



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME TÉCNICO
para

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
Secretaría de Estado de Medio Ambiente
Dirección General del Agua

**ASISTENCIA TÉCNICA, INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO TECNOLÓGICO EN MATERIAS
DE COMPETENCIA DE LA DIRECCIÓN
GENERAL DEL AGUA (2007-2011)**

**ELABORACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA DE
INDICADORES HIDROLÓGICOS Y ESTUDIOS PARA LA
IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SEQUÍAS
CATÁLOGO Y PUBLICACIÓN DE SEQUÍAS HISTÓRICAS**

INFORME
TOMO ÚNICO

Clave CEDEX: 42-405-1-082

Madrid, noviembre de 2013

Centro de Estudios Hidrográficos



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN Y
MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME TÉCNICO

para

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Secretaría de Estado de Medio Ambiente

Dirección General del Agua

ASISTENCIA TÉCNICA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN MATERIAS DE COMPETENCIA DE LA DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA (2007-2011)

**ELABORACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA DE
INDICADORES HIDROLÓGICOS Y ESTUDIOS PARA LA
IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SEQUÍAS**

CATÁLOGO Y PUBLICACIÓN DE SEQUÍAS HISTÓRICAS

INFORME

TOMO ÚNICO

Clave CEDEX: 42-405-1-082

Madrid, noviembre de 2013

Centro de Estudios Hidrográficos



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN Y
MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

TÍTULO:

**ASISTENCIA TÉCNICA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
TECNOLÓGICO EN MATERIAS COMPETENCIA DE LA
DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA (2007-2011)**

**ELABORACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA DE INDICADORES
HIDROLÓGICOS Y ESTUDIOS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y
CARACTERIZACIÓN DE SEQUÍAS**

CATÁLOGO Y PUBLICACIÓN DE SEQUÍAS HISTÓRICAS

INFORME

CLIENTE:

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
Secretaría de Estado de Medio Ambiente
Dirección General del Agua

EL PRESENTE INFORME CONSTITUYE UN DOCUMENTO OFICIAL DE ESTE TRABAJO Y, DE ACUERDO CON LAS NORMAS GENERALES DEL ORGANISMO, SU ENTREGA SUPONE EL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTUACIONES TÉCNICAS DEL MISMO REFERENTES A LA MATERIA OBJETO DEL INFORME.

VALIDEZ OFICIAL

VISTO EL CONTENIDO DEL INFORME Y SIENDO ACORDE CON LAS CLÁUSULAS DEL CONVENIO DE COLABORACIÓN CORRESPONDIENTE, SE PROPONE AUTORIZAR SU EMISIÓN.

EL DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS

Fdo. Federico Estrada Lorenzo

AUTORIZA LA EMISIÓN DEL INFORME:

Madrid, a de noviembre de 2013

EL DIRECTOR DEL CEDEX

Fdo. Mariano Navas Gutiérrez

SOLO SON INFORMES OFICIALES DEL CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX) LOS REFRENDADOS POR SU DIRECCIÓN

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ANTECEDENTES.....	1
1.2	OBJETIVO.....	3
1.3	CONTENIDO DEL INFORME	3
2	METODOLOGÍA	7
2.1	ESQUEMA BÁSICO.....	7
2.2	EVENTO DE SEQUÍA	9
2.3	IDENTIFICACIÓN TERRITORIAL: REGIONES SIEH.....	10
3	SEQUÍAS EN SERIES DE PRECIPITACIÓN RECONSTRUIDAS	13
3.1	REGISTRO EN OBSERVATORIOS DE ESPAÑA.....	13
3.2	HOMOGENEIDAD Y RECONSTRUCCIÓN DE SERIES LARGAS	15
3.3	PRECIPITACIÓN EN REGIONES DEL SIEH	22
3.4	IDENTIFICACIÓN DE SEQUÍAS.....	27
3.5	RESULTADOS PARCIALES	37
4	SEQUÍAS EN ESTUDIOS SOBRE CLIMATOLOGÍA HISTÓRICA.....	43
4.1	INTRODUCCIÓN	43
4.2	FUENTES BIBLIOGRÁFICAS Y ÁMBITOS DE INVESTIGACIÓN	44
4.2.1	<i>Ámbito Nacional.....</i>	<i>44</i>
4.2.2	<i>Ámbito Regional y Local</i>	<i>45</i>
4.2.3	<i>Proyectos Científicos</i>	<i>49</i>
4.3	IDENTIFICACIÓN DE SEQUÍAS.....	51
4.3.1	<i>Proxy en Documentos Históricos</i>	<i>51</i>
4.3.2	<i>Rogativas</i>	<i>52</i>
4.3.3	<i>Exenciones de Deudas e Impuestos.....</i>	<i>54</i>
4.4	INCORPORACIÓN DE EVENTOS EN CATSE.....	55
4.4.1	<i>Regiones en los Estudios Históricos</i>	<i>55</i>
4.4.2	<i>Fechas de Inicio y Fin de Sequía</i>	<i>61</i>
4.4.3	<i>Intensidad de la Sequía</i>	<i>62</i>
4.5	INCERTIDUMBRES ASOCIADAS.....	67
5	SEQUÍAS Y DENDROCRONOLOGÍA.....	69
5.1	DENDROCRONOLOGÍA EN ESPAÑA.....	69



5.2	IDENTIFICACIÓN DE SEQUÍAS.....	74
5.2.1	<i>Objetivos</i>	74
5.2.2	<i>Datos Disponibles</i>	74
5.2.2.1	International Tree Ring Database, ITRDB	74
5.2.2.2	Descarga de la Información de Espesores de la Base ITRDB.....	77
5.2.3	<i>Modelo de Regresión Directa con Índice IPE</i>	79
5.2.3.1	Procesado de la Información Dendrocronológica Registrada	79
5.2.3.2	Correlación entre Series Estandarizadas de Lluvia y Dendrocronologías 83	
5.2.3.3	Reconstrucción de las Series IPE.....	88
5.2.3.4	Identificación de Sequías y Contraste con Eventos Históricos	89
5.2.4	<i>Modelo de la Universidad de Castilla-La Mancha</i>	94
5.3	CONTRASTE DE LOS ANÁLISIS DENDROCRONOLÓGICOS	95
6	SEQUÍAS HISTÓRICAS	101
6.1	CONCLUSIONES FINALES	101
6.2	SEQUÍAS CATALOGADAS.....	102
6.3	SEQUÍAS RELEVANTES	116
7	ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS. CATÁLOGO DE SEQUÍAS HISTÓRICAS, CATSE	121
7.1	PROGRAMA DE LA BASE DE DATOS.....	121
7.2	ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA.....	121
7.2.1	<i>Estructura General</i>	121
7.2.2	<i>Tabla Evento</i>	122
7.2.3	<i>Tabla EventoComarca</i>	123
7.2.4	<i>Tabla Comarcas</i>	123
7.2.5	<i>Tabla Zonas</i>	123
7.2.6	<i>Tabla Documentos</i>	124
7.2.7	<i>Tabla EventoDocumento</i>	124
7.2.8	<i>Tabla Datos Meteorológicos</i>	124
7.2.9	<i>Tabla Datos Hidrológicos</i>	125
7.3	FORMULARIOS: ANÁLISIS E INFORMES.....	125
8	EQUIPO DE TRABAJO	129
9	REFERENCIAS	131

ANEXOS en DVD

- Anexo 1. Fichas de Eventos de Sequía del Catálogo de Sequías Históricas
- Anexo 2. Relación de Eventos de Sequías Históricas Catalogados en Cada Zona del Sistema de Indicadores del Estado Hidrológico
- Anexo 3. Publicación sobre Sequías Históricas
- Anexo 4. Series de Lluvia Anual en Regiones SIEH
- Anexo 5. Dendrocronologías ITRDB Españolas Estandarizadas
- Anexo 6. Series del Índice de Precipitación Estandarizado Reconstruidas por el Método de Regresión Directa
- Anexo 7. Mapas Anuales con las Regiones SIEH afectadas por Sequías según las Series del Índice de Precipitación Estandarizado Reconstruidas por el Método de Regresión Directa
- Anexo 8. Informe “La reconstrucción de series hidrológicas mediante dendrocronologías y su utilización para la identificación de sequías en España”, elaborado por el Grupo de Ingeniería del Agua de la Universidad de Castilla La Mancha
- Anexo 9. Contraste de las Sequías Históricas Identificadas por Diferentes Métodos

Base de Datos CatSE en Formato ACCESS



CEDEX

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ZONAS DEL SISTEMA DE INDICADORES DEL ESTADO HIDROLÓGICO (ZONAS SIEH) Y CÓDIGOS RESPECTIVOS	10
FIGURA 2. PORTADA DE AEMET (1943).....	14
FIGURA 3. SERIES MÁS LARGAS EN AEMET (1943).....	15
FIGURA 4. PORTADA DE ALMARZA ET AL. (1996).....	15
FIGURA 5. SERIES LARGAS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL SOBRE ZONAS SIEH.....	17
FIGURA 6. SERIE DE PRECIPITACIÓN ANUAL DE SAN FERNANDO	18
FIGURA 7. SERIE DE PRECIPITACIÓN ANUAL DE GIBRALTAR	18
FIGURA 8. DOBLES MASAS DE LAS SERIES DE SAN FERNANDO (05973) Y GIBRALTAR (06495UK)	19
FIGURA 9. DOBLES ACUMULACIONES DE LAS SERIES DE BARCELONA FABRA (10200-E) Y UNIVERSIDAD (10201-E)	20
FIGURA 10. SERIE DE PRECIPITACIÓN ANUAL DE BARCELONA FABRA (10200-E).....	20
FIGURA 11. SERIE DE PRECIPITACIÓN ANUAL EN SAN SEBASTIÁN	21
FIGURA 12. SERIE DE PRECIPITACIÓN ANUAL EN BILBAO	21
FIGURA 13. SERIE DE PRECIPITACIÓN ANUAL EN OVIEDO	21
FIGURA 14. CRONOGRAMA DE LAS SERIES LARGAS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL	22
FIGURA 15. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE SERIES LARGAS ANUALES Y EN REGIONES DEL SIEH	23
FIGURA 16. SERIE DE LLUVIAS ANUALES EN LA CUENCA DEL ESLA	24
FIGURA 17. SERIE DE LLUVIAS ANUALES EN LA CABECERA DEL TAJO.....	24
FIGURA 18. SERIE DE LLUVIAS ANUALES EN LA CABECERA DEL SEGURA	25
FIGURA 19. SERIE DE LLUVIAS ANUALES EN LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR	26
FIGURA 20. SERIE DE LLUVIAS ANUALES EN LA CUENCA DEL EBRO.....	26
FIGURA 21. SERIE DE LLUVIAS ANUALES EN ESPAÑA	27
FIGURA 22. CRONOGRAMA DE SEQUÍAS DE LA SERIE DE LLUVIA MEDIA EN LA REGIÓN CANTÁBRICA.....	28
FIGURA 23. CRONOGRAMAS DE SEQUÍAS DE LA SERIE DE LLUVIA 01024-E (SAN SEBASTIÁN) Y 01249-I (OVIEDO).....	29
FIGURA 24. CRONOGRAMA DE SEQUÍAS DE LA SERIE DE LLUVIA EN LA CUENCA DEL ESLA.....	29
FIGURA 25. CRONOGRAMA DE SEQUÍAS DE LA SERIE DE LLUVIA EN LA CUENCA CENTRAL DEL GUADIANA	30
FIGURA 26. CRONOGRAMAS DE SEQUÍAS DE LAS SERIES DE LLUVIA 01428 (SANTIAGO DE COMPOSTELA) Y 04452 (BADAJOZ)	31

FIGURA 27. CRONOGRAMA DE SEQUÍAS DE LA SERIE DE LLUVIA EN LAS CUENCAS DEL GUADALETE Y BARBATE	31
FIGURA 28. CRONOGRAMA DE SEQUÍAS DE LA SERIE DE LLUVIA 06495-UK (GIBRALTAR) Y 05973 (SAN FERNANDO).....	32
FIGURA 29. CRONOGRAMA DE SEQUÍAS DE LA SERIE DE LLUVIA EN LA REGIÓN DE CABECERA DEL TAJO.....	33
FIGURA 30. CRONOGRAMA DE SEQUÍAS DE LA SERIE DE LLUVIA 03195 (MADRID)	33
FIGURA 31. CRONOGRAMA DE SEQUÍAS DE LA SERIE DE LLUVIA REGIONAL EN CABECERA DEL SEGURA.....	34
FIGURA 32. CRONOGRAMAS DE SEQUÍAS DE LAS SERIES DE LLUVIA 07228 (ALCANTARILLA MURCIA) Y 08416 (VALENCIA-VIVEROS)	35
FIGURA 33. CRONOGRAMA DE SEQUÍAS DE LA SERIE DE LLUVIA EN LAS CUENCAS DEL NOGUERA RIBAGORZANA	35
FIGURA 34. CRONOGRAMA DE SEQUÍAS DE LA SERIE DE LLUVIA 09434 (ZARAGOZA)	36
FIGURA 35. CRONOGRAMA DE SEQUÍAS DE LA SERIE DE LLUVIA DE CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA.....	36
FIGURA 36. CRONOGRAMA DE SEQUÍAS DE LA SERIE DE LLUVIA 10200-E (BARCELONA)	37
FIGURA 37. CRONOGRAMAS DE SEQUÍA EN SERIES DE LLUVIA DE REGIONES SIEH (1870-2005)	38
FIGURA 38. CRONOGRAMAS DE SEQUÍA EN DIVERSAS SERIES LARGAS DE ESPAÑA.....	39
FIGURA 39. CRONOGRAMAS ANUALES DE SEQUÍAS EN SERIES DE LLUVIA DE REGIONES SIEH (1870-2005).....	40
FIGURA 40. DURACIÓN DE LOS EVENTOS DE SEQUÍAS DEDUCIDAS DE REGISTROS INSTRUMENTALES.....	41
FIGURA 41. LOCALIZACIÓN Y PERIODO DE EXTRACCIÓN DE LAS DENDROCRONOLÓGICAS ITRDB EN ESPAÑA Y CERCANÍAS.....	75
FIGURA 42. FICHERO CON DATOS ITRDB EN SPAI021	78
FIGURA 43. REPARTO DE DENDROCRONOLOGÍAS ESPAÑOLAS EN ITRDB POR ALTITUD	78
FIGURA 44. REPARTO DE DENDROCRONOLOGÍAS ESPAÑOLAS EN ITRDB POR AÑO DE INICIO..	79
FIGURA 45. PROCESADO DE LA SERIE DENDROCRONOLÓGICA SPAI005	80
FIGURA 46. PROCESADO DE LA SERIE DENDROCRONOLÓGICA SPAI008	81
FIGURA 47. PROCESADO DE LA SERIE DENDROCRONOLÓGICA SPAI030	82
FIGURA 48. SERIE IPE ESTIMADA DE LAS LLUVIAS EN AÑO HIDROLÓGICO EN LA REGIÓN SIEH DEL ALTO JÚCAR.....	84
FIGURA 49. SERIE IPE A PARTIR LA SERIE DENDROCRONOLÓGICA SPAI010	84
FIGURA 50. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE LAS SERIES IPE DENDROCRONOLÓGICAS Y DE IPE DE LLUVIA REGIONAL (AZUL: >0,5; VERDE: ENTRE 0,3 Y 0,5; BLANCO: < 0,3).....	85



FIGURA 51. COEFICIENTES DE SELECCIÓN ENTRE LAS SERIES IPE DENDROCRONOLÓGICAS Y DE IPE DE LLUVIA REGIONAL (AZUL: >0,3; VERDE: ENTRE 0,2 Y 0,3; NARANJA: ENTRE 0,15 Y 0,2 BLANCO: < 0,15). LAS SERIES DENDROCRONOLÓGICAS CUYO NOMBRE ESTÁ EN ROJO NO SE HAN UTILIZADO POR SER SERIES CORTAS.	87
FIGURA 52. SERIE IPE DE LLUVIA REGIONAL RECONSTRUIDA EN LA ZONA SIEH DE LA CABECERA DEL TAJO CON APOYO DE DATOS DENDROCRONOLÓGICOS.....	90
FIGURA 53. SERIE IPE DE LLUVIA REGIONAL RECONSTRUIDA EN LA ZONA SIEH DE LOS RÍOS GÁLLEGO Y CINCA CON APOYO DE DATOS DENDROCRONOLÓGICOS	90
FIGURA 54. DURACIÓN DE LAS SEQUÍAS IDENTIFICADAS	94
FIGURA 55. COMPARATIVA DE SEQUÍAS EN 3 REGIONES SIEH: HISTÓRICAS (ROSA); DENDROCRONOLÓGICAS (ROJO), MODELO UCLM Y DE REGRESIÓN DIRECTA. EN VERDE, IPE. EN AZUL, PERIODOS RECONSTRUIDOS	96
FIGURA 56. CONCORDANCIA (%) ENTRE SEQUÍAS HISTÓRICAS Y LAS IDENTIFICADAS POR DENDROCRONOLOGÍA SEGÚN EL MÉTODO DE REGRESIÓN DIRECTA CON DIFERENTES UMBRALES DE INICIO DE SEQUÍA.....	98
FIGURA 57. SEQUÍA EN ESPAÑA EN AÑO 1740/41 SEGÚN LA INTERPRETACIÓN DE DATOS DENDROCRONOLÓGICOS.....	99
FIGURA 58. PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN SOBRE UNA SEQUÍA, TAL COMO APARECE EN EL ANEXO 1.....	108
FIGURA 59. EXTRACTO DEL LISTADO DE EVENTOS DE SEQUÍA DE UNA ZONA, TAL COMO APARECE EN EL ANEXO 2.....	109
FIGURA 60. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LAS SEQUÍAS REGISTRADAS EN LA BASE DE DATOS CATSE.....	109
FIGURA 61. DURACIÓN DE LOS EVENTOS DE SEQUÍA REGISTRADOS EN LA BASE DE DATOS CATSE.....	110
FIGURA 62. NÚMERO DE SEQUÍAS REGISTRADAS EN CATSE POR REGIÓN SIEH	111
FIGURA 63. NÚMERO DE SEQUÍAS REGISTRADAS EN CATSE POR REGIÓN SIEH SEGÚN NIVELES DE IMPACTO.....	112
FIGURA 64. SEQUÍAS HISTÓRICAS ENTRE LOS AÑOS 1100 A. C. Y 1200 D. C. SE INDICAN CON COLORES EL NIVEL DE IMPACTO DE LAS SEQUÍAS: GRAVE IMPACTO (ROJO), MODERADO (NARANJA), LEVE (AMARILLO).	113
FIGURA 65. SEQUÍAS HISTÓRICAS ENTRE LOS AÑOS 1200 Y 1600. SE INDICAN CON COLORES EL NIVEL DE IMPACTO DE LAS SEQUÍAS: GRAVE IMPACTO (ROJO), MODERADO (NARANJA), LEVE (AMARILLO).....	114
FIGURA 66. SEQUÍAS HISTÓRICAS ENTRE LOS AÑOS 1600 Y 1940. SE INDICAN CON COLORES EL NIVEL DE IMPACTO DE LAS SEQUÍAS: GRAVE IMPACTO (ROJO), MODERADO (NARANJA), LEVE (AMARILLO).....	115
FIGURA 67. ESQUEMA DE RELACIONES DE LAS TABLAS DE LA BASE DE DATOS DE SEQUÍAS HISTÓRICAS CATSE.....	122



FIGURA 68. RELACIONES ENTRE LAS TABLAS, CONSULTAS E INFORMES DE LA BASE DE DATOS DE SEQUÍAS HISTÓRICAS CATSE.	126
FIGURA 69. EXTRACCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LA CONSULTA <i>EVENTOS_ZONAS</i> DE LA BASE DE DATOS DE SEQUÍAS HISTÓRICAS CATSE.	127



CEDEX

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ZONAS DEL SISTEMA DE INDICADORES (ZONAS SIEH)	11
TABLA 2. NIVELES DE ROGATIVA POR REGIONES DE ESPAÑA SEGÚN DIFERENTES AUTORES... 53	53
TABLA 3. IMPACTO SOCIAL DEL NIVEL DEL NILO SEGÚN PLINIO EL VIEJO (DOOGE, 1988)	55
TABLA 4. CORRESPONDENCIA ENTRE REGIONES DEL SIEH Y LAS DESCRITAS EN LA DOCUMENTACIÓN	57
TABLA 5. ESCALA DE VALORACIÓN DEL NIVEL DE INTENSIDAD DE LA SEQUÍA.....	62
TABLA 6. MATRIZ DE VULNERABILIDADES PARA DEDUCCIÓN DE INTENSIDADES DE SEQUÍA	63
TABLA 7. ASIGNACIÓN DE NIVEL DE INTENSIDAD SEGÚN DESCRIPCIONES DE LA BIBLIOGRAFÍA. 66	66
TABLA 8. DENDROCRONOLOGÍAS ITRDB EN ESPAÑA.....	75
TABLA 9. AÑOS DE INICIO ORIGINALES Y CONSIDERADOS EN LOS ESTUDIOS DE SEQUÍAS EN ESPAÑA.....	82
TABLA 10. TABLA DE COMPLETADO DE LAS SERIES IPE DE PRECIPITACIÓN REGIONAL.....	89
TABLA 11. LISTADO DE SEQUÍAS IDENTIFICADAS.....	103
TABLA 12. SEQUÍAS DURANTE SIGLOS XVI A XIX EN PENÍNSULA Y BALEARES (SUPERIOR) Y EN CANARIAS (INFERIOR).....	116
TABLA 13. SEQUÍAS HISTÓRICAS DE ESPAÑA MÁS RELEVANTES.....	117

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El presente informe titulado “*Catálogo y Publicación sobre Sequías Históricas*” describe los trabajos de recopilación de información sobre sequías históricas acaecidas en España. Estos trabajos están contemplados en el apartado 04.04 de la ficha 04 “*Elaboración y mantenimiento de un sistema de indicadores hidrológicos y estudios para la identificación y caracterización de sequías*” de la encomienda de gestión publicada por Resolución de 22 de noviembre de 2007 de la Secretaría de la Presidencia (BOE del 30 de noviembre de 2007), por la cual la Dirección General del Agua, del Ministerio de Medio Ambiente, encarga al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), del Ministerio de Fomento, la realización de asistencia técnica, investigación y desarrollo tecnológico en materias competencia de la Dirección General del Agua (2007-2011).

Las sequías constituyen un fenómeno recurrente en España de incidencia socioeconómica y ambiental. Son fenómenos naturales y su impacto está caracterizado por la peligrosidad y la vulnerabilidad. La peligrosidad se define como la probabilidad de ocurrencia de un evento natural, con valores entre 0 y 1. La vulnerabilidad se relacionaría con las pérdidas y en su estimación puede distinguirse entre el valor económico, social o ecológico expuesto al evento y el grado de afección o también vulnerabilidad de los elementos en riesgo, con valores entre 0 y 1. La reducción del riesgo conlleva la reducción de alguno de los factores que la determinan.

La sequía supone una anomalía transitoria, más o menos prolongada, sin límites temporales o espaciales precisos, caracterizada por valores inferiores a las normales en un área o región determinada con intensidades variables en regiones y periodos. Es usual identificar como causa inicial de toda sequía la escasez de precipitaciones (sequía meteorológica) que provoca una insuficiencia de recursos hídricos (sequía hidrológica) necesarios para abastecer la demanda existente, insuficiencia de humedad en el suelo para satisfacer las necesidades de crecimiento de un cultivo determinado en cualquiera de sus fases de crecimiento (sequía agronómica) e insuficiencia para atender a las personas y a la actividad económica (sequía socioeconómica). Adoptando este punto de vista, la sequía meteorológica está vinculada a la peligrosidad, de ocurrencia natural, mientras que en la propagación por el ciclo hidrológico se manifiestan elementos relacionados con la vulnerabilidad.

El estudio de la peligrosidad, entendida como la frecuencia con la que ocurren sequías con una intensidad y duración dadas en un territorio, se basa habitualmente en el análisis de las series continuas y sistemáticas de registros hidrometeorológicos. Sin embargo, la ventana temporal de estos registros queda reducida a la que parte desde el año hidrológico 1940/41, tal como se suele considerar en los estudios de planificación hidrológica. Durante este periodo se dispone de registros de lluvia, temperatura, caudal, reserva en embalses, niveles piezométricos, etc., de carácter continuo en el tiempo y con una densidad de registros al menos similar a la actual. Ese carácter continuo permite el uso de modelos de identificación y caracterización de sequías que son incorporadas con mayor o menor incertidumbre a los estudios sobre indicadores.



A pesar de que el periodo anterior constituye actualmente algo más de 70 años de información, puede considerarse que es corto para el análisis de frecuencias. Una sequía se caracteriza al menos por la intensidad del déficit y por su duración, superior a la anual, por lo que incluso en una muestra de casi 70 años, las combinaciones de intensidad y duración quedan infrarrepresentadas. En el mejor de los casos, dejando aparte los problemas de lagunas y calidad de los datos o su representatividad regional, solamente se cuenta con registros hidrometeorológicos del último siglo y medio. Cobra entonces interés el estudio de sequías en periodos en los que los datos convencionales no son sistemáticos ni suficientes y se debe recurrir a otras fuentes de información indirectas.

Ligada a la identificación de sequías y al diseño de sistemas de indicadores y de alerta, surge la necesidad de mejorar la información sobre sequías históricas acaecidas en España. La información histórica sobre sequías tendría una utilidad inmediata en la mejora de la caracterización del riesgo natural y de las frecuencias e intensidades de ocurrencia. La climatología histórica estudia el clima pasado por medio de indicadores y variables indirectos. Se podría distinguir entre el estudio de documentación histórica como el registro de la producción agraria, la constatación de hechos históricos como los movimientos migratorios en busca de zonas más productivas, las pérdidas de cosechas, la aparición de hambrunas o el número de rogativas *pro pluviam* para estimar la frecuencia de las sequías. El panorama de los datos asimilados o *proxy data*, es decir, de la información que refleja cambios en las condiciones atmosféricas, se amplía al considerar el desarrollo de los anillos de los árboles, dependiente de las variaciones en la pluviometría y la temperatura, el estudio de organismos con concha carbonatada, de espeleotemas, del polen y de sedimentos varvados, isotopía estable (O^{18} , H^2 , C^{13} , S^{34} , N^{15}), inclusiones fluidas, entre otras. Otra fuente interesante de información consiste en las bases de datos sobre manchas solares, con datos desde el año 200 a. C. (Vaquero et al, 2002), que podrían relacionarse con episodios de sequías.

La recopilación de información sobre sequías a partir de datos asimilados y documentos históricos es una tarea compleja. Hay un número importante de especialistas en España que llevan a cabo estudios aplicando metodologías propias. Una fuente de incertidumbre de estos estudios es el tratamiento e identificación de la señal que una sequía es capaz de producir en el dato asimilado, la cual es además variable en el tiempo. En el caso de los anillos de los árboles, el estado de crecimiento, el tipo del árbol o el suelo que regula las disponibilidades de agua tienen influencia en el espesor alcanzado. En el caso de las rogativas, es de esperar que la estructura política y social influya en el carácter más o menos religioso de cada época y su predisposición al uso de estas medidas.

El problema inmediato de la información aportada por la climatología histórica es la combinación de peligrosidad y vulnerabilidad con que se describen los eventos históricos. Los impactos producidos son variables temporal y regionalmente y necesitan ser tratados y analizados para relacionarla con la caracterización del riesgo natural. Cabe plantearse además el problema de la comparabilidad entre estudios abordados con criterios particulares sobre impactos heterogéneos en distintos sectores de interés.

1.2 OBJETIVO

El objetivo principal del trabajo descrito en el presente informe es la identificación de sequías históricas en España y el ordenamiento de sus principales características en una base de datos. Para ello se han recopilado las conclusiones alcanzadas por distintos equipos científicos que trabajan sobre información asimilada y fuentes documentales en el campo de las sequías en España. También se ha incluido la identificación de los eventos secos derivados del análisis de series históricas de lluvia, siendo la variable que primeramente centra el interés en el registro sistemático y continuo en España. Y finalmente, también se han explorado las posibilidades que la dendrocronología ofrece para identificar sequías antiguas en España.

Los resultados de esta recopilación se han almacenado de manera estructurada en una base de datos denominada Catálogo de Sequías Históricas en España, *CatSE*. El ámbito temporal de esta recopilación de sequías históricas es el periodo anterior al año hidrológico 1940/41.

La principal dificultad de esta recopilación radica en la esencial heterogeneidad de las fuentes de información consultadas: diferentes autores, con distintos medios y métodos; distintas épocas y regiones; y mezcla entre los términos fenómeno natural y vulnerabilidad en el impacto de las sequías.

Además, se consideró oportuno fijar como objetivo en la encomienda la colaboración en las publicaciones que sobre sequías históricas se promoviera desde la DGA. En cumplimiento del mismo se publicó en la Revista de Obras Públicas el artículo *Evolución histórica y sequías en España* (Álvarez-Rodríguez et al., 2008), se aportó documentación al libro *Gestión de la Sequía de los años 2004 a 2007* (MAGRAMA, 2008) y se participó a propuesta de la DGA en la *Jornada Gestión y Planificación de la Sequía* celebrada el 24 de julio de 2008 en la EXPO 2008 de Zaragoza con la ponencia denominada “Sequías: indicadores y caracterización en España”.

1.3 CONTENIDO DEL INFORME

El presente informe se ha estructurado en 8 capítulos y 9 anexos. La versión impresa en papel contiene los capítulos; el DVD cuenta con una versión digital del informe y la base de datos del catálogo de sequías en España, *CatSE*.

El contenido de los capítulos es el siguiente:

- En el capítulo 1 se exponen los antecedentes con los fundamentos y el objetivo del trabajo.
- El capítulo 2 se centra en la metodología utilizada, haciendo una descripción de la unidad básica de catalogación, denominada evento de sequía, de la unidad mínima territorial que abarca cada evento y del procedimiento utilizado para asignar el nivel de impacto de la sequía.
- El capítulo 3 trata de las series reconstruidas de precipitación registrada, de las composiciones en series largas de lluvia, de la estimación de series regionales y de las sequías en el periodo 1870/71-2005/06.
- En el capítulo 4 se describe el procedimiento seguido para identificar sequías a partir de los documentos y artículos que describen trabajos sobre las fuentes



históricas. Se describen los tipos de fuentes bibliográficas, los autores y las publicaciones más destacables. A continuación se comentan los dos tipos de información histórica más comúnmente utilizados, las rogativas y los impuestos a la producción. El capítulo concluye con un apartado donde se mencionan las incertidumbres asociadas a la información histórica de las sequías.

- El capítulo 5 se dedica a la exploración de las posibilidades que ofrecen los estudios dendrocronológicos en España. La base se encuentra en dos tipos de análisis realizados. Un primer modelo se basa en la regresión directa con el índice de precipitación estandarizado; un segundo ha sido desarrollado por la Universidad de Castilla-La Mancha en convenio con el CEDEX.
- En el capítulo 6 presenta un extracto de las sequías más relevantes, bien por su extensión o bien por su notable impacto y presenta las conclusiones extraídas del trabajo realizado
- En el capítulo 7 se muestra la estructura del catálogo de sequías, *CatSE*, identificadas: tablas de almacenamiento de información, las consultas y los informes diseñados.
- En el capítulo 8 se citan los autores del presente trabajo y en el capítulo 9 se indican las referencias a los documentos utilizados para la elaboración del *CatSE*.

Los anexos se entregan en formato digital en el DVD. Casi todos los anexos consisten en un archivo en formato pdf, salvo el anexo 8 que es un directorio que contiene todos los ficheros entregados por la Universidad de Castilla La Mancha. El contenido de los anexos es el siguiente:

- El anexo 1 contiene el catálogo de sequías históricas realizado en este trabajo. Cada sequía es objeto de una ficha donde se muestran las características que han sido recopiladas de cada sequía.
- En el anexo 2 se relacionan los eventos de sequía catalogados que han afectado a cada zona del sistema de indicadores del estado hidrológico.
- El anexo 3 contiene el artículo que se ha publicado sobre resultados previos obtenidos durante la realización de este trabajo.
- En el anexo 4 se han incluido las gráficas de las series de lluvia anual obtenidas en las regiones SIEH de España desde 1870/71 hasta 2005/06.
- En el anexo 5 se muestran las dendrocronologías ITRDB españolas originales y estandarizadas.
- En el anexo 6 se muestran las series del índice de precipitación estandarizada reconstruido en las regiones SIEH por el método de regresión directa.
- En el anexo 7 se muestran los mapas anuales con las zonas SIEH afectadas por sequías según las series del Índice de Precipitación Estandarizado reconstruidas por el método de regresión directa.
- En el anexo 8 se incluye el informe “La reconstrucción de series hidrológicas mediante dendrocronologías y su utilización para la identificación de sequías en España”, elaborado por el Grupo de Ingeniería del Agua de la Escuela Técnica



Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Castilla La Mancha como fruto del convenio de colaboración con el CEDEX.

- En el anexo 9 se incluyen unos gráficos donde se muestran, para cada zona, las sequías identificadas según diferentes fuentes de información y métodos.

2 METODOLOGÍA

2.1 ESQUEMA BÁSICO

El principal objetivo del trabajo es la recopilación e identificación de eventos históricos de sequía. La recopilación se realiza con los estudios, documentos y artículos de carácter científico o técnico elaborados por diferentes autores en conclusión de trabajos de investigación en el campo de la climatología histórica, principalmente a partir de las rogativas *pro pluviam*. También se han considerado las sequías identificadas utilizando como información *proxy* las series dendrocronológicas, así como las deducidas de la reconstrucción de *series largas de precipitación*, definidas como series registradas en algunos observatorios desde principios del siglo XIX, pero con problemas de heterogeneidad y calidad derivadas del cambio de condiciones de medida o de ubicación.

De acuerdo a la disponibilidad de registros y al alcance de estas series largas, en este informe se distinguen tres periodos históricos. El primero es el anterior al s. XIX. Durante este periodo la información *proxy* proviene básicamente de documentos de análisis histórico y de los resultados de los estudios dendrocronológicos. Un segundo periodo comprendería desde el s. XIX hasta mediados del s. XX. En este momento se dispone de las tres fuentes de información, documentación de análisis histórica, estudios dendrocronológicos y series largas de lluvia. Un tercer periodo coincidiría con el de planificación hidrológica y estaría caracterizado por la mayor fiabilidad que dan los registros instrumentales al análisis de sequías. La identificación y caracterización de éstas en el último periodo es materia de otro informe titulado “Caracterización Hidrológica de Sequías”, contemplado en la misma ficha número 4 para la “Elaboración y mantenimiento de un sistema de indicadores hidrológicos y estudios para la identificación y caracterización de sequías” de la encomienda de gestión.

Los documentos y artículos consultados de climatología histórica contienen información sobre los impactos producidos por sequías, sobre el periodo histórico en el que sucedieron o su duración y sobre la región en la que sucede la sequía. Para catalogarlas, se hace necesario definir el evento de sequía en términos temporales y espaciales precisos, lo que encuentra una serie de dificultades descritas en los apartados siguientes.

La dendrocronología ha sido objeto en este trabajo de dos estudios descritos en este informe. Se han aplicado dos tipos de modelos estadísticos en la identificación de sequías. Los modelos de regresión relacionan los espesores y la precipitación observada e índices derivados en el periodo común de datos para, extrapolando hacia atrás en el tiempo, obtener estimaciones de lluvia o del índice de lluvia.

El primer modelo dendrocronológico fue desarrollado por el Grupo de Ingeniería del Agua de la Universidad de Castilla La Mancha, UCLM. Las bases y resultados de su trabajo se encuentran en el informe anexo a este informe. Su título es Reconstrucción de Series Hidrológicas mediante Dendrocronologías y su Utilización para la Identificación de Sequías Históricas en España.

El modelo UCLM está orientado a la reconstrucción de lluvia con un importante esfuerzo dedicado a la descomposición de las componentes temporales que explican la relación entre dendrocronologías y lluvia. Precisamente esta complejidad y el estudio



de la sensibilidad de los resultados en términos de sequía justificaba la implementación de un segundo modelo de identificación de sequías. En éste se simplifican las componentes de filtrado de las dendrocronologías y la regresión se implementa directamente sobre el índice estandarizado de precipitación.

En el caso de las series largas, se han utilizado modelos de rachas desarrollados en el Área de Recursos de Hidrográficos e implementados en el Sistema Integrado para la Modelización Precipitación-Aportación, SIMPA, (Álvarez et al., 2005; Ruiz-García, 1998; Estrela y Quintas, 1996). Las series utilizadas para identificar sequías fueron utilizadas una vez recopiladas las conclusiones sobre estudios de homogeneidad y completitud realizadas por distintos autores.

Finalmente, ordenado el volumen de información anterior procedente de diferentes fuentes, se han cruzado y comparado los distintos resultados con el objetivo de lograr una identificación más robusta de los eventos de sequía.

En resumen, la elaboración del catálogo histórico se ha realizado considerando varias fases:

- 1) Recopilación de información sobre los estudios históricos de sequías publicados en documentos y artículos científicos con descripciones y datos sobre:
 1. Efectos y consecuencias
 2. Región, periodo y duración
 3. Rogativas realizadas
 4. Impuestos estimados en función de la producción agraria esperada
 5. Dendrocronologías
 6. Precipitación registrada
- 2) Interpretación de esa información y adaptación al marco temporal y territorial del catálogo de sequías para el almacenamiento de eventos en la base de datos del Catálogo de Sequías Históricas en España, *CatSE*
- 3) Análisis de sequías en *series largas* de precipitación registrada
 1. Recopilación de información sobre estudios de homogeneidad y completado de estas series
 2. Aplicación de modelos de rachas para la identificación de sequías con umbrales de entrada en sequía en función de cuantiles mensuales y anuales
- 4) Exploración de las posibilidades que ofrece la dendrocronología en el estudio de sequías históricas en España
 1. Establecimiento de modelos de regresión entre dendrocronología y lluvias regionales con tratamiento específico de componentes temporales en las series dendrocronológicas
 2. Establecimiento de modelos simplificados de regresión de las series dendrocronológicas con indicadores de lluvia en año hidrológico
- 5) Contraste de las sequías históricas con la precipitación reconstruida según datos dendrocronológicos relacionados con series de precipitación instrumental:

6) Contraste de los resultados alcanzados con diferentes fuentes y redefinición de eventos

La información histórica ha sido almacenada en una base de datos en *Access* de *Microsoft* (*CatSE.mdb*), sobre la cual se han desarrollado además varias aplicaciones para gestionar y analizar la información. La estructura y la descripción de la base de datos se comentan en el capítulo 6.

El catálogo *CatSE* desarrollado no es un producto acabado. Se trata de un material de trabajo abierto a posteriores investigaciones, con nuevos datos y a continuas revisiones. En consecuencia, uno de los criterios de diseño de la base de datos es estructurar el catálogo de una manera flexible para la introducción, consulta y modificación de datos.

En los siguientes apartados se aclaran algunos elementos del catálogo como es la definición del evento de sequía y su marco temporal, las regiones del Sistema de Indicadores del Estado Hidrológico a los que se han adaptado las sequías identificadas y la estimación del nivel de impacto de cada sequía.

2.2 EVENTO DE SEQUÍA

En el catálogo de sequías *CatSE* cada sequía ha sido denominada *evento*. La sequía considerada es de origen natural y tiene continuidad espacio-temporal. Una completa descripción implicaría identificar su grado de intensidad, inicio, fin y duración en cada región, aunque esta información no puede ser precisada cuantitativamente en la mayor parte de los estudios históricos. En *CatSE*, cada evento se define como mínimo con un intervalo temporal y una extensión geográfica básica. Esta información sobre su inicio y fin no resulta precisa en muchos casos, bien por incertidumbres del propio estudio, bien por la multiplicidad de resultados alcanzados por diferentes autores utilizando diferentes metodologías. Teóricamente, la consideración de series dendrocronológicas o de series de lluvia reconstruidas en épocas más recientes permitiría cuantificar estos términos. Lo impide sin embargo la escasez de series, las incertidumbres derivadas del tratamiento de los datos y, en ciertos casos, su escasa representatividad regional. Así, por motivos prácticos, el intervalo de cada evento de sequía *CatSE* se ha definido con un común denominador razonable a un conjunto heterogéneo de información.

El intervalo temporal mínimo considerado para definir una sequía es el año natural. Una cuestión distinta surge al elegir una duración máxima, especialmente cuando en la literatura aparecen estimaciones de 40 años o más de sequía que resultan escasamente verosímiles. La duración de un evento de sequía se ha limitado a un máximo de 12 años conforme a los trabajos recopilados, a la información de los eventos registrados en época instrumental y a la información que aporta la generación de series sintéticas en función de las características estadísticas de los registros. Con series de 50.000 años en muy raras ocasiones se ha alcanzado a identificar sequías de más de 10 años de duración.

Por lo tanto, no se han considerado eventos únicos a aquellas sequías descritas en la documentación de análisis histórico con duración mayor a este límite, si bien son indicadores de la ocurrencia de eventos de menor duración separados por años húmedos durante esas épocas. Sólo en algún caso excepcional se ha considerado algún evento de mayor duración cuando la información disponible no ha permitido su



CEDEX

disgregación. El que estas altas duraciones sean el efecto de cambios climáticos, consecuencia de la variabilidad climática o se deba hacer referencia a ellos como secuencias secas es un tema en discusión (Quereda et al., 2000).

2.3 IDENTIFICACIÓN TERRITORIAL: REGIONES SIEH

La unidad básica espacial de cada evento de sequía identificado en el catálogo *CatSE* son las regiones del *Sistema de Indicadores del Estado Hidrológico* (Región SIEH). Estas regiones fueron delimitadas de acuerdo al criterio de la Subdirección de Planificación y Uso Sostenible del Agua de la Dirección General del Agua (SPUSA-DGA) en función de la combinación de información sobre la generación recursos, los usos de agua y la infraestructura de explotación. En total hay 62 Regiones SIEH, tal como se indica en la Figura 1 y Tabla 1.



Figura 1. Zonas del Sistema de Indicadores del Estado Hidrológico (zonas SIEH) y códigos respectivos

Tabla 1. Zonas del Sistema de Indicadores (zonas SIEH)

Id	Zonas Sistema Indicadores	Id	Zonas Sistema Indicadores
1001	MIÑO SIL	6001	CC.II. ANDALUZAS Sistema I
1002	CANTÁBRICO zona occidental	6002	CC.II. ANDALUZAS Sistema II
1003	CANTÁBRICO zona oriental	6003	CC.II. ANDALUZAS Sistema III
1401	CC.II. GALICIA COSTA	6004	CC.II. ANDALUZAS Sistema IV
1501	CC.II. PAIS VASCO	6005	CC.II. ANDALUZAS Sistema V
2001	DUERO Tera-Órbigo-Esla-Valderabuey	6006	CC.II. ANDALUZAS Guadalete-Barbate
2002	DUERO Carrión-Pisuerga-Arlanza	6007	CC.II. ANDALUZAS Tinto-Piedras-Odiel
2003	DUERO Alto Duero-Riaza	7001	SEGURA Cabecera
2004	DUERO Adaja-Cega-Bajo Duero	7002	SEGURA Margen izquierda
2005	DUERO Tormes-Águeda	7003	SEGURA Margen derecha
3001	TAJO Cabecera	7004	SEGURA Litoral
3002	TAJO Henares-Tajuña	8001	JÚCAR Norte
3003	TAJO Jarama-Guadarrama	8002	JÚCAR Alto Turia
3004	TAJO Alberche	8003	JÚCAR Bajo Turia
3005	TAJO Medio margen izquierda	8004	JÚCAR Alto
3006	TAJO Bajo margen derecha	8005	JÚCAR Medio
3007	TAJO Bajo margen izquierda	8006	JÚCAR Bajo
4001	GUADIANA Cuenca alta	8007	JÚCAR Sur
4002	GUADIANA Jabalón-Bullaque	9001	EBRO Cabecera
4003	GUADIANA Centro	9002	EBRO Tirón-Najerilla-Iregua
4004	GUADIANA Sur	9003	EBRO Batas-Zadorra-Inglares-Irati-Arga-Ega
5001	GUADALQUIVIR Cabecera margen derecha	9004	EBRO Margen derecha Leza al Huecha
5002	GUADALQUIVIR Guadiana Menor	9005	EBRO Aragón-Arbas
5003	GUADALQUIVIR Medio margen izquierda	9006	EBRO Jalón-Jiloca
5004	GUADALQUIVIR Medio margen derecha	9007	EBRO Gállego-Cinca
5005	GUADALQUIVIR Bajo margen izquierda	9008	EBRO Ésera-Noguera Ribagorzana
5006	GUADALQUIVIR Bajo margen derecha	9009	EBRO Segre
5007	GUADALQUIVIR Almonte-Marismas	9010	EBRO Huerva-Aguas Vivas-Martín-Guadalupe-Matarraña
5010	GUADALQUIVIR Alto Genil	10001	CC.II. CATALUÑA
60101	CEUTA	11001	CC.II. BALEARES
60201	MELILLA	12001	CC.II. CANARIAS

3 SEQUIÁS EN SERIES DE PRECIPITACIÓN RECONSTRUIDAS

3.1 REGISTRO EN OBSERVATORIOS DE ESPAÑA

Las series de precipitación registrada constituyen la fuente de información más consistente para el análisis de sequías siempre y cuando se mantengan unas condiciones mínimas de calidad en los observatorios. Permitirían la estimación directa de la frecuencia e intensidad de las sequías de la localidad y entorno de medición. El paso a una caracterización regional implica la consideración del grado de variabilidad de la lluvia y de los factores que en ella influyen. El presente capítulo trata el uso de las series de precipitación más largas registradas en España para el estudio de las sequías regionales.

Las observaciones pluviométricas se iniciaron en España a finales del siglo XVIII, si bien las bases de datos oficiales recogen información desde inicios del siglo XIX. La serie más antigua es la del Observatorio de San Fernando, con datos desde 1805. AEMET-IMP (2011) indica que los primeros observatorios con registro regular son los de San Fernando y Cádiz, Madrid y Barcelona:

Las primeras observaciones organizadas se realizaron entre 1735 y 1739 de la mano de Francisco Fernández Navarrete, patrocinadas por la Real Academia de Medicina, pero hasta finales de ese siglo no comenzarían las primeras observaciones meteorológicas instrumentales, con cierta continuidad. Así, en el Real Observatorio Astronómico de Madrid, Pedro Alonso Salanova empezó a hacer observaciones meteorológicas sistemáticas en 1786. A partir de 1790 estas observaciones se realizaron bajo la dirección de Salvador Jiménez Coronado y participaron en ellas José Garriga, José de Larramendi, Modesto Gutiérrez y Juan de Peñalver. En Cádiz, por otro lado, se iniciaron observaciones de temperatura del aire en 1786 en la Academia de Guardiamarinas, transfiriéndose en 1791 los instrumentos meteorológicos al nuevo Observatorio de San Fernando, del cual se dispone de datos de temperatura, de forma continuada, desde 1799 y de precipitación desde 1805. También se iniciaron observaciones antes del final del siglo XVIII en Barcelona por obra de Francisco Salvá.

Otros registros de los que existe constancia tienen el inconveniente de su escasa continuidad temporal. Así ocurre con los valores meteorológicos diarios tomados a las 12 horas y publicados en 'El Mensajero' de Granada desde el 2 de junio de 1796 hasta el 25 de mayo de 1797 que refieren Rodrigo et al. (1997) y los datos meteorológicos de la región de Badajoz publicados en el 'El diario de Badajoz' durante el año 1830 (Vaquero et al, 2001).

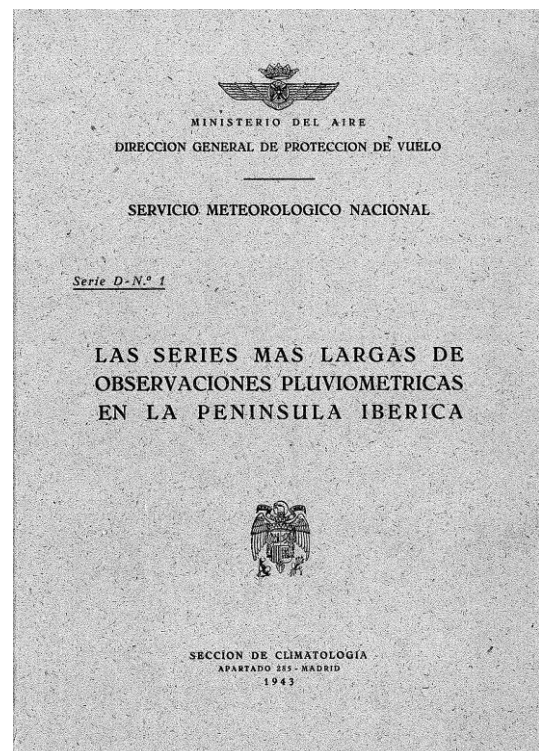
A lo largo del siglo XIX se van sistematizando las mediciones, de manera que a mediados de ese siglo ya hay en marcha una veintena de estaciones. Los anuarios Resúmenes de Observaciones Meteorológicas se publican a partir de 1865 (Almarza et al., 1996) y años antes de la Guerra Civil Española se cuenta con casi 1000 estaciones con registro anual completo.

En AEMET (1943) se recopilaron las series de lluvia en España con longitud superior a 50 años conjuntamente con las de Lisboa, Coimbra y Gibraltar con el objetivo de "...

dar base al estudio de las variaciones seculares que el fenómeno haya presentado.”. Se indicaba que:

En España comenzaron las observaciones pluviométricas a fines del siglo XVIII pero los cuadernos de observación han desaparecido en muchos lugares a causa de las guerras y revoluciones políticas. De Madrid no se ha podido encontrar sino una copia de las observaciones de 1803, efectuadas en lo que es actualmente el Observatorio Astronómico. Aunque con lagunas, hay observaciones desde 1941. Ha cumplido, pues, los cien años. De Barcelona se han perdido totalmente las efectuadas por Salvat. Por ello queda como serie más larga de España la del Observatorio de Marina de San Fernando, que comienza en 1805, si bien presenta luego grandes lagunas hasta 1835 en que ya se consolida. Esta estación, pues, es la estación decana de España y ha rebasado ampliamente los cien años de existencia. Junto a ella existió en Cádiz la montada y servida con tenacidad admirable por los hermanos Urrutia. Más antigua quizá que la de San Fernando sería la establecida por los ingleses en Gibraltar a fines del siglo XVIII y cuya creación se debe, indudablemente, a la necesidad de medir con gran cuidado el agua de lluvia, única con que cuenta esa plaza fuerte. Pero también se han perdido estos datos de Gibraltar y no se conservan los mensuales, sino desde el año 1850, si bien los anuales existen desde 1791.

Figura 2. Portada de AEMET (1943)



Después del parón de finales de los años 30, se incrementa notablemente el número de estaciones meteorológicas, llegándose a un máximo de estaciones operativas durante los años 70 superior a las 4500 estaciones con registro anual completo (Álvarez-Rodríguez, 2011). Desde entonces, su número ha ido disminuyendo paulatinamente hasta las aproximadamente 3.150 estaciones operativas actuales (AEMET-IMP, 2011). No obstante, al considerar la red histórica de estaciones de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) la cifra de información disponible se eleva hasta unas 12.000 series de precipitación en España.

Se ha venido utilizando el año hidrológico 1940/41 como inicio de los estudios sobre recursos hídricos y sequías en España. La información disponible desde ese año se ha considerado suficiente para implementar modelos hidrológicos como el presentado en el LBAE (MAGRAMA, 2000). Sin embargo, la información anterior a esta fecha es escasa y sujeta a incertidumbres derivadas del desconocimiento de las condiciones de medida y los cambios de ubicación que inducen en las series de lluvia lagunas y heterogeneidades difíciles de identificar. Por esto cobra interés la reconstrucción de series históricas de lluvia.

3.2 HOMOGENEIDAD Y RECONSTRUCCIÓN DE SERIES LARGAS

La recopilación de información de los registros históricos y el análisis de su homogeneidad es una tarea siempre activa en AEMET. En la referencia AEMET (1943) se indicaba que la recopilación de registros únicamente atendía al objetivo de presentar la colección de datos originales sin corregir los problemas de homogeneidad derivados del registro en lugares diferentes. En todo caso, se hacía constar la historia de los sucesivos emplazamientos de las 34 series (Figura 3).



Para cada estación se da una brevisima noticia histórica y se indica cuáles son su longitud geográfica (λ) en minutos y segundos de tiempo con respecto al meridiano de Madrid, su latitud (φ) y la altura (h) a que se halla la cubeta del barómetro sobre el nivel del mar. La lluvia va expresada en mm. de altura, o lo que es igual, en litros por metro cuadrado.

Figura 3. Series más largas en AEMET (1943)

La homogeneidad y variabilidad de las series largas de pluviometría en España fue finalmente estudiada por Almarza et al. (1996). Se distinguen 50 series históricas compuestas por las 31 españolas de AEMET (1943) más las de Ávila, Cáceres, 3 en Cazorla (El Hornico, Icona y Nava de San Pedro), Córdoba, Cuenca, Gijón, Huelva, Izaña, Logroño, Mahón, Málaga, Pontevedra, Santa Cruz de Tenerife, Santander, Segovia, Toledo y Zamora. El resultado de Almarza et al. (1996) lo constituye el conjunto de datos originales, la recopilación del historial de la estación y el de las series de lluvia total anual homogeneizada a partir de la composición y ponderación de series históricas cercanas (Figura 4). Se usaron los test de homogeneidad absoluta de Mann Kendall y el test de homogeneidad relativa de Alexandersson con identificación de los puntos de quiebro. El completado, mediante regresión lineal escogiendo la serie con coeficiente de correlación más alto siendo significativo al 95%.



Figura 4. Portada de Almarza et al. (1996)



Témez (2005 y 2007) reinterpreta los resultados obtenidos por Almarza et al. (1996) con el objetivo de estimar series anuales largas con las que analizar las fluctuaciones pluviométricas desde 1856 y la frecuencia de las sequías en España. Respecto a Almarza et al. (1996) corrige algunos errores e incorpora más información. Considera 26 series largas, 7 complementarias con registro reciente (Burgos, Cuenca, La Coruña, León, Logroño, Vigo, Valladolid y Zamora) y otras 8 extranjeras entre las que se encuentran las de Lisboa, Coímbra, Beja, Évora y Faro (Portugal), Gibraltar (Gran Bretaña) y Perpiñán y Massabe (Francia). En lo que se refiere a las series largas, Témez resume en una tabla las series que componen cada una de las largas y las precipitaciones medias anuales de cada componente de las que se deriva un coeficiente de proporcionalidad anual para obtener la serie homogénea.

Estos trabajos se han enfrentado a varios problemas. Por un lado, la necesaria ordenación de información histórica sobre equipos de medida y cambios de ubicación de las estaciones para recomponer las series originales, aspecto que hoy en día se sigue manejando con cierta imprecisión. Por otro, el tratamiento de los problemas de homogeneidad y completitud de cada serie para establecer reglas de composición de series anuales largas a partir de series originales próximas.

De acuerdo entonces a estos trabajos de Almarza et al. (1996) y a la posterior revisión de Témez (2005 y 2007) acordada con los responsables del primer trabajo de AEMET (Almarza et al., 1996) se ha procedido a reconstruir los resultados en las denominadas series largas para realizar con ellas una primera exploración de las sequías históricas en España. Se han seguido los siguientes pasos:

1. Descarga de la base de datos HIDRO del CEDEX las series originales de AEMET según la revisión de Témez (2005 y 2007). Se trata de series compuestas de registros históricos de precipitación de un único lugar.
2. Se han descartado algunos periodos de registros identificados por los autores anteriores como erróneos, heterogéneos o dudosos, tal como se detalla a continuación con el caso de la serie de San Fernando.
3. Se han compuesto las series largas con paso mensual de una serie de localidades según los criterios de proporcionalidad anual establecidos por Almarza et al. (1996) y la posterior revisión de Témez (2005 y 2007). Cuando dos series tienen registros en un periodo común, se toman los de la serie activa. Los coeficientes de proporcionalidad reflejan las diferencias entre magnitudes medias de lluvia registrada en lugares próximos. La magnitud de estos coeficientes es reducida por lo que no cabría haber añadido una alta incertidumbre en estas series a la ya existente relacionada con la calidad de la medida.
4. Se ha incorporado la serie de Gibraltar, con datos revisados desde 1812 (Wheeler, 2007)¹.

¹ Datos de Wheeler (2007) cedidos amablemente por Fernando Sánchez Rodrigo, del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Almería

- Se han seleccionado las series de mayor interés por su longitud, calidad de acuerdo a su grado de homogeneidad y a su representatividad espacial. La Figura 5 permite comprobar que son las zonas del centro, tanto la submeseta norte como la sur, las que están peor representadas. Ninguna de las series disponibles se ubica fuera de la Península.

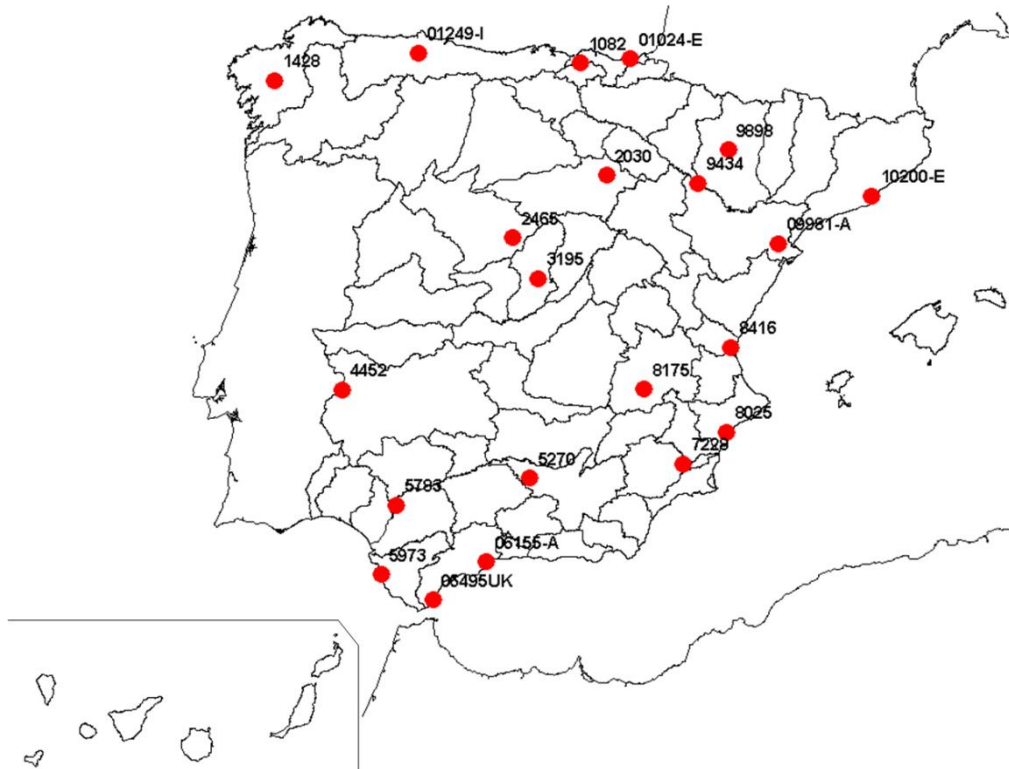


Figura 5. Series largas de precipitación mensual sobre zonas SIEH

Las Figura 6 y Figura 7 muestran las series de lluvia en San Fernando y Gibraltar. En ambas se representan las series pluviométricas anuales en azul. Se superpone la media móvil de 11 años y las tendencias lineales de los valores anuales, de los valores inferiores al primer cuartil y de los valores superiores al tercer cuartil. La serie de San Fernando se compone de varias series originales registradas en diferentes lugares (serie Urrutia de Cádiz, de San Fernando y de Cortadura), tal como indica Témez (2005 y 2007).

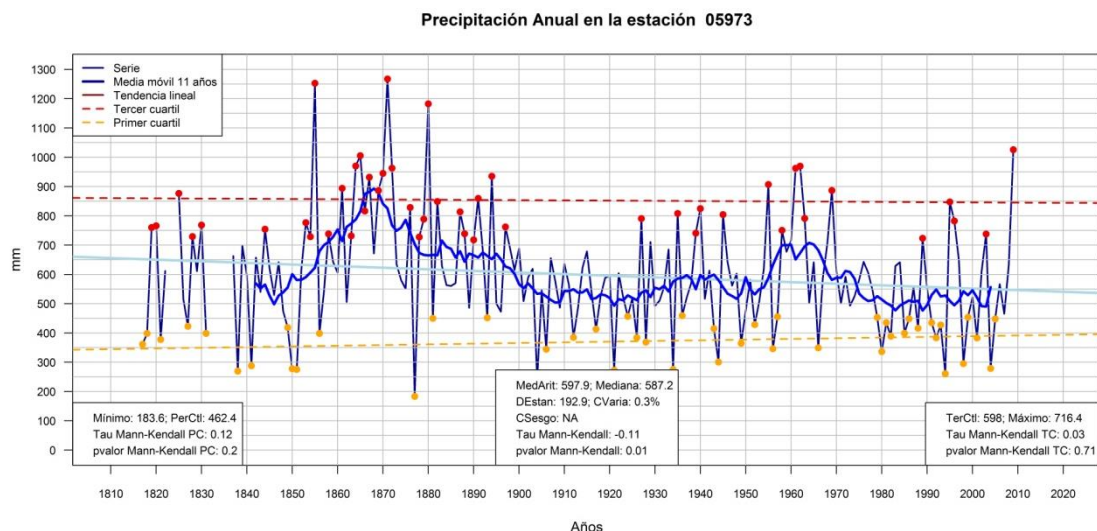


Figura 6. Serie de precipitación anual de San Fernando

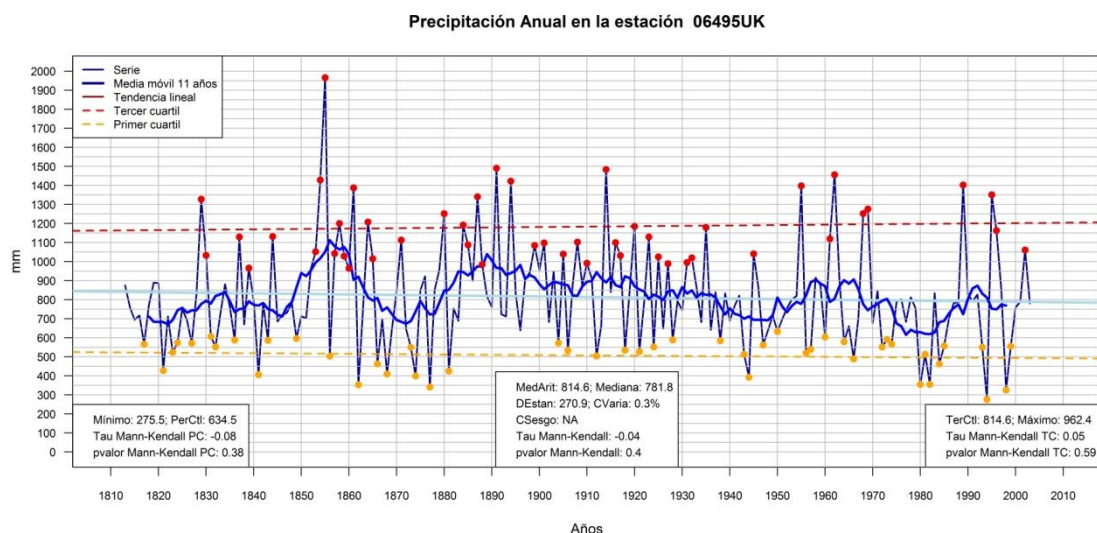


Figura 7. Serie de precipitación anual de Gibraltar

Las diferencias entre ambas series son importantes a pesar de su proximidad, tanto en el registro de algunos máximos puntuales, como en los ciclos que señala la media móvil de 11 años y en la tendencia de la serie completa. Mientras la tendencia de la serie de San Fernando es significativa con un *p-valor* del test de Mann Kendall inferior a 5%, el de Gibraltar llega al 40%.

El método de las dobles masas (Figura 8) destaca las heterogeneidades entre ambas series en tres periodos: desde el inicio hasta el año 1839; entre 1867/68 y 1877/78; y durante los años de la guerra civil en España. Témez (2005) descarta los datos anteriores a 1839 y los comprendidos entre 1863 y 1885 en San Fernando por ser dudosos.

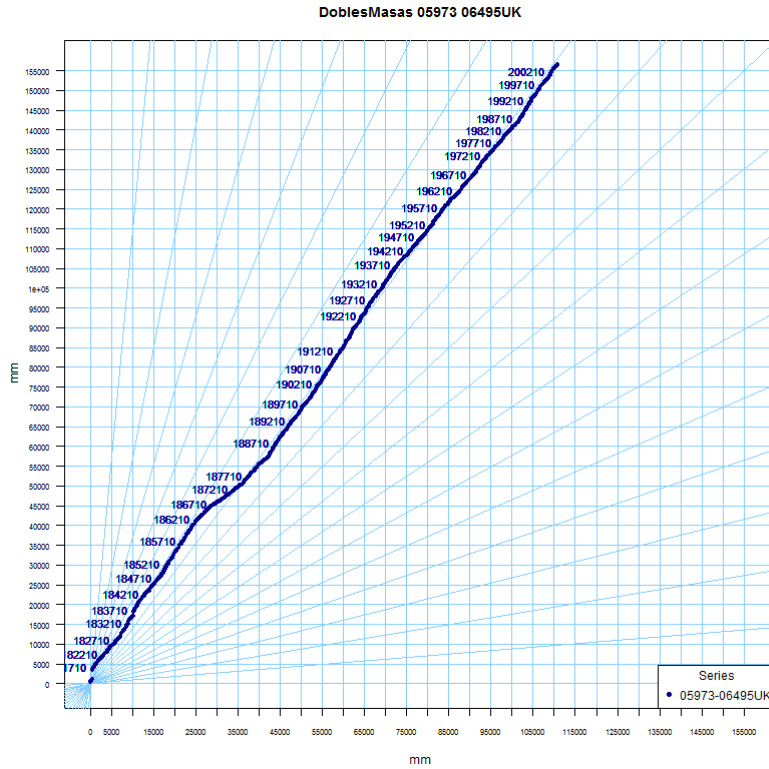


Figura 8. Dobles masas de las series de San Fernando (05973) y Gibraltar (06495UK)

Un segundo ejemplo que ilustra la complejidad del análisis de estas series se tiene en los registros de Barcelona. Aquí se encuentran hasta 27 series con registros de los últimos 200 años en ubicaciones distantes como máximo unos 15 km. Las 2 series históricas con las que se compone la serie larga son las de Universidad (10201-E) y la del observatorio de Fabra (10200-E). Según Almarza et al. (1996), en la serie de la Universidad se distinguen 5 periodos correspondientes a cambios de emplazamientos o equipos: 1849-1913, 1913-1913, 1913-1936, 1936-1970, 1970-1984 y desmantelamiento en 1984. De manera similar ocurre con el observatorio de Fabra, si bien éste continúa midiendo en la actualidad. Durante el periodo común de información aparecen heterogeneidades que dificultan el cálculo de estos coeficientes de paso (Figura 9).

Almarza et al. (1996) componen una serie anual en Barcelona multiplicando por 1,1 los datos anteriores a 1916 registrados en la 10201-E. Témez (2005 y 2007) identifica un periodo homogéneo en 10201-E entre 1860 y 1936; el de la 10200-E está comprendido entre 1917 y el momento actual. El factor por el que habría que multiplicar a 10201-E para obtener la serie larga es de 1,15 si se atiende a la media de los periodos en cada estación. La Figura 10 muestra la serie de Barcelona Fabra finalmente compuesta.

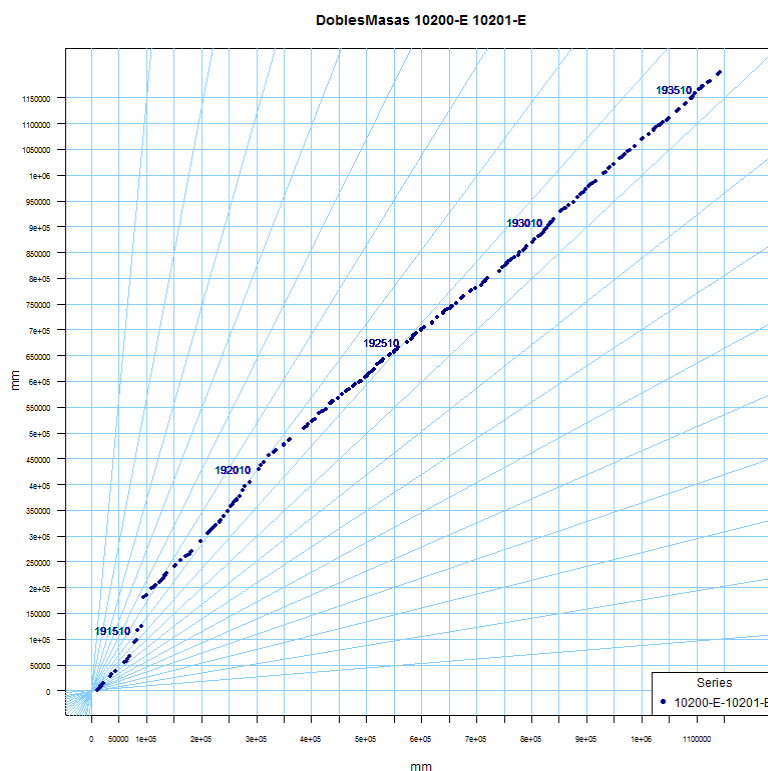


Figura 9. Dobles acumulaciones de las series de Barcelona Fabra (10200-E) y Universidad (10201-E)

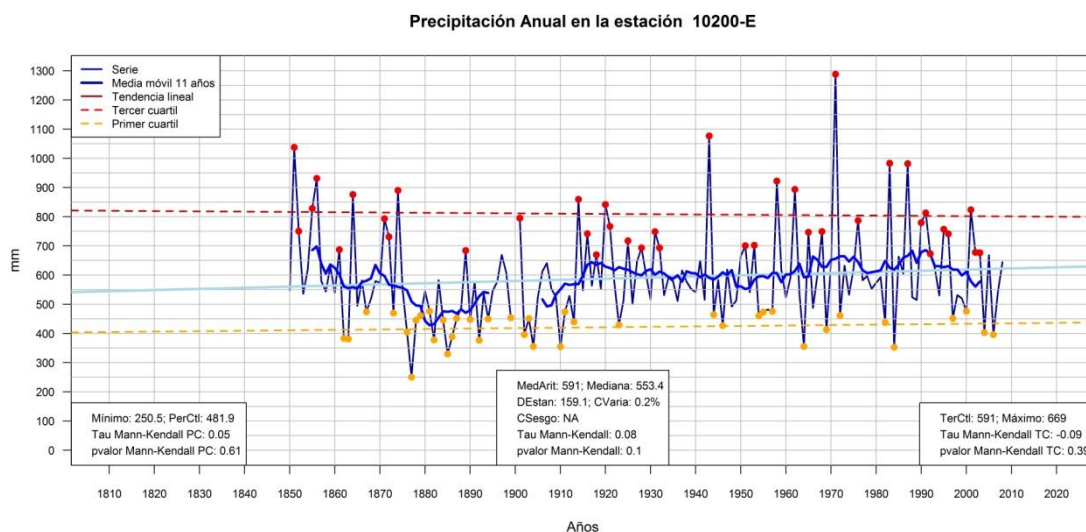


Figura 10. Serie de precipitación anual de Barcelona Fabra (10200-E)

En la región Cantábrica se dispondría al menos de 3 series largas de lluvia: Bilbao (01082), San Sebastián (01024-E) y Oviedo (01249-I) (Figura 11, Figura 12 y Figura 13). La serie de Bilbao es homogénea si bien tiene una gran laguna entre 1920 y 1947. La serie de San Sebastián es claramente heterogénea, con una componente decreciente anterior a 1920 que no aparece ni en la estación de Bilbao ni en la de Oviedo.

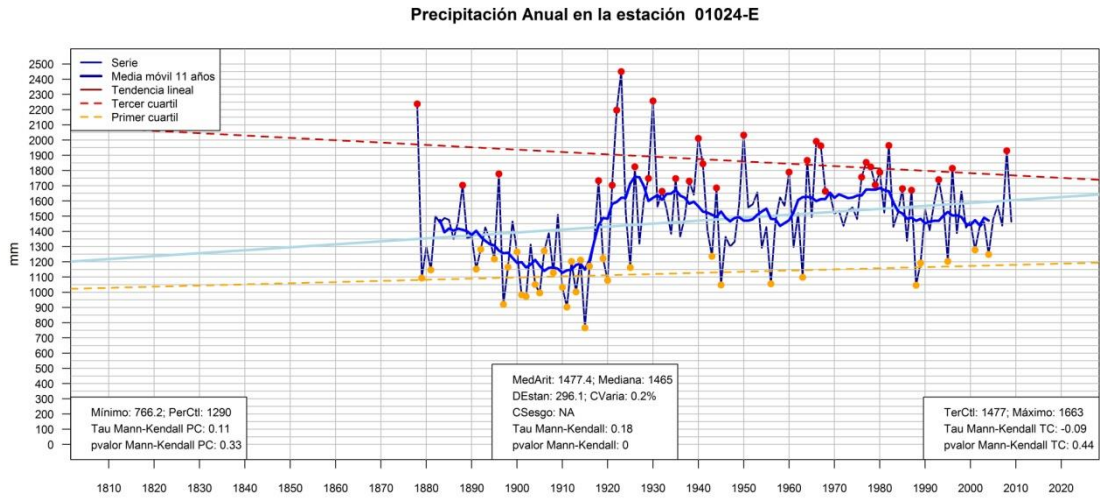


Figura 11. Serie de precipitación anual en San Sebastián

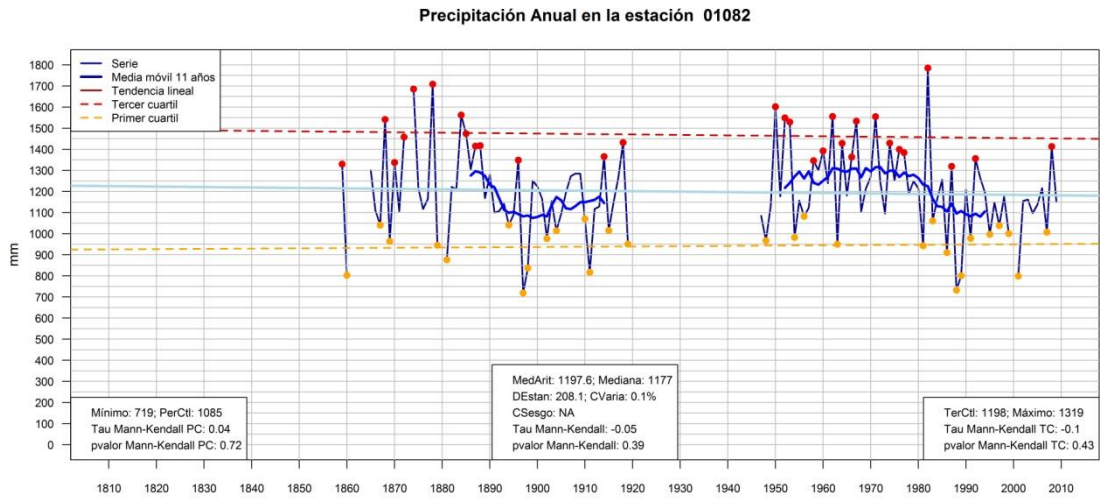


Figura 12. Serie de precipitación anual en Bilbao

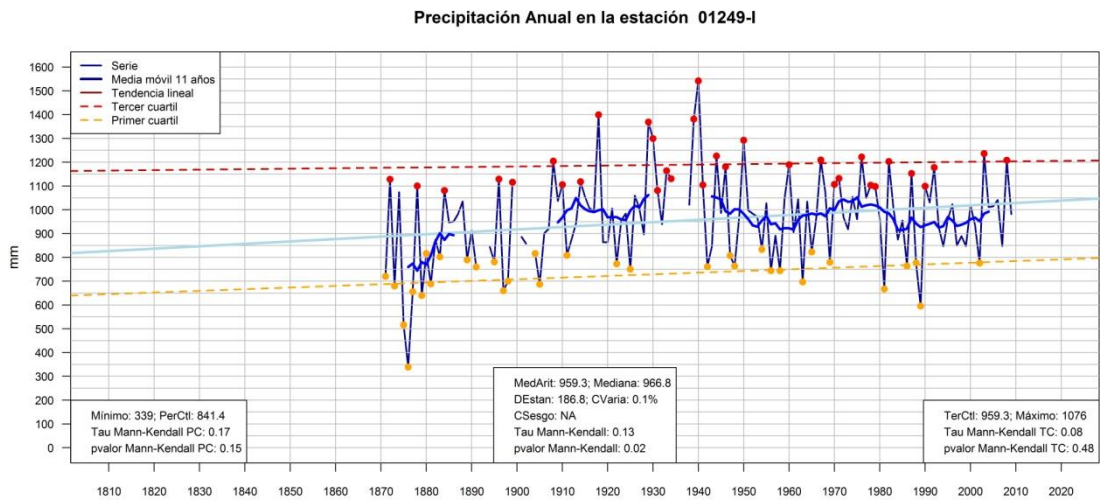


Figura 13. Serie de precipitación anual en Oviedo



CEDEX

En la Figura 14 se muestran la longitud de las series largas finalmente obtenidas. Se componen de series originales convenientemente ponderadas. Eliminados los datos más antiguos de la serie de San Fernando, la serie más antigua en la Península Ibérica es la de Gibraltar. Conforme a las recomendaciones de los autores citados, a mediados del siglo XIX ya se cuenta con las series de Santiago de Compostela, Madrid, Zaragoza y Huesca y con casi 20 series largas desde el último cuarto del siglo XIX, aunque se hace evidente la falta de información en el centro peninsular y en ambas submesetas. Ninguna de las series anteriores se encuentra en los archipiélagos de Canarias y Baleares.

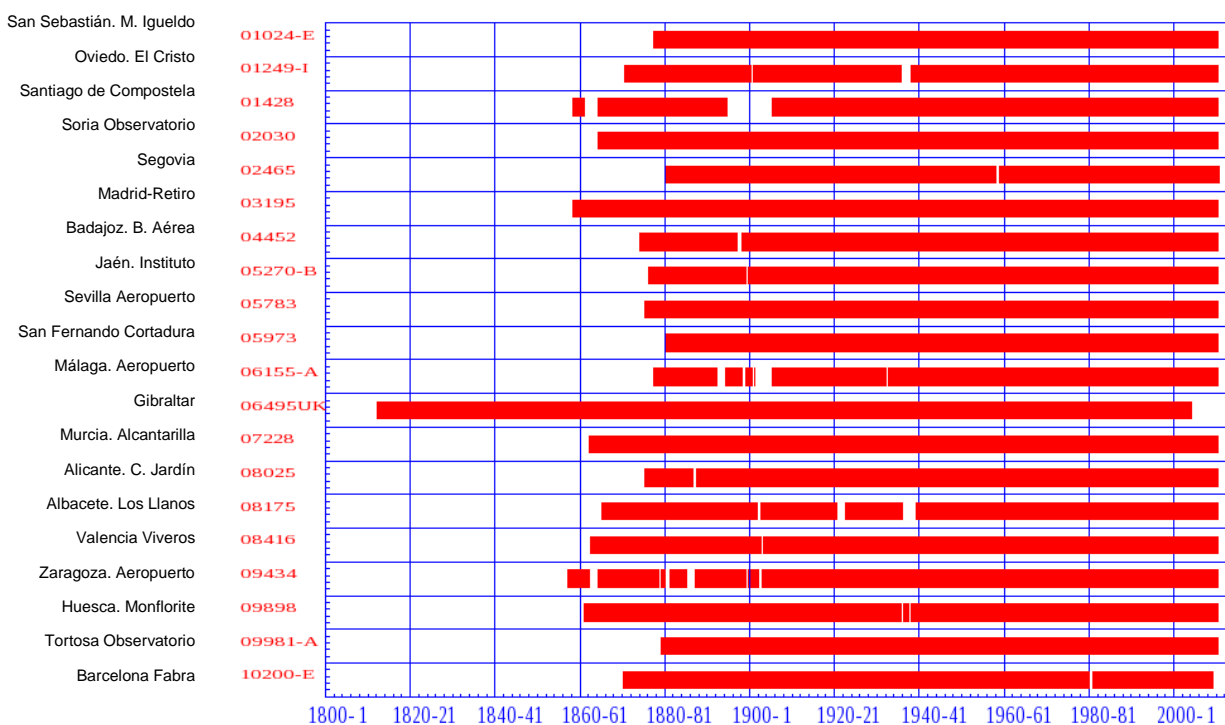


Figura 14. Cronograma de las series largas de precipitación mensual

3.3 PRECIPITACIÓN EN REGIONES DEL SIEH

El siguiente paso consiste en la estimación de lluvias regionales a partir de las series largas compuestas mostradas en el apartado anterior. La región o unidad territorial básica en este estudio de sequías está constituida por el conjunto de regiones SIEH.

Inicialmente caben dos alternativas. Aplicar un modelo de interpolación a series completadas usando como conjunto básico la estimación de series largas obtenida. Una opción alternativa y directa consiste en establecer correlaciones entre las series de lluvia regional estimadas con los registros de todas las estaciones de AEMET en los proyectos de evaluación de recursos hídricos y las series largas. El trabajo de implementación de un modelo de completado e interpolación capaz de estimar colecciones de mapas de lluvia mensual con la escasa información que proporcionan las series largas queda como propuesta de desarrollos futuros. La segunda opción es práctica y es la que se ha realizado en el presente trabajo. El modelo de regresión lineal y multivariante se estima durante el periodo común de datos entre la precipitación de cada región SIEH y las series largas. Posteriormente se usa la relación con las

regiones la utilización de modelos multivariados con al menos dos series largas para establecer una regresión con las series de las regiones SIEH.

En cada región SIEH se ha obtenido finalmente una serie de lluvia media mensual desde aproximadamente el último cuarto del siglo XIX con un modelo de regresión bivariada con estacionarización previa. Se seleccionan las dos estaciones con coeficientes de correlación máximos. Se ha utilizado un procedimiento bivariado para reducir la sensibilidad de la estimación a las incertidumbres de cada serie larga (Figura 16, Figura 17 y Figura 18). En el anexo 4 se muestran las gráficas de la evolución de la lluvia anual de cada región SIEH.

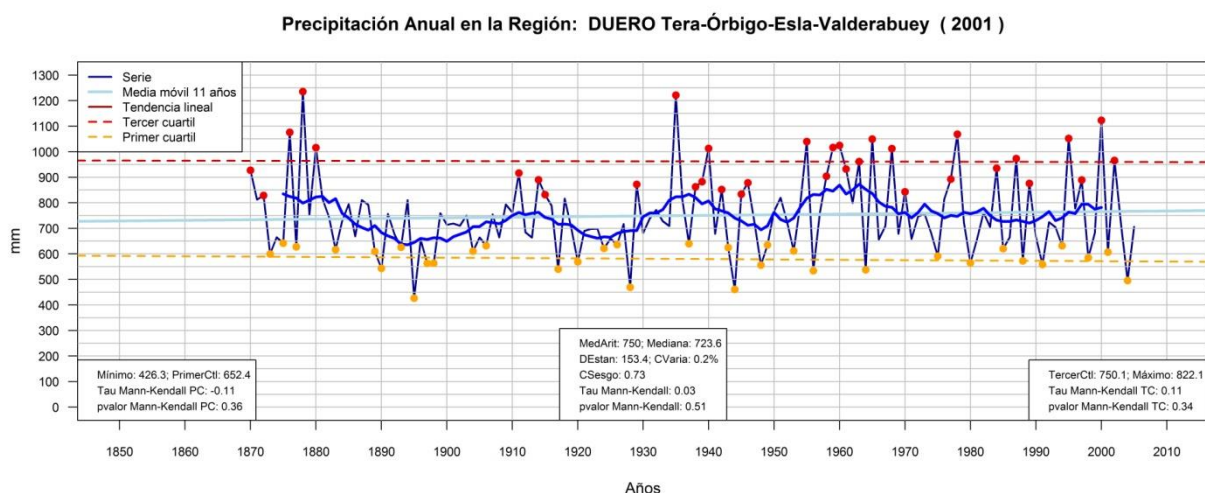


Figura 16. Serie de lluvias anuales en la cuenca del Esla

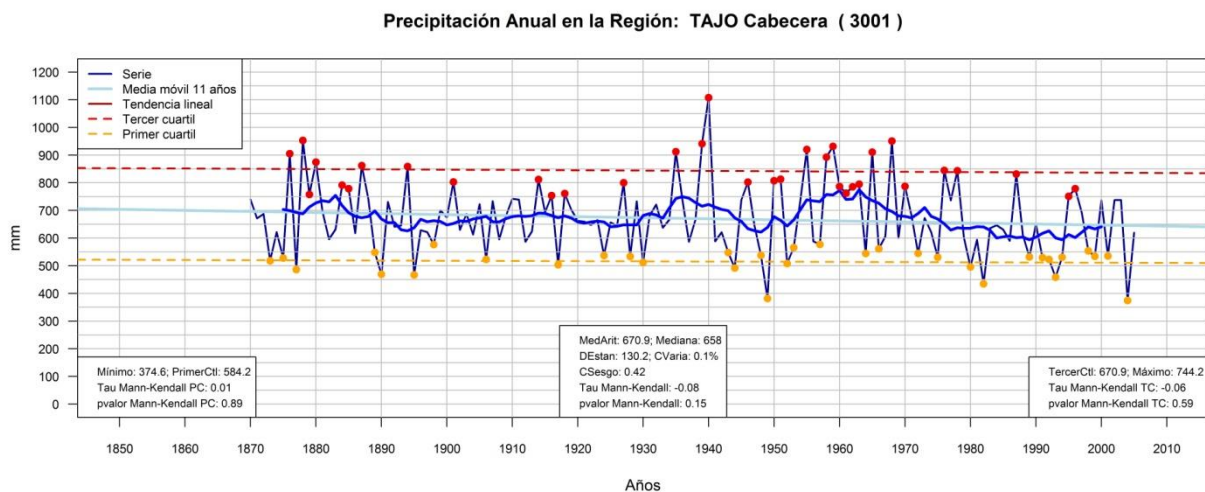


Figura 17. Serie de lluvias anuales en la cabecera del Tajo

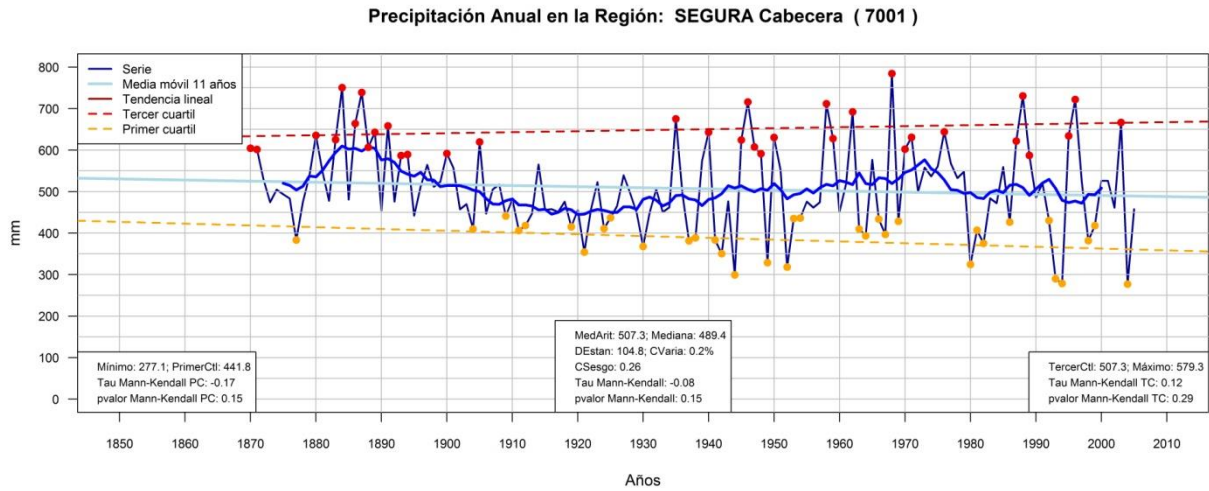


Figura 18. Serie de lluvias anuales en la cabecera del Segura

Las lluvias de las figuras anteriores destacan un ciclo decreciente desde la última década del siglo XIX hasta la primera del siglo XX e, incluso, segunda década en áreas del sureste peninsular. En esta época se reduce aparentemente la variabilidad de las lluvias, lo que contrasta fuertemente con la estimada a lo largo de los años 30 ó 40 del siglo XX. La recuperación a valores medios se da desde los años 30. También hay que destacar la intensidad de los mínimos de finales y mediados del siglo XX.

Las series de lluvia media en las grandes cuencas y en el conjunto de España se han obtenido ponderando las series regionales del SIEH en función del área de cada región. Para evitar el traslado de cortas lagunas de información en la estimación de lluvia sobre las principales cuencas de España, se han vuelto a aplicar procedimientos de completado basados en regresión lineal entre las lluvias medias de las regiones SIEH. Las Figura 19, Figura 20 y Figura 21 representan las lluvias medias areales de las cuencas del Guadalquivir, Ebro y España. Vuelven a encontrarse características similares a las mencionadas sobre las lluvias regionales anteriormente descritas. Destaca la intensidad de los valores mínimos de mediados y finales del siglo XX, así como el ciclo seco y con reducida variabilidad que tiene lugar desde finales del siglo XIX hasta la primera década o incluso la segunda del siglo XX.

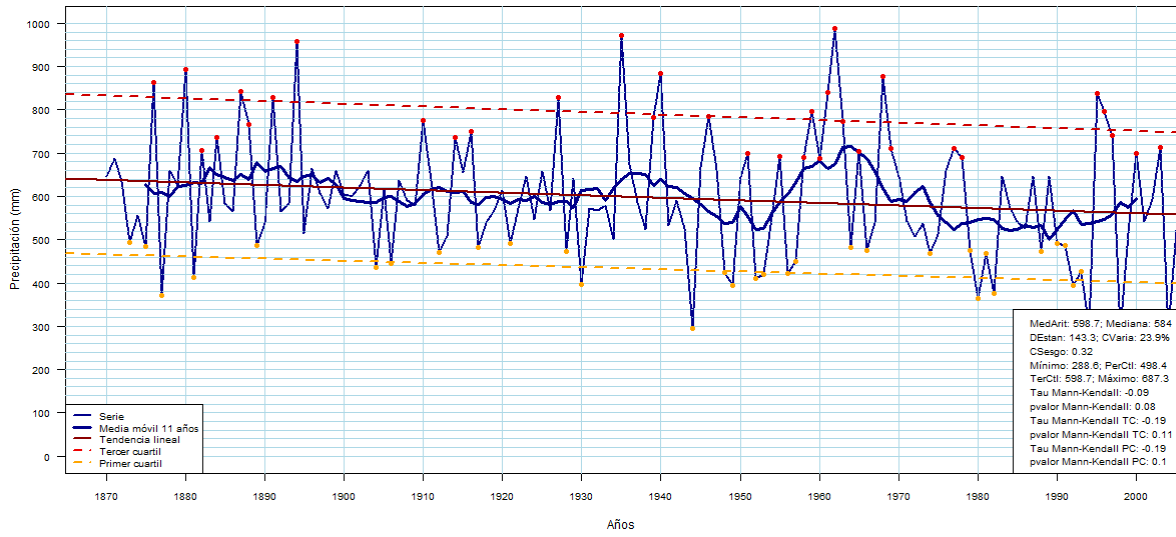


Figura 19. Serie de lluvias anuales en la cuenca del Guadalquivir

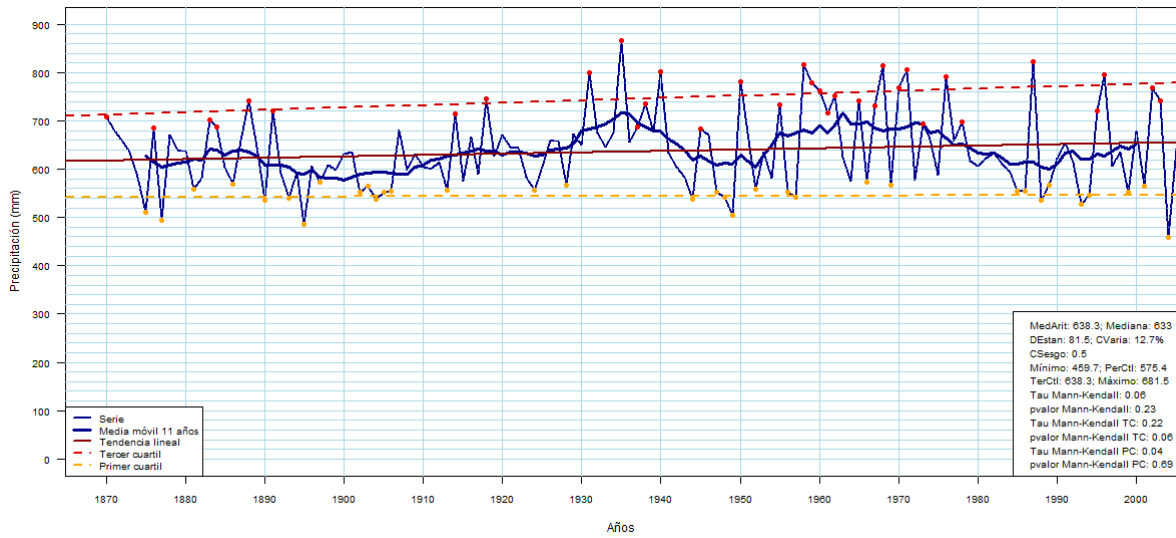


Figura 20. Serie de lluvias anuales en la cuenca del Ebro

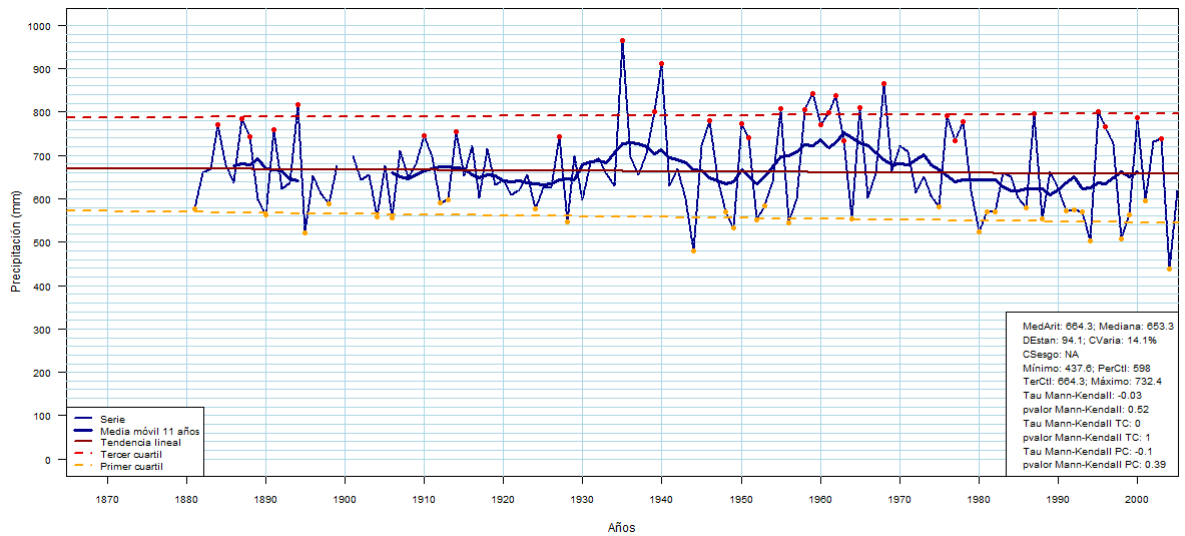


Figura 21. Serie de lluvias anuales en España

3.4 IDENTIFICACIÓN DE SEQUÍAS

En este punto y una vez estimadas las series de lluvia regional en España, se procedería a implementar un modelo de identificación y caracterización de sequías. No obstante, se ha considerado oportuno implementar el modelo de sequías a las series regionales que solamente alcanzan el último cuarto del siglo XIX y a las series largas ya que éstas últimas son ligeramente más extensas, llegando hasta mediados del siglo XIX e, incluso, hasta inicios de ese mismo siglo.

Hay diferentes métodos para identificar sequías a partir de series mensuales y anuales de precipitación. La sequía se puede definir como una racha temporal con un inicio dado por el momento en que la lluvia es inferior a determinado umbral durante un intervalo de tiempo. Los umbrales se estiman como estadísticos de las series registradas (Mishra y Singh, 2011; Tallaksen y van Lanen, 2004; Almarza et al, 2002; Marcos Valiente, 2001; Álvarez-Rodríguez y Estrela, 2000; Cancilliere et al., 1995; Menéndez, 1995). Las figuras siguientes muestran cronogramas de rachas de sequía identificadas en series anuales (columna de la izquierda en cada figura) y en series mensuales (matriz de 12 columnas con lectura de izquierda a derecha en cada año hidrológico). Se han obtenido de la programación de este modelo de rachas en el Sistema Integrado de Modelización Precipitación-Aportación, SIMPA.

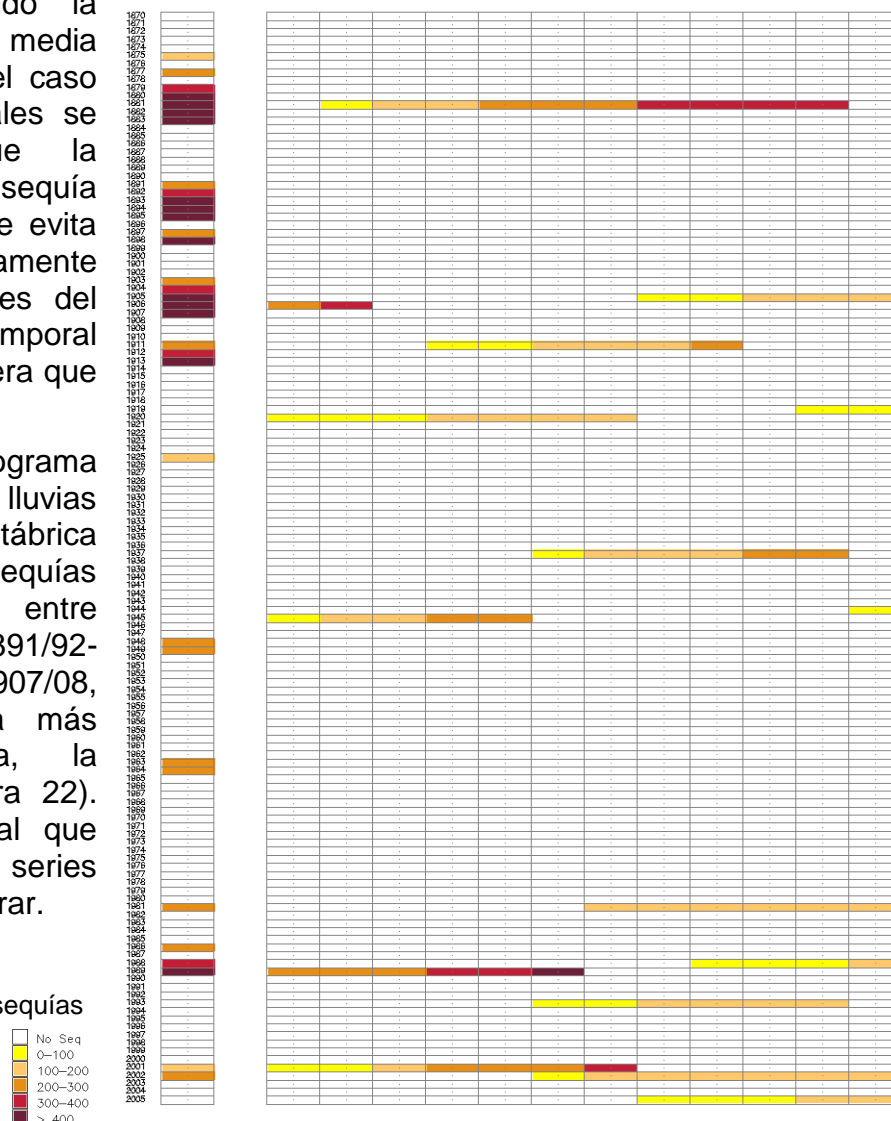


CEDEX

El umbral de inicio de sequía se ha fijado en el percentil 15% de la serie anual o mensual y la racha se prolonga mientras la lluvia de los años o meses siguientes sea inferior a la media anual o mensual. Este umbral del 15% se ha escogido *a priori* de acuerdo a la usual forma de definir un inicio de sequía mediante el índice de precipitación estandarizada (McKee et al, 1993). Sequías cuyo inicio se produce de forma paulatina sin llegar a rebasar este umbral de inicio, se consideran producto de la variabilidad normal del clima y no se reflejan como sequías en los gráficos adjuntos. La racha concluye cuando la precipitación supera la media anual o mensual. En el caso de las rachas mensuales se ha considerado que la duración mínima de la sequía sea de 6 meses lo que evita identificar sistemáticamente las sequías estacionales del verano. Si en la serie temporal hay lagunas, se considera que la racha se interrumpe.

Regionalmente, el cronograma de sequías de las lluvias medias de la región cantábrica señala como años de sequías los comprendidos entre 1879/80-1883/84, 1891/92-1895/96, 1903/04-1907/08, 1911/12-1913/14 y la más corta, pero intensa, la 1988/89-1989/90 (Figura 22). El patrón es similar al que marcan las anteriores series largas como cabía esperar.

Figura 22. Cronograma de sequías de la serie de lluvia media en la región Cantábrica



En el Cantábrico se cuenta con dos series largas: la 01024-E, en San Sebastián, con aparentes problemas de homogeneidad, y la 01249-I, en Oviedo, con problemas de completitud. Como en el caso de la serie regional, el inicio de ambas series está alrededor de los años 70 del siglo XIX por lo que no pueden aportar más eventos a la regional. Sin embargo, la estación de San Sebastián podría indicar que especialmente las sequías de la primera mitad de los años 90 del s. XIX y la de alrededor del año 1900 son más intensas y prolongadas en el sector nororiental.

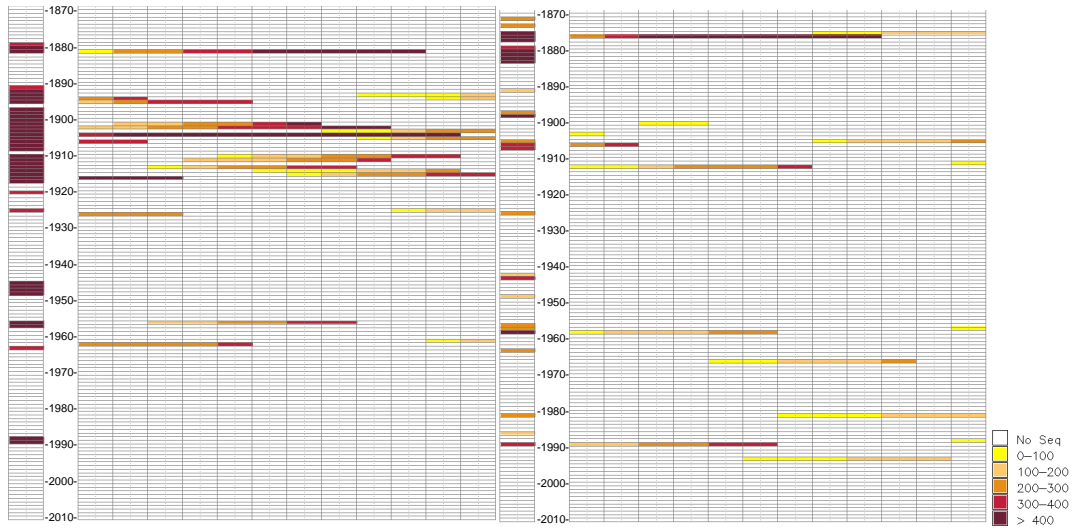


Figura 23. Cronogramas de sequías de la serie de lluvia 01024-E (San Sebastián) y 01249-I (Oviedo)

En las Figura 24 y Figura 25 se han representado los cronogramas de sequías de las regiones SIEH correspondientes a las cuencas del Esla en la submeseta norte y de la cuenca central del Guadiana al sur del Sistema Central y de Gredos. En las cuencas del Esla, la sequía más importante se da en la década de los 20 del siglo XX. Esta sequía parece ocurrir unos años después en las cuencas del Guadiana. Otra sequía importante en ambas regiones es la de los años 90 del siglo XX. Ambas estimaciones se diferencian sin embargo en la intensidad de la sequía de la década de los 90 del siglo XIX, más pronunciada en el norte.

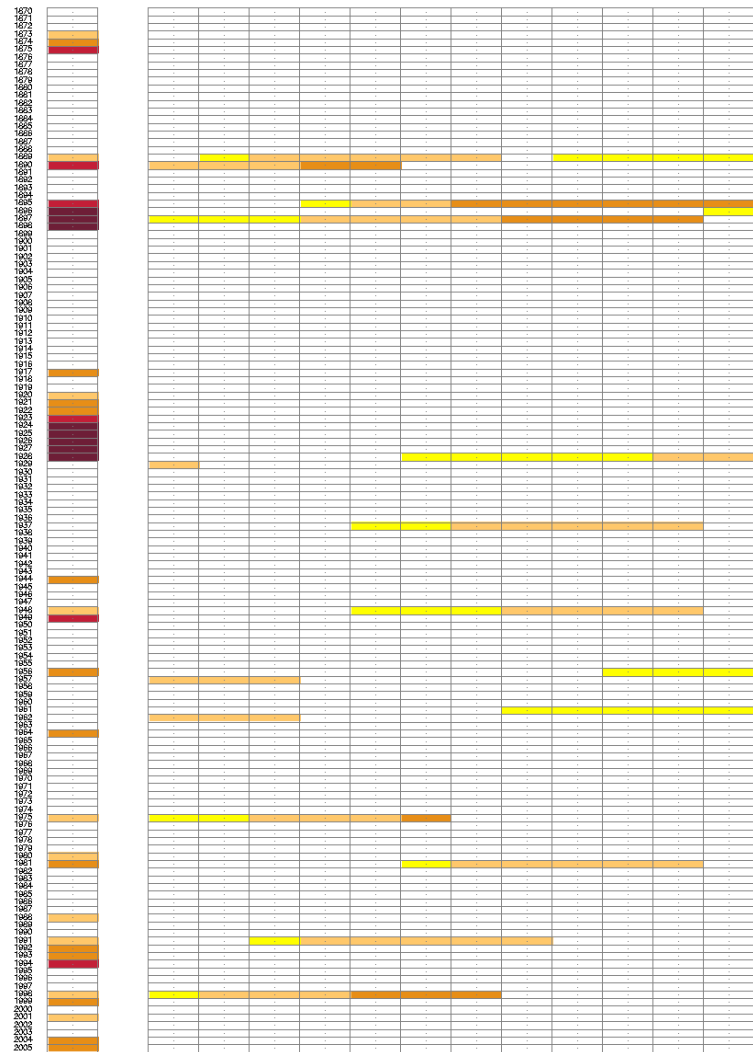
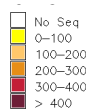


Figura 24. Cronograma de sequías de la serie de lluvia en la cuenca del Esla



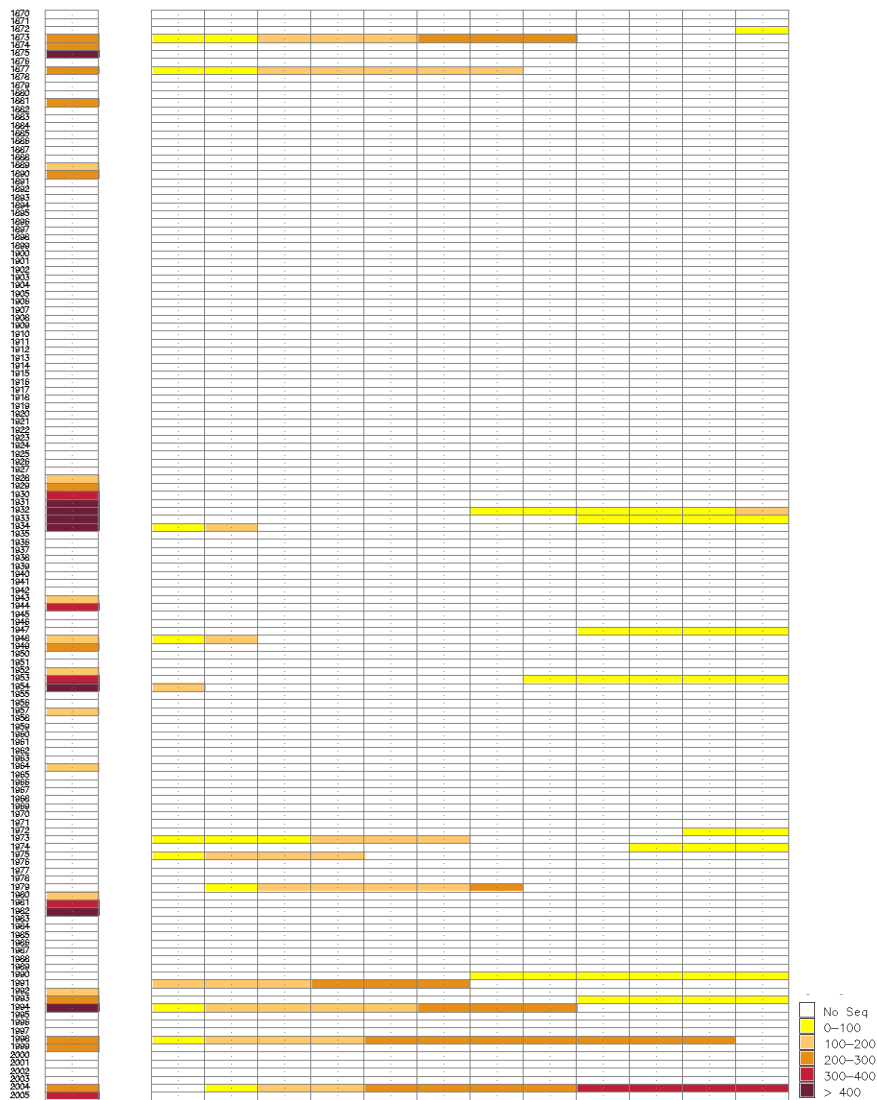


Figura 25. Cronograma de sequías de la serie de lluvia en la cuenca central del Guadiana

En el sector más occidental y atlántico se encuentran las series de Santiago de Compostela, 01428, y de Badajoz, 04452. En el Duero, la series de Soria, 02030 y de Segovia, 02465. En ellas se señalan las sequías acaecidas alrededor de los años 80 del s. XIX y en las décadas de los años 20 y 40 del s. XX. También las de finales de los 90 y primera década del s. XXI. Su longitud es similar a las de las medias areales por lo que tampoco añaden ningún evento más.

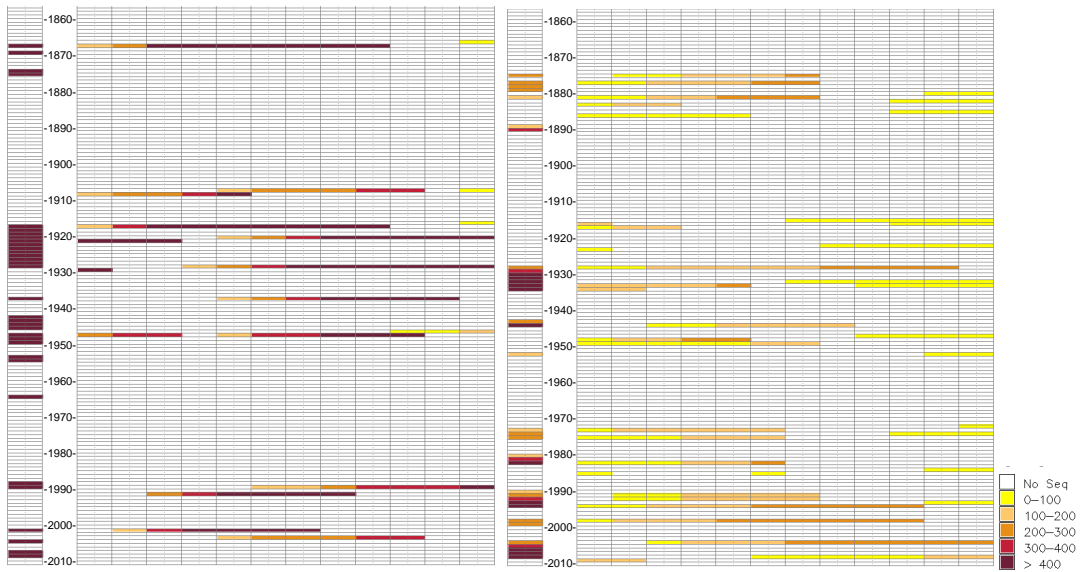
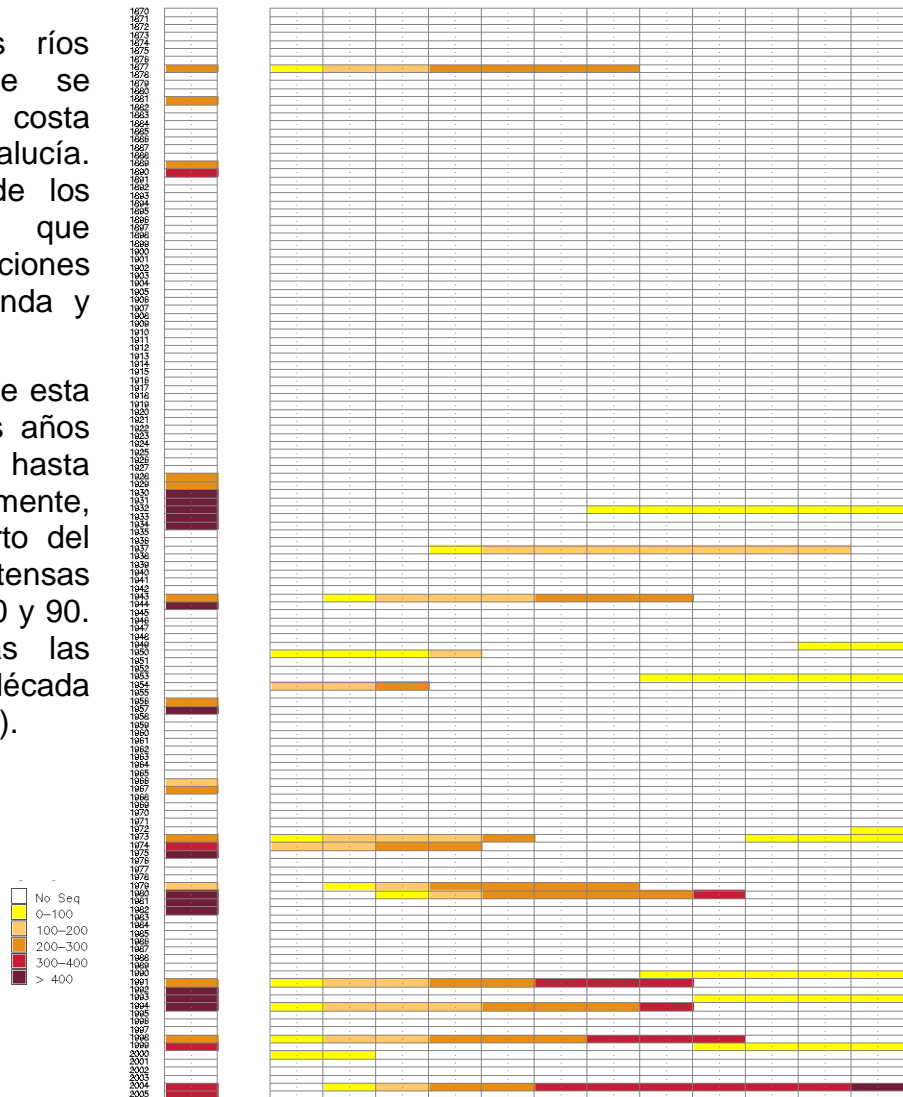


Figura 26. Cronogramas de sequías de las series de lluvia 01428 (Santiago de Compostela) y 04452 (Badajoz)

Las cuencas de los ríos Guadalete y Barbate se encuentran en la costa atlántica de Andalucía. Reciben la entrada de los frentes atlánticos que registran altas precipitaciones en las sierras de Ronda y Grazalema.

Las sequías intensas de esta zona se darían en los años 30, desde 1928/29 hasta 1934/35, y especialmente, durante el último cuarto del siglo XX con rachas intensas durante los años 70, 80 y 90. Son también intensas las sequías de la primera década del siglo XXI (Figura 27).

Figura 27. Cronograma de sequías de la serie de lluvia en las cuencas del Guadalete y Barbate





La serie de Gibraltar, 06495UK, permite explorar la incidencia de sequías durante la primera mitad del s. XIX. Las hay importantes durante la década de los años 20 y primera mitad de la década de los 40. En la serie larga de San Fernando, 05973, las sequías más importantes son de 2 ó 3 años de duración desde los años 80 del s. XX (Figura 28).

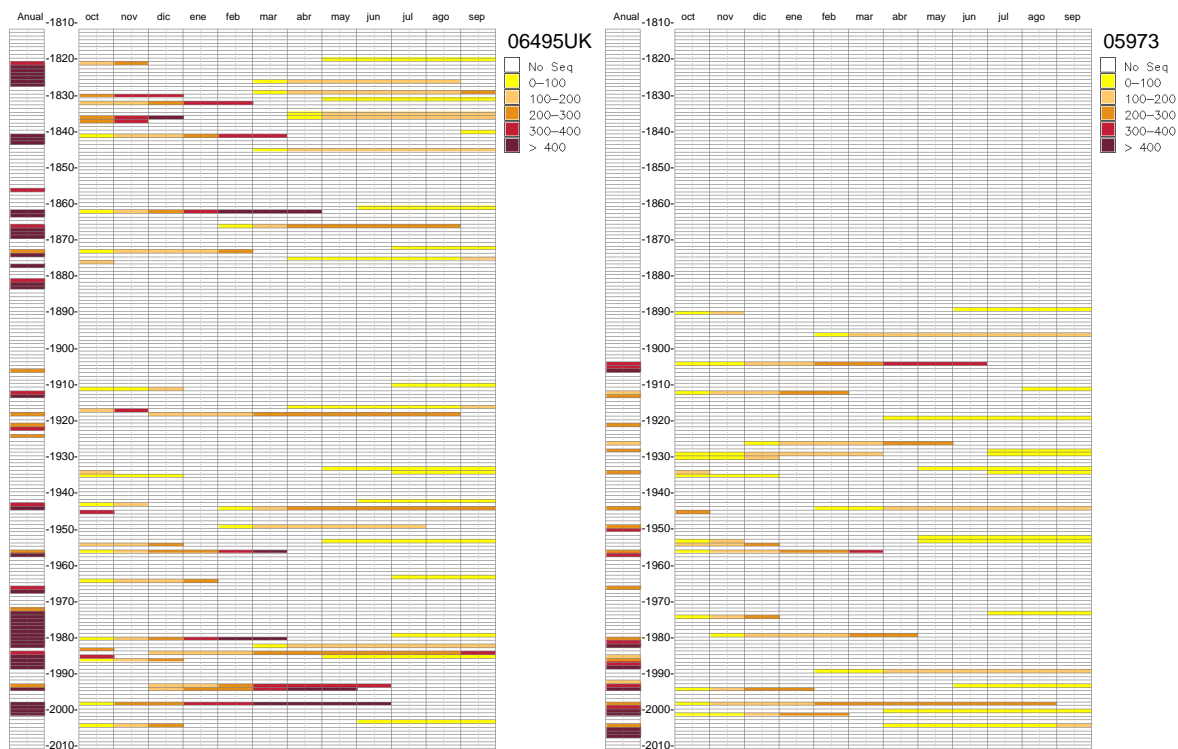


Figura 28. Cronograma de sequías de la serie de lluvia 06495-UK (Gibraltar) y 05973 (San Fernando)

En la cabecera del Tajo siguen existiendo las sequías importantes de los años 70 y 90 del siglo XIX destacadas en otras regiones, pero se señalan por duración e intensidad las de los años 80 y 90 del siglo XX.

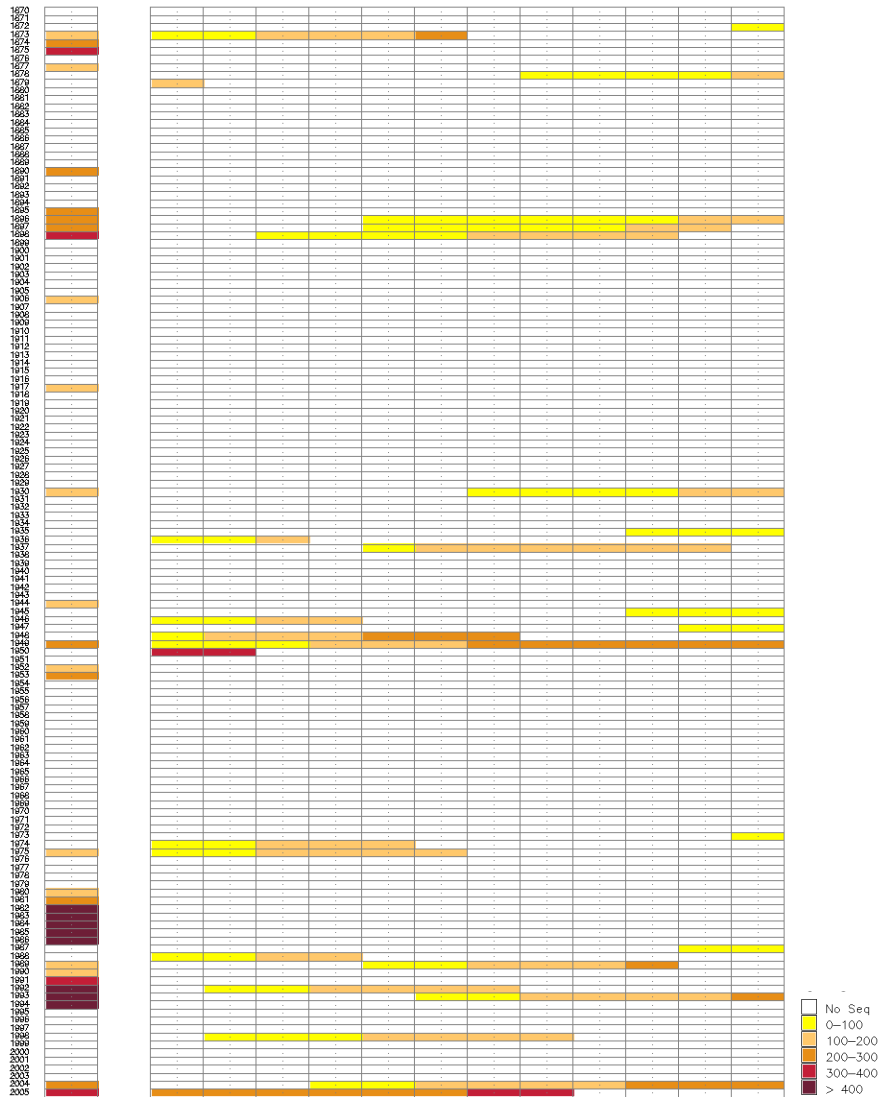


Figura 29. Cronograma de sequías de la serie de lluvia en la región de cabecera del Tajo

En el centro peninsular se dispone de la serie de Madrid Retiro, 03195. Tiene registros desde mediados del XIX, lo que permite ampliar mínimamente la exploración de sequías y destacar el evento de principios de los años 60 del siglo XIX en el centro de la Península. Adelanta el inicio de la sequía de 1870 al año 1869/70 y da una imagen completa de esta sequía. Al comparar los cronogramas de las Figura 29 y Figura 30, se comprueba que no trasladan directamente las sequías de la serie larga a las de cabecera del Tajo.

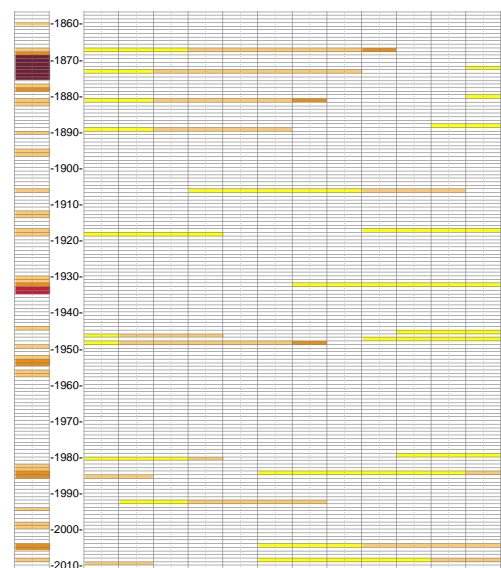


Figura 30. Cronograma de sequías de la serie de lluvia 03195 (Madrid)



CEDEX

La cabecera del Segura es importante desde el punto de vista de la generación del recurso de la cuenca del Segura. Comparte influencias atlánticas y mediterráneas. El cronograma de sequías de las lluvias medias de esta región (Figura 31) concentra la ocurrencia de sequías en el siglo XX. Las más largas e intensas son las de los años 1952/53-1957/58, 1980/81-1984/85 y las de los años 30 y 90.

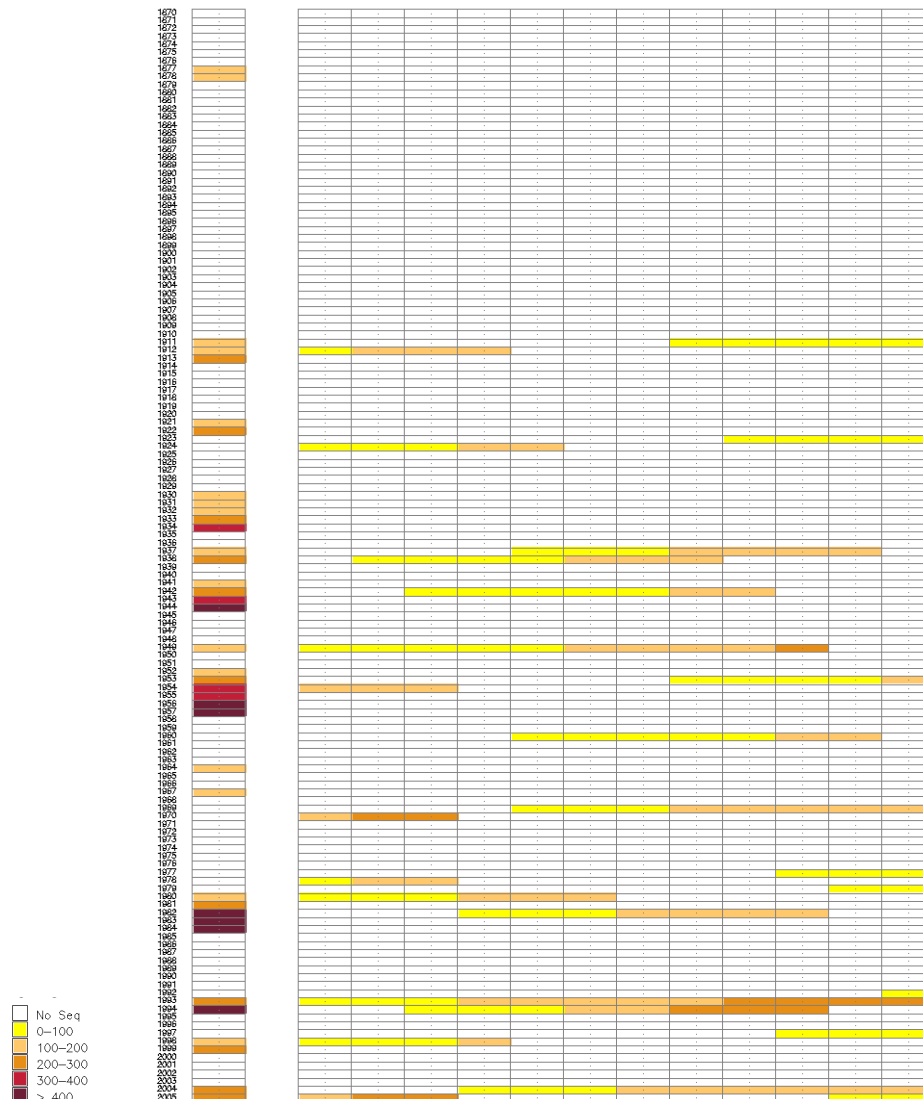


Figura 31. Cronograma de sequías de la serie de lluvia regional en cabecera del Segura

En Alcantarilla Murcia, ya en el sureste peninsular, la ocurrencia de sequías da una impresión regular con importantes intensidades en los años 30, 80 y 90 (Figura 32). Pero añade algunas más como la de los años 80 del siglo XIX y las de los años 20 del siglo XX. Las sequías en la serie de Valencia Viveros, 08416, en la costa oriental mediterránea son similares a las identificadas en el sureste excepto en el último cuarto del s. XX la intensidad de las sequías se hace menor.

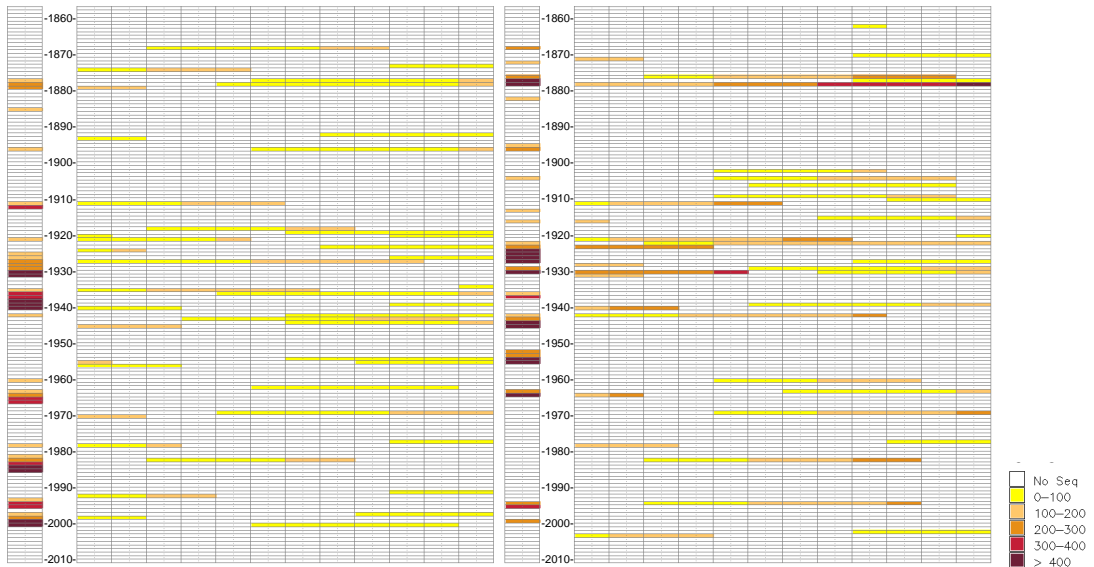


Figura 32. Cronogramas de sequías de las series de lluvia 07228 (Alcantarilla Murcia) y 08416 (Valencia-Viveros)

Otra región compleja en cuanto a la mezcla de patrones climáticos es la de las cuencas afluentes por margen izquierda del Ebro en su tramo central (Figura 33). A diferencia de lo que señalan las series largas anteriores, las sequías importantes se dan a finales del siglo XIX y finales de los años 40 del XX. Las de los años 80, 90 y primer lustro del XXI son cortas.

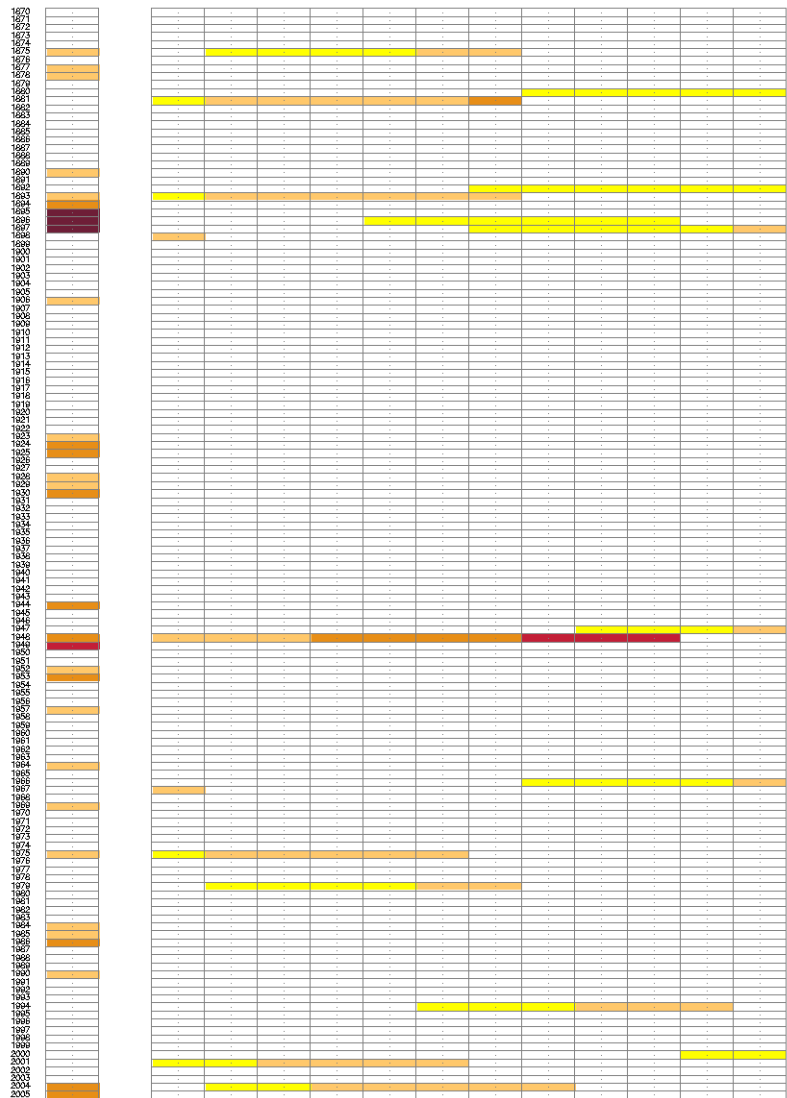


Figura 33. Cronograma de sequías de la serie de lluvia en las cuencas del Noguera Ribagorzana

No Seq
 0-100
 100-200
 200-300
 300-400
 > 400



CEDEX

En la serie larga de Zaragoza, 09434, coincide en señalar la sequía de finales de los años 90 del siglo XIX como la más intensa y duradera, así como la secuencia desde finales de los años 60 del siglo XX.

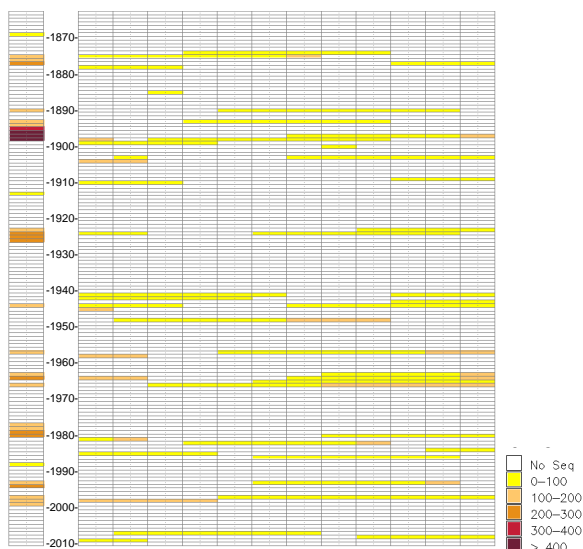
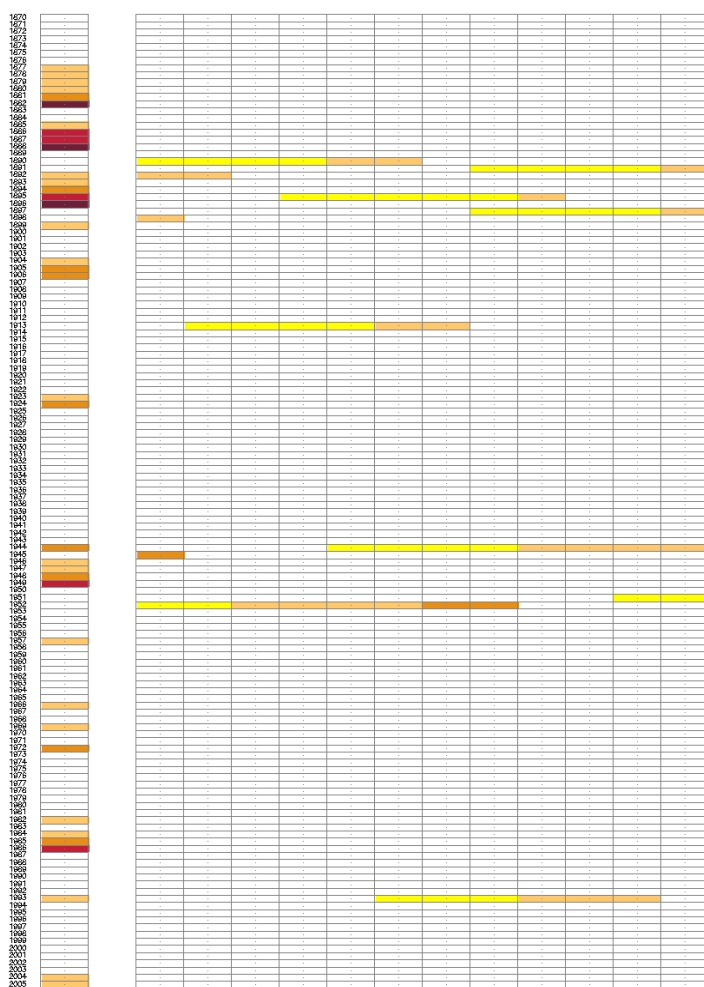


Figura 34. Cronograma de sequías de la serie de lluvia 09434 (Zaragoza)



La sequía acaecida a mediados de la primera década del siglo XXI en las cuencas Catalanas fue especialmente intensa y duradera. En la Figura 35 se representa el cronograma de sequías de esta región, pero llama la atención la intensidad y duración de las sequías de las 3 últimas décadas del siglo XIX. No resulta especialmente dura la sequía de los años 90 del siglo XX. Sí se encuentra la de la década de los 80 y 40 del mismo siglo.

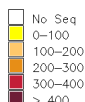


Figura 35 Cronograma de sequías de la serie de lluvia de cuencas internas de Cataluña

La serie larga de Fabra (Figura 36) resalta la intensidad de la sequía de finales del siglo XIX que se ha trasladado al cronograma regional anterior.

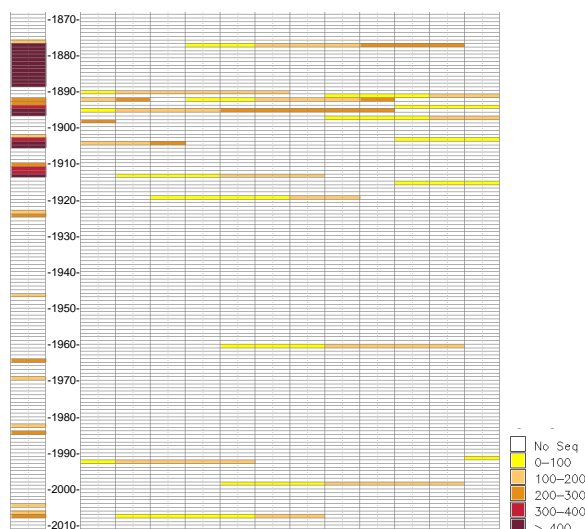


Figura 36. Cronograma de sequías de la serie de lluvia 10200-E (Barcelona)

3.5 RESULTADOS PARCIALES

En el apartado anterior se han identificado sequías en las series regionales estimadas por correlación múltiple de las series largas de estaciones. Se ha pretendido completar esta identificación utilizando el mismo modelo de identificación de sequías sobre las mismas series largas de estaciones. Las series regionales son lógicamente más consistentes al combinar la información de al menos dos series largas, pero limitan su duración a la de la menor serie larga. Por otro lado, los coeficientes de correlación entre ambos conjuntos de series son altos, lo que sería síntoma de una considerable componente regional en las series largas.

La Figura 37 muestra cronogramas de sequías identificados en las series regionales; la Figura 38 muestra los cronogramas de sequías identificados en las series largas. Sus leyendas se refieren al déficit absoluto en *mm*. El cronograma conjunto de sequías de todas las regiones se representa en la Figura 39. En este último, cada déficit se define respecto a la mediana de los déficits anuales (%).

Este conjunto de información permite reconocer distintos eventos de sequía en regiones de influencia mediterránea, atlántica, en el norte cantábrico y el resto de la Península. También permiten caracterizar las sequías. Las más intensas y duraderas se dan a finales de los siglos XIX y XX. Son generalizadas en la Península Ibérica las de mediados de la década de los 70 del siglo XIX, las de mediados de los años 40 y 50, así como las de los años 80, 90 del siglo XX y la finales de los 90 y mediados de la primera década del siglo XXI. Las de 1900 y década de los años 20 parecen darse con intensidad en el norte y cuenca del Ebro y las de los años 30 en cuencas atlánticas del interior.

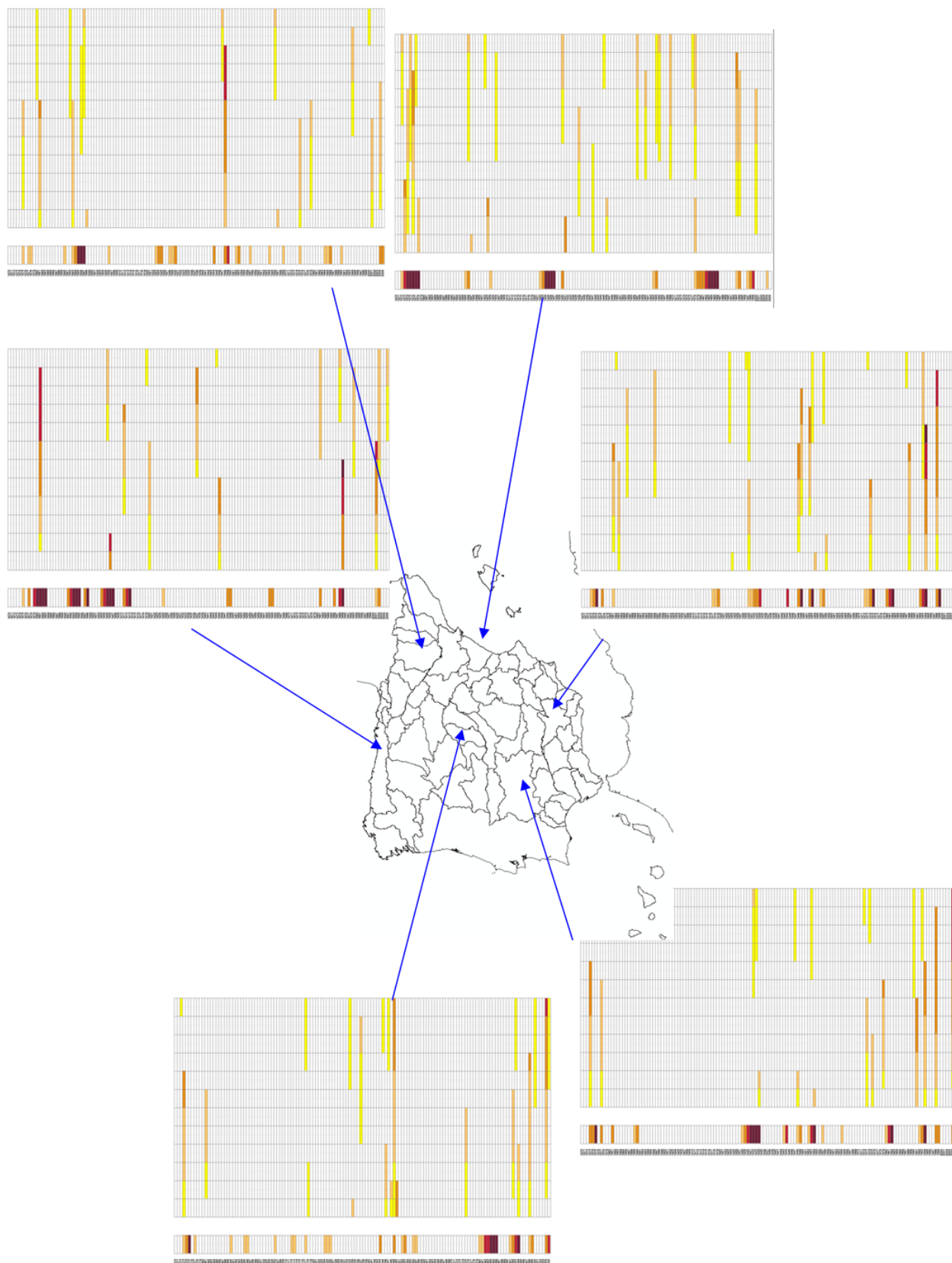


Figura 37. Cronogramas de sequía en series de lluvia de regiones SIEH (1870-2005)

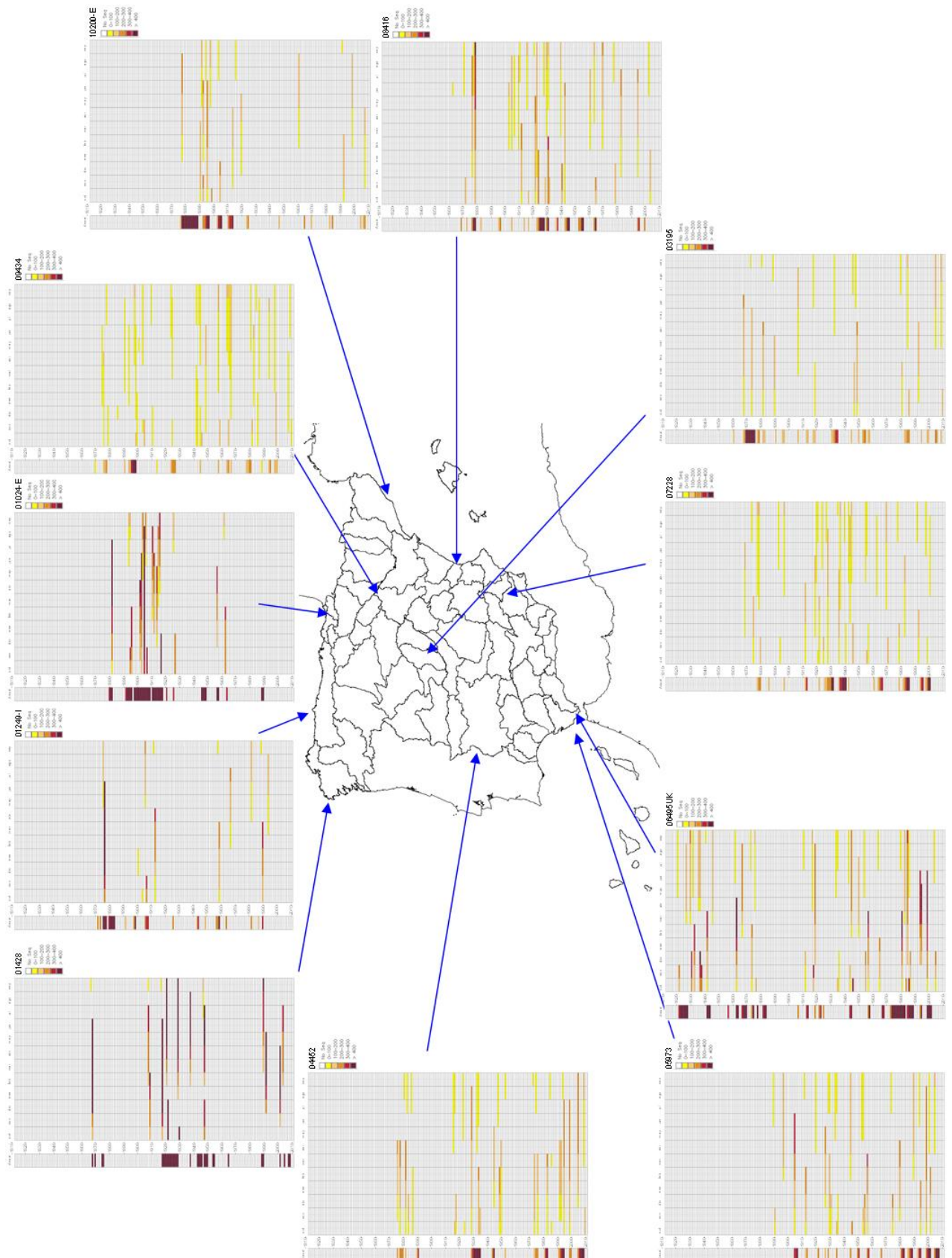


Figura 38. Cronogramas de sequía en diversas series largas de España

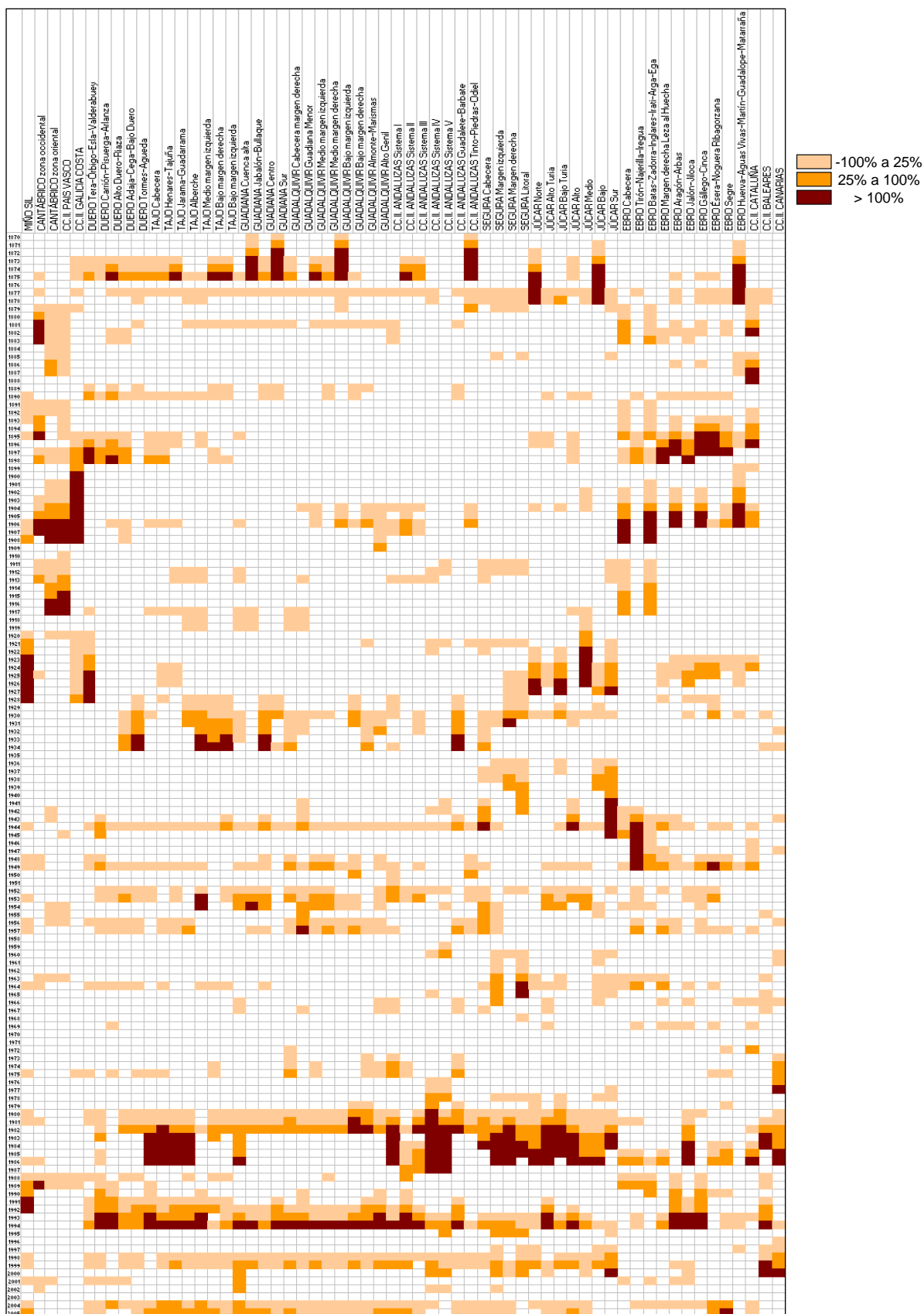


Figura 39. Cronogramas anuales de sequías en series de lluvia de regiones SIEH (1870-2005)

En el cronograma anterior de la Figura 39 se observa no sólo la diferencia entre eventos del Cantábrico, del norte, de la fachada atlántica y la mediterránea, sino también el diferente ritmo con que se dan. El dominio de las cuencas atlánticas es territorialmente mayor y los eventos secos tienen cierta continuidad entre cuencas como la del Duero y Guadalquivir o incluso las mediterráneas, cuyas cabeceras se encuentran también bajo esta influencia atlántica. Tienen además un reflejo en el área cantábrica, aunque muestra cierta independencia en cuanto a los periodos e intensidades. Pero aparentemente cuando se dan sequías en las grandes cuencas de la Península, no se dan o no alcanzan las más altas intensidades en el Cantábrico y Mediterráneo.

En el cronograma de la Figura 39 la sequía de duración máxima es de unos 14 años y se da en el noroeste peninsular. Sin embargo, cabe resaltar la incertidumbre de la estimación de lluvias areales en Galicia Costa debido a las lagunas de la serie de Santiago y a la falta de homogeneidad en la serie de La Coruña (Almarza et al., 1996). También hay problemas de homogeneidad en la serie larga de San Sebastián en la se vuelve a identificar una sequía similar de 14 años de duración (Figura 23).

En la Figura 40 se muestra un histograma del número de eventos de sequía de determinada duración. Se han identificado mediante el análisis de las series largas de precipitación anual. Cabe señalar que la duración de la sequías decae exponencialmente y apenas hay sequías con una duración mayor a 7 años.

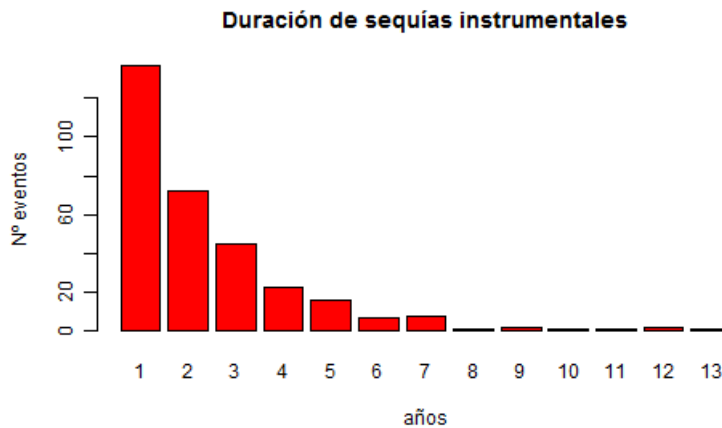


Figura 40. Duración de los eventos de sequías deducidas de registros instrumentales

4 SEQUIÁS EN ESTUDIOS SOBRE CLIMATOLOGÍA HISTÓRICA

4.1 INTRODUCCIÓN

Los archivos históricos, públicos (nacionales, especiales, ministeriales, académicos, regionales, provinciales, universitarios, científicos, eclesiásticos, municipales, etc.) o privados (Casa de Alba) reúnen un importante volumen de información en la que aparecen noticias sobre las sequías y sus consecuencias. Hay diferentes tipos de fuentes de documentación histórica impresa: bibliografías, enciclopedias, historias, anales, crónicas y cronicones, efemérides, relaciones de sucesos, episcopologios, diccionarios geográficos, libros de viajes, libros de asuntos religiosos, tratados científicos antiguos, estudios actuales, publicaciones periódicas, archivos, epigrafía o inscripciones en pinturas, lápidas, etc. (Barnolas y Llasat, 2007; Rodríguez de la Torre, 1992).

El análisis de documentación histórica original para la elaboración de un catálogo de sequías históricas en España es una tarea de envergadura. Materialmente, el número de archivos, su localización en distintas ciudades de España y el volumen de información es altísimo. A modo de ejemplo, el Archivo General de Indias conserva más de 43.000 legajos y unas 80 millones de páginas de documentos originales. Los trabajos necesarios para el análisis son además tarea de especialistas, tanto para la interpretación de la información histórica original como para entresacar información fidedigna de sequías.

El procedimiento que siguen los especialistas en climatología histórica para rescatar datos de fuentes documentales originales identifica en primer lugar una fuente documental principal, de alta fiabilidad científica, que aborde específicamente y de manera continua en el tiempo la identificación de eventos, en este caso de sequía. En su defecto, se recurre a otra documentación con información completa o incompleta en el tiempo, directa e indirecta, en función de si aborda específicamente el tema en cuestión o describe impactos o medidas relacionadas con el evento en cuestión. Finalmente, un último paso se enfoca a la recopilación de series incompletas constituidas por eventos particulares o por series de corta duración (Barnolas y Llasat, 2007).

De cualquiera de las maneras, es de suponer que las sequías tratadas en climatología histórica han sido inicialmente identificadas con una fuente documental principal y posteriormente contrastadas por la identificación de impactos en referencias históricas. La continuidad no la da por tanto la documentación histórica, sino la fuente de información principal que orienta la identificación de los impactos y reacciones constatadas en los documentos históricos. Necesariamente, esta constatación pone su peso en los daños sin definir lo que corresponde a la peligrosidad natural de la vulnerabilidad del medio.

Las referencias históricas a las sequías son muy variadas. Aparecen en memorias, crónicas, expedientes administrativos y legales, en referencias a riegos extraordinarios, a descensos en la producción agrícola y ganadera, a incrementos de precios de cereales, a hambrunas o epidemias favorecidas por una población debilitada a causa del hambre. De estas referencias, una de las más usadas por los especialistas en



climatología histórica es el de las rogativas *pro pluviam*. Se trata de manifestaciones religiosas solicitando lluvias tras un periodo de sequía.

La comprensión e interpretación de los documentos históricos originales es otro problema al que se enfrentan los especialistas. Es habitual referirse al necesario dominio y conocimiento de aspectos como:

- Lengua. Los documentos están escritos en las diferentes lenguas utilizadas en el territorio español desde épocas históricas: latín, hebreo, catalán, árabe, etc.
- Escritura y léxico. Hay documentos que utilizan diferentes tipos de letra, merovingia, carolingia, visigótica, gótica, humanística o moderna, con escritura formal, informal o críptica, si se pretende guardar discreción, y expresiones o vocablos antiguos ya en desuso o con otro significado.
- Cronología. Las referencias históricas hacen mención a fechas que utilizan distintos calendarios utilizados en España: romano, hispánico, mahometano, hebreo, cristiano juliano y finalmente gregoriano. A modo de ejemplo, hay que sumar 38 años a una fecha del calendario hispánico para convertirla en fecha actual; este calendario se usó en inscripciones, crónicas y documentos desde el siglo III hasta los siglos XII al XV. El cambio propuesto por el Papa Gregorio XIII eliminó 10 días del calendario (del 5 al 14 de octubre de 1582) y fue adoptado inmediatamente por España (Pfister et al., 1999).
- Localización geográfica. Es frecuente encontrarse con toponímicos que han cambiado.
- Aspectos metrológicos. El sistema métrico fue adoptado en España en el s. XIX, pero con anterioridad se utilizaba patrones originalmente basados en el romano, con influencias regionales de la época árabe (Barnolas y Llasat, 2007).
- Falsedad y errores de la información

El objetivo de este trabajo no es realizar un trabajo de climatología histórica sino recopilar las conclusiones de la abundante bibliografía existente sobre el tema. Existe un importante número de grupos de investigación especializado en el análisis de estos documentos originales. Recogen, recopilan e interpretan datos sobre el carácter de las sequías y los publican en libros o artículos científicos. El enfoque es, por tanto, secundario y solo ocasionalmente se ha dispuesto de la posibilidad de consultar directamente la documentación original buscando aclarar alguna contradicción entre los datos recopilados.

4.2 FUENTES BIBLIOGRÁFICAS Y ÁMBITOS DE INVESTIGACIÓN

4.2.1 Ámbito Nacional

La aproximación a la climatología histórica en España cuenta con notables antecedentes. A mediados del siglo XIX, Manuel Rico Sinobas emprendió una búsqueda por diferentes tipos de documentos con el fin de configurar una base de datos históricos de índole meteorológica, cuyos resultados han sido luego utilizados por numerosos historiadores. Campaner y Fuertes publican en 1881 un cronicón con información documental año a año desde 1229 a 1800 en la isla de Mallorca, incluyendo 91 noticias sobre rogativas *ad petendam pluviam* (sobre sequías). El

Instituto Geológico y Minero de España reedita en 1995 una publicación de Bentabol (1900) sobre las aguas de España y Portugal, en el que se incluye un listado de “los mayores trastornos climatológicos ocurridos en España”. El listado incluye información sobre sequías ocurridas en España desde el año 224 a. C. que fue recopilada de estudios previos, tales como las memorias geológicas de Cuenca, Salamanca, Segovia, Teruel, Valencia, Valladolid, Vizcaya y Zamora, o estudios sobre inundaciones del Levante español. Puig publica en 1949 su estudio en el que analiza épocas de sequía y de lluvias en España durante la antigüedad. Bennassar publica en 1967 un valioso ensayo sobre la climatología histórica entre 1500 y 1700. Además, hay que hacer referencia a los importantes trabajos llevados a cabo por Fontana et al. (1974) y por Fontana (1976a, 1976b, 1977a, 1977b, 1978) que tenían el objetivo de recopilar información sobre el clima en distintas regiones de España.

Una referencia clave de carácter global sobre las sequías históricas en España es Font Tullot (1988), quien recopiló información de otros autores, como los comentados anteriormente. Font Tullot hace una descripción de la evolución del clima en España desde la última edad glacial (8.000 a. C.) hasta nuestros días, separando claramente las características climáticas de Canarias de las del resto de España. Incluye para cada siglo indicaciones sobre el clima europeo y el español, con especial referencia a los episodios de sequía y a los de precipitaciones intensas que provocaron inundaciones.

Linés publicó en 1990 un libro sobre los cambios en el sistema climático, en el que incluye un capítulo sobre los cambios climáticos acaecidos en España en los últimos milenios, que fueron recopilados de numerosos estudios previos como los de González (1980). Posteriormente publica en el año 2001 una recopilación de las adversidades meteorológicas en España, pero centradas en tiempos de Carlos I.

Una importante labor recopilatoria se lleva a cabo en el proceso de planificación hidrológica, anterior y posterior a la ley de Aguas del año 1985. Los Planes Especiales de Sequías, publicados por las Confederaciones Hidrográficas en el año 2007, contienen información sobre las sequías más recientes que afectaron a los respectivos ámbitos territoriales. El plan especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía del Ebro (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2007) presenta un valioso listado con las sequías históricas que habrían afectado al territorio de dicha Demarcación.

4.2.2 Ámbito Regional y Local

El tema de las sequías históricas ha sido abordado además por numerosos investigadores ligados a las universidades españolas, al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC, o a algún otro centro de investigación. En la mayoría de los casos, sus estudios han estado centrados en el ámbito relacionado con el centro de investigación donde desarrollan sus estudios.

Así, el Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante ha publicado un notable conjunto de artículos, en gran parte en la Revista de Investigaciones Geográficas, sobre la descripción de las causas y efectos de las sequías en España. Estos trabajos suelen referirse a sequías del Este y Sureste peninsular. Usan distintos enfoques y metodologías, desde la investigación climática y el uso de índices de sequía, el estudio de rogativas y frecuencias de las sequías hasta la recopilación de



impactos en sectores agrícolas, ganaderos, energéticos, sanitarios, medio ambientales y económicos en general. Entre estos autores que centran sus estudios en el Levante español se pueden citar a Albentosa (1982), Alberola (1996, 1999, 2004 y 2009), García Marín (2008), Gil Olcina (2004 y 2007), Morales et al. (2000), Olcina (1994, 1995, 2001 y 2002), Olcina y Rico (1995) y a Zamora (2000).

Albentosa (1982) publicó un listado sobre sequías según los libros de actas del ayuntamiento de Tarragona del siglo XVIII. Alberola (1996, 1999, 2004) extracta información climatológica de documentos eclesiásticos, de Hacienda, archivos municipales, archivos generales, etc., de tierras valencianas y obtiene información sobre sequías durante el siglo XVIII, como la severa sequía de 1749-53. Posteriormente, Alberola (2009) publicó un ensayo sobre la percepción popular de diversas catástrofes en España durante el siglo XVIII, donde hacía mención a sequías históricas identificadas en España por diferentes autores. Gil Olcina (2004, 2007) describe las características y las consecuencias de las sequías que en 1841-42 y 1846-50 asolaron el SE ibérico. Morales y Rico (1996) analizan las sequías en el SE ibérico, con mención a los efectos de las mismas durante el siglo XX. Morales et al. (2000) también describen la percepción de las sequías en diferentes partes de España y dan un listado de sequías en España durante los siglos XIX y XX.

Olcina et al. (Universidad de Alicante), han publicado numerosos trabajos sobre sequías. Una parte de las publicaciones describe y clasifica diferentes tipologías de sequías en España (Olcina, 1994, 2001, 2002). En un segundo bloque se analizan las sequías recientes en el SE de España (Olcina, 1995; Olcina y Rico, 1995). Zamora (2000) lleva a cabo un estudio de la sequía de principios del siglo XIX en Orihuela, utilizando para ello los valores de las *rogativas pro pluvia*. Identifica varias fases secas al analizar la frecuencia con la que se realizaban las rogativas. Una de estas fases es la que se desarrolló a principios del siglo, desde 1800 hasta 1811 con máximo de intensidad en 1807 y que, a pesar de ser de intensidad moderada, sus efectos tuvieron importantes repercusiones en la economía de la zona.

Dentro de los estudios de las sequías del SE peninsular cabe mencionar el trabajo exhaustivo y de gran interés que elaboraron Couchoud y Sánchez Ferlosio en 1965 sobre eventos hidrológicos, sequías e inundaciones, en la cuenca del Segura. Fue publicado por el Centro de Estudios Hidrográficos. Ese estudio contiene referencias con un detalle diario de los eventos hidrológicos y sus consecuencias desde 1535 hasta 1879, por lo que podría considerarse que constituye un registro continuo de las sequías que afectaron a dicha zona. Cuenca y Walker (1986) llevan a cabo otro interesante estudio del paleoclima del SE peninsular que fue luego referido por Font Tullot (1998).

Las sequías históricas en Cataluña han sido estudiadas especialmente por los investigadores Barriendos y Martín Vide, de la Universidad de Barcelona, que han centrado sus trabajos en recopilar información sobre rogativas en Cataluña para, a partir de ellas, interpretar eventos climáticos extremos. También han extendido sus trabajos, en colaboración con otros autores, al resto de la geografía española. Con frecuencia, exponen los resultados en forma de gráficos, con valores suavizados mediante filtros o medias móviles, por lo que es difícil obtener información sobre los años secos que han identificado. Martín-Vide y Barriendos (1995) discuten la utilidad de las rogativas como fuente documental para el estudio de series meteorológicas en escalas diarias, mensuales y anuales y establecen niveles de la rogativa del I al V. Dan

la evolución desde el siglo XV de un índice de frecuencias de *rogativas pro pluviam* (sequía) para Cataluña. Alcanzan valores altos entre 1530-1580, 1615-1640, 1660-1700, 1740-1830, 1860-1881 y máximos, superiores a 2, entre 1870 y 1881. Barriendos y Martín-Vide (1996) dan un listado de sequías en Cataluña: 1566-67; 1628-31; 1751-54; 1817, centrándose en la descripción de la sequía de 1566-67, con numerosas rogativas e impactos en el abastecimiento de cereal a la población y en la falta de energía para mover los molinos. Barriendos (1997) establece pautas de variación climática y variaciones en el régimen pluviométrico de la Península Ibérica durante el *Late Maunder Minimum* (dentro de la Pequeña Edad del Hielo) a través de la información obtenida de rogativas durante el período 1675-1715. Establece un índice de frecuencia de sequías (Drought Rogation Index) que se calcula como suma ponderada estandarizada del nivel de rogativa (de 1 a 5) y del número de días al año en que se ha mantenido este nivel. Barriendos et al. (1998) utilizan la documentación manuscrita conservada en archivos históricos para calibrarlos con registros meteorológicos instrumentales de precipitación. Barriendos (2002) realiza una revisión metodológica basada en el análisis de rogativas, aporta gráficos sobre índices de sequías en diferentes lugares de España (Cataluña, Santiago, Toledo, Murcia y Sevilla) y enumera algunos eventos de sequías. Barriendos et al. (2010) describen la sequía extrema en el NE de España durante el periodo 1812-1825 y su posible relación con erupciones volcánicas.

Las sequías en Aragón y el valle del Ebro han sido identificadas a partir de datos dendrocronológicos, rogativas y crónicas diversas. Colás y Salas (1977) recogen un compendio de efemérides en Aragón bajo el reinado de los Austrias, de donde se obtiene información sobre sequías. Ascaso y Casals (1981) analizan la precipitación registrada en el observatorio de Zaragoza desde 1889 para caracterizar las sequías; además, dan una relación de sequías anteriores identificadas mediante rogativas de diferentes niveles que están registradas en documentos eclesiásticos, haciendo mención a los trabajos de otros autores. Saz y Creus (1998) analizan la dendrocronología de Pallaruelo de Monegros y reconstruyen la precipitación en el centro de valle del Ebro desde 1465 a 1989. Zurita (2003) recoge en su obra *Anales de Aragón* información valiosa para identificar sequías históricas en Aragón. Creus y Saz (2004) profundizan en la misma temática con series dendrocronológicas del sector central del valle del Ebro. Rubio y Del Valle (2005) recopilan documentos históricos del sur de la provincia de Teruel para reconstruir la evolución de unos humedales (Cañizar) e identificar unos eventos de sequías históricas desde el siglo XVI a la actualidad. Utilizan, entre otras fuentes, una revisión de escritos antiguos de Gargallo (1996). Vicente-Serrano y Cuadrat (2007) describen la evolución de las sequías desde el año 1600 en el centro del valle del Ebro. Cuantifican las sequías mediante un índice construido a partir de las rogativas que aparecen en los documentos eclesiásticos de Zaragoza desde 1557 y su relación con las series instrumentales de precipitación y datos dendrocronológicos. Posteriormente, Vicente-Serrano (2012) realiza una descripción de las principales sequías en la Península Ibérica durante el siglo XX a partir de registros instrumentales de precipitación y define 4 regiones homogéneas desde el punto de vista de las sequías históricas (Norte, NE, SE y Centro-Oeste).

Hernández Varela et al. (2003) estudian artículos de prensa de contenido climático para deducir fenómenos meteorológicos extraordinarios en el País Vasco. El periodo de análisis va desde 1870 hasta 1954. Hacen además una valiosa descripción de las



dificultades que encontraron al tratar con documentos históricos, a pesar de que estos son relativamente recientes.

Con relación al centro de España, hay que volver a mencionar la publicación *Valladolid au Siècle D'or* (Bennassar, 1967) de la que se extrae valiosa información sobre sequías. González (1980) describe el clima toledano en los siglos XVI y XVII a partir del estudio de documentos históricos. Su obra es referencia habitual en trabajos posteriores, como el de Font Tullot (1988). López-Salazar y Martín-Galán (1981) describen la producción de cereales en Madrid y Castilla-La Mancha entre 1463 y 1699. Esta línea de investigación se refiere al hecho de que la información sobre sequías puede obtenerse de manera indirecta a partir de datos antiguos sobre la producción agrícola, habida cuenta de que una bajada en la producción puede estar motivada por un descenso notable de precipitaciones. Además, también hacen referencia a numerosos estudios de la misma temática que cubren diferentes partes del territorio español. Rodríguez Grajera (1989) analiza los documentos históricos municipales para interpretar las crisis de mortalidad que afectaron al norte de Extremadura durante el siglo XVII. En gran medida, la mortandad pudo deberse al hambre que originaron sequías intensas, así como a los episodios de peste que fueron más virulentos por el hecho de que la población estuviera famélica. Se citan sequías en esa zona durante 1629-30, 1650-51, 1659, 1682-3 y 1685.

Las sequías históricas en La Mancha durante el siglo XVIII son objeto del trabajo de Díaz-Pintado (1991). Recopila información de archivos municipales, rogativas, diezmos y trabajos previos para finalmente presentar un listado muy detallado de manifestaciones climáticas extremas en diferentes municipios manchegos. Luengo et al. (2002) analizan las rachas secas de los últimos 70 años en el Duero. Domínguez-Castro en colaboración con diferentes autores ha publicado en los últimos años diversos artículos sobre sequías históricas en España, basadas en el análisis estacional de los registros de rogativas. En Domínguez-Castro et al. (2007, 2008) estudian las rogativas registradas en la catedral de Toledo para deducir eventos climáticos extremos en el centro de la cuenca del Tajo desde el siglo XVI. En el trabajo del año 2007 identifican una serie de amplios periodos de sequías e inundaciones: 1500-1556, 1557-1590, 1591-1623, 1624-1716, 1717-1798, 1798-1850, 1851-1900. En el segundo trabajo (2008) refieren amplios periodos de sequías: 1576-1600, 1601-1675, 1711-1775, 1775-1810. Domínguez-Castro et al. (2010) estudian los registros de rogativas desde 1600 a 1750 en Bilbao, Cataluña, Zamora, Zaragoza, Toledo, Murcia y Sevilla. Se refieren a 2 intensas sequías generalizadas para la Península ocurridas en 1664 y 1680. Domínguez-Castro et al. (2012) analizan las rogativas en diferentes lugares de la geografía española durante 1750 a 1850, y establecen 4 notables periodos de sequías: 1750-54, 1779-83, 1817 y 1824.

Hay abundantes trabajos donde se recopila información de documentos históricos de los que se pueden identificar sequías que afectaron al sur peninsular. Es el caso de los estudios de Álvarez Sáenz de Buruaga (1994), Bermúdez (1638), Carmona (2000), de Echegaray (1851), Díaz de Escovar (1899), Estrada (1970), Garrad (1965), Garrido Balinot (2009), Pardo (1929), etc.

La antigua recopilación de Bermúdez de 1638 narra noticias sobre la fuerte sequía que tuvo lugar en Granada entre 1604 y 1605 con graves consecuencias y numerosas rogativas. Echegaray (1851) revisa las causas y efectos de las sequías en Almería y

Murcia, especialmente por los daños causados en la agricultura (Gil Olcina, 2007). No detalla fechas de eventos, por lo que no se puede extraer información concreta para los registros de CatSE, pero analiza detalles relativos a la relación entre lluvia y vegetación o la necesidad de regulación de las aportaciones de los ríos.

Díaz de Escovar (1899) centra sus estudios en Málaga, de donde se ha extraído información sobre las sequías de 1605-06 y 1720-22, también recogida por Estrada (1970) en *Efemérides Malagueñas*. Pardo (1929) obtiene información sobre sequías que afectaron en 1824-25 y en 1851 a la villa de Santa Cruz de Mudela, al sur de Ciudad Real. Álvarez Sáenz de Buruaga (1994) estudia la historia de las sequías acaecidas en Mérida entre 1637 y 1936. Carmona (2000) recoge las crónicas urbanas de los siglos XIV y XVII en Sevilla, con relación a la insalubridad, desamparo y hambre en Sevilla, de donde se interpretan eventos de sequías.

Son relevantes los estudios históricos del clima del sur peninsular llevados a cabo por Rodrigo et al. (1999, 2000). Establecen un índice de precipitación, mensual, estacional y anual para Andalucía entre 1501 y 1997 basado en las noticias recopiladas en fuentes documentales. El índice anual toma valores de -2 para situaciones climáticas muy secas y de +2 para las húmedas. La serie continua de este índice resulta de gran utilidad para interpretar sequías históricas que afectaron a Andalucía. Está calibrado con la precipitación instrumental del periodo 1791-1997.

La información sobre sequías históricas en Canarias ha sido tomada en el CatSE de los estudios de García et al. (2003), Romero y Máyer (2002) y Santana (2001), así como de estudios más generales como los de Font Tullot (1988) y Linés (1990). García et al. (2003) utilizan fuentes documentales históricas de los impuestos recolectados sobre los cereales en las Islas Canarias para crear unas series de producción de trigo y cebada para el periodo comprendido entre 1595 y 1836. Utilizaron estas series para generar un índice de precipitación anual en las islas y lo contrastaron con información escrita (crónicas, diarios, etc.) sobre eventos religiosos destinados a rogar por la aparición de las lluvias durante periodos de sequía. Romero y Máyer (2002) obtienen una serie de sequías del siglo XVII en la isla de Gran Canaria a partir de la consulta y el análisis de las actas del Cabildo Catedral. El número de rogativas *pro pluviam* y el tipo de acto litúrgico, registrados de forma consecutiva, les han servido para calcular un Índice Medio Combinado de Sequía y, a partir de éste, identificar los periodos de sequía y establecer tres niveles de intensidad. Santana (2001) estudia los registros históricos de Gran Canaria entre los siglos XV al XIX. Identifica periodos con acuciante falta de alimentos que producían crisis de subsistencia que, con frecuencia estaban relacionados con la sequía, como las identificadas en los quinquenios 1625-1630, 1655-1660 y 1665-1670.

4.2.3 Proyectos Científicos

Otra fuente de información la constituyen algunos resultados de proyectos específicos. Es el caso del proyecto Red para la Reconstrucción del Clima a partir de fuentes Documentales (RECLIDO, 2004). Está financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (acción especial REN2002-10819-E/CLI) y pretende impulsar el conocimiento de la variabilidad del clima, profundizar en el análisis de las fuentes documentales, así como favorecer la comunicación entre los distintos investigadores en España. Entre las instituciones y organismos españoles participantes se encuentran las



CEDEX

Universidades Complutense, de Vigo, Pablo Olavide, de Extremadura, de Barcelona, de Granada, de Almería, el Archivo del Museo Naval, Archivo General de la Marina “Álvaro de Bazán” y el Archivo General de Indias. Hay además dos colaboradores internacionales, la Universidad de Sunderland de Gran Bretaña y el Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Mendoza de Argentina. En su página web² hay resultados alcanzados con relación a las sequías históricas y 2 boletines de investigación correspondientes a marzo y julio de 2004.

Otro proyecto con actividad en la investigación de sequías a partir de fuentes documentales y dendrocronología es SINEAQUA³. Es un proyecto de I+D con el objetivo de reconstruir y caracterizar las sequías ocurridas en España promovido y realizado por el Grupo de Ingeniería del Agua de la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Castilla-La Mancha. Se financia por medio de proyectos como el que se presenta en este informe sobre “La Reconstrucción de Series Hidrológicas mediante Dendrocronologías y su Utilización para la Identificación de Sequías Históricas en España”.

La Universidad de Vigo promueve el proyecto Salvá Sinobas⁴. Su objetivo es caracterizar la variabilidad climática en la Península Ibérica durante el periodo 1750-1850. Se desarrolla desde 2009 y reúne a un nutrido número de investigadores de diferentes centros de investigación españoles, también participantes en RECLIDO. A través de la web se accede a artículos, a datos de diferentes variables e índices climáticos y al número especial de *Climate of the Past* editado por F. Domínguez-Castro, D. Wheeler, V. Rath y P. Ziveri, titulado “Characterization of climatic variability in the Iberian Peninsula during the last centuries”⁵.

Entre los proyectos a escala europea cabe citar los siguientes:

1. IMPROVE⁶. Cuyo objetivo principal se centra en la recuperación de información climática y en el análisis de los procedimientos de corrección y homogeneización
2. CLIWOC⁷, para la recuperación de datos climáticos en registros navales de los siglos XVIII y XIX
3. MILLENNIUM⁸, en el que se analizaban las características climáticas del siglo XX respecto a las del milenio. El capítulo de sequías se analizó considerando las series de 3 y 6 meses del índice estandarizado de precipitación, las rachas de días sin lluvia y la evapotranspiración potencial.

² <http://www.stream-ucm.es/RECLIDO/es/home-es.htm>

³ <http://www.sineaqua.es/index.php>

⁴ <http://salva-sinobas.uvigo.es/>

⁵ http://www.clim-past.net/special_issue35.html

⁶ <http://www.isac.cnr.it/~microcl/climatologia/improve.php>

⁷ <http://www.ucm.es/info/cliwoc/>

⁸ <http://eca.knmi.nl/download/millennium/millennium.php>

4.3 IDENTIFICACIÓN DE SEQUÍAS

4.3.1 Proxy en Documentos Históricos

El estudio de las rogativas y del registro de la producción agrícola para la estimación de los impuestos son métodos usualmente utilizados por los historiadores del clima. Ambos tipos de información se caracterizan por su alto grado de detalle, la continuidad de los registros y su cuantificación. El número de rogativas o los niveles de plegaria son elementos que posibilitan la cuantificación de la intensidad de una sequía, como también lo es el dato y valoración de la producción. Esas características posibilitan análisis estadísticos, obtener diferentes series de índices relacionados con las sequías y cuantificar el impacto que produjeron.

Hay también información sobre daños a la población o bienes o adopción de medidas extraordinarias de las que pueden también deducirse eventos de sequía, si bien la información no es continua y es difícil la cuantificación del impacto de la sequía que pudiera tener esas consecuencias. Este es el caso del antiguo documento de Méndez (1645) o las citas a episodios de hambre, llegando a la mortalidad, que afectaron al centro peninsular durante los siglos XVI a XIX (Pérez Moreda, 1980) o al norte de Extremadura durante el siglo XVII (Rodríguez Grajera, 1989).

Los especialistas en climatología histórica identifican distintas sequías en función de distintos criterios. Un ejemplo ilustrativo del desacuerdo lo constituye la interpretación de los cambios climáticos durante la denominada Pequeña Edad del Hielo (PEH), periodo que abarcaría desde mediados del siglo XVI hasta mediados del siglo XIX.

Font Tullot (1988) indica que los siglos XIV y XV tuvieron carácter normal y húmedo respectivamente. El clima de los siglos XVI y XVII fue frío y muy variable, con numerosos eventos de sequía, sobre todo durante la segunda mitad del siglo XVII. Durante el siglo XVIII, las sequías fueron más locales y menos importantes y el siglo XIX fue más suave en cuanto a la ocurrencia de sequías con un reducido número de eventos de escala nacional.

Díaz-Pintado (1991) interpreta en La Mancha un periodo templado-húmedo en 1700-1727, uno árido en 1728-54 y uno frío con sequías intermitentes entre 1755 y 1807. Rodrigo et al. (1999) comentan que en Andalucía el siglo XVI es seco, al cual le sigue un periodo húmedo desde 1590-1650, luego otro con alta variabilidad hasta 1715 y posteriormente uno seco durante el resto del siglo XVIII. Creus et al. (2000) detectan que el siglo XV fue seco y el XVII húmedo y que los siglos XV y XVI son los de mayor variabilidad climática, los que relacionan con la PEH, cuyo inicio algunos autores adelantan a mediados del siglo XIV.

Rubio y del Valle (2005) indican que los siglos XVI y XVII fueron más secos que el siglo XVIII en la margen derecha del Ebro medio. Vicente Serrano y Cuadrat (2007) analizan rogativas en Zaragoza para establecer que el siglo XVIII es más seco que el XVII y el XIX, siendo muy seco el último cuarto del siglo XVIII. Domínguez-Castro et al. (2010) comentan que en la primera mitad del siglo XVII las sequías son locales, mientras que en la segunda son generalizadas, coincidente con el mínimo de manchas solares de Maunder (1645-1715). Posteriormente, Domínguez-Castro et al. (2008) proponen para los siglos XVIII y XIX dos amplios periodos con alta frecuencia de rogativas *pro pluviam* registradas en Toledo. Uno entre 1717 y 1798 y otro entre 1851 y 1900.



Morales et al. (2000) tratan los impactos de las sequías producidas en diversos puntos de España durante los siglos XIX y XX, identificando como años secos del siglo XIX algunos que no aparecen en el trabajo de Font Tullot (1988), como son 1836, 1853 y 1882; y sequías, como periodos secos de mayor duración: 1800-1808, 1820-1830, 1840-1850 y 1861-1880. La mayor relevancia que dan Morales et al. (2000) a las sequías de 1836 y 1853 es debido a que afectaron al SE de España, zona de mayor interés para dichos autores.

4.3.2 Rogativas

Las crónicas de rogativas son una petición religiosa ante condiciones climáticas adversas y sus negativos efectos socioeconómicos (Martín-Vide y Barriendos, 1995). Se distinguen dos tipos, *pro pluviam* y *pro serenitate* en función de si lo que se pide al santo es la lluvia en época de escasez o su interrupción cuando su torrencialidad o exceso producen daños. Se celebran diariamente durante las estaciones climáticas en las que se sufre la escasez de agua. Cabe relacionarlas con las sequías agrícolas ya que este parece ser el elemento de vulnerabilidad por el que se solicita la intercesión del santo.

Debido a esta razón, las rogativas de mayor frecuencia ocurren en primavera y otoño. También cabe esperar que las rogativas se produzcan con mayor frecuencia en aquellas regiones con menor pluviometría o recurso hídrico. A esta conclusión llegan Domínguez-Castro et al., (2010) al recopilar rogativas de distintas localidades de la Península Ibérica (Bilbao, Cataluña, Zamora, Zaragoza, Toledo, Murcia y Sevilla), si bien destacan que en un ambiente atlántico el mayor número de rogativas tiende a ocurrir en verano. A una conclusión similar llegarían Couchoud y Sánchez Ferlosio (1965) al detectar que el número de rogativas en Murcia es alto y que muchas de ellas se concentran en los primeros meses de cada año natural, entre final del invierno y principios de la primavera, quizás por la vulnerabilidad de cultivos y ganadería. También la falta de lluvias en otoño solía iniciar las ceremonias *pro pluviam*, que concluían en una misa de acción de gracias al llegar las lluvias.

El estudio de las rogativas *pro pluviam* es una de las técnicas más utilizadas en climatología histórica para la identificación de sequías. Se ha referido el Cronicón de Mallorca de Campaner y Fuertes (1881) como una de las primeras recopilaciones sobre rogativas, en este caso de Mallorca. De 1965 es el trabajo de Couchoud y Sánchez Ferlosio sobre “Secas, Riadas, Rogativas, Calamidades, Trabajos y Esperanzas de los Anales del Segura”, publicado en una colección de Hidrología Histórica del Centro de Estudios Hidrográficos. Es esta una recopilación exhaustiva de la información sobre eventos hidrológicos ocurridos desde 1535, pero circunscritos a Murcia y a la cuenca del Segura, región especialmente vulnerable a la falta de agua. Estas crónicas describen ceremonias de rogativas, obras de protección frente a riadas, saneamiento de aguas estancadas o hambrunas y epidemias de peste que se relacionaban con la variabilidad climática.

Actualmente, hay un abundante número de investigadores que utilizan esta técnica: Ascaso y Casals (1981), Martín-Vide y Barriendos (1995), Barriendos, (1997), Barriendos et al., (1998), Zamora (2000), Romero y Mayer (2002), Vicente-Serrano (2006), Vicente Serrano y Cuadrat (2007) y Domínguez-Castro et al. (2007, 2010 y 2012). La información principal de las rogativas se encuentra normalmente localizada

en registros como actas y minutas eclesiásticas o municipales con información local pero continua a lo largo de siglos. Cabe además suponer cierta homogeneidad a las series si se puede suponer la ausencia de cambios tanto en la estructura social y religiosa como en las tecnologías agrícolas y en la disponibilidad al recurso hídrico. Ambos aspectos no se mantendrían desde el siglo XIX (Domínguez-Castro et al., 2010) ni de unas regiones a otras por diferencias climáticas y de valores socioculturales y religiosos.

Una de las cuestiones de interés es la cuantificación u ordenación de las intensidades de sequía. Los investigadores han compuesto reglas de ordenación que relacionan el tipo de rogativa con la intensidad de la sequía (Romero y Mayer, 2002; Zamora, 2000; Martín Vide y Barriendos, 1995; Domínguez-Castro et al, 2007, 2008, 2010, 2012). La frecuencia y el nivel de las rogativas han sido los parámetros utilizados por algunos autores para obtener un índice de sequía y evaluar la intensidad de la misma (Martín Vide y Barriendos, 1995; Barriendos, 1997; Barriendos et al., 1998; Barriendos, 2002; Vicente Serrano y Cuadrat, 2007).

A modo de ejemplo ilustrativo, la sequía del Sureste español del año 1721 documentada por Couchoud y Sánchez (1965) relata lo siguiente: “*Las primeras rogativas de este año se celebraron el día 23 de febrero. El 15 de marzo se celebró misa solemne a las benditas Ánimas del Purgatorio. El día 16 se expuso la imagen de Nuestra Señora de las Lágrimas. El 17 se colocó en el altar mayor la reliquia de la Leche Virginal de María Santísima. El 18 se hizo lo mismo con la del Lignum Crucis. El 19 se trajo en procesión a la Virgen de la Fuensanta. El 14 de abril se la llevó a la iglesia de San Pedro. El 12 de noviembre se celebraron las últimas rogativas de este año tan devoto como parco en llluvias.*” Los niveles de gravedad de la sequía en Murcia serían similares a los que describe Zamora (2000) sobre los tipos de ceremonia religiosa para el caso de Orihuela.

La Tabla 2 muestra las escalas utilizadas por diferentes autores en diferentes regiones.

Tabla 2. Niveles de rogativa por regiones de España según diferentes autores.

Autor	Zona	Nivel	Tipo de Rogativa <i>pro pluviam</i>
Couchoud y Sánchez Ferlosio (1965)	Cuenca del Segura	I	Rogativas públicas
		II	Colecta <i>pro pluvia</i> en misas (benditas Ánimas del Purgatorio)
		III	Exposición del intercesor (Nuestra Señora de las Lágrimas), Leche Virginal de María Santísima y Lignum Crucis
		IV	Procesión del intercesor (Virgen de Arrixaca, de la Fuensanta y N.P. Jesús)
Martín Vide y Barriendos (1995)	NE peninsular	I	Rogativas simples: letanías, colectas, gozos, etc.
		II	Exposición de reliquias e imágenes en el altar de las iglesias
		III	Procesión con reliquias e imágenes por la población
		IV	Inmersión de reliquias e imágenes en agua/exposición del Santísimo Sacramento
		V	Peregrinación a centros religiosos lejanos
Zamora (2000)	SE peninsular	I	Rogativas públicas
		II	Colecta <i>pro pluvia</i> en misa
		III	Exposición del intercesor (Virgen María patrona o Jesús Nazareno)
		IV	Procesión del Intercesor



Autor	Zona	Nivel	Tipo de Rogativa <i>pro pluviam</i>
Romero y Mayer (2002)	Canarias	I	Celebración de "misas del agua" y actos de penitencia y plegarias
		II	Procesión con los santos de la ciudad, trasladándose de lugar
		III	Procesión general con santos de la ciudad, de los pueblos y de la Patrona insular
Vicente-Serrano y Cuadrat (2007)	Centro del Valle del Ebro	1	Petición a la Iglesia
		2	Exposición del intercesor
		3	Misas y procesiones con el intercesor en la iglesia
		4	Procesiones con el intercesor fuera de la iglesia
		5	Peregrinación al intercesor de otra iglesia o santuario

Es habitual que los estudios en climatología histórica se circunscriban a ámbitos locales, sin información relativa a otras zonas. No obstante, esta limitación se supera al estar disponibles mayor número de series de rogativas lo que permite la comparabilidad y estimación de la extensión de las sequías (Domínguez-Castro et al., 2010, 2012).

4.3.3 Exenciones de Deudas e Impuestos

Además de las rogativas, hay información en documentos históricos que se relaciona con sequías. Desde antiguo las sequías han constituido exenciones en el pago de deudas o impuestos. En el código Hammurabi se indica en la Ley 48: XIII, 71-XIV, 17: *Si alguien una deuda por su cuenta contrae y su campo el Dios de la tormenta inunda o si una crecidas lo barre o si por falta de agua la cebada del campo no llega a sazón, en ese año cebada a su acreedor no entregará, su tablilla-recibo borrará y el rédito de ese año no pagará.* En el antiguo Egipto se registraba el nivel del Nilo en los denominados Nilómetros. Con este dato los sacerdotes preveían las cosechas y fijaban los impuestos que debían pagar los agricultores. Es muy conocida la cita de Plinio el Viejo que define la sequía conforme al índice alcanzado en el Nilómetro de la Isla Elefantina: *...cuando el ascenso alcanzaba doce codos⁹, hay hambre; en trece hay escasez; catorce trae alegría; quince seguridad y dieciséis abundancia gozo o placer.* En Dooge (1988) se encuentra la tabla de correspondencia que según Plinio el Viejo relacionaba el nivel de impacto esperado y el registro del Nilómetro (Tabla 3). Los impuestos hacen referencia a producciones anuales, por lo que la información histórica es de paso anual.

⁹ El codo egipcio (*meh*) medía unos 0,45 m; el codo real egipcio, utilizado desde la dinastía III, tenía 0,523 m

Tabla 3. Impacto social del nivel del Nilo según Plinio el Viejo (Dooge, 1988)

Nivel en Nilómetro. Codos Egipcios (<i>meh</i>)	20	
	19	Desastre
	18	
	17	Abundancia
	16	Seguridad
	15	Felicidad
	14	Escasez
	13	Hambruna
	12	

El análisis de la evolución de los impuestos y de las producciones agrícolas como *proxy* de las sequías en España no cuenta actualmente con tantas publicaciones como las mencionadas en el caso de las rogativas. García et al. (2003a y 2003b) analizan “Libros del Pan” del periodo 1595-1836 en Canarias. En ellos hay información sobre las cosechas de cereales, que eran la base para determinar los impuestos que debían pagar los agricultores gestionados por el Cabildo Catedralicio. A partir de las cosechas, los autores establecen un índice *proxy* (indirecto) de la precipitación. Este estudio ha sido de gran utilidad para las Canarias, si bien las variaciones de producción pueden también ser debidas a otros fenómenos como plagas de insectos, pestes, fuertes tormentas, etc. por lo que los autores optaron por usarlo como información secundaria de otras y contrastarla en la medida de lo posible con la procedente de otras fuentes como las rogativas. En este sentido se entiende la metodología seguida por Alberola (1996, 1999, 2004) para el estudio de sequías en tierras valencianas consistente en extraer información de múltiples fuentes como son los documentos eclesiásticos, de Hacienda, archivos municipales, archivos generales, etc. De manera similar, López-Salazar y Martín-Galán (1981) describen la producción de cereales en el arzobispado de Toledo de los siglos XV, XVI y XVII, e indican que la caída de la producción puede deberse a diferentes causas, tales como sequías, fuertes tormentas o conflictos sociales.

4.4 INCORPORACIÓN DE EVENTOS EN CATSE

4.4.1 Regiones en los Estudios Históricos

La identificación y recopilación en un catálogo de las sequías históricas analizadas en los estudios, artículos y trabajos como los anteriormente citados conlleva la identificación de la región en el que la sequía ocurre, el periodo temporal durante el cual ocurre el déficit, su intensidad, así como de los impactos y daños ocasionados. Sin embargo, los trabajos no están referidos a un común denominador y es necesario adaptar de manera razonable a la estructura de la base *CatSE*, contrastando hechos similares tratados por diferentes autores con distintas metodologías de análisis.

Una sequía es consecuencia de situaciones meteorológicas sinópticas persistentes que razonablemente ha de afectar a áreas suficientemente extensas. Cada evento de sequía puede afectar a una o a varias regiones. Por otro lado, cabe subrayar el que la



definición práctica de una región es previa a la caracterización e identificación de sequías (Dracup et al., 1980). Es decir, es necesario haber definido previamente la región para caracterizar en la práctica las sequías.

Al abordar una recopilación de las sequías identificadas en diferentes estudios surge el problema de la falta de información sobre las regiones de referencia. Las regiones a las que se hace referencia en los estudios de climatología histórica no coinciden lógicamente con las del SIEH presentadas en la Figura 1 y Tabla 1. Desde el punto de vista de la caracterización del fenómeno natural, son además imprecisas y en la mayoría de los casos no se refieren a regiones climáticas o hidrológicas si no que corresponden a los límites administrativos en donde se sufren los efectos de la sequía. Hay también descripciones apoyadas en un criterio climático-geográfico, o al menos así se ha entendido, cuando se mencionan sequías ibéricas, del SE ibérico, mediterráneas, del archipiélago Canario o cantábricas entre otras (Olcina, 2001).

Dado este problema, el primer paso en la recopilación ha sido el de referir los estudios a la base de regiones del SIEH. En función de la descripción utilizada por cada autor, se han establecido las relaciones oportunas entre regiones SIEH y las descripciones regionales dadas. La Tabla 4 presenta esta correspondencia entre las descritas en la documentación consultada y las regiones del SIEH. Cuando en la descripción de la sequía se indica que tuvo incidencia generalizada sobre España, se consideran todas las regiones de la Tabla 1.

Tabla 4. Correspondencia entre regiones del SIEH y las descritas en la documentación

Región descrita	Región SIEH	Región descrita	Región SIEH
Andalucía	GUADIANA Sur	Extremadura	TAJO Bajo margen derecha
	GUADALQUIVIR Cabecera margen derecha		TAJO Bajo margen izquierda
	GUADALQUIVIR Guadiana Menor		GUADIANA Centro
	GUADALQUIVIR Medio margen izquierda		GUADALQUIVIR Bajo margen derecha
	GUADALQUIVIR Medio margen derecha	Galicia	MIÑO SIL
	GUADALQUIVIR Bajo margen izquierda		CCII GALICIA COSTA
	GUADALQUIVIR Bajo margen derecha	Galicia. Interior	MIÑO SIL
	GUADALQUIVIR Almonte-Marismas	La Mancha	GUADIANA Cuenca alta
	GUADALQUIVIR Alto Genil		GUADIANA Jabalón-Bullaque
	CCII ANDALUZAS Sistema I		JÚCAR Medio
	CCII ANDALUZAS Sistema II	La Rioja	EBRO Tirón-Najerilla-Iregua
	CCII ANDALUZAS Sistema III		EBRO Margen derecha Leza al Huecha
	CCII ANDALUZAS Sistema IV	Levante	JÚCAR Norte
	CCII ANDALUZAS Sistema V		JÚCAR Bajo Turia
	CCII ANDALUZAS Guadalete-Barbate		JÚCAR Bajo
CCII ANDALUZAS Tinto-Piedras-Odiel	JÚCAR Sur		
Aragón	JÚCAR Norte		EBRO Huerva-Aguas Vivas Martín-Guadalupe-Matarraña
	JÚCAR Alto Turia		CCII CATALUÑA
	EBRO Margen derecha Leza al Huecha		CCII BALEARES
	EBRO Aragón-Arbas		Los Monegros
	EBRO Jalón-Jiloca	EBRO Jalón-Jiloca	
	EBRO Gállego-Cinca	EBRO Gállego-Cinca	
	EBRO Ésera-Noguera Ribagorzana	EBRO Segre	
EBRO Huerva-Aguas Vivas Martín-Guadalupe-Matarraña	EBRO Huerva-Aguas Vivas Martín-Guadalupe-Matarraña		
Bajo Aragón	JÚCAR Alto Turia	Margen derecha Cuenca del Ebro	EBRO Margen derecha Leza al Huecha
	EBRO Jalón-Jiloca		EBRO Jalón-Jiloca
	EBRO Huerva-Aguas Vivas Martín-Guadalupe-Matarraña		EBRO Huerva-Aguas Vivas Martín-Guadalupe-Matarraña
Bajo Guadalquivir	GUADALQUIVIR Bajo margen izquierda	Meseta Norte	DUERO Tera-Órbigo-Esla-Valderabuey
	GUADALQUIVIR Bajo margen derecha		DUERO Carrión-Pisuerga-Arlanza
Baleares	CCII BALEARES		DUERO Alto Duero-Riaza
Campo Valenciano	SEGURA Margen izquierda		DUERO Adaja-Cega-Bajo Duero
	SEGURA Margen derecha		DUERO Tormes-Águeda
	SEGURA Litoral	Meseta Sur	TAJO Cabecera
	JÚCAR Bajo Turia		TAJO Henares-Tajuña
	JÚCAR Bajo		TAJO Jarama-Guadarrama
JÚCAR Sur	TAJO Alberche		
Canarias	CCII CANARIAS		TAJO Medio margen izquierda
Castilla	DUERO Tera-Órbigo-Esla-Valderabuey	Meseta Sur	TAJO Bajo margen derecha
	DUERO Carrión-Pisuerga-Arlanza		TAJO Bajo margen izquierda
	DUERO Alto Duero-Riaza		GUADIANA Cuenca alta
	DUERO Adaja-Cega-Bajo Duero		GUADIANA Jabalón-Bullaque
	DUERO Tormes-Águeda	GUADIANA Centro	
	TAJO Cabecera	GUADALQUIVIR Cabecera margen derecha	
	TAJO Henares-Tajuña	Nordeste	EBRO Gállego-Cinca
	TAJO Jarama-Guadarrama		EBRO Ésera-Noguera Ribagorzana
	TAJO Alberche		EBRO Segre



Catálogo y Publicación sobre Sequías Históricas

CEDEX

Región descrita	Región SIEH	Región descrita	Región SIEH	
	TAJO Medio margen izquierda		EBRO Huerva-Aguas Vivas Martín-Guadalupe-Matarraña	
	TAJO Bajo margen derecha		CCII CATALUÑA	
	TAJO Bajo margen izquierda		MIÑO SIL	
	GUADIANA Cuenca alta		CANTÁBRICO zona occidental	
	GUADIANA Jabalón-Bullaque		CCII GALICIA COSTA	
	GUADIANA Centro		DUERO Tera-Órbigo-Esla-Valderabuey	
	JÚCAR Alto		DUERO Carrión-Pisuerga-Arlanza	
	JÚCAR Medio		DUERO Adaja-Cega-Bajo Duero	
Cataluña	EBRO Segre		DUERO Tormes-Águeda	
	EBRO Huerva-Aguas Vivas Martín-Guadalupe-Matarraña		MIÑO SIL	
	CCII CATALUÑA		CANTÁBRICO zona occidental	
Centro Peninsular	TAJO Cabecera	Norte Peninsular	CANTÁBRICO zona oriental	
	TAJO Henares-Tajuña		CCII GALICIA COSTA	
	TAJO Jarama-Guadarrama		CCII PAIS VASCO	
	TAJO Alberche		EBRO Cabecera	
	TAJO Medio margen izquierda		EBRO Batas-Zadorra-Inglares-Irati-Arga-Ega	
	TAJO Bajo margen derecha		EBRO Aragón-Arbas	
	TAJO Bajo margen izquierda		EBRO Gállego-Cinca	
	GUADIANA Cuenca alta		EBRO Ésera-Noguera Ribagorzana	
	GUADIANA Jabalón-Bullaque		EBRO Segre	
	GUADIANA Centro		CCII CATALUÑA	
Cuenca Alta del Ebro	EBRO Cabecera	País Vasco	CANTÁBRICO zona oriental	
	EBRO Tirón-Najerilla-Iregua		CCII PAIS VASCO	
	EBRO Batas-Zadorra-Inglares-Irati-Arga-Ega		CANTÁBRICO zona occidental	
Cuenca del Duero	DUERO Tera-Órbigo-Esla-Valderabuey	Región Cantábrica	CANTÁBRICO zona oriental	
	DUERO Carrión-Pisuerga-Arlanza		CCII PAIS VASCO	
	DUERO Alto Duero-Riaza	Región Pirenaica	EBRO Batas-Zadorra-Inglares-Irati-Arga-Ega	
	DUERO Adaja-Cega-Bajo Duero		EBRO Aragón-Arbas	
	DUERO Tormes-Águeda		EBRO Gállego-Cinca	
Cuenca del Duero Sector central	DUERO Carrión-Pisuerga-Arlanza		EBRO Ésera-Noguera Ribagorzana	
	DUERO Adaja-Cega-Bajo Duero		EBRO Segre	
Cuenca del Ebro	EBRO Cabecera	Sudeste Peninsular	CCII ANDALUZAS Sistema III	
	EBRO Tirón-Najerilla-Iregua		CCII ANDALUZAS Sistema IV	
	EBRO Batas-Zadorra-Inglares-Irati-Arga-Ega		CCII ANDALUZAS Sistema V	
	EBRO Margen derecha Leza al Huecha		SEGURA Margen izquierda	
	EBRO Aragón-Arbas		SEGURA Margen derecha	
	EBRO Jalón-Jiloca		SEGURA Litoral	
	EBRO Gállego-Cinca		JÚCAR Sur	
	EBRO Ésera-Noguera Ribagorzana	Sudeste Peninsular. Júcar	JÚCAR Norte	
	EBRO Segre		JÚCAR Alto Turia	
	EBRO Huerva-Aguas Vivas Martín-Guadalupe-Matarraña		JÚCAR Bajo Turia	
Cuenca del Guadalquivir	GUADALQUIVIR Cabecera margen derecha		JÚCAR Alto	
	GUADALQUIVIR Guadiana Menor		JÚCAR Medio	
	GUADALQUIVIR Medio margen izquierda		JÚCAR Bajo	
	GUADALQUIVIR Medio margen derecha		JÚCAR Sur	
	GUADALQUIVIR Bajo margen izquierda		Sur Peninsular	GUADIANA Sur
	GUADALQUIVIR Bajo margen derecha		Sur Peninsular	GUADALQUIVIR Cabecera margen derecha



Región descrita	Región SIEH	Región descrita	Región SIEH	
	GUADALQUIVIR Almonte-Marismas		GUADALQUIVIR Guadiana Menor	
	GUADALQUIVIR Alto Genil		GUADALQUIVIR Medio margen izquierda	
Cuenca del Júcar	JÚCAR Norte		GUADALQUIVIR Medio margen derecha	
	JÚCAR Alto Turia		GUADALQUIVIR Bajo margen izquierda	
	JÚCAR Bajo Turia		GUADALQUIVIR Bajo margen derecha	
	JÚCAR Alto		GUADALQUIVIR Almonte-Marismas	
	JÚCAR Medio		GUADALQUIVIR Alto Genil	
	JÚCAR Bajo		CCII ANDALUZAS Sistema I	
	JÚCAR Sur		CCII ANDALUZAS Sistema II	
Cuenca del Segura	SEGURA Cabecera		CCII ANDALUZAS Sistema III	
	SEGURA Margen izquierda		CCII ANDALUZAS Sistema IV	
	SEGURA Margen derecha		CCII ANDALUZAS Sistema V	
	SEGURA Litoral		CCII ANDALUZAS Guadalete-Barbate	
Cuenca del Tajo	TAJO Cabecera		CCII ANDALUZAS Tinto-Piedras-Odiel	
	TAJO Henares-Tajuña		SEGURA Cabecera	
	TAJO Jarama-Guadarrama		SEGURA Margen izquierda	
	TAJO Alberche		SEGURA Margen derecha	
	TAJO Medio margen izquierda		SEGURA Litoral	
	TAJO Bajo margen derecha		Tinto Odiel	CCII ANDALUZAS Guadalete-Barbate
Cuenca del Tajo Sector central	TAJO Bajo margen izquierda		Toledo	TAJO Jarama-Guadarrama
	TAJO Medio margen izquierda			TAJO Medio margen izquierda
Cuenca Guadiana	GUADIANA Cuenca alta		Toledo. Localidad	TAJO Jarama-Guadarrama
	GUADIANA Jabalón-Bullaque		TAJO Medio margen izquierda	
	GUADIANA Centro	Vertiente Atlántica	MIÑO SIL	
	GUADIANA Sur		CANTÁBRICO zona occidental	
Cuenca Norte	MIÑO SIL		CCII GALICIA COSTA	
	CANTÁBRICO zona occidental		DUERO Tera-Órbigo-Esla-Valderabuey	
	CANTÁBRICO zona oriental		DUERO Carrión-Pisuerga-Arlanza	
	CCII GALICIA COSTA		DUERO Alto Duero-Riaza	
	CCII PAIS VASCO		DUERO Adaja-Cega-Bajo Duero	
Cuencas de Andalucía	CCII ANDALUZAS Sistema I		DUERO Tormes-Águeda	
	CCII ANDALUZAS Sistema II		TAJO Cabecera	
	CCII ANDALUZAS Sistema III		TAJO Henares-Tajuña	
	CCII ANDALUZAS Sistema IV		TAJO Jarama-Guadarrama	
	CCII ANDALUZAS Sistema V		TAJO Alberche	
	CCII ANDALUZAS Guadalete-Barbate		TAJO Medio margen izquierda	
	CCII ANDALUZAS Tinto-Piedras-Odiel		TAJO Bajo margen derecha	
Cuencas de Cataluña	CCII CATALUÑA		TAJO Bajo margen izquierda	
España Parda	DUERO Tera-Órbigo-Esla-Valderabuey		GUADIANA Cuenca alta	
	DUERO Carrión-Pisuerga-Arlanza		GUADIANA Jabalón-Bullaque	
	DUERO Alto Duero-Riaza		GUADIANA Centro	
	DUERO Adaja-Cega-Bajo Duero		GUADIANA Sur	
	DUERO Tormes-Águeda		GUADALQUIVIR Cabecera margen derecha	
	TAJO Cabecera		GUADALQUIVIR Guadiana Menor	
	TAJO Henares-Tajuña		GUADALQUIVIR Medio margen izquierda	
	TAJO Jarama-Guadarrama	GUADALQUIVIR Medio margen derecha		
	TAJO Alberche	GUADALQUIVIR Bajo margen izquierda		



Catálogo y Publicación sobre Sequías Históricas

CEDEX

Región descrita	Región SIEH	Región descrita	Región SIEH
	TAJO Medio margen izquierda		GUADALQUIVIR Bajo margen derecha
	TAJO Bajo margen derecha		GUADALQUIVIR Almonte-Marismas
	TAJO Bajo margen izquierda		GUADALQUIVIR Alto Genil
	GUADIANA Cuenca alta		CCII ANDALUZAS Guadalete-Barbate
	GUADIANA Jabalón-Bullaque		CCII ANDALUZAS Tinto-Piedras-Odiel
	GUADIANA Centro	Vertiente Cantábrica	CANTÁBRICO zona occidental
	GUADIANA Sur		CANTÁBRICO zona oriental
	GUADALQUIVIR Cabecera margen derecha		CCII PAIS VASCO
	GUADALQUIVIR Guadiana Menor		EBRO Cabecera
	GUADALQUIVIR Medio margen izquierda	Vertiente Mediterránea	SEGURA Cabecera
	GUADALQUIVIR Medio margen derecha		SEGURA Margen izquierda
	GUADALQUIVIR Bajo margen izquierda		SEGURA Margen derecha
	GUADALQUIVIR Bajo margen derecha		SEGURA Litoral
	GUADALQUIVIR Almonte-Marismas		JÚCAR Norte
	GUADALQUIVIR Alto Genil		JÚCAR Alto Turia
	CCII ANDALUZAS Sistema I		JÚCAR Bajo Turia
	CCII ANDALUZAS Sistema II		JÚCAR Alto
	CCII ANDALUZAS Sistema III		JÚCAR Medio
	CCII ANDALUZAS Sistema IV		JÚCAR Bajo
	CCII ANDALUZAS Sistema V		JÚCAR Sur
	CCII ANDALUZAS Guadalete-Barbate		EBRO Huerva-Aguas Vivas Martín-Guadalope-Matarraña
	CCII ANDALUZAS Tinto-Piedras-Odiel		CCII CATALUÑA
	SEGURA Cabecera		CCII BALEARES
	SEGURA Margen izquierda		
	SEGURA Margen derecha		
	SEGURA Litoral		
	JÚCAR Norte		
	JÚCAR Alto Turia		
	JÚCAR Bajo Turia		
	JÚCAR Alto		
	JÚCAR Medio		
	JÚCAR Bajo		
	JÚCAR Sur		
	EBRO Cabecera		
	EBRO Tirón-Najerilla-Iregua		
	EBRO Batas-Zadorra-Inglares-Irati-Arga-Ega		
	EBRO Margen derecha Leza al Huecha		
	EBRO Aragón-Arbas		
	EBRO Jalón-Jiloca		
	EBRO Gállego-Cinca		
	EBRO Ésera-Noguera Ribagorzana		
	EBRO Segre		
	EBRO Huerva-Aguas Vivas Martín-Guadalope-Matarraña		
	CCII CATALUÑA		
	CCII BALEARES		
	CEUTA		
	MELILLA		

En raras ocasiones las publicaciones definen con precisión la región respecto a la que se estudian las sequías, debido por un lado a las imprecisiones de la documentación original o a que se refieren únicamente a un ámbito local. La estimación de su extensión se ha hecho dependiente de criterios climáticos y de su contraste con otras noticias y criterios.

4.4.2 Fechas de Inicio y Fin de Sequía

Una vez definidas las regiones, cada sequía estaría caracterizada por sus fechas de inicio y fin. En *CatSE* es este un elemento estructural a pesar de que una sequía se caracteriza precisamente por lo difuso de sus fronteras, tanto las espaciales ya tratadas en el apartado anterior, como las temporales.

La datación de eventos históricos es una premisa clara en climatología histórica, aunque puede plantearse un primer factor de incertidumbre. Los documentos históricos hacen referencia a sucesos de relevancia social y económica, por lo que la mayoría de la información útil sobre sequías que se puede extraer es indirecta y tiene que ver con sus consecuencias, que pueden dilatarse en el tiempo, abundando en la imprecisión de su identificación.

Un problema añadido que surge de la recopilación de estudios de sequía es la identificación por distintos autores de distintas sequías concurrentes más o menos en el mismo periodo temporal. Es decir, unos autores describen la ocurrencia de una sequía durante un número importante de años, mientras que otros describen el evento con periodos más cortos. La duración de una sequía es una variable compleja de inferir, tanto conceptualmente como en la práctica. En las publicaciones se llega a diferenciar entre sequías, años secos y periodos secos intentando definir un umbral mínimo. Y al contrario, es habitual encontrar referencias a sequías de 20, 50 ó 75 años consecutivos, aunque haya años húmedos intercalados. Así por ejemplo, ¿cómo interpretar la cita “*en Toledo se empieza a intuir un período de bajas precipitaciones entre 1661 y 1678*”? Barriendos et al. (1998) o Domínguez-Castro et al. (2007, 2008) definen periodos de sequía entre 1600 y 1675 o entre 1711 y 1775. Estos casos de duraciones tan altas invitan a distinguir entre fluctuación climática y sequía.

En la medida de lo posible, se ha intentado que en *CatSE* se incorporen eventos independientes sin solape en el tiempo y con una duración razonable. La evolución de una sequía en varias regiones en distintos momentos, aunque sucesivos es otro factor de complicación.

Hay también errores en la identificación de sequías transmitidos de unos investigadores a otros y aumento de la incertidumbre respecto a la documentación original a medida que al dato se le añaden interpretaciones y se transmite la información de unos a otros investigadores. Una referencia clásica en los estudios de climatología histórica en España y de fiabilidad alta es Font Tullot (1988). Este autor indica la ocurrencia de una sequía en el año 2030 antes de Cristo: “...*la noticia meteorológica directa más antigua que nos ha llegado de España, y que debemos al geógrafo romano Diodoro Sículo. Se refiere a una terrible sequía que hacia el año 2030 AC despobló España, aunque algunos historiadores opinan que en Galicia y Cantábrico no fue tan extremada, siendo la vertiente mediterránea, la región que resultó más afectada.*” Posteriormente, el mismo autor (Font Tullot, 2003) escribe: “.. *Diodoro Sículo, se refiere a una terrible*



sequía que hacía el año 20 – 30 a. C. despobló España”. El parecido entre ambas fechas invita a la duda. Sin embargo, otros autores posteriores parecen tomar la referencia de Font Tullot y reproducen como evento cualquiera de las dos fechas. La primera fecha, 2030 a. C., sería dudosa ya que Diodoro Sículo vivió en el siglo I a.C., 2 milenios después. Pero por otro lado, si Diodoro Sículo no conoció la incorporación de Egipto a Roma en el 30 a.C. tal como indica su biografía, su obra podría haberse tomado de referencias anteriores a esa fecha y no relataría una sequía del 20-30 a.C.

4.4.3 Intensidad de la Sequía

La intensidad de la sequía está relacionada con el fenómeno natural. Para su deducción se parte de una ordenación de los impactos, de su percepción o de la reacción económica, social o religiosa que engloba tanto las características naturales del fenómeno como la vulnerabilidad del medio. Como ya se ha avanzado, la percepción varía regional y temporalmente. Además, diferentes autores describen de diferente forma los mismos eventos debido a la heterogeneidad de las fuentes de información y a las metodologías seguidas. No se ha encontrado una perspectiva global en los estudios históricos, sino que el peso lo marca el carácter local de la información y, en todo caso, la experiencia de los grupos de investigación.

En el ánimo de incorporar en *CatSe* información sobre la peligrosidad de la sequía descrita, se estimó oportuno elaborar un indicador que facilitara los estudios de frecuencia e intensidad de las sequías. Este índice es cualitativo y sujeto a una alta incertidumbre debido a que se deduce de la información de daños descrita. Siendo una primera aproximación, revisable desde el campo de la climatología histórica, solamente considera 3 niveles (Tabla 5). Es un enfoque similar al descrito en el campo del análisis de rogativas (Tabla 2), pero con mayor complejidad al tratar con estudios no solamente basados en las rogativas.

Tabla 5. Escala de valoración del nivel de intensidad de la sequía

Identificador	Descripción
1	Leve
2	Moderada
3	Grave

Los daños que provoca una sequía pueden ser muy numerosos. Los estudios de documentos históricos infieren las sequías acaecidas en una región mayoritariamente en función de impactos relacionados con la agricultura. Pero también se recogen descripciones de los cronistas de la época sobre el nivel de los ríos y otras evidencias ambientales o sociales. El extenso listado de la Tabla 6 está adaptado del elaborado en el National Drought Mitigation Center (NDMC) de la Universidad de Nebraska-Lincoln para la descripción de impactos. Este listado puede ayudar a ordenar los elementos de vulnerabilidad que aparecen en los estudios consultados. Distingue 4 grandes grupos relacionados con los sectores económicos ambientales, hidrológicos y sociales.

1. El económico está integrado por el sector agrícola, ganadero, forestal, piscícola, turístico, energético, de abastecimiento, de transporte y de alimentación.
2. El ambiental considera los daños a especies animales o vegetales.

3. El hidrológico, a las reducciones de caudal, reservas y problemas de calidad del agua.
4. Los sociales, al bienestar, al aumento de conflictos, a la salud e, incluso, a la religión y aumento de rogativas.

Tabla 6. Matriz de vulnerabilidades para deducción de intensidades de sequía

Sector	GRUPOS		SUBGRUPOS		nivel de intensidad por impacto sectorial
	Cód.	Descripción	Cód.	Descripción	
Impacto económico	10000	Impacto Económico General	10000	Impacto Económico General	2
	10100	Costes/pérdidas agricultura	10100	Costes/pérdidas agricultura regadío (genérico)	1
			10101	reducción de producción agrícola	1
			10102	disminución de dotaciones	1
			10103	pérdida de calidad de la producción	1
			10104	reducción de tierras de cultivo	2
			10105	plagas de insectos	1
			10106	enfermedad de plantas	1
			10107	daños de la fauna a los cultivos	2
			10108	aumento de los costes del agua	1
			10109	coste en infraestructura (pozos, presas, tuberías)	2
			10110	incremento de precios por reducción de producción	1
	10200	Costes/pérdidas ganadería	10300	Costes/pérdidas ganadería (genérico)	1
			10201	reducción de la productividad de pastizales	1
			10202	reducción de la producción de leche y carne	1
			10203	reducción forzada del crecimiento de la ganadería (nº unidades)	2
			10204	limitación o cierre de pastos públicos	1
			10205	alto coste o limitación de agua para el ganado	2
			10206	coste en infraestructura (pozos, presas, tuberías)	2
			10207	alto coste o limitación de alimento para el ganado	1
			10208	incremento de los costes de transporte	1
			10209	aumento de los índices de mortalidad del ganado	2
			10210	interrupción de los ciclos reproductivos	2
			10211	disminución del peso de las unidades	1
			10212	aumento de la predación	1
	10213	incendios en zonas ganaderas	1		
	10300	Costes/pérdidas explotaciones forestales	10300	Costes/pérdidas explotaciones forestales (genérico)	2
			10301	incendios forestales	1
10302			afección a árboles	1	
10303			plagas de insectos	1	
10304			daños a la productividad de las zonas forestales	1	
10305			pérdida directa de árboles (especialmente jóvenes)	2	
10400	Costes/pérdidas pesca	10400	Costes/pérdidas pesca (genérico)	1	
		10401	daños a hábitat de peces	2	
		10402	pérdida de peces y otras especies acuáticas al disminuir los niveles y flujo de agua	2	
10500	Efectos económicos generales	10500	Efectos económicos generales (genérico)	1	
		10501	disminución del precio del terreno	3	
		10502	pérdidas para las industrias directamente dependientes de la producción agrícola	2	
		10503	desempleo	3	
		10504	mayor presión de instituciones financieras (aumento de intereses en créditos, déficit de capital...)	2	
		10505	pérdida de ingresos al Estado y Gobiernos Autonómicos	2	
		10506	reducción del crecimiento económico	3	
		10507	disminución de productores agrícolas y ganaderos (quiebras, nuevas ocupaciones)	3	
		10508	disminución de la población rural	3	



Sector	GRUPOS		SUBGRUPOS		nivel de intensidad por impacto sectorial	
	Cód.	Descripción	Cód.	Descripción		
	10600	Pérdidas turismo y actividades ambientales	10600	Pérdidas turismo (genérico)	2	
			10601	pérdidas en negocios de manufactura y venta de equipamiento recreativo	2	
			10602	pérdidas relacionadas con actividades recreativas (caza y pesca, observación de aves, navegación...)	2	
	10700	Efectos sobre energía	10700	Efectos sobre energía (genérico)	1	
			10701	aumento de la demanda energética y reducción o cortes del abastecimiento	1	
			10702	aumento de costes sobre la industria energética y los consumidores	2	
	10800	Efectos económicos relacionados el abastecimiento de agua	10800	Efectos económicos relacionados con el abastecimiento de agua (genérico)	1	
			10801	incremento del precio del agua o descensos de beneficios	2	
			10802	costes para transportar o trasvasar agua	2	
			10803	coste de nueva o adicional infraestructura de aprovechamiento hídrico (pozos, presas, tuberías)	2	
	10900	Efectos sobre el transporte	10900	Efectos sobre el transporte (genérico)	2	
			10901	pérdida de la capacidad de navegabilidad de corrientes fluviales y canales	2	
	11000	Efectos sobre recursos alimenticios	11000	Efectos sobre recursos alimenticios (genérico)	1	
			11001	aumento del precio de los alimentos	1	
			11002	aumento de la importación de alimentos (altos costes)	1	
	Impacto ambiental	20000	Impacto ambiental general	20000	Impacto ambiental general	2
		20100	Daños a especies animales	20100	Daños a especies animales (genérico)	2
				20101	reducción y degradación de peces y hábitat naturales	2
20102				falta de alimentos y agua potable	2	
20103				aumento de mortalidad por intrusión de agricultura y ganadería	3	
20104				Enfermedades	2	
20105				incremento de vulnerabilidad a predación (aumento competitividad)	2	
20106				migración y concentración	3	
20107				aumento de presión sobre las especies	2	
20108				pérdida de biodiversidad	3	
20109		impacto sobre la avifauna	2			
20200		Daños a especies vegetales	20200	Daños a especies vegetales (genérico)	1	
			20201	pérdida de biodiversidad	3	
			20202	pérdida de árboles en paisajes urbanos, espacios protegidos, áreas de conservación de arbolado...	3	
			20203	incremento del número y magnitud de los incendios	1	
	20204		aumento de la erosión hídrica y eólica, pérdida de suelo, reducción de la calidad del suelo	3		
	20205		efectos sobre la calidad del aire	3		
	20206		impacto visual y sobre la calidad paisajística	1		
Impacto hidrológico	30100	Efectos hidrológicos	30100	Efectos hidrológicos (genérico)	1	
			30101	reducción del caudal en ríos	1	
			30102	reducción de caudales ecológicos o cauces o lagunas secos	2	
			30103	reducción del nivel del agua en lagos, estanques, acequia	1	
			30104	reducción de reservas en embalses	1	
			30105	reducción del flujo de manantiales	1	
			30106	descenso del nivel piezométrico y reservas en acuíferos	2	
			30107	sobreexplotación de aguas subterráneas	1	



Sector	GRUPOS		SUBGRUPOS		nivel de intensidad por impacto sectorial
	Cód.	Descripción	Cód.	Descripción	
			30108	calidad del agua superficiales (concentración de sales, Tª, pH, oxígeno disuelto, turbidez...)	1
			30109	eutrofización de masas de agua	1
			30110	calidad del agua subterráneas (concentración de sales)	2
			30111	impacto sobre humedales	1
			30112	impacto sobre deltas y estuarios (ej. cambio de niveles de salinidad)	1
Impacto social	40000	Impacto Social General	40000	Impacto Social General	1
	40100	Enfermedades	40100	Enfermedades (genérico)	3
			40101	estrés mental y físico (ansiedad, depresión, pérdida de autoestima, violencia doméstica)	3
			40102	enfermedades relacionadas con los efectos de la disminución del flujo de agua (contaminación, saneamiento, lucha contra incendios)	2
			40103	reducción de nutrientes y alimentos	3
			40104	pérdida de vida humanas	3
			40105	seguridad pública ante incendios	2
			40106	aumento de dolencias respiratorias	2
			40107	aumento de afecciones causadas por concentración de fauna	2
	40200	Aumento de conflictos	40200	Aumento de conflictos (genérico)	2
			40201	conflictos de usuarios de agua	2
			40202	conflictos políticos	2
			40203	conflictos administrativos	3
			40204	otros conflictos sociales (científicos, medios de comunicación...)	2
	40300	Pérdida de calidad de vida, cambios en el estilo de vida	40300	Pérdida de calidad de vida, cambios en el estilo de vida (genérico)	3
			30401	en áreas rurales	3
			30402	en áreas urbanas	3
			40303	migración de la población	3
			40304	pérdida de valores estéticos	2
			40305	ruptura de sistemas culturales y religiosos (pe. distinta visión de los riesgos naturales de la ciencia y la religión)	3
			40306	replanteamiento de los valores sociales	3
			40307	descontento de la ciudadanía con los gobiernos	2
			40308	percepciones de injusticias en reparto de ayudas o auxilio	3
			40309	pérdida de sitios de interés cultural	3
			40310	aumento de la necesidad de información y acceso a datos	2
	40311	endurecimiento de las restricciones institucionales al uso del agua	2		
	40400	Rogativas	40400	Rogativas (genérico)	1
40401			rogativas de mayor nivel o más frecuentes	2	

En la Tabla 6 se ha añadido el campo nivel de intensidad de sequía por impacto sectorial para indicar qué intensidad cabe esperar una vez descritos los daños en un sector. El impacto en la agricultura no es indicativo de una sequía especialmente intensa, especialmente si en la región la agricultura es especialmente vulnerable por un clima de características secas. Se puede entonces considerar que la referencia a daños en la agricultura dan un nivel de base y ser la intensidad de la sequía de valor mínimo 1; si se argumenta que se emprenden nuevas obras de infraestructura, la valoración pasa a 2; y si produjo la migración de la población, el impacto pasa a ser grave con un nivel de 3.



En ocasiones, hay valoraciones en los estudios históricos del grado de impacto de la sequía. Suelen ser calificaciones que acentúan la descripción de un impacto mayor al normal. En ese caso, se modifica la estimación de intensidad sobre la prevista inicialmente (Tabla 6). Es decir, el nivel de intensidad se incrementa cuando en la descripción no sólo se menciona el sector, sino que además se intensifica el carácter del impacto. Al encontrar entonces una descripción del tipo “*una completa devastación de las cosechas*”, el nivel de impacto se incrementa desde el valor 1 hasta el valor de 2.

En la Tabla 7 se muestra un amplio conjunto de expresiones utilizadas en los estudios históricos para intensificar los daños descritos. Se incorpora el campo nivel de intensidad modificado de acuerdo a la valoración del impacto.

Tabla 7. Asignación de nivel de intensidad según descripciones de la bibliografía

Impacto descrito	Nivel de intensidad por impacto	Impacto descrito	Nivel de intensidad por impacto
no se pudo sembrar	1	orden de no sembrar salvo trigo	2
asoló el SE	1	la sequía resultó desastrosa	2
el Ebro en Tortosa bajaba muy menguado	1	el río corría seco	2
el molino no se podía utilizar porque se había secado la Acequia Madre	1	pérdida casi total de la cosecha	2
año seco y con plaga de langosta	1	el tercer pico y máximo de la sequía del siglo tuvo lugar ese año	2
incremento de los precios del trigo y aceite	1	la lluvia caída no es suficiente para subsanar el déficit existente.	2
se necesitó importar trigo	1	sequía excepcional	2
extraordinario estiaje, los niveles de los ríos bajaron muchísimo y se secaron gran número de fuentes	1	7 años sin cosechas	2
proliferación de los incendios forestales	1	se disparan las rogativas	2
sobreexplotación y salinización	1	extrema sequedad	2
cauces secos	2	expediente a la reina, a fin de que se perdonase la contribución	2
la extensión forestal reducida al 50 %	2	espantosa calamidad	2
sequía causó serias dificultades al ejército	2	obras hidráulicas	2
ruina de Lugo	2	pérdidas de tierras dedicadas al cultivo	2
una de las importantes del siglo	2	incumplimiento de las obligaciones tributarias	2
una de las importantes del siglo tanto por su extensión como por su prolongación.	2	La pesca y la fauna piscícola se vio afectada igualmente	2
sequía generalizada en España que duró 31 años	2	Despoblación	3
en general seca y esterilidad por toda España que no sólo las mieses y sembrados se perdieron	2	Emigración	3
las dehesas secaron de tal suerte que parecía haberse quemado y abrasado la tierra.	2	"Gran Seca" que duró 26 años	3
pereció la mayor parte de los animales y ganados mayor y menor	2	ruina general de Hispania	3
año estéril sin cosechas	2	hambre debida a la sequía.	3
seca la laguna como consecuencia de la prolongada sequía	2	sequía general a toda la Península y causó gran hambre.	3
prodigiosamente infausto para Castilla y más horrible en la parte baja de Andalucía	2	provocaron que la población en España se redujese a la mitad debido a la mortandad existente	3
el Ebro quedó casi seco en 1529 y se iniciaron las obras del Canal de Aragón	2	sembraron el hambre y la desolación	3
se trató por primera vez de trasvasar los ríos ..	2	grande y general seca en España.	3
secándose varios ríos	2	hambre y mortandad general en España.	3
cosecha malograda por la sequía	2	muchas hambres e muchas enfermedades	3
años de terrible sequía	2	a causa de la sequía vino una hambre muy grande, seguida de la peste, que diezmo la población de España	3



Impacto descrito	Nivel de intensidad por impacto	Impacto descrito	Nivel de intensidad por impacto
sequía muy intensa	2	año del hambre	3
no se tenía noticia de una sequía de tal magnitud	2	un motivo más para formarse la conspiración que condujo al levantamiento general	3
fueron notables las sequías	2	arzobispo reparte trigo a población	3
fuerte sequía	2	precedió a la plaga de langosta y coincidió con una grave epidemia de viruela	3
muerte ganado	2	parados generado a consecuencia de la falta de lluvias en el campo	3
ríos a 1/3 caudal	2	Emigración	3
fuentes secas	2	situaciones de emergencia en numerosos sistemas de abastecimiento urbano	3

Finalmente, si hay varios estudios sobre un mismo evento de sequía y múltiples descripciones de impacto, se ha buscado un acuerdo razonable. Normalmente el nivel final asignado en *CatSE* es el mayor de los valores sectoriales ya que los estudios son parciales y la información disponible puede ser incompleta. A modo de ejemplo: una sequía determinada viene identificada en diferentes textos y se han descrito impactos en unos casos como “pérdidas en las cosechas”; en otros se indica que hubo “mortalidad debido a la hambruna”. Las pérdidas en las cosechas corresponderían al subgrupo “10101 reducción de la producción agrícola”, con un nivel 1. La hambruna correspondería al subgrupo “40104 pérdida de vida humanas”, con un nivel 3. A dicha sequía se le asignaría un nivel final de 3.

4.5 INCERTIDUMBRES ASOCIADAS

La recopilación de sequías que se presenta en este informe no ha recurrido, salvo en casos excepcionales, al análisis de las fuentes originales, sino a la recopilación de las conclusiones, ordenación y contraste de los estudios publicados por diferentes autores y equipos de investigación sobre fuentes originales. Las referencias son escasas y faltan elementos de contraste. Los eventos identificados son difícilmente contrastables debido a que en muchos casos es única la fuente. La publicación en revistas científicas añade fiabilidad sobre la metodología de análisis seguida y sobre los resultados alcanzados. Sin embargo, la recopilación de eventos publicados tiene un nivel de incertidumbre considerable. A modo de conclusión parcial se destacan a continuación una serie de factores que resaltan la dificultad a la que se enfrenta la recopilación realizada en *CatSE*. Unos se refieren a aspectos inherentes a la ocurrencia de sequías y a su identificación mediante impactos, en otros casos se refieren a criterios metodológicos de los investigadores cuando no a errores.

En realidad, la propia definición de sequía es imprecisa si se toma con carácter general. En Dracup et al. (1980) se destacaba la necesidad de definirla en función del campo académico de procedencia, de los objetivos prácticos del trabajo y de la vulnerabilidad de los sistemas que sufren sus efectos. De manera inmediata, se entiende el problema inherente a la diversidad de definiciones de sequía que manejan los autores de estudios históricos del clima y los enfoques adoptados, muchas veces no coincidentes.

Al carácter difuso que conceptualmente plantea la sequía se añade un segundo factor de incertidumbre cuando se interpreta un fenómeno natural por medio de los impactos que



produce. Se puede considerar que la sequía responde a la disminución de lluvias, pero por ejemplo, un aumento de la demanda y la imposibilidad de satisfacerla con la producción agrícola provoca el mismo efecto. La vulnerabilidad cambia. Asimismo, la estimación de características asociadas al evento natural como la intensidad de la sequía es compleja porque la información se refiere a las consecuencias de la sequía, relacionadas con la vulnerabilidad del medio.

La diversidad de impactos causados por las sequías puede provocar errores al asociar la causa al efecto. Hay sucesos que habitualmente se interpretan como causados por sequías, pero que también pueden haberse debido a otras causas. Así por ejemplo, un fenómeno migratorio de población podría estar relacionado con sequías prolongadas, pero también podría deberse a conflictos sociales, bélicos, etc.; una hambruna podría ser atribuida a una sequía, pero también a un brote de peste, etc.

La diversidad de conclusiones respecto a eventos comunes es en parte debida a la heterogeneidad de investigaciones y de medios utilizados por los especialistas. La sequía se propaga y diversifica en diferentes sectores, modificando sus propiedades y ofreciendo una perspectiva distinta según distintos puntos de vista. El punto de partida o el tipo de señal inferido por cada científico o técnico tiene influencia y las características de las sequías pueden resultar diferentes.

Se ha comprobado en esta recopilación que la vulnerabilidad o exposición mayor a las sequías o de un sector clave como la agricultura aumenta las noticias sobre sequías. La reducción de precipitaciones pasa históricamente desapercibida en regiones húmedas. El mismo efecto se puede encontrar estacionalmente y la percepción de la sequía es mayor en función de la época en que las necesidades del cultivo son críticas.

De la misma manera en la literatura especializada se ha destacado el problema de la falta de homogeneidad o de continuidad temporal del *proxy* en la documentación histórica. La ausencia de información histórica no indica la no existencia del evento de sequía y su interrupción se puede deber a múltiples causas. Los cambios en la percepción del fenómeno, en la vulnerabilidad de la sociedad o los cambios políticos, sociales, religiosos o de pensamiento en general inciden en la falta de homogeneidad del *proxy*.

Por último, una dificultad encontrada al recopilar información elaborada por distintos equipos de investigación es el celo que muestran para compartirla y hacerla completamente accesible y pública. Se comprueba que en algunos artículos los resultados se muestran por medio de gráficas de las que es difícil extraer información con precisión o por medio de índices del tipo de las medias móviles. En otros casos, los mismos resultados se muestran en colecciones de artículos que añaden escasa información a la ya publicada.

5 SEQUIÁS Y DENDROCROLOGÍA

5.1 DENDROCROLOGÍA EN ESPAÑA

La dendrocronología es la ciencia que estudia y data los anillos de crecimiento de los árboles. La dendroclimatología es una rama de la dendrocronología que se encarga de inferir el clima pasado y del presente en el que vivieron los árboles a partir del estudio de la secuencia de sus anillos. Además, resulta de interés el estudio de maderas utilizadas en la construcción antigua, la dendroarqueología, puesto que hay técnicas que permiten estudiar y datar sus anillos y determinar las condiciones ambientales de los años en los que se formó el árbol original.

La dendrocronología se basa en el hecho de que los factores climáticos que afectan al crecimiento de los árboles son la temperatura, la precipitación, la exposición solar y el viento. Hay referencias antiguas al significado de los anillos de los árboles y su relación con el clima. Así, en el siglo XV, Leonardo da Vinci reconoció la relación entre los anillos y las precipitaciones atmosféricas en el periodo vegetativo. Según Bradley (1999) el interés por la dendrocronología surge en el siglo XVIII en Norte América cuando varios autores relacionan el espesor de los anillos de los árboles con los fríos inviernos de 1708 y 1709.

El mismo autor (Bradley, 1999) indica que las bases científicas de la dendrocronología se suelen asociar a A.E. Douglass. Este autor estaba interesado en relacionar la evolución de las manchas solares con la lluvia y ocurrencia de sequías para lo que necesitaba series largas de lluvia que buscó reconstruir usando la anchura de los anillos de los árboles. En 1914 logró construir una cronología compuesta de 500 años de *Pinus ponderosa* y en 1937 fundó el Laboratory of Tree-Ring Research¹⁰ en la Universidad de Arizona. Eckstein (1972) indica que en Europa se desarrollan durante finales del siglo XIX y principios del XX ideas similares a las que llevan a fundar el laboratorio para la dendrocronología en Arizona, pero de forma más dispersa y desorganizada. Aporta dos razones para ello. En primer lugar la falta de árboles con muestras tan antiguas como las que se encuentran en Estados Unidos; la segunda, la complejidad climática de Europa que hace a su vez más complejas las relaciones con los anillos de crecimiento. No obstante a lo anterior, en la recopilación de series de Eckstein (1972) se encuentran series con inicios anteriores al segundo y tercer milenio AC en Bélgica, Alemania y Suiza.

En 1976 H.C. Fritts publica *Tree Rings and Climate* donde se recoge el estado del arte de la dendrocronología y la serie de modelos de respuesta y principios fisiológicos que rigen el crecimiento de los anillos. Holmes y Cook desarrollan programas informáticos como el COFECHA¹¹ y ARSTAN¹² para la aplicación de técnicas estadísticas en el procesamiento, datación y control de calidad de los datos dendrocronológicos.

¹⁰ <http://ltrr.arizona.edu/>

¹¹ Holmes R.L. (1983). Computed assisted quality control in tree ring dating and measurement. *Tree Ring Bulletin* Vol 43: 69-78

¹² Cook E.R., Holmes R.L. (1984). *User's Manual for ARSTAN*. Laboratory of Tree-ring Research, University of Arizona. Tucson



En 1992 se funda el Centro Mundial de Datos Paleoclimatológicos (World Data Center for Paleoclimatology) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)¹³. Su misión básica es la adquisición de datos y facilitar su acceso para el estudio del clima y su variabilidad. Forma parte de ella la ITRDB (International Tree Ring Database)¹⁴ dedicada a los datos dendrocronológicos (mediciones en bruto del ancho del anillo y la densidad de madera, así como los índices de crecimiento del sitio) y a su tratamiento, por lo que desde este proyecto también se distribuye información técnica y herramientas informáticas como las sucesivas versiones de los programas mencionados COFECHA y ARSTAN. La base incluye información de más de 2.000 sitios de todo el mundo. De acuerdo a la información sobre las actualizaciones de datos, las primeras series procedían de la base de datos del Laboratory of Tree-Ring Research de la Universidad de Arizona.

Las muestras de los árboles consisten en extracciones de barrenos y rodajas. Los árboles se pueden seleccionar atendiendo a dar la mejor respuesta climática, evitando, por ejemplo, tomar muestras de árboles alimentados por aguas subterráneas. Para caracterizar un lugar concreto, se toman muestras de un conjunto de unos 10 a 20 árboles, en lo que constituyen una cronología, con el fin de que la cronología final sea representativa del conjunto de los árboles y se anulen las peculiaridades de un árbol individual. De esa forma se recoge una señal climática general responsable de las mismas pautas de crecimiento en el conjunto de los árboles muestreados. De cada árbol se extraen dos muestras radiales opuestas por medio de una barrena. En el laboratorio, las muestras se preparan para extraer la información de los anillos. El espesor de los anillos se mide radialmente desde el *cambium* o parte viva hacia el interior, con una precisión de 0,01 mm. Cada anillo está formado por la secuencia de leño temprano de la primera fase de crecimiento primaveral y el leño tardío de la última fase en verano. El espesor es función de un amplio abanico de factores como la especie del árbol, su edad y fase de crecimiento, nutrientes disponibles en el árbol y suelo, radiación solar, lluvia, temperatura, velocidad del viento, humedad del aire y su distribución durante el año por lo que el objetivo del estudio dendrocimático es la obtención de una función respuesta que modele la relación entre el crecimiento radial del árbol y el clima, tanto temperatura como precipitaciones (Creus, 1998; Bradley, 1999).

A las medidas o cronologías elementales, se les asigna una referencia de fecha. Se contrastan mediante procesos de sincronización visual o estadística para poder revelar la presencia de errores, tales como anillos falsos o no existentes. Este proceso, conocido como cofechado, es esencial puesto que permite asegurar que a cada anillo se le ha asignado la fecha exacta de su formación. Se logra ajustando patrones de anillos anchos y estrechos entre partes del mismo árbol y de árboles del mismo lugar.

Una vez que las cronologías elementales presentan un grado de sincronización aceptable, se procede a la estandarización de las mismas para filtrar las componentes de crecimiento no asociadas al clima. Estas componentes se reflejan en anillos mayores en las primeras fases de crecimiento por lo que para filtrar esta influencia se usan funciones exponenciales dependientes de la especie o funciones *spline* con ajuste

¹³ <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/paleo.html>

¹⁴ <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html>

fraccionado. El resultado de la estandarización es una serie de media unidad y variabilidad constante que se combinan con otras extraídas en el mismo lugar para ampliar el periodo de registro. Estas cronologías se promedian aritméticamente con el fin de obtener una cronología representativa del lugar examinado (Bradley, 1999; Gutiérrez, 2009).

Una vez se ha estimado la dendrocronología se pasa a componer el modelo predictivo del clima identificando la variable climatológica relacionada con el espesor estandarizado de los anillos. Se suele considerar que los meses de la época de crecimiento de la planta serían aquellos sobre los que establecer la ecuación de regresión, aunque en función de las condiciones de crecimiento del árbol, pueden encontrarse mejores relaciones con los meses previos o posteriores a la primavera o incluso desfases anuales. En esta fase puede ser conveniente la utilización de la descomposición en componentes principales de la serie estandarizada y evitar la multicolinealidad al implementar la regresión con las anomalías climáticas. Desde este punto de vista, son variables de interés la precipitación y la temperatura, en diferentes escalas espaciales y temporales, con alcances incluso tan extensos como el logrado por Pauling et al. (2006) quienes reconstruyen la precipitación en Europa en los últimos 500 años en grandes celdas de $0,5^\circ$ de lado a partir de información instrumental y dendrocronológica.

En España hay actualmente un extenso grupo de investigadores ya con cierta tradición en el tratamiento de la dendrocronología para los estudios climáticos e, incluso de las sequías históricas. No obstante, se ha mencionado el retraso existente entre las investigaciones norteamericanas de principios del siglo XX hasta el considerado como primer trabajo español sobre dendroclimatología publicado por Puigdefábregas y Creus (1976). En este trabajo, la serie dendrocronológica se extrajo de pinos del Pirineo navarro y contaba con 250 años. Analizaba la influencia estacional en el crecimiento de los anillos para concluir que las primaveras suaves seguidas de veranos húmedos y frescos son factores favorables al crecimiento de los anillos; el menor crecimiento se da con escasas lluvias en julio, altas temperaturas a finales de primavera y mínimas en verano. Posteriormente, Creus y Puigdefábregas (1983) obtuvieron una serie de 782 años en pinos de la sierra de Cazorla. Los mayores crecimientos se daban con otoños húmedos, primaveras tempranas y veranos relativamente secos.

Un segundo hito de interés ocurre en el año 1984. Entonces se inició un proyecto de colaboración hispano-alemán con participación del Departamento de Madera del INIA, de la Dirección General de Bellas Artes del Ministerio de Cultura de España, de las universidades de Hamburgo y Bochum y del Instituto Arqueológico de Alemania. Utilizando los mismos términos técnicos del proyecto, se analizó la *interconexión* de la respuesta dendrocronológica de las mismas especies en diferentes regiones, la *heteroconexión* de distintas especies en la misma región, la *extensión* de series e incorporación de madera arquitectónica para la reconstrucción de cronologías, así como la organización de una base de datos. Se extrajeron del Pirineo, Serranía de Cuenca, Guadarrama, Urbión, Gúdar y Cazorla (Richter y Rodríguez Trobajo, 1985; Richter y Eckstein, 1991). Entre las conclusiones extraídas de estos estudios destacan la afinidad encontrada en la respuesta climática con árboles de la misma especie, así como el papel de la latitud, elevación y topografía como elementos que introducen heterogeneidad entre las series. Estos objetivos, *interconexión*, *heteroconexión* y



extensión, son cuestiones permanentemente planteadas en estas y en sucesivas publicaciones, así como la de distinguir qué estaciones climáticas tienen mayor influencia en el crecimiento de los anillos o en su inhibición.

Pérez Antelo (1994) destaca la publicación de dos tesis doctorales durante los años 80 (Gutiérrez, 1986¹⁵ y Génova, 1987¹⁶) apoyadas en dendrocronologías de pinus en áreas montañosas del Pirineo y del Sistema Ibérico. Entre las conclusiones se ha señalado el efecto la irregularidad de lluvias en el área mediterránea, de las temperaturas de julio o el de la sequía estival como factores limitantes al crecimiento de los anillos.

Ya en los años 90 el número de dendrocronologías en España aumenta gracias al trabajo de investigadores como Creus, Fernández Cancio, Manrique y Génova¹⁷, algunos de los cuales ya han sido mencionados. Galicia es objeto de la tesis de Pérez Antelo¹⁸ (1993) que obtiene 6 series dendrocronológicas con *Quercus* y 1 con castaños con longitudes que llegan a unos 200 años. Se subraya de nuevo el papel del clima de primavera, verano y otoño en el crecimiento de los anillos. En Pérez Antelo (1994) ya referido se detalla estado del arte de la dendrocronología en España y recopila 103 series de dendrocronologías publicadas hasta 1994. 31 de ellas fueron elaboradas en el marco de la colaboración hispano-alemana anteriormente mencionada. La más extensa de las cronologías recopiladas tiene 973 años durante el periodo comprendido entre los años 1073 y 1988, procede de la Sierra de Cazorla y fue extraída por Creus y otros colaboradores¹⁹.

Saz y Creus (1998), Creus y Saz (2004) y Saz y Cuadrat (2009) analizan la dendrocronología de Monegros para reconstruir la precipitación en el centro de valle del Ebro desde 1465 a 1989, deduciendo diferentes episodios de sequías estacionales, identificándolas como factores inhibidores del crecimiento. Se estudian además las anomalías relacionadas con la Pequeña Edad de Hielo, las evidencias del cambio climático y se identifican sequías (Manrique y Fernández Cancio, 1999, Creus et al, 2000; Saz y Creus, 2001 y 2003; Camarero y Gutiérrez, 2004).

¹⁵ Gutiérrez, E. (1986). Dendrocronología de *Fagus sylvatica*, *Pinus uncinata* y *Pinus sylvestris* en Catalunya. Tesis doctoral, Fac. Biología, Univ. Barcelona, 280 pp.

¹⁶ Génova, M. (1987). Análisis y significado de los anillos de crecimiento en dos especies forestales: *Pinus uncinata* y *Pinus sylvestris* en la Península Ibérica. Tesis doctoral, Fac. Biología, Univ. Barcelona, 491 pp.

¹⁷ Génova, M.; Fernández Cancio, A. y Creus, J. (1993). Diez series de anillos de crecimiento de los sistemas Carpetano e Ibérico. *Invest. Agrar. Sist. Recur. For.*, 2 (2): 151-172.

Fernández Cancio, A. y Manrique, E. (1997). Nuevos métodos de reconstrucción dendroclimática: aplicaciones al estudio climático y fitoclimático del último milenio. Madrid, 327 pp.

Creus, J.; Beorlegui, M. y Fernández Cancio, A. (1995). Cambio climático en Galicia: reconstrucción climática de las últimas centurias, estudio dendrocronológico. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela.

¹⁸ Pérez Antelo, A. (1993). Dendrocronología de *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl., *Q. pyrenaica* Willd., *Q. robar* L., su nothotaxones y *Castanea sativa* Miller en Galicia (España). Tesis doctoral. Fac. Ciencias, Univ. Autónoma Madrid, 483 pp.

¹⁹ Creus, J.; Génova Fuster, M.; Fernández Cancio, A.; Pérez Antelo, A. (1992). New dendrochronologies for Spanish Mediterranean zone. En: Bartholin T.S., Berglund, B.E. et al. (eds). *Proceedings of the International Dendrochronological Symposium: Tree Rings and Environment*. Ystad (Suecia). Septiembre 1990. *Lunqua Report*, 34: 76-78. Lund.

En Canarias los estudios dendrocronológicos se inician en la década de los 60 por investigadores como Zeuner en el pino canario bajo el auspicio de instituciones internacionales. Hay que esperar sin embargo a la década de los años 90 para que los trabajos dendrocronológicos en Canarias tengan cierta continuidad, tal como refieren Martín Rodríguez et al. (2000). La calidad del suelo de origen volcánico contribuye a que sea la precipitación el mayor agente limitante en el crecimiento de los árboles (García et al. 2003). Sin embargo, se ha destacado la existencia de una gran cantidad de anillos falsos y dobles así como la irregularidad que provoca en el crecimiento de los anillos la lluvia horizontal (Jonsson et al, 2002; Génova et al., 1999; Santana, 1999).

En épocas más recientes se han promovido varios proyectos de investigación. Ya se ha mencionado en el capítulo anterior la iniciativa SINEAQUA de la Universidad de Castilla La Mancha que también trata los estudios dendrocronológicos, así como el EU-project MILLENNIUM o el Salvá-Sinobas. Con relación a ellos surgen publicaciones en revistas internacionales que describen las tareas más sobresalientes llevadas a cabo. En Génova et al. (2011) se describe el apoyo en dendrocronología de materiales de construcción. En Dorado Liñán et al. (2012) se presenta una reconstrucción dendrocronológica de temperatura del Pirineo de mayo a septiembre y la comparativa con la estimada por modelos climáticos para concluir el papel modulador del sol y vulcanismo en el clima preindustrial de la región. Génova (2012) describe una serie de quiebros en la homogeneidad de las series temporales extraídas de dendrocronologías del Sistema Central en la Península Ibérica relacionando el de 1600-1602 con la erupción volcánica del Huaynaputina en Perú.

La dendrocronología es por tanto una disciplina científica utilizada como herramienta *proxy* para describir el clima histórico y eventos como las sequías e, incluso, avenidas. Su uso para la identificación de sequías en una región parece conveniente si bien hay aspectos en permanente discusión que implican un margen de incertidumbre. Se trata de los siguientes:

1. una especie y árbol en concreto
2. su relación con variables como la precipitación, de alta variabilidad espacial y temporal,
3. la relación entre variables como la lluvia, la temperatura y época de desarrollo de la planta, es decir, la variable intensidad de respuesta en función de la estación climática.
4. el entorno y, en concreto, papel que pueden jugar los suelos o incluso los acuíferos en la alimentación y regulación del agua y nutrientes que consumen las plantas
5. valores extremos de lluvia y temperatura que también inhiben el crecimiento de las plantas
6. contexto climático particular de montaña y el efecto climático de características locales como la altitud, la posición en las laderas de barlovento o sotavento frente a la masa húmeda



5.2 IDENTIFICACIÓN DE SEQUÍAS

5.2.1 Objetivos

El objetivo del análisis dendrocronológico presentado en este informe es explorar las posibilidades que ofrece la dendrocronología para el estudio de las sequías históricas, prolongando en el periodo histórico las series de lluvia o de algún indicador de sequía, en cada zona SIEH. Los resultados se han contrastado con los incorporados en la base de datos *CatSE* sobre sequías históricas.

De acuerdo a las anteriores consideraciones, la dendrocronología proporcionaría una serie temporal continua. Queda sin embargo por comprobar si esta técnica proporciona series sobre las que identificar anomalías susceptibles de constituir sequías, su precisión para definir el inicio y fin de sequía así como su intensidad. La densidad de información y el grado de representatividad espacial que tienen los datos dendrocronológicos en España son asimismo elementos clave para definir su utilidad.

Los espesores de los anillos de los árboles son función de las condiciones climáticas, de modo que se pueden deducir valores de precipitación aplicando unas funciones de transferencia a las series de espesores de los anillos (González y Valdés, 2003; Pauling et al. 2006), si bien, estas condiciones deben entenderse en un sentido amplio en el que participan la lluvia, la temperatura o la secuencia de estaciones climáticas.

Con estos fundamentos se han emprendido en este trabajo dos tipos de análisis. Por un lado, se ha aplicado un modelo de regresión directa entre las series dendrocronológicas y el índice de precipitación estandarizado construido a partir de la precipitación agregada por año hidrológico. No se ha considerado el desfase mensual entre la precipitación y el crecimiento de los anillos al estimar que este desfase es variable y que, en términos medios, la aproximación anual podría ser suficiente.

Un segundo modelo es el aplicado en el estudio “La Reconstrucción de Series Hidrológicas mediante Dendrocronologías y su Utilización para la Identificación de Sequías Históricas en España”, realizado por el equipo de Grupo de Ingeniería del Agua de la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Castilla La Mancha en convenio con el CEDEX. Esta reconstrucción dedica un importante esfuerzo en la identificación de las estaciones climáticas de crecimiento.

5.2.2 Datos Disponibles

5.2.2.1 International Tree Ring Database, ITRDB

Los trabajos descritos en este informe se han enfocado en la identificación de sequías plurianuales mediante la dendrocronología disponible en España e incorporada en la base de datos ITRDB. Procede de los trabajos de Creus, Génova, Fernández Cancio, Richter, entre otros (Tabla 8). Son series cuya calidad ha sido contrastada con procedimientos estandarizados en la disciplina dendrocronológica, pero que atendiendo a la dispersión espacial que muestra la Figura 41, son aparentemente insuficientes para representar la variabilidad climática en España. La información dendrocronológica se concentra en el Sistema Ibérico y Central, Sur de España, Galicia y Pirineo y en la Península hay extensas áreas con escasa información dendrocronológica, como en el

Cantábrico, el Norte, el Sur, el Sureste y el Noreste. No hay series disponibles en Portugal ni en los archipiélagos de Baleares y Canarias, lo que supone una limitación.

Dados los problemas de representatividad espacial se exploró también la utilidad de las series de Marruecos²⁰ más próximas a Canarias y a la Península, así como las francesas más próximas al Pirineo (Figura 41). En total son 84 series de las cuales 64 se encuentran en España, 15 en Marruecos y 5 en el Pirineo francés, con información desde el año 984 (en Marruecos) y desde el año 1485 (series de España).

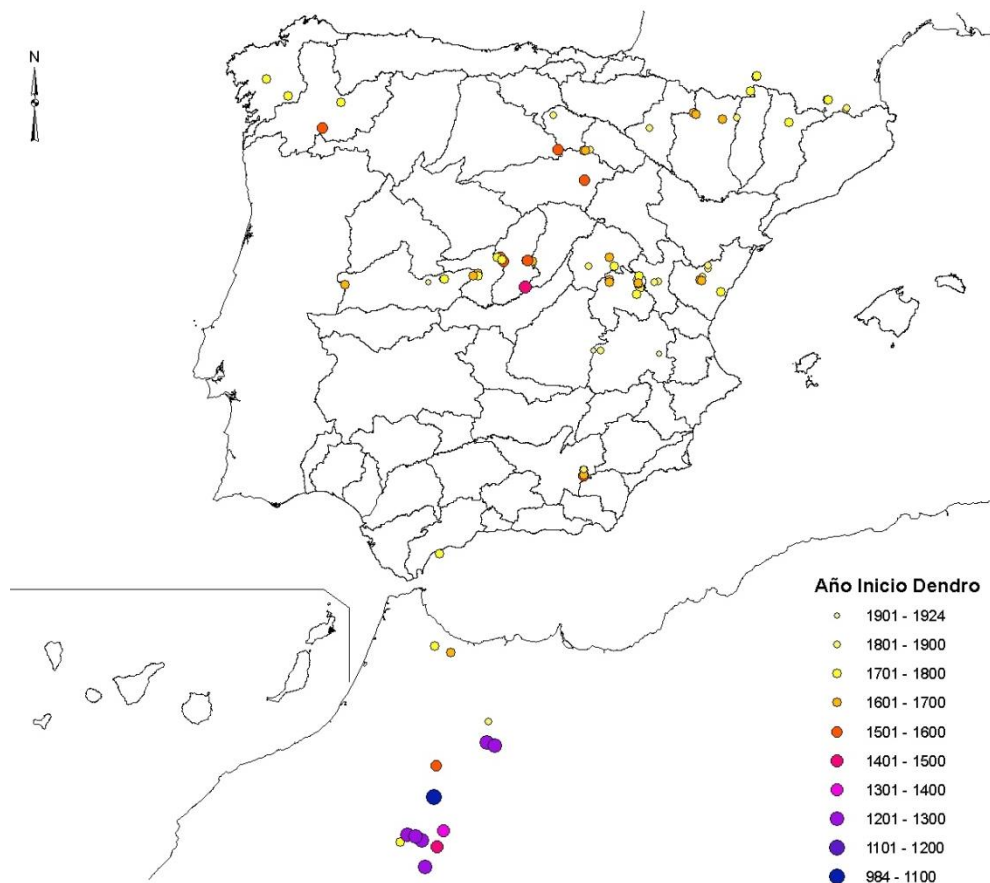


Figura 41. Localización y periodo de extracción de las dendrocronológicas ITRDB en España y cercanías

Tabla 8. Dendrocronologías ITRDB en España

Código	Investigador	Especie árbol	Lugar	Altitud (m)	Latitud (°)	Longitud (°)	Inicio serie	Fin serie	Zona
Spai001	Fritz Schweingruber	Pino negro	Ordesa	1870	42,40	0,07	1609	1977	Pirineo
Spai002	Fritz Schweingruber	Pino silvestre	Navacerrada	2050	40,48	-4,02	1663	1977	Sistema Central
Spai003	Fritz Schweingruber	Pino negro	Rabassa	2100	42,32	1,30	1793	1977	Pirineo
Spai004	Fritz Schweingruber	Pino negro	Jaca	1760	42,41	0,34	1808	1977	Pirineo
Spai005	Fritz Schweingruber	Pino negro	Alcalá de Selva	1960	40,23	-0,40	1820	1977	Alto Júcar

²⁰ Till, C. y Guiot, J. (1990). Reconstruction of precipitation in Morocco since 1100 A.D. based on Cedrus atlantica tree-ring widths. Quaternary Research, 33: 337-351.



Catálogo y Publicación sobre Sequías Históricas

CEDEX

Código	Investigador	Especie árbol	Lugar	Altitud (m)	Latitud (°)	Longitud (°)	Inicio serie	Fin serie	Zona
Spai006	Fritz Schweingruber	Pino silvestre	El Quintar	1900	42,02	-2,42	1842	1977	Alto Sistema Ibérico
Spai007	Fritz Schweingruber	Pinsapo	Ronda	1650	36,40	-5,05	1728	1982	Ronda
Spai008	Génova Fuster	Pino negro	Tajo	1750	40,52	-2,08	1610	1988	Alto Tajo
Spai009	Génova Fuster	Pino negro	Boquerón	1250	40,21	-2,08	1688	1988	Alto Júcar
Spai010	Génova Fuster	Pino negro	Tierra Muerta	1350	40,18	-2,08	1615	1988	Alto Júcar
Spai011	Génova Fuster	Pino negro	Torreton	1500	40,11	-2,05	1485	1988	Alto Júcar
Spai012	Génova Fuster	Pino silvestre	Siete Picos	1950	40,52	-4,06	1528	1988	Sistema central
Spai013	Yuste Herederu, I	Pino silvestre	Navafría	1900	40,01	-0,07	1685	1992	Guadalupe
Spai014	Yuste Herederu, I	Pino silvestre	Navafría II	1630	40,01	-0,07	1787	1992	Guadalupe
Spai015	Yuste Herederu, I	Pino silvestre	Navafría III	1525	40,01	-0,07	1791	1992	Guadalupe
Spai016	Génova Fuster	Pino negro	Penahorcada	1450	40,29	-4,47	1667	1988	Sistema central
Spai017	Génova Fuster	Pino negro	Cercelas	1350	40,26	-4,47	1760	1991	Sistema central
Spai018	Génova Fuster	Pino negro	Andrinal	1500	40,26	-4,56	1687	1989	Sistema central
Spai019	Génova Fuster	Pino negro	Riscopol	1600	40,47	-4,00	1523	1988	Sistema central
Spai020	Fernández-Cancio, A	Pino silvestre	Penota	1650	40,40	-2,00	1763	1991	Alto Tajo
Spai021	Génova Fuster	Pino silvestre	Pedrizza	1650	40,52	-4,12	1715	1988	Sistema central
Spai022	Klaus Richter	Pino rodeno	Albarracín I	1225	40,18	-1,20	1821	1985	Alto Júcar
Spai023	Klaus Richter	Pino negro	Albarracín II	1550	40,17	-1,27	1887	1985	Alto Júcar
Spai024	Klaus Richter	Pino silvestre	Ansó	1275	42,50	-0,47	1696	1985	Pirineo
Spai025	Klaus Richter	Pino negro	Las Banas	1405	37,57	-2,56	1745	1785	Sierra Nevada
Spai026	Klaus Richter	Pino negro	Puertollano	1800	37,49	-2,57	1585	1985	Sierra Nevada
Spai027	Klaus Richter	Pino negro	Cañada de la Fuente	1450	37,5	-2,56	1698	1985	Sierra Nevada
Spai028	Klaus Richter	Pino rodeno	Las Banas II	1380	37,58	-2,56	1836	1985	Sierra Nevada
Spai029	Klaus Richter	Pino negro	Cuenca-Buenache	1385	40,09	-1,54	1711	1983	Alto Júcar
Spai030	Klaus Richter	Pino silvestre	Cuenca-Las Majadas	1400	40,20	-1,59	1809	1983	Alto Júcar
Spai031	Klaus Richter	Pino negro	Cuenca-Las Torcas	1225	40,00	-1,59	1728	1984	Alto Júcar
Spai032	Klaus Richter	Pino negro	Cuenca-Vega de Cordono	1440	40,26	-1,54	1794	1983	Alto Júcar
Spai033	Klaus Richter	Pino silvestre	Gredos-Hoyos de Espino	1465	40,20	-5,10	1813	1985	Sistema central
Spai034	Klaus Richter	Pino silvestre	Gredos-Navarredonda	1470	40,20	-5,08	1769	1985	Sistema central
Spai035	Klaus Richter	Pino silvestre	Guadarrama-Camorca	1550	40,49	-4,03	1726	1983	Sistema central
Spai036	Klaus Richter	Pino silvestre	Guadarrama-Iniesto	1800	40,48	-3,59	1749	1983	Sistema central
Spai037	Klaus Richter	Pino silvestre	Guadarrama-Loma de Noruego	1950	40,47	-3,48	1661	1985	Sistema central
Spai038	Klaus Richter	Pino silvestre	Guadarrama-Rascafría	1850	40,48	-3,57	1599	1984	Sistema central
Spai039	Klaus Richter	Pino negro	Gudar-Fuentenarices	1450	40,18	-0,44	1681	1984	Mijares
Spai040	Klaus Richter	Pino silvestre	Gudar-Pradillo	1650	40,18	-0,41	1859	1985	Mijares
Spai041	Klaus Richter	Pino negro	Gudar-Los Roquetas	1475	40,17	-0,42	1681	1985	Mijares
Spai042	Klaus Richter	Pino silvestre	Gudar-Cantavieja	1750	40,34	-0,29	1844	1985	Mijares
Spai043	Klaus Richter	Pino negro	Gudar-Villarluengo	1500	40,38	-0,29	1829	1985	Mijares
Spai044	Klaus Richter	Pino silvestre	Puerto de Acher	1625	42,48	-0,42	1605	1985	Pirineo
Spai045	Klaus Richter	Pino negro	Cuenca I	1385	40,15	-1,56	1638	1985	Alto Júcar
Spai046	Klaus Richter	Pino negro	Cuenca II	1440	40,16	-1,56	1644	1985	Alto Júcar
Spai047	Klaus Richter	Pino silvestre	Urbión-Covaleda	1750	41,59	-2,52	1567	1983	Alto Sistema Ibérico
Spai048	Klaus Richter	Pino silvestre	Urbión-Duruelo	1840	42,01	-2,54	1671	1983	Alto Sistema Ibérico
Spai049	Klaus Richter	Pino silvestre	Urbión-Quintemar	1840	42,02	-3,02	1593	1985	Alto Sistema Ibérico

Código	Investigador	Especie árbol	Lugar	Altitud (m)	Latitud (°)	Longitud (°)	Inicio serie	Fin serie	Zona
Spai050	Klaus Richter	Pino silvestre	Urbión-Vinuesa	1750	42,00	-2,51	1681	1983	Alto Sistema Ibérico
Spai051	Klaus Richter	Pino silvestre	Viella	1920	42,44	-0,47	1752	1985	Pirineo
Spai052	Klaus Richter	Pino silvestre	San Zanordil	880	42,50	-3,10	1802	1985	Alto Sistema Ibérico
Spai053	Paul Sheppard	Pino negro	Sant Maurici	2000	42,30	-1,30	1811	1996	Pirineo
Spai054	Briongos, J.M.	Pino piñonero	La Camarilla	700	39,23	-2,38	1924	1999	Bajo Júcar
Spai055	Briongos, J.M.	Pino piñonero	La Camarilla	700	39,23	-2,38	1920	1999	Bajo Júcar
Spai056	Briongos, J.M.	Pino piñonero	Pinar Viejo	720	39,23	-2,25	1882	1999	Bajo Júcar
Spai057	Briongos, J.M.	Pino piñonero	Dehesa del Peral	1055	40,40	-2,46	1874	2001	Alto Tajo
Spai058	Fritz Schweingruber	Pino piñonero	Calvero	1400	40,16	-5,36	1923	1977	Sistema central
Spai059	Briongos, J.M.	Pino piñonero	La Pasadilla	705	39,17	-1,21	1907	2001	Bajo Júcar
Spai060	Creus Novau, J.	Roble Albar	Rogueira de Moreda	1200	42,36	-7,06	1702	1992	Galicia
Spai061	Creus Novau, J.	Castaño	Lalín	600	42,39	-8,06	1757	1992	Galicia
Spai062	Creus Novau, J.	Quercus robur	Santiago	300	42,52	-8,31	1733	1990	Galicia
Spai063	Creus Novau, J.	Roble Albar	Sierra os Ancares	1300	40,50	-6,52	1650	1992	Galicia
Spai064	Creus Novau, J.	Quercus robur	Montes de Invernadeiro	1000	42,14	-7,25	1561	1992	Galicia

5.2.2.2 Descarga de la Información de Espesores de la Base ITRDB

El servidor de la ITRDB²¹ da acceso a los datos de espesores y densidades de árboles organizados por países. Los extraídos en España tienen como prefijo *spai-*, los de Francia *fran-* y los de Marruecos *morc-*. Las dendrocronologías de España están codificadas mediante el sufijo de 3 cifras, correlativas desde 001 hasta 064 (Tabla 8).

La Figura 42 muestra la serie contenida en el fichero *spai021*. La extensión de este fichero es *.crm*. Se trata de datos estandarizados que representan la media del crecimiento de un conjunto de árboles. Los datos tienen 3 ó 4 dígitos; se le asigna el valor de 1000 al crecimiento medio (ese valor es 100 en *spai060* a *spai064*), con lo que un valor superior a 1000 indica un anillo con crecimiento superior a la media; el nulo ó 0 indica que no hay crecimiento y el valor 9990 indica una falta de dato.

Además de la serie temporal contiene información sobre la localización y nombre del lugar de la dendrocronología, la especie, sus coordenadas longitud/latitud, su altitud, la identificación de los investigadores, el periodo extraído, la codificación ITRDB y la serie temporal de espesores estandarizados y el número de muestras que componen la media en cada año. Así, en la línea nº 5 se leen los 6 primeros dígitos identificativos GU2STD, el año 1720, el registro 1137, de 1 única muestra, el registro de 1721, 1067, de 1 muestra, el registro de 1722, 982, con 1 muestra, etc...

En el anexo 5 se muestran los gráficos de evolución anual de los valores de las series de las dendrocronologías españolas de los ficheros con extensión *crm* de la base de datos ITRDB (International Tree Ring Database) del Centro Mundial de Datos Paleoclimatológicos (World Data Center for Paleoclimatology) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

²¹ <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html>



CEDEX

GU2	1 PEDRIZA	SCOTS PINE						PISY				
GU2	2 SPAIN	1650M +4052-00412						1715	1988			
GU2	3 GENOVA	FUSTER, M.,	FERNANDEZ CANCIO, A.									
GU2STD17159990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	0 957	11345	1 800	1 303	1 536	1
GU2STD17201137	11067	1 982	11202	11353	11610	1 593	1 485	1 772	11263			1
GU2STD17301063	11115	11002	2 731	2 732	21098	21254	21032	2 899	21081			2
GU2STD17401147	41112	4 740	4 892	4 854	4 890	4 964	4 949	41008	41025			4
GU2STD1750 733	41200	41282	41111	41069	4 928	4 677	4 924	4 942	41045			4
GU2STD17601255	41506	41226	41014	4 991	41240	4 984	4 952	4 698	4 650			4
GU2STD1770 499	5 607	5 706	51095	5 778	5 915	5 903	6 964	71047	71132			7
GU2STD1780 825	7 989	71072	71097	7 910	71140	71160	71084	71268	71052			7
GU2STD17901082	71278	71402	71115	71364	71129	71389	7 912	7 915	7 918			7
GU2STD1800 833	7 975	71004	7 664	7 623	7 967	7 827	71171	71057	8 777			8
GU2STD18101146	81266	8 957	8 933	81143	81101	8 805	8 928	81118	81131			8
GU2STD1820 964	81083	81233	81157	8 941	8 873	81022	9 961	91053	9 766			9
GU2STD18301138	9 921	9 884	91057	91328	91310	101165	101460	101088	101030			10
GU2STD1840 983	10 985	10 669	10 704	10 993	10 721	101016	10 711	10 948	101002			11
GU2STD18501145	11 890	11 739	11 921	111050	11 722	11 753	11 940	11 983	111037			11
GU2STD1860 978	111059	11 970	11 952	11 914	11 544	11 970	111271	111276	111283			12
GU2STD18701321	12 997	12 957	131018	131078	131155	131006	13 734	13 922	13 832			13
GU2STD18801152	131463	131342	13 859	13 974	131125	131107	131001	13 998	131160			13
GU2STD18901038	13 814	13 814	131167	13 800	13 951	131140	141175	141054	14 924			14
GU2STD1900 474	14 732	14 972	141284	141305	14 763	14 826	141057	14 950	14 721			14
GU2STD1910 941	141021	141279	141306	141637	141049	141133	14 966	141059	14 990			14
GU2STD19201162	14 829	14 958	141303	14 747	14 599	14 929	14 744	14 783	14 789			14
GU2STD1930 872	14 922	141181	141296	141009	14 865	141175	141408	141043	14 786			14
GU2STD19401161	14 799	14 767	14 693	141019	141132	14 974	14 982	14 925	14 952			14
GU2STD19501075	141085	141256	141058	14 869	14 865	141101	141268	141279	141338			14
GU2STD1960 935	141316	141015	14 657	14 906	14 925	14 974	14 953	141061	14 994			14
GU2STD19701176	14 617	14 766	141077	141075	14 866	141027	141068	14 809	14 781			14
GU2STD19801143	141086	141012	141140	141118	14 941	14 698	141084	141095	149990			0

Figura 42. Fichero con datos ITRDB en spai021

Los datos disponibles se han extraído mayoritariamente en zonas montañosas, tal como sugiere la Figura 43 elaborada con las 64 dendrocronologías españolas de la ITRDB. La mayoría de ellas se localizan entre las altitudes de 1.200 y 2.000 msnm y, en concreto, entre 1.400 y 1.600 msnm. El hecho de que los árboles se encuentren bajo condiciones climáticas de montaña repercute en la singularidad de los datos.

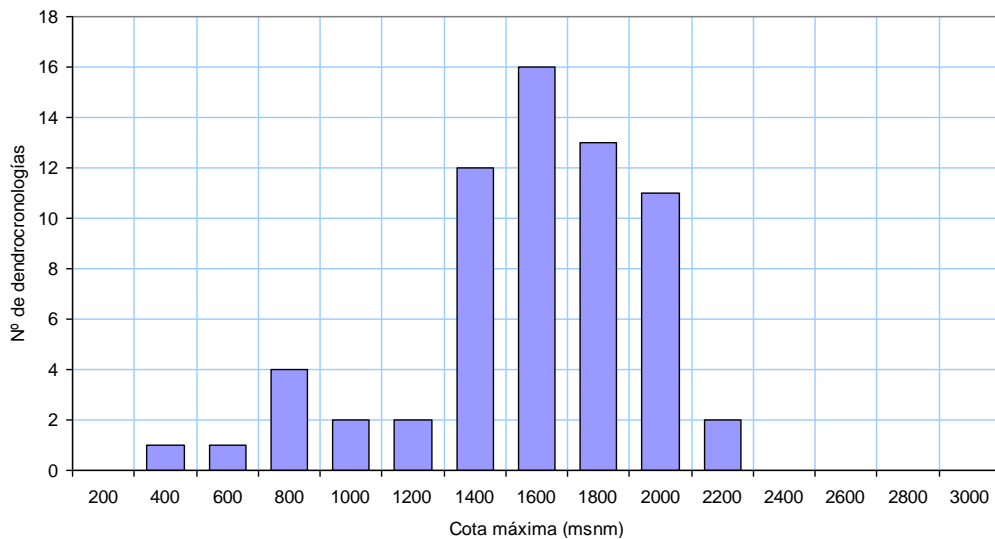


Figura 43. Reparto de dendrocronologías españolas en ITRDB por altitud

Por otro lado, la Figura 41 y Tabla 8, ya hacen referencia al periodo de extracción que raramente supera en España el siglo XVIII. La Figura 44 muestra este reparto por años de inicio de las dendrocronologías. Una de la series concluye también en el siglo XVIII, pero la mayoría se extiende hasta el último cuarto del siglo XX.

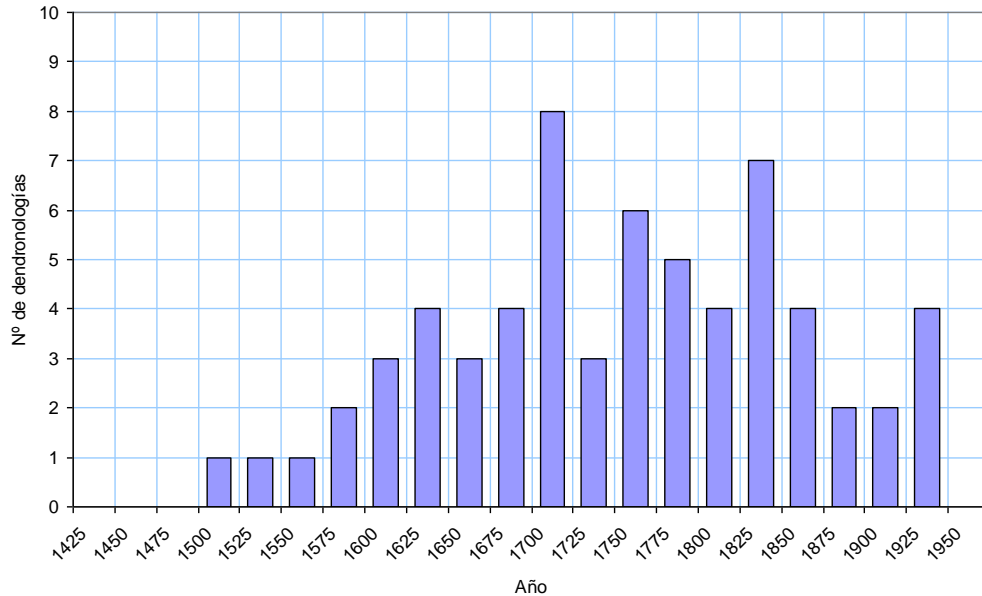


Figura 44. Reparto de dendrocronologías españolas en ITRDB por año de inicio

5.2.3 Modelo de Regresión Directa con Índice IPE

Este modelo de regresión directa entre series dendrocronológicas y series del índice de precipitación estandarizado se aplica siguiendo los siguientes pasos.

5.2.3.1 Procesado de la Información Dendrocronológica Registrada

Las series de espesores de anillos descargadas de la base ITRDB se procesaron para su tratamiento posterior. En primer lugar, se filtraron las componentes no estacionarias relacionadas con la tendencia a la disminución del espesor con la edad o la autocorrelación en el crecimiento de la planta.

La Figura 45 muestra la dendrocronología para la serie spai005. En la parte superior se muestra la evolución de los valores anuales de la ITRDB, sobre la que se han superpuesto las tendencias de 30 años y una media móvil de paso 21 años. En el gráfico de la parte media se representa la serie ya filtrada y estandarizada mediante splines con suavizado, obtenida con la función *smooth.spline* del programa R (R Development Core Team, 2008). De manera general se le ha asignado al parámetro de suavizado un valor de 0,56, si bien en algunos casos se ha adoptado el valor de 0,30 para tratar heterogeneidades que se presentan, sobre todo en los primeros años de algunas series. Para comprobar la bondad del filtrado se ha dibujado un gráfico QQ normal y el correlograma, tal como se observa en la parte inferior de la Figura 45.

En el anexo 5 se adjuntan todos estos gráficos para las dendrocronologías españolas de la base de datos ITRDB.



CEDEX

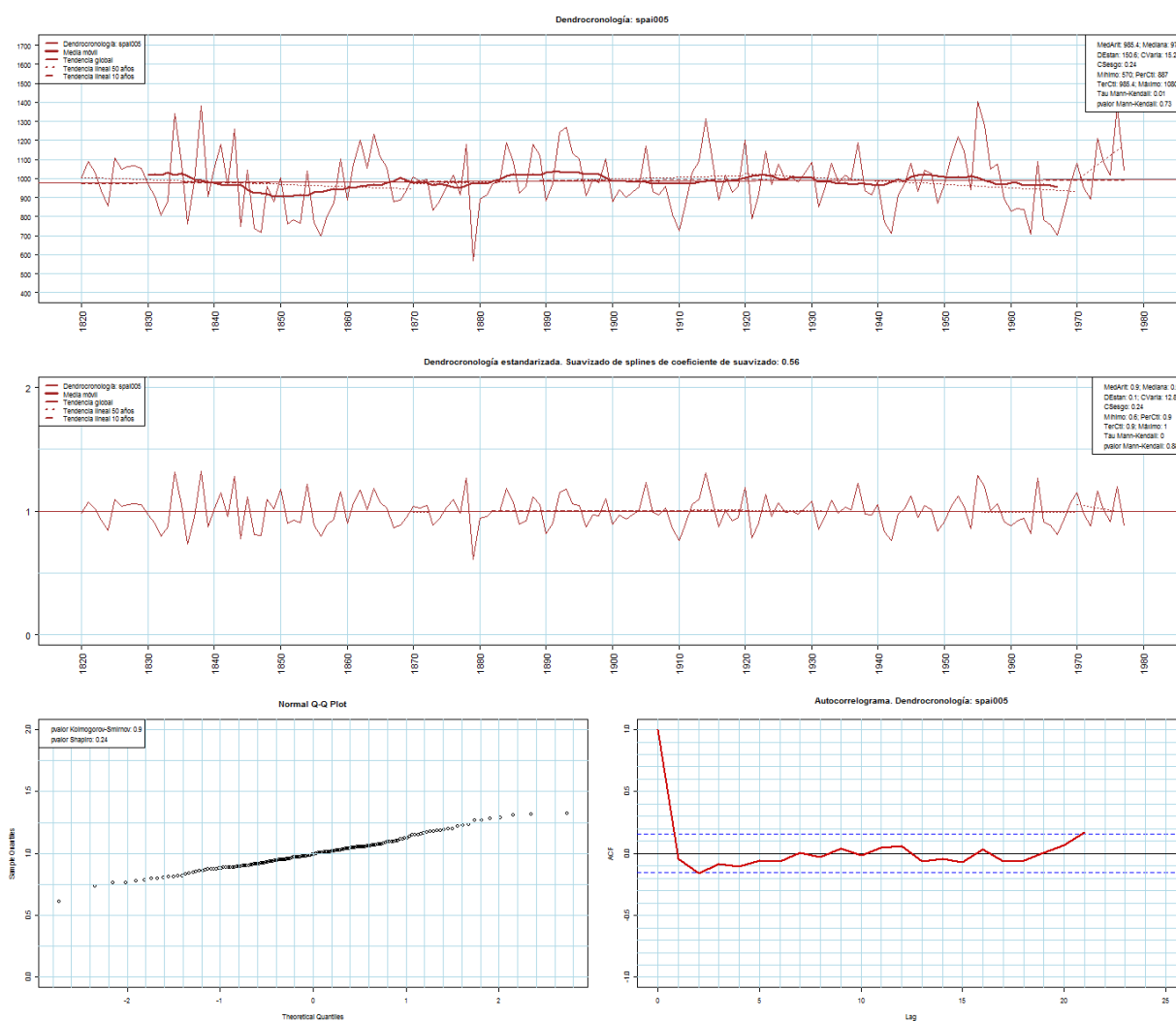


Figura 45. Procesado de la serie dendrocronológica spai005

La Figura 45 muestra una serie dendrocronológica cuyos residuos estandarizados una vez corregidos tienen un comportamiento aparentemente normal, lo que sería indicativo de la bondad de la transformación realizada. Sin embargo, la utilización de estas transformaciones no siempre alcanza un resultado como el anterior. En la Figura 46 se muestra el caso de la serie spai008 con un sesgo en los valores bajos (muchos valores muy bajos) que la transformación no logra corregir, tal como se observa claramente en el gráfico QQ. Se trata de un problema relativamente frecuente en las series dendrocronológicas y podría asociarse a la falta de respuesta del árbol una vez que la disponibilidad de agua es inferior a un umbral de estrés hídrico. Para evitar este problema se han diferenciado 2 partes en cada serie dendrocronológica estandarizada considerado un nivel de truncamiento en el valor 0,5 que señala con generalidad el valor a partir del cual los valores de la cola inferior de la distribución se hacen irregulares.

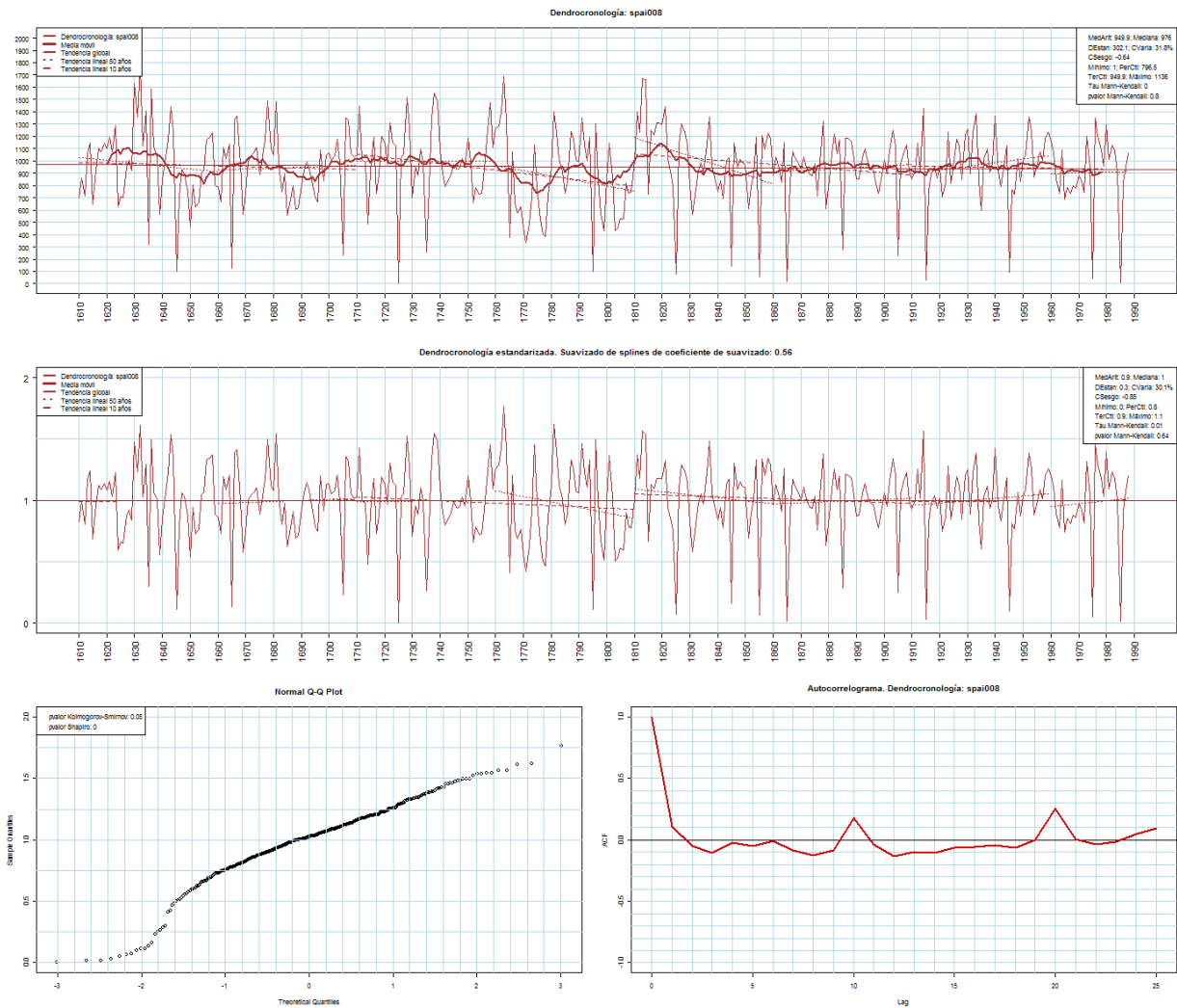


Figura 46. Procesado de la serie dendrocronológica spai008

En la

Figura 47 se muestra otro caso, también relativamente frecuente, relacionado con el crecimiento durante la época inicial que deriva en un comportamiento heterogéneo en las series. Es notable la diferente variabilidad de la serie antes y después de 1880 aproximadamente. La figura muestra la insuficiencia de la transformación utilizada para filtrar esta componente con un suavizado de 0,56, mejorando con un valor de suavizado de 0,30. En cualquier caso, este hecho refleja la complejidad en el tratamiento e interpretación de las series dendrocronológicas.

En los casos más evidentes, se ha optado por eliminar de los cálculos posteriores el periodo inicial de datos (Tabla 9). Además, siendo el objetivo final su uso en ecuaciones de regresión, una solución *a posteriori* a este efecto es incorporar regresiones múltiples que reduzcan el peso de estas componentes cuando aparezcan en una serie.

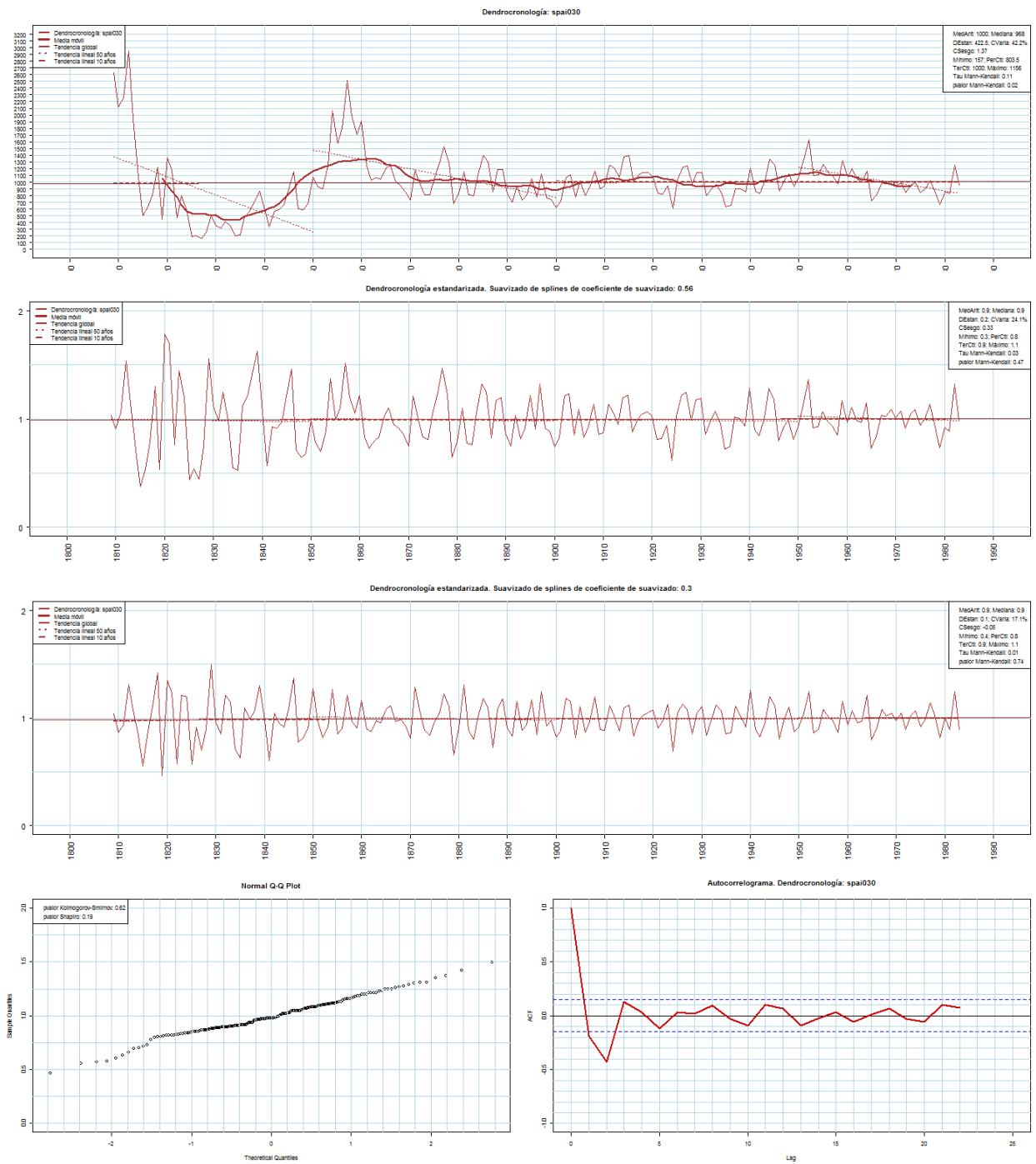


Figura 47. Procesado de la serie dendrocronológica spai030

Tabla 9. Años de inicio originales y considerados en los estudios de sequías en España

Año inicial	spai002	spai09	spai011	spai030	spai044	spai060	spai062	morc013
Corregido	1705	1740	1570	1840	1670	1765	1770	1870
Original	1663	1688	1485	1809	1605	1702	1733	1845

5.2.3.2 Correlación entre Series Estandarizadas de Lluvia y Dendrocronologías

Conviene recordar que el objetivo del tratamiento de la información sobre lluvia registrada y dendrocronología es el de poder identificar sequías a partir de las series de lluvia reconstruida que se remontan a periodos históricos. Esas sequías se contrastarán con las identificadas en el estudio de fuentes bibliográficas.

En el capítulo 5 se describe el proceso de estimación de series regionales de lluvia en las regiones SIEH en España. Estas series abarcan el periodo comprendido entre el año hidrológico 1870/71 y el 2005/06. Las series dendrocronológicas son más largas, remontándose la más extensa hasta el año 984. Puede por tanto plantearse una actividad conjunta si se utilizan las series regionales de lluvia, las dendrocronológicas y sus relaciones durante el periodo común de datos.

El uso de datos dendrocronológicos del ITRDB para representar la variabilidad climática de España encuentra varios inconvenientes: escasa cobertura espacial de la información ITRDB (Figura 41) y escasa longitud de la mayoría de las series, que suelen comenzar en el siglo XVIII.

Otra dificultad deriva de la relación entre ambas variables, lluvia y dendrocronología. La información disponible sobre la lluvia es de paso mensual. Sin embargo, la información dendrocronológica es de paso anual con mayor sensibilidad a las condiciones climáticas de unas estaciones climáticas que a otras.

La revisión bibliográfica no aporta una respuesta definitiva a la determinación de las estaciones climáticas que mejor correlacionan con el crecimiento de los anillos. Como se indicó anteriormente, los espesores de los anillos estarían condicionados por las precipitaciones y temperaturas de la época en que se inicia el crecimiento, la primavera. Pero, las precipitaciones altas de unos meses anteriores tienen una clara influencia ya que determinan la humedad del suelo que es necesaria para el crecimiento del árbol. Esto puede ser aprovechado por árboles de raíces profundas. Sin embargo, en otros casos los anillos están condicionados por las precipitaciones estivales, como sucede con el *Pinus Halepensis* de los Monegros (Creus y Saz, 2004).

El trabajo desarrollado por la UCLM plantea un modelo estadístico para la resolución de esta cuestión. Para este estudio inicial únicamente se ha tanteado cuál es la mejor opción para la estimación de lluvias regionales si la consideración se centra únicamente en la elección de un paso anual natural, hidrológico o de enero a septiembre, resultando elegido el hidrológico.

Otro problema radica en el hecho de que las dos series comparadas, lluvias y dendrocronologías, tienen distintas escalas, fruto de su diferente origen y de las transformaciones usadas. Por eso se consideró oportuno estandarizar ambos tipos de series bajo un criterio común. Siendo la técnica de estandarización del IPE muy utilizada en estudios de sequías, se procedió primeramente a transformar las series de lluvias (por año hidrológico) y de dendrocronologías en series *IPE de lluvias* y series *IPE de dendrocronologías*, respectivamente. En ambos casos se tomó la distribución *gamma* como referencia, estando ambos dominios de valores acotados inferiormente y existiendo extremos de carácter positivo alejados del cuerpo central. Así, las series IPE de dendrocronologías se obtuvieron a partir de las series dendrocronológicas estandarizadas truncadas en el valor 0,5, tal como se ha comentado anteriormente.

La Figura 48 muestra la serie IPE de lluvias para la región del Alto Júcar entre los años 1870/71 y 2005/06. Se ha definido la sequía como el periodo de valores negativos del índice que siguen a un inicio en el que se alcanza un valor de -1 , aproximadamente igual a un 15% de probabilidad de ocurrencia. Los periodos de sequía entre 1870/71 y 2005/06 se han destacado en color rojo.

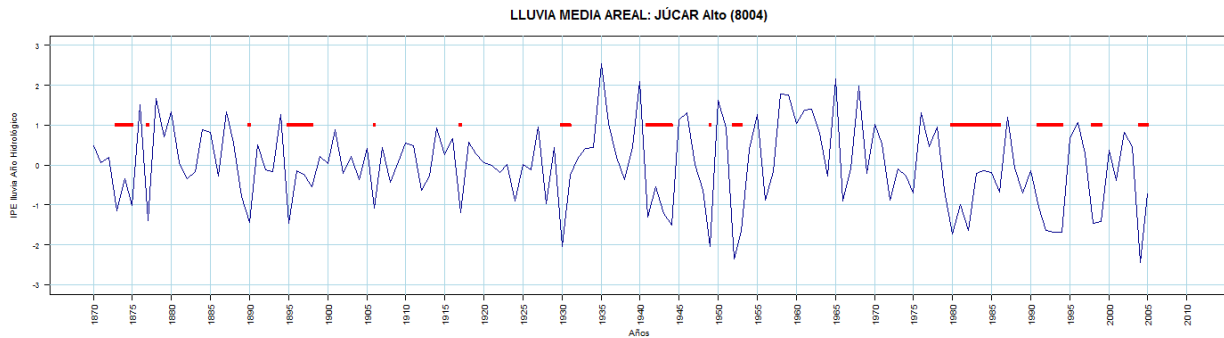


Figura 48. Serie IPE estimada de las lluvias en año hidrológico en la región SIEH del Alto Júcar

La Figura 49 muestra una serie IPE de dendrocronología habiendo comparado el comportamiento de la dendrocronología con una distribución gamma. Los periodos de sequía se han destacado en color rojo, habiéndolos definido de igual manera.

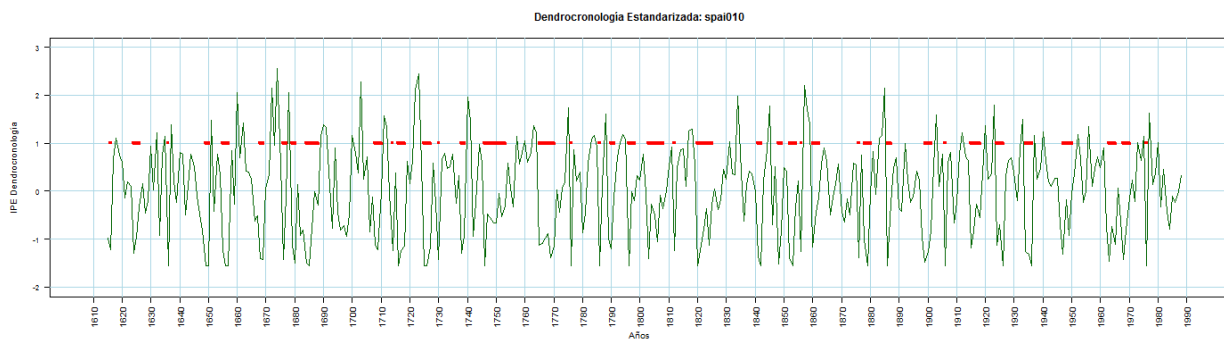


Figura 49. Serie IPE a partir la serie dendrocronológica spai010

A continuación se establecieron las ecuaciones de regresión entre cada una de las series *IPE de lluvias* regionales por año hidrológico con aquellas series *IPE dendrocronológicas* anuales con las que mejor correlaciona en cada periodo común de datos. Este proceso se llevó a cabo en diferentes pasos. El primer paso consistió en calcular los coeficientes de correlación de Pearson entre cada serie IPE de lluvias regionales con cada una de las series IPE dendrocronológicas (Figura 50). Las lluvias regionales corresponden a un año hidrológico que se inicia en octubre. Las dendrocronologías se asignan a cada año natural que comienza el enero siguiente al octubre en el que comienza el año hidrológico. A modo de ejemplo, la precipitación del año hidrológico 1884/85 en una región se relacionaría con el espesor del anillo del año 1885 de cada serie dendrocronológica.

Los coeficientes de correlación obtenidos son bajos. En la leyenda de la Figura 50 se han destacado en azul los superiores a $0,50$ y en verde los que se encuentran entre $0,30$ y $0,50$. Aun siendo bajos estos coeficientes, son ligeramente mejores respecto a los coeficientes obtenidos con las series de lluvia en *mm* y con las dendrocronologías estandarizadas.

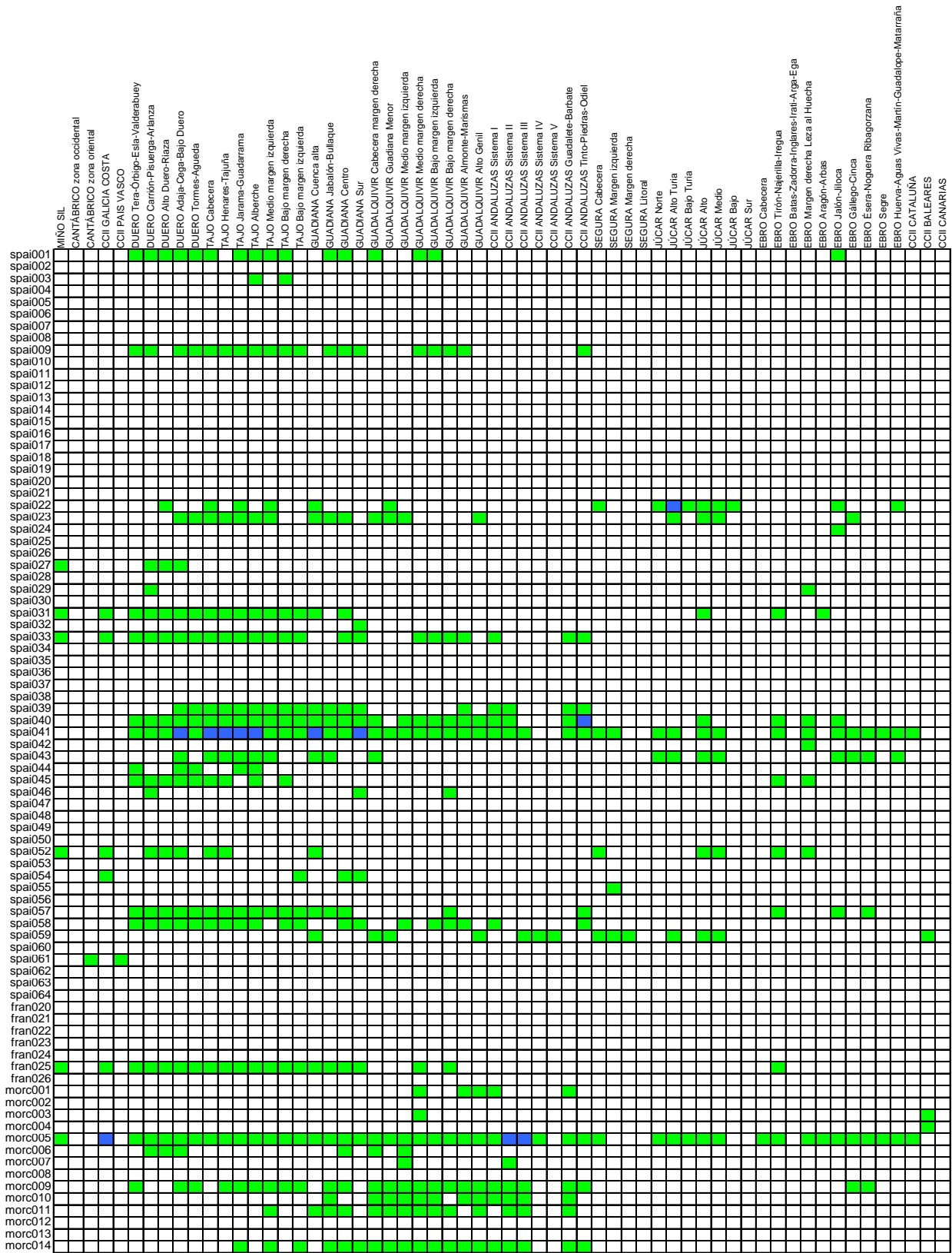


Figura 50. Coeficientes de correlación entre las series IPE dendrocronológicas y de IPE de lluvia regional (azul: >0,5; verde: entre 0,3 y 0,5; blanco: < 0,3)



El segundo paso ha consistido en la elección de las series IPE dendrocronológicas que entrarían en la ecuación de regresión con cada serie IPE lluvia. Los coeficientes de regresión de Pearson entre series IPE dendrocronológicas y de lluvia dan un primer criterio de selección de las primeras series para completar las segundas, pero no tiene en cuenta el número de años comunes ni la longitud de la serie. Por lo tanto, el coeficiente de Pearson se ha ponderado para dar mayor peso a aquellas series dendrocronológicas con más datos en el periodo común y más largas.

La técnica de ponderación se toma del modelo de completado por correlación múltiple implementado en la aplicación SIMPA del CEDEX. Se basaría en multiplicar cada coeficiente de correlación por un cociente que representa el porcentaje de datos comunes respecto al total a completar elevado a un denominado exponente de priorización. Este exponente se toma con valor $0,1$, siguiendo la práctica habitual del completado de lluvias. Se ha aplicado un segundo criterio de ponderación para dar mayor peso a aquellas series dendrocronológicas más largas. Para ello, el resultado anterior se ha multiplicado por el cociente del número de años de cada serie IPE dendrocronológica y el número máximo de años con datos de la serie dendrocronológica más larga, elevado al exponente $0,5$.

Finalmente, para la elección de las series IPE dendrocronológicas que entran en la ecuación de regresión con cada serie IPE lluvia, se han desechado aquellas series IPE dendrocronológicas con un número de datos inferior al 10% respecto a la serie más larga. La serie IPE dendrocronológica más larga tiene un dato por año durante el periodo 984-2001, por lo que tiene 1.018 datos; es decir se han desechado aquellas que apenas se remontan unos 100 años en el tiempo, ya que cubren un periodo de tiempo en el que ya hay información sobre precipitación registrada. Las series IPE dendrocronológicas desechadas han sido: spai23, spai54, spai55, spai58 y spai59.

La Figura 51 muestra la matriz de los coeficientes ya ponderados, denominados coeficientes de selección. Resulta ilustrativo el hecho de que las series de Marruecos están entre las más adecuadas para reconstruir la precipitación de los siglos pasados en España.



Figura 51. Coeficientes de selección entre las series IPE dendrocronológicas y de IPE de lluvia regional (azul: >0,3; verde: entre 0,2 y 0,3; naranja: entre 0,15 y 0,2 blanco: < 0,15). Las series dendrocronológicas cuyo nombre está en rojo no se han utilizado por ser series cortas.



5.2.3.3 Reconstrucción de las Series IPE

El paso siguiente ha consistido en plantear las ecuaciones de regresión multivariante. El grado de la ecuación es variable en función del número de dendrocronologías que se puedan usar. El grado máximo de la ecuación para reconstruir cada serie IPE de lluvia es 4. A este grado se llega si hay al menos 4 series IPE dendrocronológicas cuyo coeficiente de selección con la serie IPE de lluvia sea igual o superior a 0,3. Posteriormente, y de manera similar, se aplica una ecuación de orden 3, luego de orden 2 y finalmente de orden 1. De ese modo se consigue un mayor completado de las series, con la limitación de la longitud de la serie IPE dendrocronológicas con el mayor coeficiente de selección. Si no se encuentra ninguna serie IPE dendrocronológica con el coeficiente igual o superior a 0,3, se aplica una ecuación de regresión de orden 1 utilizándose la serie IPE dendrocronológica con mayor coeficiente de selección.

Una vez que se dispone de criterios de elección y de las ecuaciones de regresión, se extrapola la relación entre la precipitación y la dendrocronología para reconstruir hacia atrás en el tiempo las series IPE de lluvias en las regiones SIEH de España.

En la Tabla 10 se muestra la estructura de las ecuaciones de regresión utilizadas para reconstruir el índice de precipitación de cada región SIEH. El grado de la ecuación es variable. En la tabla se puede consultar el coeficiente de regresión de Pearson (cP) de cada serie índices de lluvia y dendrocronológico, los coeficientes de la ecuación de regresión y el valor del término independiente de la regresión lineal (c11 a c44 y Int1 a Int4, en función del grado de la ecuación), el término R^2 (R1 a R4) y el año del primer dato de la serie IPE dendrocronológica utilizada para informar sobre la extensión de la serie completada (años1 a años4). A modo de ejemplo, el IPE de lluvia de la región 3005 (cuencas del Tajo medio por margen derecha) se ha reconstruido con cuatro ecuaciones de grados 1 a 4. Las series dendrocronológicas usadas son morc014, morc005, morc009 y spai41 con coeficientes de correlación de Pearson de valores 0,34, 0,39, 0,34 y 0,48 respectivamente. El periodo reconstruido con la de grado 4 comprende los años 1680/81 y 1869/70 debido a que la disponibilidad de spai41 se limita a 1680/81; con la ecuación de grado 3 se amplía la anterior hasta 1299/00; con la de grado 2, hasta 1282/83; y con la de grado 1 hasta 983/84.

Se puede comprobar que las series IPE dendrocronológicas más utilizadas son la spai041 de la comarca de Gúdar-Javalambre en Aragón y las de Marruecos, morc005, morc009 y morc014. Por otro lado, las regiones cantábricas apenas encuentran referencias aceptables para las ecuaciones de regresión, así como tampoco algunas cuencas del Segura y Júcar y el archipiélago de las Canarias. El hecho de que haya muchas series dendrocronológicas que no se hay utilizado para completar se debe a su baja relación con la precipitación, a que son series muy cortas o a problemas de calidad de los datos. Quedan, por tanto, aspectos sobre los que hay que profundizar, así como la conveniencia de incluir en el procedimiento de completado la ponderación de la distancia entre la localización de la serie a completar y las de cada serie de referencia.

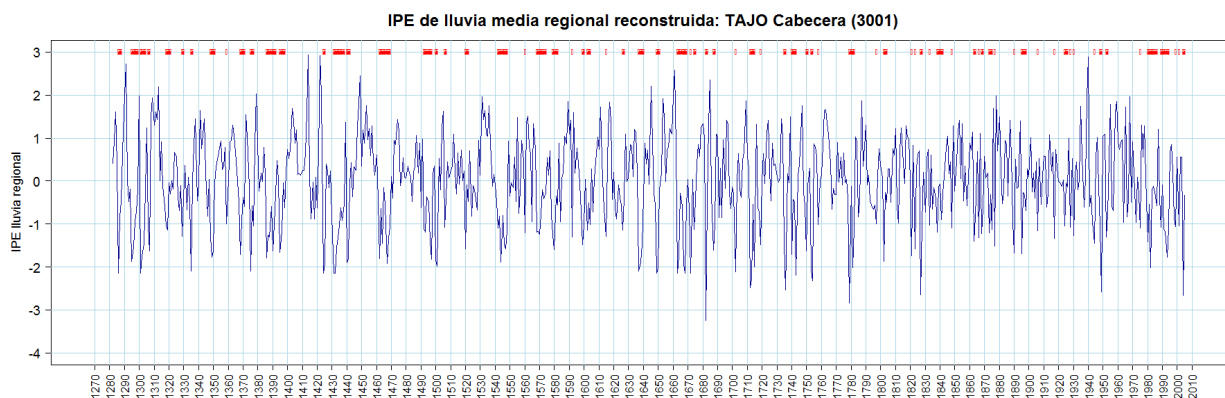


Figura 52. Serie IPE de lluvia regional reconstruida en la zona SIEH de la cabecera del Tajo con apoyo de datos dendrocronológicos

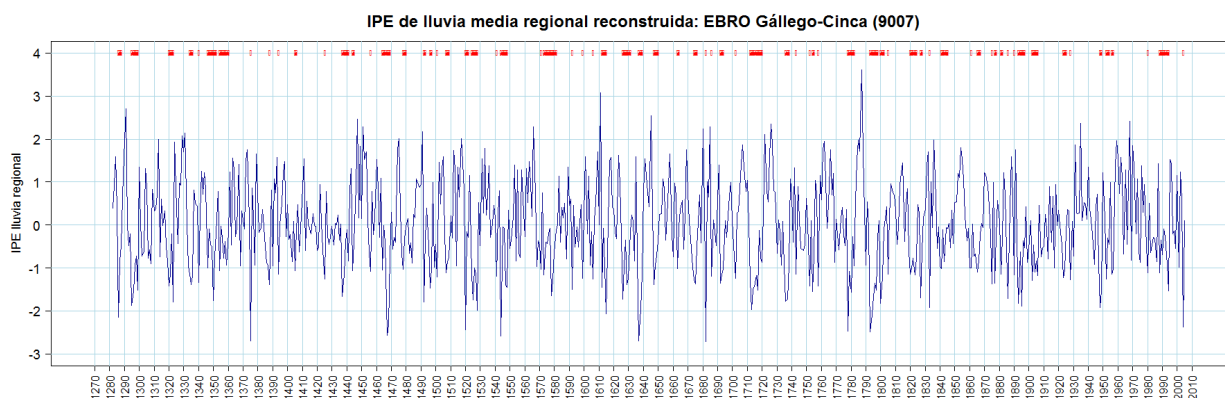


Figura 53. Serie IPE de lluvia regional reconstruida en la zona SIEH de los ríos Gállego y Cinca con apoyo de datos dendrocronológicos

La colección completa de series IPE reconstruidas por este procedimiento de regresión directa se encuentra en el anexo 6. Los resultados alcanzados están limitados por la baja calidad de las relaciones establecidas entre series transformadas de lluvia y dendrocronología. Por esto, las sequías identificadas con este procedimiento desde el último cuarto del siglo XIX hacia atrás en el tiempo tienen una alta incertidumbre.

Hay numerosos casos de coincidencia entre la información histórica y la dendrocronológica. Entre los casos más destacados figuran los siguientes:

- En el año 1255 hubo una sequía en España (Font Tullot, 1988) que afectó a la Cuenca del Ebro (CH Ebro, 2007). La dendrocronología da una década seca, con mayor intensidad en ese año.
- Según referencias históricas, en los años 1604 y 1605 hubo una sequía importante que afectó a la Cuenca del Ebro, vertiente atlántica, cuenca del Duero y Andalucía. Según las series del IPE de precipitación reconstruido con dendrocronología en cada región SIEH, el año 1604/05 hubo una sequía generalizada que afectó de manera moderada a España e intensa al SE.
- En Canarias, si bien la correlación es baja, hay casos de buena coincidencia como las sequías deducidas en 1627, 1630-32 y 1635 por García et al. (2003)

en función de la producción de cereales y por Romero y Máyer (2002) en función de las rogativas en Gran Canaria. Las series del IPE de precipitación reconstruido con dendrocronología en cada región SIEH detectan un periodo de sequía en Canarias desde 1626/27 a 1634/35.

- Evento de sequía descrito en 1664 por Domínguez-Castro et al. (2007, 2010): primavera muy seca en toda la Península, con rogativas en Bilbao, Burgos, Soria, Segovia, Zaragoza, Zamora, Barcelona, Salamanca, Toledo, Badajoz, Jaén, Córdoba, Murcia, Sevilla, Málaga; por López-Salazar y Martín-Galán (1981): fuerte descenso de la producción de cereales en el Arzobispado de Toledo en 1664; por Vicente Serrano y Cuadrat (2007): sequía en el Ebro medio según índice de rogativas. En las series del IPE de precipitación reconstruido con dendrocronología en cada región SIEH se detecta sequía generalizada y extrema en el año 1663/64 y algo menos intensa en 1664/65.
- Eventos de sequía entre 1680 y 1683 (sobre todo en 1682 y 1683) y entre 1702 y 1703 descritos por numerosos autores y también detectados en las series regionales del IPE de precipitación reconstruido con dendrocronología.
- Evento de sequía de 1789 a 1794 descrito en Aragón (sobre todo en Los Monegros), Meseta y Levante. Albertosa (1982): rogativas en Tarragona. Alberola (1999): sequías en tierras valencianas; Couchoud y Sánchez Ferlosio (1965): numerosas rogativas en Murcia; Díaz-Pintado (1991): sequía en La Mancha en 1779-82; Domínguez-Castro et al. (2011): en 1779 se disparan las rogativas por la Península, salvo en el SE, en 1780 las rogativas incluyen también al SE, siendo en todas las estaciones en algunos sitios, como Zaragoza o Murcia, en 1781 no hay rogativas en el norte, pero sí en el resto, en 1782 y 1783 parece que la sequía afecta sólo al valle del Ebro y al Segura; Font Tullot (1988): el período 1779 a 1784 fue de extrema sequedad en los Monegros, el año 1779 afectó sobre todo a la Meseta y Levante, la década de 1780 supuso un período de gran sequedad en la Meseta norte y gran parte de la vertiente mediterránea; Rodrigo et al. (1999): índice de sequía en 1779 en Andalucía; Rubio y del Valle (2005): en el siglo XVIII no se registran periodos de largas sequías y en ningún caso tenemos constancia de que se secase la fuente de Cella (Teruel) o de que hubiera situaciones de calamidad por sequía, sólo cabría destacar un descenso de las precipitaciones en el intervalo 1770-1785; Saz y Creus (1998): racha seca por análisis dendrocronológico en Monegros en 1778-81; Vicente Serrano y Cuadrat (2007): sequía intensa en el Ebro medio según índice de rogativas. Las series del IPE de precipitación regional reconstruido con dendrocronología detectan una sequía importante que empezaría en 1778/79 y que desde 1783/84 hasta 1786/87 se iría amainando y restringiendo al Norte y Cordillera Ibérica.
- Evento de sequía de 1820 a 1830 generalizado a España. Barriendos (1997): alto índice de sequía en Sevilla basado en rogativas; Barriendos et al. (2010): sequía muy severa y duradera en el NE de España de 1812 a 1825, con tres subperiodos marcados: 1812-13, 1815-17 y 1822-24; Domínguez-Castro et al. (2011): rogativas frecuentes en 1824-25 en la Península, menos y localizadas en



CEDEX

el NE, Murcia y Sevilla en 1822; Font Tullot: (1988) el año 1827 fue un año de frecuentes sequías en toda la España parda, y en 1828 siguieron persistiendo en Levante, Andalucía y Sudeste; Morales et al. (2000): el período 1820-1830 fue una época de sequías generalizadas en España y sitúan otra secuencia de sequía relacionada con ésta entre 1808-1824 que afectó a Cataluña (mencionan como fuente de esta información a Barriendos y Dannecker, 1999); Pardo: (1929): 1824 y 1825 extraordinaria esterilidad de los campos en Santa Cruz de Mudela (La Mancha), causando extrema hambre; Rodrigo et al. (1999): índice de sequía en 1824-25 y 1827-28 en Andalucía; Saz y Creus (1998): racha seca por análisis dendrocronológico en Monegros en 1822-25; Vicente Serrano y Cuadrat (2007): sequías intermitentes, intensas a mediados de esta década, en el Ebro medio según índice de rogativas. En el estudio de rachas de sequías de las series largas de precipitación registrada se detectan rachas secas mensuales de intensa sequía en el sur de España (Gibraltar y San Fernando) durante este periodo y rachas secas anuales en Gibraltar durante 1821-27. Las series del IPE de precipitación reconstruido con dendrocronología en cada región SIEH indican que en 1819/20 empieza un periodo de sequía por el SE que tiene su máximo en 1821/22, remite en 1824/25, para empezar otro por el Norte en 1826/27, se intensifica y extiende en 1827/28, y se va aminorando hasta 1830/31.

Finalmente, hay otros casos en los que hay un desfase entre la información histórica y la dendrocronológica que podría deberse a un problema de datación.

- Evento de sequía de 1472 a 1475. Carmona (2000): hambre en Sevilla en 1472-74; Font Tullot (1988): las sequías más serias en este periodo fueron la de 1472 que afectó a una gran parte del territorio, y la que entre septiembre de 1473 y octubre de 1475 afectó principalmente a la mitad norte de la Península, con la excepción de la región galaico-cantábrica, y que fue la de mayor duración del siglo, en Tierra de Campos prácticamente no llovió en 15 meses y en Cataluña 1474 fue extraordinariamente seco; en 1974 la sequía afectó sobre todo a Cataluña occidental y gran parte de Aragón; en Andalucía se registró una sequía en 1473 que duró de febrero a mayo; Linés (1990) hace referencia a otro autor (Fontana-inédito) sobre una sequía en Andalucía, concretamente Jaén, en el siglo XV, que podría coincidir con ésta; Saz y Creus (1998): racha seca por análisis dendrocronológico en Monegros en 1473-76. Sin embargo, las series del IPE de precipitación reconstruido con dendrocronología en cada zona SIEH no detectan una sequía reseñable durante estos años, pero sí que detectan una importante sequía que comienza en 1462/63, tiene su auge en 1467/69 y acaba en 1469/70.
- Evento de sequía de 1537 a 1542. Barriendos et al. (1998) dan un gráfico con precipitación baja durante 1537-39 en Barcelona (precipitación reconstruida a partir de rogativas); Carmona (2000) refiere a episodios de hambre en Sevilla en 1541-42; Couchoud y Sánchez Ferlosio (1965) dicen que 1537 y 1539 fueron años de gran sequía, tanto en Murcia como en toda España; CH Ebro (2007) hablan de rogativas en Cervera e 1539 y 1541; Font Tullot (1988) indica que la sequía de 1539-40 afectó a la mayor parte de España, secándose varios ríos de Cataluña; Linés (2001) refiere que 1537 fue seco en Andalucía y vertiente

mediterránea, sobre todo en Cataluña, 1538 y 39 fueron años de terrible sequía en Castilla, hubo sequía en 1540, en 1541 hubo sequía generalizada, sobre todo en Andalucía, y en 1542 la cosecha se malogró por la sequía; Rodrigo et al. (1999) dan un índice de sequía en Andalucía en 1541 y 1542. Por otro lado, las series del IPE de precipitación reconstruido con dendrocronología en cada zona SIEH apenas detectan sequías durante la década de los años 30, pero si se identifica una sequía importante que comienza en 1541 y se prolonga hasta 1548, siendo extrema y generalizada en 1544/45. Se observa un desfase de unos 4 años entre ambos tipos de información.

- Evento de sequía 1595 a 1598. Las referencias bibliográficas dan sequía en Galicia, Meseta norte y Oeste peninsular. Las series del IPE de precipitación reconstruido con dendrocronología en cada zona SIEH apenas detectan sequías durante esos años, pero sí una intensa en 1599/1600 y en años posteriores. Parece observarse un desfase de unos 4 años entre ambos tipos de información.
- Evento de sequía en 1662 en Galicia. Según Font Tullot (1988) hubo sequías notables en Galicia en el verano y otoño de 1662. Sin embargo, la serie del IPE de precipitación reconstruido con dendrocronología no detecta sequía en Galicia ese año, pero sí, y extrema, en el año 1663/64. Habida cuenta de que hay numerosas referencias históricas de una extrema sequía en 1664, que afectó de manera generalizada a España, incluyendo el Norte peninsular, sería interesante investigar si la referencia de Font Tullot pudiera estar desfasada un par de años.

Pero también hay casos donde es clara la falta de coincidencia entre la información histórica y la dendrocronológica. Entre los casos más destacados figuran los siguientes:

- Evento de sequía documentado por Carmona (2000) que refiere hambre en Sevilla en 1408 y 1410, por Font Tullot (1988) que indica que una sequía en SE y Baleares de 1394 se prolongó hasta 1404, por SINEQUA en su web 2011 que refiere una inscripción en Guadalupe (Cáceres) comentando una fuerte sequía en España de 1412 que llevaba 6 años. Sin embargo, las series del IPE de precipitación reconstruido con dendrocronología en cada zona SIEH apenas detectan episodios de sequía durante este periodo, salvo de manera moderada en 1406/07 y 1412/13 y con más intensidad en regiones muy localizadas del SE.
- También hay casos de no coincidencia en Canarias ya que las sequías deducidas en 1655, 1656, 1660 a 1662, 1665 a 1671 por García et al. (2003), en función de la producción de cereales, y por Romero y Máyer (2002), en función de las rogativas en Gran Canaria, se corresponden con periodos sin sequías según datos dendrocronológicos.

Se ha calculado la duración de cada uno de los eventos de sequía deducidas por dendrocronología siguiendo el método de regresión directa con el índice IPE (Figura 54). La distribución de la duración de eventos sigue un patrón similar al calculado a partir exclusivamente de los registros instrumentales (Figura 40). Como cabe esperar la mayor parte de las sequías tienen duraciones cortas. El número decae

exponencialmente conforme se consideran sequías de mayor duración. Apenas hay sequías con una duración mayor a 7 años. No se ha deducido ninguna que supere los 12 años de duración.

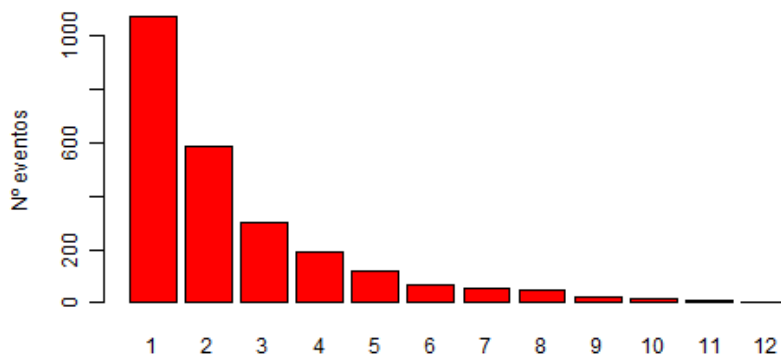


Figura 54. Duración de las sequías identificadas

5.2.4 Modelo de la Universidad de Castilla-La Mancha

El CEH-CEDEX firmó en el año 2008 un Convenio de Colaboración con la Universidad de Castilla-La Mancha, mediante el cual el Grupo de Ingeniería del Agua de la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos realizó el estudio “La Reconstrucción de Series Hidrológicas mediante Dendrocronologías y su Utilización para la Identificación de Sequías Históricas en España” (Universidad de Castilla-La Mancha, 2011; en adelante informe UCLM). El informe de trabajos realizados se adjunta en el anexo 8.

Los datos de dendrocronología del informe UCLM se obtuvieron de la base de datos ITRDB y otras de un estudio en Galicia. En total se utilizaron 78 series dendrocronológicas, que aportan información desde el año 984 (en Marruecos) y desde el año 1485 para las series ubicadas en el territorio español peninsular.

Las dendrocronologías disponibles se han obtenido, en general, en las zonas de montaña, relativamente lejanas de las zonas más habitadas, lo que supone un inconveniente para calibrar los modelos, dado que en pocas ocasiones se dispone de un pluviómetro próximo a los árboles donde se obtuvieron las muestras dendrocronológicas. Para paliar esa limitación, el informe UCLM describe los análisis de correlación con dos tipos series de precipitación: series regionales o series locales obtenidas por interpolación, ambas con problemáticas específicas.

Otra limitación radica en que el periodo de solape entre las series pluviométricas y las dendrocronológicas es relativamente corto, limitado por la época a partir de la que comenzó a realizarse medidas de precipitación de una forma generalizada en España y el año de extracción de las dendrocronologías.

El informe UCLM realiza un exhaustivo tratamiento estadístico de las 78 series dendrocronológicas. Tras el análisis de calidad, se desecharon 6 series y se corrigieron 29 de las 72 restantes por motivos de heterocedasticidad y presencia de valores muy extremos. Se efectuó un análisis de componentes principales de las series de precipitación, tanto local como regional, y de dendrocronología. Se aplicó un filtro auto-regresivo y de ruido a las series dendrocronológicas y un análisis clúster a las series

dendrocronológicas para obtener grupos homogéneos, descartando algunas series. Posteriormente, se filtraron las frecuencias altas de las series dendrocronológicas y el ruido en las series de precipitación.

A continuación se establecieron modelos de regresión entre las series dendrocronológicas anuales y las precipitaciones locales, siendo crítico determinar qué meses de lluvia correlacionan con la dendrocronología. Al final se considera que la mejor es la precipitación de junio del año anterior a la dendrocronología hasta el enero siguiente, periodo que además se relaciona bien con la precipitación anual.

Posteriormente se constituyó un modelo de regresión entre grupos de series de dendrocronología (por regiones) con la precipitación regional en regiones SIEH (año hidrológico). Se obtienen coeficientes de determinación inferiores a 0,6 en todo el territorio, siendo sólo aceptable (superior a 0,3) en las grandes cuencas atlánticas. Se realizó otro intento consistente en considerar la homogeneidad espacial de la precipitación en las zonas SIEH, pero los coeficientes obtenidos resultaron similares.

Como resultado se obtiene un listado de los eventos de sequía identificados en cada una de las Demarcaciones Hidrográficas. El número de eventos identificados es muy escaso y presenta una limitada relación con las sequías catalogadas a partir de la información histórica. Como en el caso del modelo preliminar, cabe pensar que la calidad de los resultados alcanzados guarda relación con la escasez de dendrocronologías disponibles en España y en la variabilidad climática realmente existente, mayor que la que pueden representar las series disponibles (Figura 41). Las gráficas que representan esa relación se adjuntan en el anexo 9.

5.3 CONTRASTE DE LOS ANÁLISIS DENDROCRONOLÓGICOS

A pesar del esfuerzo realizado en la recopilación y uso de 2 modelos estadísticos, la incertidumbre en los resultados es alta, tal como reflejan los coeficientes de correlación o los términos R^2 estimados. Debido a ello, no se incorporan a *CatSE* las sequías deducidas de los estudios dendrocronológicos, si no que su uso debe ser complementario a la caracterización de eventos identificados en el capítulo anterior dedicado a los estudios sobre documentación histórica.

El número de sequías identificadas en el informe UCLM es bajo y presenta una limitada relación con las sequías históricas; tan sólo un 6% de las sequías identificadas en fuentes documentales han sido también identificadas según el modelo de UCLM. Además, dicho método no ha permitido identificar sequías fiables en la cuenca del Segura ni en las Islas Baleares y Canarias. La concordancia entre sequías es mayor cuando se considera el método de regresión directa con el índice IPE, ascendiendo el porcentaje de coincidencia con las sequías históricas al 31%. En el anexo 9 se adjuntan los resultados gráficos del contraste en cada una de las zonas SIEH. Para cada zona SIEH se presentan dos gráficos que expresan la relación entre las sequías históricas con las sequías identificadas según el método de la UCLM y con el valor IPE obtenido según el método de regresión directa.

En la Figura 55 se muestran algunos de los gráficos más ilustrativos de dicho anexo. En la zona de la cabecera del Tajo, el periodo tratado en el informe de la UCLM se remonta hasta 1280, si bien hay un bajo grado de concordancia con las sequías históricas (sólo el 3% de los años secos históricos han sido también identificados como



secos según el método UCLM). Por otro lado, el método de regresión directa muestra un mayor acuerdo equivalente a un 27% de los años secos históricos, si bien también hay numerosos desajustes. El grado de concordancia aumenta conforme el periodo es más reciente. A conclusiones similares se llega cuando se analizan los resultados para otras regiones. En la región de margen izquierda del Guadalquivir medio se ha podido reconstruir la precipitación desde el año 983, siendo el acuerdo con el método UCLM del 4%; con el método de regresión directa, 31%. En las cuencas del Gállego y Cinca, el acuerdo con el método UCLM es del 3%; con el método de regresión directa, el 34%.

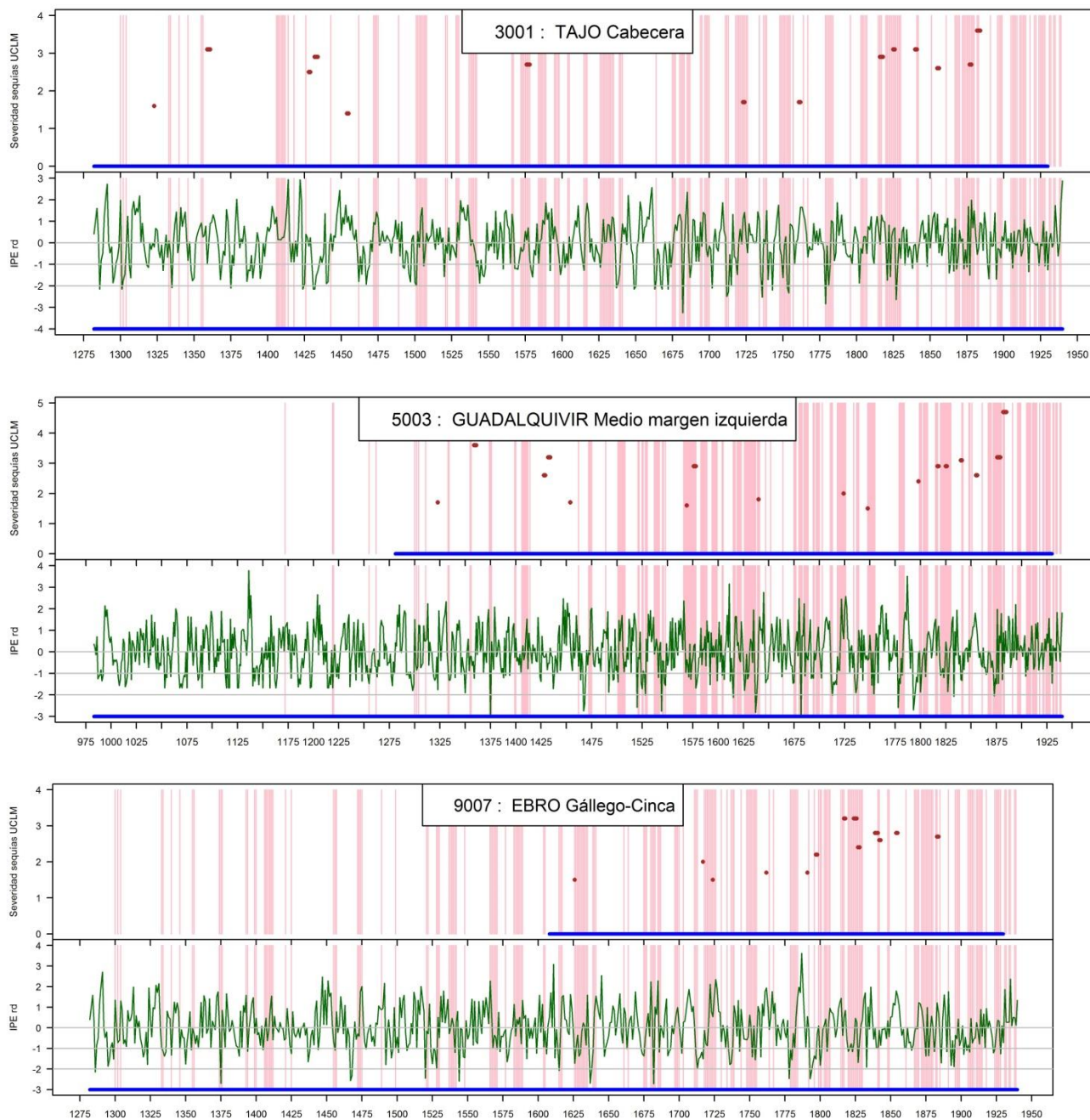


Figura 55. Comparativa de sequías en 3 regiones SIEH: históricas (rosa); dendrocronológicas (rojo), modelo UCLM y de regresión directa. En verde, IPE. En azul, periodos reconstruidos

Se han mencionado ya diferentes razones sobre la dificultad del trabajo emprendido. La escasez de información dendrocronológica en España para representar la lluvia de todas las regiones SIEH, las particulares características climáticas de las áreas de montaña, la alta variabilidad de la lluvia y la imprecisión de las estaciones climáticas que se relacionan con el crecimiento de los anillos serían los principales factores.

Este último aspecto sobre la elección del periodo del año en el que las lluvias tienen la óptima relación con las dendrocronologías es complejo y de difícil resolución. Dicho periodo está muy condicionado por el tipo de árbol y por la zona por lo que se ha propuesto un modelo de identificación (UCLM) variable. Por otro lado, también se ha optado por considerar que, de manera general, el espesor de los anillos responde mejor a la lluvia acumulada por año hidrológico en el modelo de regresión simplificado.

En el informe UCLM se han destacado varios problemas adicionales, aunque ya especializados en el tratamiento dendrocronológico. La falta de normalidad en las series, los errores en la estandarización, la presencia de outliers y, en algunos casos, el alto grado de autocorrelación de las series dendrocronológicas son elementos que comúnmente aparecen y de muy difícil manejo. Otra fuente de incertidumbre importante, especialmente en zonas mediterráneas, es la presencia de anillos faltantes y anillos falsos. Estos últimos pueden llegar a ser muy numerosos en algunas zonas, entre el 15% y el 30% de los años, cuando tienen lugar precipitaciones estivales que no interrumpen la pausa estacional (Creus y Saz, 2004). Además, la corta longitud de los periodos de solape entre series de precipitación instrumental y dendrocronologías impide calibrar adecuadamente los modelos.

La baja coincidencia también se debe a que ambos métodos de análisis (regresión directa y método UCLM) se basan en identificar rachas de sequías a partir de series IPE con un umbral de entrada en sequía. Es previsible que sucesiones de años secos en regiones más vulnerables hayan provocado impactos reflejados en fuentes documentales, aunque el modelo no haya identificado estas sequías. Con objeto de analizar la sensibilidad del contraste al umbral de entrada en sequía se compararon durante el periodo anterior al año 1940 los IPE negativos del modelo de regresión simple con los eventos de sequía identificados en las fuentes documentales. La mayoría de los años secos históricos encuentran correspondencia con valores IPE negativos (70% para el conjunto de España), lo que mejora considerablemente la percepción del resultado alcanzado (Figura 56).

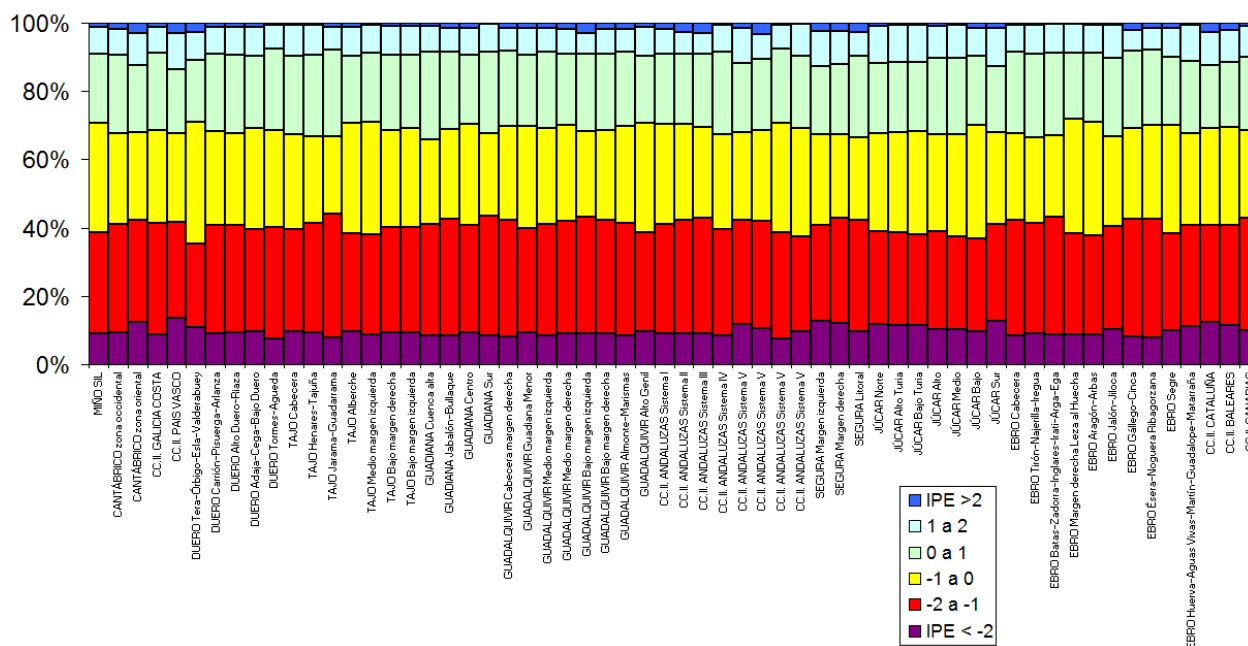


Figura 56. Concordancia (%) entre sequías históricas y las identificadas por dendrocronología según el método de regresión directa con diferentes umbrales de inicio de sequía

Debido a las limitaciones descritas, en *CatSE* se han incorporado exclusivamente eventos de sequía identificados mediante información en documentos históricos o bibliográficos. No obstante, el análisis dendrocronológico permite ampliar la descripción del evento de sequía, temporal y espacialmente. Se ha incluido en *CatSE* un conjunto de mapas anuales de las zonas afectadas por la sequía según la información dendrocronológica. Cada mapa representa la distribución espacial de sequías distinguiendo las siguientes clases:

- *Sin datos*: no hay datos dendrocronológicos en esa zona durante ese año.
- *No sequía*: los datos dendrocronológicos no indican sequía. Indicaría un año normal o húmedo en esa zona.
- *Año seco*: caracterizado por un IPE entre 0 y -1, pero sin pertenecer a una racha de sequía.
- *Sequía moderada*: año dentro de una racha de sequía y con IPE entre -1 y -1,5.
- *Sequía intensa*: año dentro de una racha de sequía y con IPE -1,5 y -2.
- *Sequía extrema*: año dentro de una racha de sequía y con IPE inferior a -2.

Los mapas correspondientes a cada año hidrológico están incluidos en el anexo 7, uno de los cuales se refleja en la Figura 57. En el mismo se aprecian bruscos cambios entre las condiciones de sequía de regiones vecinas, tal como se da en la desembocadura del Ebro, en sequía extrema, con las regiones adyacentes del norte en situación de no sequía. Esta escasa continuidad lateral es un síntoma de la incertidumbre de los resultados dendrocronológicos.

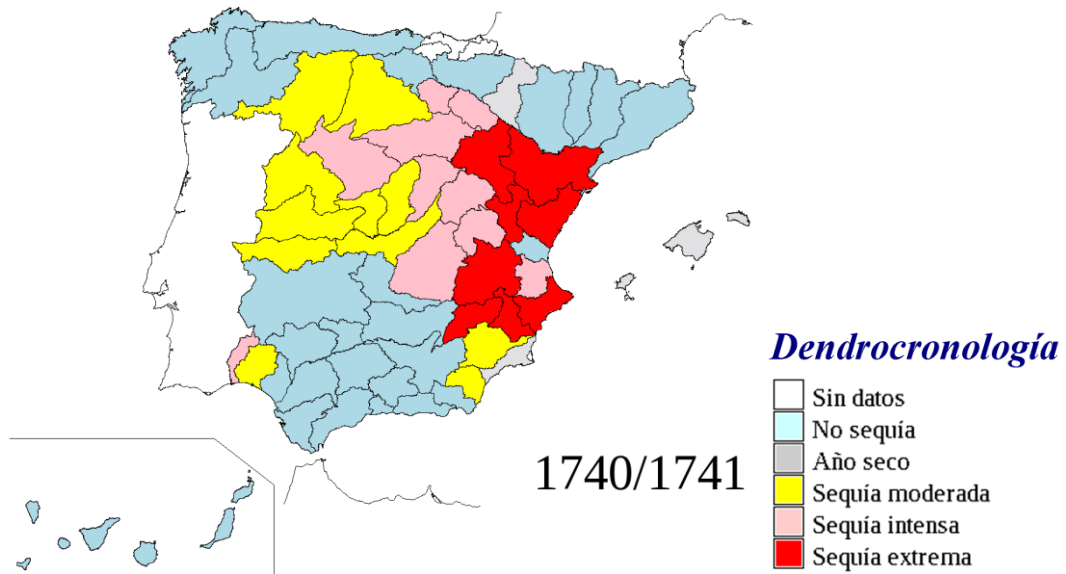


Figura 57. Sequía en España en año 1740/41 según la interpretación de datos dendrocronológicos.

Estos mapas se incluyen en la base de datos y se representan en el catálogo de sequías del anexo 1, con objeto de que se pueda contrastar visualmente la información bibliográfica con la dendrocronológica.

6 SEQUIÁS HISTÓRICAS

6.1 CONCLUSIONES FINALES

En este informe se presentan un catálogo de sequías históricas ocurridas en España. La recopilación se ha organizado en una base de datos, *CatSE*. Para su elaboración se han contemplado sequías identificadas a partir de tres tipos distintos de información histórica: las series de precipitación reconstruidas, los trabajos y artículos de climatología histórica elaborados por diferentes autores en España y, por último, el análisis dendrocronológico. El conjunto de información abarca un amplio periodo que se remonta hasta varios cientos de años A.C. en el caso del análisis de documentación histórica, aproximadamente 1.000 últimos años en el caso de las estimaciones dendrocronológicas y unos 200 años cuando se trabaja con series de lluvia registrada. Se ha considerado en este trabajo que el término *sequías históricas* hace referencia a las sequías anteriores al año 1940. A partir de este año, el volumen de información instrumental es considerablemente mayor, lo que permite identificar y caracterizar las sequías con mayor precisión.

La catalogación de sequías históricas es un proceso complejo por la imprecisión de su extensión temporal y espacial y por la indefinición del propio fenómeno natural, enmascarado con la percepción humana del daño. Las sequías se caracterizan porque ocurren en diferentes regiones sin límites definidos, de manera diacrónica, y por la severidad y duración de sus episodios. Estas dificultades son propias del fenómeno sequía y no se dan en los catálogos de otros fenómenos naturales como terremotos o inundaciones, con una clara nitidez temporal y espacial.

La información instrumental es la más precisa para la caracterización de sequías ya que su incertidumbre es considerablemente menor que la de la información histórica o dendrocronológica. Permite definir la intensidad de la sequía e, incluso, sus límites temporales, pero su utilidad está limitada por la corta longitud de la mayoría de las series registradas y la heterogeneidad de las series largas. En el presente trabajo se han recopilado los trabajos de recuperación y de reconstrucción de las series de registros hasta el siglo XIX y principios del XX para identificar series de rachas secas.

Otra fuente de información recopilada en el presente trabajo ha sido el de la colección de sequías identificadas por especialistas en clima histórico y en el estudio de fuentes documentales históricas en las que se refieren noticias de los impactos causados. Estos especialistas en climatología histórica se enfrentan a varios problemas como son la localización de las fuentes documentales, a la selección de las noticias pertinentes a sequías dentro del ingente volumen de documentos y noticias, a la comprensión de los documentos (lenguaje, cronología, escritura, etc.), a la incertidumbre inherente a las descripciones de eventos históricos y a la necesidad de filtrar con criterios científicos las componentes de subjetividad y vulnerabilidad de las noticias documentales para caracterizar la peligrosidad del evento.

La información dendrocronológica constituye un importante aporte al conocimiento de las sequías ya que permitiría la obtención de series temporales de índices climáticos o de precipitación histórica. La metodología utilizada en el presente trabajo ha combinado dos líneas principales. Primeramente, se han utilizado modelos de regresión para estimar series de valores del índice estandarizado de precipitación e identificar las



CEDEX

sequías históricas. Las series dendrocronológicas se han tomado de la International Tree Ring database, ITRDB. La segunda línea ha consistido en contactar con los especialistas en dendrocronología de la Universidad de Castilla La Mancha para el uso de un modelo estadístico que permitiera distinguir las estaciones climáticas mejor relacionadas con el crecimiento de los anillos.

En esta aplicación de la dendrocronología los problemas operativos se han relacionado con la escasa densidad de información y la localización de muestras de datos ITRDB en España, su correlación por fechado, la existencia de lagunas y de falsos anillos, la estimación de los periodos climáticos realmente relacionados con el crecimiento de los anillos o, con carácter general, la interpretación de componentes en la serie temporal de espesores de anillos y las dificultades para expresar una relación lineal entre espesor y lluvia. Además, los datos de España de la base ITRDB utilizada tienen una limitada extensión temporal. El dato más antiguo solamente se remonta hasta el año 1485, mientras que en Marruecos data del año 984.

En el informe se ha realizado el ejercicio de comparar eventos identificados en estudios de clima histórico con los resultados obtenidos con dendrocronología. Pero los resultados del contraste de resultados de cualquiera de los dos procedimientos estadísticos seguidos no se pueden considerar óptimos. Tal como refleja este estudio, esta comparación revela diferencias heredadas de la escasez de información y de las particulares condiciones climáticas de las áreas donde se han extraído dendrocronologías. En consecuencia, una primera recomendación sería la necesidad de aumentar las series dendrocronológicas en España.

Cualquiera de las tres fuentes de información tiene serias debilidades para derivar una estimación histórica de sequías regionales. No obstante, el enfoque del trabajo ha sido el uso combinado de estas tres fuentes para la elaboración del catálogo de sequías. Se ha dado un peso principal a la recopilación y caracterización de las sequías ya descritas por autores especializados en clima histórico y en el tratamiento de relatos históricos sobre impactos de carácter social, económico, político o religioso producidos por las sequías. La reconstrucción de series de lluvia ofrece una información de alta fiabilidad, pero limitada en el tiempo por lo que como la dendrocronología se ha utilizado para caracterizar la imprecisión espacial o temporal de los eventos identificados en los primeros.

El conjunto de eventos se ha implementado en una base de datos o catálogo de sequías históricas, *CatSE*. Contiene información sobre 184 sequías. Cada sequía está identificada, como mínimo, por una extensión geográfica, un intervalo temporal y un nivel de intensidad interpretada normalmente del impacto. La extensión espacial mínima es la región SIEH. El intervalo temporal mínimo es el año. La sequía catalogada más antigua data del año 1059 a. C.

6.2 SEQUÍAS CATALOGADAS

Hasta el momento actual, se ha recopilado información histórica de 184 eventos de sequías. La primera sequía de la que se tiene conocimiento data aproximadamente del año 1059 A.C., que afectó al área mediterránea. La última sequía catalogada es de 1938-1939, límite superior de lo que se ha considerado periodo histórico en este estudio.



En la Tabla 11 se presenta un listado de las sequías catalogadas en este trabajo, con la información más básica de las mismas: año de inicio y fin, número de años de duración, descripción esquemática de la localización geográfica, número de referencias bibliográficas de donde se ha extraído información y nivel del peligrosidad estimado por la información de impacto producido, PI.

Tabla 11. Listado de sequías identificadas

Año inicio	Año final	Nº años	Descripción de la extensión geográfica afectada	Nº ref.	PI
-1059	-1059	1	Generalizada a España	2	3
-957	-930	28	Cuenca del Ebro, generalizada a España	1	3
-476	-476	1	Sudeste peninsular	1	1
-427	-427	1	Región mediterránea	1	1
-224	-198	27	Generalizada a España	1	3
-75	-75	1	Generalizada a España	1	2
410	410	1	Cuenca del Ebro, generalizada a España	2	1
620	620	1	Generalizada a España	2	3
675	675	1	Generalizada a España	2	3
680	687	8	Regiones centrales de la Península	3	1
707	711	5	Cuenca del Ebro, generalizada a España	4	3
748	755	8	Cuenca del Ebro, generalizada a España, Andalucía	3	3
846	879	34	Cuenca del Ebro, generalizada a España	3	2
901	901	1	Meseta norte	2	1
976	978	3	Galicia	2	1
980	982	3	Cuenca del Ebro, generalizada a España	3	1
1172	1172	1	Cuenca del Ebro, generalizada a España, que afectó sobre todo a la vertiente atlántica (incluidas Galicia y región cantábrica).	2	1
1213	1213	1	Meseta Sur	1	1
1217	1217	1	Vertiente Mediterránea	1	1
1218	1218	1	Nordeste	1	1
1219	1220	2	Generalizada a España, según Font Tullot (1988) el año 1220 fue seco en Galicia	3	3
1255	1255	1	Cuenca del Ebro, generalizada a España	2	1
1262	1262	1	Generalizada España, principalmente en Cataluña	2	1
1266	1300	35	Galicia. Región cantábrica	1	1
1300	1300	1	España generalizada.	1	1
1302	1302	1	Generalizada a España	2	3
1304	1304	1	Generalizada a España	1	3
1311	1311	1	Sevilla	1	2
1323	1326	4	Bajo Aragón	2	2
1333	1334	2	Casi toda España, Cuenca del Ebro, Meseta Norte y Galicia	3	3
1340	1340	1	Meseta, Cataluña y Aragón	1	1
1346	1346	1	Meseta, Cataluña y Aragón.	1	1
1355	1356	2	Meseta, Ebro, Cataluña. Andalucía.	3	3



CEDEX

Catálogo y Publicación sobre Sequías Históricas

Año inicio	Año final	Nº años	Descripción de la extensión geográfica afectada	Nº ref.	PI
1374	1376	3	Levante, Meseta Norte y Valle del Ebro, Andalucía.	2	3
1393	1394	2	Levante, Valle del Ebro, sudeste peninsular y Baleares	2	1
1399	1400	2	Cuenca del Ebro. Sevilla.	2	3
1401	1404	4	Vertiente mediterránea (Cataluña, Levante y Baleares)	1	1
1406	1412	7	Generalizada a España	3	3
1414	1414	1	Meseta. Andalucía.	2	3
1416	1416	1	Cataluña, Levante	1	1
1418	1418	1	Meseta	1	1
1421	1421	1	Cataluña occidental, Aragón	1	1
1425	1425	1	Cataluña occidental, Aragón	1	1
1426	1426	1	Meseta	1	1
1443	1443	1	Meseta	1	1
1450	1456	7	Mallorca (Baleares)	1	1
1455	1457	3	Valencia, Cataluña occidental, Aragón	1	1
1462	1462	1	Meseta. Andalucía.	2	3
1472	1475	4	Generalizada a España, norte peninsular, Cataluña y Tierra de Campos, Andalucía, Aragón	4	3
1484	1484	1	Mallorca (Baleares)	1	1
1489	1489	1	litoral mediterráneo, generalizada a España	3	3
1499	1499	1	Ebro	1	1
1501	1508	8	Cataluña, Castilla, Aragón, Levante, Baleares y Andalucía	6	3
1512	1515	4	Bajo Aragón, zona mediterránea	2	1
1521	1522	2	España, salvo Galicia y Cantábrico	7	3
1525	1526	2	Andalucía y Levante	6	3
1528	1530	3	España parda	7	3
1537	1542	6	Generalizada a toda España	7	3
1545	1546	2	Alta Extremadura, Andalucía	4	3
1548	1548	1	Cuenca del Ebro; Cuenca del Segura	3	3
1551	1561	11	Cataluña, Levante y Baleares	9	3
1566	1567	2	España: Cataluña; Cuenca del Segura, Ebro, Andalucía	10	3
1567	1571	5	Cuenca del Ebro, Cataluña. Andalucía.	4	1
1572	1578	7	Galicia. Vertientes atlántica, cantábrica. Segura.	7	3
1577	1577	1	Cuenca del Ebro	1	1
1582	1582	1	Cuenca del Segura	1	3
1583	1584	2	Cuenca del Ebro, Cataluña. Andalucía.	5	3
1584	1589	6	Generalizadas a España	5	1
1586	1586	1	Cuenca del Ebro	1	1
1592	1592	1	Galicia	2	1
1594	1594	1	Cuenca del Segura. Andalucía.	3	3
1595	1598	4	Galicia, Meseta norte. Oeste peninsular.	4	3



Año inicio	Año final	Nº años	Descripción de la extensión geográfica afectada	Nº ref.	PI
1597	1599	3	Canarias	1	1
1599	1599	1	Cuenca del Segura. Andalucía.	2	2
1602	1603	2	Canarias	1	1
1604	1605	2	Cuenca del Ebro, vertiente atlántica, cuenca del Duero y Andalucía	10	3
1606	1610	5	Canarias	2	3
1611	1611	1	Cuenca del Segura	2	2
1613	1613	1	Canarias	1	1
1615	1617	3	Cuenca del Ebro, vertiente atlántica, Meseta, Andalucía, litoral mediterráneo, Baleares	6	2
1616	1616	1	Canarias	1	1
1618	1618	1	Baleares	1	1
1619	1621	3	Canarias	3	3
1620	1623	4	Sur de la Península Ibérica, Cataluña y Levante.	2	1
1626	1635	10	Cuenca del Ebro. Sur peninsular, Cataluña y Levante. Baleares. Cuenca del Tajo.	12	3
1627	1627	1	Canarias	1	2
1630	1632	3	Canarias	2	2
1635	1635	1	Canarias	3	3
1636	1637	2	Cuenca del Segura. Andalucía.	3	3
1639	1644	6	Canarias	2	1
1639	1641	3	Ambas Castillas. Andalucía. Cataluña. Ebro.	5	2
1646	1648	3	Canarias	1	1
1647	1647	1	Cuenca del Segura, Levante, Bajo Aragón. Andalucía.	3	3
1652	1652	1	Granada	1	1
1655	1656	2	Canarias	1	1
1660	1662	3	Canarias	3	2
1661	1661	1	Cataluña, Levante y Baleares. Aragón.	3	1
1662	1662	1	Galicia	1	1
1664	1664	1	España generalizada	4	2
1665	1671	7	Canarias	3	2
1665	1666	2	Galicia, Baleares	1	1
1675	1677	3	Andalucía, Meseta, Galicia, Segura, Aragón	5	3
1675	1677	3	Canarias	3	3
1678	1679	2	Cuenca del Segura	1	1
1680	1683	4	Generalizada	13	3
1683	1684	2	Canarias	2	2
1685	1687	3	Generalizada	6	1
1687	1689	3	Cuenca del Segura. Andalucía.	2	1
1689	1689	1	Canarias	2	2
1690	1690	1	Baleares	1	1



CEDEX

Catálogo y Publicación sobre Sequías Históricas

Año inicio	Año final	Nº años	Descripción de la extensión geográfica afectada	Nº ref.	PI
1690	1692	3	Cuenca del Segura	1	1
1693	1693	1	Canarias	2	1
1694	1695	2	Meseta y Andalucía. Segura. Ebro.	5	3
1697	1700	4	General	6	2
1697	1697	1	Canarias	1	1
1701	1704	4	Canarias	2	1
1703	1703	1	Cuenca del Ebro, Cataluña, Cuenca del Segura. Andalucía.	7	2
1708	1711	4	Canarias	3	2
1711	1713	3	España. Vertiente mediterránea.	8	2
1714	1715	2	Meseta norte. La Mancha.	3	2
1716	1717	2	Cuenca del Segura. La Mancha.	2	1
1718	1726	9	Mitad sur de la Península, Aragón-Monegros, Castilla, Levante, Urgel, Cuenca del Segura. Castilla.	10	2
1719	1721	3	Canarias	2	2
1723	1723	1	Canarias	1	1
1726	1726	1	Canarias	1	1
1728	1728	1	Cuenca del Segura. La Mancha.	3	1
1730	1730	1	Cuenca del Segura. La Mancha. Levante. Aragón.	5	1
1734	1734	1	Canarias	1	1
1734	1734	1	Castilla. Andalucía. Aragón	5	1
1737	1737	1	Canarias	1	1
1737	1739	3	Cuenca del Segura, ambas Castillas y Andalucía. Tarragona. Aragón. Cataluña.	10	2
1740	1740	1	Cataluña	1	1
1741	1741	1	Galicia	1	1
1742	1742	1	Cuenca del Segura, Tarragona. La Mancha.	3	2
1744	1744	1	Cuenca del Segura, Tarragona. La Mancha. Aragón.	6	2
1747	1751	5	Canarias	1	1
1748	1755	8	España, Cuenca del Ebro, Cataluña	17	3
1756	1756	1	Canarias	1	1
1757	1757	1	Meseta y Levante	4	1
1759	1761	3	Canarias	1	1
1764	1764	1	Meseta y Levante	4	3
1767	1767	1	Castilla. Aragón.	4	1
1768	1771	4	Canarias	3	2
1772	1774	3	Litoral mediterráneo y Baleares. Bajo Aragón. La Mancha.	5	1
1775	1775	1	Salamanca. La Mancha.	2	1
1779	1784	6	Los Monegros, Aragón, Meseta y Levante	10	2
1779	1779	1	Canarias	1	1
1792	1792	1	Levante, campos de Liria, Valencia. La Mancha. Aragón.	6	2
1795	1796	2	Canarias	1	1
1796	1796	1	Castilla, Aragón, Murcia.	2	1
1799	1801	3	Andalucía y Levante. Murcia. Aragón	8	3



Año inicio	Año final	Nº años	Descripción de la extensión geográfica afectada	Nº ref.	PI
1799	1800	2	Canarias	1	1
1803	1807	5	España, sobre todo Cuenca del Ebro, vertiente mediterránea	9	3
1804	1805	2	Canarias	1	1
1809	1812	4	Canarias	3	2
1812	1813	2	Cataluña	2	1
1815	1818	4	Canarias	2	1
1815	1817	3	Península, salvo norte. Más intensa en Levante.	10	2
1820	1830	11	Generalizada a España, Levante, Aragón, Andalucía y Sudeste	8	2
1821	1825	5	Canarias	3	2
1828	1836	9	Canarias	3	2
1841	1842	2	Generalizada a España.	4	2
1848	1849	2	Litoral mediterráneo, Baleares, Sudeste, Sur, Aragón.	5	2
1851	1851	1	Meseta norte, cuenca del Duero (Tormes, Esla), mitad sur peninsular	2	1
1858	1858	1	Meseta norte (Valladolid y Zamora).	2	3
1861	1861	1	España generalizada	4	2
1867	1870	4	Meseta norte (Valladolid y Zamora). Vertiente atlántica. Levante. Cuenca del Ebro. Andalucía. Aragón.	8	3
1872	1880	9	España	12	2
1881	1881	1	Canarias	1	1
1882	1883	2	Generalizada a España	4	1
1885	1885	1	Aragón	1	1
1891	1893	3	Canarias	2	2
1891	1891	1	Generalizada a España	3	1
1905	1905	1	España	2	1
1907	1907	1	España	2	1
1909	1915	7	Generalizada. Intensa en Campo valenciano, NE y País Vasco	7	3
1918	1918	1	España	3	1
1921	1922	2	Cantábrico, cuencas atlánticas, sur y sudeste de España	2	1
1924	1928	5	España	6	1
1931	1935	5	Canarias	1	1
1931	1932	2	España	4	1
1934	1935	2	Península, salvo norte	2	1
1937	1938	2	Canarias	1	1
1938	1939	2	España, más intenso en el SE.	2	2

Cada sequía está catalogada en *CatSE* con una ficha descriptiva. La Figura 58 muestra un ejemplo del total que figura en el anexo 1. Esta ficha corresponde a una salida de un informe de la base datos.

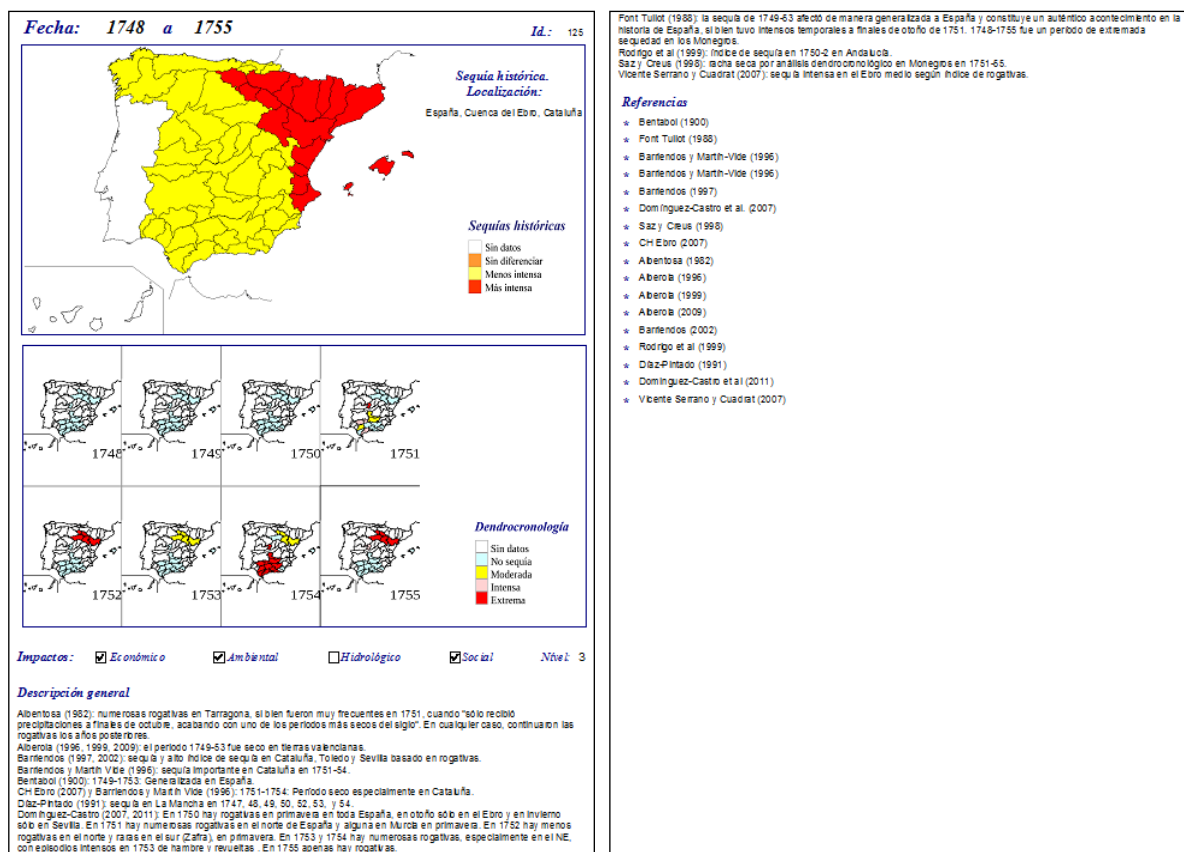


Figura 58. Presentación de la información sobre una sequía, tal como aparece en el anexo 1.

La recopilación de cada ficha se refiere al periodo temporal, a la extensión y nivel de intensidad y a las referencias y descripciones realizadas por diferentes autores. En concreto:

- Año de inicio y final de la sequía.
- Identificador interno para su relación en la base de datos.
- Mapa con las zonas afectadas por la sequía según información histórica. Hay dos tipos de mapas. Unos en los que no se distinguen zonas más afectadas que otras y que tiene un color naranja en las zonas afectadas. Otros en los que se ha podido distinguir las zonas donde la sequía fue más intensa (en rojo) de aquellas donde fue menos intensa (en amarillo).
- Serie de mapas de las sequías deducidas por dendrocronología, según el método de regresión directa, para cada uno de los años en los que se ha identificado la sequía histórica. La leyenda de los mapas responde a la clasificación del valor del índice IPE de las precipitaciones reconstruidas.
- Tipos de Impacto. Se indica si ha habido impacto económico, ambiental, hidrológico y social.
- Nivel de intensidad por impacto para el conjunto de la sequía, graduado entre 1 (leve), 2 (moderada) y 3 (grave).

- Descripción general de la sequía. Se incluye la información y descripciones realizadas por los diferentes autores que identificaron la sequía.
- Referencias de donde se ha obtenido información sobre la sequía.

Los eventos de sequía catalogados que han afectado a cada zona SIEH se relacionan en el listado del anexo 2 (ver Figura 59). Se indica el identificador interno de la sequía, el año de inicio y final de la sequía y la valoración de intensidad por impacto, expresada con el nivel de impacto (de 1 a 3) y con el texto “Más intensa”, cuando la sequía ha sido más intensa en esa zona SIEH que en otras zonas afectadas de España (correspondería al valor 3 del campo *Grado* de la tabla *EventoComarca*).

Catálogo y publicación de sequías históricas

<i>Zona SIEH</i>	<i>1001</i>	<i>MÑO SIL</i>				
			<i>Id. Evento</i>	<i>año inicio</i>	<i>año final</i>	<i>Id. Impacto</i>
			31	-1059	-1059	3
			32	-957	-930	3
			146	-224	-198	3
			147	-75	-75	2
			34	410	410	1
			149	620	620	3
			150	675	675	3
			151	680	687	1
			35	707	711	3
			36	748	755	3
			37	846	879	2
			153	976	978	1
			38	980	982	1
			39	1172	1172	1 Más intensa
			40	1219	1220	3 Más intensa
			41	1255	1255	1
			105	1262	1262	1
			110	1266	1300	1

Figura 59. Extracto del listado de eventos de sequía de una zona, tal como aparece en el anexo 2.

La distribución temporal de los registros históricos se representa en la Figura 60. Se observa que el máximo de eventos documentados se da en los siglos XVII y XVIII.

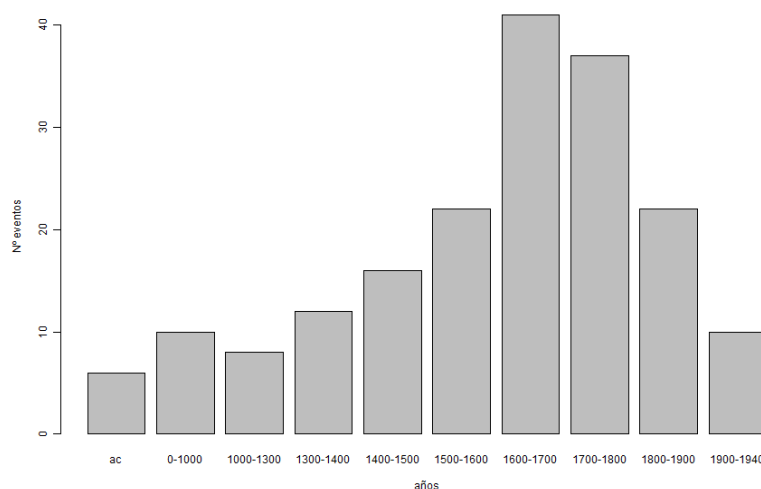


Figura 60. Distribución temporal de las sequías registradas en la base de datos CatSE



El número de sequías aumenta en las épocas más recientes, aunque el máximo se da en el siglo XVII para disminuir posteriormente. El aumento hasta el siglo XVII se interpreta con el incremento de información y noticias, especialmente las referentes a rogativas *pro pluviam*, que constituyen una de las principales fuentes para identificar sequías. El descenso en los siglos XVIII y, especialmente, en el XIX se puede relacionar con la Ilustración y crisis religiosa con la disminución del número de rogativa. Así, Vicente Serrano y Cuadrat (2007) indican que en Zaragoza es raro encontrar rogativas antes de 1588 y que la última es de 1945, siendo pocos fiables las del siglo XX. Domínguez-Castro et al. (2007) indican que suelen coincidir los periodos con alto número de rogativas por sequía con los de inundaciones y que hay numerosas rogativas de ambos tipos entre 1557 y 1798, decayendo posteriormente por motivos sociopolíticos.

Con relación a la duración de las sequías, la mayoría de las registradas en el catálogo tiene una duración máxima de 1 año. En la Figura 61 se muestra la distribución de frecuencias de las duraciones. Permite comprobar el decaimiento exponencial conforme se consideran sequías de mayor duración y el que apenas hay sequías con una duración mayor a 11 años. En todo caso, hay que señalar que las duraciones de las sequías incluidas en *CatSE* son reinterpretadas respecto a las referidas por los historiadores en función del contraste con el resto de información disponible. Con carácter general, en *CatSE* se ha limitado la duración de un evento de sequía a un máximo de 12 años en consonancia con eventos registrados en época instrumental. Las excepciones mostradas en la Figura 61 se deben a no haber encontrado criterios para disgregar algunas sequías de larga duración anteriores al siglo XIV.

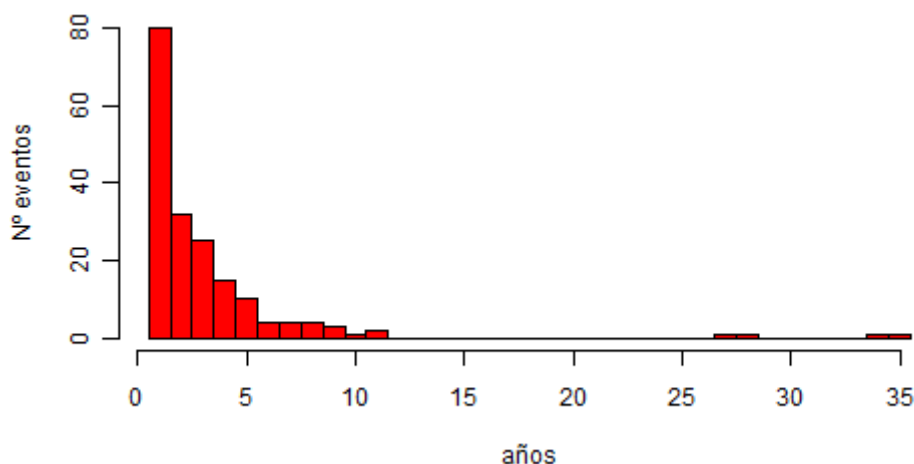


Figura 61. Duración de los eventos de sequía registrados en la base de datos CatSE

El número de sequías identificadas tras el análisis de documentos históricos varía según la región. La vulnerabilidad y el grado de interés económico y social del fenómeno tienen influencia. De ese modo, la menor vulnerabilidad del Norte de España se traduce en un menor número de sequías identificadas; el interés de investigadores en analizar territorios como Cataluña o Murcia se traduce en que haya más sequías identificadas en esas zonas (Figura 62).

Número de sequías identificadas en documentos históricos

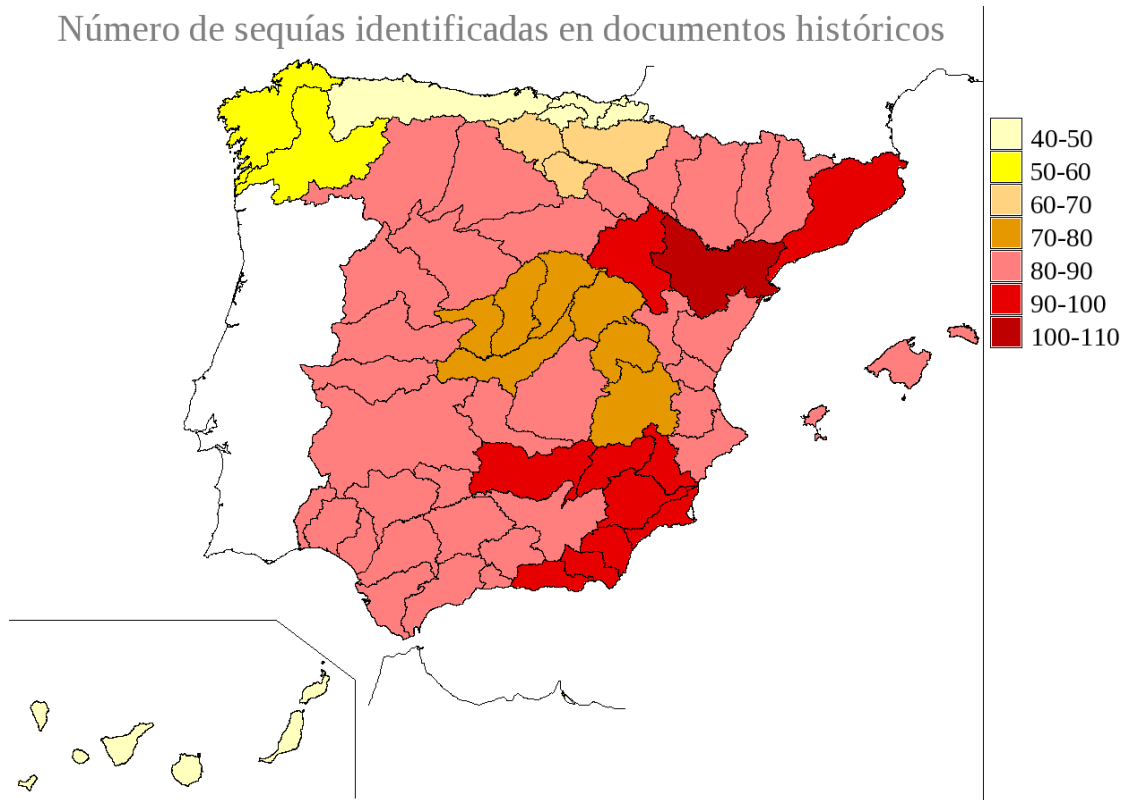


Figura 62. Número de sequías registradas en CatSE por región SIEH

En la Figura 63 se muestra el número de sequías registradas en la base de datos *CatSE* en cada zona SIEH según los tres niveles de impacto del conjunto del evento de sequía: impacto leve (1), moderado (2) y grave (3). El alto número de sequías con impacto grave se debe al hecho de que las sequías leves son menos susceptibles de ser recogidas en documentos históricos que aquellas graves, que causan un fuerte impacto económico y social.



CEDEX

Número de sequías en cada zona con impactos de 1 a 3

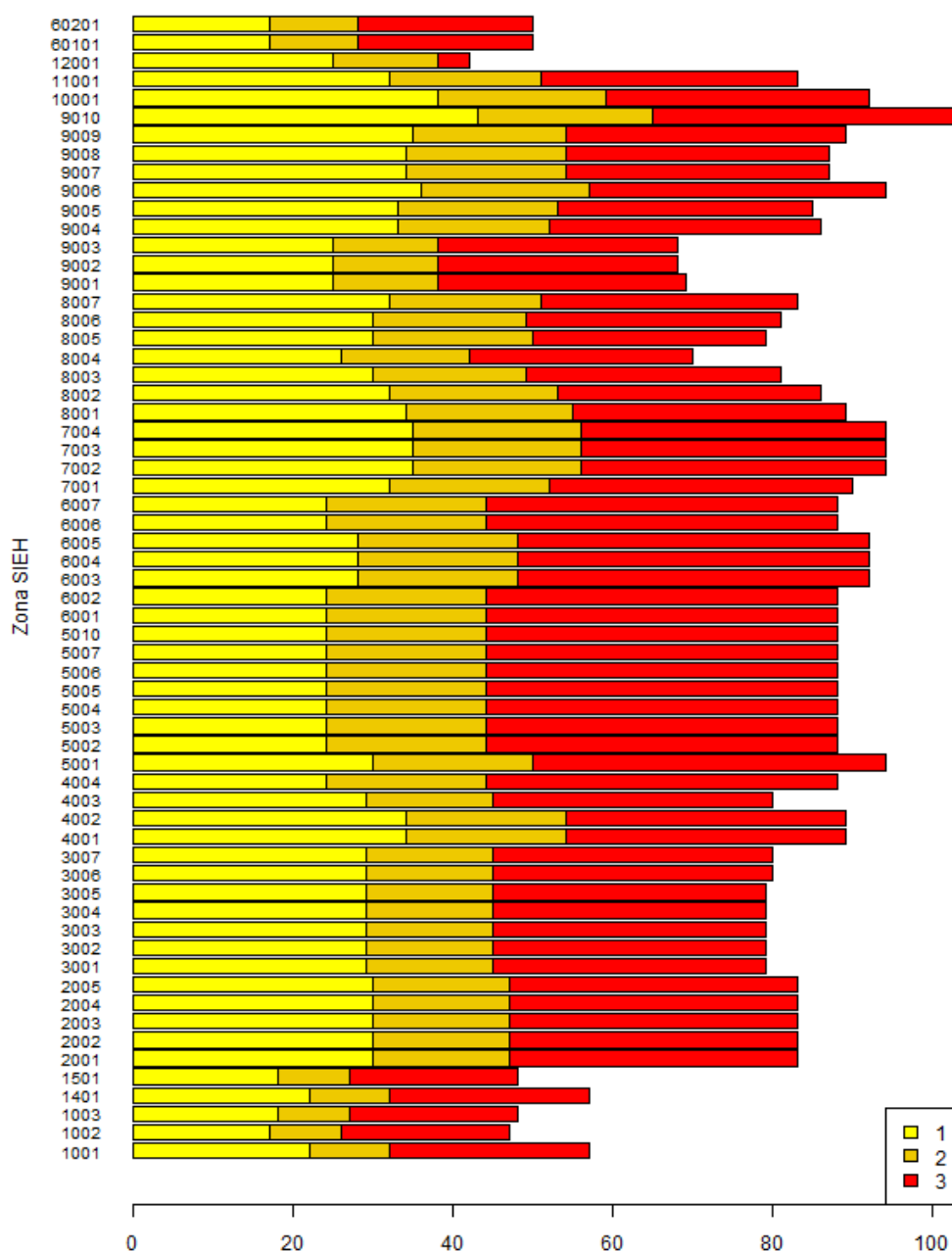


Figura 63. Número de sequías registradas en CatSE por región SIEH según niveles de impacto

A continuación (Figura 64, Figura 65 y Figura 66) se incluyen una serie de cronogramas de las sequías históricas registradas en la base de datos y representadas según las zonas SIEH.

Cronograma de sequías históricas por zonas. -1100 a 1200

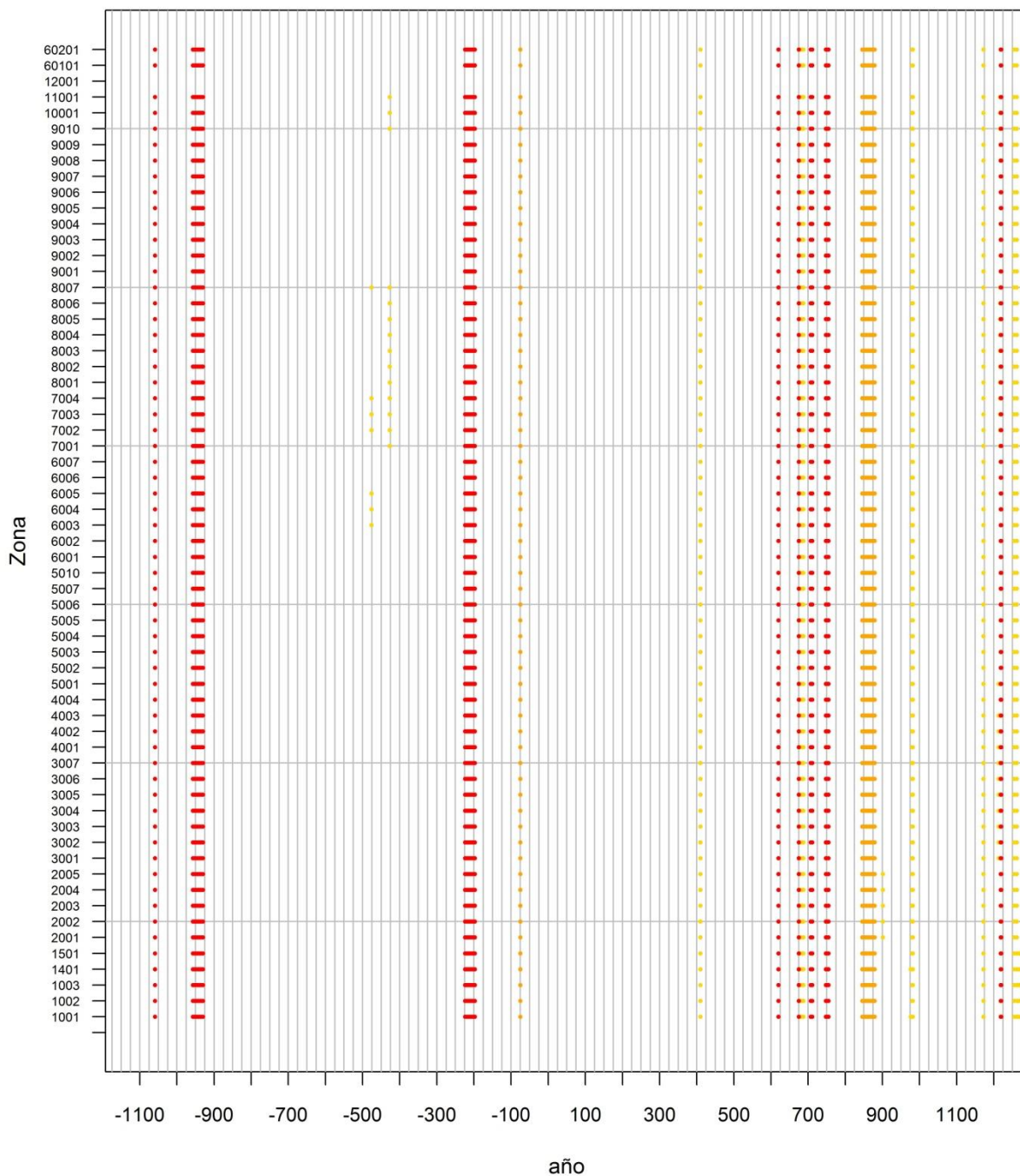


Figura 64. Sequías históricas entre los años 1100 a. C. y 1200 d. C. Se indican con colores el nivel de impacto de las sequías: grave impacto (rojo), moderado (naranja), leve (amarillo).



CEDEX

Cronograma de sequías históricas por zonas. 1200 a 1600

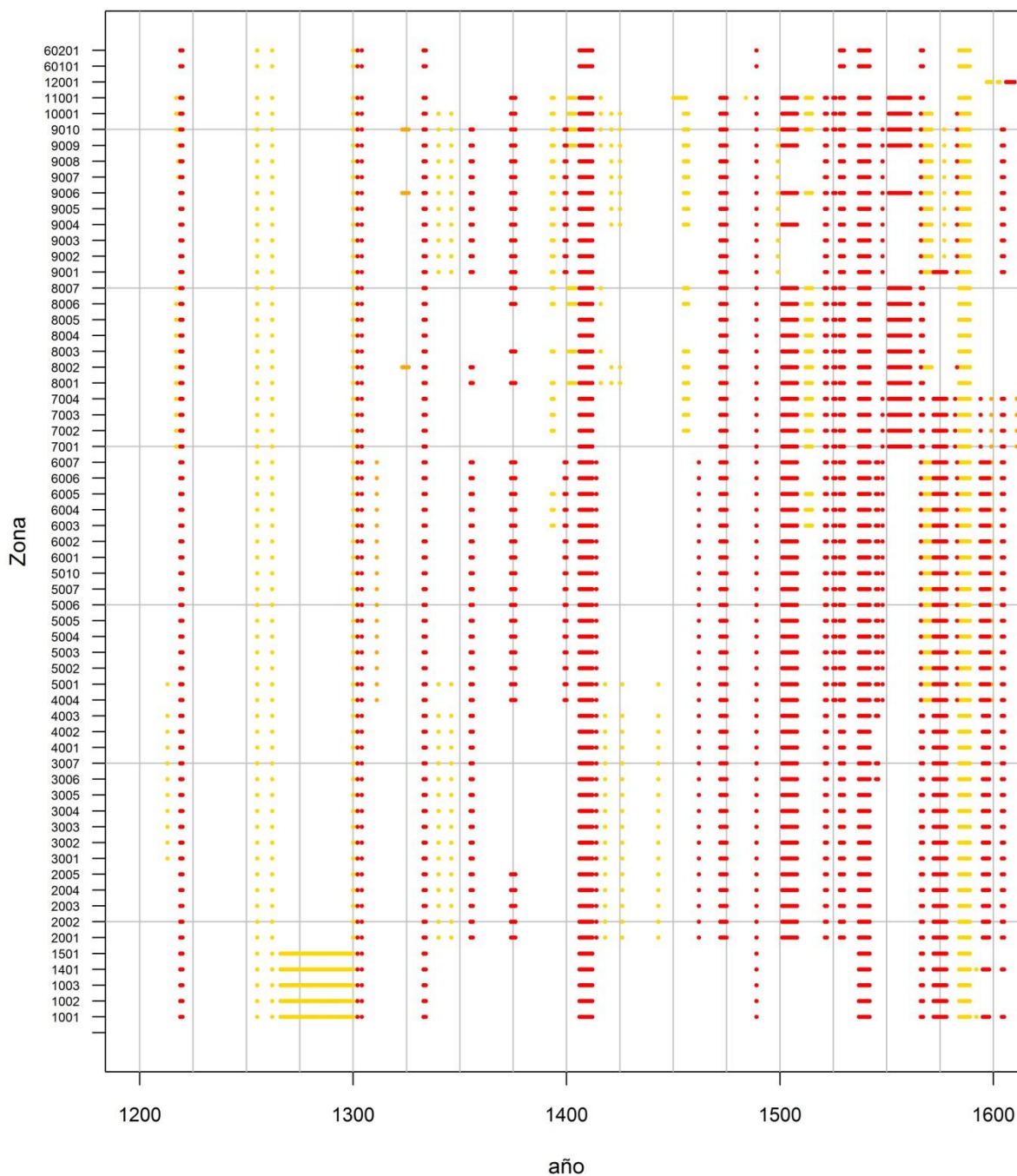


Figura 65. Sequías históricas entre los años 1200 y 1600. Se indican con colores el nivel de impacto de las sequías: grave impacto (rojo), moderado (naranja), leve (amarillo).

Cronograma de sequías históricas por zonas. 1600 a 1940

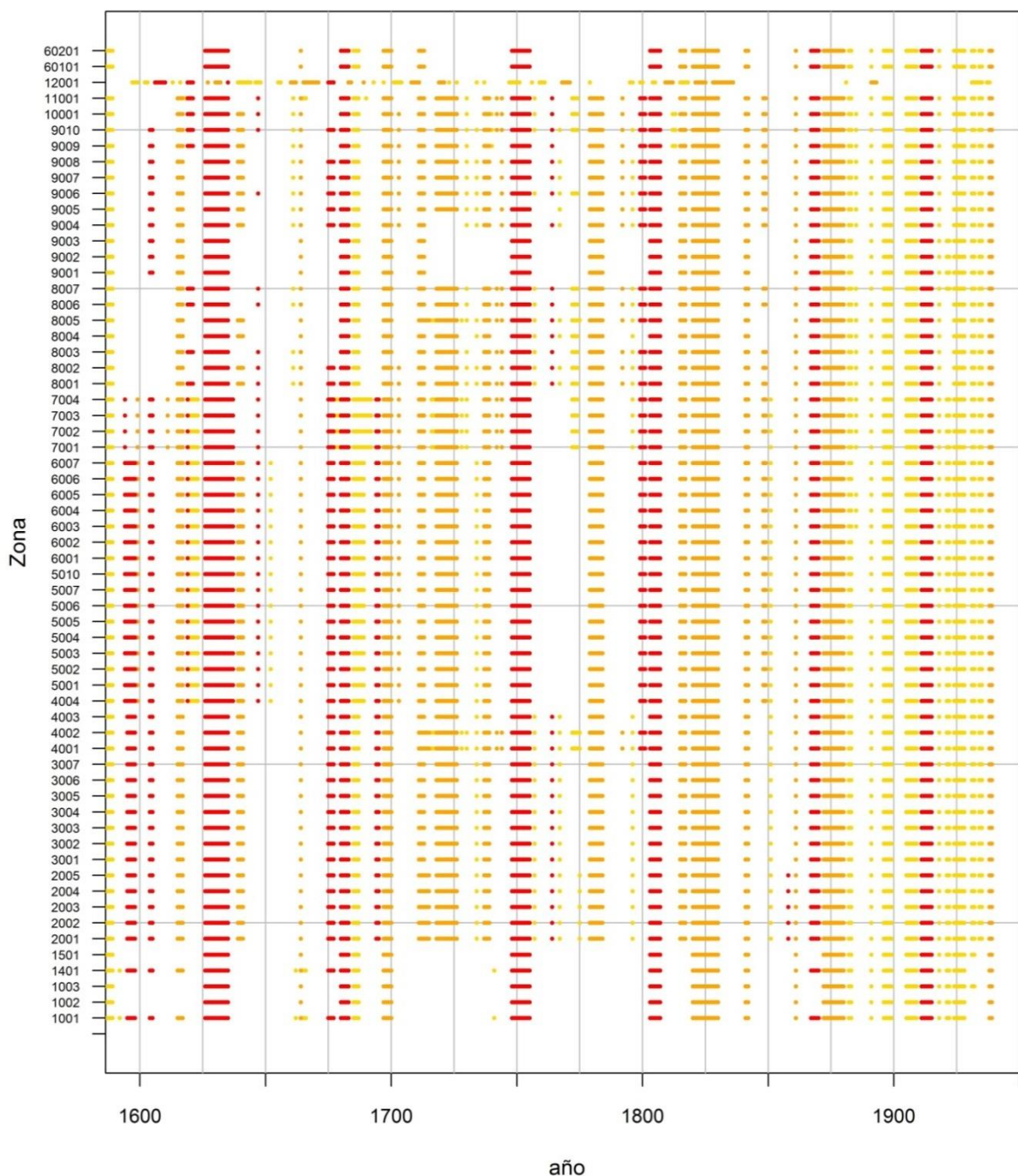


Figura 66. Sequías históricas entre los años 1600 y 1940. Se indican con colores el nivel de impacto de las sequías: grave impacto (rojo), moderado (naranja), leve (amarillo).

Puede suponerse que la fiabilidad de la información es inversamente proporcional a la antigüedad de la sequía que se referencia. Por el otro lado, la información histórica durante el siglo XX debe de integrarse con la información instrumental. De ese modo, en la Tabla 12 se representan los años en los que se han recogido referencias destacables de eventos secos durante los siglos XVI al XIX en alguna parte de España.



CEDEX

Los años con sequía están coloreados según tres clases en función del producto del nivel de impacto por el número de regiones afectadas, desde el rojo, sequías más extensas y de mayor impacto, al amarillo, otros años con sequías menos intensas y de menor impacto. Están recopiladas de la bibliografía comentada anteriormente y están condicionadas por la indefinición sobre los periodos temporales y regiones con las que se puede recoger este tipo de información sobre sequía. Se observa cómo hay una baja relación entre las sequías de Canarias con las del resto de España.

Tabla 12. Sequías durante siglos XVI a XIX en Península y Baleares (superior) y en Canarias (inferior)

1500	1501	1502	1503	1504	1505	1506	1507	1508	1509	1510	1511	1512	1513	1514	1515	1516	1517	1518	1519
1520	1521	1522	1523	1524	1525	1526	1527	1528	1529	1530	1531	1532	1533	1534	1535	1536	1537	1538	1539
1540	1541	1542	1543	1544	1545	1546	1547	1548	1549	1550	1551	1552	1553	1554	1555	1556	1557	1558	1559
1560	1561	1562	1563	1564	1565	1566	1567	1568	1569	1570	1571	1572	1573	1574	1575	1576	1577	1578	1579
1580	1581	1582	1583	1584	1585	1586	1587	1588	1589	1590	1591	1592	1593	1594	1595	1596	1597	1598	1599
1600	1601	1602	1603	1604	1605	1606	1607	1608	1609	1610	1611	1612	1613	1614	1615	1616	1617	1618	1619
1620	1621	1622	1623	1624	1625	1626	1627	1628	1629	1630	1631	1632	1633	1634	1635	1636	1637	1638	1639
1640	1641	1642	1643	1644	1645	1646	1647	1648	1649	1650	1651	1652	1653	1654	1655	1656	1657	1658	1659
1660	1661	1662	1663	1664	1665	1666	1667	1668	1669	1670	1671	1672	1673	1674	1675	1676	1677	1678	1679
1680	1681	1682	1683	1684	1685	1686	1687	1688	1689	1690	1691	1692	1693	1694	1695	1696	1697	1698	1699
1700	1701	1702	1703	1704	1705	1706	1707	1708	1709	1710	1711	1712	1713	1714	1715	1716	1717	1718	1719
1720	1721	1722	1723	1724	1725	1726	1727	1728	1729	1730	1731	1732	1733	1734	1735	1736	1737	1738	1739
1740	1741	1742	1743	1744	1745	1746	1747	1748	1749	1750	1751	1752	1753	1754	1755	1756	1757	1758	1759
1760	1761	1762	1763	1764	1765	1766	1767	1768	1769	1770	1771	1772	1773	1774	1775	1776	1777	1778	1779
1780	1781	1782	1783	1784	1785	1786	1787	1788	1789	1790	1791	1792	1793	1794	1795	1796	1797	1798	1799
1800	1801	1802	1803	1804	1805	1806	1807	1808	1809	1810	1811	1812	1813	1814	1815	1816	1817	1818	1819
1820	1821	1822	1823	1824	1825	1826	1827	1828	1829	1830	1831	1832	1833	1834	1835	1836	1837	1838	1839
1840	1841	1842	1843	1844	1845	1846	1847	1848	1849	1850	1851	1852	1853	1854	1855	1856	1857	1858	1859
1860	1861	1862	1863	1864	1865	1866	1867	1868	1869	1870	1871	1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878	1879
1880	1881	1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888	1889	1890	1891	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899

1500	1501	1502	1503	1504	1505	1506	1507	1508	1509	1510	1511	1512	1513	1514	1515	1516	1517	1518	1519
1520	1521	1522	1523	1524	1525	1526	1527	1528	1529	1530	1531	1532	1533	1534	1535	1536	1537	1538	1539
1540	1541	1542	1543	1544	1545	1546	1547	1548	1549	1550	1551	1552	1553	1554	1555	1556	1557	1558	1559
1560	1561	1562	1563	1564	1565	1566	1567	1568	1569	1570	1571	1572	1573	1574	1575	1576	1577	1578	1579
1580	1581	1582	1583	1584	1585	1586	1587	1588	1589	1590	1591	1592	1593	1594	1595	1596	1597	1598	1599
1600	1601	1602	1603	1604	1605	1606	1607	1608	1609	1610	1611	1612	1613	1614	1615	1616	1617	1618	1619
1620	1621	1622	1623	1624	1625	1626	1627	1628	1629	1630	1631	1632	1633	1634	1635	1636	1637	1638	1639
1640	1641	1642	1643	1644	1645	1646	1647	1648	1649	1650	1651	1652	1653	1654	1655	1656	1657	1658	1659
1660	1661	1662	1663	1664	1665	1666	1667	1668	1669	1670	1671	1672	1673	1674	1675	1676	1677	1678	1679
1680	1681	1682	1683	1684	1685	1686	1687	1688	1689	1690	1691	1692	1693	1694	1695	1696	1697	1698	1699
1700	1701	1702	1703	1704	1705	1706	1707	1708	1709	1710	1711	1712	1713	1714	1715	1716	1717	1718	1719
1720	1721	1722	1723	1724	1725	1726	1727	1728	1729	1730	1731	1732	1733	1734	1735	1736	1737	1738	1739
1740	1741	1742	1743	1744	1745	1746	1747	1748	1749	1750	1751	1752	1753	1754	1755	1756	1757	1758	1759
1760	1761	1762	1763	1764	1765	1766	1767	1768	1769	1770	1771	1772	1773	1774	1775	1776	1777	1778	1779
1780	1781	1782	1783	1784	1785	1786	1787	1788	1789	1790	1791	1792	1793	1794	1795	1796	1797	1798	1799
1800	1801	1802	1803	1804	1805	1806	1807	1808	1809	1810	1811	1812	1813	1814	1815	1816	1817	1818	1819
1820	1821	1822	1823	1824	1825	1826	1827	1828	1829	1830	1831	1832	1833	1834	1835	1836	1837	1838	1839
1840	1841	1842	1843	1844	1845	1846	1847	1848	1849	1850	1851	1852	1853	1854	1855	1856	1857	1858	1859
1860	1861	1862	1863	1864	1865	1866	1867	1868	1869	1870	1871	1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878	1879
1880	1881	1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888	1889	1890	1891	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899

6.3 SEQUÍAS RELEVANTES

A continuación se mencionan algunas de las sequías más relevantes que han afectado a España según la información recopilada (Tabla 13). Se hace mención a aquellas del periodo histórico comprendidas desde 1200, cuando ya hay información más detallada y fiable. El extracto corresponde a las sequías más relevantes, que son aquéllas que afectaron a una gran extensión, produjeron graves impactos y fueron identificadas en numerosas referencias bibliográficas. En las consecuencias se refleja la información más destacada que ha sido recopilada de la bibliografía, así como los resultados obtenidos en este trabajo.

Tabla 13. Sequías históricas de España más relevantes

<i>Periodo</i>	<i>Consecuencias</i>
1219-1220	<p>Sequía general, denominada "Grande y general seca en España". Intensa en Galicia en 1220.</p> <p>Afectó incluso a las zonas de montaña. Las mieses y sembrados se perdieron. Las dehesas se secaron.</p> <p>Hambre y mortandad general en España de animales y ganado.</p>
1333-1334	<p>La sequía de 1333 fue generalizada y especialmente grave en Galicia, Meseta Norte y Valle del Ebro.</p> <p>Malas cosechas en España y Portugal.</p> <p>El hambre recorrió buena parte de Castilla y Galicia. Sevilla se libró de la hambruna de 1333.</p> <p>La dendrocronología analizada en este trabajo da un periodo seco en Galicia.</p>
1472-1475	<p>Fue la sequía principal del siglo.</p> <p>En 1472, la sequía afectó a una gran parte del territorio, y entre septiembre de 1473 y octubre de 1475 afectó principalmente a la mitad Norte de la Península, con la excepción de la región galaico-cantábrica. En 1474 la sequía afectó sobre todo a Cataluña occidental y gran parte de Aragón. En Andalucía fue importante en 1473 y provocó hambre en Sevilla en 1472-74.</p> <p>Según la bibliografía hay una racha seca por análisis dendrocronológico en Monegros en 1473-76.</p> <p>La dendrocronología analizada en este trabajo da un periodo seco en el Sur y en el Ebro, algo desfasado (+2 años) en algunas zonas del Guadiana. No coincide en el Norte del Duero.</p>
1537-1542	<p>Sequía intensa y larga en España en 1537-42: ríos secos, cosechas perdidas, plagas de langosta, escasez de alimentos, hambre, brotes de peste.</p> <p>1537 fue un año de gran sequía en toda España, sobre todo en la vertiente mediterránea. En este año se trató por primera vez de trasvasar los ríos Castril y Guadiana Menor a la región de Lorca.</p> <p>1538 y 39 fueron años de terrible sequía en Castilla.</p> <p>1539 fue un año de fuerte sequía, que trajo mucha hambre y luego la peste, que diezmo la población de España.</p> <p>La sequía afectó en 1539-40 a la mayor parte de España, secándose varios ríos de Cataluña.</p> <p>Numerosas rogativas en el valle del Ebro en 1539 y 1541.</p> <p>1541: sequía generalizada, sobre todo en Andalucía. Hambre en Sevilla en 1541-42.</p> <p>1542: cosechas malogradas por la sequía.</p> <p>La dendrocronología analizada en este trabajo da un periodo seco en el Sur y en el Ebro, pero con un desfase de hasta +5 años. No coincide en el Norte del Duero y en Galicia.</p>
1566-67	<p>Sequía generalizada a España en los años 1566 y 1567.</p> <p>Sequía muy intensa en Cataluña según rogativas.</p> <p>Hambre en Sevilla.</p> <p>Sequía de tal magnitud en el valle del Ebro que se creó un nuevo nivel de rogativa.</p> <p>1567 fue considerado "año del hambre" con una intensa sequía en la cuenca del Segura, La sequía de 1567 fue tan importante que se considera un motivo más para formarse la conspiración que condujo al levantamiento general de los moriscos en 1568 en Granada.</p> <p>Los datos dendrocronológicos de este trabajo no corroboran, salvo casos aislados, esta sequía.</p> <p>Hay descritas manchas solares en estos dos años.</p>
1595-1598	<p>Sequías en Galicia entre 1595-1598.</p> <p>La sequía de 1595 fue especialmente severa en la Meseta Norte.</p> <p>Malas cosechas en Cáceres en 1597-98.</p> <p>Andalucía se vio muy afectada, con hambre en Sevilla en 1598-99.</p> <p>La dendrocronología analizada en este trabajo sólo detecta esta sequía en algunas zonas del Guadalquivir.</p>



CEDEX

1626-1635	<p>Sequía generalizada a España, que empezó por el Sur. Sequía tan grave que se crearon nuevos niveles de rogativas. Provocó hambre en Sevilla en 1626-28 y en Murcia en 1628. En Levante las sequías más graves acontecieron entre 1627 y 1629. Afectó de manera importante a Cataluña en 1629-31. Hubo también sequías importantes en Baleares en el año 1630. Entre 1629 y 1631 afectó a las cosechas de los reinos castellano, aragonés y valenciano. Sequía en 1629-30 en Cáceres con pérdida casi total de la cosecha de 1630. Se importó trigo desde Sevilla donde fueron húmedos los años 1629, 32 y 33. Según la bibliografía, corroborada por datos dendrocronológicos. La dendrocronología analizada en este trabajo coincide en identificar esta sequía en el Sur, Ebro, NE y Levante. Hay descritas numerosas manchas solares en los diez años precedentes.</p>
1680-1683	<p>Sequía general entre 1680 y 1683 con numerosas rogativas y bajas cosechas. Afectó de manera excepcional a Aragón en 1682-83, Toledo en la década de 1680, Andalucía con episodios de hambre en Sevilla en 1683, Valladolid durante 1675-1690, Murcia, Cáceres donde hubo cosechas deficientes. Según la bibliografía, racha seca por análisis dendrocronológico en Monegros en 1682-85. La dendrocronología analizada en este trabajo identifica una sequía importante en 1684 en casi toda España.</p>
1748-1755	<p>Sequía de gran impacto que afectó de manera generalizada a España entre 1749-53. Afectó de manera extrema a Los Monegros en 1748-55, importante a Cataluña en 1751-54, a tierras valencianas en 1749-53, a La Mancha en 1747-54 (salvo 1751), a Andalucía en 1750-52. Episodios intensos en 1753 de hambre y revueltas populares. Numerosas rogativas en toda España: En 1750 hay rogativas en primavera en toda España, en otoño sólo en el Ebro y en invierno sólo en Sevilla. En 1751 hay numerosas rogativas en el Norte de España y alguna en Murcia en primavera. Son muy frecuentes en Tarragona. En 1752 hay menos rogativas en el Norte y raras en el Sur, en primavera. En 1753 y 1754 hay numerosas rogativas, especialmente en el NE. En 1755 apenas hay rogativas. Según la bibliografía, racha seca por análisis dendrocronológico en Monegros en 1751-55. La dendrocronología analizada en este trabajo identifica una sequía importante de este evento, especialmente en los últimos años del periodo, en casi toda España salvo en algunas zonas del Sur.</p>
1779-1784	<p>El período 1779 a 1784 fue de extrema sequedad en los Monegros. El año 1779 afectó sobre todo a la Meseta y Levante. La década de 1780 supuso un período de gran sequedad en la Meseta Norte y gran parte de la vertiente mediterránea. En 1779 se disparan las rogativas por la Península, salvo en el SE. En 1780 las rogativas incluyen también al SE. En 1781 no hay rogativas en el Norte, pero sí en el resto. En 1782 y 1783 parece que la sequía afecta sólo al valle del Ebro y al Segura. Sequía en La Mancha en 1779-82. Según la bibliografía, hay datos dendrocronológicos que indican sequía en Monegros en 1778-81 y en el Sur peninsular. La dendrocronología analizada en este trabajo identifica una sequía importante en casi toda España.</p>
1803-1807	<p>Sequías persistentes durante 1803-1807 en el SE, con rogativas frecuentes y hasta el máximo nivel (IV), con brotes de peste, incrementos de precios de alimentos. 1803 fue muy seco en España, aunque fue en la vertiente mediterránea donde adquirieron mayor virulencia, ocasionando una grave carestía de alimentos en Levante que motivó que el año 1803 pasase a la historia como "el año del hambre", pues no fue hasta después de las cosechas cuando llegaron las lluvias otoñales. La dendrocronología analizada en este trabajo identifica una sequía importante en el Sur de la Península y en la margen derecha del valle del Ebro.</p>
1872-1880	<p>Fue la sequía más importante del siglo XIX en la Península. El periodo 1872-1879 fue especialmente severo en su segunda mitad, causando estragos en el campo, sobre todo en Levante, con la particularidad de que en 1878 la sequedad también fue extremada en Castilla, Extremadura y Andalucía.</p>



<p>1909-1915</p>	<p>Afectó a Aragón en 1876 y 1880 (rogativas), a Barcelona en 1873, 1877 (muy seco) y 1880 (precipitación), con un alto índice de sequía (rogativas) entre 1870-1881 en Cataluña, al SE en 1875-79 (rogativas), a Murcia en 1873-76 (rogativas, cauces secos), a Andalucía entre 1873-76 y 1878-80.</p> <p>La dendrocronología analizada en este trabajo identifica años secos durante este periodo en gran parte de España.</p> <p>Sequía generalizada en 1911 y muy intensa en 1913-15 en el Cantábrico y en 1909-14 en el Este peninsular.</p> <p>Sequía en la Comunidad Autónoma del País Vasco en los años 1913-15 (en 1913 se vieron afectadas por la sequía Álava, Bizkaia y Gipuzkoa, en 1914 Gipuzkoa y en 1915 las provincias litorales).</p> <p>En el período 1909-14 fueron muy afectadas las tierras del sudeste de España, donde se limitó el progreso de la actividad agraria y tuvo consecuencias devastadoras: pérdidas de tierras dedicadas al cultivo y de arbolado, incumplimiento de las obligaciones tributarias, emigración al Norte de África entre 1908 y 1914.</p> <p>La dendrocronología analizada en este trabajo identifica años secos durante este periodo en algunas zonas de España, especialmente del SE y valle del Ebro.</p>
------------------	---

En Canarias destacan las sequías de los periodos 1606-10 (especialmente en 1607), 1619-21, 1660-62, 1675-77, 1708-11, 1719-21, 1768-71, 1821-25 y 1828-36, identificadas según la producción agrícola y los índices de rogativas. No hay buena correlación con los años secos deducidos a partir de la dendrocronología analizada en este trabajo, ya que ésta procede de otras zonas lejanas al archipiélago.

El principal beneficio de un catálogo como *CatSE* es el manejo de un número mayor de eventos en un periodo temporal más amplio. Esto tiene importancia al estimar la frecuencia de las sequías o peligrosidad del fenómeno natural, pudiéndose ajustar leyes de frecuencia más fiables. Esta mejora incide directamente en una mejor evaluación del riesgo por sequía, lo que facilita la planificación y el desarrollo de las medidas para la reducción de dicho riesgo, de especial incidencia en amplias zonas de España.

La elaboración de un catálogo de sequías para el conjunto de España es un trabajo vivo y de gran envergadura. Para elaborar este informe se ha tratado numerosa información, tanto original como interpretada. Se han catalogado los eventos de sequía más relevantes según los registros documentales, con apoyo en los instrumentales y dendrocronológicos y se ha propuesto una metodología de catalogación y ordenación de la información. No obstante, no se ha podido profundizar en algunos aspectos que excedían el ámbito de este estudio. Un catálogo es un producto vivo, siempre mejorable por revisión o por inclusión de nuevos eventos o nueva información. Baste mencionar que actualmente hay un nutrido grupo de personas que están investigando en las numerosas y voluminosas diferentes fuentes de información sobre elementos que puedan aportar pistas sobre sequías históricas.

7 ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS. CATÁLOGO DE SEQUÍAS HISTÓRICAS, CATSE

7.1 PROGRAMA DE LA BASE DE DATOS

La información histórica ha sido almacenada en una base de datos en Access de Microsoft (*CatSE.mdb*), sobre la cual se han desarrollado además varias aplicaciones para gestionar y analizar la información. La versión de Access es Microsoft Office Access 2003 y trabaja sobre sistema operativo Microsoft Windows Server 2003.

7.2 ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

7.2.1 Estructura General

Cada sequía ha sido denominada “evento”. Un aspecto clave ha sido la definición de cada evento para su tratamiento informático posterior. Se ha considerado que un evento tiene una cierta continuidad espacio-temporal. Por ello, se ha separado el archipiélago de las Canarias del resto de España, considerando dos eventos aquellas sequías que afectan a ambos ámbitos aunque sean coincidentes en el tiempo²².

Por otro lado, atendiendo a las características del fenómeno y a los registros de precipitación existentes, un evento de sequía no debe de durar muchos años, por lo que se ha puesto una limitación 12 años a los eventos posteriores al año 1300, aceptando duraciones mayores en aquellos eventos más antiguos con mayor incertidumbre temporal. Cuando ha habido referencias de sequías recientes más duraderas, se ha profundizado en su estudio histórico con el fin de disgregarlas en eventos diferentes.

La información es almacenada en diferentes tablas relacionadas entre sí (Figura 67).

²² Olcina (2001) diferencia 4 tipos de sequías según el ámbito climático: Ibéricas (generales), Cantábricas, Sureste Ibérico (relacionadas con las Ibéricas) y Canarias. Las sequías Cantábricas suelen ser coincidentes con años lluviosos en la mitad Sur peninsular, por lo que se podría también considerar una posible separación de los eventos que hubieran afectado de manera específica al Cantábrico.

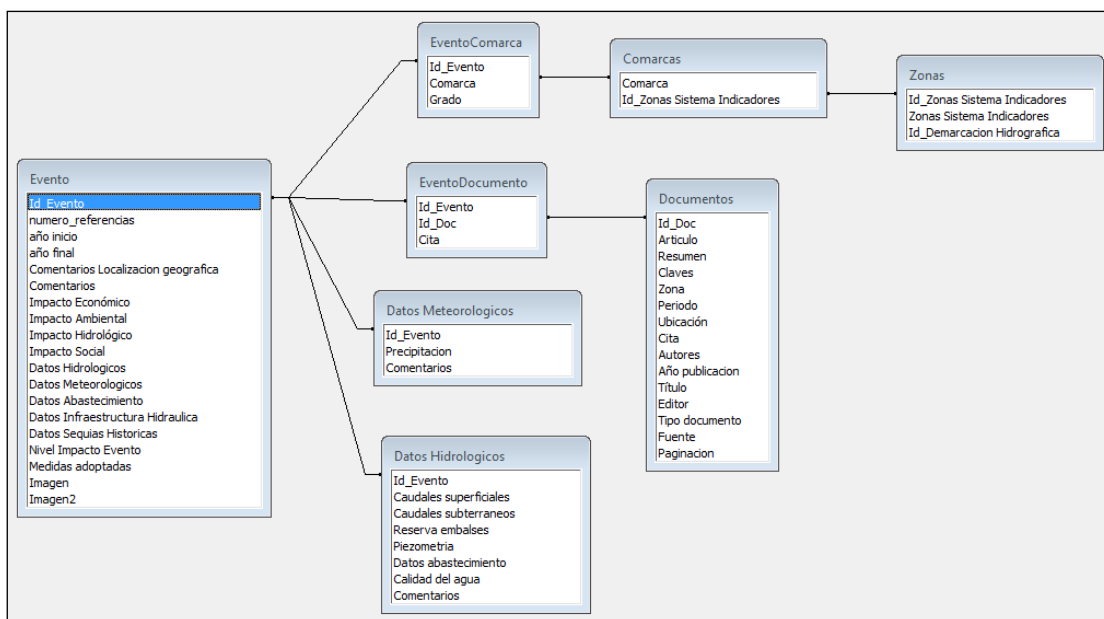


Figura 67. Esquema de relaciones de las tablas de la base de datos de sequías históricas CatSE.

7.2.2 Tabla *Evento*

La principal tabla se denomina *Evento*. Recoge la información general de cada sequía: localización temporal y espacial, magnitud, consecuencias, fuente de información, etc.

Los campos de esta tabla son los siguientes:

- *Id_Evento*: identificador del evento. Campo autonumérico que sirve para enlazar el evento con otras tablas de la base que contienen diversa información del evento.
- *numero_referencias*: número de referencias bibliográficas que informan sobre el evento de sequía (numérico).
- *año_inicio*: año de inicio de la sequía (numérico).
- *año_final*: año de finalización de la sequía (numérico)
- *Comentarios Localización geográfica*: reproducción textual de las áreas afectadas por la sequía, tal como aparece en las fuentes bibliográficas (texto).
- *Comentarios*: campo texto libre con la descripción del evento según aparece en las fuentes documentales.
- Campos de Impacto (económico, ambiental, hidrológico y social) y Datos (hidrológicos, meteorológicos, de abastecimiento, infraestructura hidráulica y sequías históricas): son campos SI/NO que indican si las sequías han afectado a esos sectores. Algunas de esas afecciones vienen detalladas en las tablas correspondientes: *Datos_Meteorológicos* y *Datos_Hidrológicos*.
- *Nivel Impacto Evento*: es un campo numérico que incluye una puntuación de 1 (leve) a 3 (grave) según la valoración global del impacto del evento. Representa el impacto para el conjunto de España teniendo en cuenta los grados de impactos sectoriales que se reflejan en el apartado 2.2.

- *Medidas adoptadas*: campo tipo texto donde se indican algunas medidas estructurales, de gestión, etc. llevadas a cabo para la mitigación de los efectos de la sequía.
- *Imagen*: campo texto con la ruta del archivo de imagen que representa el mapa de la distribución geográfica del evento de sequía descrito. Este mapa se obtiene a través de una consulta con la información de regiones SIEH afectadas, tratada posteriormente mediante programación en R Stats y Grass64.
- *Imagen2*: campo texto con la ruta del archivo de imagen que representa los mapas de los años correspondientes al evento con la información dendrocronológica disponible. Estos mapas anuales se obtienen a partir de información dendrocronológica mediante programación en R Stats y Grass64.

7.2.3 Tabla EventoComarca

Esta tabla, junto con las tablas *Comarca* y *Zonas*, contienen la información de la distribución geográfica de la sequía.

La extensión espacial de cada evento se guarda en la tabla *EventoComarca*, donde se relaciona cada evento con unas determinadas comarcas, nombres subjetivos utilizados en los documentos históricos. De ese modo, es una relación suprayectiva ya que para todo registro de la Tabla *Evento* hay al menos un registro en la Tabla *EventoComarca*.

La tabla *EventoComarca* contiene los siguientes campos:

- *Id_Evento*: campo numérico que enlaza con la tabla principal *Evento*.
- *Comarca*: campo de texto libre donde se introduce el nombre de cada comarca afectada por la sequía.
- *Grado*: toma valores 1, 2 o 3, indicando la afección relativa del evento de sequía. El valor 1 indica sequía sin distinguir zonas de diferente afección. Los valores 2 y 3 se especifican cuando ha habido información disponible que ha permitido diferenciar un área con aquellas zonas donde la sequía ha sido más intensa (valor 3) que en el resto de zonas afectadas (valor 2).

7.2.4 Tabla Comarcas

En la tabla *Comarcas* se han interpretado las relaciones entre las Comarcas de la Tabla *EventoComarca* y las Zonas SIEH. Es una tabla que sólo se modifica cuando aparece una nueva Comarca de entidad en un documento histórico.

La tabla *Comarcas* contiene los siguientes campos:

- *Comarca*: que enlaza con la tabla *EventoComarca*.
- *Id_Zonas Sistema Indicadores*: campo índice que identifica las zonas del sistema de indicadores incluidas en cada comarca definida por el usuario.

7.2.5 Tabla Zonas

La tabla *Zonas* contiene los datos básicos de las zonas SIEH consideradas, en concreto, los siguientes campos:



CEDEX

- *Id_Zonas Sistema Indicadores*: campo índice que sirve de enlace con la tabla *Comarcas*.
- *Zonas Sistema Indicadores*: contiene el nombre en texto de cada zona del sistema de indicadores, a la que le corresponderá un único índice *Id_Zonas Sistema Indicadores*.
- *Id_Demarcación_Hidrográfica*: campo índice que relaciona cada zona SIEH con la Demarcación Hidrográfica correspondiente.

7.2.6 Tabla Documentos

Esta tabla contiene la información básica de los documentos históricos que se han consultado y de los que se ha extraído información para incorporarla al catálogo de sequías.

Los campos incluidos en esta tabla son:

- *Id_Doc*: campo índice del documento.
- *Artículo*: campo texto con la referencia completa de la fuente consultada.
- *Cita*: campo texto con la referencia abreviada de la fuente consultada.
- *Zona*: campo texto con la zona geográfica tratada en el documento.
- *Periodo*: campo texto con el ámbito temporal tratado en el documento.
- *Autores*: campo texto con el autor o autores del documento.
- *Año publicación*: campo numérico con el año de la publicación del documento.
- *Título*: campo texto con el título del documento.
- *Paginación*: define la extensión del documento por el intervalo del número de página inicial y final (p.ej. en los artículos) o número total de páginas (p.ej. en los libros).

7.2.7 Tabla EventoDocumento

Esta tabla indica qué documentos aportan la información bibliográfica de cada evento. Un evento puede estar referido en varias referencias bibliográficas. La relación, por tanto de la tabla Evento y la tabla Referencia es de uno a muchos.

Los campos incluidos en esta tabla son:

- *Id_Evento*: campo índice para relacionar con la tabla *Evento*.
- *Id_Doc*: campo índice para relacionar con la tabla *Documentos*.
- *Cita*: campo texto con la referencia abreviada de la fuente consultada, con relación biyectiva con el campo *Id_Doc*.

7.2.8 Tabla Datos Meteorológicos

La tabla de *Datos Meteorológicos* contiene información (cuando existe) sobre datos registrados de precipitación, temperaturas, acumulación de nieve y otros meteoros asociados a un evento de sequía determinado.

Esta tabla contiene los siguientes campos:

- *Id_Evento*: campo numérico con el índice que enlaza con la tabla principal *Evento*.
- *Precipitación*. Campo texto con características de la precipitación asociada al evento.
- *Comentarios*. Campo texto con características meteorológicas generales del evento.

7.2.9 Tabla Datos Hidrológicos

La tabla de *Datos Hidrológicos* está diseñada para contener información sobre datos registrados de caudales tanto superficiales como subterráneos, reserva de embalses, piezometría, calidad del agua superficial y subterránea y datos de abastecimiento. Toda esta información está asociada a un evento de sequía determinado. Por ahora, esta tabla no contiene información de datos hidrológicos del periodo objeto del catálogo, anterior al año 1940.

Esta tabla contiene los campos:

- *Id_Evento*: índice que enlaza con la tabla principal *Evento*.
- *Caudales superficiales*: valores de aportaciones, volúmenes trasvasados,
- *Caudales subterráneos*: información sobre situación, variaciones, bombeos o extracciones subterráneas.
- *Reserva embalses*: datos sobre descensos de agua embalsada.
- *Piezometría*: datos sobre descensos piezométricos.
- *Datos abastecimiento*: incluyen, en general, restricciones de abastecimiento a causa de la sequía.
- *Calidad del agua*: datos, cuando sean relevantes, de la variación en la calidad del agua.
- *Comentarios*: comentarios generales sobre la incidencia hidrológica de la sequía.

Todos estos campos, salvo el índice, son de tipo texto.

7.3 FORMULARIOS: ANÁLISIS E INFORMES

Se han elaborado además diversos formularios para la introducción de información, así como consultas que facilitan la selección, gestión y visualización de la información y varios informes para la presentación de la información (Figura 68).

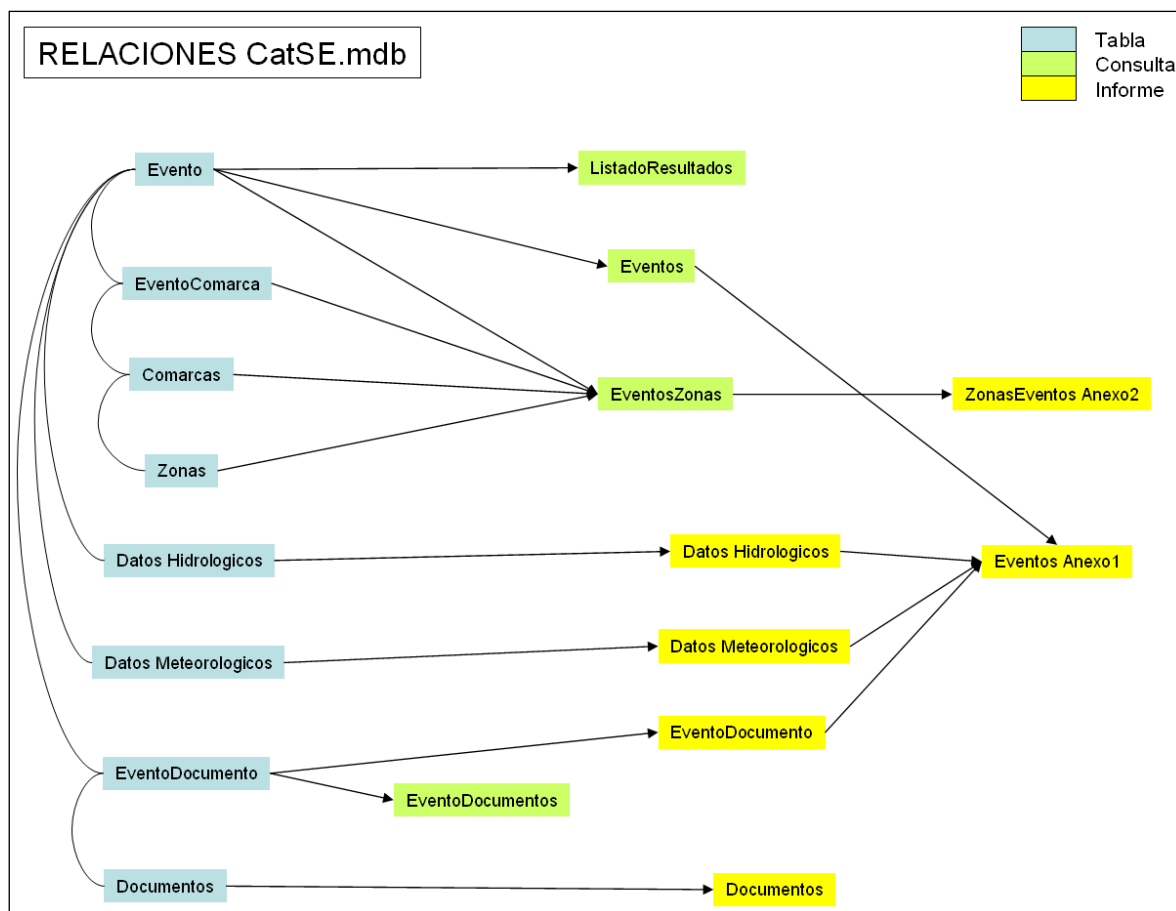


Figura 68. Relaciones entre las tablas, consultas e informes de la base de datos de sequías históricas CatSE.

La consulta principal es la denominada *EventosZonas*. Se ha creado para asignar las Zonas SIEH afectadas en cada evento de manera que permite la explotación de la información espacial de cada evento de sequía, seleccionando los campos de información necesarios (Figura 69). A partir de esa consulta se elaboran los mapas de cada evento en el entorno GRASS64 vinculados en el campo “Imagen” de la tabla “Evento”. En esta consulta, la tabla *EventoComarca* enlaza con la tabla *Evento* a través de *Id_Evento*. A su vez la tabla *EventoComarca* enlaza con la tabla *Comarcas* a través del campo *Comarca* y esta última tabla enlaza a su vez con *Zonas* a través del campo *Id_Zonas Sistema Indicadores*.

EventosZonas : Consulta de selección									
Id_Eve	Id_Zonas	S	MaxDeGrado	año ini	año fir	Nivel Impacto	Evento	Zonas Sistema Indicadores	Grado3
114	3006			3	1675	1677		3 TAJO Bajo margen derecha	Más intensa
114	3007			3	1675	1677		3 TAJO Bajo margen izquierda	Más intensa
114	4001			3	1675	1677		3 GUADIANA Cuenca alta	Más intensa
114	2005			3	1675	1677		3 DUERO Tormes-Agueda	Más intensa
114	3003			3	1675	1677		3 TAJO Jarama-Guadarrama	Más intensa
114	4002			3	1675	1677		3 GUADIANA Jabalón-Bullaque	Más intensa
114	3001			3	1675	1677		3 TAJO Cabecera	Más intensa
114	4003			3	1675	1677		3 GUADIANA Centro	Más intensa
114	4004			2	1675	1677		3 GUADIANA Sur	
114	5001			3	1675	1677		3 GUADALQUIVIR Cabecera margen derech	Más intensa
114	2004			3	1675	1677		3 DUERO Adaja-Cega-Bajo Duero	Más intensa
91	7003			1	1678	1679		1 SEGURA Margen derecha	
91	7001			1	1678	1679		1 SEGURA Cabecera	
91	7002			1	1678	1679		1 SEGURA Margen izquierda	
91	7004			1	1678	1679		1 SEGURA Litoral	
227	4004			1	1680	1683		3 GUADIANA Sur	
227	5002			1	1680	1683		3 GUADALQUIVIR Guadiana Menor	
227	3004			1	1680	1683		3 TAJO Alberche	
227	5003			1	1680	1683		3 GUADALQUIVIR Medio margen izquierda	
227	5004			1	1680	1683		3 GUADALQUIVIR Medio margen derecha	
227	5005			1	1680	1683		3 GUADALQUIVIR Bajo margen izquierda	
227	3003			1	1680	1683		3 TAJO Jarama-Guadarrama	
227	5006			1	1680	1683		3 GUADALQUIVIR Bain margen derecha	

Registro: 1 de 5632

Figura 69. Extracción de la información de la consulta *Eventos_Zonas* de la base de datos de sequías históricas CatSE.

La consulta *Eventos* sirve para seleccionar aquellos eventos que componen el informe del anexo 2, con las sequías del periodo histórico.

La consulta *ListadoResultados* sirve para obtener un listado de los eventos de sequía ordenados cronológicamente con sus características principales.

La consulta *EventoDocumentos* indica las referencias bibliográficas que aportan información sobre cada evento de sequía. Para cada evento hay una o más de una referencias asociadas.

De los informes y formularios, destacan dos informes creados con el objetivo de imprimir la información del catálogo de sequías históricas e incluirlas en el anexo del informe.

El informe *Eventos Anexo1* contiene una descripción de cada evento del periodo histórico (anterior a 1940), con sus características, así como su relación con datos dendrocronológicos. Es el informe que da la información más completa del catálogo de las sequías históricas y se adjunta en el anexo 1. Depende de las tablas *Evento*, *EventoDocumento*, *Documento*, *Datos Meteorológicos* y *Datos Hidrológicos*. También depende de la consulta *Eventos*. Además, precisa de los informes *EventoDocumento*, *Datos Meteorológicos* y *Datos Hidrológicos*, que permiten la asociación de información a cada evento.

El informe *ZonasEventos Anexo2* contiene un listado de los eventos de sequías históricas de cada zona SIEH, que se adjunta en el anexo 2. Este informe se basa en la consulta antes referida *EventosZonas*.

8 EQUIPO DE TRABAJO

El presente informe ha sido elaborado en el Área de Recursos Hídricos del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Son autores del mismo Luis Miguel Barranco Sanz, Doctor en Ciencias Geológicas y Director de Programa, Ángela Potenciano de las Heras, investigadora I+D del CEDEX y el abajo firmante Javier Álvarez Rodríguez, Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y Coordinador de Programa Técnico Científico. La labor de edición del documento ha sido realizada por Mercedes Montero Rumbao.

Madrid, noviembre de 2013

El director del trabajo



D. Javier Álvarez Rodríguez
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y
Puertos
Coordinador de Programa Técnico Científico
del Área de Recursos Hídricos

Examinado y conforme



Dña. Mirta Dimas Suárez
Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos
Jefa del Área de Recursos Hídricos

9 REFERENCIAS

- AEMET (1943). Las Series más Largas de Observaciones Pluviométricas en la Península Ibérica. Ministerio del Aire. Dirección General de Protección de Vuelo. Servicio Meteorológico Nacional. Sección de Climatología. Serie D, nº1
- AEMET-IMP (2011). Atlas Climático Ibérico. Temperatura del aire y precipitación (1971-2000). Agencia Española de Meteorología e Instituto de Meteorología de Portugal. 79 pp.
- Albentosa, L.M. (1982). La importancia del conocimiento de las fluctuaciones climáticas en los estudios históricos. Aproximación al clima de Tarragona durante el siglo XVIII. *Universitas tarraconenses*, 4: 73-90.
- Alberola, A. (1996). La percepción de la catástrofe: sequía e inundaciones en Tierras Valencianas durante la primera mitad del siglo XVIII. *Revista de historia moderna*, 15: 257-269.
- Alberola, A. (1999). Catástrofe, economía y política en la Valencia del siglo XVIII. Institució Alfons el Magnànim. Alicante. 333 pp. ISBN 84-7822-255-3.
- Alberola, A. (2004). Oscilaciones climáticas y coyuntura agrícola en tierras valencianas durante el reinado de Felipe V. En: Felipe V Su tiempo [Eduardo Serrano (ed.)]. Institución Fernando el Católico (CSIC), Diputación de Zaragoza: 201-224
- Alberola, A. (2009). De la percepción popular a la reflexión erudita. La transmisión de la "cultura de la catástrofe" en la España del siglo XVIII. En: La réception de la culture de masses et des cultures populaires [Serge Salaün (Ed.)]. Paris, CREC-Université de Paris III: 39-67.
- Almarza, C. (2002). Sequía. Definiciones. Aplicación al caso español. Estudio estadístico. En: Riesgos Naturales [Ayala (ed.)], Ariel Ciencia: 563-573.
- Almarza, C.; López Díaz, J.A. y Flores, C. (1996). Homogeneidad y variabilidad de los registros históricos de precipitación de España. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General del Instituto Nacional de Meteorología, Serie monografías 143, 318 pp.
- Álvarez-Rodríguez, J., 2011. Estimación de la distribución espacial de la precipitación en zonas montañosas mediante métodos geoestadísticos. Tesis Doctoral. E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid
- Álvarez J., Sánchez A. y Quintas L. (2005). SIMPA, a GRASS based Tool for Hydrological Studies. *International Journal of Geoinformatics*, 2005, v. 1, n. 1
- Álvarez-Rodríguez, J.; Potenciano, Á. y Villaverde, J.J. (2008). Evolución histórica y sequías en España. *Revista de Obras Públicas*, 3486: 1-13
- Álvarez-Rodríguez, J. y Estrela, T. (2000). Regionalization and Drought Characterisation in Europe. ARIDE Technical Report no. 9. CEDEX, Madrid, Spain. ARIDE, Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe, ENV4 - CT97 - 0553. Enero 1998 - diciembre 2000
- Álvarez Sáenz de Buruaga, J. (1994). Materiales para la historia de Mérida: (de 1637 a 1936). Ayuntamiento. Badajoz. ISBN 84-7796-855-1.



- Ascaso, A. y Casals, M. (1981). Periodos secos y húmedos en la depresión central del Ebro. *Geographicalia*, 11-12: 55-71.
- Barnolas, M. y Llasat, M.C. (2007). Metodología para el estudio de inundaciones históricas en España e implementación de un SIG en las cuencas del Ter, Segre y Llobregat. Monografías CEDEX, 90. 264 pp. y CD compacto, Madrid.
- Barriandos, M. (1997). Climatic variations in the Iberian Peninsula during the late Maunder minimum (AD 1675-1715): an analysis of data from rogation ceremonies. *The Holocene*, 7(1): 105-111.
- Barriandos, M. (2002). Los riesgos climáticos a través de la Historia: avances en el estudio de episodios atmosféricos extraordinarios. En: *Riesgos Naturales* [Ayala (ed.)], Ariel Ciencia: 549-560.
- Barriandos, M.; Martín-Vide, J. (1996). El tema recurrente de las sequías. La gran sequía de 1566-1567 en Catalunya. En: *Desertificación y degradación de suelos en España*: 41-43, Barcelona, Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya.
- Barriandos, M.; Peña, J. C.; Martín-Vide, J. (1998). La calibración instrumental de registros climáticos documentales. Aproximación metodológica a resolución anual para el caso de la precipitación en Barcelona (1521-1989). *Investigaciones geográficas*, 20: 99-117.
- Barriandos, M.; Prohom, M. y Sánchez-Lorenzo, A. (2010). Extreme drought conditions over NE Iberia in early 19th century (1812-1825) and its possible relationship to major volcanic eruptions. *Geophysical Research Abstracts*, 12. EGU General Assembly 2010.
- Bennassar, B. (1967). *Valladolid au Siècle D'or*, Flammarion, Paris, 689 pp.
- Bentabol, H. (1900). *Las aguas de España y Portugal*. IGME. 7-21.
- Bermúdez, F. (1638). *Historia Eclesiástica de la Gran Ciudad de Granada*. Cuarta parte, capítulo CXXV, hoja 273
- Bradley, R.S. (1999). *Paleoclimatology. Reconstructing Climates of the Quaternary*. Segunda edición. Academic Press. San Diego California. Volumen 68 de *International Geophysics Series*, pp.:613
- Camarero, J.J. y Gutiérrez, E. (2004). Pace and pattern of recent treeline dynamics: response of ecotones to climatic variability in the Spanish Pyrenees. *Climatic Change*. 63 (1-2): 181-200. DOI: 10.1023/B:CLIM.0000018507.71343.46.
- Campaner y Fuertes, A. (1881). *Cronicón Mayoricense*. Est. Tip. de Juan Colomar: Palma de Mallorca
- Cancilliere, A.; Ancarani, A. y Rossi, G. (1995). Identification of drought periods on streamflow series at different time scales. In: *Water Resources Management under Drought or Water shortage Conditions*, (editor Tsiourtis). Balkema, Rotterdam

- Carmona, J.I. (2000). Crónica urbana del malvivir (s. XIV- XVII): Insalubridad, desamparo y hambre en Sevilla. Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones, 299 pp. ISBN 84-472-0559-2.
- Colás, G. y Salas, J.A. (1977). Aragón bajo los Austrias. Librería General, Zaragoza, 167 pp.
- Confederación Hidrográfica del Duero (2007). Plan Especial de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía en la Cuenca Hidrográfica del Duero, 342 pp.
- Confederación Hidrográfica del Ebro (2007). Plan Especial de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía en la Cuenca Hidrográfica del Ebro, 205 pp.
- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (2007). Plan Especial de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía en la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir, 280 pp.
- Confederación Hidrográfica del Guadiana (2007). Plan Especial de Sequía de la cuenca del Guadiana, 295 pp.
- Confederación Hidrográfica del Júcar (2007). Plan Especial de Alerta y Eventual Sequía en la Confederación Hidrográfica del Júcar, 185 pp.
- Confederación Hidrográfica del Norte (2007). Plan Especial de Actuación en Situación de Alerta y Eventual Sequía en la Confederación Hidrográfica del Norte, 421 pp.
- Confederación Hidrográfica del Segura (2007). Plan Especial de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía en la Cuenca del Segura, 298 pp.
- Confederación Hidrográfica del Tajo (2007). Plan Especial de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía en la Cuenca Hidrográfica del Tajo, 224 pp.
- Couchoud, R.; Sánchez Ferlosio, R. (1965). Hidrología histórica del Segura. De los anales del Segura. Centro de Estudios Hidrográficos, 104 pp.
- Creus J. (1998). Análisis de la variabilidad del clima español en el último milenio. El Campo de las Ciencias y de las Artes. Servicio de estudios del BBVA.
- Creus, J. y Puigdefábregas, J. (1983). Climatología histórica y dendrocronología de *Pinus nigra* A. En: Avances de Investigación en Bioclimatología, [A. Blanco de Pablos (Ed.)], Zaragoza, Consejo Superior de Investigaciones Científicas: 121–128.
- Creus, J.; Fernández Cancio, A. y Manrique, E. (2000). Análisis de la variabilidad del clima español durante el último milenio. En: El Campo de las Ciencia y las Artes: El cambio climático. Serie BBVA 137: 27-48.
- Creus, J. y Saz, M.A. (2004). La sequía como principal factor limitante del desarrollo de *Pinus Halepensis* Mill. en el sector central del valle del Ebro. En: El Clima entre el Mar y la Montaña, [García Codron, J.C.; Diego Liaño, C.; Fdez. de Arróyabe Hernáez, P.];
- Cuenca, A.; Walker, M. J. (1986). Palaeoecological aspects and palaeoeconomic interactions in southeastern Spanish prehistory. En: Climate in Western Mediterranean. Proceedings of the Symposium on Climatic Fluctuations during



CEDEX

the Quaternary in the Western Mediterranean Regions. Universidad Autónoma de Madrid

- de Echegaray, J. (1851). Memoria sobre las causas de la sequía de las provincias de Almería y Murcia, y de los medios de atenuar sus efectos. Ministerio de Comercio, Instrucción y Obras Públicas, 123 pp.
- Díaz de Escovar, N. (1899). Curiosidades malagueñas. Málaga, 261 pp. <http://www.archive.org/stream/curiosidadesmal00escogooog#page/n6/mode/2up>.
- Díaz-Pintado, J. (1991). Climatología de La Mancha durante el siglo XVIII. Cuadernos de historia moderna, 12: 123-166. Universidad Complutense: Servicio de Publicaciones, ISSN 0214-4018.
- Domínguez-Castro, F.; García-Herrera, R.; Ribera, P. y Barriendos, M. (2010). A shift in the spatial pattern of Iberian droughts during the 17th century. *Climate of the Past*, 6 (5): 553-563.
- Domínguez-Castro, F.; Ribera, P.; García-Herrera, R.; Vaquero, J.M.; Barriendos, M.; Cuadrat, J.M.; Moreno, J.M., (2012). Assessing extreme droughts in Spain during 1750–1850 from rogation ceremonies. *Clim. Past*, 8, 705-722, 2012
- Domínguez-Castro, F.; Santisteban, J.I.; Barriendos, M. y Mediavilla, R.M. (2008). Reconstruction of drought episodes for central Spain from rogation ceremonies recorded at the Toledo Cathedral from 1506 to 1900: A methodological approach. *Global and Planetary Change*, 63: 230-242. ISSN 0921-8181.
- Domínguez-Castro, F.; Santisteban, J. I.; Mediavilla, R.; Barriendos, M. (2007). Evolución de eventos climáticos extremos (inundaciones y sequías) para la zona central de la Península Ibérica desde el siglo XVI a partir del registro de rogativas e inundaciones históricas. En: *II Semana de Jóvenes Investigadores del IGME*: 57-63. Madrid. Instituto Geológico y Minero de España
- Dorado Liñán, I.; Büntgen, U.; González-Rouco, F.; Zorita, E.; Montávez, J.P.; Gómez-Navarro, J.J.; Brunet, M.; Heinrich, I.; Helle, G.; Gutiérrez, E. (2012). Estimating 750 years of temperature variations and uncertainties in the Pyrenees by tree-ring reconstructions and climate simulations. *Clim. Past*, 8, 919-933, 2012
- Dooge, J.C.I. (1988). Hydrology in perspective. *Hydrological Sciences - Journal - des Sciences Hydrologiques*, 33,1, 2/1988
- Dracup, J.A.; Lee, K.S. y Paulson, E.G. (1980). On the Definition of Droughts. *Water Resources Research*, 16 (2): 297-302
- Eckstein, D. (1972). Tree Ring Research in Europe. *Tree Ring Bulletin*, vol. 32
- España (2001). Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional. *Boletín Oficial del Estado*, 6 de julio de 2001, núm. 161: 24228-24250.
- Estrada, J.L. (1970). Efemérides malagueñas. Imprenta San Andrés. Málaga. 4 Vol.
- Estrela, T. y Quintas, L. (1996). El Sistema Integrado de Modelización Precipitación-Aportación, SIMPA. *Ingeniería Civil*, 104, pp. 43-52. Centro de Experimentación de Obras Públicas, CEDEX. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Ministerio de Fomento

- Fernández Cancio, A.; Manrique, E.; Génova, M. y Creus, J. (1993). Estudio fitoclimático de la serranía de Cuenca en los últimos 300 años. Congreso Forestal Español, Lourizán 1993
- Font Tullot, I. (1988). Historia del Clima de España. Instituto Nacional de Meteorología, 297 pp.
- Font Tullot, I. (2003). La peor sequía en mil años. <http://www.tiempo.com/ram/986/la-peor-sequia-en-mil-aos/> (consultado: 4-5-2012).
- Fontana, J.M.; Miró-Granada, J. y Vidal, J.J. (1974). El clima de Baleares, hoy y ayer: 1450-1700. Madrid. Inédito, 104 pp.
- Fontana, J.M. (1976a). Quince siglos de clima andaluz. Madrid. Inédito, 166 pp.
- Fontana, J.M. (1976b). Historia del clima en Cataluña. Noticias antiguas, medievales y en especial de los siglos XV, XVI y XVII. Madrid. Inédito, 248 pp.
- Fontana, J.M. (1977a). Entre el cardo y la rosa. Historia del clima en las Mesetas. Madrid. Inédito, 269 pp.
- Fontana, J.M. (1977b). Historia del clima del Finis-Terrae gallego. Madrid. Mecanoscrito. Inédito.
- Fontana, J.M. (1978). Historia del clima en el litoral mediterráneo: Reino de Valencia más Provincia de Murcia. Javea. Inédito, 206 pp.
- Fritts, H.C. (1976). Tree ring and climate. Academic Press, Londres, 367 pp.
- García Marín, R. (2008). Riesgo de sequía y vulnerabilidad socioeconómica en la Cuenca del Guadalentín. Tesis Doctoral, Departamento de Geografía, Universidad de Murcia, 695 pp.
- García, R.; Macías, A.; Gallego, D.; Hernández, E.; Gimeno, L. y Ribera, P. (2003a). Reconstruction of the Precipitation in the Canary Islands for the Period 1595–1836. Bull. Amer. Meteor. Soc., 81: 1037-1039
- García, R.; Macías, A.; Gallego, D.; Hernández, E.; Gimeno, L. y Ribera, P. (2003b). Supplement to Reconstruction of the Precipitation in the Canary Islands for the Period 1595–1836. Bull. Amer. Meteor. Soc., 84, 1039–1039
- Gargallo, A.J. (1996). El Concejo de Teruel en la Edad Media (1177-1327). Tomos I y II, Instituto de Estudios Turolenses, Teruel: 841 pp.
- Garmendia Pedraja, C. y Rasilla Álvarez, D. (Eds.)), Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria, Serie A, nº 4, Santander: 607-617.
- Garrad K. (1965). La Inquisición y los moriscos granadinos 1526-1580. Bulletin Hispanique, 67 (1-2): 63-77.
- Garrido Balinot, M.E. (2009). Historia de La Peza. http://granadapedia.wikanda.es/wiki/Historia_de_La_Peza (acceso 21-9-2011).
- Génova, M.; Santana, C.; Martín, E. (1999). Longevidad y anillos de crecimiento en el Pino de la Virgen (El Paso, La Palma). Vegueta, número 4 pp.:27-32



- Gil Olcina, A. (2004). La región climática del Sureste ibérico. En: Aridez, salinización y agricultura en el Sureste ibérico. Madrid, Fundación Ramón Areces e Instituto Euromediterráneo de Hidrotecnia: 13-35.
- Génova, M.; Ballesteros-Cánovas, J.A.; Díez-Herrero, A. y Martínez-Callejo, B. (2011). Historical floods and dendrochronological dating of a wooden deck in the Old Mint of Segovia, Spain. *Geoarchaeology*, 26: 786–808.
- Gil Olcina, A. (2007). Sequía de 1846-50 e hipótesis de cambio climático por deforestación en el Sureste ibérico. *Estudios geográficos*, 262: 91-117. ISSN: 0014-1496.
- González, J. y Valdés, J.B. (2003). Bivariate Drought Recurrence Analysis Using Tree Ring Reconstructions. *Journal of hydrologic engineering*, 8 (5): 247-258.
- González, R. (1980). El clima toledano en los siglos XVI y XVII. *Bol. Real Ac. Historia*, 174 (2): 305-332.
- Gutiérrez E. (2009). La dendrocronología: métodos y aplicaciones. En “Arqueología náutica mediterránea” X. Nieto i M.A. Cau (eds.) pp. 303-315
- Hernández Varela, L.; Lozano, M.Á.; Soleto, C. (2003). Estudio de los acontecimientos meteorológicos extraordinarios en la Comunidad Autónoma del País Vasco (1870-1954) a través de la prensa. *Investigaciones Geográficas*, 30: 165-180
- Jonsson, B., Gunnarson, B. y Criado, C. (2002). Drought is the major limiting factor for tree-ring growth of high-altitude canary islands pines on Tenerife. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 84 (1): 51-71.
- Linés, A. (1990). Cambios en el sistema climático. Una aproximación al problema. Instituto Nacional de Meteorología, 125 pp.
- Linés, A. (2001). Adversidades meteorológicas en España en el tiempo de Carlos V. Congreso Beresit III: Carlos I y su tiempo. Toledo.
- López-Salazar, J. y Martín-Galán, M. (1981). La producción cerealista en el Arzobispado de Toledo 1463-1699, *Cuadernos de Historia Moderna y Contemporánea* 2: 21-103
- Luengo, M. Á.; Ceballos, A.; Martínez Fernández, J.; Yuste, C. (2002). Las rachas secas en el sector central de la cuenca del Duero. *Investigaciones Geográficas*, 27: 65-82.
- MAGRAMA (2000). Libro Blanco del Agua en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Secretaría de Estado de Medio Rural y Agua. Dirección General del Agua. Secretaría General Técnica del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 637 pp.
- MAGRAMA (2007). Orden MAM/698/2007, de 21 de marzo, por la que se aprueban los planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía en los ámbitos de los planes hidrológicos de cuencas intercomunitarias.
- MAGRAMA (2008). Gestión de la Sequía de los años 2004 a 2007. VV.AA.. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2008. ISBN 9788483204191.

- Manrique, E. y Fernández Cancio, A. (1999). Evolución fitoclimática de los últimos siglos en España a partir de reconstrucciones dendroclimáticas. *Invest. Agr. Sist. Recur. For.:* Fuera de Serie nº 1: 75-91.
- Marcos Valiente, Ó. (2001). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones geográficas*, 26: 59-80.
- Martín-Vide, J.; Barriendos, M. (1995). The use of rogation ceremony records in climatic reconstruction: a case study from Catalonia (Spain). *Climatic Change*, 30: 201-221
- Martín Rodríguez, E.; Génova Fuster, G.; Santana Jubélls, C. (2000). Presente y expectativas de futuro de la dendrocronología en Canarias. En Morales Padrón, Francisco (coord.): VIII Congreso Internacional de Historia de América (AEA). Las Palmas de Gran Canaria, Casa de Colón/Cabildo de Gran Canaria, 2000.
- McKee, T.B.; Doesken, N.J. y Kliest, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. En: *Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society, Boston, MA: 179-184.
- Méndez, R. (1645). *Población general de España*. Madrid, Libros Google, 384 pp.
- Menéndez, M. (1995). Aspectos Hidrológicos de las Sequías. Curso sobre sequías. Las sequías en España. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Madrid. España
- Mishra, A.K. y Singh, V.P. (2011). Drought modelling - A review. *Journal of Hydrology* 403 (1-2): 157-175
- Morales, A.; Olcina, J.; Rico, A.M. (2000). Diferentes percepciones de la sequía en España: adaptación, catastrofismo e intentos de corrección. *Investigaciones Geográficas*, 23: 5-46.
- Morales, A.; Rico, A. M. (1996). Sequías en el Sureste de la Península Ibérica: cambios en la percepción de un fenómeno natural. *Investigaciones Geográficas*, 15: 127-143.
- NASA (2012). Earth Observatory Glossary: "Little Age of Ice". En: <http://earthobservatory.nasa.gov/Glossary/index.php?mode=alpha&seg=l&segend=n> (último acceso: 13-8-2012)
- Olcina, J. (1994). Riesgos climáticos en la Península Ibérica. Libros Penthalon. Acción Divulgativa, S. L., 440 pp.
- Olcina, J. (1995). Riesgos climáticos en las tierras valencianas. Incidencia en la actividad agraria. *Investigaciones Geográficas*, 14: 99-143.
- Olcina, J. (2001). Tipología de sequías en España. *Eria*, 56: 201-227.
- Olcina, J. (2002). Aspectos cualitativos de las sequías. En: *Riesgos Naturales*, Ariel Ciencia [Ayala (ed.)]: 575-604.
- Olcina, J.; Rico, A. (1995). Sequías y golpes de calor en el Sureste ibérico: efectos territoriales y económicos. *Investigaciones Geográficas*, 13: 47-79.



- Pardo, A. (1929). Breves Páginas acerca de la Villa de Santa Cruz de Mudela. Madrid : [s.n.], Imp. de los Hijos de M. G. Hernández, 288 pp.
- Pauling, A.; Luterbacher, J.; Casty, C. y Wanner, H. (2006). Five hundred years of gridded high-resolution precipitation reconstructions over Europe and the connection to large-scale circulation. *Climate Dynamics*, 26 (4): 387-405.
- Pérez Antelo, A. (1994). Nota de Revisión de la Investigación Dendrocronológica en España. *Invest. Agrar., Sist. Recur. For.* Vol. 3 (2)
- Pérez Moreda, V. (1980). Las crisis de mortalidad en la España interior (siglos XVI-XIX), Ed. Siglo XXI, Madrid. 528 pp.
- Pfister, C.; Brázdil, R.; Glaser, R.; Barriendos, M.; Camuffo, D.; Deutsch, M.; Dobrovolny, P.; Enzi, S.; Guidoboni, E.; Kotyza, O.; Militzer, S.; Rácz, L. y Rodrigo, F.S. (1999). Documentary evidence on climate in sixteenth century Europe. *Climatic Change*, 43: 55-110.
- Puig, I. (1949). Épocas de sequía y de lluvias en España durante la antigüedad. *Revista Ibérica*, 167: 138-142.
- Puig de Fábregas, J. y Creus, J. (1976). Climatología histórica y dendrocronología de *Pinus Uncinata* Ramona. *Cuadernos de investigación Geografía e Historia*, 2 (2): 17-30.
- Quereda, J.; Montón, E. y Escrig, J. (2000). La evolución de las precipitaciones en la cuenca occidental del Mediterráneo: ¿tendencias o ciclos?. *Investigaciones geográficas*, 24: 17-35.
- R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- RECLIDO (2004). <http://www.ucm.es/info/reclido/es/home-es.htm> (acceso 28-11-2011).
- Richter, K. y Eckstein, D. (1991). The Dendrochronological Signal Of Pine Trees (*Pinus* Spp.) in Spain. *Tree Ring Bulletin*, 51
- Richter, K. y Rodríguez Trobajo, E. (1985). Dendrocronología en España. *Revista Montes*, 5 :12-20.
- Richter, K. y Rodríguez Trobajo, E. (1986). El banco de datos dendrocronológico para la Península Ibérica. *Koine* 1: 66-77.
- Rodrigo, F.S.; Esteban-Parra, M.J.; Pozo-Vázquez, D. y Castro-Díez, Y. (1997). On the early meteorological instrumental series in Andalucía (southern Spain): a case study from Granada (1796-1797). *Giuseppe Toaldo e il suo tempo*. Bertinello Artigrafiche: 899-906, Padova.
- Rodrigo, F.S.; Esteban-Parra, M.J.; Pozo-Vázquez, D. y Castro-Díez, Y. (1999). A 500 years precipitation record in southern Spain. *Int. J. Climatol.*, 19: 1233-1253.
- Rodrigo, F.S., Esteban-Parra, M.J., Pozo-Vázquez, F., Castro-Díez, Y., (2000). On the variability of rainfall in southern Spain in decadal to centennial time scales. *International Journal of Climatology*, 20: 721-732.

- Rodríguez de la Torre (2002). Metodología de la investigación histórica de desastres naturales. En: Riesgos Naturales, Ariel Ciencia [Ayala (ed.)]: 211-242.
- Rodríguez Grajera, A. (1989). Las crisis de mortalidad en la Alta Extremadura durante el siglo XVII. Revista de demografía histórica, 7 (3): 37-54. ISSN 0213-1145.
- Romero, L.E.; Mayer, P. (2002). Episodios de sequía en Gran Canaria en el siglo XVII: análisis de las rogativas como método de reconstrucción climática. En: III Congreso AEC. El Agua y el Clima. Asociación Española de Climatología, 533-542.
- Rubio y del Valle (2005). Estudio de la evolución de régimen hidrológico en zonas húmedas drenadas: los humedales del Cañizar (Provincia de Teruel, España). Investigaciones Geográficas, 38: 47-63
- Ruiz García, J.M. (1998). Desarrollo de un Modelo Hidrológico Distribuido de Simulación Continua Integrado con un Sistema de Información Geográfica. Centro de Experimentación de Obras Públicas, CEDEX. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Ministerio de Fomento. Mayo 1998
- Salva-Sinobas (2012). <http://salva-sinobas.uvigo.es/index.php> (acceso 12-06-2012).
- Santana (1999) Primeros resultados para la reconstrucción dendroclimática de Canarias. Aplicación al estudio de la relación entre el cambio medioambiental y sistemas culturales: el ejemplo de La Palma. Vegueta, nº4 pp.:9-25
- Santana (2001). Evolución del paisaje de Gran Canaria (siglos XV- XIX). Ediciones del Cabildo de Gran Canaria. 300 pp.
- Saz, M.A. y Creus, J. (1998). Estudio dendroclimático de las rachas secas y húmedas en el sector central de la depresión del Ebro. Geographicalia, 36: 159-172.
- Saz, M.A. y Creus, J. (2001). El clima de La Rioja desde el siglo XV. Reconstrucciones dendroclimáticas en el observatorio de Haro. Zubía Monográfico: 41-64.
- Saz, M.A. y Creus, J. (2003). Temperaturas y precipitaciones en la mitad norte de España desde el siglo XV. Estudio dendroclimático. Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón:1-38.
- Saz, M.A. y Cuadrat, J.M. (2009). Recent climate trends and multiseccular climate variability: temperature and precipitation during the cold season (October-March) in the Ebro Basin (NE of Spain) between 1500 and 2008. European conference on applications of meteorology. EMA annual meeting. EMS & ECAM 2009. 28 Septiembre-02 Octubre 2009, Toulouse, Francia.
- SINEAQUA (2012). <http://www.sineaqua.es/index.php>. (acceso 12-06-2012)
- Tallaksen, L.M. y van Lanen, H. (2004). Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater”. Development in Water Sciences no. 48. Elsevier Publ. Holanda
- Témez, J.R. (2005). Fluctuaciones pluviométricas en la Península Ibérica desde el año 1856 y su repercusión en los Planes Hidrológicos. Revista de Obras Públicas, 3460: 33-40.



- Témez, J.R. (2007). Sequías en la Península Ibérica: records históricos y leyes de frecuencia. *Ingeniería Civil*, 145: 133-139.
- Universidad de Castilla-La Mancha (2011). La Reconstrucción de Series Hidrológicas mediante Dendrocronologías y su Utilización para la Identificación de Sequías Históricas en España. Informe para el CEDEX del Grupo de Ingeniería del Agua de la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos.
- Universidad de Nebraska–Lincoln (2012). Checklist of Historical, Current, and Potential Drought Impacts. En: <http://drought.unl.edu/portals/0/docs/checklist.pdf> (acceso: 22-05-2012).
- Vaquero, J. M.; Gallego, M. C. y García, J.A. (2001). The First known instrumental meteorological observations in Extremadura (Spain): Badajoz (1830). En: *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, [M. Brunet & D. López (eds.)], Springer: 43-52.
- Vaquero, J. M.; Gallego, M. C. y García, J.A. (2002),- A 250-year cycle in naked-eye observations of sunspots, *Geophys. Res. Lett.*, 29 (20). doi:10.1029/2002GL014782.
- Vicente-Serrano, S.M. (2006). Spatial and temporal analysis of droughts in the Iberian Peninsula (1910–2000). *Hydrological Sciences Journal*, 51 (1), 83-97.
- Vicente Serrano, S.M. y Cuadrat, J.M. (2007). North Atlantic oscillation control of drought in north-east Spain: evaluation since 1600 A.D. *Climatic Change*, 85: 357–379.
- Wheeler, D. (2007). The Gibraltar climatic record: part 2 – precipitation. *Weather*, 62: 99-104.
- Zamora, R. (2000). El estudio de la sequía de principios del siglo XIX en Orihuela, a partir de los valores de las rogativas " pro pluviam". *Investigaciones Geográficas*, 23: 165-173.
- Zurita, J. (2003). *Anales de Aragón*. Institución Fernando el Católico, 2473, Excma. Diputación de Zaragoza. 383 pp.