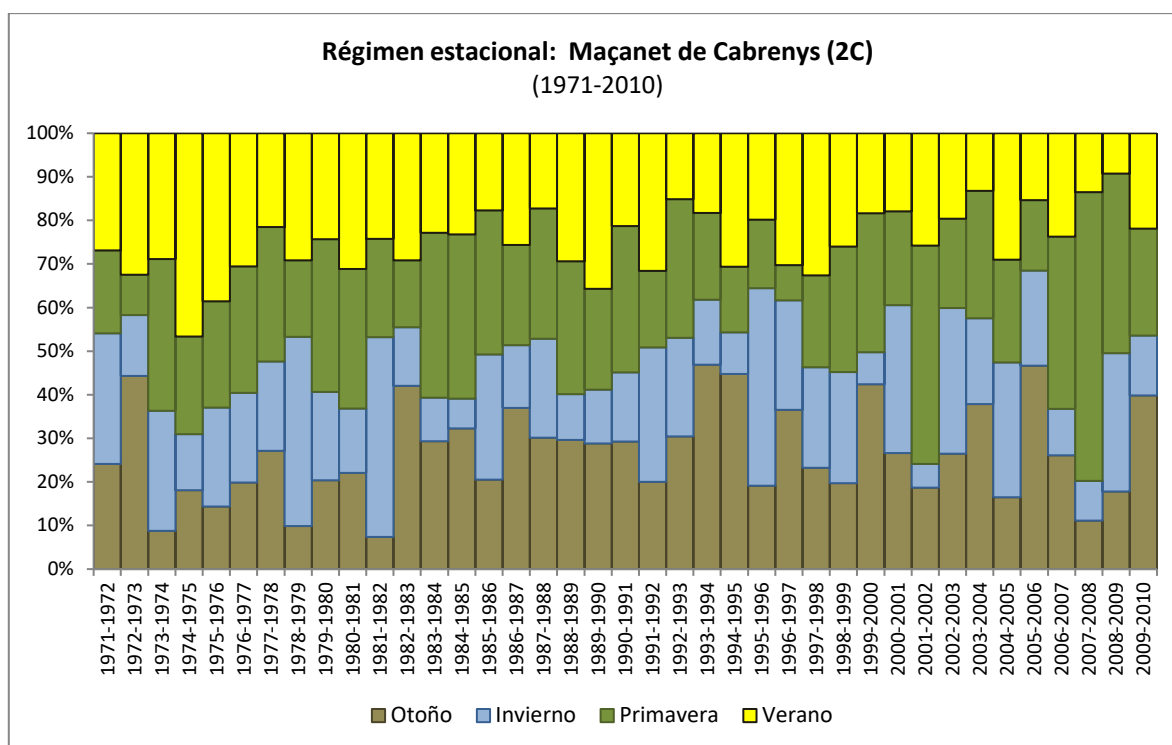


Figura D.3. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Maçanet de Cabrenys (1971-2010).

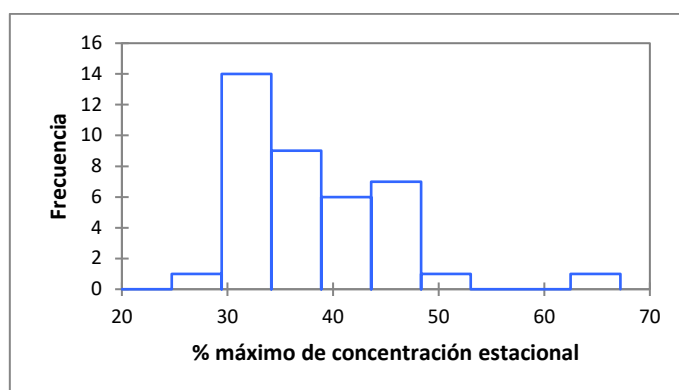


Figura D.4. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Maçanet de Cabrenys (1971-2010).

Variables	Coeficiente de correlación de Pearson (r)					
	%otoño	%invierno	%primavera	%verano	Precip. Estac.	% Max. Estac.
%otoño		-0,501	-0,381	-0,180	-0,075	0,026
%invierno	0,001		-0,375	-0,128	0,195	-0,208
%primavera	0,017	0,019		-0,388	0,097	0,270
%verano	0,274	0,439	0,015		-0,305	-0,141
Precip. Estac.	0,650	0,233	0,558	0,059		0,074
% Max. Estac.	0,877	0,205	0,096	0,392	0,655	

Resultado p-value

Tabla 2 Matriz de relación entre variables de Maçanet de Cabrenys, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación $\alpha=0,05$).

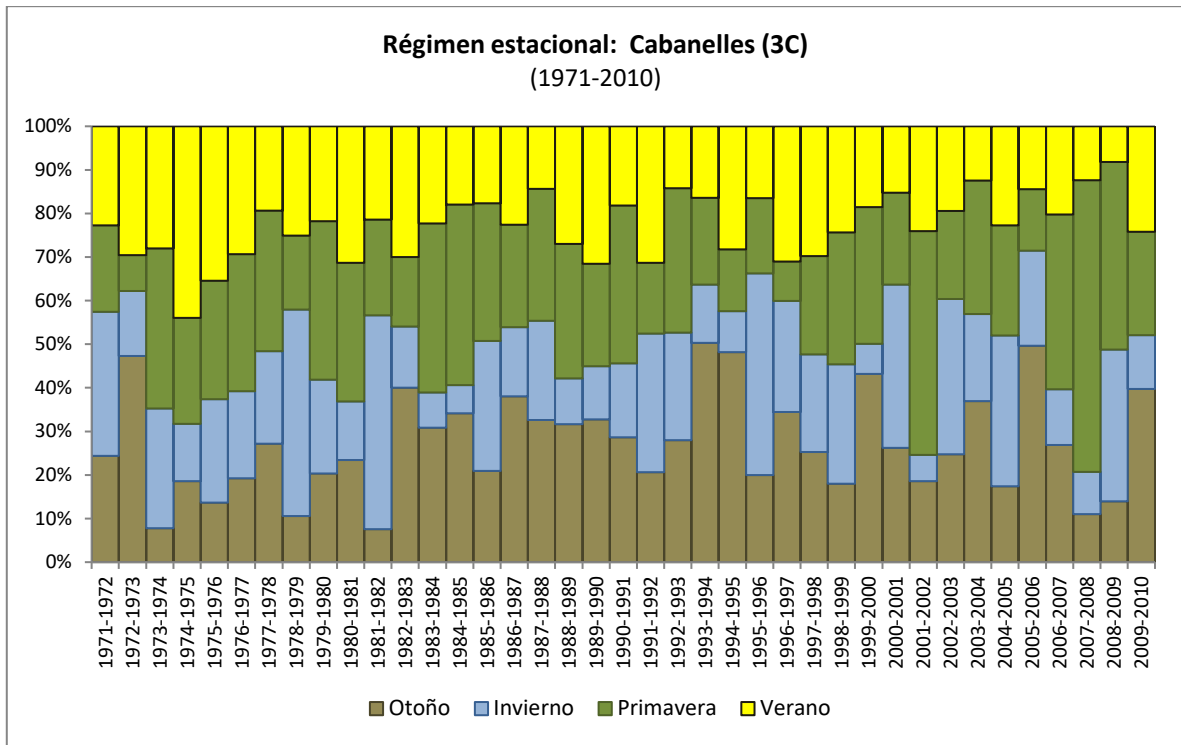


Figura D.5. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Cabanelles (1971-2010).

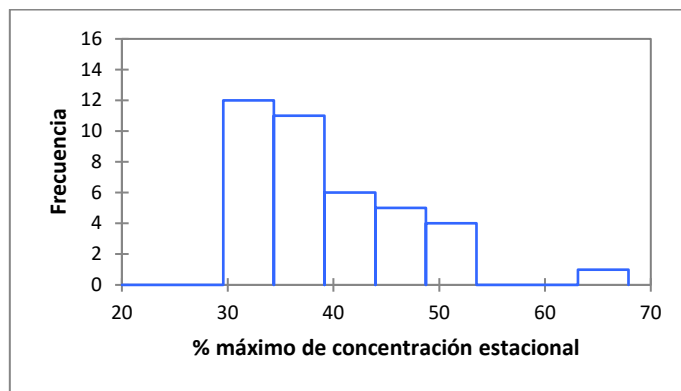


Figura D.6. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Cabanelles (1971-2010).

Variables	Coeficiente de correlación de Pearson (r)					
	%otoño	%invierno	%primavera	%verano	Precip. Estac.	% Max. Estac.
%otoño		-0,532	-0,413	-0,090	-0,100	0,060
%invierno	0,000		-0,352	-0,182	0,151	-0,128
%primavera	0,009	0,028		-0,365	0,085	0,228
%verano	0,585	0,268	0,022		-0,211	-0,251
Precip. Estac.	0,543	0,360	0,608	0,196		0,030
% Max. Estac.	0,716	0,437	0,163	0,123	0,856	

Resultado p-value

Tabla D.3. Matriz de relación entre variables de Cabanelles, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05).

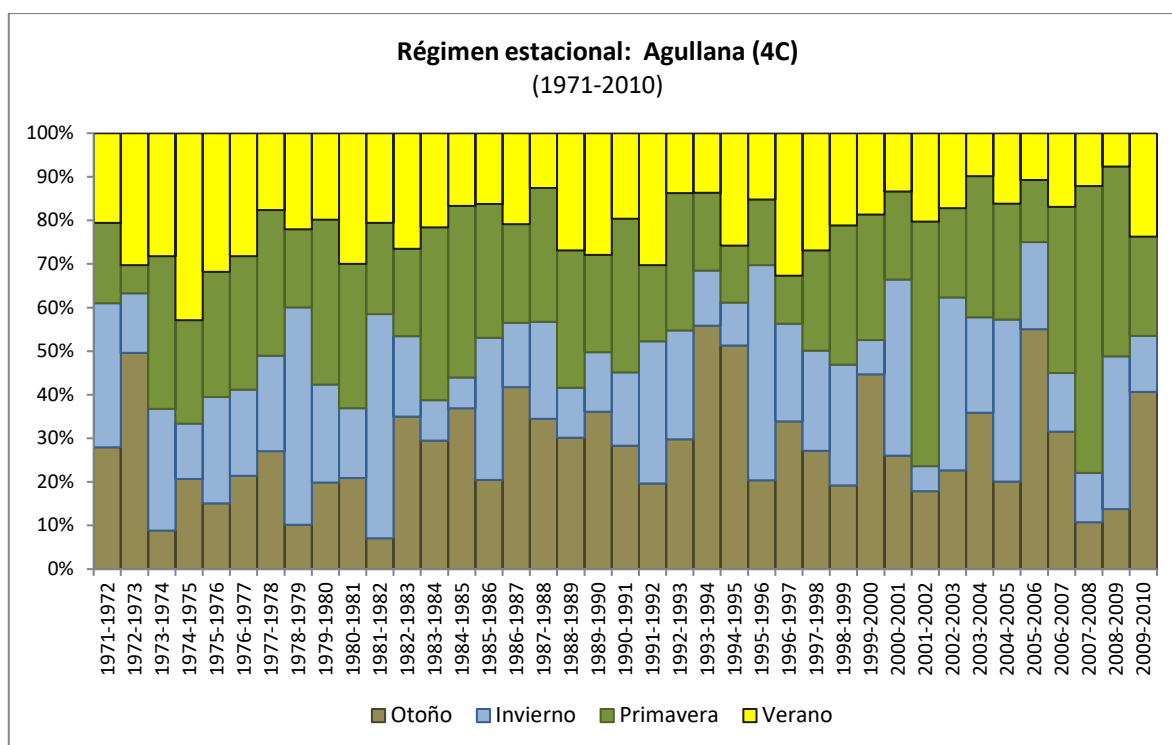


Figura D.7. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Agullana (1971-2010).

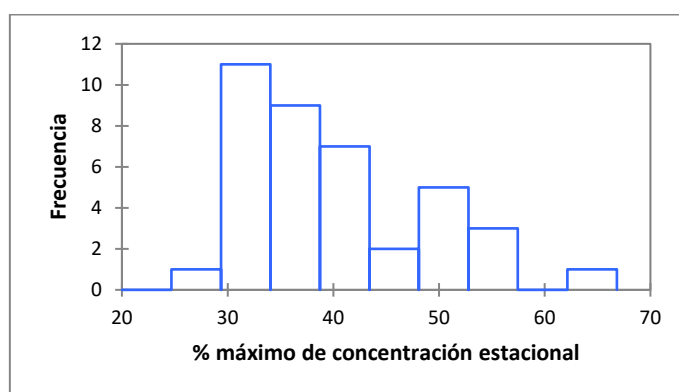


Figura D.8. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Agullana (1971-2010).

Variables	Coeficiente de correlación de Pearson (r)					
	%otoño	%invierno	%primavera	%verano	Precip. Estac.	% Max. Estac.
%otoño		-0,545	-0,438	-0,094	-0,006	0,144
%invierno	0,000		-0,322	-0,214	0,097	-0,072
%primavera	0,005	0,046		-0,315	0,086	0,109
%verano	0,570	0,191	0,051		-0,283	-0,296
Precip. Estac.	0,970	0,555	0,604	0,081		0,143
% Max. Estac.	0,381	0,664	0,508	0,068	0,385	

Resultado p-value

Tabla D.4. Matriz de relación entre variables de Agullana, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05).

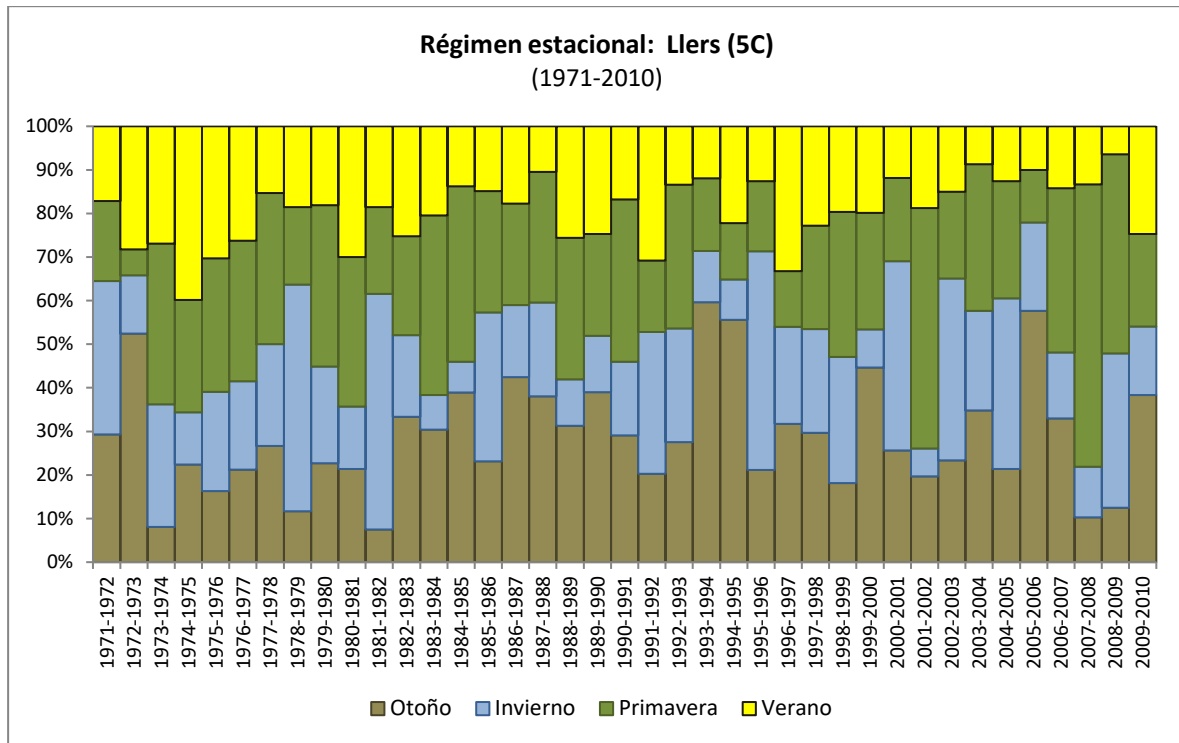


Figura D.9. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Llers (1971-2010).

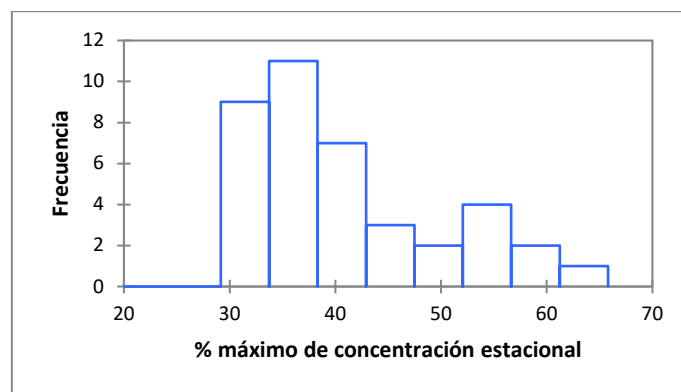


Figura D.10. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Llers (1971-2010).

Variables	Coeficiente de correlación de Pearson (r)					
	%otoño	%invierno	%primavera	%verano	Precip. Estac.	% Max. Estac.
%otoño		-0,533	-0,463	-0,096	-0,026	0,213
%invierno	0,000		-0,321	-0,274	0,069	-0,012
%primavera	0,003	0,047		-0,230	0,087	-0,008
%verano	0,563	0,091	0,159		-0,210	-0,337
Precip. Estac.	0,874	0,677	0,600	0,200		0,104
% Max. Estac.	0,193	0,941	0,961	0,036	0,528	

Resultado p-value

Tabla D.5. Matriz de relación entre variables de Llers, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05).

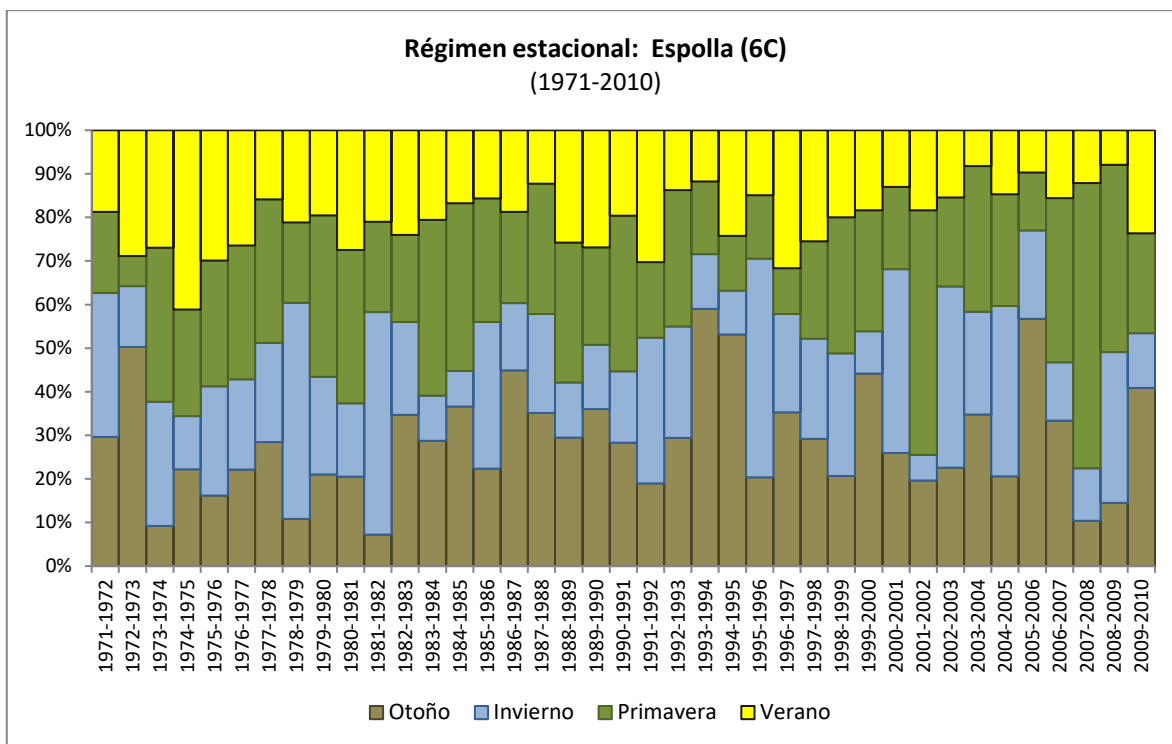


Figura D.11. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Espolla (1971-2010).

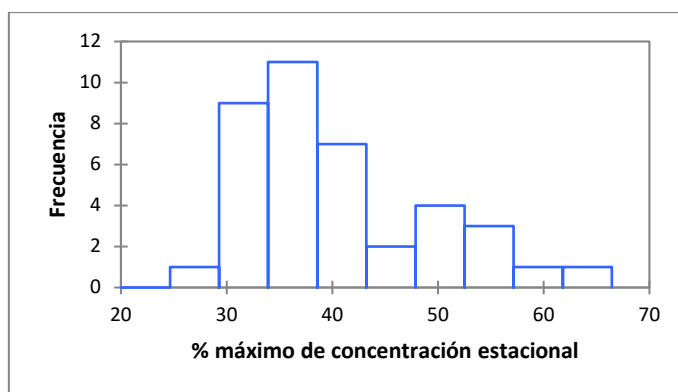


Figura D.12. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Espolla (1971-2010).

Variables	Coeficiente de correlación de Pearson (r)					
	%otoño	%invierno	%primavera	%verano	Precip. Estac.	% Max. Estac.
%otoño		-0,536	-0,456	-0,115	0,013	0,205
%invierno	0,000		-0,328	-0,204	0,062	-0,078
%primavera	0,004	0,041		-0,276	0,106	0,043
%verano	0,486	0,213	0,090		-0,301	-0,301
Precip. Estac.	0,936	0,709	0,521	0,062		0,174
% Max. Estac.	0,211	0,635	0,793	0,062	0,288	

Resultado p-value

Tabla D.6. Matriz de relación entre variables de Espolla, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05).

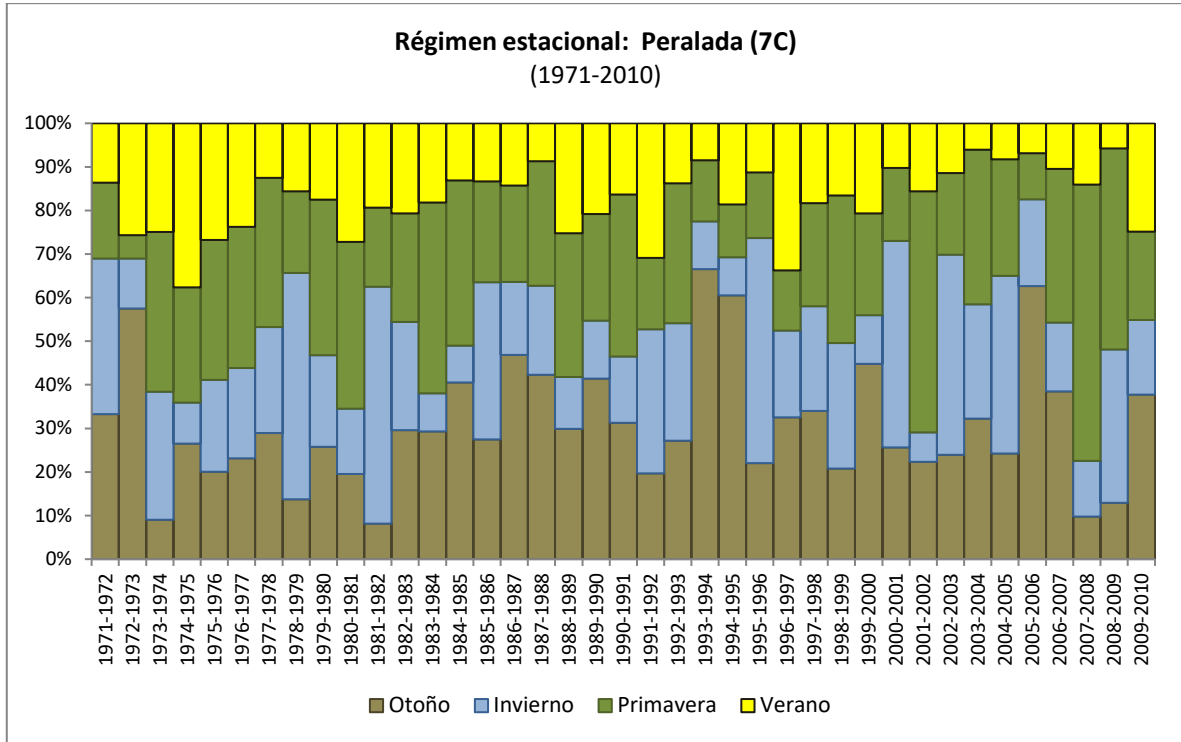


Figura D.13. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Peralada (1971-2010).

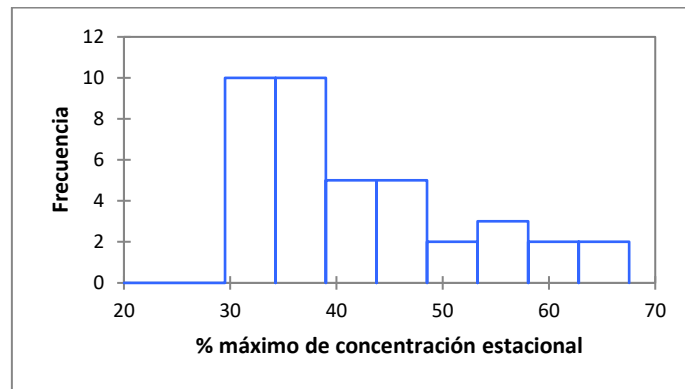


Figura D.14. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Peralada (1971-2010).

Variables	Coeficiente de correlación de Pearson (r)					
	%otoño	%invierno	%primavera	%verano	Precip. Estac.	% Max. Estac.
%otoño		-0,515	-0,500	-0,158	0,010	0,354
%invierno	0,001		-0,311	-0,293	0,020	-0,039
%primavera	0,001	0,054		-0,125	0,090	-0,148
%verano	0,336	0,070	0,448		-0,196	-0,351
Precip. Estac.	0,950	0,904	0,586	0,231		0,134
% Max. Estac.	0,027	0,812	0,367	0,029	0,418	

Resultado p-value

Tabla D.7. Matriz de relación entre variables de Peralada, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05).

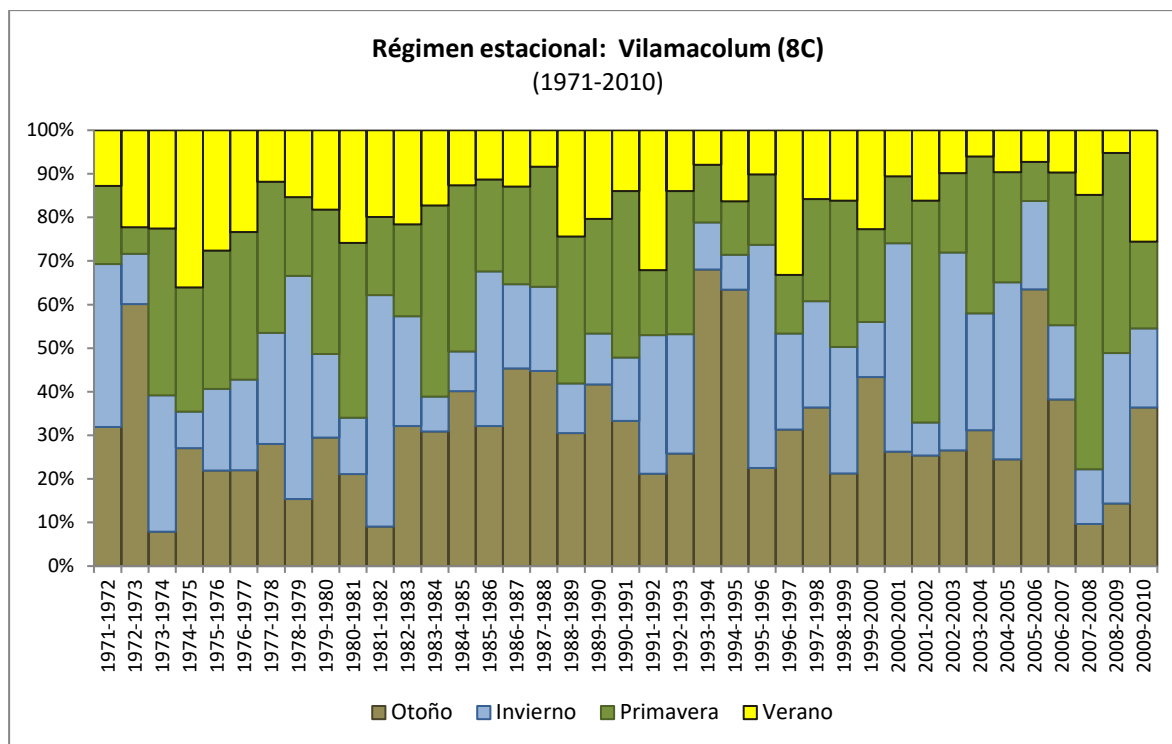


Figura D.15. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Vilamacolum (1971-2010).

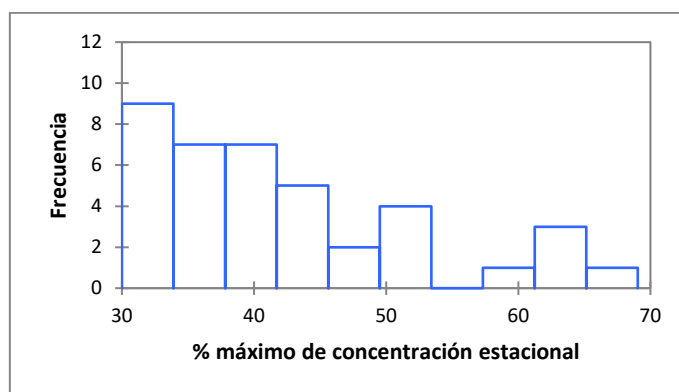


Figura D.16. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Vilamacolum (1971-2010).

Variables	Coeficiente de correlación de Pearson (r)					
	%otoño	%invierno	%primavera	%verano	Precip. Estac.	% Max. Estac.
%otoño		-0,494	-0,509	-0,198	-0,040	0,423
%invierno	0,001		-0,327	-0,291	0,000	-0,053
%primavera	0,001	0,042		-0,078	0,121	-0,201
%verano	0,227	0,073	0,638		-0,118	-0,378
Precip. Estac.	0,807	0,999	0,463	0,475		0,079
% Max. Estac.	0,007	0,751	0,219	0,018	0,632	

Resultado p-value

Tabla D.8. Matriz de relación entre variables de Vilamacolum, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05).

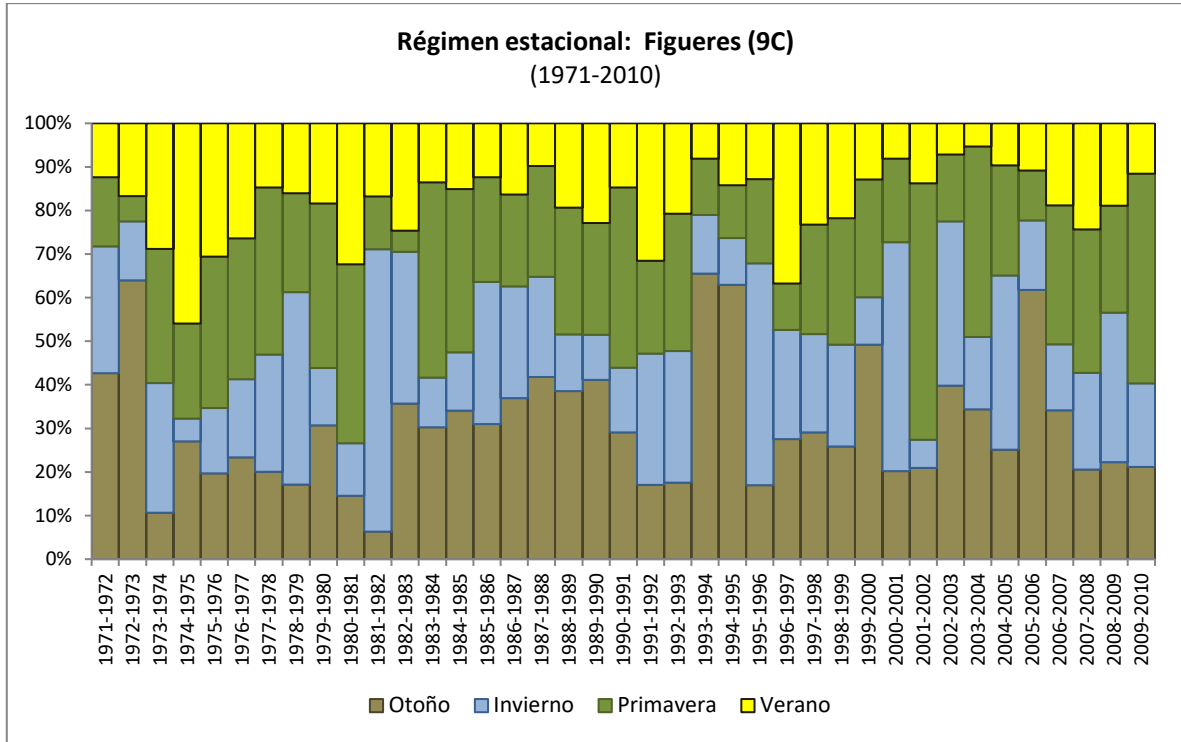


Figura D.17. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Figueres (1971-2010).

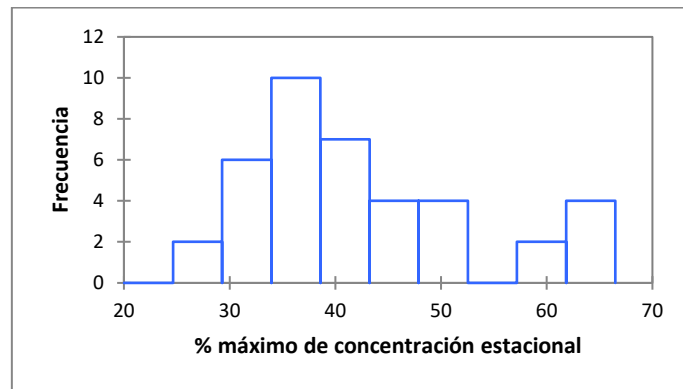


Figura D.18. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Figueres (1971-2010).

Variables	Coeficiente de correlación de Pearson (r)					
	%otoño	%invierno	%primavera	%verano	Precip. Estac.	% Max. Estac.
%otoño		-0,461	-0,426	-0,362	-0,130	0,466
%invierno	0,003		-0,405	-0,215	0,097	-0,008
%primavera	0,007	0,010		-0,048	0,109	-0,257
%verano	0,024	0,189	0,770		-0,084	-0,407
Precip. Estac.	0,430	0,555	0,510	0,610		0,061
% Max. Estac.	0,003	0,959	0,114	0,010	0,711	

Resultado p-value

Tabla D.9. Matriz de relación entre variables de Figueres, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05).

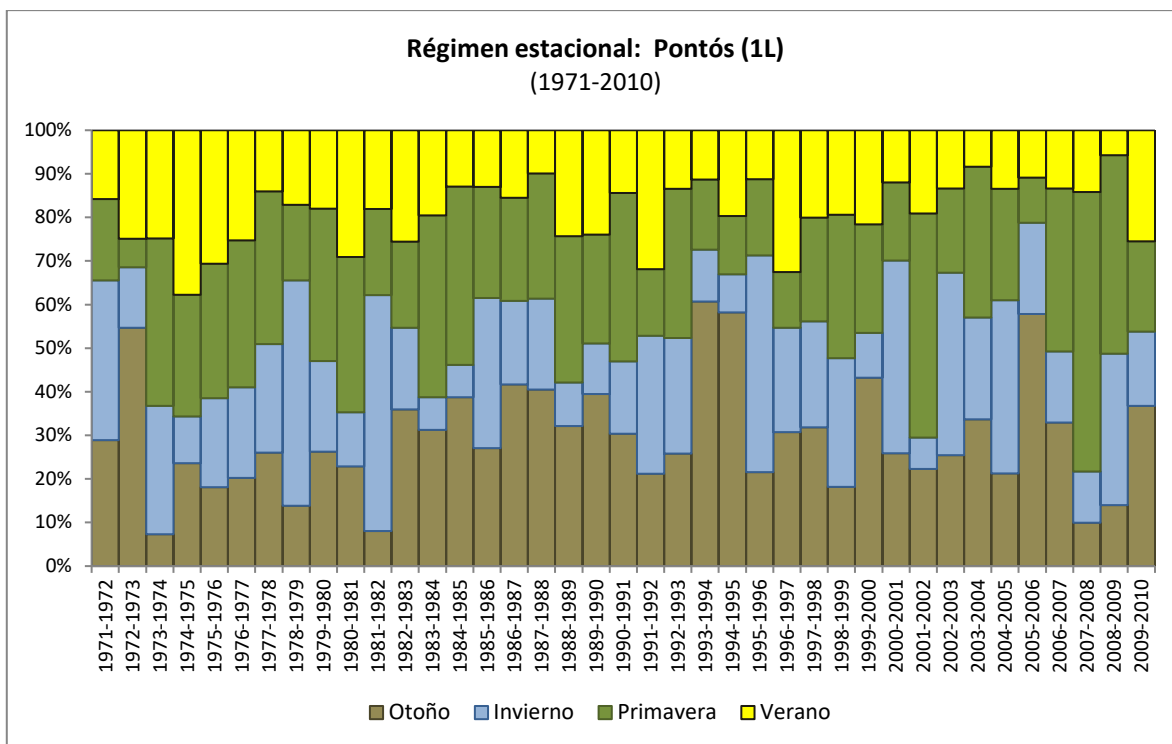


Figura D.19. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie en Pontós (1971-2010).

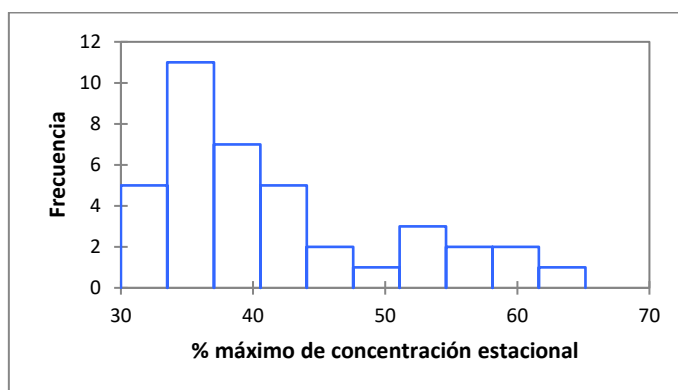


Figura D.20. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Pontós (1971-2010).

Variables	Coeficiente de correlación de Pearson (r)					
	%otoño	%invierno	%primavera	%verano	Precip. Estac.	% Max. Estac.
%otoño		-0,511	-0,478	-0,110	-0,084	0,272
%invierno	0,001		-0,336	-0,299	0,048	-0,005
%primavera	0,002	0,037		-0,176	0,119	-0,074
%verano	0,507	0,064	0,285		-0,127	-0,354
Precip. Estac.	0,612	0,771	0,471	0,442		0,046
% Max. Estac.	0,093	0,975	0,653	0,027	0,781	

Resultado p-value

Tabla D.10. Matriz de relación entre variables de Pontós, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05).

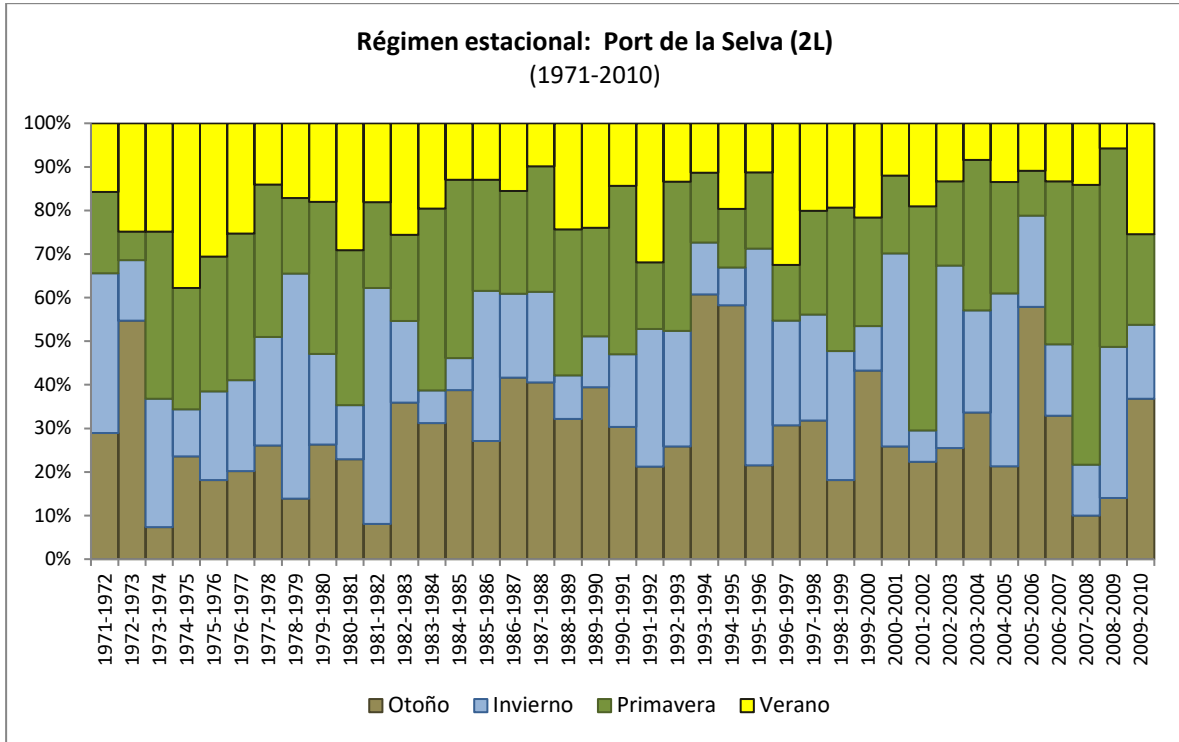


Figura D.21. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie de Port de la Selva, en el período de estudio, 1971-2010.

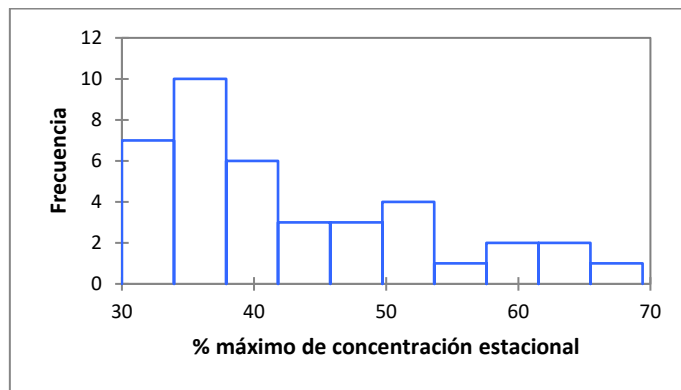


Figura D.22. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Port de la Selva (1971-2010).

Variables	Coeficiente de correlación de Pearson (r)					
	%otoño	%invierno	%primavera	%verano	Precip. Estac.	% Max. Estac.
%otoño		-0,517	-0,511	-0,176	0,014	0,380
%invierno	0,001		-0,314	-0,244	-0,017	-0,066
%primavera	0,001	0,051		-0,124	0,111	-0,161
%verano	0,284	0,135	0,453		-0,188	-0,360
Precip. Estac.	0,932	0,920	0,499	0,250		0,159
% Max. Estac.	0,017	0,691	0,328	0,025	0,332	

Resultado p-value

Tabla D.11. Matriz de relación entre variables de Port de la Selva, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05).

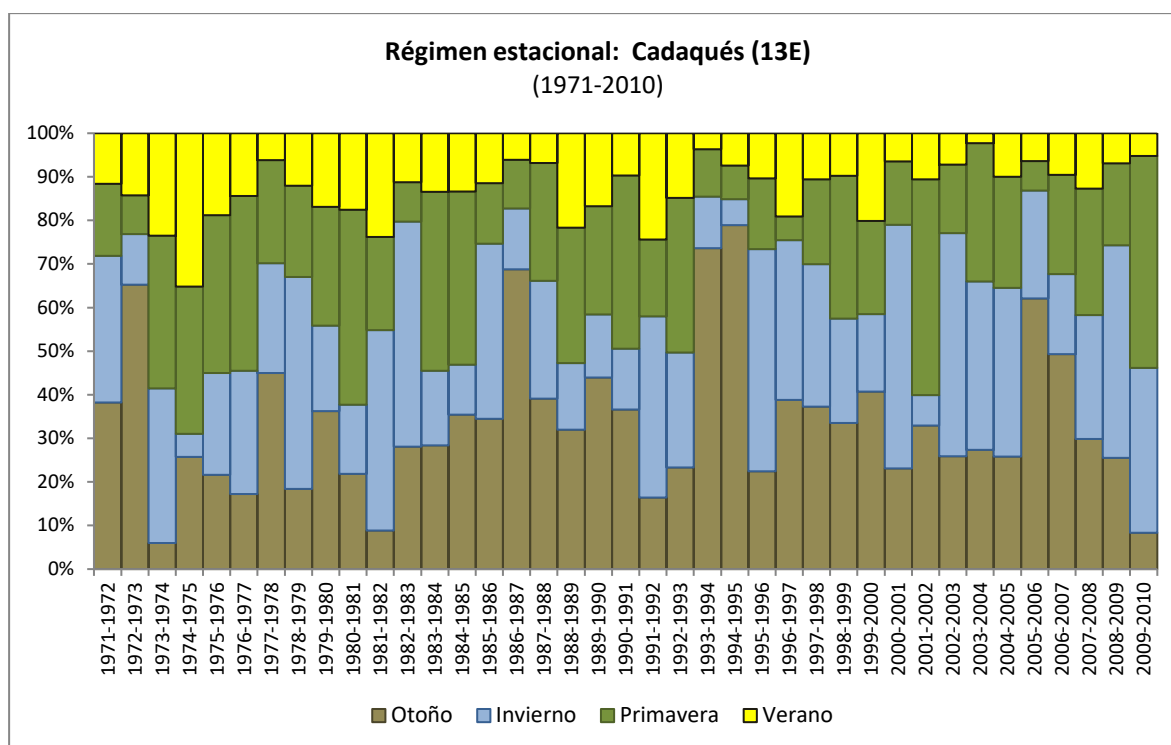


Figura D.23. Distribución del porcentaje de precipitación estacional anual de la serie de Cadaqués, en el período de estudio, 1971-2010.

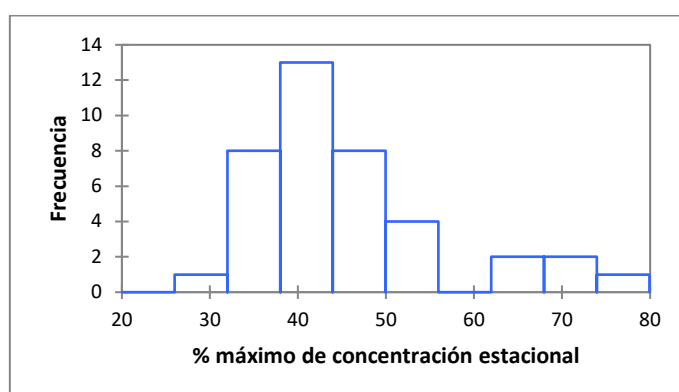


Figura D.24. Frecuencia de los valores de porcentaje máximo estacional anual en Cadaqués (1971-2010).

Coeficiente de correlación de Pearson (r)

Variables	%otoño	%invierno	%primavera	%verano	Precip. Estac.	% Max. Estac.
%otoño		-0,517	-0,511	-0,176	0,014	0,380
%invierno	0,001		-0,314	-0,244	-0,017	-0,066
%primavera	0,001	0,051		-0,124	0,111	-0,161
%verano	0,284	0,135	0,453		-0,188	-0,360
Precip. Estac.	0,932	0,920	0,499	0,250		0,159
% Max. Estac.	0,017	0,691	0,328	0,025	0,332	

Resultado p-value

Tabla D.12. Matriz de relación entre variables de Cadaqués, con el coeficiente de correlación de Pearson y el valor de significancia, p-value. (Los valores en negrita tienen un nivel de significación alfa=0,05).

E. Caracterización de la precipitación anual en el régimen pluviométrico anual, en milímetros, en las estaciones de la zona principal de la Cuenca de la Muga, en la serie temporal (1971-2010)

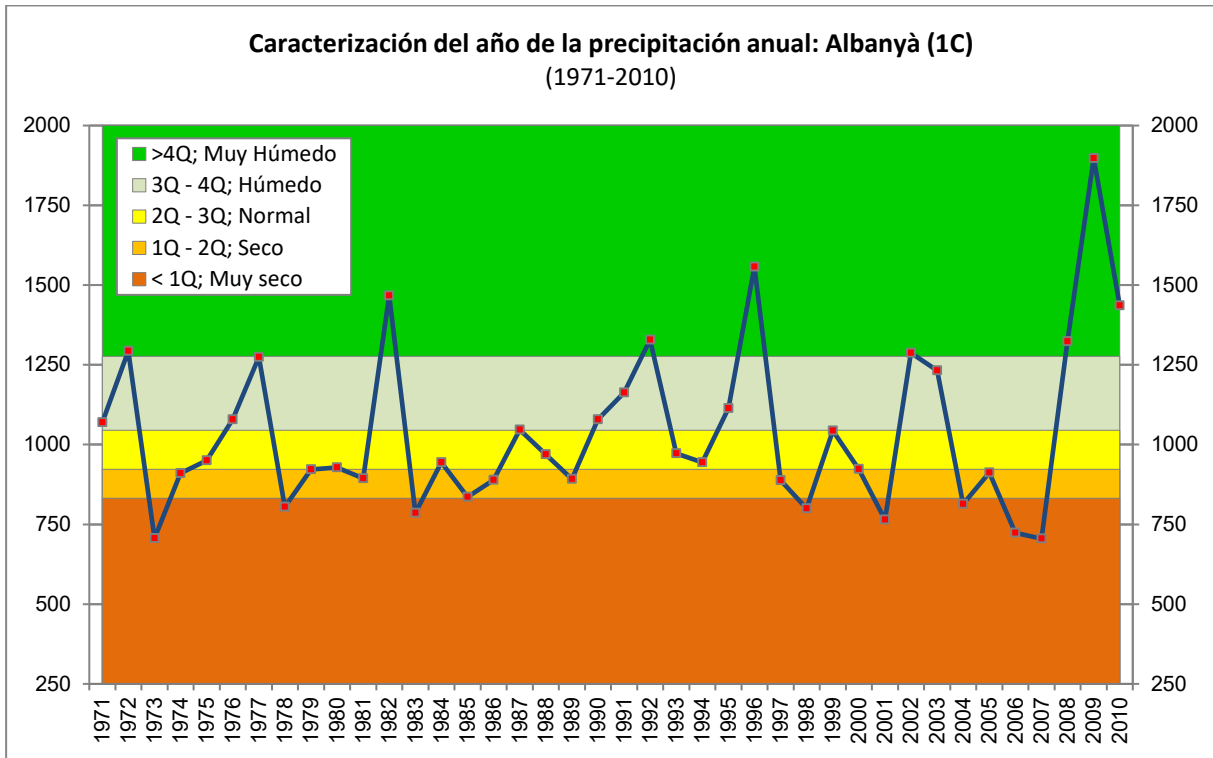


Figura E.1. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Albanyà (1C).

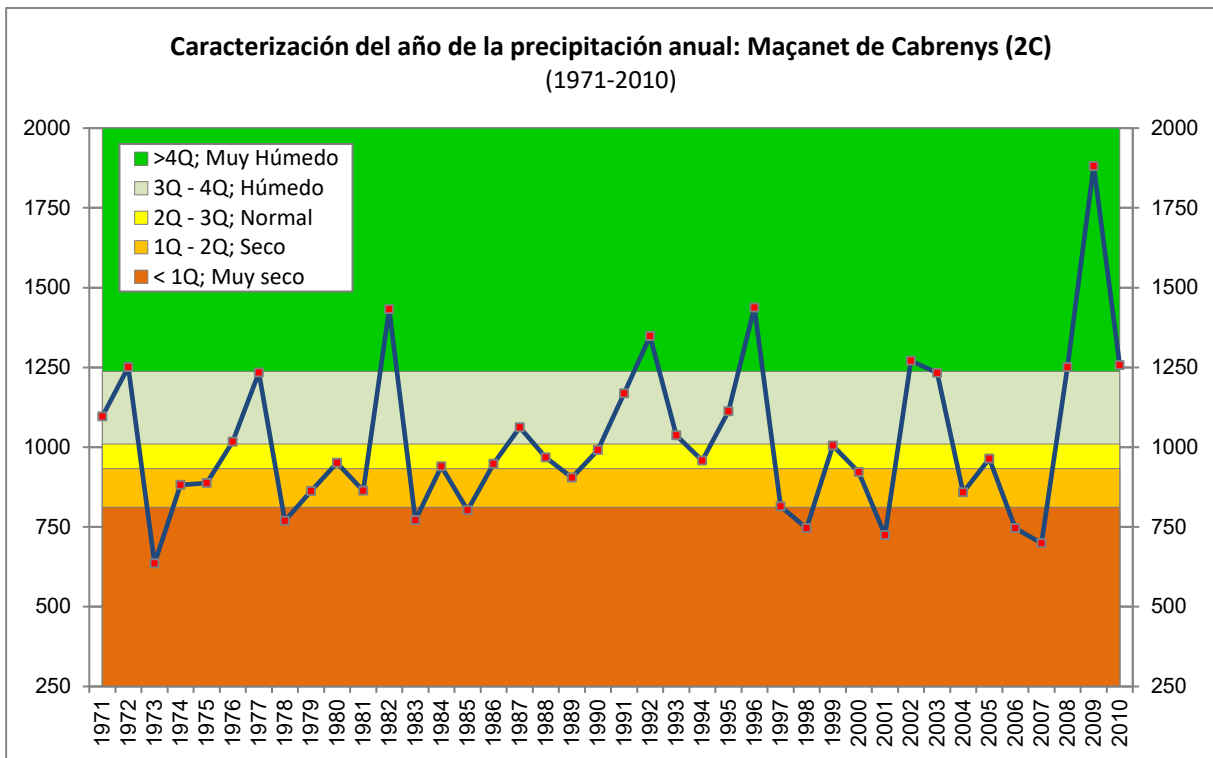


Figura E.2. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Maçanet de Cabrenys (2C).

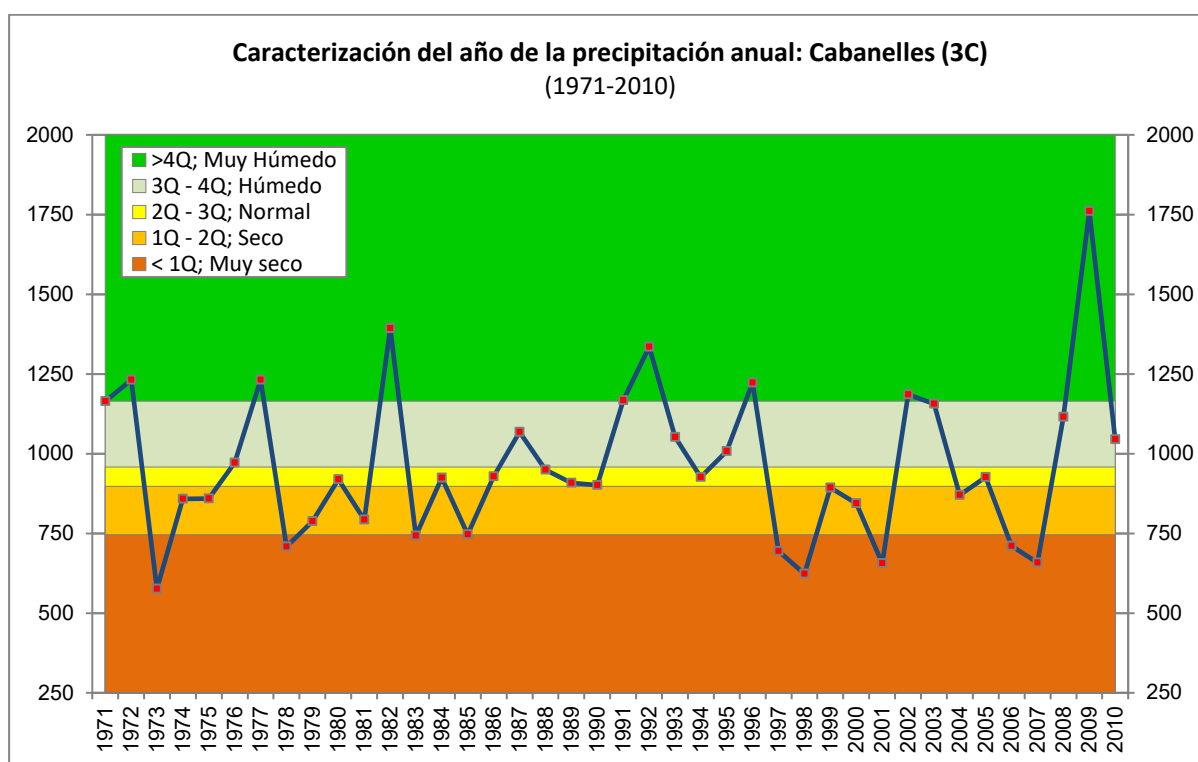


Figura E.3. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Cabanelles (3C).

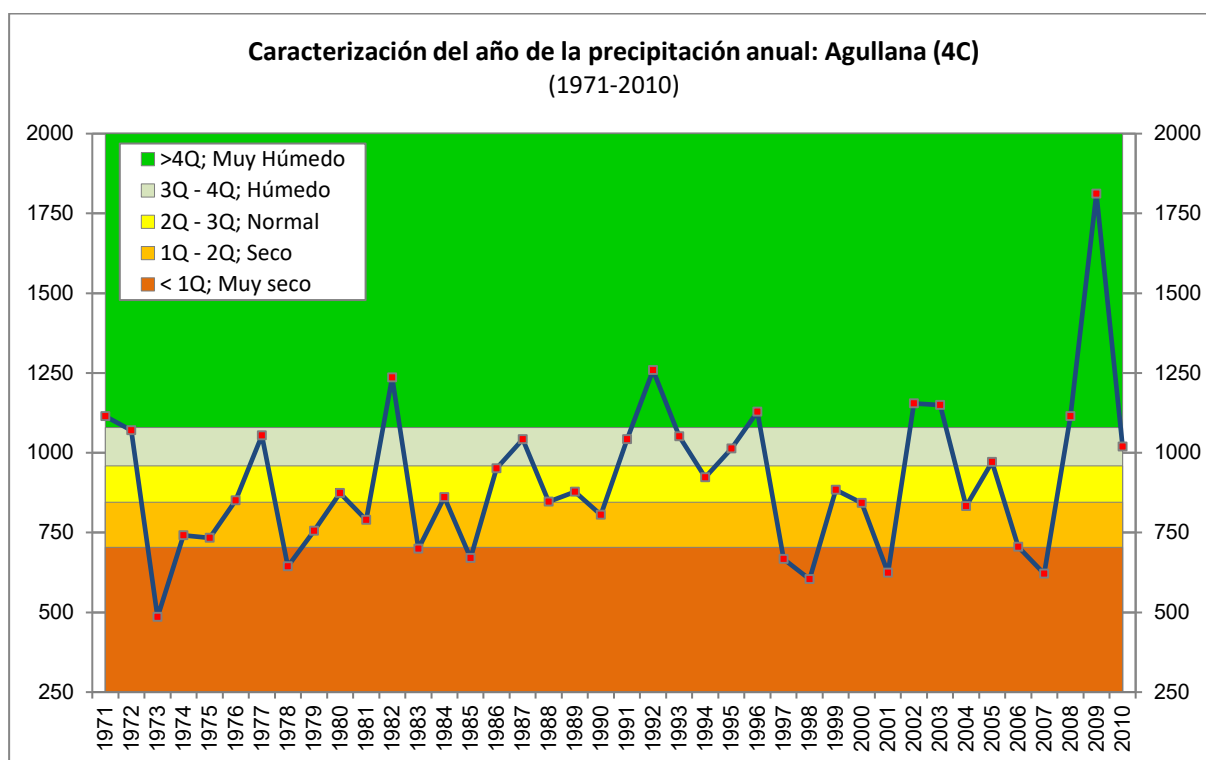


Figura E.4. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Agullana (4C).

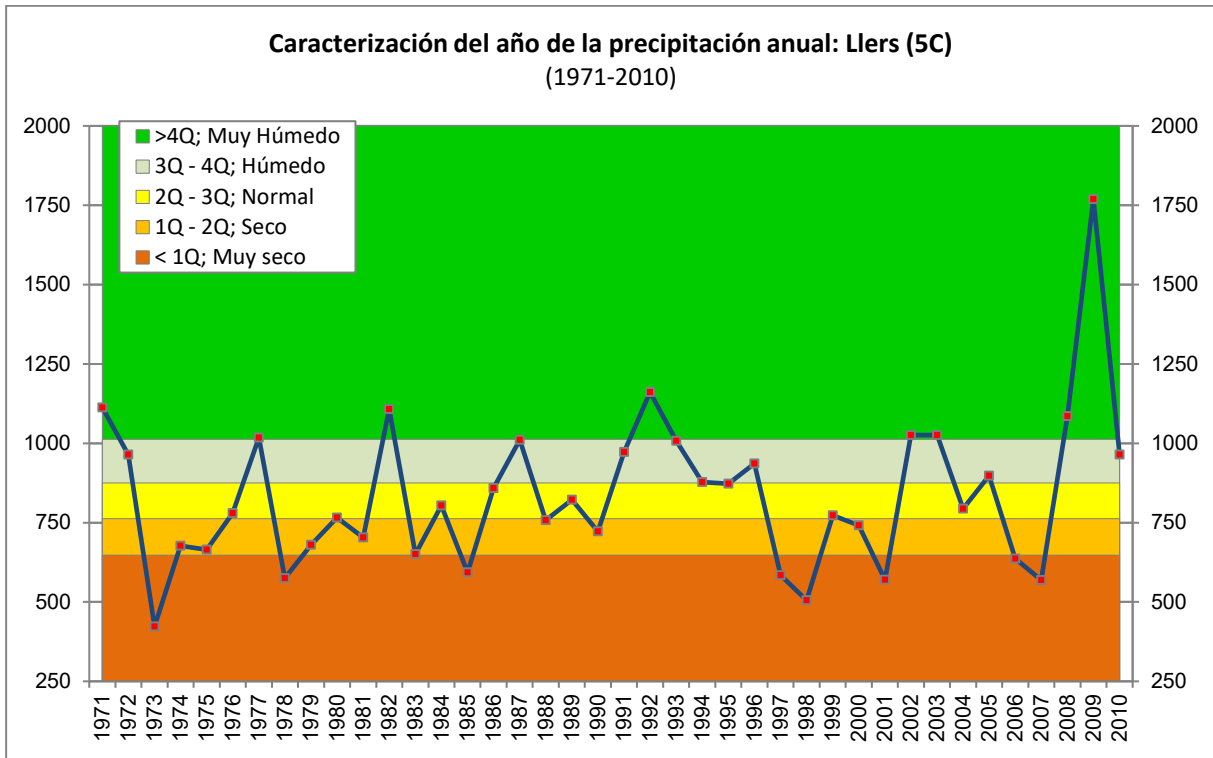


Figura E.5. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Llers (5C).

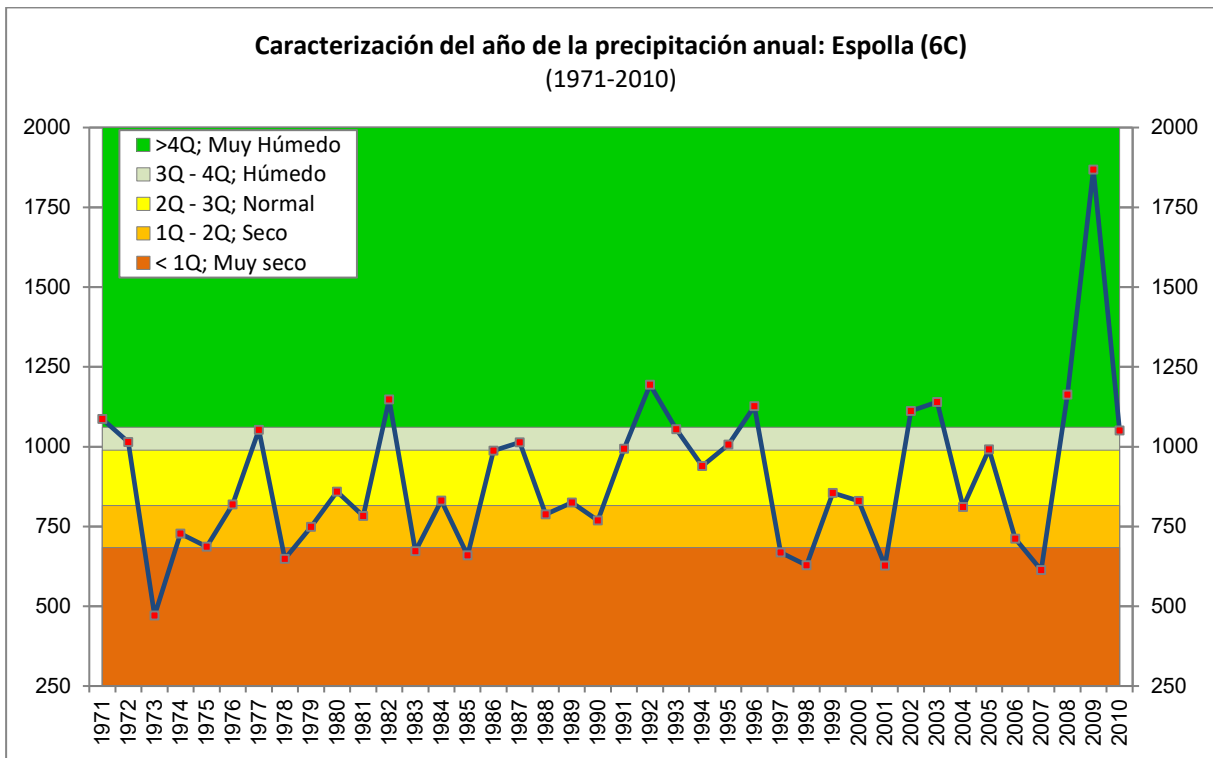


Figura E.6. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Espolla (6C).

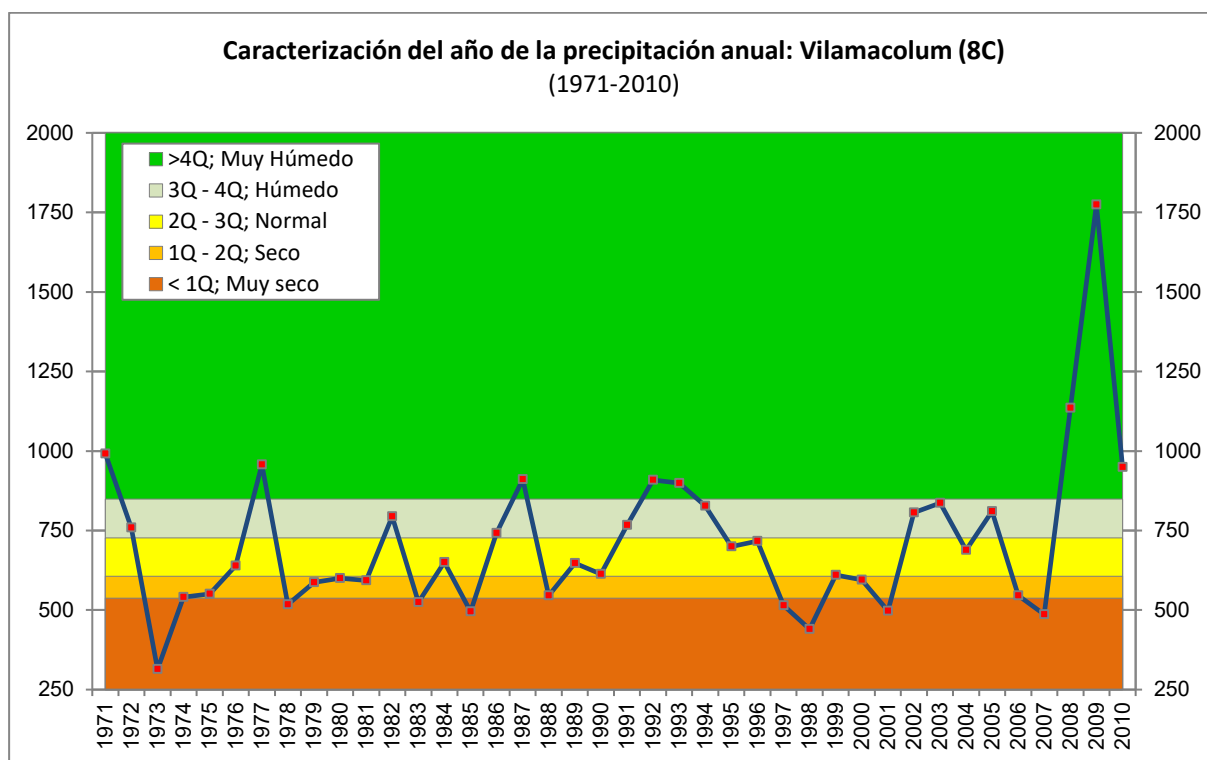


Figura E.7. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Vilamacolum (8 C).

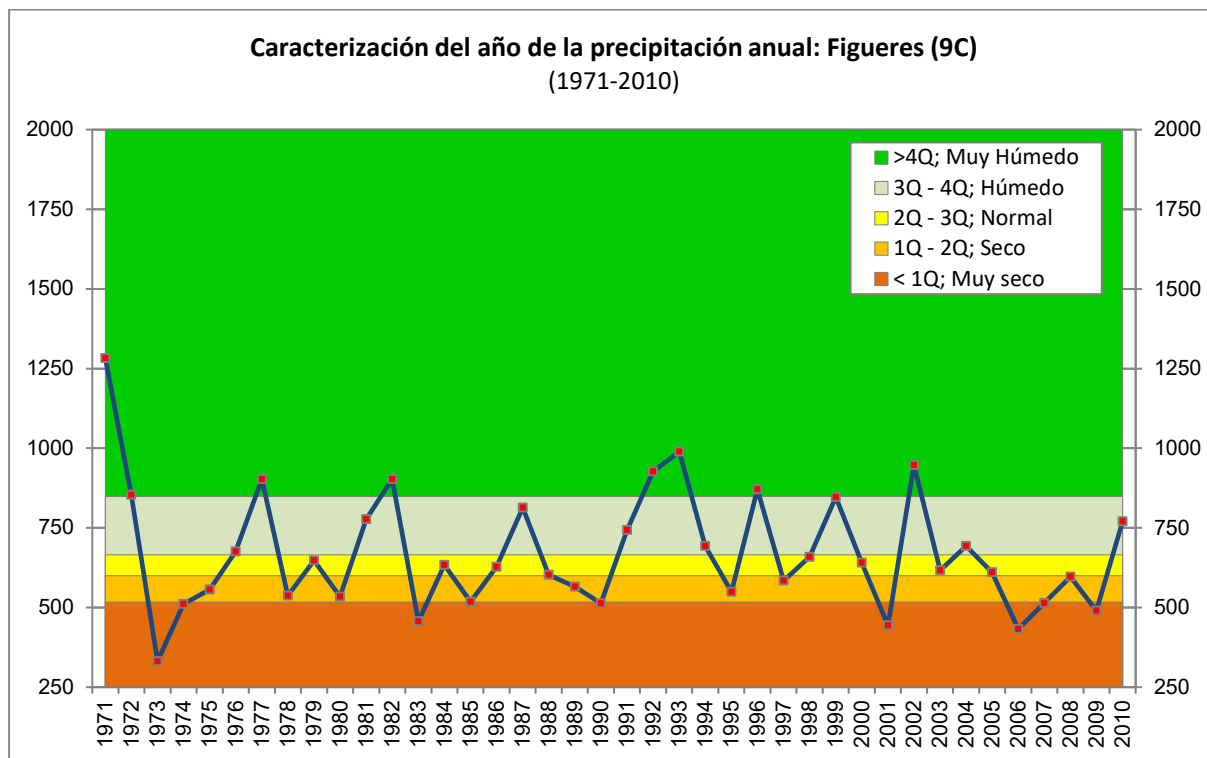


Figura E.8. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Figueres (9C).

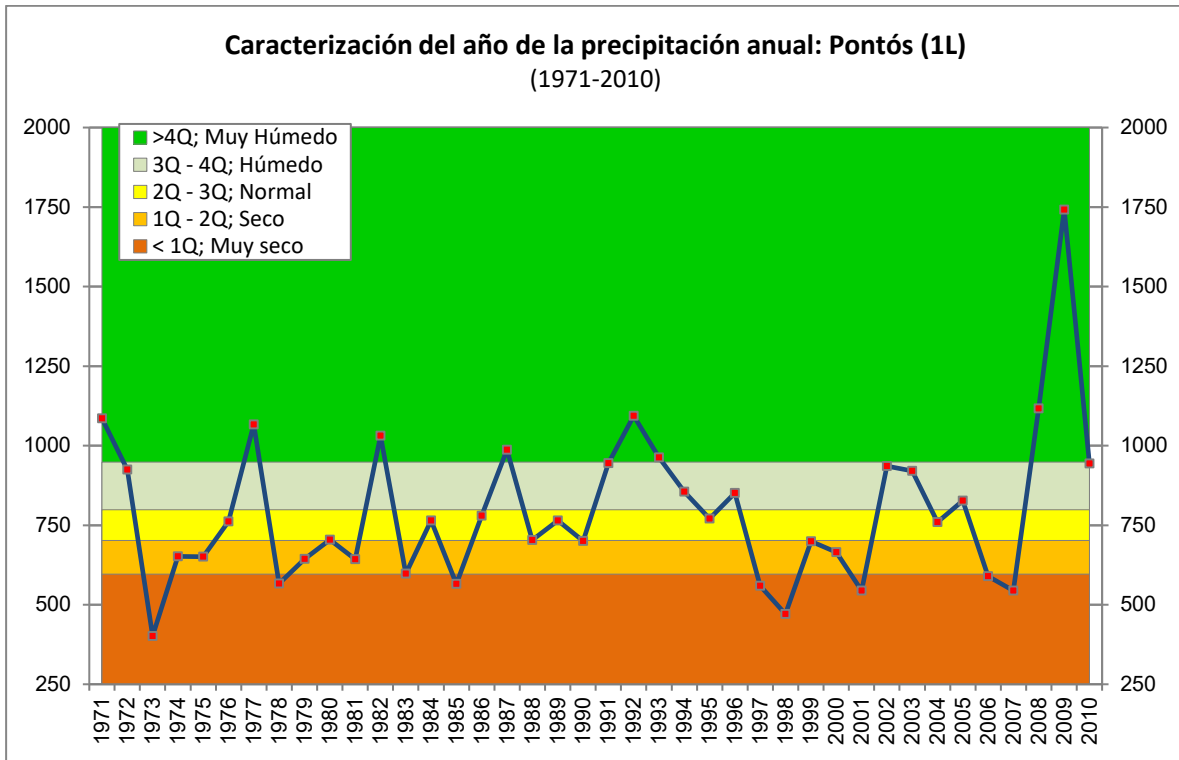


Figura E.9. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Pontós (1L).

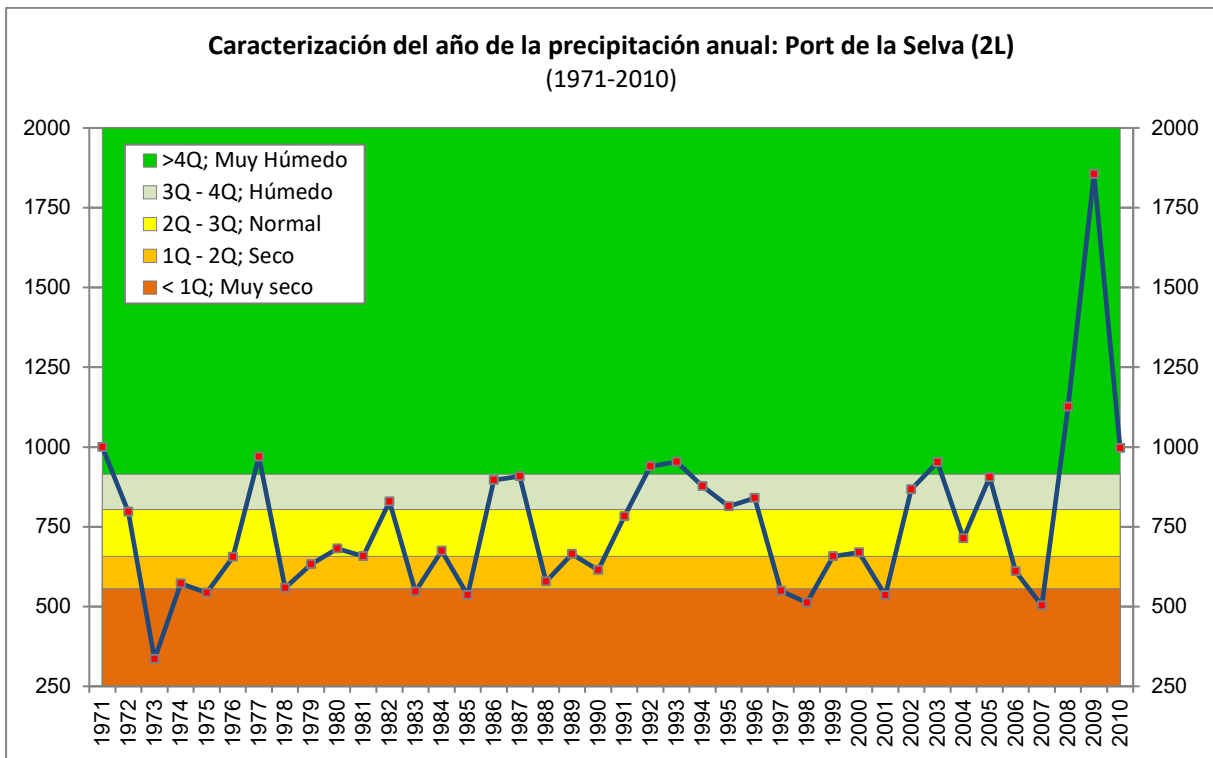


Figura E.10. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Port de la Selva (2L).

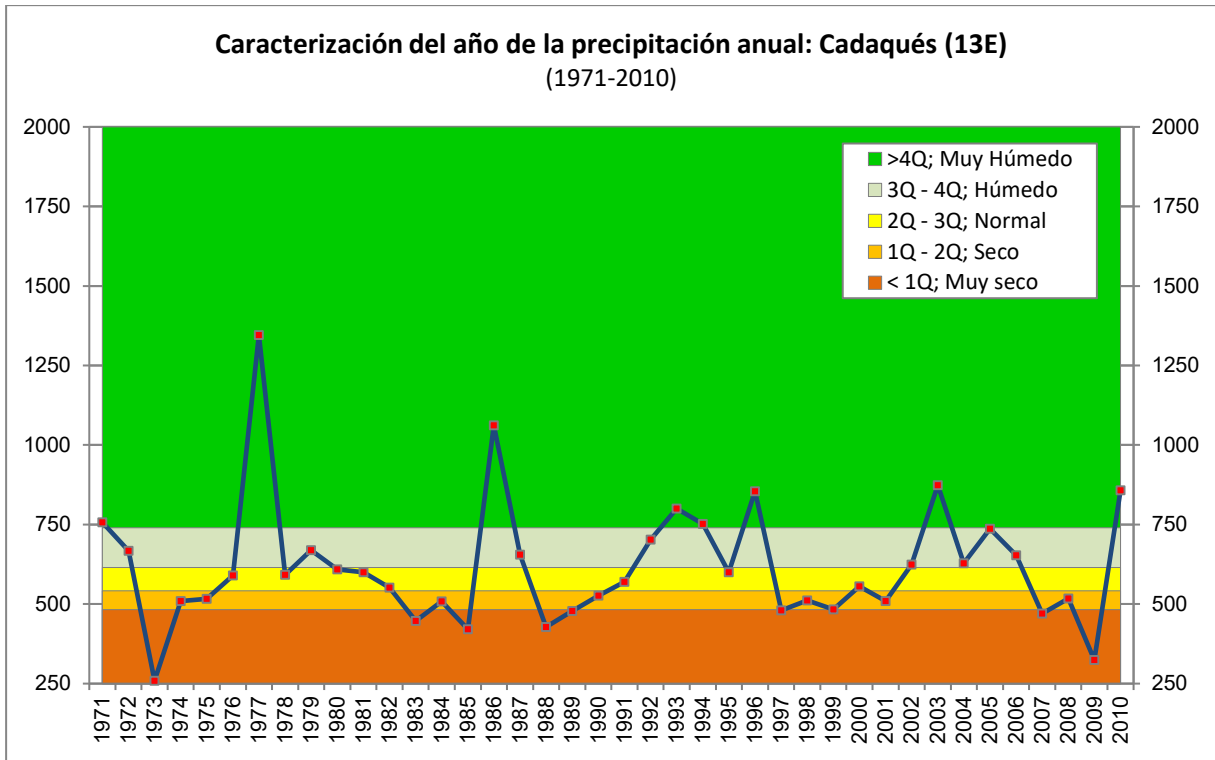


Figura E.11. Caracterización de la precipitación anual, 1971-2010, en la estación de Cadaqués (13E).

F. Caracterización de la precipitación anual media en el régimen pluviométrico anual, en la estación de Figueres (9C), en la Cuenca de la Muga, para la serie temporal 1971-2010 y 1950-2015.

Año	9C	
1950		N
1951		MH
1952		MS
1953		S
1954		MS
1955		H
1956		S
1957		H
1958		S
1959		H
1960		S
1961		MS
1962		MH
1963		MH
1964		H
1965		MH
1966		MS
1967		S
1968		MH
1969		MH
1970		MS
1971	MH	MH
1972	MH	MH
1973	MS	MS
1974	MS	MS
1975	S	S
1976	H	H
1977	MH	MH
1978	S	S
1979	N	N
1980	S	S
1981	H	H
1982	MH	MH
1983	MS	MS
1984	N	N
1985	S	S
1986	N	N
1987	H	H
1988	N	N

Año	9C	
1989	S	S
1990	MS	MS
1991	H	H
1992	MH	MH
1993	MH	MH
1994	H	H
1995	S	S
1996	MH	MH
1997	S	S
1998	N	N
1999	H	H
2000	N	N
2001	MS	MS
2002	MH	MH
2003	N	N
2004	H	H
2005	N	N
2006	MS	MS
2007	MS	MS
2008	S	N
2009	MS	MS
2010	H	H
2011		N
2012		N
2013		H
2014		H
2015		S

1er quintil	517,0	517,7
2do quintil	599,8	589,9
3er quintil	665,4	693,2
4to quintil	848,4	854,0
5to quintil	1282,7	1282,7
	1971-2010	1950-2015

MH = Muy húmedo
H = Húmedo
N = Normal
S = Seco
MS = Muy seco

Tabla F.1. Caracterización de las precipitaciones anuales medias en la estación de Figueres (9C).

G. Gráficos de frecuencia de la distribución de la precipitación recogida en 24 horas clasificada en clases, en milímetros, analizados en las estaciones de la zona principal de la Cuenca de la Muga (1971-2010).

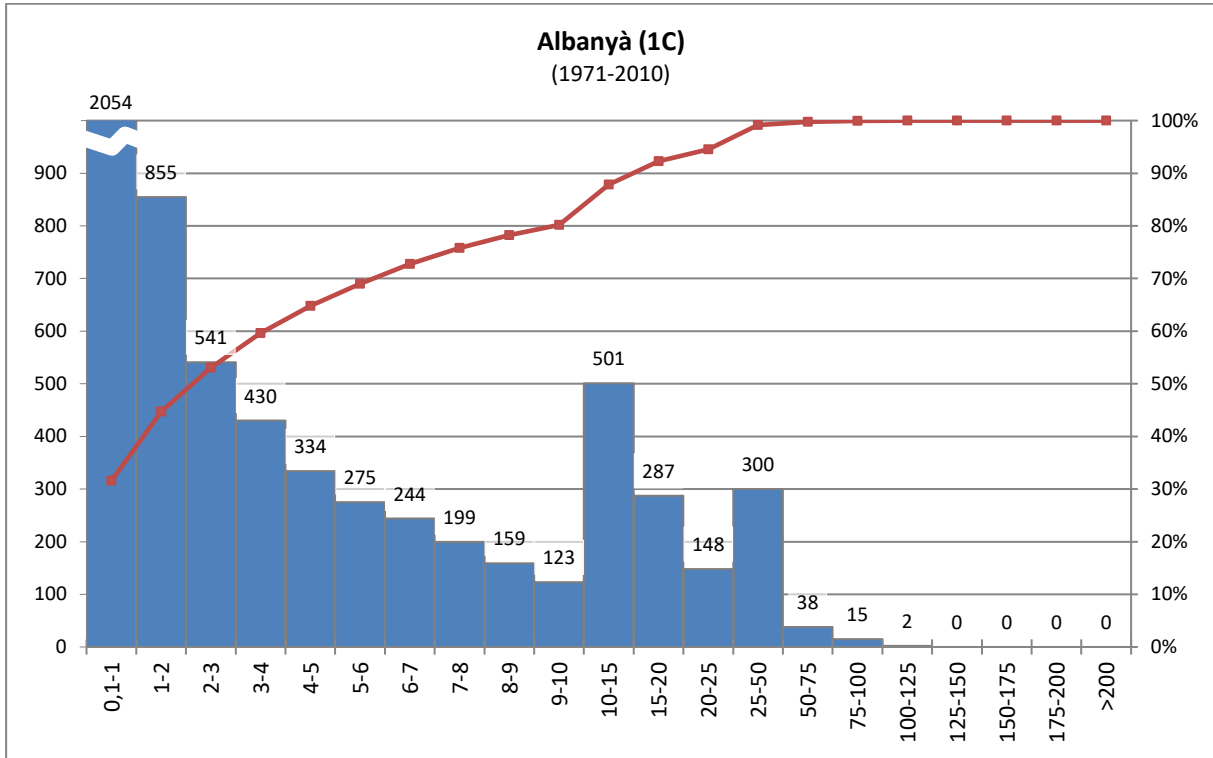


Figura G.1. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Albanyà (1971-2010).

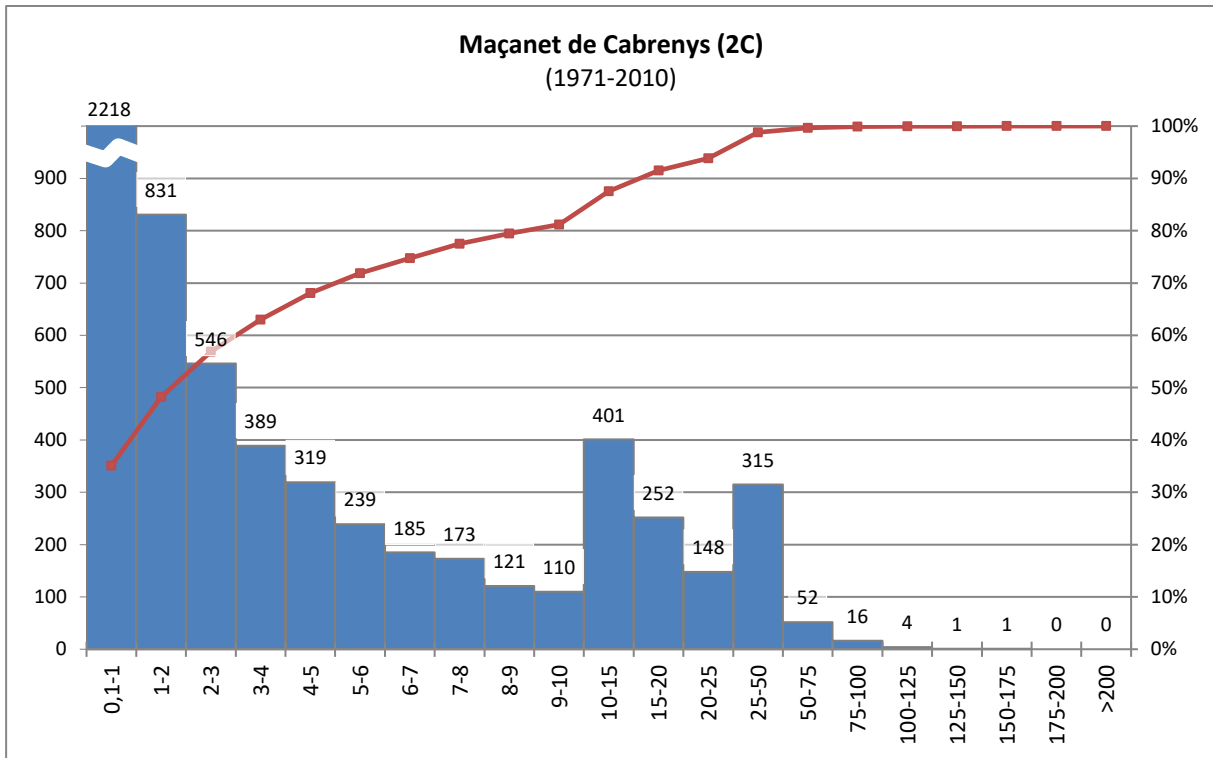


Figura G.2. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Maçanet de Cabrenys (1971-2010).

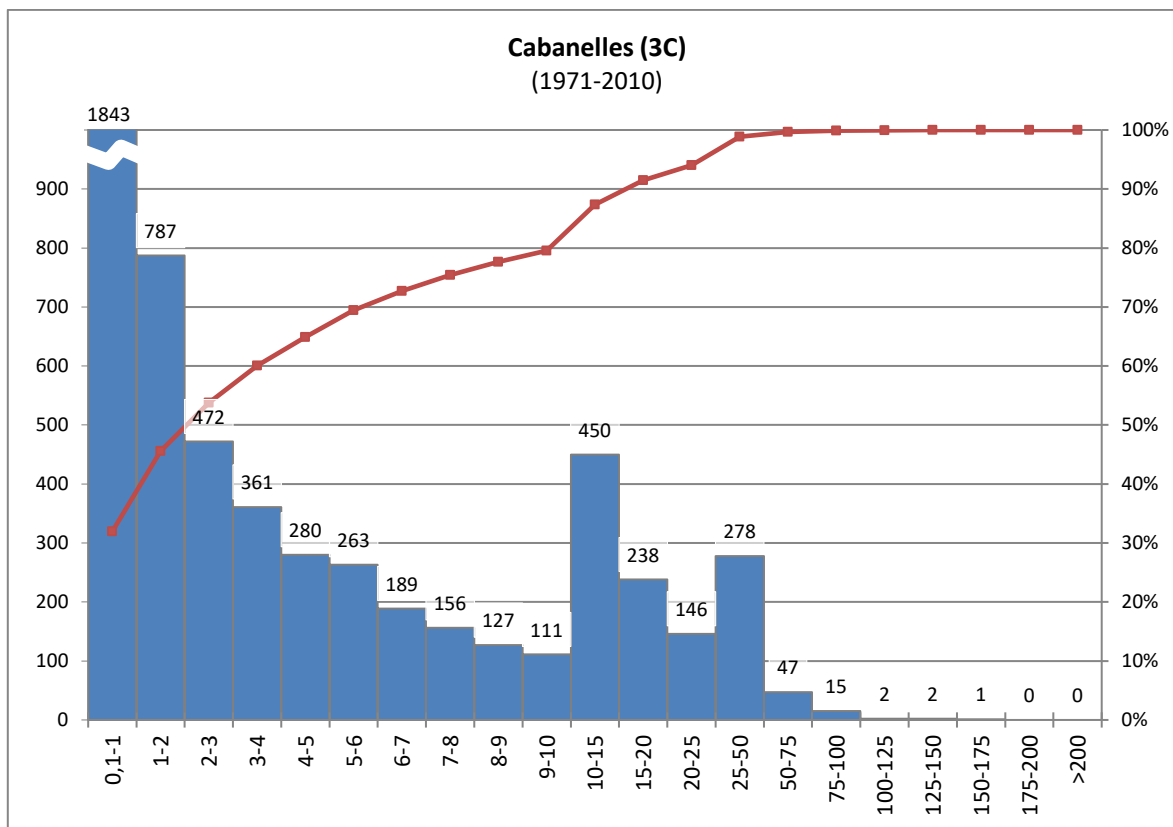


Figura G.3. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Cabanelles (1971-2010).

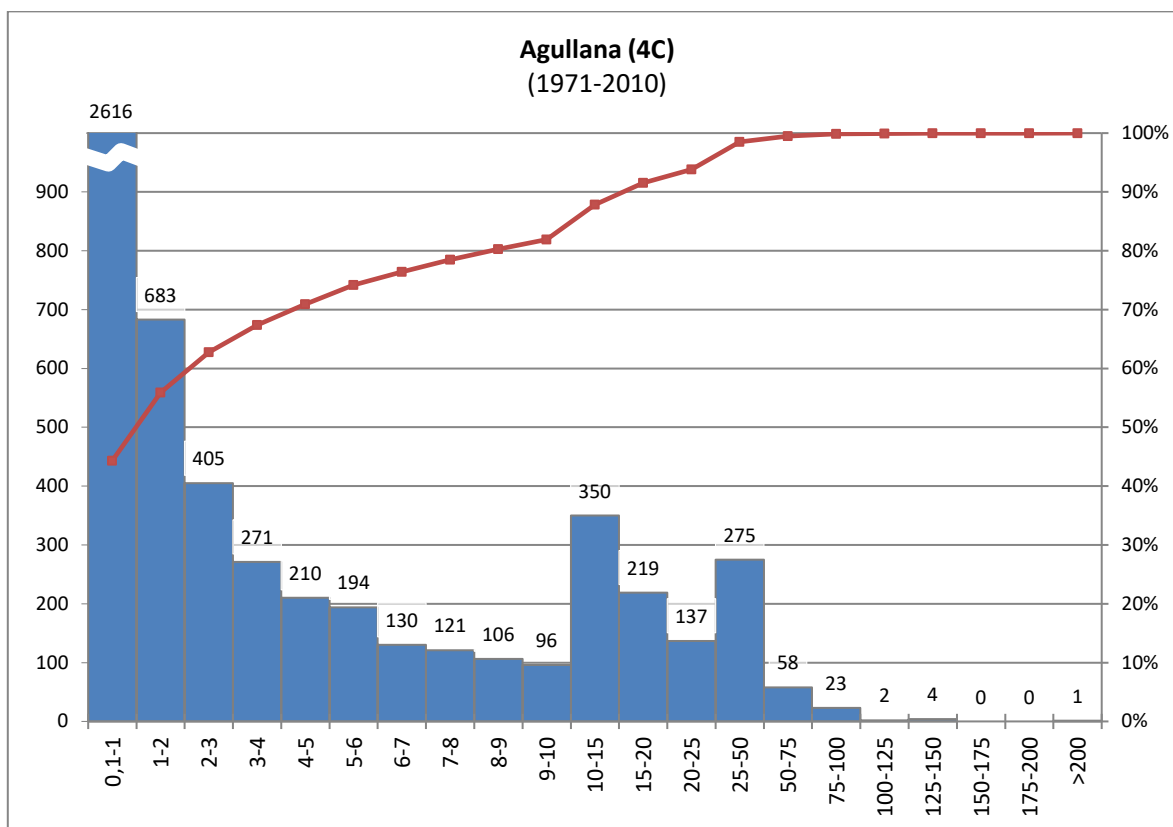


Figura G.4. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Agullana (1971-2010).

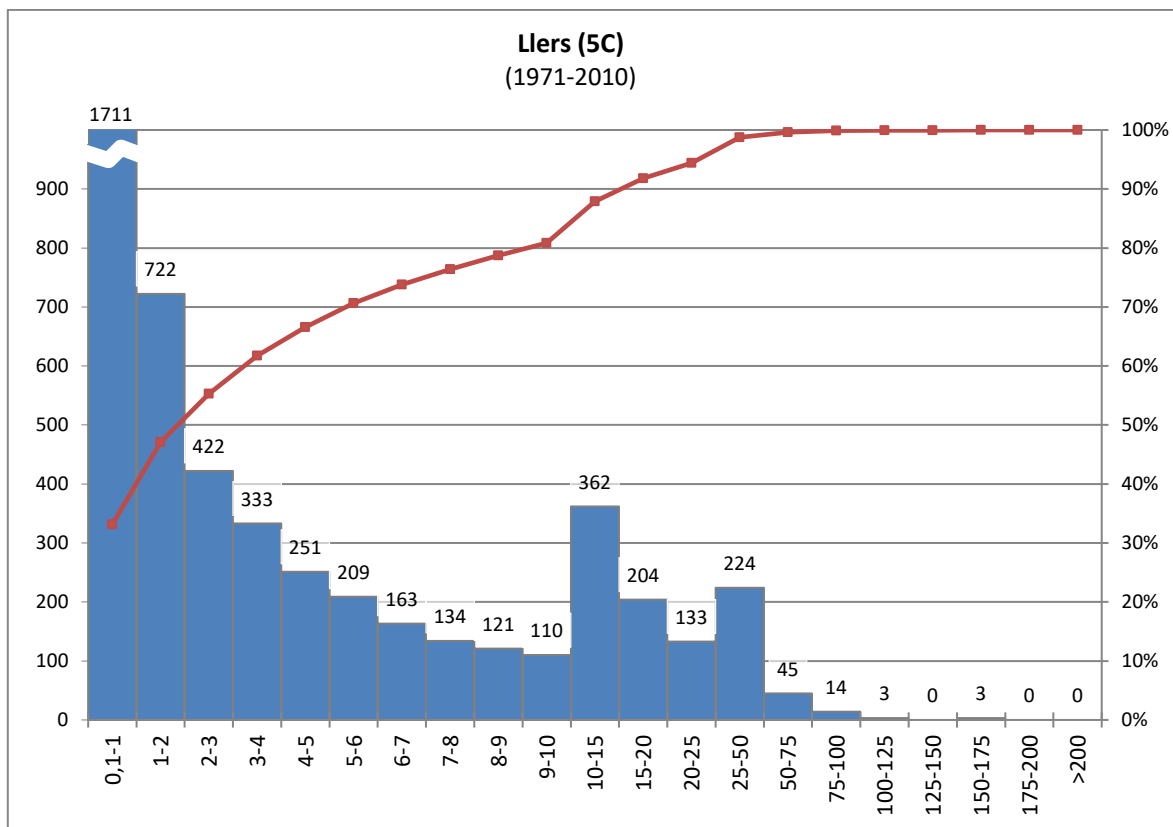


Figura G.5. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Llers (1971-2010).

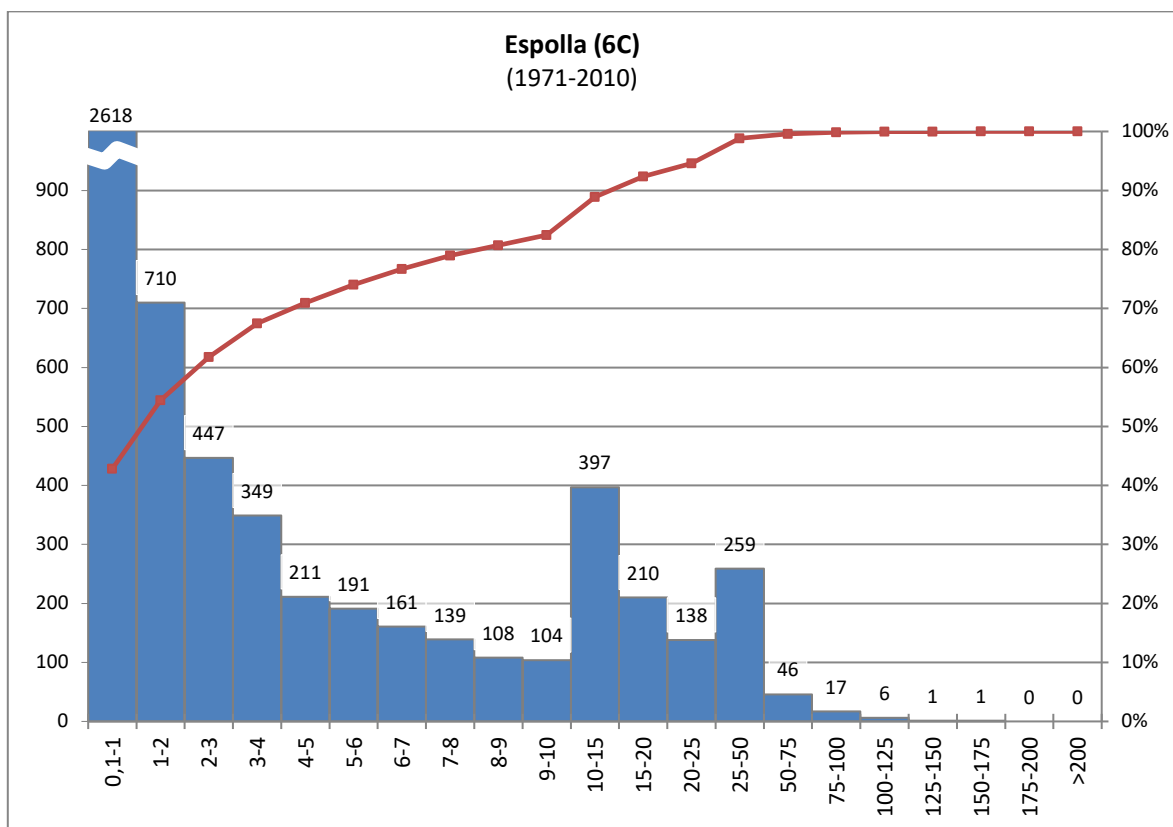


Figura G.6. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Espolla (1971-2010).

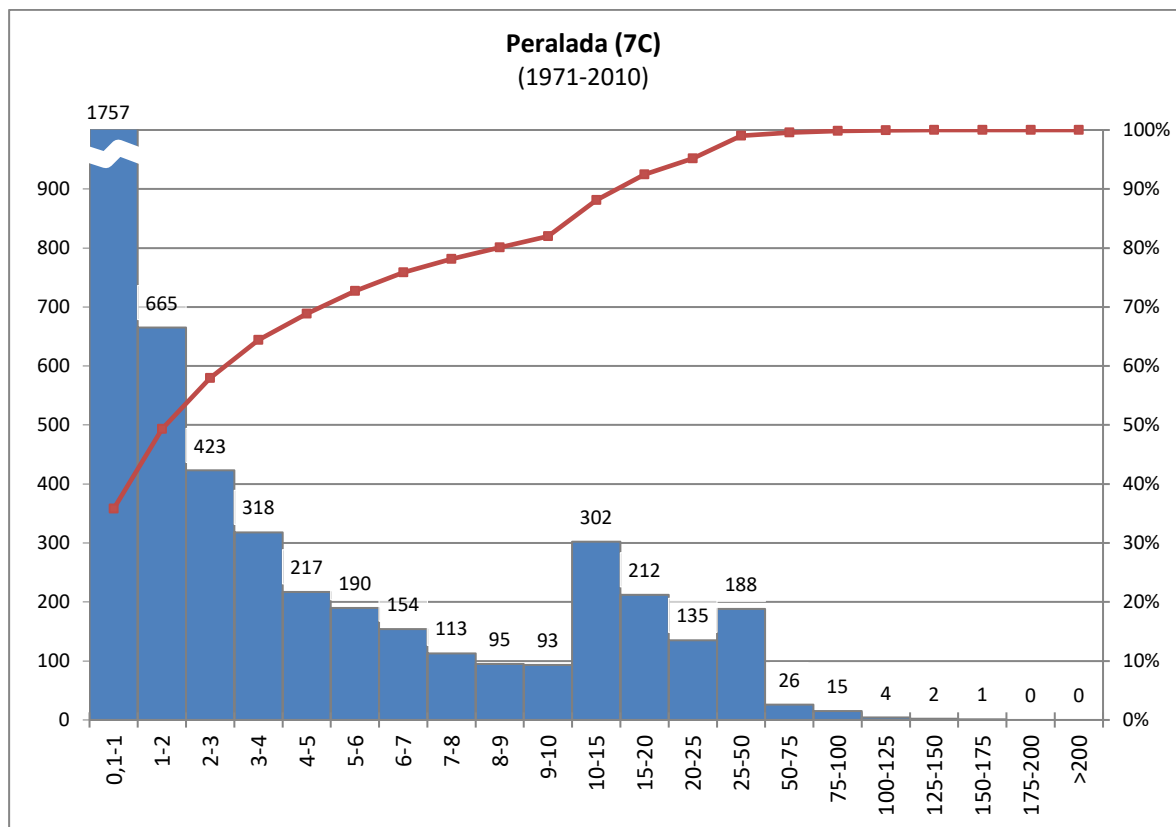


Figura G.7. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Peralada (1971-2010).

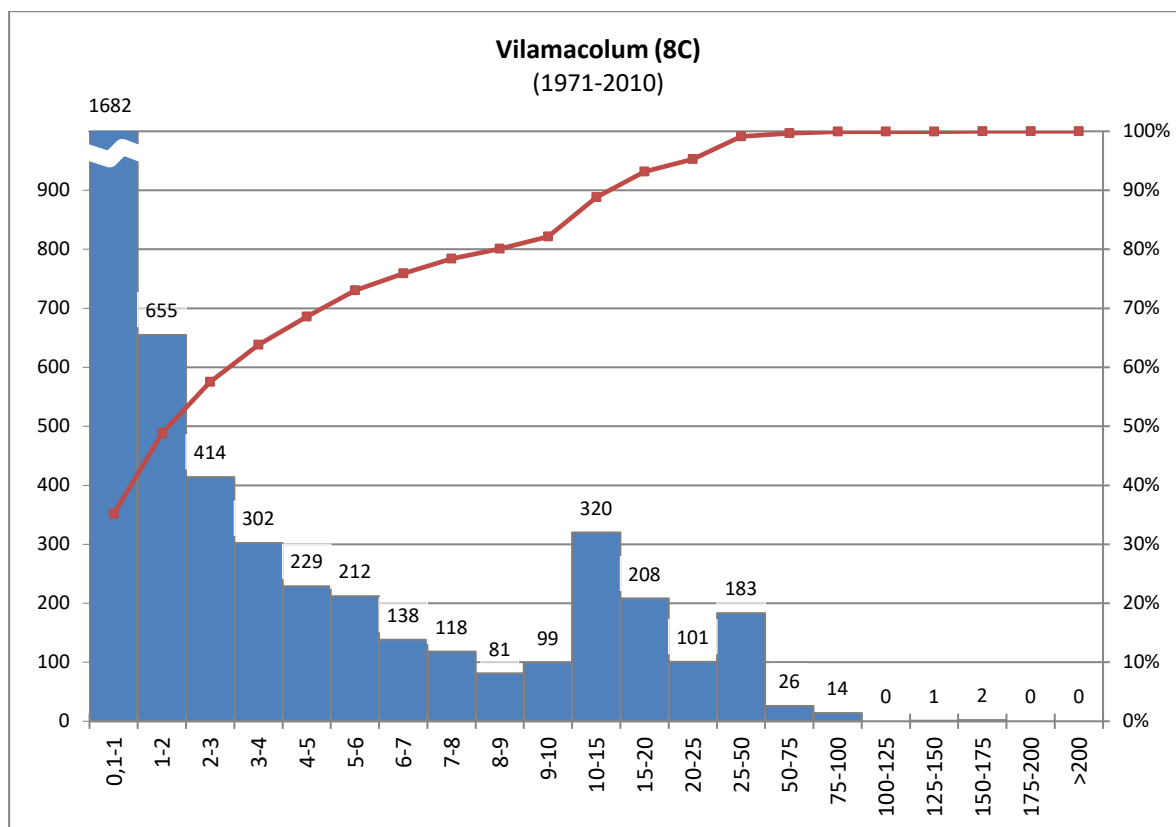


Figura G.8. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Vilamacolum (1971-2010).

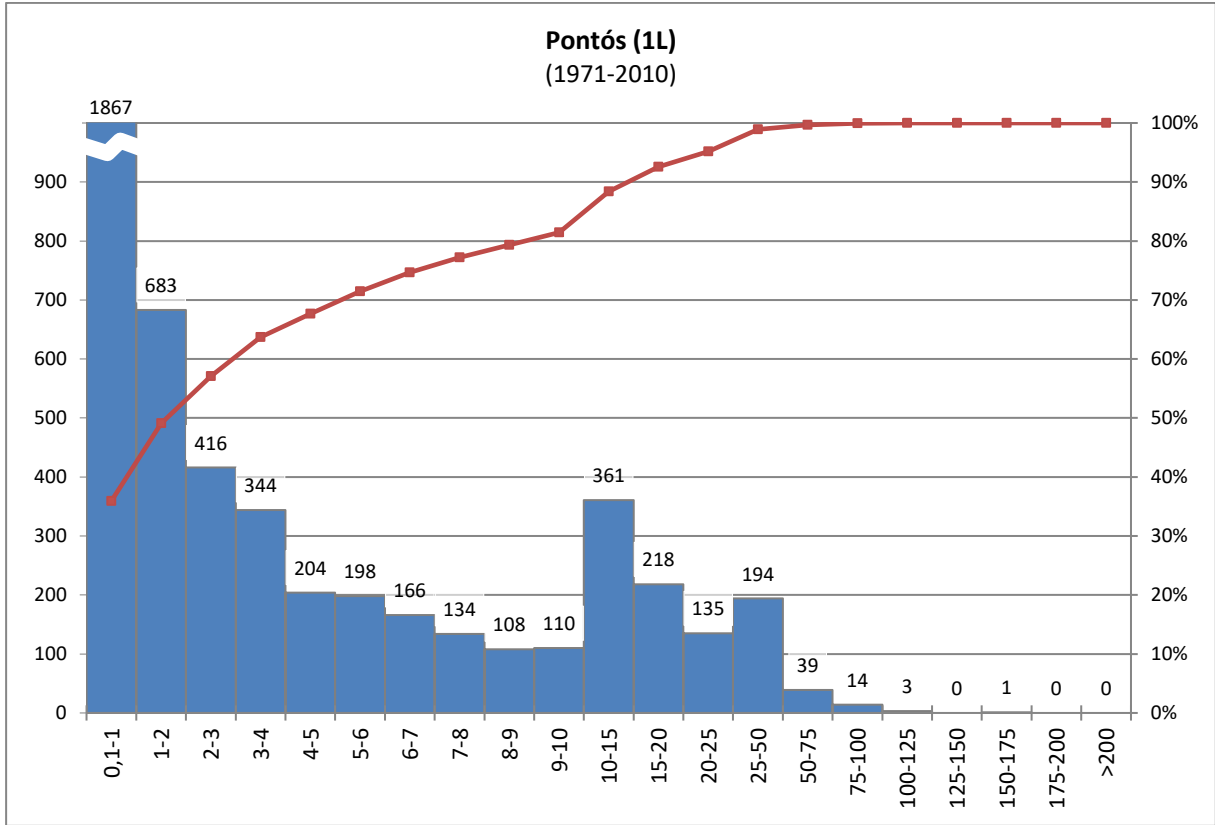


Figura G.9. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Pontós (1971-2010).

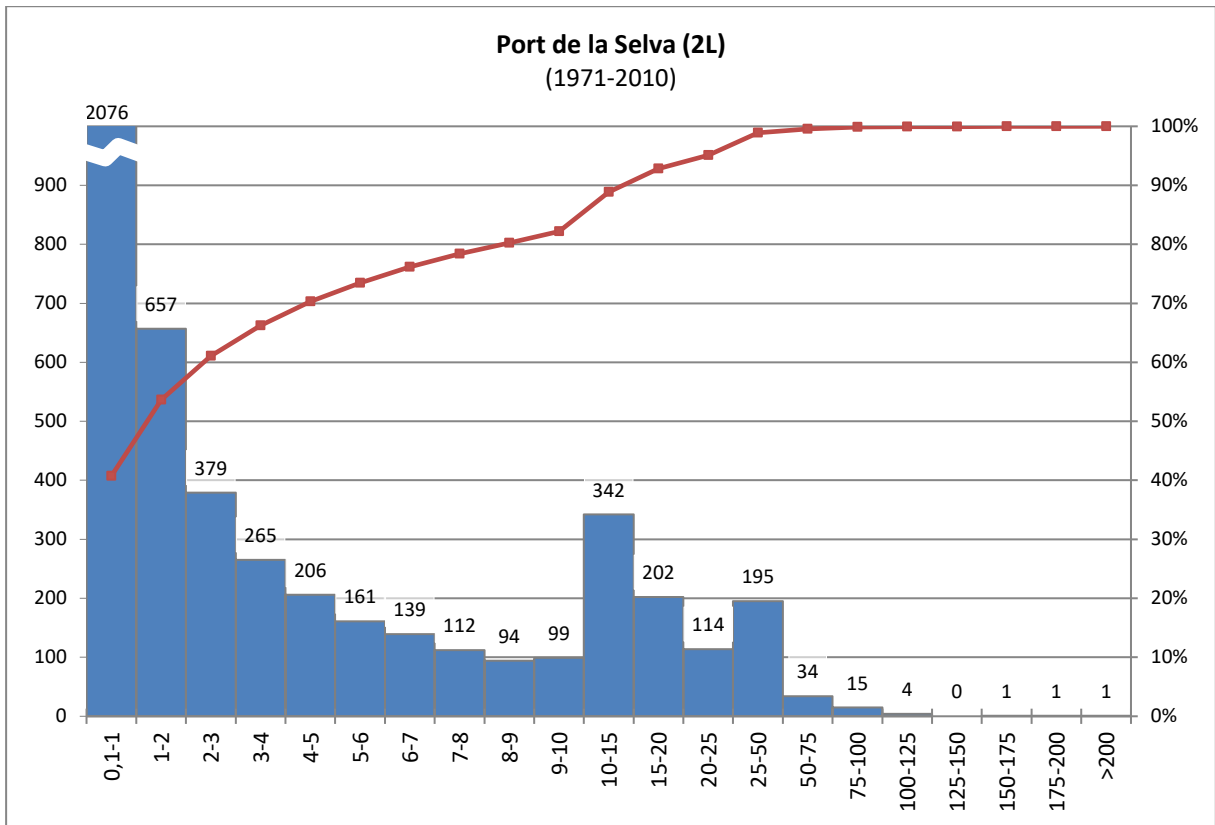


Figura G.10. Frecuencia del número de días de precipitación recogida en 24 horas, y clasificada en clases, en milímetros, en la estación de Port de la Selva (1971-2010).

H. Gráficos de las curvas de concentración, o de Lorenz, en las estaciones del área de estudio, para el período 1971-2010.

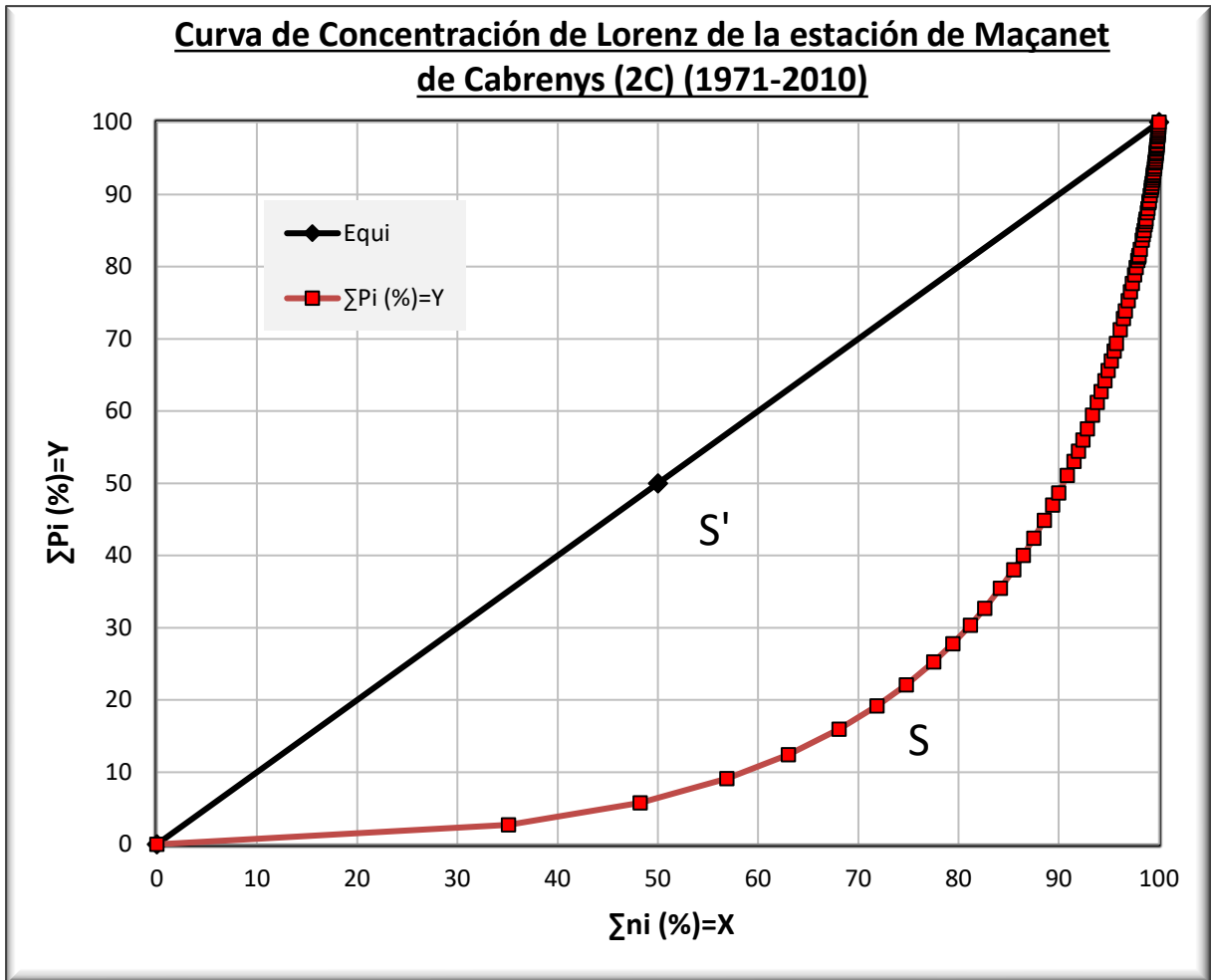


Figura H.1. Curva de concentración, o de Lorenz, de Maçanet de Cabrenys (2C), para el período 1971-2010.

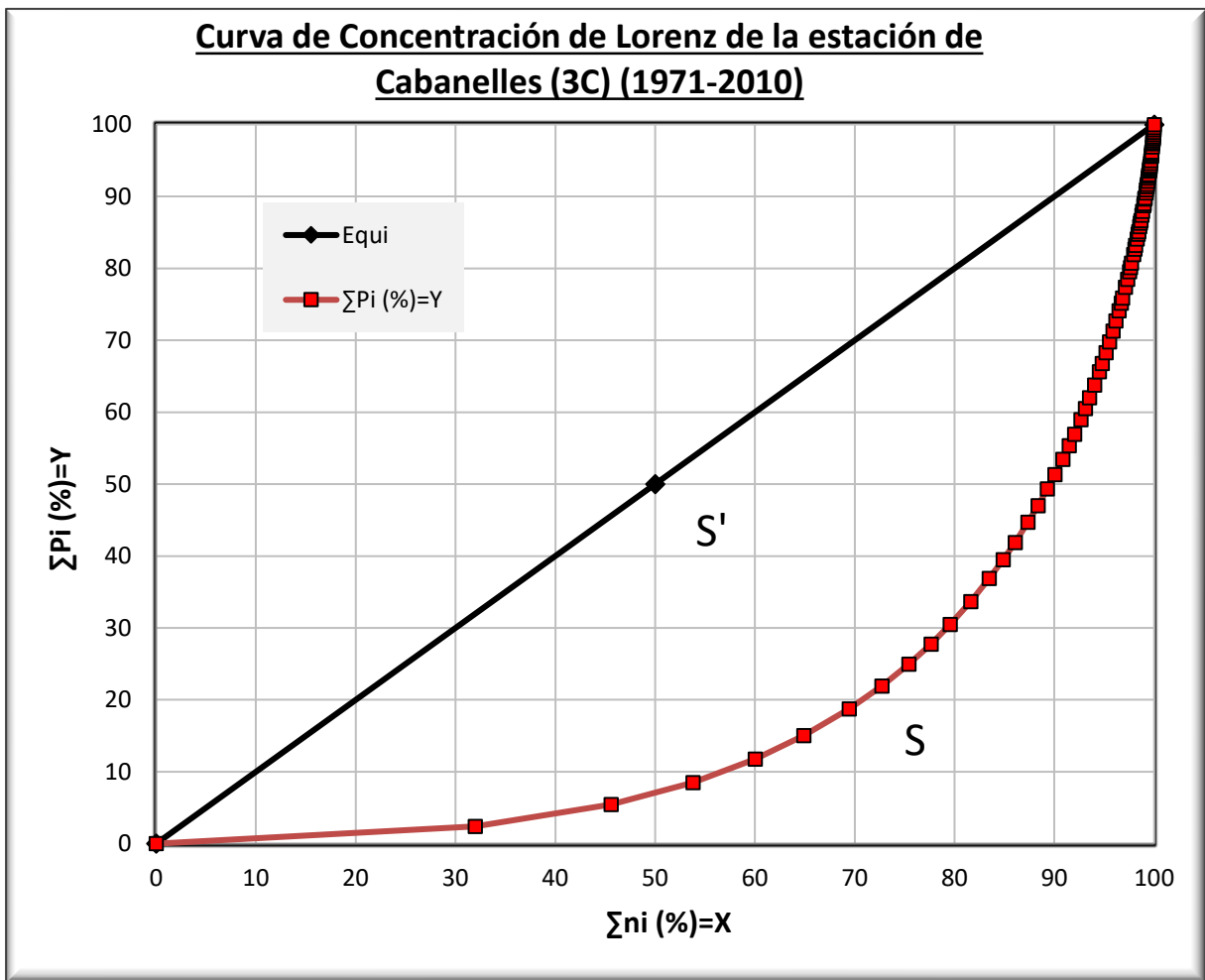


Figura H.2. Curva de concentración, o de Lorenz, de Cabanelles (3C), para el período 1971-2010.

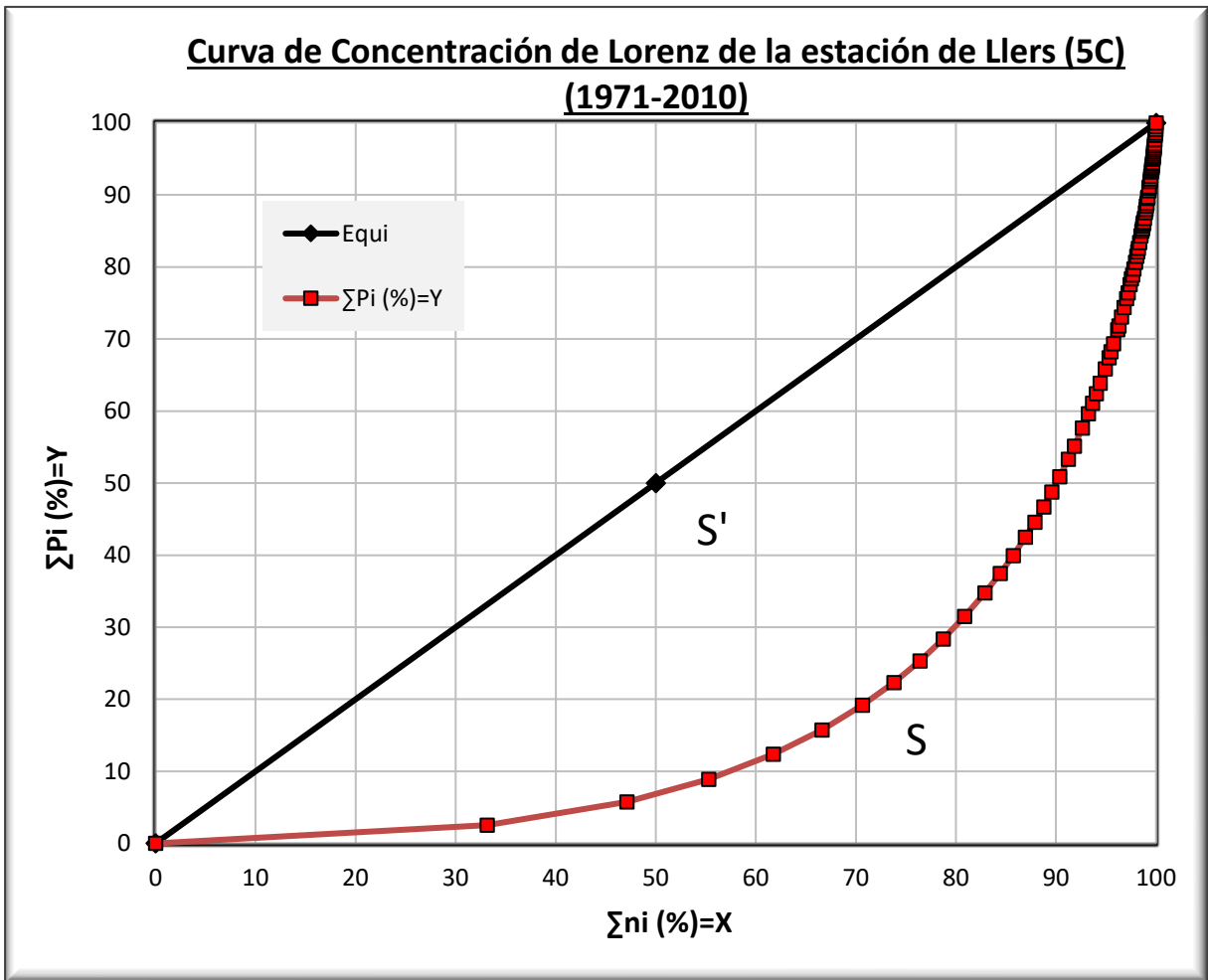


Figura H.3. Curva de concentración, o de Lorenz, de Llers (5C), para el período 1971-2010.

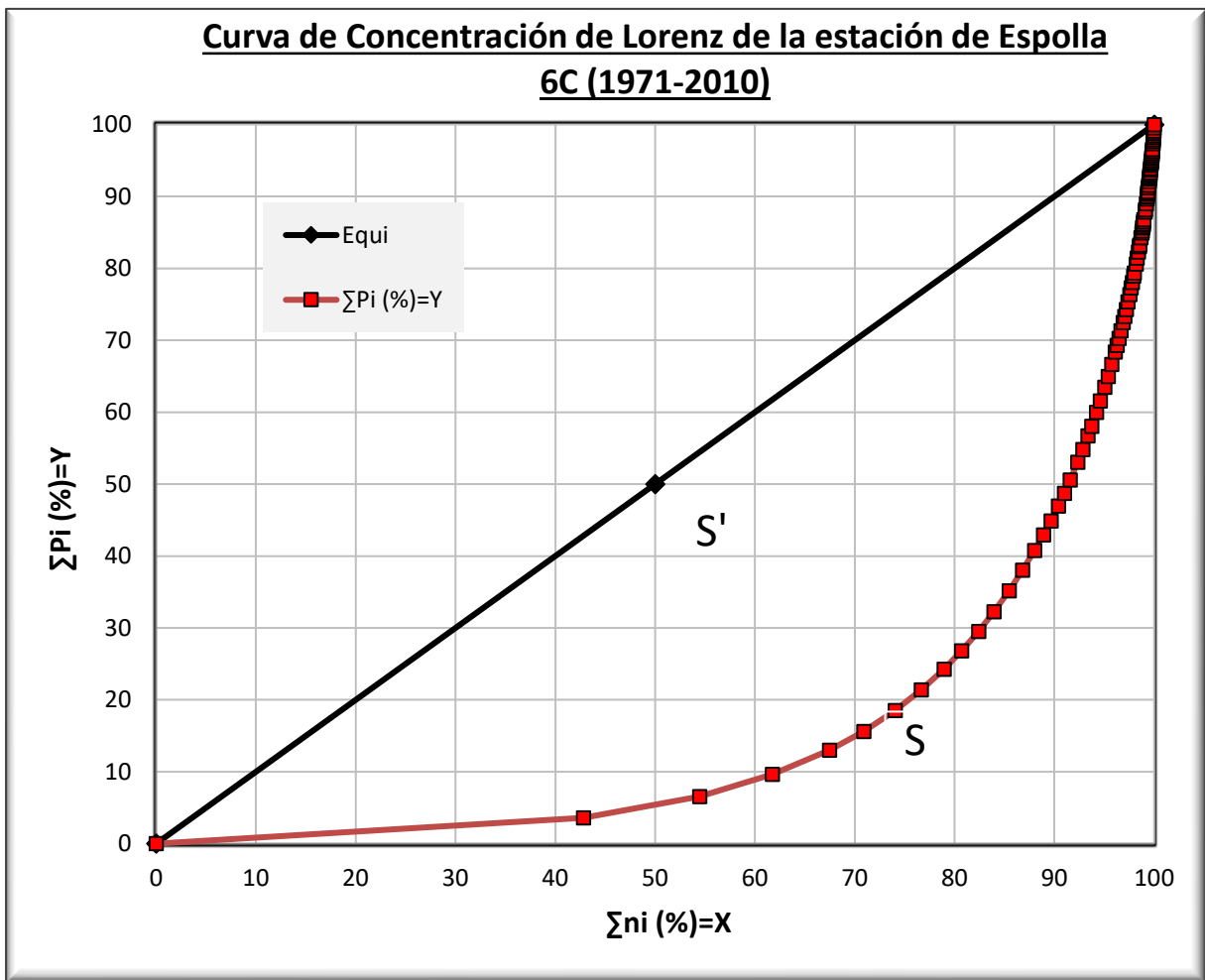


Figura H.4. Curva de concentración, o de Lorenz, de Espolla (6C), para el período 1971-2010.

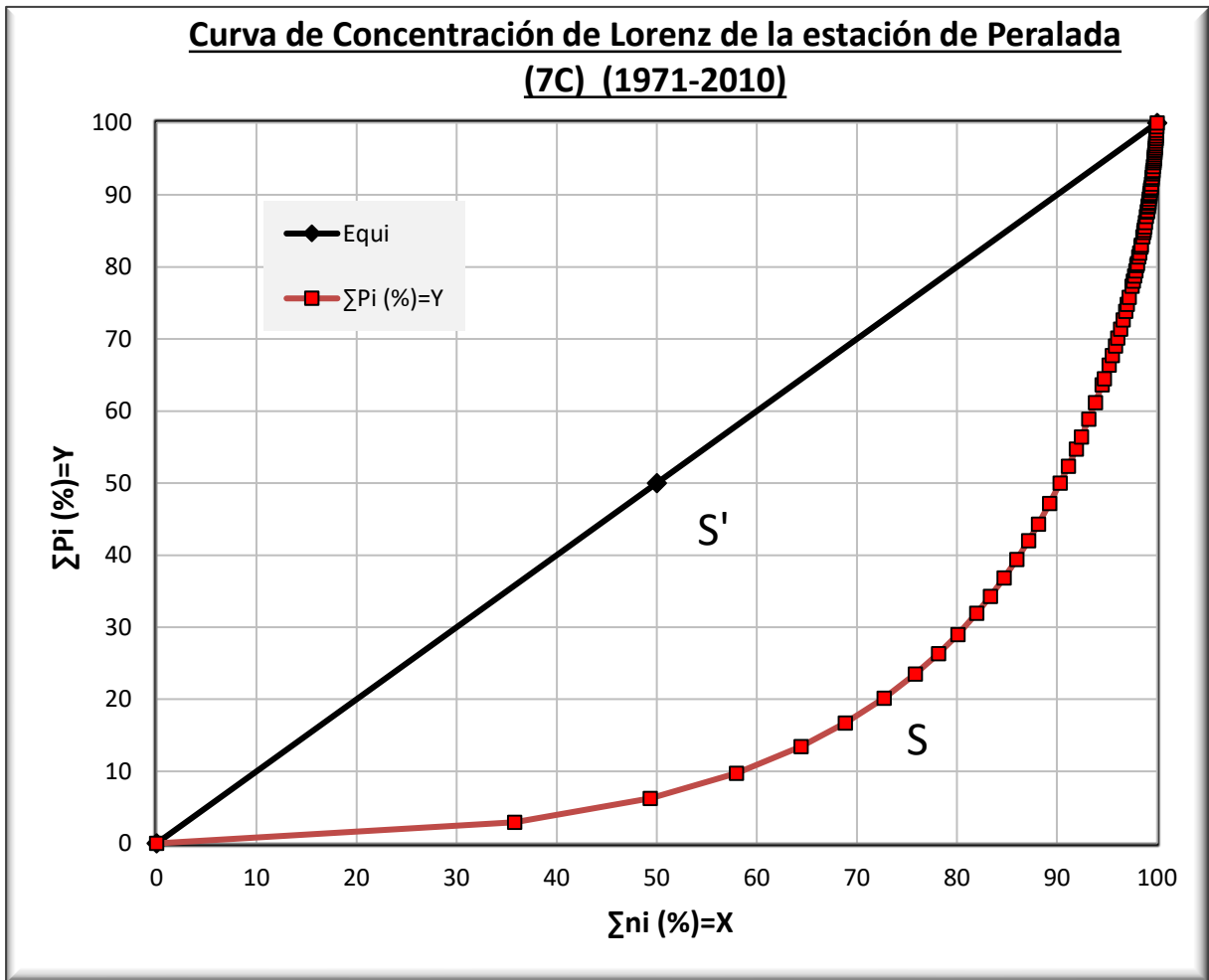


Figura H.5. Curva de concentración, o de Lorenz, de Peralada (7C), para el período 1971-2010.

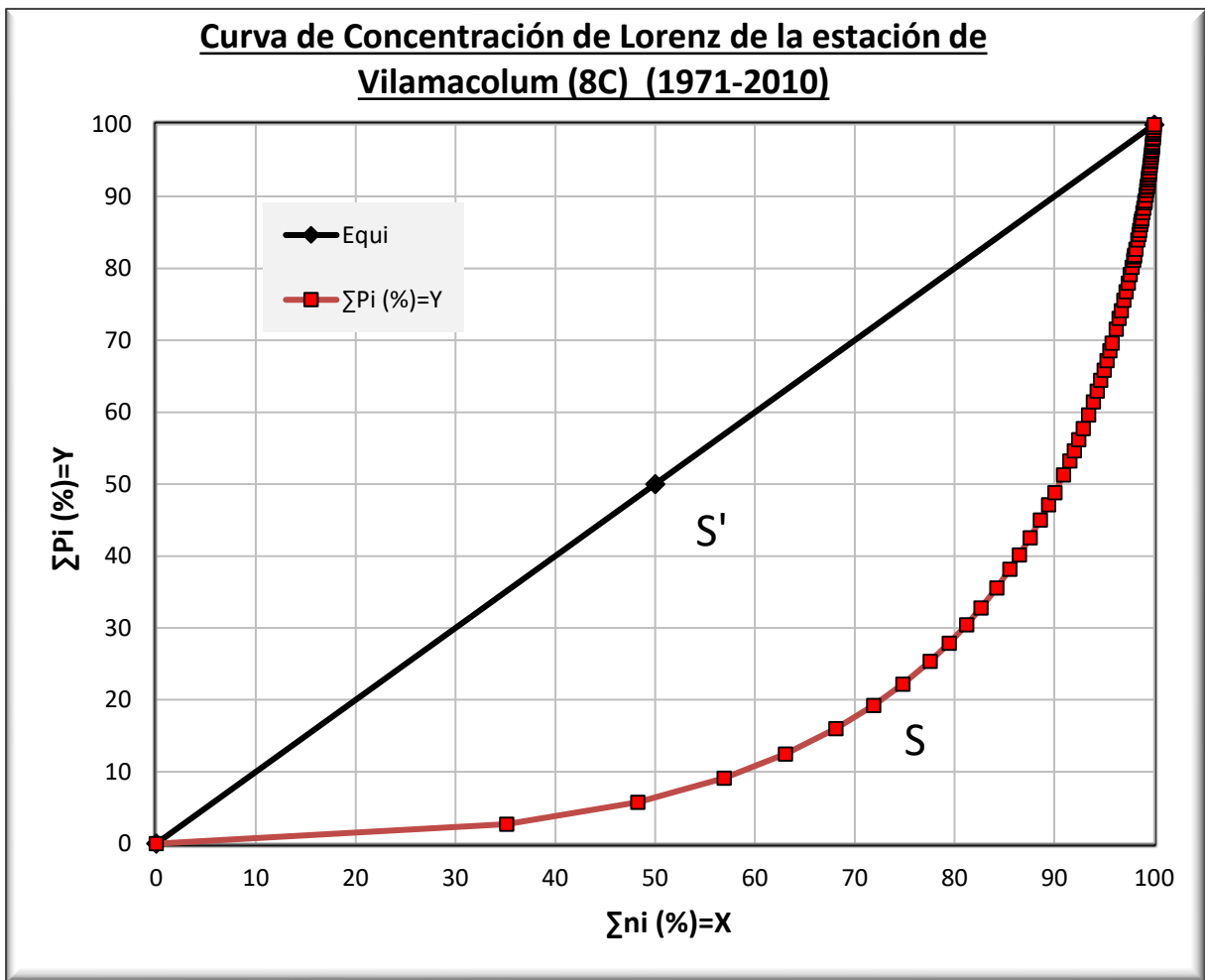


Figura H.6. Curva de concentración, o de Lorenz, de Vilamacolum (8C), para el período 1971-2010.

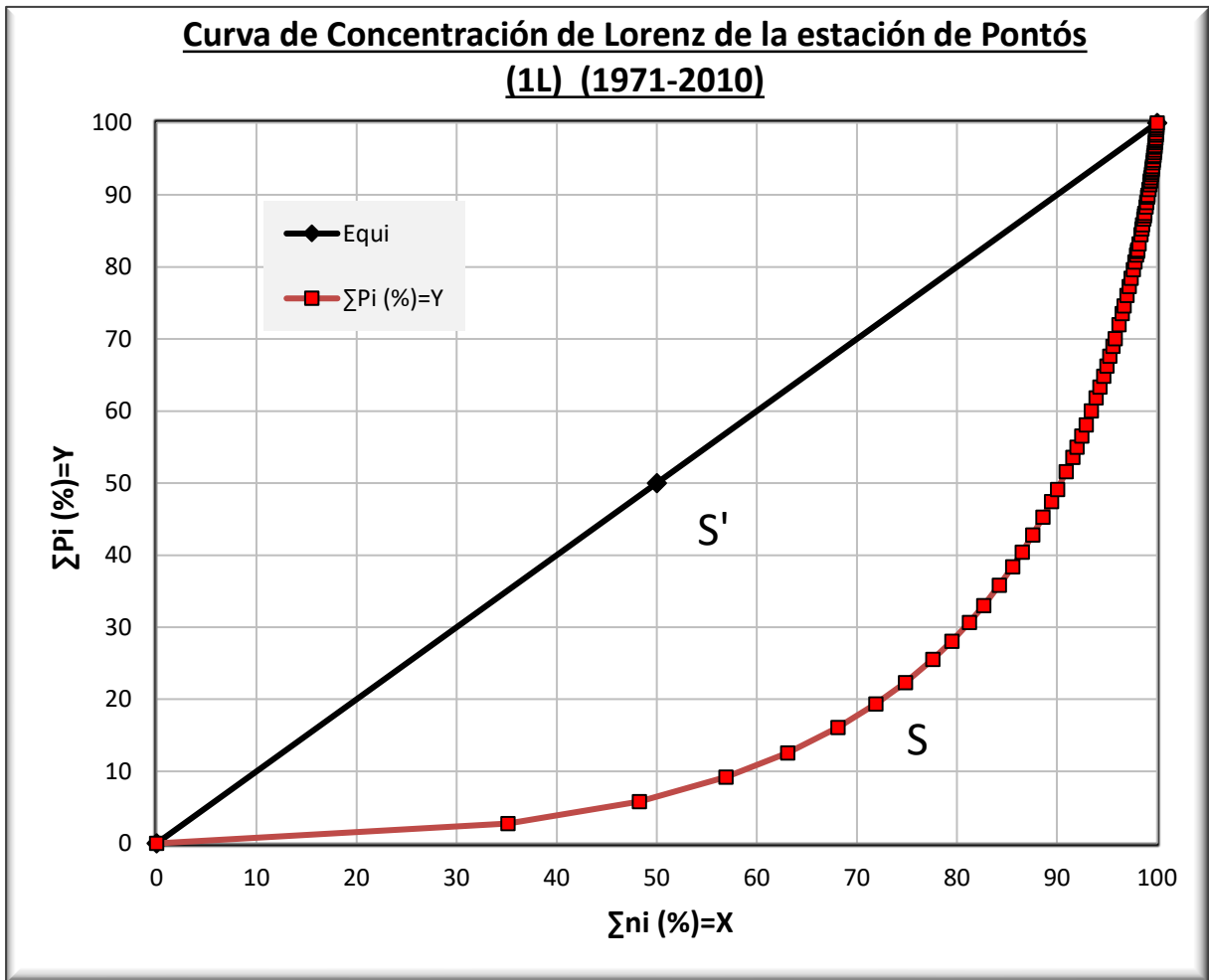


Figura H.7. Curva de concentración, o de Lorenz, de Pontós (1L), para el período 1971-2010.

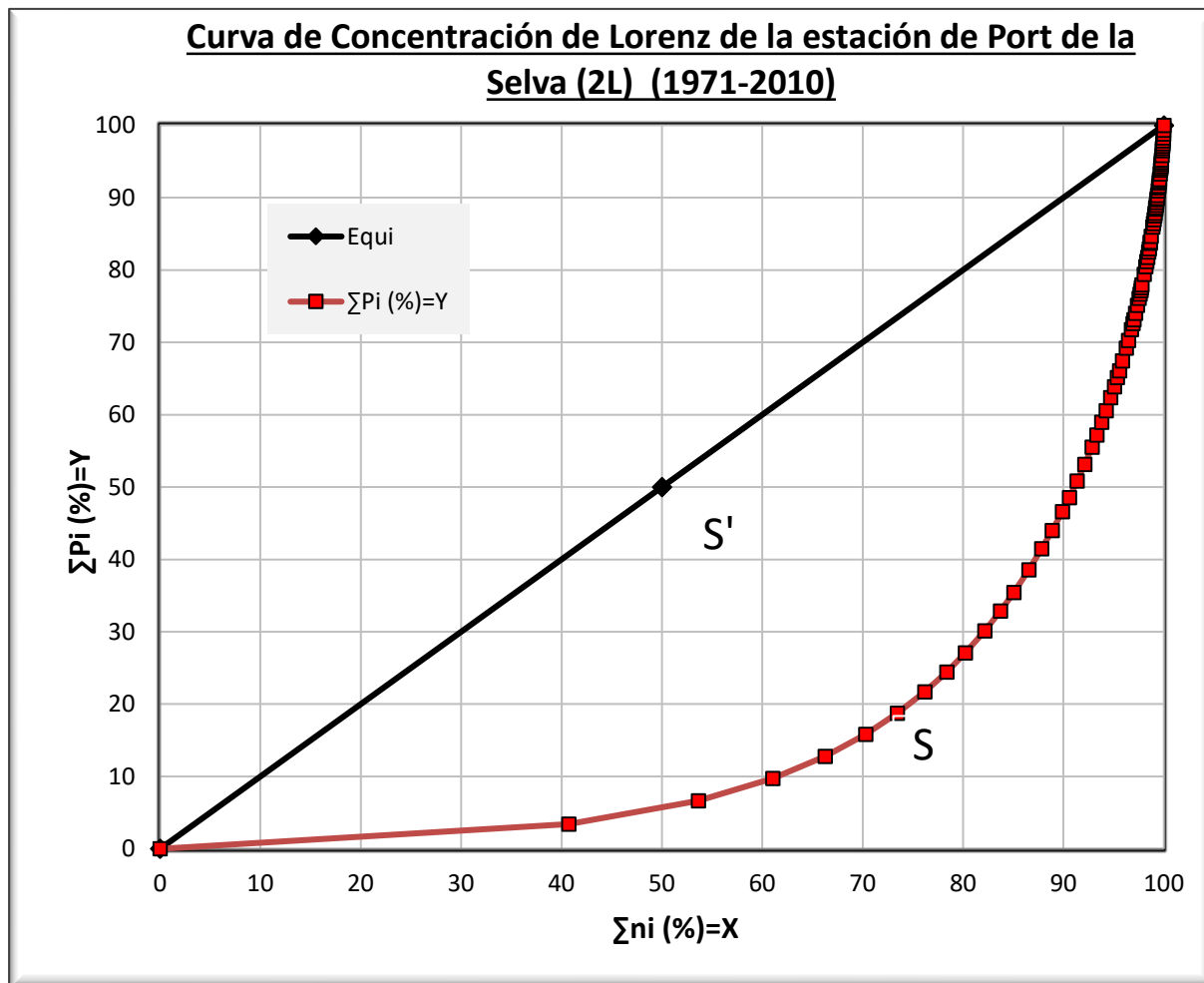


Figura H.8. Curva de concentración, o de Lorenz, de Port de la Selva (2L), para el período 1971-2010.

I. Gráficos de las anomalías detectadas en los periodos anuales de precipitación en la serie temporal (1971-2010) analizados en las estaciones de la zona principal de la Cuenca de la Muga.

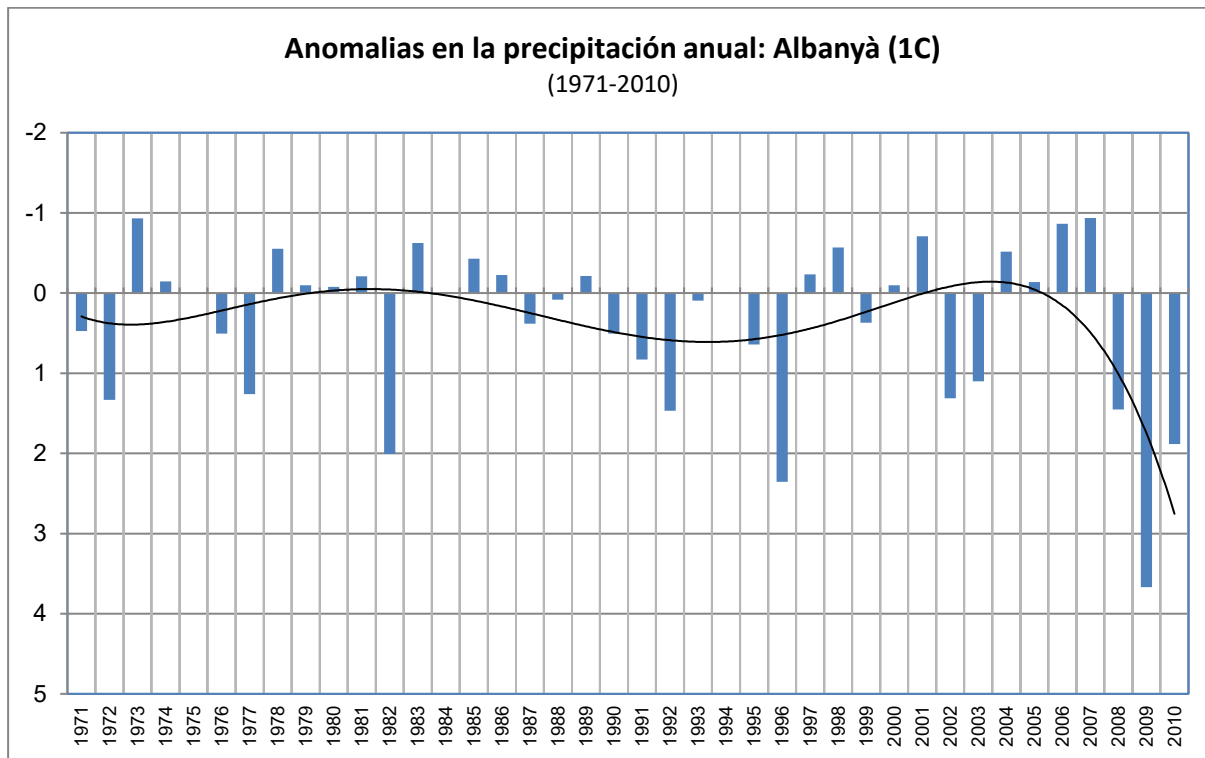


Figura I.1. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Albanyà (1C).

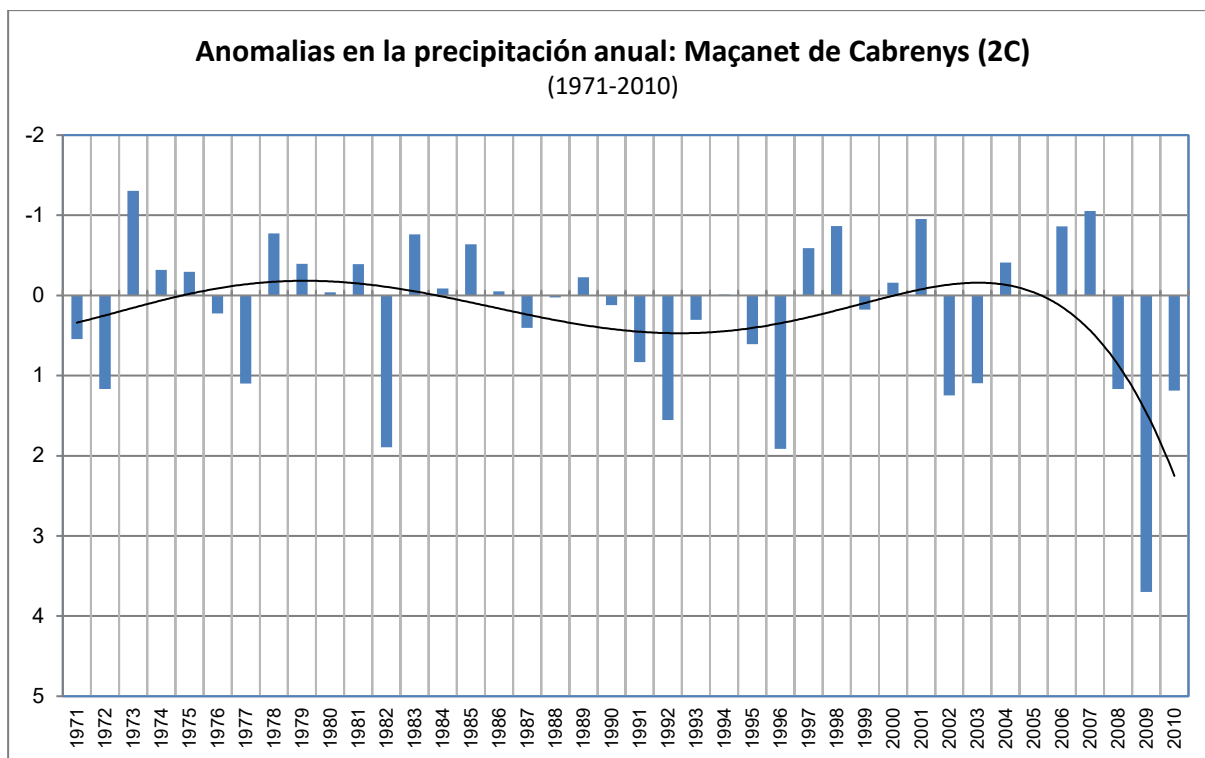


Figura I.2. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Maçanet de Cabrenys (2C).

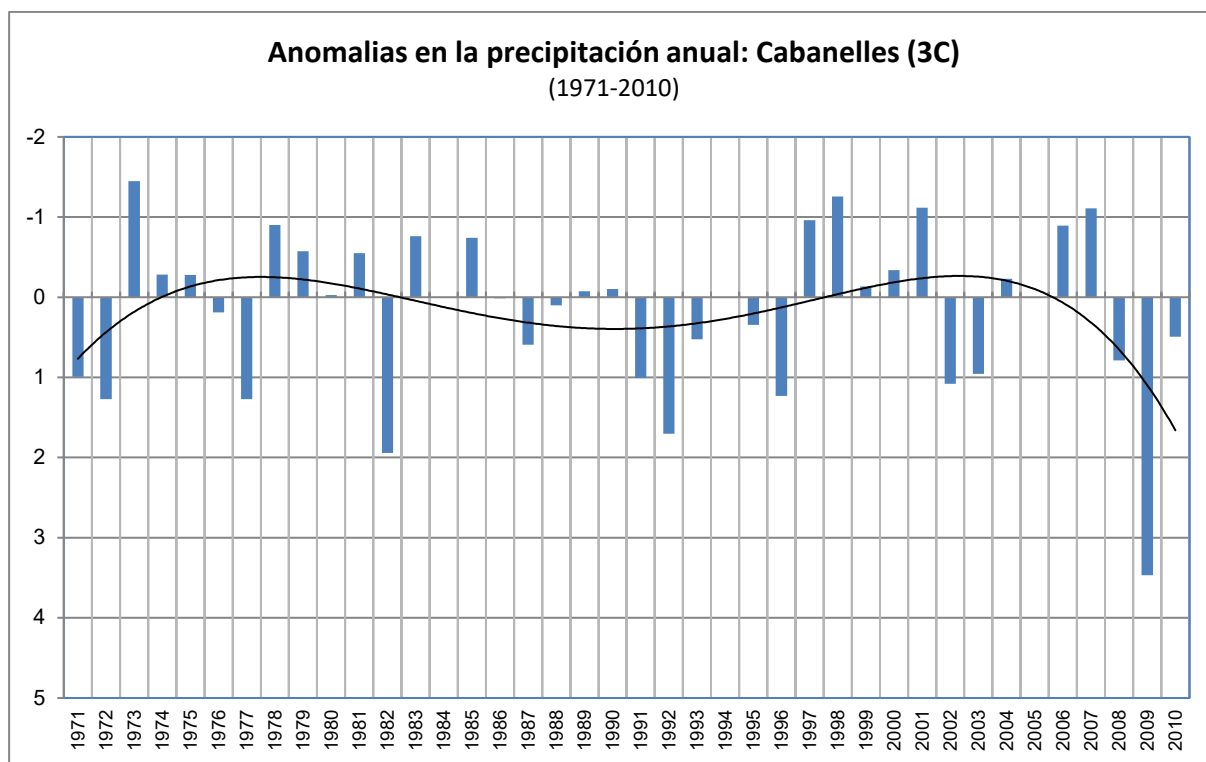


Figura I.3. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Cabanelles (3C).

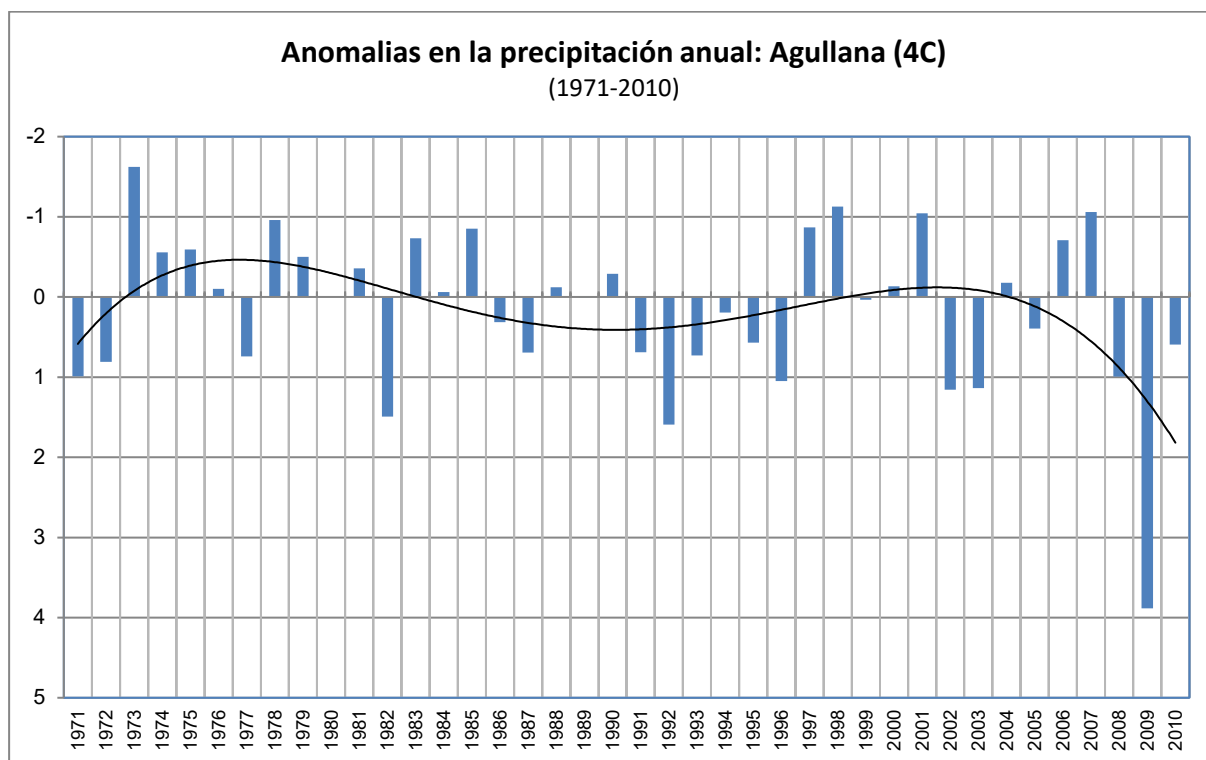


Figura I.4. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Agullana (4C).

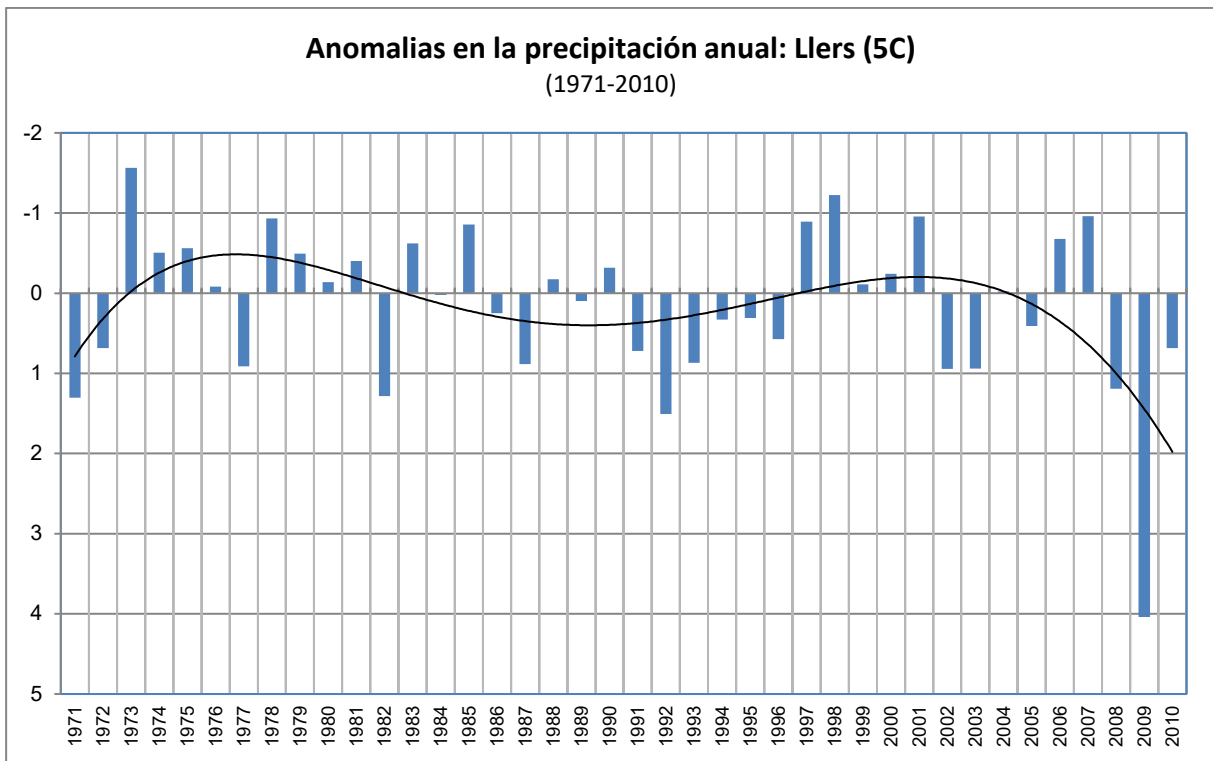


Figura I.5. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Llers (5C).

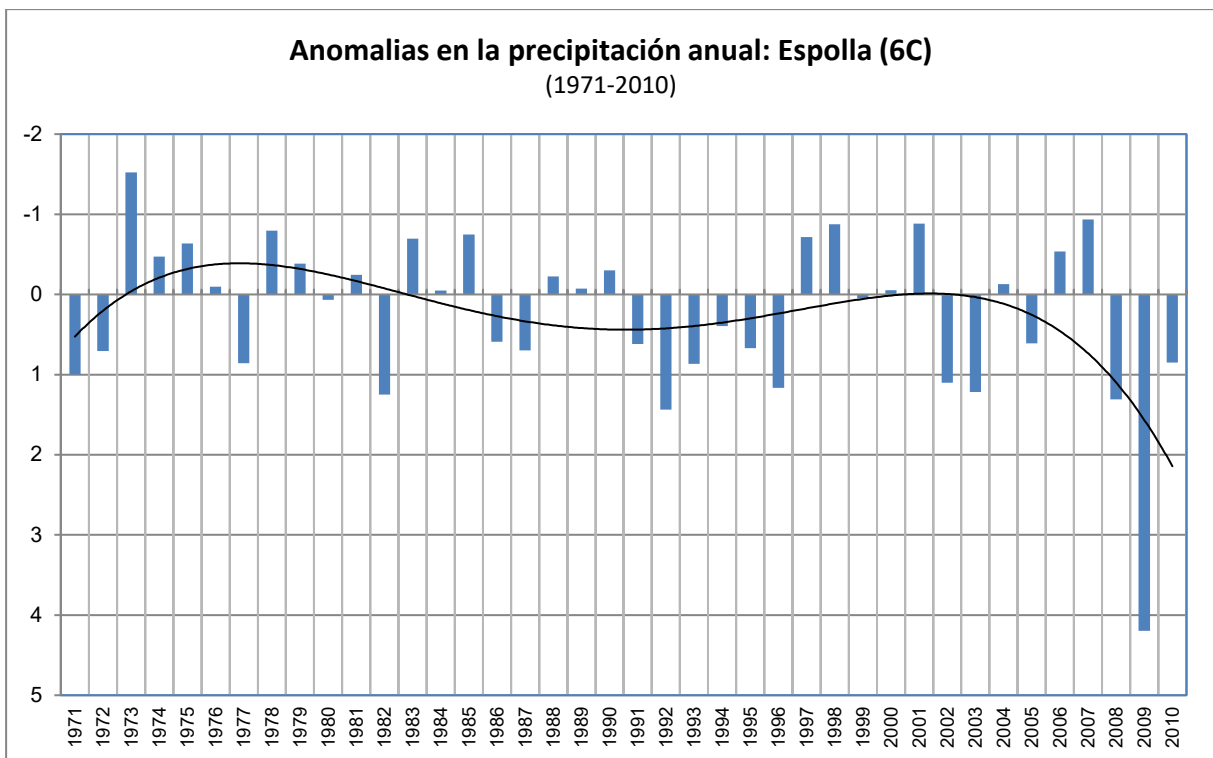


Figura I.6. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Espolla (6C).

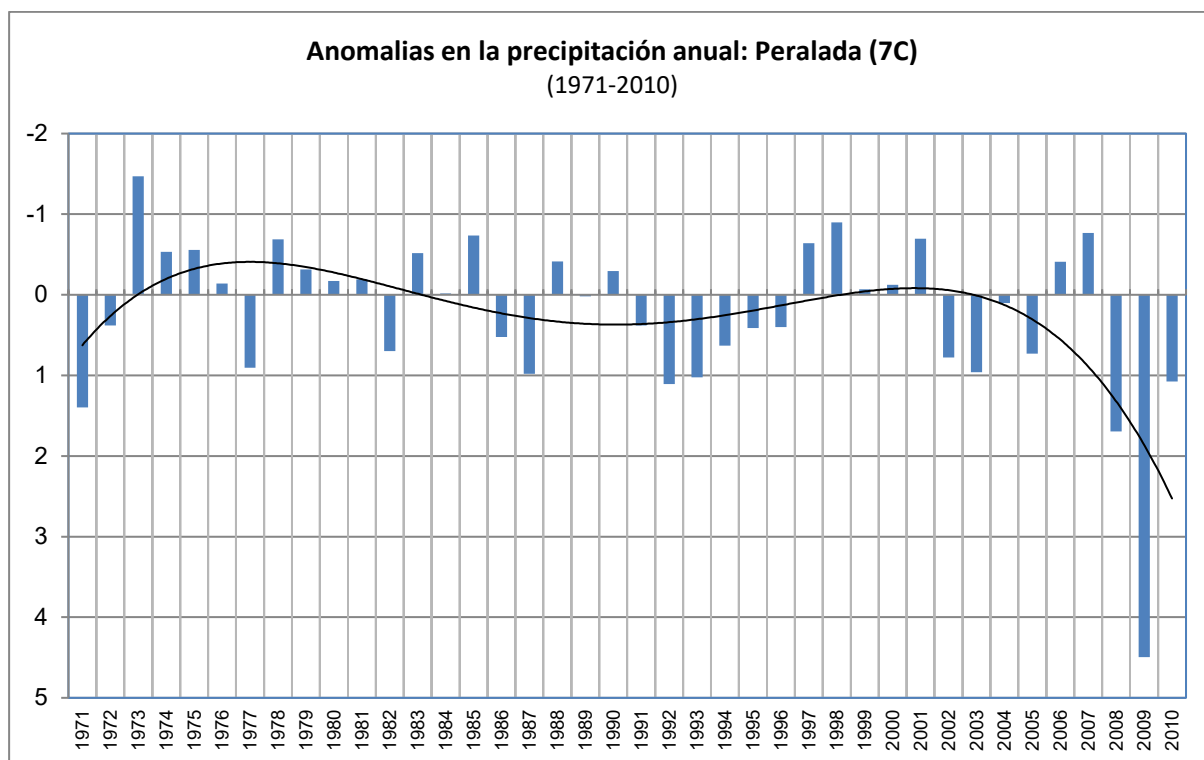


Figura I.7. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Peralada (7C).

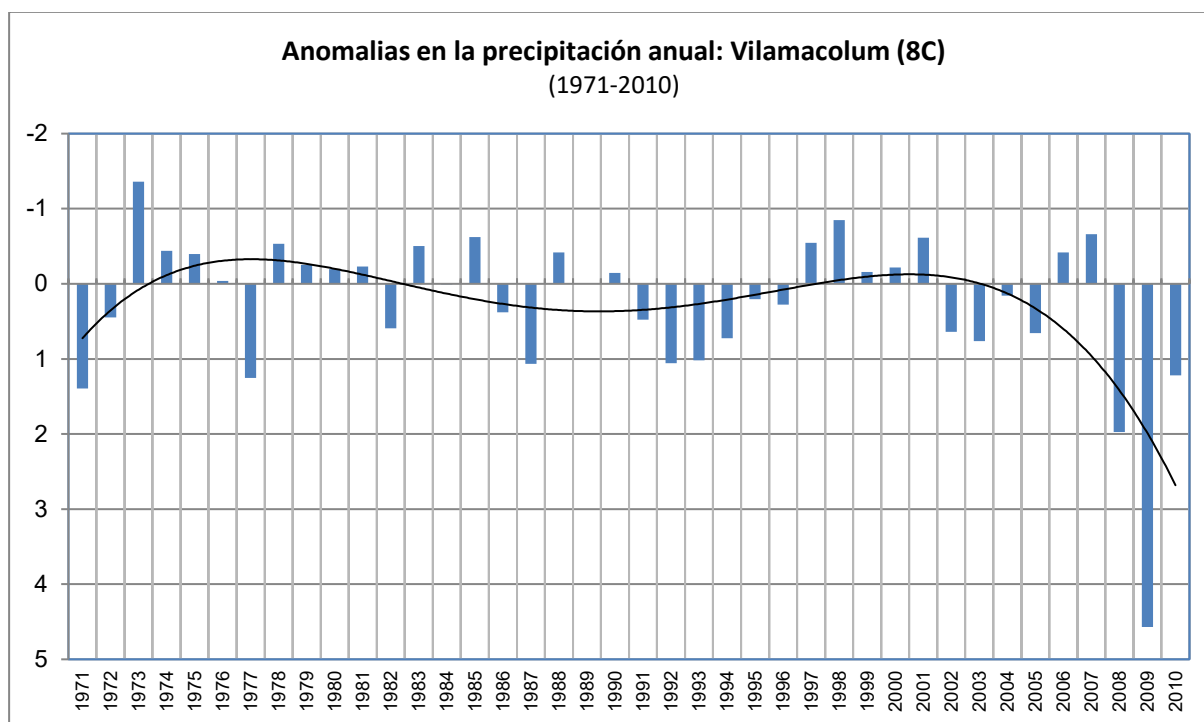


Figura I.8. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Vilamacolum (8C).

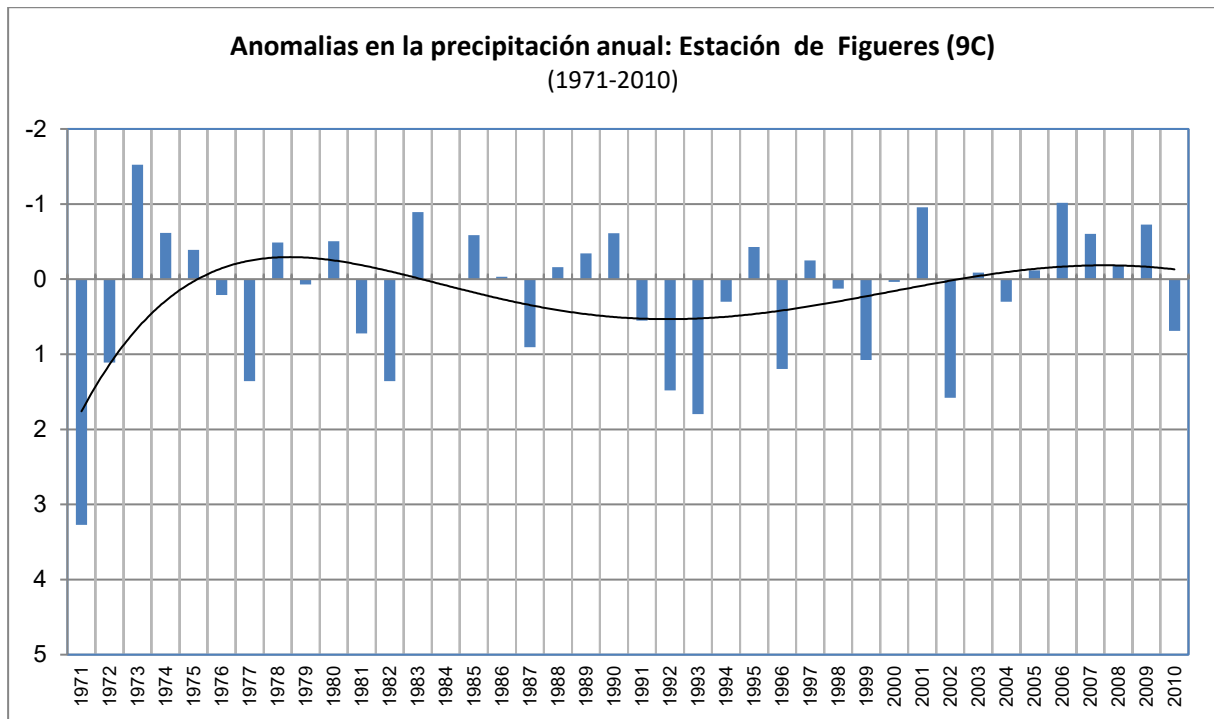


Figura I.9. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Figueres (9C).

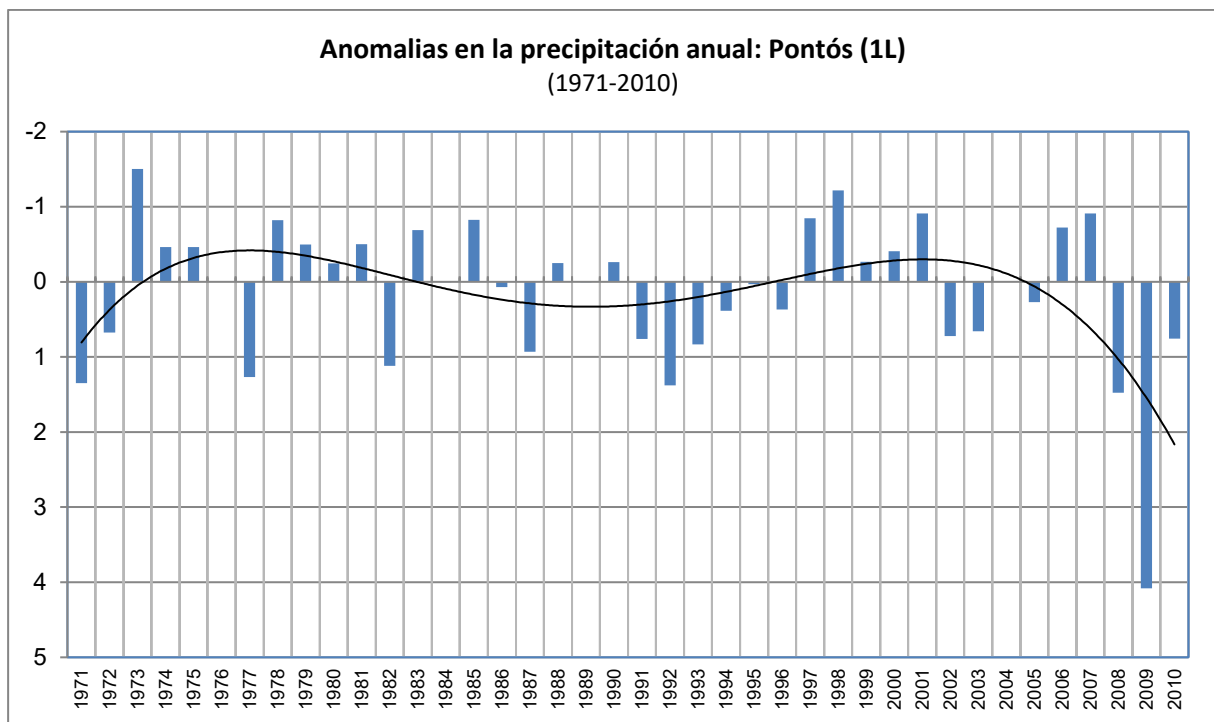


Figura I.10. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Pontós (1L).

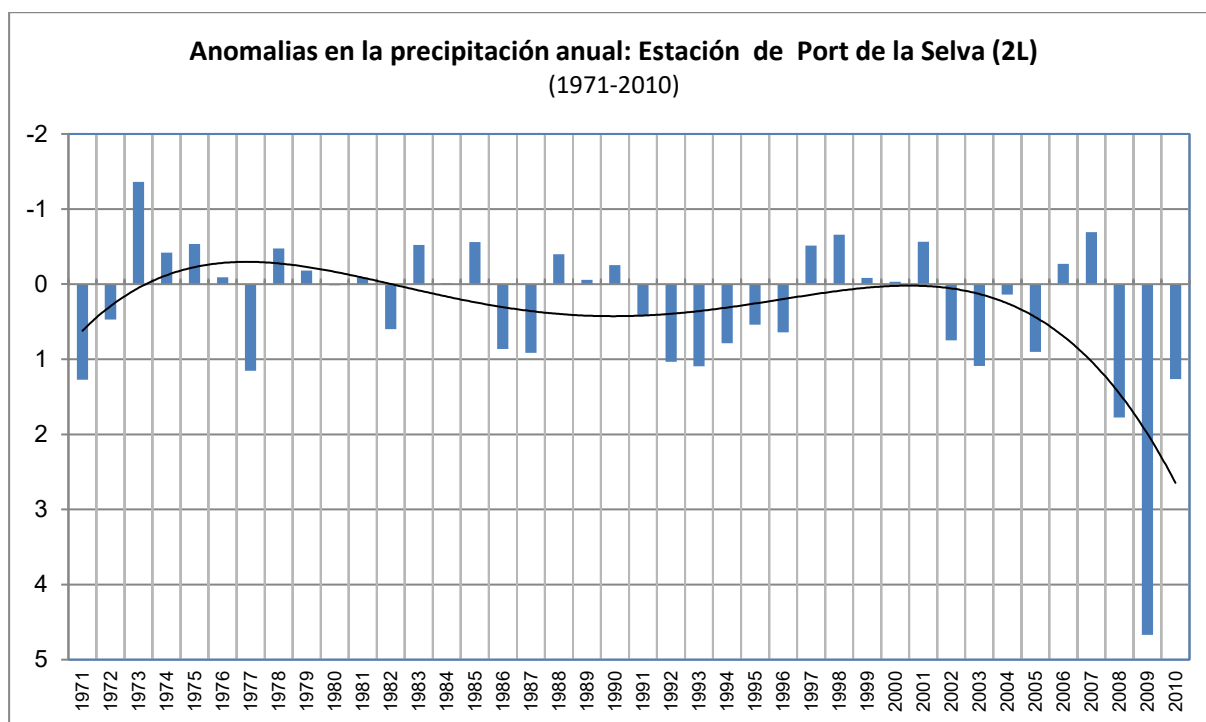


Figura I.11. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Port de la Selva (2L).

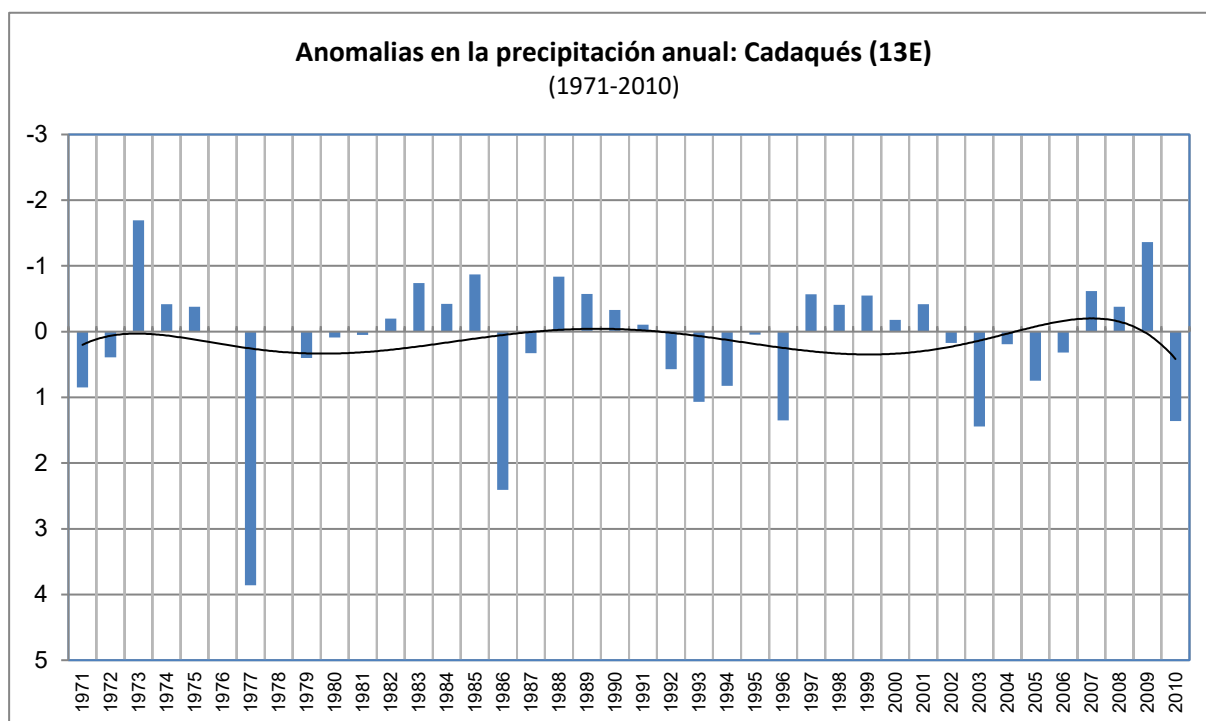


Figura I.12. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1971-2010, en la estación de Cadaqués (13E).

J. Gráficos de las anomalías detectadas en los periodos anuales de precipitación en la serie temporal (1950-2015) de las estaciones de Figueres i Cadaqués.

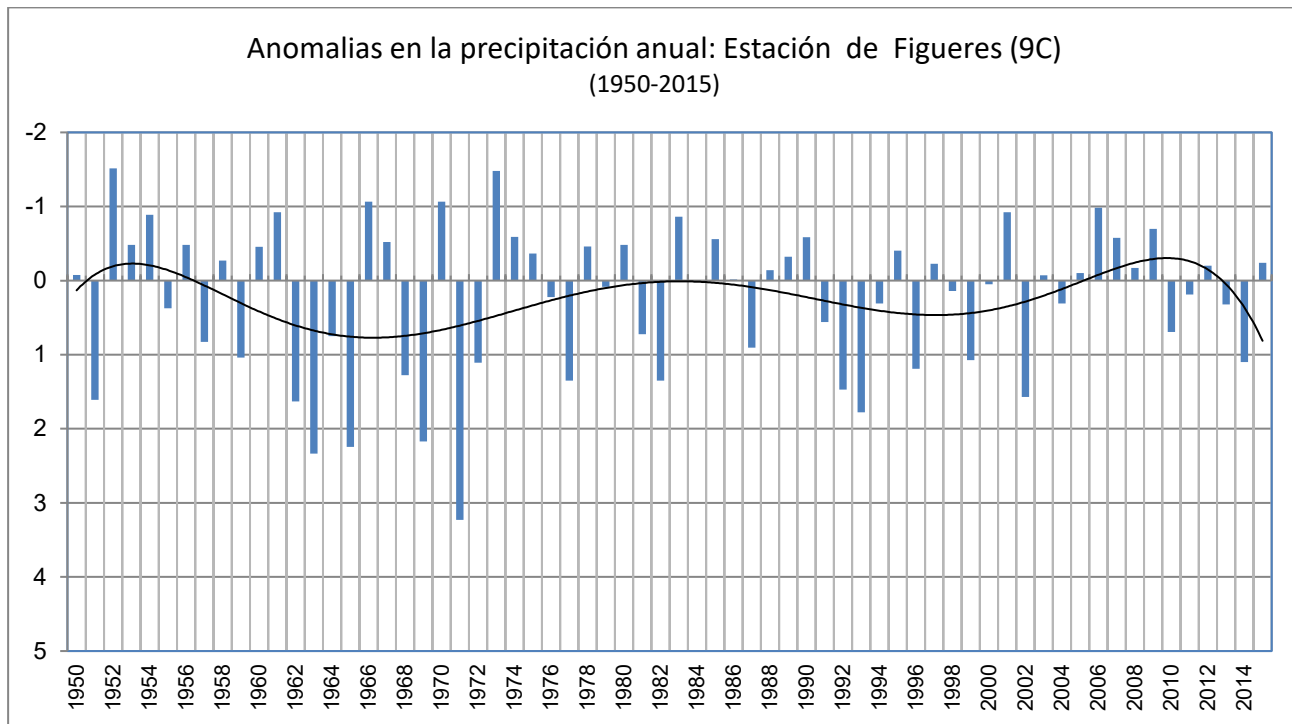


Figura J.1. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1950-2015, en la estación de Figueres (9C).

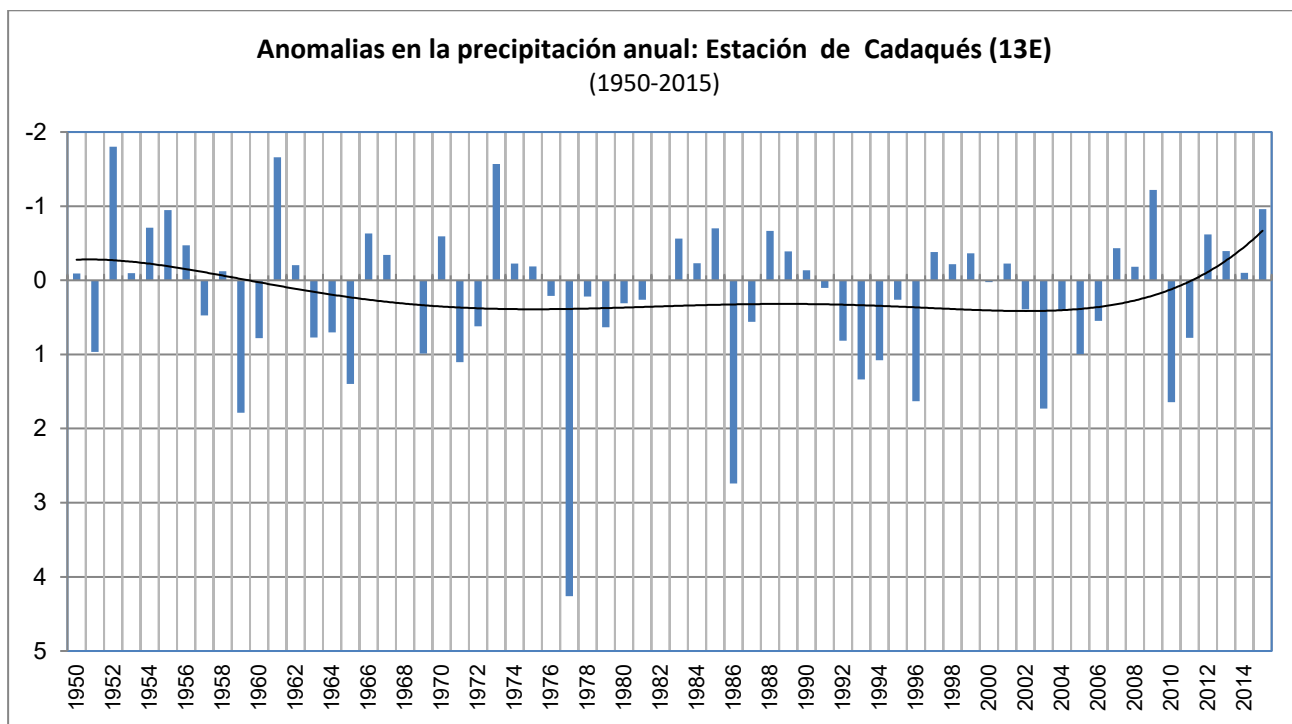


Figura J.2. Anomalías en la precipitación anual en el periodo 1950-2015, en la estación de Cadaqués (13E).

K. Valores de los resultados de Tendencias para los periodos temporales de precipitación estudiados según la prueba de Mann-Kendall, en las estaciones de la zona principal de la Cuenca de la Muga.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	40	0,454		1,511	-6,849	13,274	-4,664	10,707
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	40	0,897		3,350	-5,958	12,946	-4,070	10,747
Cabanelles (3C)	1971	2010	40	0,245		0,596	-7,635	10,443	-5,583	7,961
Agullana (4C)	1971	2010	40	1,014		3,917	-4,538	12,728	-3,022	10,981
Llers (5C)	1971	2010	40	1,014		3,736	-4,882	12,224	-3,310	10,578
Espolla (6C)	1971	2010	40	1,270		4,312	-3,452	14,016	-1,563	11,520
Peralada (7C)	1971	2010	40	1,666	+	5,223	-3,073	13,226	-1,487	11,072
Vilamacolum (8C)	1971	2010	40	1,270		4,128	-3,895	12,182	-1,881	10,238
Figueres (9C)	1971	2010	40	-0,524		-1,432	-8,079	5,572	-6,716	3,614
Pontós (1L)	1971	2010	40	0,571		1,943	-5,463	10,712	-3,752	9,228
Port de la Selva (2L)	1971	2010	40	1,596		5,410	-2,223	12,919	-0,978	11,718
Cadaqués (13E)	1971	2010	40	0,198		0,306	-5,751	7,036	-4,291	5,013

Tabla K.1. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para la precipitación total anual del periodo 1971-2010.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	40	0,082		0,036	-1,585	2,180	-1,115	1,641
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	40	0,175		0,153	-1,838	2,104	-1,224	1,485
Cabanelles (3C)	1971	2010	40	-0,105		-0,140	-2,123	2,005	-1,611	1,320
Agullana (4C)	1971	2010	40	0,000		0,006	-2,225	1,969	-1,622	1,550
Llers (5C)	1971	2010	40	0,454		0,309	-1,903	2,231	-1,148	1,641
Espolla (6C)	1971	2010	40	-0,012		-0,017	-2,341	2,047	-1,558	1,612
Peralada (7C)	1971	2010	40	0,757		0,509	-1,402	2,272	-0,765	1,913
Vilamacolum (8C)	1971	2010	40	0,734		0,598	-1,373	2,436	-0,697	1,930
Figueres (9C)	1971	2010	40	0,175		0,050	-1,628	1,467	-1,157	1,145
Pontós (1L)	1971	2010	40	0,454		0,425	-1,631	2,325	-0,987	1,818
Port de la Selva (2L)	1971	2010	40	0,548		0,383	-1,632	2,232	-0,897	1,765
Cadaques (13E)	1971	2010	40	0,338		0,256	-1,905	2,071	-1,378	1,680

Tabla K.2. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de enero del periodo 1971-2010.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	40	-0,035		-0,015	-1,343	1,564	-0,865	1,058
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	40	0,000		0,006	-1,465	1,709	-0,930	1,144
Cabanelles (3C)	1971	2010	40	0,221		0,141	-1,697	1,535	-1,134	1,250
Agullana (4C)	1971	2010	40	0,082		0,067	-1,473	1,756	-1,165	1,398
Llers (5C)	1971	2010	40	0,221		0,124	-1,353	1,800	-0,996	1,353
Espolla (6C)	1971	2010	40	0,151		0,100	-1,428	1,804	-1,079	1,369
Peralada (7C)	1971	2010	40	0,082		0,066	-1,292	1,717	-0,852	1,349
Vilamacolum (8C)	1971	2010	40	0,058		0,023	-1,185	1,743	-0,849	1,335
Figueres (9C)	1971	2010	40	1,060		0,436	-0,755	1,995	-0,447	1,568
Pontós (1L)	1971	2010	40	0,245		0,080	-1,356	1,812	-0,894	1,340
Port de la Selva (2L)	1971	2010	40	0,151		0,104	-1,300	1,678	-0,906	1,251
Cadaqués (13E)	1971	2010	40	0,804		0,354	-0,853	1,889	-0,514	1,601

Tabla K.3. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de febrero del periodo 1971-2010.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	40	-0,245		-0,166	-1,760	1,183	-1,363	0,967
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	40	-0,664		-0,320	-1,893	1,110	-1,582	0,736
Cabanelles (3C)	1971	2010	40	-1,060		-0,805	-2,141	0,967	-1,804	0,535
Agullana (4C)	1971	2010	40	-1,037		-0,714	-2,156	0,982	-1,756	0,567
Llers (5C)	1971	2010	40	-1,130		-0,575	-2,127	0,900	-1,738	0,490
Espolla (6C)	1971	2010	40	-1,107		-0,716	-2,228	0,786	-1,830	0,450
Peralada (7C)	1971	2010	40	-1,247		-0,542	-1,850	0,791	-1,491	0,415
Vilamacolum (8C)	1971	2010	40	-1,317		-0,594	-1,622	0,765	-1,363	0,391
Figueres (9C)	1971	2010	40	-0,629		-0,237	-1,322	0,944	-1,030	0,655
Pontós (1L)	1971	2010	40	-1,014		-0,506	-1,867	0,872	-1,598	0,505
Port de la Selva (2L)	1971	2010	40	-1,596		-0,755	-1,842	0,578	-1,613	0,303
Cadaqués (13E)	1971	2010	40	-1,911	+	-0,933	-1,847	0,210	-1,700	0,015

Tabla K.4. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de marzo del periodo 1971-2010.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	40	1,619		0,975	-0,630	3,475	-0,189	2,871
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	40	1,573		1,015	-0,979	3,915	-0,470	3,032
Cabanelles (3C)	1971	2010	40	0,687		0,641	-1,401	3,410	-0,825	2,506
Agullana (4C)	1971	2010	40	0,804		0,549	-1,207	3,567	-0,585	2,533
Llers (5C)	1971	2010	40	0,571		0,388	-1,444	2,935	-0,911	2,253
Espolla (6C)	1971	2010	40	0,897		0,584	-1,221	3,577	-0,682	2,526
Peralada (7C)	1971	2010	40	0,454		0,295	-1,390	2,886	-0,969	1,970
Vilamacolum (8C)	1971	2010	40	0,151		0,150	-1,489	2,574	-1,065	1,787
Figueres (9C)	1971	2010	40	0,012		0,030	-1,723	1,868	-1,176	1,308
Pontós (1L)	1971	2010	40	0,128		0,126	-1,536	2,803	-1,122	2,111
Port de la Selva (2L)	1971	2010	40	0,454		0,295	-1,285	2,870	-0,851	1,836
Cadaqués (13E)	1971	2010	40	-0,385		-0,128	-1,556	0,908	-1,292	0,593

Tabla K.5. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de abril del periodo 1971-2010.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	40	0,151		0,089	-1,890	2,152	-1,403	1,459
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	40	0,431		0,239	-1,905	2,398	-1,489	1,710
Cabanelles (3C)	1971	2010	40	0,012		0,019	-2,265	2,326	-1,755	1,789
Agullana (4C)	1971	2010	40	0,594		0,478	-1,770	2,744	-1,277	2,165
Llers (5C)	1971	2010	40	0,524		0,520	-1,729	2,514	-1,252	2,118
Espolla (6C)	1971	2010	40	0,944		0,817	-1,395	2,794	-0,890	2,343
Peralada (7C)	1971	2010	40	1,130		0,901	-1,172	2,957	-0,664	2,377
Vilamacolum (8C)	1971	2010	40	0,944		0,694	-1,291	2,616	-0,779	1,967
Figueres (9C)	1971	2010	40	-0,583		-0,363	-2,286	1,531	-1,773	1,050
Pontós (1L)	1971	2010	40	0,664		0,468	-1,605	2,413	-1,169	1,924
Port de la Selva (2L)	1971	2010	40	1,247		0,989	-1,081	3,184	-0,628	2,487
Cadaqués (13E)	1971	2010	40	0,443		0,225	-1,029	1,716	-0,649	1,398

Tabla K.6. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de mayo del periodo 1971-2010.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	40	-3,018	**	-1,819	-3,385	-0,369	-2,889	-0,704
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	40	-3,321	***	-1,796	-3,199	-0,497	-2,981	-0,794
Cabanelles (3C)	1971	2010	40	-3,390	***	-1,795	-3,136	-0,477	-2,702	-0,834
Agullana (4C)	1971	2010	40	-3,647	***	-1,492	-2,747	-0,510	-2,334	-0,762
Llers (5C)	1971	2010	40	-3,064	**	-1,277	-2,305	-0,343	-2,079	-0,664
Espolla (6C)	1971	2010	40	-3,623	***	-1,279	-2,461	-0,532	-2,127	-0,740
Peralada (7C)	1971	2010	40	-2,948	**	-1,050	-1,790	-0,158	-1,577	-0,426
Vilamacolum (8C)	1971	2010	40	-2,715	**	-0,916	-1,641	-0,062	-1,389	-0,323
Figueres (9C)	1971	2010	40	-2,202	*	-1,075	-2,403	0,258	-2,091	-0,061
Pontós (1L)	1971	2010	40	-2,552	*	-1,021	-2,057	0,006	-1,831	-0,360
Port de la Selva (2L)	1971	2010	40	-3,018	**	-0,967	-1,636	-0,206	-1,436	-0,475
Cadaqués (13E)	1971	2010	40	-3,157	**	-0,688	-1,216	-0,108	-1,084	-0,269

Tabla K.7. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de junio del periodo 1971-2010.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	40	-0,454		-0,290	-1,872	1,277	-1,427	0,924
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	40	-0,431		-0,222	-1,661	1,143	-1,165	0,753
Cabanelles (3C)	1971	2010	40	-0,641		-0,249	-1,444	0,976	-1,168	0,664
Agullana (4C)	1971	2010	40	-0,454		-0,171	-1,204	1,023	-0,909	0,682
Llers (5C)	1971	2010	40	-0,082		-0,050	-0,984	1,020	-0,728	0,764
Espolla (6C)	1971	2010	40	-0,315		-0,137	-1,061	0,998	-0,869	0,665
Peralada (7C)	1971	2010	40	0,268		0,081	-0,769	1,121	-0,560	0,832
Vilamacolum (8C)	1971	2010	40	0,618		0,116	-0,673	1,116	-0,447	0,873
Figueres (9C)	1971	2010	40	-1,305		-0,262	-0,974	0,325	-0,651	0,173
Pontós (1L)	1971	2010	40	0,128		0,035	-0,753	1,108	-0,496	0,852
Port de la Selva (2L)	1971	2010	40	0,221		0,106	-0,823	1,022	-0,574	0,751
Cadaqués (13E)	1971	2010	40	-0,396		-0,063	-0,508	0,309	-0,416	0,200

Tabla K.8. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de julio del periodo 1971-2010.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	40	-1,550		-0,931	-2,736	0,652	-2,088	0,294
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	40	-1,317		-0,776	-2,391	0,736	-1,942	0,410
Cabanelles (3C)	1971	2010	40	-1,666	+	-0,852	-2,419	0,602	-1,907	0,230
Agullana (4C)	1971	2010	40	-1,270		-0,650	-2,054	0,729	-1,800	0,346
Llers (5C)	1971	2010	40	-1,503		-0,549	-1,842	0,569	-1,537	0,294
Espolla (6C)	1971	2010	40	-1,107		-0,632	-1,890	0,713	-1,578	0,339
Peralada (7C)	1971	2010	40	-1,363		-0,505	-1,619	0,479	-1,302	0,211
Vilamacolum (8C)	1971	2010	40	-1,480		-0,445	-1,488	0,408	-1,303	0,174
Figuera (9C)	1971	2010	40	-0,653		-0,300	-1,571	0,743	-1,150	0,453
Pontós (1L)	1971	2010	40	-1,503		-0,550	-1,734	0,504	-1,491	0,136
Port de la Selva (2L)	1971	2010	40	-1,223		-0,519	-1,565	0,445	-1,376	0,199
Cadaqués (13E)	1971	2010	40	-1,410		-0,522	-1,459	0,329	-1,222	0,150

Tabla K.9. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de agosto del periodo 1971-2010.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	40	0,501		0,370	-1,619	2,435	-1,165	2,016
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	40	0,594		0,390	-1,652	2,438	-0,993	1,855
Cabanelles (3C)	1971	2010	40	0,384		0,258	-1,644	2,370	-1,215	1,846
Agullana (4C)	1971	2010	40	0,524		0,373	-1,401	2,240	-0,957	1,718
Llers (5C)	1971	2010	40	0,361		0,315	-1,427	2,183	-0,907	1,651
Espolla (6C)	1971	2010	40	0,664		0,559	-1,484	2,514	-0,857	2,053
Peralada (7C)	1971	2010	40	0,804		0,500	-1,274	2,432	-0,768	1,889
Vilamacolum (8C)	1971	2010	40	0,827		0,497	-1,238	2,387	-0,705	1,902
Figuera (9C)	1971	2010	40	0,338		0,297	-1,380	2,030	-1,004	1,536
Pontós (1L)	1971	2010	40	0,315		0,336	-1,450	2,191	-1,002	1,736
Port de la Selva (2L)	1971	2010	40	0,851		0,669	-1,278	2,569	-0,759	2,089
Cadaqués (13E)	1971	2010	40	0,291		0,145	-1,541	2,102	-1,037	1,528

Tabla K.10. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de septiembre del periodo 1971-2010.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	40	1,526		1,153	-0,883	3,596	-0,344	3,028
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	40	1,666	+	1,160	-0,859	3,691	-0,215	3,065
Cabanelles (3C)	1971	2010	40	1,410		1,124	-1,136	3,339	-0,524	2,586
Agullana (4C)	1971	2010	40	1,550		1,329	-0,969	3,703	-0,405	3,022
Llers (5C)	1971	2010	40	1,386		1,144	-1,015	3,443	-0,551	2,699
Espolla (6C)	1971	2010	40	1,480		1,328	-1,030	3,732	-0,501	2,773
Peralada (7C)	1971	2010	40	1,386		1,178	-1,317	3,201	-0,580	2,620
Vilamacolum (8C)	1971	2010	40	1,340		1,078	-1,190	2,911	-0,507	2,337
Figuera (9C)	1971	2010	40	1,876	+	1,048	-0,579	3,075	-0,089	2,406
Pontós (1L)	1971	2010	40	1,410		1,138	-1,245	3,126	-0,606	2,486
Port de la Selva (2L)	1971	2010	40	1,317		1,052	-1,478	3,136	-0,665	2,429
Cadaqués (13E)	1971	2010	40	1,526		0,954	-1,126	3,468	-0,325	2,748

Tabla K.11. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de octubre del periodo 1971-2010.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	40	1,969	*	1,699	-0,411	3,789	0,005	3,404
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	40	1,713	+	1,606	-0,661	3,532	-0,133	3,134
Cabanelles (3C)	1971	2010	40	1,014		0,869	-1,272	3,140	-0,640	2,638
Agullana (4C)	1971	2010	40	1,247		0,997	-1,014	3,372	-0,467	2,737
Llers (5C)	1971	2010	40	0,920		0,625	-1,269	3,044	-0,681	2,310
Espolla (6C)	1971	2010	40	1,386		1,004	-0,873	3,562	-0,299	3,036
Peralada (7C)	1971	2010	40	0,990		0,635	-0,913	2,839	-0,507	2,304
Vilamacolum (8C)	1971	2010	40	1,084		0,717	-1,015	2,647	-0,601	2,190
Figueres (9C)	1971	2010	40	0,431		0,205	-1,253	1,645	-0,861	1,184
Pontós (1L)	1971	2010	40	0,967		0,534	-1,142	2,605	-0,633	2,115
Port de la Selva (2L)	1971	2010	40	1,060		0,578	-1,078	3,096	-0,713	2,611
Cadaqués (13E)	1971	2010	40	0,559		0,310	-1,044	1,882	-0,599	1,390

Tabla K.12. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de noviembre del periodo 1971-2010.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	40	-0,711		-0,397	-2,657	1,604	-1,963	0,973
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	40	-0,128		-0,073	-2,225	2,026	-1,559	1,398
Cabanelles (3C)	1971	2010	40	0,198		0,207	-2,082	2,421	-1,321	1,798
Agullana (4C)	1971	2010	40	0,594		0,424	-1,660	2,605	-1,101	2,106
Llers (5C)	1971	2010	40	0,874		0,703	-1,231	2,896	-0,846	2,209
Espolla (6C)	1971	2010	40	0,781		0,503	-1,558	2,666	-1,078	2,079
Peralada (7C)	1971	2010	40	1,317		0,929	-0,707	2,873	-0,338	2,393
Vilamacolum (8C)	1971	2010	40	1,550		0,999	-0,700	2,820	-0,248	2,501
Figueres (9C)	1971	2010	40	-0,280		-0,145	-1,611	1,323	-1,232	0,856
Pontós (1L)	1971	2010	40	1,153		0,867	-1,241	2,881	-0,634	2,257
Port de la Selva (2L)	1971	2010	40	1,270		0,958	-0,808	2,939	-0,383	2,392
Cadaqués (13E)	1971	2010	40	0,175		0,099	-1,292	1,683	-1,080	1,389

Tabla K.13. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para las precipitaciones mensuales de diciembre del periodo 1971-2010.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	39	1,597		3,194	-1,754	8,240	-0,658	7,322
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	39	1,524		3,181	-2,188	9,000	-0,825	7,427
Cabanelles (3C)	1971	2010	39	0,992		2,233	-3,436	8,278	-1,963	6,628
Agullana (4C)	1971	2010	39	1,379		2,419	-2,470	9,664	-1,253	7,430
Llers (5C)	1971	2010	39	1,137		1,852	-2,533	8,326	-1,571	6,176
Espolla (6C)	1971	2010	39	1,403		2,711	-2,307	8,756	-1,021	6,851
Peralada (7C)	1971	2010	39	1,210		1,784	-2,182	6,997	-1,328	5,243
Vilamacolum (8C)	1971	2010	39	1,258		1,623	-2,085	6,083	-1,106	4,650
Figueres (9C)	1971	2010	39	0,315		0,459	-3,252	4,228	-2,310	3,047
Pontós (1L)	1971	2010	39	0,895		1,667	-2,510	6,744	-1,787	5,001
Port de la Selva (2L)	1971	2010	39	1,089		2,038	-2,267	6,736	-1,323	5,584
Cadaqués (13E)	1971	2010	39	0,508		0,571	-3,606	4,698	-2,444	3,860

Tabla K.14. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para la precipitación estacional anual en otoño.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	39	-0,266		-0,290	-4,667	4,647	-3,564	3,400
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	39	-0,169		-0,342	-4,909	4,649	-3,473	3,371
Cabanelles (3C)	1971	2010	39	-0,242		-0,312	-5,329	4,496	-3,874	2,998
Agullana (4C)	1971	2010	39	0,073		0,193	-4,401	5,058	-3,319	3,659
Llers (5C)	1971	2010	39	0,508		0,744	-3,820	5,144	-2,439	4,112
Espolla (6C)	1971	2010	39	0,218		0,238	-4,379	4,993	-3,130	3,811
Peralada (7C)	1971	2010	39	1,113		1,413	-2,932	5,508	-1,848	4,291
Vilamacolum (8C)	1971	2010	39	1,161		1,524	-2,453	5,556	-1,253	4,310
Figuera (9C)	1971	2010	39	0,133		0,171	-3,087	2,974	-2,138	2,007
Pontós (1L)	1971	2010	39	0,750		1,036	-3,211	4,979	-2,087	3,969
Port de la Selva (2L)	1971	2010	39	0,919		1,395	-3,033	5,436	-1,988	4,231
Cadaqués (13E)	1971	2010	39	0,484		0,825	-3,484	4,759	-2,315	3,716

Tabla K.15. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para la precipitación estacional anual en invierno.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	39	0,532		1,057	-3,795	6,679	-2,538	4,864
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	39	0,774		1,083	-3,819	6,869	-2,637	5,188
Cabanelles (3C)	1971	2010	39	0,363		0,664	-4,433	6,524	-3,161	4,713
Agullana (4C)	1971	2010	39	0,823		1,378	-3,083	6,405	-2,095	4,733
Llers (5C)	1971	2010	39	0,605		1,086	-3,433	6,395	-2,319	4,674
Espolla (6C)	1971	2010	39	0,726		1,192	-3,017	6,177	-1,945	4,592
Peralada (7C)	1971	2010	39	0,435		0,840	-3,031	5,682	-2,193	4,347
Vilamacolum (8C)	1971	2010	39	0,048		0,374	-3,406	5,529	-2,550	4,111
Figuera (9C)	1971	2010	39	-0,242		-0,336	-3,571	3,712	-2,770	2,549
Pontós (1L)	1971	2010	39	0,315		0,836	-4,004	5,887	-3,147	4,279
Port de la Selva (2L)	1971	2010	39	0,387		0,866	-3,253	5,795	-2,365	4,353
Cadaqués (13E)	1971	2010	39	-0,980		-1,167	-3,886	2,132	-3,314	1,182

Tabla K.16. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para la precipitación estacional anual en primavera.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	39	-2,903	**	-3,469	-6,813	-0,314	-5,664	-1,550
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	39	-3,169	**	-2,998	-6,030	-0,735	-5,206	-1,335
Cabanelles (3C)	1971	2010	39	-3,484	***	-3,071	-5,590	-1,020	-5,274	-1,399
Agullana (4C)	1971	2010	39	-2,831	**	-2,751	-4,840	-0,292	-4,338	-0,877
Llers (5C)	1971	2010	39	-2,686	**	-2,279	-4,079	-0,052	-3,662	-0,609
Espolla (6C)	1971	2010	39	-2,589	**	-2,334	-4,159	-0,035	-3,681	-0,719
Peralada (7C)	1971	2010	39	-2,274	*	-1,642	-3,231	0,335	-2,829	-0,221
Vilamacolum (8C)	1971	2010	39	-2,177	*	-1,483	-3,008	0,392	-2,647	-0,110
Figuera (9C)	1971	2010	39	-1,935	+	-1,659	-4,007	0,553	-3,335	0,054
Pontós (1L)	1971	2010	39	-2,468	*	-1,880	-3,596	0,174	-3,249	-0,398
Port de la Selva (2L)	1971	2010	39	-2,008	*	-1,425	-3,206	0,445	-2,758	-0,023
Cadaqués (13E)	1971	2010	39	-3,508	***	-1,600	-3,028	-0,375	-2,579	-0,662

Tabla K.17. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para la precipitación estacional anual en verano.

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	40	1,843	+	0,559	-0,276	1,600	0,000	1,316
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	40	1,924	+	0,584	-0,250	1,657	0,000	1,369
Cabanelles (3C)	1971	2010	40	-0,572		-0,167	-0,885	0,773	-0,700	0,500
Agullana (4C)	1971	2010	40	0,898		0,286	-0,550	1,362	-0,333	1,003
Llers (5C)	1971	2010	40	0,000		0,000	-0,700	0,924	-0,539	0,680
Espolla (6C)	1971	2010	40	1,713	+	0,596	-0,323	1,604	-0,119	1,360
Peralada (7C)	1971	2010	40	1,248		0,369	-0,379	1,150	-0,251	0,923
Vilamacolum (8C)	1971	2010	40	0,991		0,231	-0,426	1,133	-0,300	0,909
Pontós (1L)	1971	2010	40	-0,828		-0,260	-0,857	0,763	-0,650	0,500
Port de la Selva (2L)	1971	2010	40	1,609		0,429	-0,358	1,351	-0,118	1,046

Tabla K.18. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para la frecuencia del número de días de precipitación anual en el periodo de estudio (1971-2010).

Series temporales	Periodo			Test Mann-Kendall		Sen's slope estimate				
	Inicio	Final	n	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Albanyà (1C)	1971	2010	40	0,315		0,093	-0,684	0,976	-0,472	0,765
Maçanet de Cabrenys (2C)	1971	2010	40	1,084		0,298	-0,499	1,193	-0,272	1,002
Cabanelles (3C)	1971	2010	40	0,641		0,251	-0,734	1,301	-0,490	0,999
Agullana (4C)	1971	2010	40	1,363		0,601	-0,497	1,714	-0,243	1,513
Llers (5C)	1971	2010	40	1,247		0,505	-0,490	1,696	-0,220	1,439
Espolla (6C)	1971	2010	40	2,388	*	1,016	-0,106	2,025	0,138	1,761
Peralada (7C)	1971	2010	40	1,293		0,632	-0,633	1,598	-0,306	1,408
Vilamacolum (8C)	1971	2010	40	1,247		0,492	-0,514	1,345	-0,317	1,128
Pontós (1L)	1971	2010	40	0,757		0,277	-0,623	1,079	-0,337	0,893
Port de la Selva (2L)	1971	2010	40	1,293		0,529	-0,670	1,626	-0,298	1,397
Cadaqués (13E)	1971	2010	40	0,315		0,093	-0,684	0,976	-0,472	0,765

Tabla K.19. Resultados de tendencias según el test de Mann-Kendall para la precipitación máxima registrada en 24 horas de precipitación diaria anualmente en el periodo de estudio (1971-2010).

L. Tabla de Radiación solar extraterrestre en MJ m⁻² d⁻¹ (Allen et al., 1998)

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)]^1 \quad (\text{valores en MJ m}_2 \text{ día}^{-1})^2$$

Latitud Norte	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0,0	2,6	10,4	23,0	35,2	42,5	39,4	28,0	14,9	4,9	0,1	0,0
68	0,1	3,7	11,7	23,9	35,3	42,0	38,9	28,6	16,1	6,0	0,7	0,0
66	0,6	4,8	12,9	24,8	35,6	41,4	38,8	29,3	17,3	7,2	1,5	0,1
64	1,4	5,9	14,1	25,8	35,9	41,2	38,8	30,0	18,4	8,5	2,4	0,6
62	2,3	7,1	15,4	26,6	36,3	41,2	39,0	30,6	19,5	9,7	3,4	1,3
60	3,3	8,3	16,6	27,5	36,6	41,2	39,2	31,3	20,6	10,9	4,4	2,2
58	4,3	9,6	17,7	28,4	37,0	41,3	39,4	32,0	21,7	12,1	5,5	3,1
56	5,4	10,8	18,9	29,2	37,4	41,4	39,6	32,6	22,7	13,3	6,7	4,2
54	6,5	12,0	20,0	30,0	37,8	41,5	39,8	33,2	23,7	14,5	7,8	5,2
52	7,7	13,2	21,1	30,8	38,2	41,6	40,1	33,8	24,7	15,7	9,0	6,4
50	8,9	14,4	22,2	31,5	38,5	41,7	40,2	34,4	25,7	16,9	10,2	7,5
48	10,1	15,7	23,3	32,2	38,8	41,8	40,4	34,9	26,6	18,1	11,4	8,7
46	11,3	16,9	24,3	32,9	39,1	41,9	40,6	35,4	27,5	19,2	12,6	9,9
44	12,5	18,0	25,3	33,5	39,3	41,9	40,7	35,9	28,4	20,3	13,9	11,1
42	13,8	19,2	26,3	34,1	39,5	41,9	40,8	36,3	29,2	21,4	15,1	12,4
40	15,0	20,4	27,2	34,7	39,7	41,9	40,8	36,7	30,0	22,5	16,3	13,6
38	16,2	21,5	28,1	35,2	39,9	41,8	40,8	37,0	30,7	23,6	17,5	14,8
36	17,5	22,6	29,0	35,7	40,0	41,7	40,8	37,4	31,5	24,6	18,7	16,1
34	18,7	23,7	29,9	36,1	40,0	41,6	40,8	37,6	32,1	25,6	19,9	17,3
32	19,9	24,8	30,7	36,5	40,0	41,4	40,7	37,9	32,8	26,6	21,1	18,5
30	21,1	25,8	31,4	36,8	40,0	41,2	40,6	38,0	33,4	27,6	22,2	19,8
28	22,3	26,8	32,2	37,1	40,0	40,9	40,4	38,2	33,9	28,5	23,3	21,0
26	23,4	27,8	32,8	37,4	39,9	40,6	40,2	38,3	34,5	29,3	24,5	22,2
24	24,6	28,8	33,5	37,6	39,7	40,3	39,9	38,3	34,9	30,2	25,5	23,3
22	25,7	29,7	34,1	37,8	39,5	40,0	39,6	38,4	35,4	31,0	26,6	24,5
20	26,8	30,6	34,7	37,9	39,3	39,5	39,3	38,3	35,8	31,8	27,7	25,6
18	27,9	31,5	35,2	38,0	39,0	39,1	38,9	38,2	36,1	32,5	28,7	26,8
16	28,9	32,3	35,7	38,1	38,7	38,6	38,5	38,1	36,4	33,2	29,6	27,9
14	29,9	33,1	36,1	38,1	38,4	38,1	38,1	38,0	36,7	33,9	30,6	28,9
12	30,9	33,8	36,5	38,0	38,0	37,6	37,6	37,8	36,9	34,5	31,5	30,0
10	31,9	34,5	36,9	37,9	37,6	37,0	37,1	37,5	37,1	35,1	32,4	31,0
8	32,8	35,2	37,2	37,8	37,1	36,3	36,5	37,2	37,2	35,6	33,3	32,0
6	33,7	35,8	37,4	37,6	36,6	35,7	35,9	36,9	37,3	36,1	34,1	32,9
4	34,6	36,4	37,6	37,4	36,0	35,0	35,3	36,5	37,3	36,6	34,9	33,9
2	35,4	37,0	37,8	37,1	35,4	34,2	34,6	36,1	37,3	37,0	35,6	34,8
0	36,2	37,5	37,9	36,8	34,8	33,4	33,9	35,7	37,2	37,4	36,3	35,6

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0j.htm#annex 2. meteorological tables>

¹ los valores de Ra durante el día 15 del mes proveen una buena estimación (error <1%) de Ra promediada de todos los días del mes. Solamente en casos de latitudes muy elevadas (mayores a 55° N o S) y durante los meses invernales, las desviaciones podrían ser mayores al 1 %.

² los valores pueden ser convertidos a sus equivalentes en mm día-1 si se dividen por $\Lambda = 2,45$.

M. Evapotranspiración potencial y balance hídrico

Thornthwaite (1948) introdujo el concepto de evapotranspiración, que lo definió como la pérdida de agua correspondiente a la energía disponible. De la combinación de este concepto con la precipitación media de un punto determinado surge el nuevo concepto de denominado balance hídrico, ambos son valores independientes entre sí.

La evapotranspiración potencial (ETP) depende de manera directa de la temperatura y de la insolación, como ya se ha explicado en el capítulo 2.

En nuestra área de estudio, las características de la temperatura propias del clima mediterráneo, se caracteriza por unas temperaturas que suelen ser en conjunto para toda el área moderadas (con una media anual sobre los 15°C), con inviernos relativamente fríos y veranos muy calurosos. Sin embargo, estos datos deben matizarse entre diferentes puntos de la cuenca debido principalmente a factores físicos como el relieve y la altitud o la situación interior de continentalidad. Lo mismo sucede en relación con las precipitaciones y su comportamiento general de escasez en verano, y que no afecta a las series localizadas en zonas altas del interior de la cuenca.

En base a estos rasgos climáticos, podemos dividir la cuenca en diferentes zonas. Por un lado, la franja de la costa, la llanura i las áreas de relieves de escasa altitud, que se encuentran bajo los rasgos de un clima seco subhúmedo caracterizado por unos periodos estivales muy secos y con escasas precipitaciones en los meses de julio y agosto, y inviernos suaves por el efecto termorregulador del mar mediterráneo. Estas condiciones se localizan en el sector oriental y meridional de la cuenca, y a medida que nos desplazamos al interior de la cuenca se convierte progresivamente en más húmedo que también se incrementa con la altura. En los sectores más montañosos en la zona occidental y septentrional se caracteriza por un comportamiento térmico más fresco y unas precipitaciones más elevadas, que se asemejan más a los climas templados de tendencia atlántica.

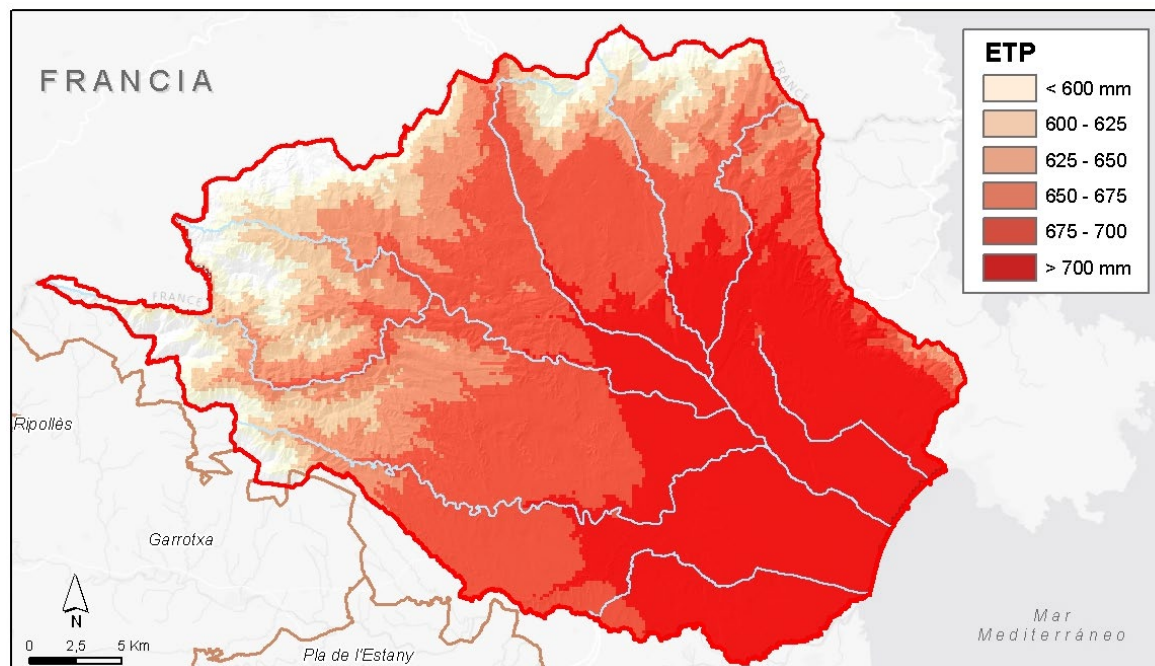


Figura M.1. Distribución de la evapotranspiración potencial (ETP) en la cuenca de la Muga.

El mapa de distribución de la evapotranspiración potencial permite observar valores elevados por encima de 700 mm en la zona meridional situada a menor altitud. Esta localización está en función directa con el aumento térmico. Por consiguiente, en las zonas más altas de la cuenca en la cabecera los valores son menores por debajo de los 600 mm.

En el medio natural las disponibilidades de agua no siempre cubren las necesidades de la evapotranspiración potencial, por ello el método más simple de aproximación a la evapotranspiración real (ETR) es mediante la diferencia que se produce entre las precipitaciones y la ETP calculada. El resultado se presenta en el siguiente mapa.

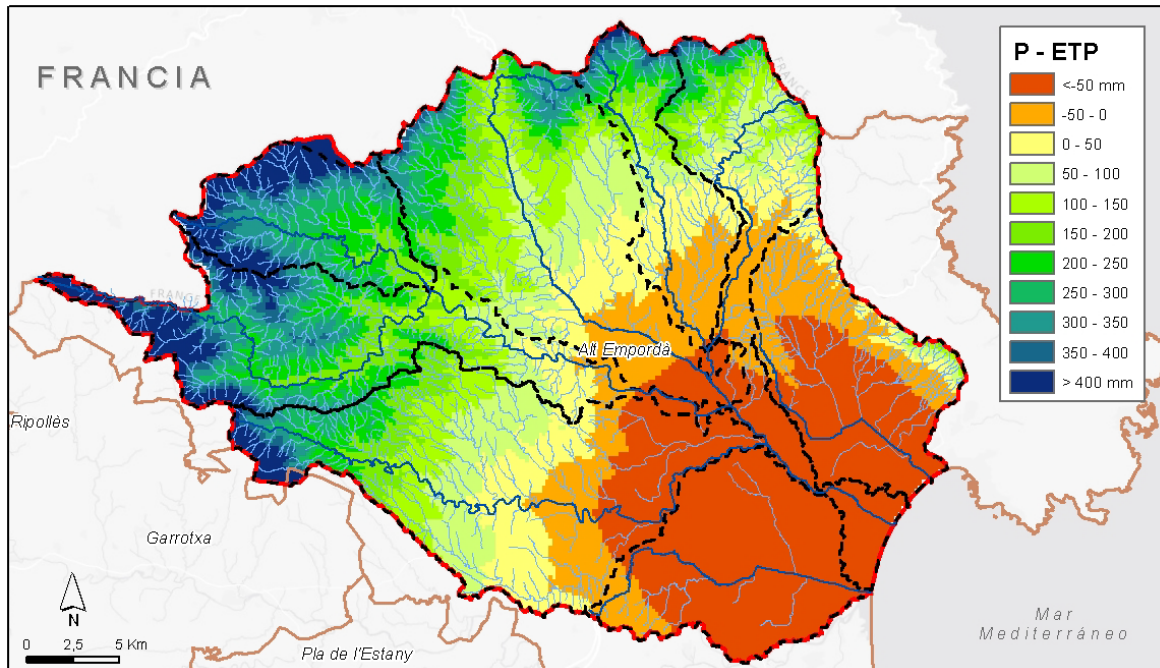


Figura M.2. Distribución de la disponibilidad hídrica, con la diferencia entre precipitación y evapotranspiración potencial (ETP) en la cuenca de la Muga.

La realidad que muestra el mapa es más compleja debido a la capacidad del suelo de retener o almacenar agua. Pero lo importante es lo que indica en relación con las diferentes situaciones que se plantean: a) si la precipitación es inferior a la ETP, existe un déficit hídrico, b) Si la ETP es igual a la precipitación, no hay infiltración ni escorrentía, y finalmente, c) si la ETP es inferior a las precipitaciones, se produce un excedente hídrico. De este excedente hídrico que se genera, una parte puede ser retenido en el suelo por infiltración, mientras la otra discurre libremente como agua de escorrentía que afecta a la respuesta fluvial en los episodios extremos con un aumento importante de sus caudales. Las modificaciones y cambios de usos del suelo afectan de una forma muy importante en la respuesta hidrológica y en las condiciones de capacidad del suelo de retención.

N. Aspectos morfológicos de la cuenca de la Muga

Cada cuenca tiene una manera particular de responder a una tormenta. La contestación específica viene definida por las características, entre otras, tan importantes como la forma, superficie y las características de la red de drenaje. Por ejemplo, cuencas redondeadas generan hidrogramas de respuesta con picos importantes, pues las contribuciones de los afluentes llegan aproximadamente al mismo tiempo, mientras que cuencas alargadas generan gráficos suavizados al tributar en los afluentes de forma más progresiva con más separación.

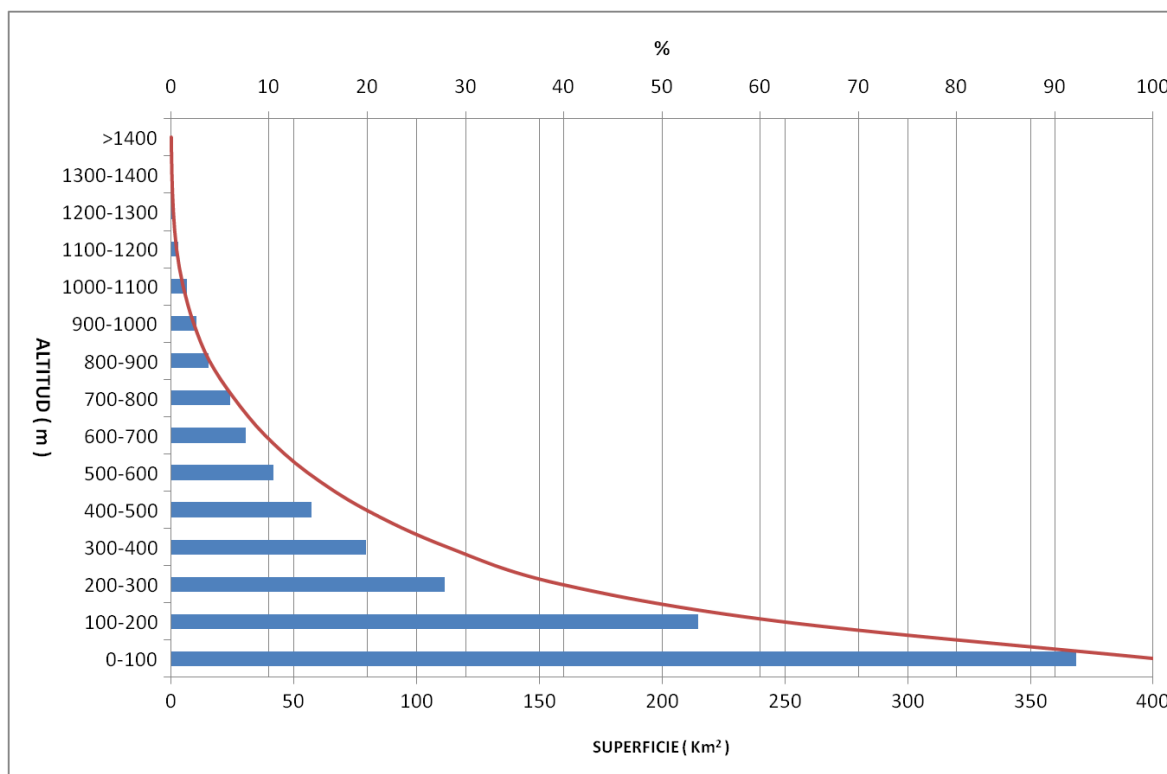


Figura N.1. Curva hipsométrica y polígono de frecuencias de la cuenca total del río Muga.

El relieve, es una variable que incide tanto directa como indirectamente, en muchos de los elementos que condicionan el comportamiento hidrológico de una cuenca. El relieve no sólo condiciona la mayor o menor abundancia de precipitaciones y su distribución, sino que además este interviene en la división del espacio en un número determinado de cuencas fluviales; en la orientación de los distintos valles; a dar al proceso de escorrentía del agua de

más o menos energía en función de los desniveles topográficos, etcétera. Por estas razones, tiene un especial interés el estudio del relieve en la cuenca hidrográfica desde un punto de vista cualitativo como cuantitativo. La extensión de la cuenca de la Muga tal como se considera dentro de la ACA, para su gestión tiene una superficie total de 961 km².



Fotografía 8. Granulometría de los guijarros en el tramo alto del cauce de la Muga a su paso por Sant Llorenç de la Muga.

Ñ. Descripción de episodios y efectos de inundaciones históricas o remarcables en la cuenca de la Muga (1913-2014)

La cuenca de la Muga suele sufrir inundaciones con cierta periodicidad, debido principalmente a sus características pluviométricas extremas, y a sus particularidades geomorfológicas y a la modificación del territorio por parte del hombre, con cambios de usos de suelo y a la ocupación de zonas vulnerables al riesgo.

La revisión y estudio de estos fenómenos históricos permite diagnosticar las principales problemáticas de la zona de estudio, detectando puntos conflictivos de la red fluvial y estudiar el fenómeno hidrometeorológico que provoca el incremento del caudal y genera el riesgo sobre la población y el territorio.

Se han recogido los eventos históricos que han afectado a la cuenca y se han descrito los que han tenido cierta relevancia, ya sea por la magnitud del fenómeno hidrológico o meteorológico o por su impacto socioeconómico, describiendo de forma breve el suceso hidrometeorológico y los efectos que produjo.

Los eventos han sido recogidos y descritos en diferentes obras y fuentes bibliográficas. Se ha realizado una extracción de la información que ha puesto a disposición pública la Agència Catalana de l'Aigua (ACA) sobre la planificación del espacio fluvial en la cuenca de la Muga.

La cronología que se presenta recoge las tormentas o 'aiguats' más significativos desde el siglo XX hasta 2014. Y sus repercusiones más importantes en los diferentes municipios.

29 de septiembre de 1913. "Aiguat de Sant Miquel"

Se estima una intensidad de 220 mm/24h.

Afecto al municipio de Castelló d'Empúries se quedó incomunicado y sin suministro eléctrico durante los tres/cuatro días que duraron las precipitaciones a causa de una 'llevantada'. Y el municipio de Cabanes, donde los niveles del caudal de la Muga y el Llobregat aumentaron entre 2 y 3 m, provocando la pérdida de toda la cosecha.

14-17 de diciembre de 1932

La Muga y el Fluvià se desbordaron, a causa de las intensas precipitaciones, y el tránsito quedo totalmente paralizado, principalmente en la parte sur de la comarca. La vía del tren también se vio afectada en numerosos puntos.

En la estación de aforos de Boadella, se registró el 15 de diciembre un caudal pico de 249 m³/s y de 207 m³/s el día 17 de diciembre.

Afecto a los municipios de Figueres, Pont de Molins, Vilabertran, Peralada, Cabanes y Castelló d'Empúries.

17-18 de octubre de 1940. "Aiguat de Sant Lluch"

Los datos pluviométricos que se recogieron fueron en Francia, y no en la cuenca por el motivo histórico en el que se produjo.

Sus efectos catastróficos por el desbordamiento de la Muga se produjeron en los municipios de Peralada, Vilanova de la Muga y Castelló d'Empúries. Se estima que la Muga tuvo a su paso por Castelló una punta de caudal de 1200 m³/s.

28 de septiembre de 1941

En el municipio de Peralada, la Muga tuvo una crecida de duración menor que la de octubre de 1940 pero de intensidad similar. Sobrepasando los muros de contención que habían sido reconstruidos, inundando campos de cultivo y dañando carreteras.

24 de febrero de 1944

Se produjo un gran temporal de lluvia y viento que provoco el desbordamiento de los ríos Muga y Manol.

En el municipio de Figueres, se inundaron campos y destrozó el terraplén de sujeción de las vías del tren.

Febrero de 1959

Durante la primera quincena de febrero llovió sin interrupción y con mucha intensidad. En muchas zonas, especialmente de montaña, se llegaron a registrar un total de más de 200 mm.

En la estación de aforo de Boadella se registró un caudal máximo de 340 m³/s.

Las zonas más afectadas se localizaron en los municipios de Sant Pere Pescador, l'Armentera, Roses, Castelló d'Empúries, Peralada y otras poblaciones de la parte baja de la cuenca.

19-20 de septiembre de 1971

Se recogieron en Figueres, 535 mm en menos de 24h.

Aunque los municipios más afectados fueron Castelló d'Empúries y Figueres, sus efectos se dejaron sentir en los municipios de Vilatenim, Vila-sacra, Santa Llogaia d'Àlguema y a Cabanes.

5-6 de enero de 1977

En algunos puntos de la cuenca se registraron precipitaciones de 290 mm en dos días.

Se produjo un temporal de levante, y las zonas más afectadas fueron los municipios situados en la costa. Se produjeron daños extensos en las zonas de cultivo.

17 de enero de 1979

Se desencadenó un temporal durante cinco días que provocó numerosos destrozos e inundaciones. Se inundaron muchos campos y se cortaron carreteras importantes como la autopista A-7 y la N-II.

En el embalse de Boadella se acumularon 12 hm³ en tres días, quedando a 18 hm³ de su capacidad máxima.

20 de enero de 1982

Las lluvias, que cayeron de forma intermitente en pocos días, hicieron que se registrasen más de 200 mm.

Los municipios más afectados fueron Castelló d'Empúries, Figueres y Peralada.

15-18 de febrero de 1982

Los chubascos provocaron fuertes inundaciones y se tuvieron que cortar diversas carreteras, dejando algunas poblaciones incomunicadas.

El embalse de Boadella, que estaba casi lleno a consecuencia de las lluvias caídas durante el mes de enero, recibió una gran cantidad de agua procedente de la cabecera de la Muga y de la subcuenca del río Arnera, alcanzando el 93-95% de su capacidad, por lo que se decidió una abertura de compuertas de la presa. El primer día de lluvia se recogieron 8 hm³, y al día siguiente 17,5 hm³. Se vaciaron unos 3,5 hm³ manteniendo una reserva de 59 hm³.

Los municipios más afectados fueron Castelló d'Empúries y Figueres, con inundaciones y destrucción de infraestructuras de canalización. También el municipio de Vilabertran.

Las aguas de la Muga a su paso por Castelló d'Empúries tenían una altura de 5,40 m y un caudal de 1320 m³/s.

1-5 de marzo de 1986

Llovió durante cinco días seguidos produciéndose grandes inundaciones. El embalse de Boadella se llenó hasta el 70% de su capacidad. El aumento se produjo por la combinación de lluvias y del deshielo de la nieve en las cimas de las montañas.

La fuerte crecida de los ríos Llobregat, la Muga, Manol y Orlina provocaron desbordamientos que afectaron a varias carreteras en la comarca y la destrucción de infraestructuras de canales de riego.

Los municipios más afectados fueron Castelló d'Empúries, Figueres y Peralada.

15 de octubre de 1986

Las lluvias más intensas se concentraron en la cabecera de la subcuenca del río Llobregat. La principal causa de las inundaciones que se produjeron fue consecuencia de los incendios que se produjeron el verano anterior, dado que aumentó notablemente la capacidad de escorrentía de las zonas quemadas. La avenida se extendió hasta los municipios de Biure, Masarac, Peralada, Cabanes y el núcleo de Vilarnadal.

En el municipio de la Jonquera también se desbordó el río Llobregat, inundando y cortando importantes vías de comunicación. Según la memoria histórica, no se recordaban inundaciones de la misma magnitud desde el año 1913 ('aiguat de Sant Miquel').

3 de octubre de 1987

Se produjeron importantes inundaciones, especialmente en la zona litoral, a causa del temporal de levante que se desencadenó. Según la prensa, "las inundaciones hicieron que l'Alt Empordà pareciera un gran lago".

El embalse de Boadella recibió 17 hm^3 y dejó salir por sus compuertas $3,5 \text{ hm}^3$. La energía con la que se desalojó el agua del embalse provocó numerosos daños aguas abajo, especialmente en el sector agrícola.

En Peralada se registró una lluvia de 186 mm.

En el municipio de Castelló d'Empúries se recogieron en dos días de precipitaciones 300 mm, y la población quedó incomunicada por carretera. El municipio más afectado por los destrozos fue Empuriabrava. En el municipio de Figueras los efectos recordaron a los que se produjeron en octubre de 1940.

3-4 de diciembre de 1987

Esta tormenta afectó a la provincia de Girona, produciéndose las lluvias más intensas en las cuencas de la Muga, el Fluvià y el Bajo Ter. Las precipitaciones, que fueron mayores en las cabeceras de los ríos, con una media en la cuenca de la Muga de 220 mm en 18 horas, y con una marcada influencia orográfica y una gran variación espacial, produjeron afectaciones locales importantes. En la cabecera de la Muga se llegó, según estimaciones, a unos caudales de $790 \text{ m}^3/\text{s}$ en la entrada del embalse. Este llegó a almacenar un 40% del volumen del agua que recibió. El máximo caudal desalojado fue de $675 \text{ m}^3/\text{s}$.

El período de retorno estimado de la riada es: en Boadella, con un máximo de $675 \text{ m}^3/\text{s}$, de entre 25 y 50 años; en Castelló d'Empúries, con un caudal máximo registrado de $730 \text{ m}^3/\text{s}$, de entre 5 y 10 años.

Los municipios más afectados por el caudal de desalojo del embalse fue Cabanes y Vilabertran.

18 de noviembre de 1989

La comarca del Alt Empordà paso de una época de fuerte sequía a un episodio de inundaciones. La fuerte lluvia recibida dejó incomunicados muchos pueblos ampurdaneses. El agua provocó la destrucción 10 km de canalizaciones.

En la ciudad de Figueres se registraron unas precipitaciones totales de 180 mm en tres días. El municipio sufrió inundaciones y quedó incomunicado por carretera.

El municipio de Capmany fue uno de los más afectados, que presencié una de las riadas más importantes de los últimos 100 años, con el desbordamiento de la riera de Merdançà.

Los municipios de Peralada y Cabanes sufrieron la desaparición o rotura de puentes. El municipio de Vilanova de la Muga sufrió la rotura de la esclusa en la base con el desbordamiento del río Llobregat y que causó problemas de abastecimiento de agua a poblaciones costeras como Castelló d'Empúries. El municipio de la Jonquera también fue afectado por el episodio con el corte de la N-II (km 775).

1 de junio de 1992

La ciudad de Figueres y diversas zonas de la comarca se vieron afectadas por las lluvias torrenciales que cayeron en 48 horas, y que dejaron un registro total de 130 mm. La circulación por carretera fue muy complicada en ese periodo.

6 de septiembre de 1992

Los aguaceros provocaron grandes desperfectos en algunas poblaciones del interior de la comarca, aguas arriba del embalse de Boadella. Por su lado, el temporal de levante también provocó graves desperfectos en el litoral.

Se registraron diferentes precipitaciones: Maçanet de Cabrenys, 168 mm; Darnius, 115 mm; La Jonquera, 70 mm; Figueres, 3 mm.

El embalse de Boadella subió en pocas horas el nivel de agua hasta tres metros, obligando a adoptar la medida preventiva de abertura de compuertas, ya que la capacidad del embalse

superaba el 80%. Se vieron afectados los núcleos urbanos de Sant Llorenç de la Muga y Albanyà.



Fotografía 9. Marca histórica de hasta donde llegó la mugada el 26-9-1992 en Sant Llorenç de la Muga.

1 de noviembre de 1993

Se registraron totales de precipitación de 270 mm en cuatro días, dejando diversos núcleos habitados incomunicados y con inundaciones. La carretera N-260 se inundó en varios puntos kilométricos (15, 23 y 26).

Los municipios de Roses y Empuriabrava quedaron aislados durante unas horas a causa del desbordamiento de las rieras. El municipio de Figueres sufrió inundaciones y problemas de circulación.

10 de octubre de 1994

Se produjeron precipitaciones intensas en toda la cuenca que provocaron las crecidas de los diferentes ríos, especialmente en la parte baja de la cuenca, dando lugar a inundaciones generalizadas.

Las crecidas obligaron a cortar diversas carreteras de la zona de Figueres, como la C-252 entre Peralada y Garriguella o el puente sobre el Llobregat (Vilabertran-Peralada). La Muga alcanzó casi su nivel máximo, pero no llegó a desbordarse.

Las precipitaciones registradas fueron: Darnius, 138 mm; Esponellà, 121 mm; Cabanes, 121,8 mm; Peralada, 91 mm; Castelló d'Empúries, 153 mm;

19 de octubre de 1994

Se produce un segundo episodio de lluvias torrenciales después de apenas una semana de las anteriores que afectan la zona del Empordà. Las precipitaciones fueron de menor magnitud que las registradas el pasado día 10 de octubre. Sin embargo, estas provocaron el desbordamiento de rieras, la inundación de diversas poblaciones y volvieron a provocar el corte de la carretera C-252 de Peralada a Garriguella, y de la C-68 de Roses a Figueres.

Se recogieron los siguientes volúmenes de precipitación: Darnius, 39 mm; Esponellà, 19 mm (registrado el día 18); Cabanes, 64,5 mm; Peralada, 60,2 mm; Castelló d'Empúries, 74,5 mm;

28-29 de enero de 1996

Episodio de precipitaciones torrenciales, principalmente, en la cabecera de la cuenca de la Muga. El embalse de Boadella tuvo que abrir sus compuertas para desalojar parte del volumen acumulado. Este hecho provocó el aumento del caudal de la Muga y su desbordamiento, llegando a inundar las pasarelas de las carreteras que atraviesa el río.

También diversas carreteras de la zona de Figueres quedaron cortadas y algunos campos inundados por el desbordamiento del Manol.

12 de noviembre de 1999

En algunos lugares se registraron precipitaciones de hasta 145 mm en 90 minutos, provocando el desbordamiento de diversos cursos fluviales.

La concentración de la precipitación en el macizo de l'Albera y la zona de la Alta Garrotxa provocaron el desbordamiento de los ríos Llobregat (favorecido por el crecimiento súbito de las rieras Anyet y Orlina) y Manol. Los municipios que se vieron afectados por este suceso fueron la Jonquera, Garriguella, Peralada y Figueres. Y en la zona del río Manol, afecto a Vilafant, y en Palol de Vilatenim que sufrieron desprendimientos provocando la pérdida de canales de riego, y destrozos en diversas infraestructuras y vías de comunicación.

11 de abril de 2002

Intensas precipitaciones se localizaron en la subcuenca del Manol. Las cantidades recogidas y estimadas para un periodo de retorno de 50 años provocaron inundaciones en la zona sur y este de Figueres. El nivel del río sobrepaso la mayoría de los muros de contención y medidas de retención.

En Figueres se registró una precipitación de 50 mm en 30 minutos, produciendo el desbordamiento del Rec Susanna, el Canal dels Regants y el Rec del Mal Pas en esta población. También se desbordo la Riera Galligans que junto al Manol, afecto a los municipios de Vilatenim, Palol y Vilafant.

Los registros pluviométricos recogidos en diferentes estaciones fueron: Darnius, 325 mm; Agullana, 230 mm; La Jonquera, 216 mm; Maçanet de Cabrenys, 160 mm; Sant Llorenç de La Muga, 120 mm; Navata (Manol), 120 mm; Figueres, 52 mm; Llers, 92 mm; Banyoles, 72 mm; Ventalló, 47 mm; Torroella de Fluvià, 36 mm; Sant Pere Pescador, 26 mm; Castelló d'Empúries, 29 mm; Roses, 18 mm; Far d'Empordà, 93 mm; Espolla, 34 mm; Portbou, 11 mm; Peralada, 37 mm; Cabanes, 73 mm; Pont de Molins, 120 mm; Boadella, 390 mm;

12-16 de octubre de 2005

Toda la cuenca de la Muga, y especialmente las rieras litorales, se vieron afectadas por las precipitaciones.

Las lluvias produjeron un aumento alrededor de 4 hm³ del volumen de agua en el embalse de Boadella y una mínima repercusión sobre los ríos principales, que registraron aumentos máximos de caudal de 4,3 m³/s en el Manol y 7,7 m³/s en el Llobregat. Por el contrario, cerca de la costa se produjeron crecidas importantes de las rieras litorales y un aumento del nivel de agua de más de 3 m en 24 h en el embalse de Portbou.

La persistencia de las precipitaciones generó la reactivación de crecidas en el Llobregat con valores poco importantes y un descenso de los caudales drenados por la cuenca. Al final del episodio la cabecera en Boadella registro más de 150 mm acumulados, recogidos en el embalse principalmente por el caudal del Arnera. Los valores de caudal punta llegaron a superar los 100 m³/s, aportando un volumen total de 7 hm³ en el embalse quedando fuera del escenario de excepcionalidad.

Los registros pluviométricos en diversas estaciones de la cuenca fueron: Maçanet de Cabrenys, 166 mm; Vilamaniscle, 110 mm; Presa de Portbou, 119 mm; Peralada, 76 mm/h (intensidad punta); Mont Perdut, 67 mm/h (intensidad punta);

12-15 de septiembre de 2006

Los chubascos, que dejaron precipitaciones medias en muchos puntos del territorio por encima de 200 mm acumulados en 4 días, fueron especialmente intensos el día 14 de septiembre. De hecho, el día 14 en 3 horas casi se triplicaron las cantidades recogidas hasta ese momento.

Las consecuencias del aguacero se pueden resumir en árboles caídos, interrupción del servicio eléctrico, cuatro carreteras cortadas (N-II, C-252, C-31, C-68) y otras secundarias, inundaciones, circulación ferroviaria afectada y destrucción con hundimientos de tejados. Especialmente el día 14 de septiembre con más de 150 salidas por parte de los bomberos.

Los municipios más afectados fueron Vilamalla, Fortià, Castelló d'Empúries y Figueres.

Se registraron los siguientes volúmenes de precipitación: Castelló d'Empúries, 256,1 mm (total acumulado) y 98 mm (día 14); Peralada, 229 mm (total acumulado); Portbou, 221,8 mm (total acumulado); Cabanes d'Empordà, 113 mm (día 14); Espolla, 80,3 mm (día 14);

15-16 de marzo de 2011

Se activó la fase de prealerta del Plan Especial de Emergencias para Inundaciones en Cataluña (Inuncat), por la situación de previsión de fuertes caudales de ríos y rieras en la cuenca de la Muga. Se registro un caudal de 356 m³/s en la Muga.

23 de diciembre de 2011

Carreteras cortadas por inundaciones en la calzada en los municipios de Vilafant (GIP-5129), Peralada (GIP-6042) y Vilaür (GIV-6226).

12 de septiembre de 2012

Se registraron precipitaciones en forma de tormentas locales que afecto principalmente al municipio de Cabanes, que registró 64 l/m².

29-30 de noviembre de 2014

Se producen importantes precipitaciones por un temporal de levante que causa pérdidas por valor de más de un millón de euros, según el sindicato agrario Unió de Pagesos. Además de las inundaciones, y las pérdidas de cosechas, el valor de las pérdidas se centra en la recuperación de los desperfectos en fincas y accesos por desprendimientos y movimientos del terreno, pérdida de alimento para los animales por el agua, y pérdida de animales por ahogamiento, entre otros.

Los municipios más afectados por las inundaciones han sido Bàscara, Borrassà, Cabanes, Castelló d'Empúries, el Far d'Empordà, Figueres, Garrigàs, Palau de Santa Eulàlia, Peralada, Pontós, Riumors, Santa Llogaia, Ventalló, Viladamat, Vilafant y Vilamalla.

Se denuncia una falta de limpieza en ríos, márgenes y canales de riego que ha agravado el episodio.

