



# **UNIVERSIDAD DE MURCIA**

## **ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO**

**Estimación del Impacto del Cambio Global  
sobre el Riesgo de Sequía en el Sureste  
de España: Evaluación y Pronóstico sobre  
los Recursos Hídricos y el Uso del Agua**

**D. Víctor Ruiz Álvarez**

**2020**



UNIVERSIDAD DE  
MURCIA



**UNIVERSIDAD DE MURCIA**  
**FACULTAD DE LETRAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA**

**TESIS DOCTORAL**

ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO GLOBAL SOBRE  
EL RIESGO DE SEQUÍA EN EL SURESTE DE ESPAÑA:  
EVALUACIÓN Y PRONÓSTICO SOBRE LOS RECURSOS  
HÍDRICOS Y EL USO DEL AGUA

**D. VÍCTOR RUIZ ÁLVAREZ**

*Tesis para optar a la Mención Internacional de Doctor en Historia,  
Geografía e Historia del Arte: Sociedad, Territorio y Patrimonio*

Tesis dirigida por:

**Dr. D. Francisco Belmonte Serrato**

*Universidad de Murcia*

**Dr. D. Ramón García Marín**

*Universidad de Murcia*

Murcia, septiembre de 2020





Durante el desarrollo del presente trabajo, Víctor Ruiz Álvarez, ha disfrutado de una Ayuda para la Formación del Profesorado Universitario (FPU), del subprograma de Formación y Movilidad dentro del Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016 en I+D+i, concedida por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.



A mi familia, especialmente a mi abuela Juana que tuvo  
que emigrar desde la huerta de Lorca hasta Archivel  
por una intensa sequía en mayo de 1936



## AGRADECIMIENTOS

Estas líneas ponen punto final a un largo camino que comenzó el 16 de junio de 2016, fecha en la que recibí la noticia que me habían concedido la beca FPU. Me resulta muy difícil resumir en tan pocas palabras mi gratitud hacia todas las personas que me han ayudado y acompañado en este periplo. A todos ellos mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, quiero dar las gracias a mi familia porque sin ellos este camino habría sido mucho más difícil. Ellos han sido el pilar en el que me ha apoyado en los buenos y malos momentos. En particular, quiero hacer mención especial a mis padres, que siempre han estado a mi lado dándome su apoyo en todas las decisiones tomadas en el ámbito universitario desde que empecé el Grado de Geografía y Ordenación del Territorio en septiembre de 2010. También a mi hermana Mari Carmen, con la que he vivido estos cuatro años en Murcia, y con la que he tenido la oportunidad de perderme y descubrir maravillosos rincones del mundo. Y por supuesto, a mi gemelo Marcos, mi apoyo incondicional en la vida y mejor amigo. Sin su ayuda este camino habría sido mucho más arduo.

No quiero olvidarme tampoco de mis tíos y primos, y por supuesto de mis abuelos (Aurora, Victoriano, Juana y Marcos) uno de los pilares más importantes de mi vida. Mi abuela Juana dejó este mundo pocos meses antes de comenzar la tesis. El fallecimiento de mi abuelo Victoriano me pilló a más de 10.000 km, en Santiago de Chile. Ambos me acompañaron en el inicio de este camino, y tuve el placer que estuvieran conmigo en momentos muy especiales como la entrega del Premio Extraordinario de Fin de Grado. Estoy seguro, que haya donde estén me han dado fuerzas para seguir adelante en los momentos de mayor debilidad. En este punto, también quiero acordarme de mi tía y madrina Antonia, que falleció en el año 2005. Ella que era funcionaria en la conserjería de Medio Ambiente, estaría muy contenta de la elección que hice al entrar en Geografía.

No me puedo olvidar en este momento del “Camino de la Memoria” que he compartido en dos ocasiones con mis hermanos, mi tío Andrés, mi prima María y mi cuñado Luis. Este es un homenaje a la familia Mulero León, ya que rememora el camino que no tuvieron más remedio que hacer en mayo de 1936 entre la huerta de Lorca y Archivel, como consecuencia de una intensa sequía que estaba assolando el sureste peninsular. Este hecho tiene mucho que ver con la elección de la temática de esta investigación.

Por otra parte, quiero dar las gracias a mis directores de tesis Paco Belmonte y Ramon García, por confiar siempre en mí. Su dedicación y orientación han sido imprescindibles en el desarrollo de este estudio. Ellos me han transmitido su pasión por la investigación, y sobre todo por la geografía. Además gracias a la Venía Docendi he podido ayudarles en tareas docentes durante tres años. Aunque el primer día comencé con muchos nervios, para mí ha sido una experiencia maravillosa y muy enriquecedora a nivel personal. Dar las gracias a todos los alumnos con los que he tenido el placer de impartir docencia, tanto el Grado de Geografía como en el Grado de Historia, mucho de los cuales considero actualmente como amigos. También mi agradecimiento a todos los profesores del departamento de Geografía de la Universidad de Murcia, con especial mención a Paco Gomariz, Yolanda Álvarez, José María Serrano y Cayetano Espejo.

Durante el desarrollo de la tesis he podido realizar dos estancias breves. La primera la efectué entre mayo y agosto de 2018 en el instituto de Geografía de la Universidad Pontificia Católica de Santiago de Chile, bajo la dirección de Francisco Javier Lozano Parra, al que agradezco enormemente la acogida que me hizo en un país que siempre llevaré en mi corazón. Con Javi pude aprender y disfrutar trabajando en el maravilloso mundo de los recursos hídricos. Siempre recordaré las salidas de campo en la zona de las bodegas de Viña Matetic, y la tremenda similitud de esos países con los del sureste peninsular a pesar de estar a 11.000 km de distancia. La segunda estancia la realicé entre abril y julio de 2019, en el Instituto Superior Técnico de la ciudad de Lisboa, bajo la dirección de la profesora María Manuela Portela. Con ella y con Luis Ángel Espinosa, aprendí numerosas metodologías sobre el comportamiento de las sequías. En estas palabras, quiero mencionar a las maravillosas personas que conocí tanto en Santiago en Chile como en Lisboa, a muchos de los cuales considero grandes amigos. En este punto, quiero agradecer a mi familia y amigos que me visitaron durante dichas estancias.

En estas líneas no puedo olvidarme de mis amigos, que han estado siempre apoyándome y animándome. Aunque no he podido quedar con ellos todo lo que me hubiera gustado durante la tesis, sé que siempre puedo contar con ellos para cualquier cosa. En primer lugar, quiero mencionar a mi grupo de amigos de Caravaca (Marina, Elena, Teresa, Irene David, Juan Antonio, Diego, Pablo, Antonio y David). En segundo lugar, quiero referirme a mis amigos del Máster en Planificación y Gestión de Riesgos Naturales (Marcos, Chema, José Luis, Carlos y Barbara), haciendo especial mención a Barbara, mi mejor amiga, que cruzó el charco junto con mi hermana y mi cuñado Luis, para compartir una

experiencia extraordinaria recorriendo parte de Sudamérica durante un mes. En tercer lugar, agradecer a mis amigos geógrafos, y sus largas conversaciones arreglando el mundo. En cuarto lugar, quiero aludir a todos mis amigos del proyecto FrostSE, haciendo especial mención a Juan Antonio, Javi, Paco, Miguel Ángel, Pedro, David y José María, con los que he compartido numerosas salidas de campo descubriendo y monitorizando los polos fríos del sureste peninsular. Las expediciones a los Campos de Hernán Perea han sido primordiales para desconectar por unos días de la rutina de la tesis. Por último, no puedo terminar estas palabras sin mencionar a Dani Moreno, y sobre todo a Rubén mi compañero de fatigas en el Laboratorio de Cartografía y Análisis Geográfico Regional. Su apoyo ha sido fundamental durante la redacción de la tesis, sobre todo en los momentos de mayor desánimo.

Por último, no quiero dejar en el tintero a las maravillosas personas con las que he compartido las “locuras” de viajes que he realizado durante el transcurso de la tesis. Las visitas a Marruecos, India, Nepal, Vietnam, Camboya, Argentina y Bolivia, han sido experiencias maravillosas y muy enriquecedoras a nivel personal. Cada una de las vivencias experimentadas en estos viajes forman parte de esta tesis. “Viajar es un ejercicio con consecuencias fatales para los prejuicios, la intolerancia y la estrechez de mente” (Mark Twain).

**Gracias por todo, con especial recuerdo a las personas que ya no están a mi lado.**

*Quiero volver a tierras niñas;  
llévenme a un blando país de aguas.*

*En grandes pastos envejezca  
y haga al río fábula y fábula.  
Tenga una fuente por mi madre  
y en la siesta salga a buscarla,  
y en jarras baje de una peña  
un agua dulce, aguda y áspera.*

*Me venza y pare los alientos  
el agua acérrima y helada.  
¡Rompa mi vaso y al beberla  
me vuelva niñas las entrañas!*

***Agua – Gabriela Mistral***

*Agua para la Tierra!, todo clama,  
y, ceñudo, el Señor no la derrama.*

*¡Ay, sequía, sequía,  
ni corre un río ni una madre cría!  
Llorad, llorad: lloremos  
hermanos de la tierra,  
a ver si nuestro llanto apiada al cielo.  
Llorad, llorad; lloremos  
sobre el inacabable surco abierto  
y ante el monte de piedra inacabable,  
a ver si redimimos las espigas,  
los rebaños, las aves y las hierbas*

***El silbo de la sequía- Miguel  
Hernández***

*Llueve en silencio, que esta lluvia es muda  
y no hace ruido sino con sosiego.  
El cielo duerme. Cuando el alma es viuda  
de algo que ignora, el sentimiento es ciego.  
Llueve. De mí (de este que soy) reniego...*

*Tan dulce es esta lluvia de escuchar  
(no parece de nubes) que parece  
que no es lluvia, mas sólo un susurrar  
que a sí mismo se olvida cuando crece.  
Llueve. Nada apetece...*

*No pasa el viento, cielo no hay que sienta.  
Llueve lejana e indistintamente,  
como una cosa cierta que nos mienta,  
como un deseo grande que nos miente.  
Llueve. Nada en mí siente...*

***Llueve en silencio, que esta lluvia es muda- Fernando Pessoa***



# ÍNDICE GENERAL

## ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO GLOBAL SOBRE EL RIESGO DE SEQUÍA EN EL SURESTE DE ESPAÑA: EVALUACIÓN Y PRONÓSTICO SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y EL USO DEL AGUA

<b>Resumen</b> .....	<b>1</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
1.1. Justificación .....	6
1.2. Hipótesis de trabajo.....	9
1.3. Objetivos .....	10
1.4. Estructura de trabajo .....	11
<b>CAPITULO II. RIESGO DE SEQUÍA: MARCO CONCEPTUAL</b> .....	<b>14</b>
1.1. Definición y tipología de sequías .....	17
1.2. Situaciones atmosféricas generadoras de episodios pluviométricos secos .....	28
2.2.1. Descripción de situaciones sinópticas de sequía .....	30
2.3. El papel de la Ordenación del Territorio en la mitigación del riesgo de sequía ..	39
2.3.1. Marco histórico .....	40
2.3.2. Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT) .....	42
2.3.3. Trasvase Tajo-Segura .....	51
2.3.3.1. Características de las Zonas Regables del Trasvase (ZRT) .....	55
2.3.3.2. Evolución de los consumos y las reservas del Trasvase Tajo Segura .....	59
2.3.3.3. Evolución de las reglas de explotación del Trasvase Tajo Segura .....	63
2.4. Control y prevención de las sequías por parte de los organismos públicos .....	76
2.4.1. Observatorio Europeo de Sequías (EDO) .....	77
2.4.2. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) .....	78
2.4.3. Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO) .....	80
2.4.4. Ministerio de Economía y Empresa (MINECO).....	85
2.4.5. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)- Instituto Pirenaico de Ecología (IPE) .....	85

2.4.6. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) .....	86
2.4.7. Junta de Andalucía- Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM) .....	88
2.4.8. Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT) .....	91
2.4.9. Confederación Hidrográfica del Segura (CHS) .....	94
2.5. Marco jurídico y político del riesgo de sequía .....	108
2.5.1. Directiva Marco del Agua (DMA 2000/60/CE).....	108
2.5.2. Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA).....	110
2.5.3. Reglamento de Planificación Hidrológico (RPH) .....	111
2.5.4. Instrucción de Planificación Hidrológica .....	112
2.5.5. Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH).....	113
2.5.6. Ley 13/2015, de 30 de marzo, de ordenación territorial y urbanística de la Región de Murcia .....	113
2.6. Cambios en los usos del suelo .....	115
2.6.1. Evolución de la superficie por categorías de usos del suelo entre 1990 y 2018 .....	116
2.6.2. Matriz de cambios de usos del suelo .....	120
<b>CAPITULO III. ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>132</b>
3.1. Demarcación Hidrográfica del Segura y Mancomunidad de los Canales del Taibilla .....	133
3.1.1. Relieve .....	143
3.1.2. Clima .....	145
3.1.3. Hidrología, demanda agrícola y disponibilidad de recursos hídricos .....	153
3.1.4. Litología y geología .....	165
3.1.5. Suelos .....	167
3.1.6. Vegetación natural .....	169
3.1.7. Uso del territorio .....	170
3.1.8. Población .....	173
<b>CAPITULO IV. TENDENCIAS Y VARIACIONES EN LAS PRECIPITACIONES .....</b>	<b>181</b>
4.1. Base de datos: Reconstrucción y homogeneización de las series de precipitación .....	188
4.1.1. Base de datos .....	188
4.1.2. Proceso de reconstrucción .....	193

4.2. Disposición espacial de los diferentes tipos de precipitación (origen atlántico, mediterráneo y convectivo) y distribución espacial de las precipitaciones a escala estacional .....	200
4.3. Análisis de las series de precipitación más longevas: períodos 1864-2019 y 1940-2019.....	210
4.3.1. Serie Alicante ciudad (1864-2019) .....	213
4.3.2. Serie Murcia ciudad (1864-2019) .....	224
4.3.3. Serie Yecla (1940-2019) .....	233
4.3.4. Serie Embalse del Cenajo (1940-2019) .....	238
4.3.5. Serie Caravaca (1940-2019) .....	242
4.3.6. Serie Embalse de Puentes (1940-2019) .....	248
4.3.7. Serie Pontones (1940-2019) .....	253
4.4. Regionalización de precipitaciones (periodo 1968-2017) .....	266
4.4.1. Proceso de regionalización de precipitaciones (período 1968-2017).....	267
4.4.2. Tendencias y variaciones de las precipitaciones por regiones (periodo 1968-2017) .....	276
4.4.2.1. Región 1- Ríos de la margen derecha del Segura .....	286
4.4.2.2. Región 2- Cabeceras de los ríos Segura y Mundo .....	289
4.4.2.3. Región 3- Nororiental y Ríos de la margen izquierda del Segura .....	292
4.4.2.4. Región 4- Franja costera y valles prelitorales .....	295
4.5. Distribución espacial de las variaciones de precipitación a escala mensual (periodo 1968-2017).....	298
4.6. Cambios y tendencias en el número de días de lluvia (1968-2017) .....	310

## **CAPITULO V. CAMBIOS Y EVOLUCIÓN EN LAS SECUENCIAS PLUVIOMÉTRICAS SECAS DE LA LARGA DURACIÓN .....318**

5.1. Análisis y evolución temporal de las secuencias pluviométricas secas en las series más longevas: 1864-2019 y 1940-2019 .....	326
5.1.1. Serie Alicante ciudad (1864-2019) .....	327
5.1.2. Serie Murcia ciudad (1864-2019) .....	331
5.1.3. Serie Yecla (1940-2019) .....	333
5.1.4. Serie Embalse del Cenajo (1940-2019) .....	335
5.1.5. Serie Caravaca (1940-2019) .....	338
5.1.6. Serie Embalse de Puentes (1940-2019) .....	340
5.1.7. Serie Pontones (1940-2019) .....	342
5.2. Regionalización de sequías (periodo 1968-2017) .....	360

5.2.1. Evolución temporal de las secuencias pluviométricas secas por regiones (periodo 1968-2017) .....	370
5.2.1.1. CPR1-RG1- Franja costera, valles y sierras prelitorales .....	370
5.2.1.2. CPR2-RG2 - Cabeceras de los ríos Segura y Mundo .....	373
5.2.1.3. CPR3-RG3 - Ríos de la margen izquierda y zona septentrional de las subcuencas de la margen derecha del Segura .....	376
5.2.1.4. CPR4 - RG4-Oriental .....	379
5.3. Distribución espacio-temporal de las secuencias pluviométricas secas (periodo 1968-2017) .....	382
5.4. Impacto del incremento de las temperaturas en las secuencias pluviométricas secas (1968-2017) .....	391
5.5. Influencia de los patrones de teleconexión (NAO, WeMO y MO) en las secuencias pluviométricas secas .....	400
5.5.1. Oscilación del Atlántico Norte (NAO) .....	400
5.5.2. Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) .....	402
5.5.3. Oscilación del Mediterráneo (MO) .....	404
5.6. Índice Estandarizado de Vulnerabilidad de Sequía- SDVI .....	409
<b>CAPITULO VI. CONCLUSIONES</b> .....	<b>416</b>
<b>CHAPTER VI. CONCLUSIONS</b> .....	<b>436</b>
<b>CAPITULO VII. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>455</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Secuencia evolutiva de los diferentes tipos de sequía operacional .....	25
Figura 2. Definición de parámetros de sequía (duración, magnitud e intensidad) a partir del cálculo del índice de sequía SPI .....	28
Figura 3. Situaciones y configuraciones atmosféricas causantes de las secuencias de sequías surestinas e ibéricas .....	30
Figura 4. Configuración atmosférica de cresta sahariana sobre la península ibérica. Mapa sinóptico del 13 de octubre de 1985 (Geopotencial 500 hPa y presión atmosférica). ...	31
Figura 5. Anomalía de presión atmosférica superficial durante el periodo 1981-1986 con respecto al periodo de referencia 1981-2010 .....	32
Figura 6. Configuración atmosférica de interacción vaguada/dorsal, situándose la dorsal sobre la fachada occidental mediterránea. Mapa sinóptico del 23 de enero de 1996 (Geopotencial 500 hPa y presión atmosférica). .....	33
Figura 7. Anomalía de presión atmosférica superficial y geopotencial a 500 hPa durante el periodo 1994-1995 con respecto al periodo de referencia 1981-2010 .....	34
Figura 8. Configuración atmosférica de bloqueo anticiclónico sobre la península ibérica. Mapa sinóptico del 10 de febrero de 2005 (Geopotencial 500 hPa y presión atmosférica) .....	35
Figura 9. Anomalía de presión atmosférica superficial y geopotencial a 500 hPa durante el año 2005 con respecto al periodo de referencia 1981-2010 .....	35
Figura 10. Configuración atmosférica típica de frentes atlánticos asociados a profundas borrascas, que penetran en la península ibérica por el noroeste. Mapa sinóptico del 10 de enero de 2014 (Geopotencial 500 hPa y presión atmosférica) .....	36
Figura 11. Anomalía de presión atmosférica superficial y geopotencial a 500 hPa durante el año 2014 con respecto al periodo de referencia 1981-2010 .....	37
Figura 12. Evolución del volumen total de recursos hídricos utilizado por la Mancomunidad de los Canales del Taibilla en función de distintas fuentes de abastecimiento .....	48
Figura 13. Distribución actual de las infraestructuras de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla .....	50
Figura 14. Infraestructuras básicas del Trasvase Tajo-Segura .....	53
Figura 15. Distribución espacial de las Zonas Regables del Trasvase .....	55
Figura 16. Evolución de los consumos netos (hm <sup>3</sup> ) del Trasvase Tajo Segura .....	60
Figura 17. Evolución del volumen aprobado en origen (hm <sup>3</sup> ) del Trasvase Tajo Segura... ..	60
Figura 18. Comparativa de los umbrales de los niveles de las antiguas y nuevas reglas de explotación del Trasvase Tajo-Segura .....	67
Figura 19. Evolución por niveles de las existencias conjuntas mensuales de Entrepeñas y Buendía entre el periodo 1981/82 y 2018/19 .....	69

Figura 20. Evolución de los valores mensuales de las existencias conjuntas mensuales de Entrepeñas y Buendía entre el periodo 1979/80 y 2018/19.....	<b>70</b>
Figura 21. Monitor de sequía de Estados Unidos .....	<b>77</b>
Figura 22. Índice combinado de sequía del Observatorio Europeo de sequías .....	<b>78</b>
Figura 23. Cartografía de vigilancia de sequía meteorológica a partir del SPI en España .....	<b>79</b>
Figura 24. Seguimiento de los indicadores de sequía y escasez a fecha de noviembre de 2019 .....	<b>81</b>
Figura 25. Monitor global de sequía del índice SPI con una escala temporal de 12 meses a fecha de diciembre de 2014 .....	<b>86</b>
Figura 26. Cartografía espacial de seguimiento de la sequía pluviométrica en Andalucía a partir el índice de sequía IESP a fecha de noviembre de 2017 .....	<b>89</b>
Figura 27. Unidades Territoriales de la Demarcación Hidrográfica del Segura .....	<b>96</b>
Figura 28. Índice de escasez coyuntural en la Demarcación Hidrográfica del Segura a fecha de 1 de enero de 2020 .....	<b>99</b>
Figura 29. Índice de sequía prolongada en la Demarcación Hidrográfica del Segura a fecha de 1 de enero de 2020. ....	<b>100</b>
Figura 30. Evolución del índice de escasez coyuntural de la UTE1 y el Sistema Global de la Demarcación Hidrográfica del Segura durante el periodo 2007-2019 .....	<b>101</b>
Figura 31. Evolución comparativa del índice de escasez coyuntural en los subsistemas de cuenca y trasvase de la UTE1 de la Demarcación Hidrográfica del Segura durante el periodo 2007-2019 .....	<b>102</b>
Figura 32. Comparativa de la evolución de la superficie de las categorías de usos del suelo del Nivel 1 entre 1990 y 2018 .....	<b>116</b>
Figura 33. Distribución espacial de los usos del suelo en 1990 (Nivel 1) .....	<b>119</b>
Figura 34. Distribución espacial de los usos del suelo en 2018 (Nivel 2) .....	<b>119</b>
Figura 35. Diagrama de flujos empleado para la elaboración de la matriz de cambios de usos del suelo .....	<b>120</b>
Figura 36. Distribución espacial de la superficie de ganancias de usos del suelo entre 1990 y 2018 .....	<b>124</b>
Figura 37. Distribución espacial de la superficie de ganancias de las categorías Artificial y Regadío entre 1990 y 2018 .....	<b>126</b>
Figura 38. Distribución espacial de la superficie de pérdidas de usos del suelo entre 1990 y 2018 .....	<b>129</b>
Figura 39. Área de estudio .....	<b>134</b>
Figura 40. Distribución espacial de las comarcas .....	<b>136</b>
Figura 41. Distribución espacial de los municipios .....	<b>140</b>
Figura 42. Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Segura .....	<b>142</b>

Figura 43. Ámbito territorial de la Mancomunidad de Canales del Taibilla .....	<b>142</b>
Figura 44. Relieve .....	<b>143</b>
Figura 45. Precipitación media de las demarcaciones hidrográficas europeas .....	<b>147</b>
Figura 46. Precipitación media anual (periodo de referencia 1981-2010) .....	<b>148</b>
Figura 47. Temperatura media anual en la DHS .....	<b>150</b>
Figura 48. Evapotranspiración Real media en la DHS .....	<b>151</b>
Figura 49. Clasificación climática de Köppen para España (periodo de referencia 1981-2010).....	<b>152</b>
Figura 50. Hidrología .....	<b>154</b>
Figura 51. Embalses de cabecera y margen derecha del Segura .....	<b>156</b>
Figura 52. Embalses de regulación del TTS. A) Talave, B) Camarillas, C) Ojós y D) La Pedrera .....	<b>157</b>
Figura 53. Zonas Hidráulicas .....	<b>158</b>
Figura 54. Subzonas Hidráulicas .....	<b>160</b>
Figura 55. Distribución espacial de las Unidades de Demanda Agraria .....	<b>161</b>
Figura 56. Distribución espacial de las unidades litológicas .....	<b>167</b>
Figura 57. Distribución espacial de los tipos de suelo .....	<b>168</b>
Figura 58. Distribución espacial de los usos del suelo .....	<b>172</b>
Figura 59. Distribución espacial de la población por comarcas .....	<b>175</b>
Figura 60. Variación interdecadal (%) de la población de las siguientes comarcas: A-Noroeste, B-Sierra del Segura, C-Huerta de Murcia y D-Vega Baja del Segura .....	<b>175</b>
Figura 61. Distribución espacial de la densidad de población por comarcas .....	<b>176</b>
Figura 62. Distribución espacial de la población a escala municipal. ....	<b>179</b>
Figura 63. Distribución espacial de la densidad de población a escala municipal .....	<b>179</b>
Figura 64. Tendencias de precipitación anual (mm/década) del conjunto de datos del Climatic Research Unit (CRU), para los periodos temporales 1901-2010 y 1951-2010. ....	<b>183</b>
Figura 65. Cambios en la precipitación media anual (en %) del periodo 2081-2100 con respecto al periodo 1986-2015. ....	<b>186</b>
Figura 66. Cambios de precipitación estimados por las proyecciones regionalizadas de cambio climático para la Demarcación Hidrográfica del Segura hasta finales del S.XXI .....	<b>187</b>
Figura 67. Evolución del número de series originales y sin lagunas tras el proceso de homogeneización y relleno de lagunas .....	<b>190</b>

Figura 68. Distribución espacial de las series de precipitación utilizadas en la base datos .....	<b>191</b>
Figura 69. Esquema conceptual del proceso de reconstrucción de la base de datos de precipitación a escala diaria .....	<b>200</b>
Figura 70. Peso (en porcentaje) de cada uno de los tres tipos de precipitación diferenciados, sobre el total de precipitación anual para el periodo 1955-1985 en la Demarcaciones Hidrográficas de los ríos Segura y Júcar .....	<b>203</b>
Figura 71. Precipitación media en invierno (periodo de referencia 1981-2010) .....	<b>207</b>
Figura 72. Precipitación media en primavera (periodo de referencia 1981-2010) .....	<b>208</b>
Figura 73. Precipitación media en verano (periodo de referencia 1981-2010) .....	<b>209</b>
Figura 74. Precipitación media en otoño (periodo de referencia 1981-2010) .....	<b>210</b>
Figura 75. Distribución espacial de las siete series largas de precipitación utilizadas .....	<b>211</b>
Figura 76. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie de Alicante ciudad para el periodo 1864-2019 .....	<b>215</b>
Figura 77. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie de Alicante ciudad para el periodo 1940-2019 .....	<b>216</b>
Figura 78. Categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico en la serie de Alicante ciudad para el periodo 1864-2019 .....	<b>217</b>
Figura 79. Anomalía en el geopotencial a 500 hPa durante el periodo 1870-1890 con respecto al periodo de referencia 1981-2010 .....	<b>218</b>
Figura 80. Anomalía de precipitación en el otoño de 1884 con respecto al periodo 1981-2005. ....	<b>220</b>
Figura 81. Evolución de la precipitación a escala estacional a partir de una media móvil de 30 años en la serie de Alicante ciudad para el periodo 1864-2019 .....	<b>222</b>
Figura 82. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses (periodo interanual) en la serie de Alicante ciudad para el periodo 1864-2019 .....	<b>224</b>
Figura 83. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 24 meses (periodo bianual) en la serie de Alicante ciudad para el periodo 1864-2019 .....	<b>224</b>
Figura 84. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie de Murcia ciudad para el periodo 1864-2019 .....	<b>226</b>
Figura 85. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie de Murcia ciudad para el periodo 1940-2019 .....	<b>227</b>
Figura 86. Categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico en la serie de Murcia ciudad para el periodo 1864-2019 .....	<b>228</b>
Figura 87. Evolución de la precipitación a escala estacional a partir de una media móvil de 30 años en la serie de Murcia ciudad para el periodo 1864-2019 .....	<b>229</b>



Figura 88. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses (periodo interanual) en la serie de Murcia ciudad para el periodo 1864-2019 .....	<b>230</b>
Figura 89. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 24 meses (periodo bianual) en la serie de Murcia ciudad para el periodo 1864-2019.....	<b>230</b>
Figura 90. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie de Yecla para el periodo 1940-2019 .....	<b>234</b>
Figura 91. Categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico en la serie de Yecla para el periodo 1940-2019 .....	<b>235</b>
Figura 92. Evolución de la precipitación a escala estacional a partir de una media móvil de 30 años en la serie de Yecla para el periodo 1940-2019 .....	<b>236</b>
Figura 93. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses (periodo interanual) en la serie de Yecla para el periodo 1940-2019 .....	<b>237</b>
Figura 94. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 24 meses (periodo bianual) en la serie de Yecla para el periodo 1940-2019 .....	<b>237</b>
Figura 95. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie Embalse del Cenajo para el periodo 1940-2019 .....	<b>239</b>
Figura 96. Categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico en la serie Embalse del Cenajo para el periodo 1940-2019. ....	<b>240</b>
Figura 97. Evolución de la precipitación a escala estacional a partir de una media móvil de 30 años en la serie Embalse del Cenajo para el periodo 1940-2019 .....	<b>241</b>
Figura 98. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses (periodo interanual) en la serie Embalse del Cenajo para el periodo 1940-2019 .....	<b>242</b>
Figura 99. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 24 meses (periodo bianual) en la serie Embalse del Cenajo para el periodo 1940-2019 .....	<b>242</b>
Figura 100. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie de Caravaca para el periodo 1940-2019 .....	<b>244</b>
Figura 101. Categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico en la serie de Caravaca para el periodo 1940-2019 .....	<b>245</b>
Figura 102. Evolución de la precipitación a escala estacional a partir de una media móvil de 30 años en la serie de Caravaca para el periodo 1940-2019 .....	<b>246</b>
Figura 103. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses (periodo interanual) en la serie de Caravaca para el periodo 1940-2019 .....	<b>247</b>
Figura 104. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 24 meses (periodo interanual) en la serie de Caravaca para el periodo 1940-2019 .....	<b>247</b>
Figura 105. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie Embalse de Puentes para el periodo 1940-2019 .....	<b>249</b>

Figura 106. Categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico en la serie Embalse de Puentes para el periodo 1940-2019 .....	<b>250</b>
Figura 107. Evolución de la precipitación a escala estacional a partir de una media móvil de 30 años en la serie Embalse de Puentes para el periodo 1940-2019 .....	<b>251</b>
Figura 108. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses (periodo interanual) en la serie Embalse de Puentes para el periodo 1940-2019 .....	<b>252</b>
Figura 109. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 24 meses (periodo bianual) en la serie Embalse de Puentes para el periodo 1940-2019 .....	<b>253</b>
Figura 110. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie de Pontones para el periodo 1940-2019. ....	<b>254</b>
Figura 111. Categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico en la serie de Pontones para el periodo 1940-2019 .....	<b>256</b>
Figura 112. Nacimiento del río Segura (Santiago Pontones, Jaén) en noviembre de 2017 .....	<b>257</b>
Figura 113. Evolución de la precipitación a escala estacional a partir de una media móvil de 30 años en la serie de Pontones para el periodo 1940-2019 .....	<b>257</b>
Figura 114. Presa del embalse de la Fuensanta en marzo de 2013 .....	<b>263</b>
Figura 115. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses (periodo interanual) en la serie de Pontones para el periodo 1940-2019 .....	<b>264</b>
Figura 116. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 24 meses (periodo bianual) en la serie de Pontones para el periodo 1940-2019. ....	<b>265</b>
Figura 117. Varianza explicada por los diez primeros valores propios resultantes del análisis ACP aplicado a las series de precipitación mensual .....	<b>269</b>
Figura 118. Mapa de correlación espacial entre cada CPR y la series de precipitación mensual .....	<b>270</b>
Figura 119. Áreas homogéneas con valores del coeficiente correlación superior a 0,6 entre capa CPR y las series de precipitación mensual (parte izquierda) y regiones homogéneas definitivas (parte derecha) .....	<b>272</b>
Figura 120. Distribución de la altimetría por regiones .....	<b>275</b>
Figura 121. Distribución de la precipitación media anual (periodo de referencia 1981-2010) por regiones. ....	<b>277</b>
Figura 122. Diagrama de cajas de la precipitación anual por regiones en el periodo de referencia 1981-2010 .....	<b>278</b>
Figura 123. Categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico para el periodo 1968-2017 .....	<b>279</b>
Figura 124. Anomalía de precipitación en el verano durante el periodo 1990-2019 con respecto al periodo de referencia 1971-2000 .....	<b>281</b>

Figura 125. Anomalía de precipitación en el mes de junio durante el periodo 1990-2019 con respecto al periodo de referencia 1971-2000 .....	<b>282</b>
Figura 126. Anomalía de precipitación en el mes de septiembre durante el periodo 1990-2019 con respecto al periodo de referencia 1971-2000 .....	<b>283</b>
Figura 127. Anomalía de precipitación en el mes de diciembre durante el periodo 2009-2019 con respecto al periodo de referencia 1971-2000 .....	<b>285</b>
Figura 128. Fórmula aplicada para el cálculo de las series de precipitación regionalizadas mediante el método de los polígonos de Thiessen .....	<b>286</b>
Figura 129. Evolución de la precipitación anual en la RG1 (periodo 1968-2017) .....	<b>287</b>
Figura 130. Evolución de la precipitación a escala estacional en la RG1 (periodo 1968-2017). .....	<b>287</b>
Figura 131. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses en la RG1 (periodo 1968-2017) .....	<b>288</b>
Figura 132. Evolución de la precipitación anual en la RG2 (periodo 1968-2017) .....	<b>290</b>
Figura 133. Evolución de la precipitación a escala estacional en la RG2 (periodo 1968-2017) .....	<b>290</b>
Figura 134. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses en la RG2 (periodo 1968-2017) .....	<b>291</b>
Figura 135. Evolución de la precipitación anual en la RG3 (periodo 1968-2017) .....	<b>292</b>
Figura 136. Evolución de la precipitación a escala estacional en la RG3 (periodo 1968-2017) .....	<b>293</b>
Figura 137. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses en la RG3 (periodo 1968-2017) .....	<b>294</b>
Figura 138. Evolución de la precipitación anual en la RG4 (periodo 1968-2017) .....	<b>295</b>
Figura 139. Evolución de la precipitación a escala estacional en la RG4 (periodo 1968-2017) .....	<b>296</b>
Figura 140. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses en la RG4 (periodo 1968-2017) .....	<b>296</b>
Figura 141. Distribución espacial de las tendencias de precipitación (mm/década) a escala anual para el periodo 1968-2017 .....	<b>299</b>
Figura 142. Signo de la tendencia de precipitación a escala anual para el periodo 1968-2017 .....	<b>300</b>
Figura 143. Distribución espacial de las tendencias de precipitación (mm/década) a escala estacional para el periodo 1968-2017 .....	<b>302</b>
Figura 144. Signo de la tendencia de precipitación durante la primavera para el periodo 1968-2017 .....	<b>303</b>

Figura 145. Signo de la tendencia de precipitación durante el verano para el periodo 1968-2017 .....	<b>303</b>
Figura 146. Distribución espacial de las tendencias de precipitación (mm/década) durante los meses comprendidos entre septiembre y febrero para el periodo 1968-2017 .....	<b>304</b>
Figura 147. Signo de la tendencia de precipitación durante septiembre para el periodo 1968-2017 .....	<b>305</b>
Figura 148. Signo de la tendencia de precipitación durante octubre para el periodo 1968-2017 .....	<b>305</b>
Figura 149. Distribución espacial de las tendencias de precipitación (mm/década) durante los meses comprendidos entre marzo y agosto para el periodo 1968-2017 .....	<b>307</b>
Figura 150. Signo de la tendencia de precipitación durante mayo para el periodo 1968-2017 .....	<b>308</b>
Figura 151. Signo de la tendencia de precipitación durante junio para el periodo 1968-2017 .....	<b>309</b>
Figura 152. Signo de la tendencia de precipitación durante julio para el periodo 1968-2017 .....	<b>309</b>
Figura 153. Signo de la tendencia de precipitación durante agosto para el periodo 1968-2017 .....	<b>309</b>
Figura 154. Cambios en el número de días de lluvia estimados por las proyecciones regionalizadas de cambio climático para la Demarcación Hidrográfica del Segura hasta finales del S.XXI .....	<b>310</b>
Figura 155. Cambios en el número de días de precipitación a escala anual (periodo 1968-2017). .....	<b>310</b>
Figura 156. Tendencia (días/década) del número de días de lluvia (precipitación $\geq 1$ mm) a escala anual (periodo 1968-2017). .....	<b>311</b>
Figura 157. Cambios en el número de días de precipitación durante el invierno (periodo 1968-2017) .....	<b>313</b>
Figura 158. Cambios en el número de días de precipitación durante la primavera (periodo 1968-2017) .....	<b>314</b>
Figura 159. Cambios en el número de días de precipitación durante el verano (periodo 1968-2017) .....	<b>315</b>
Figura 160. Cambios en el número de días de precipitación durante el otoño (periodo 1968-2017). .....	<b>316</b>
Figura 161. Proyección de cambio futuro en la intensidad de sequías del periodo 2051-2100, en comparación con el periodo de referencia 1950-2014 y para los modelos CMIP5 y CMIP6, a partir del RCP 8.5 .....	<b>322</b>

Figura 162. Distribución espacial de las siete series largas de precipitación utilizadas .....	<b>327</b>
Figura 163. Evolución temporal del SPI12 en la serie de Alicante (1864-2019). .....	<b>328</b>
Figura 164. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie de Alicante (1864-2019), mediante una curva suavizada con el método LOWESS .....	<b>330</b>
Figura 165. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie de Alicante (1864-2019) mediante análisis con el método KORE .....	<b>330</b>
Figura 166. Evolución temporal del SPI12 en la serie de Murcia (1864-2019) .....	<b>331</b>
Figura 167. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie de Murcia (1864-2019), mediante curva suavizada con el método LOWESS .....	<b>332</b>
Figura 168. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie de Murcia (1864-2019) mediante análisis con el método KORE .....	<b>332</b>
Figura 169. Evolución temporal del SPI12 en la serie de Yecla (1940-2019) .....	<b>333</b>
Figura 170. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie de Yecla (1940-2019), mediante curva suavizada con el método LOWESS .....	<b>335</b>
Figura 171. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie de Yecla (1940-2019) mediante análisis con el método KORE .....	<b>335</b>
Figura 172. Evolución temporal del SPI12 en la serie Embalse del Cenajo (1940-2019) .....	<b>336</b>
Figura 173. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie Embalse de Cenajo (1940-2019), mediante curva suavizada con el método LOWESS .....	<b>337</b>
Figura 174. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie Embalse de Cenajo (1940-2019) mediante análisis con el método KORE .....	<b>337</b>
Figura 175. Evolución temporal del SPI12 en la serie de Caravaca (1940-2019) .....	<b>338</b>
Figura 176. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie de Caravaca (1940-2019), mediante curva suavizada con el método LOWESS .....	<b>339</b>
Figura 177. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie de Caravaca (1940-2019) mediante análisis con el método KORE .....	<b>339</b>
Figura 178. Evolución temporal del SPI12 en la serie Embalse de Puentes (1940-2019) .....	<b>340</b>

Figura 179. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie Embalse de Puentes (1940-2019), mediante curva suavizada con el método LOWESS .....	<b>341</b>
Figura 180. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie Embalse de Puentes (1940-2019) mediante análisis con el método KORE .....	<b>342</b>
Figura 181. Evolución temporal del SPI12 en la serie de Pontones (1940-2019) .....	<b>343</b>
Figura 182. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie de Pontones (1940-2019), mediante curva suavizada con el método LOWESS .....	<b>344</b>
Figura 183. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie de Pontones (1940-2019) mediante análisis con el método KORE .....	<b>344</b>
Figura 184. Evolución temporal del volumen mensual conjunto (hm <sup>3</sup> ) Fuensanta-Cenajo desde el año hidrológico 1967/68 hasta la actualidad .....	<b>346</b>
Figura 185. Evolución de las reservas hídricas del Embalse del Cenajo entre A) octubre 2017 y B) mayo 2020 mediante la aplicación del índice NDWI .....	<b>348</b>
Figura 186. Evolución de las reservas hídricas del Embalse de la Fuensanta entre A) octubre 2017 y B) mayo 2020 mediante la aplicación del índice NDWI .....	<b>349</b>
Figura 187. Varianza explicada por los diez primeros valores propios resultantes del ACP aplicado a las series de SPI12 .....	<b>362</b>
Figura 188. Mapa de correlación espacial entre cada CPR y las series del SPI12 .....	<b>364</b>
Figura 189. Áreas homogéneas con valores del coeficiente correlación superior a 0,6 entre capa CPR y las serie de precipitación mensual (parte izquierda) y regiones homogéneas definitivas (parte derecha) .....	<b>365</b>
Figura 190. Distribución de la altimetría por regiones .....	<b>368</b>
Figura 191. Distribución de la precipitación media anual (periodo de referencia 1981-2010) por regiones .....	<b>369</b>
Figura 192. Evolución temporal del SPI12 en la serie regionalizada de la CPR1 (1968-2017) .....	<b>371</b>
Figura 193. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie regionalizada de la CPR1 (1968-2017), mediante curva suavizada con el método LOWESS .....	<b>371</b>
Figura 194. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie regionalizada de la CPR1 (1968-2017) mediante análisis con el método KORE .....	<b>372</b>
Figura 195. Evolución temporal del porcentaje de área afectada por sequías con diferentes grados de severidad en la RG1 .....	<b>373</b>
Figura 196. Evolución temporal del SPI12 en la serie regionalizada de la CPR2 (1968-2017). .....	<b>374</b>

Figura 197. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie regionalizada de la CPR2 (1968-2017), mediante curva suavizada con el método LOWESS .....	<b>374</b>
Figura 198. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie regionalizada de la CPR2 (1968-2017) mediante análisis con el método KORE. ....	<b>375</b>
Figura 199. Evolución temporal del porcentaje de área afectada por sequías con diferentes grados de severidad en la RG2 .....	<b>376</b>
Figura 200. Evolución temporal del SPI12 en la serie regionalizada de la CPR3 (1968-2017) .....	<b>377</b>
Figura 201. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie regionalizada de la CPR3 (1968-2017), mediante curva suavizada con el método LOWESS .....	<b>377</b>
Figura 202. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie regionalizada de la CPR3 (1968-2017) mediante análisis con el método KORE .....	<b>379</b>
Figura 203. Evolución temporal del porcentaje de área afectada por sequías con diferentes grados de severidad en la RG3 .....	<b>379</b>
Figura 204. Evolución temporal del SPI12 en la serie regionalizada de la CPR4 (1968-2017) .....	<b>380</b>
Figura 205. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie regionalizada de la CPR4 (1968-2017), mediante curva suavizada con el método LOWESS .....	<b>381</b>
Figura 206. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie regionalizada de la CPR4 (1968-2017) mediante análisis con el método KORE .....	<b>381</b>
Figura 207. Evolución temporal del porcentaje de área afectada por sequías con diferentes grados de severidad en la RG4 .....	<b>382</b>
Figura 208. Evolución espacio-temporal de la sequía 1970-1971 .....	<b>383</b>
Figura 209. Evolución espacio-temporal de la sequía 1978-1979.....	<b>384</b>
Figura 210. Evolución espacio-temporal de la sequía 1981-1982.....	<b>385</b>
Figura 211. Evolución espacio-temporal de la sequía 1983-1986.....	<b>386</b>
Figura 212. Evolución espacio-temporal de la sequía 1993-1996.....	<b>387</b>
Figura 213. Evolución espacio-temporal de la sequía 1998-2001 .....	<b>388</b>
Figura 214. Evolución espacio-temporal de la sequía 2005-2006 .....	<b>389</b>
Figura 215. Evolución espacio-temporal de la sequía 2013-2016.....	<b>390</b>
Figura 216. Evolución temporal de las temperaturas en la España peninsular, Baleares, Ceuta y Melilla, durante el periodo 1961-2018 .....	<b>391</b>
Figura 217. Distribución espacial de los seis observatorios utilizados .....	<b>392</b>

Figura 218. Diferencia registrada en los valores del SPI y SPEI en la serie de Alicante (periodo 1968-2017) .....	<b>393</b>
Figura 219. Diferencia registrada en los valores del SPI y SPEI en la serie de Murcia/Alcantarilla (periodo 1968-2017) .....	<b>394</b>
Figura 220. Diferencia registrada en los valores del SPI y SPEI en la serie de Alhama/Huerta España (periodo 1968-2017) .....	<b>394</b>
Figura 221. Diferencia registrada en los valores del SPI y SPEI en la serie de Jumilla (periodo 1968-2017) .....	<b>394</b>
Figura 222. Diferencia registrada en los valores del SPI y SPEI en la serie de Cehegín (periodo 1968-2017) .....	<b>395</b>
Figura 223. Diferencia registrada en los valores del SPI y SPEI en la serie de Pontones (periodo 1968-2017) .....	<b>395</b>
Figura 224. Evolución temporal comparativa de los valores del SPI/SPEI-12 en la serie de Alicante (periodo 1968-2017).....	<b>397</b>
Figura 225. Evolución temporal comparativa de los valores del SPI/SPEI-12 en la serie de Murcia/Alcantarilla periodo 1968-2017) .....	<b>397</b>
Figura 226. Evolución temporal comparativa de los valores del SPI/SPEI-12 en la serie de Alhama Huerta España (periodo 1968-2017).....	<b>398</b>
Figura 227. Evolución temporal comparativa de los valores del SPI/SPEI-12 en la serie de Jumilla (periodo 1968-2017) .....	<b>398</b>
Figura 228. Evolución temporal comparativa de los valores del SPI/SPEI-12 en la serie de Cehegín (periodo 1968-2017).....	<b>399</b>
Figura 229. Evolución temporal comparativa de los valores del SPI/SPEI-12 en la serie de Pontones (periodo 1968-2017) .....	<b>399</b>
Figura 230. Configuración atmosférica característica de las fases positiva y negativa de la Oscilación del Atlántico Norte .....	<b>401</b>
Figura 231. Correlación entre las series del SPI-12 y los valores del índice NAO promediado con una media móvil de 12 meses .....	<b>402</b>
Figura 232. Configuración atmosférica característica de las fases positiva y negativa de la Oscilación del Mediterráneo Occidental .....	<b>403</b>
Figura 233. Correlación entre las series del SPI-12 y los valores del índice WeMO promediado con una media móvil de 12 meses .....	<b>404</b>
Figura 234. Configuración atmosférica característica de las fases positiva y negativa de la Oscilación del Mediterráneo .....	<b>405</b>
Figura 235. Correlación entre las series del SPI-12 y los valores del índice MO promediado con una media móvil de 12 meses .....	<b>406</b>



Figura 236. Fases de los patrones de teleconexión más correlaciones con la génesis de secuencias pluviométricas secas .....	<b>407</b>
Figura 237. Fórmula para la obtención del SDVI .....	<b>410</b>
Figura 238. Mapa de vulnerabilidad de sequía por subzonas hidráulicas obtenido a partir de la aplicación del SDVI .....	<b>414</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Demanda hídrica bruta (hm <sup>3</sup> ) actual y estimación prevista por usos en la Demarcación Hidrográfica del Segura .....	7
Tabla 2. Estimación media de cambios (%) en la precipitación y evapotranspiración potencial según las proyecciones de cambio climático (escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5) en la Demarcación Hidrográfica del Segura .....	9
Tabla 3. Distribución del volumen máximo anual trasvasable en cada una de las Zonas Regables del Trasvase .....	54
Tabla 4. Distribución del volumen máximo anual trasvasable y de la superficie bruta en cada una de las Subzonas Regables del Trasvase .....	57
Tabla 5. Antiguas reglas de explotación del Trasvase Tajo Segura .....	64
Tabla 6. Nuevas reglas de explotación del Trasvase Tajo Segura .....	65
Tabla 7. Evolución del umbral mensual (hm <sup>3</sup> ) del nivel 3 de las reglas de explotación del Trasvase Tajo-Segura .....	68
Tabla 8. Caracterización del déficit en el regadío (demandas agrarias) de la Demarcación Hidrográfica del Segura .....	105
Tabla 9. Categorías de los dos niveles establecidos para el análisis de las transformaciones y cambios de los usos del suelo .....	116
Tabla 10. Evolución de la superficie (Km <sup>2</sup> ) en las categorías de usos del suelo del Nivel 1. ....	117
Tabla 11. Evolución de la superficie (Km <sup>2</sup> ) en las categorías de usos del suelo del Nivel 2 .....	117
Tabla 12. Matriz de cambios de usos del suelo .....	121
Tabla 13. Cambio neto, cambio total e intercambio en los usos del suelo (Nivel 1) expresados en km <sup>2</sup> entre 1990 y 2018 .....	123
Tabla 14. Distribución de la superficie por comunidades autónomas .....	133
Tabla 15. Distribución de la superficie por provincias.....	134
Tabla 16. Distribución de la superficie por comarcas .....	135
Tabla 17. Distribución de la superficie de los municipios de la Región de Murcia .....	137
Tabla 18. Distribución de la superficie de los municipios de la Comunidad Valenciana .....	138
Tabla 19. Distribución de la superficie de los municipios de Castilla-La Mancha .....	138
Tabla 20. Distribución de la superficie de los municipios de Andalucía .....	139
Tabla 21. Características básicas de los embalses con función de regadío .....	155
Tabla 22. Características básicas de las zonas hidráulicas .....	159
Tabla 23. Superficie de Unidades de Demanda Agraria por zonas hidráulicas .....	162
Tabla 24. Déficit medio de cada tipo de demanda para el horizonte 2021 .....	163

Tabla 25. Recursos hídricos totales estimados por el PHDS 2009/15 y por el PHDS 2015/21 para el horizonte de comparación 2015 (hm <sup>3</sup> /año).....	<b>164</b>
Tabla 26. Índice WEI+ anual (%).....	<b>165</b>
Tabla 27. Distribución de la superficie de los usos del suelo .....	<b>171</b>
Tabla 28. Distribución de población y densidad por comarcas .....	<b>174</b>
Tabla 29. Información básica de las 92 series de precipitación utilizadas en la base de datos reconstruida .....	<b>193</b>
Tabla 30. Información básica de las siete series largas de precipitación utilizadas .....	<b>211</b>
Tabla 31. Tendencia (mm/década) para los periodos 1864-2019 y 1940 -2019 en la serie de Alicante ciudad .....	<b>215</b>
Tabla 32. Tendencia (mm/década) para los periodos 1864-2019 y 1940 -2019 en la serie de Murcia ciudad .....	<b>226</b>
Tabla 33. Tendencia (mm/década) para el período 1940 -2019 en la serie de Yecla. Fuente: Elaboración propia.....	<b>234</b>
Tabla 34. Tendencia (mm/década) para el período 1940 -2019 en la serie Embalse del Cenajo.....	<b>240</b>
Tabla 35. Tendencia (mm/década) para el periodo 1940 -2019 en la serie de Caravaca .....	<b>244</b>
Tabla 36. Tendencia (mm/década) para el periodo 1940 -2019 en la serie Embalse de Puentes .....	<b>249</b>
Tabla 37. Tendencia (mm/década) para el periodo 1940 -2019 en la serie de Pontones .....	<b>254</b>
Tabla 38. Porcentaje de varianza explicada parcial y acumulada de los diez primeros CP (CP1 a CP10) rotados y no rotados .....	<b>270</b>
Tabla 39. Información básica de las cuatro regiones obtenidas en el proceso de regionalización de precipitaciones .....	<b>276</b>
Tabla 40. Tendencias (mm/década) por regiones a escala anual y estacional para el periodo 1968-2017 .....	<b>280</b>
Tabla 41. Tendencias (mm/década) por regiones a escala mensual para el periodo 1968-2017 .....	<b>280</b>
Tabla 42. Evolución de las precipitaciones en diferentes períodos de referencia en la RG1 a escala anual y estacional .....	<b>289</b>
Tabla 43. Evolución de las precipitaciones en diferentes períodos de referencia en la RG1 a escala mensual .....	<b>289</b>
Tabla 44. Evolución de las precipitaciones en diferentes períodos de referencia en la RG2 a escala anual y estacional .....	<b>291</b>
Tabla 45. Evolución de las precipitaciones en diferentes períodos de referencia en la RG2 a escala mensual .....	<b>292</b>
Tabla 46. Evolución de las precipitaciones en diferentes períodos de referencia en la RG3 a escala anual y estacional .....	<b>294</b>

Tabla 47. Evolución de las precipitaciones en diferentes períodos de referencia en la RG3 a escala mensual .....	<b>294</b>
Tabla 48. Evolución de las precipitaciones en diferentes períodos de referencia en la RG4 a escala anual y estacional. ....	<b>297</b>
Tabla 49. Evolución de las precipitaciones en diferentes períodos de referencia en la RG4 a escala mensual .....	<b>297</b>
Tabla 50. Categorización de las sequías por niveles de intensidad .....	<b>325</b>
Tabla 51. Características de los periodos de sequía extrema en la serie de Alicante (1864-2019) .....	<b>328</b>
Tabla 52. Características de los periodos de sequía extrema en la serie de Murcia (1864-2019) .....	<b>331</b>
Tabla 53. Características de los periodos de sequía extrema en la serie de Yecla (1940-2019). ....	<b>334</b>
Tabla 54. Características de los periodos de sequía extrema en la serie Embalse de Cenajo (1940-2019). ....	<b>336</b>
Tabla 55. Características de los periodos de sequía extrema en la serie de Caravaca (1940-2019). ....	<b>338</b>
Tabla 56. Características de los periodos de sequía extrema en la serie Embalse de Puentes (1940-2019) .....	<b>341</b>
Tabla 57. Características de los periodos de sequía extrema en la serie de Pontones (1940-2019). ....	<b>343</b>
Tabla 58. Evolución temporal de las reservas conjuntas (hm3) Fuensanta-Cenajo desde el año hidrológico 1967/68 hasta la actualidad .....	<b>345</b>
Tabla 59. Porcentaje de varianza explicada parcial y acumulada de los diez primeros CP (CP1 a CP10) rotados y no rotados .....	<b>363</b>
Tabla 60. Información básica de las cuatro regiones obtenidas en el proceso de regionalización de sequías .....	<b>367</b>
Tabla 61. Características de los periodos de sequía extrema en la serie regionalizada de la CPR1 (1968-2017). ....	<b>371</b>
Tabla 62. Características de los periodos de sequía extrema en la serie regionalizada de la CPR2 (1968-2017) .....	<b>374</b>
Tabla 63. Características de los periodos de sequía extrema en la serie regionalizada de la CPR3 (1968-2017). ....	<b>377</b>
Tabla 64. Características de los periodos de sequía extrema en la serie regionalizada de la CPR4 (1968-2017).....	<b>380</b>
Tabla 65. Información básica de los seis series observatorios utilizados .....	<b>392</b>
Tabla 66. Criterios para la asignación de los valores de los cinco componentes del SDVI .....	<b>410</b>
Tabla 67. Categorías de vulnerabilidad obtenidas a partir del SDVI .....	<b>411</b>

Tabla 68. Valores asignados por componentes y valor final de vulnerabilidad en cada una de las 36 zonas hidráulicas del área de estudio .....**411**



## **RESUMEN**

La Demarcación Hidrográfica del Segura y la Mancomunidad de los Canales del Taibilla, localizadas en el sureste de la península ibérica, se caracterizan por precipitaciones irregulares y escasas, siendo la única demarcación hidrográfica europea con una precipitación media inferior a los 450 mm. Por tanto, este territorio posee una situación de escasez pluviométrica estructural, lo que deriva en un déficit hídrico casi permanente. Si a los condicionantes climáticos se le une la elevada densidad poblacional de este enclave geográfico, las sequías meteorológicas e hidrológicas se instauran como un grave problema socioeconómico.

Hay indicios de adaptación a las sequías por parte de todas las civilizaciones que han ocupado el espacio geográfico del sureste de España. En la actualidad, la Mancomunidad de los Canales del Taibilla creada en el año 1927, permite el abastecimiento de agua potable de un total de 80 municipios repartidos entre las provincias de Murcia, Alicante y Albacete. A lo largo de su historia, este organismo ha sufrido dos grandes periodos deficitarios de recursos hídricos, los cuales desencadenaron la puesta en marcha de otras grandes infraestructuras para el abastecimiento de agua en el sureste de España. El primero tuvo lugar en la década de 1960 y dio lugar a la aprobación del Trasvase Tajo-Segura, que entró en funcionamiento finalmente en el año 1979. La llegada de recursos exógenos desde la cabecera del Tajo, dio lugar a un crecimiento exponencial de la superficie de regadío, que provocó un notable aumento del déficit hídrico medio de la Demarcación Hidrográfica del Segura. Posteriormente a finales del S.XX, aconteció el segundo gran periodo deficitario, que desencadenó en el impulso de la desalinización mediante la construcción de una serie de desaladoras a lo largo de todo el litoral mediterráneo español. En los últimos años, la desalinización se está convirtiendo en una fuente ordinaria y sustitutiva de las transferencias del Trasvase Tajo Segura. Dada la disminución de precipitaciones prevista en los distintos escenarios de cambio climático, este recurso no convencional debe convertirse en un recurso estratégico en el área de estudio, sobre todo durante las situaciones de sequía.

El principal objetivo de esta investigación es la evaluación del impacto del cambio global sobre el riesgo de sequía en la Demarcación Hidrográfica del Segura y en la Mancomunidad de Canales del Taibilla. Para ello, aparte de analizar las políticas y prácticas actuales de gestión hídrica, se ha llevado a cabo una evaluación exhaustiva de las tendencias y cambios observados en las precipitaciones y secuencias pluviométricas

secas, tanto para las series locales más longevas de precipitación como para las series regionalizadas. La regionalización territorial se ha ejecutado con el método de análisis de componentes principales, y tanto en la regionalización de las precipitaciones a escala mensual como en la regionalización de sequías, se han obtenido un total de cuatro regiones homogéneas. Los resultados obtenidos reflejan que las regiones de las cabeceras del Segura y Mundo, y la franja costera y valles prelitorales, son las que presentan cambios más acusados, con un importante descenso de las precipitaciones y una intensificación de los períodos de sequía desde la segunda mitad del S.XX. Además se ha puesto de manifiesto que el incremento de las temperaturas tiene una influencia notoria en el aumento de la intensidad de las sequías y que la franja costera y valles prelitorales son las zonas que presentan una mayor vulnerabilidad de sequía.

En definitiva, en esta tesis se plantean una serie de metodologías y herramientas encaminadas a la reducción de la vulnerabilidad y exposición frente a las sequías. Las medidas ejecutadas deberían articularse siempre dentro del marco de la ordenación del territorio, ya que es la herramienta más eficaz para la mitigación de las consecuencias y repercusiones socioeconómicas y territoriales de las sequías.

**Palabras clave:** sequia hidrológica, vulnerabilidad, regionalización, abastecimiento, sureste de España



## **ABSTRACT**

Segura Hydrographic Demarcation and Commonwealth of Taibilla Channels, located in the southeast of the Iberian Peninsula, are characterized by irregular and scarce rainfall, being the only European hydrographic demarcation with an average rainfall of less than 450 mm. Therefore, this territory has a structural rainfall shortage, which results in an almost permanent water deficit. In addition to the climatic conditions, the high population density of this geographical area means that meteorological and hydrological droughts are a serious socio-economic problem.

There are signs of adaptation to droughts by all the civilizations that have occupied the geographical space of southeast of Spain. At present, the Commonwealth of Taibilla Channels, created in 1927, allows the supply of drinking water to a total of 80 municipalities distributed between the provinces of Murcia, Alicante and Albacete. Throughout its history, this body has suffered two major periods of shortage of water resources, which triggered the implementation of other major water supply infrastructures in southeast of Spain. The first took place in the 1960s and led to the approval of the Tagus-Segura Transfer, which finally came into operation in 1979. The arrival of exogenous resources from the Tagus headwaters led to an exponential growth in the irrigated area, which caused a notable increase in the average water deficit of the Segura Hydrographic Demarcation. Subsequently, at the end of the 20th century, the second major deficit period occurred, which triggered the drive for desalination through the construction of a series of desalination plants along the entire Spanish Mediterranean coast. In recent years, desalination is becoming an ordinary source and a substitute for transfers from the Tagus-Segura Transfer. Given the decrease in rainfall expected in the different climate change scenarios, this non-conventional resource must become a strategic resource in the area of study, especially during drought situations.

The main objective of this research is to evaluate the impact of the global change on the risk of drought in the Segura Hydrographic Demarcation and in the Commonwealth of Taibilla Channels. To this end, apart from analyzing current water management policies and practices, an exhaustive evaluation has been carried out of the trends and changes observed in rainfall and dry rainfall sequences, both for the longest local series of rainfall and for the regionalized series. The territorial regionalization has been carried out with the principal component analysis method, and both in the regionalization of rainfall on a monthly scale and in the regionalization of droughts, a total of four homogeneous regions

have been obtained. The results obtained reflect that the regions of the headwaters of the Segura and Mundo, and the coastal strip and pre-coastal valleys, are the ones that present the most marked changes, with a significant decrease in rainfall and an intensification of drought periods since the second half of the S.XX. In addition, it has been shown that the increase in temperatures has a notable influence on the increase in the intensity of droughts and that the coastal strip and pre-coastal valleys are the areas that present the greatest vulnerability to drought.

In short, this thesis proposes a series of methodologies and tools aimed at reducing vulnerability and exposure to droughts. The measures implemented should always be articulated within the framework of Land Management, as this is the most effective tool for mitigating the socio-economic and territorial consequences and repercussions of droughts.

**Key Words:** hydrological drought, vulnerability, regionalization, supply, southeast of Spain

# **CAPÍTULO I**

# **INTRODUCCIÓN**



## 1.1. Justificación

El agua constituye un bien escaso en la mayor parte de las regiones del mundo. En las regiones mediterráneas este recurso primordial es especialmente exiguo. La agricultura es, sin duda, el uso que más agua consume y a la vez el más afectado por la escasez hídrica en muchos lugares. Representa el 70% de las extracciones de agua dulce en el mundo y más del 90% de su consumo (Arahuetes Hidalgo et al., 2018; Ricart Casadevall y Rico Amorós, 2019). En la actualidad, en España la agricultura es responsable de algo más del 80% de la huella hidrológica existente (Rodríguez Casado et al., 2009). Según las previsiones de Naciones Unidas para el año 2030, los recursos de agua dulce se reducirán alrededor de un 40% (WWAP, 2015). Este hecho, junto con el aumento de la población mundial, podría generar una grave crisis mundial de agua. En este sentido, desde las administraciones públicas y los diferentes organismos encargados en la gestión y planificación de los recursos hídricos se deberían impulsar políticas orientadas hacia la sostenibilidad de las actividades agrícolas y la reducción del consumo de agua por parte del regadío.

El sureste de la península ibérica es la región climática española donde el sector agrícola tiene una mayor significación, a pesar de ser una de las regiones más áridas de Europa. La Demarcación Hidrográfica del Segura (DHS en adelante), área de estudio sobre la que versa este trabajo, se caracteriza por precipitaciones irregulares y escasas. De hecho, este espacio geográfico es la única demarcación, de un total de 215 demarcaciones hidrográficas europeas, cuya precipitación media anual es inferior a 450 mm. Por tanto, este territorio posee una situación de escasez pluviométrica estructural, lo que deriva en un déficit hídrico casi permanente.

Si a los condicionantes climáticos se le une la elevada densidad poblacional de este enclave geográfico, la sequía meteorológica e hidrológica se instaura como un grave problema socioeconómico. Además, en este punto entra en juego el impacto del cambio global sobre las sequías. Desde la década de 1980, se ha producido un acusado incremento de la superficie regada, como consecuencia de la reconversión de miles de hectáreas de secano a regadío. Este notable y brusco incremento tuvo lugar tras la llegada de recursos externos a la DHS, mediante la construcción del Trasvase Tajo-Segura (TTS en adelante), cuyas aguas llegaron procedentes de la cabecera del río Tajo en marzo de 1979.

Estas fuertes transformaciones se han concentrado sobre todo en las comarcas litorales y valles prelitorales, que a su vez han tenido un fuerte incremento poblacional desde la década de 1980. Los profundos cambios en los usos de suelo efectuados durante las últimas décadas llevan asociados otros problemas ambientales, como la sobreexplotación y contaminación de los acuíferos. Asimismo, implican un aumento exponencial de la superficie de sellado del suelo (Romero Díaz et al., 2011; Caballero Pedraza et al., 2015; Romero Díaz et al., 2017) y roturaciones masivas para el desarrollo de los cultivos intensivos de regadío, lo que genera también un notable incremento del riesgo de inundación.

Estos cambios han propiciado que la DHS cuente con un déficit hídrico muy elevado. De acuerdo con las simulaciones realizadas del sistema de explotación, y considerando la serie de recursos 1980/81-2011/12 para el horizonte 2021, el déficit total anual medio de la DHS es de 400 hm<sup>3</sup>/año, en el supuesto de una aportación del ATS equivalente a la media de aportaciones del periodo 1980/81-2011/12 (CHS, 2015). La práctica totalidad de este déficit se corresponde a las demandas agrarias (394 hm<sup>3</sup>/año). Consecuentemente, desde la década de 1980 se ha producido un aumento espectacular de las demandas hídricas brutas. En la tabla 1 se presenta la demanda hídrica bruta actual de la DHS y su estimación prevista para los horizontes 2021, 2027 y 2033. Algo más del 85% del total de demanda hídrica bruta se corresponde con el uso agrario. Se observa como la evolución prevista experimenta una tendencia ascendente hasta el horizonte 2033.

Período	Urbana	Agraria	Industrial no conectada	Servicios (Riego de Campos de Golf)	Mantenimiento humedales (consuntiva)	Total
Demanda Actual	189,1	1487,1	9,1	11,3	29,6	1726,2
Demanda horizonte 2021	194,3	1487,1	9,5	11,3	29,6	1731,8
Demanda horizonte 2027	208,3	1490,9	10,3	11,3	29,6	1750,4
Demanda horizonte 2033	210,9	1490,9	11,5	20,6	29,6	1763,5

Tabla 1. Demanda hídrica bruta (hm<sup>3</sup>) actual y estimación prevista por usos en la Demarcación Hidrográfica del Segura. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Segura 2015-2021.

Es evidente que existe un claro desequilibrio entre los recursos hídricos y la demanda de agua. En Rupérez Moreno et al. (2017) se expone que en la DHS este desequilibrio ha sido provocado por la notable expansión de las zonas de regadío, la aparición de nuevas tierras de regadío ilegales, el surgimiento de pozos de bombeo, el aumento del coste de la energía y la mala gestión de los derechos del uso del agua por parte de las administraciones públicas. En consecuencia, muchos acuíferos presentan importantes problemas de sobreexplotación (López Bermúdez et al., 2014; García Arostegui et al., 2014). Ante este escenario, resulta bastante complicado que pueda cumplirse el cese de la sobreexplotación de los acuíferos antes del año 2027, según lo establecido en la Directiva Marco del Agua (DMA en adelante).

Todos estos condicionantes territoriales se ven agravados por el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos. Dentro de un ámbito mediterráneo, los estudios reflejan un aumento e intensificación de los períodos de sequía a partir de la segunda mitad del S.XX (González-Rouco et al., 2001; Sousa et al., 2011; Philandras et al., 2011; Hoerling et al., 2012; Nunes y Lourenço, 2015; González Hidalgo et al., 2018), lo que es corroborado por el AR5. Por su parte, según las estimaciones de las proyecciones regionalizadas de cambio climático, las regiones mediterráneas serán uno de los ámbitos territoriales más afectados por la intensificación de los periodos de indigencia pluviométrica (Stagge et al., 2015; Spinoni et al., 2018) hasta finales del S.XXI.

En este sentido, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX en adelante), efectuó en el año 2017 una evaluación del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España hasta finales del S.XXI (CEDEX, 2017). Las demarcaciones hidrográficas son la escala territorial seleccionada para esta evaluación. Con respecto a la DHS, se pone de manifiesto una notable intensificación de los principales parámetros que definen las secuencias pluviométricas secas (duración, magnitud y frecuencia). Por otra parte, en la tabla 2 se presenta la estimación media de cambios (%) en la precipitación y evapotranspiración potencial según las proyecciones de cambio climático (escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5) en la DHS.

En referencia a la estimación de los cambios en la precipitación, en primer lugar cabe destacar que la precipitación media de la DHS es de 375 mm (período de referencia 1981-2010). El escenario RCP 8.5 estima una reducción muy notable en la precipitación, siendo en un plazo medio (2040-2070) de un 10% (registro absoluto de 37,5 mm), y a largo plazo (2070-2100) de un 14% (registro absoluto de 52,5 mm). Este descenso en valores

absolutos supondría numerosos impactos territoriales, en un ámbito que cuenta con una marcada aridez. Por su parte, se estima un fuerte incremento en la evapotranspiración media (ETP) como consecuencia del calentamiento global. En el escenario del RCP 8.5, este incremento sería de un 9% a medio plazo (2040-2070), y un 15% a largo plazo (2070-2100). Estos cambios implicarían un acusado descenso de la escorrentía, estimado en el escenario del RCP 8.5 en un 20% a medio plazo (2040-2070), y un 38% a largo plazo (2070-2100).

Período	Precipitación RCP 4.5	Precipitación RCP 8.5	ETP RCP4.5	ETP RCP 8.5
2010-2040	-2	-5	3	4
2040-2070	-4	-10	6	9
2070-2100	-8	-14	8	15

Tabla 2. Estimación media de cambios (%) en la precipitación y evapotranspiración potencial según las proyecciones de cambio climático (escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5) en la Demarcación Hidrográfica del Segura. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos de CEDEX (2017).

## 1.2. Hipótesis de trabajo

La hipótesis parte de la premisa básica que las prácticas y políticas actuales de gestión de los recursos hídricos pueden ser no suficientemente sólidas como para neutralizar los efectos del cambio global sobre el riesgo de sequía en el sureste de España, y por tanto sobre los recursos hídricos y el uso del agua. Los drásticos cambios observados en las proyecciones regionalizadas de cambio climático pueden poner en jaque el abastecimiento de agua futuro, más si cabe en zonas como el sureste español, pues el clima está caracterizado por precipitaciones escasas e irregulares, y el agua es en la actualidad un bien escaso y preciado.

A partir de esta premisa básica, surge la necesidad de realizar una evaluación y pronóstico del impacto del cambio global sobre el riesgo de sequía, y ver como este afectará a la disponibilidad de recursos hídricos y el uso del agua. Por ello, resulta de vital importancia analizar la evolución y variabilidad temporal de las precipitaciones y las secuencias pluviométricas secas, así como estudiar la estimación de la evolución de las sequías realizada por los modelos de proyección de cambio climático. De este modo se podrán



articular medidas de planificación y gestión de recursos hídricos que se adapten a las nuevas condiciones climáticas, socioeconómicas y territoriales en general.

### **1.3. Objetivos**

Esta investigación tiene como objetivo general la evaluación del impacto del cambio global sobre el riesgo de sequía, en los ámbitos territoriales de la DHS y la Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT en adelante). Ambos son los responsables de la gestión y la planificación de los recursos hídricos, y del abastecimiento de agua potable, respectivamente, de gran parte del sureste de España. A continuación se detallan de forma pormenorizada los objetivos específicos que se engloban en esta tesis:

1. Realizar una evaluación y análisis de las políticas y prácticas actuales de gestión hídrica, y ver las posibles deficiencias que estas presentan en la actualidad con respecto a la disponibilidad de recursos hídricos. Se pone especial énfasis en el análisis de la evolución del volumen total de recursos hídricos utilizados por la MCT y en la evolución de los recursos trasvasados a través del TTS.
2. Valoración de los cambios acaecidos en los usos del suelo entre 1990 y 2018 mediante el uso de la base de datos del Corine Land Cover, con la finalidad de estudiar su impacto en el parámetro de vulnerabilidad de sequía.
3. Creación de una base de datos de series de precipitación y temperatura a escala diaria, a partir de la reconstrucción y homogeneización de las series termopluviométricas procedentes de diferentes organismos. Para ello se utilizan los paquetes de R, reddPrec y CLIMATOL.
4. Examinar las tendencias y variaciones de las precipitaciones en las series de precipitación más longevas.
5. Ejecución de una regionalización de precipitaciones (período 1968-2017) a escala mensual a partir del método de Análisis de Componentes Principales, con el objetivo de obtener regiones con patrones pluviométricos homogéneos, y poder examinar las tendencias y cambios observados en estas regiones.
6. Analizar la distribución espacial de las variaciones de precipitación mensual (período 1968-2017) a escala anual, estacional y mensual.

7. Inspeccionar los cambios y tendencias en el número de días de lluvia (1968-2017).
8. Estudiar la evolución de las secuencias pluviométricas secas en las series de precipitación más longevas mediante la utilización del índice de sequía SPI, con una escala temporal de 12 meses (SPI12), para la evaluación de las sequías a escala hidrológica. Se pretende analizar si se está produciendo una intensificación de los diferentes parámetros que componen las sequías (duración, magnitud y frecuencia).
9. Llevar a cabo una regionalización por sequías (período 1968-2017) a partir del método de Análisis de Componentes Principales, con la finalidad de estudiar las tendencias y cambios en los períodos secos en áreas con comportamiento homogéneo. Se utiliza el índice de sequía SPI con una escala temporal de 12 meses.
10. Evaluación de la distribución espacio-temporal de las secuencias pluviométricas secas (período 1968-2017), con el propósito de examinar el comportamiento de los diferentes patrones espaciales de sequía.
11. Indagar sobre el impacto del incremento de las temperaturas durante las últimas décadas en las secuencias pluviométricas secas.
12. Valoración de la influencia de los patrones de teleconexión (NAO, WeMO y MO) en los patrones espaciales de sequía.
13. Estimación del parámetro de vulnerabilidad de sequía utilizando como escala las diferentes subzonas hidráulicas del área de estudio. Para ello se emplea el Índice Estandarizado de Vulnerabilidad de Sequía- SDVI.

#### **1.4. Estructura de trabajo**

Esta tesis se estructura en un total de seis capítulos. Los principales resultados obtenidos se aglutinan en los capítulos 2, 4 y 5. En cada uno de estos tres capítulos se realiza una breve descripción del estado de la cuestión para contextualizar las temáticas tratadas. Asimismo, el análisis metodológico utilizado en esta investigación se describe en cada uno de los diferentes apartados que componen esta obra. La estructura de la tesis es la siguiente:

- **Capítulo 1 - Introducción.**

- **Capítulo 2 - Riesgo de Sequía: Marco conceptual.** En primer lugar, se lleva a cabo una descripción sobre la definición y tipologías de sequías, así como una exposición de las situaciones atmosféricas generadoras de episodios pluviométricos secos. Posteriormente, se analiza el papel de la ordenación del territorio en la mitigación del riesgo de sequía. Con tal fin, se realiza una pequeña descripción del marco histórico para contextualizar el papel jugado por la MCT en el abastecimiento de agua potable de un total de 80 municipios. Además, se ejecuta un análisis de la evolución de los recursos del TTS y las implicaciones territoriales que tuvieron lugar con la llegada del mismo. Seguidamente, se describen los principales aspectos referidos al marco jurídico y político del riesgo de sequía. Por último, se evalúan los cambios acontecidos en los usos del suelo entre 1990 y 2018, y sus correspondientes repercusiones sobre el riesgo de sequía.

- **Capítulo 3 - Área de estudio.** Se describen los principales condicionantes geográficos que configuran el marco espacial de esta investigación: relieve, clima, hidrología, litología, geología, suelos, vegetación natural, uso del territorio y población.

-**Capítulo 4 - Tendencias y variaciones en las precipitaciones.** En primer lugar se describe el proceso de reconstrucción y homogeneización de las series de precipitación, el cual resulta primordial para la evaluación de las tendencias y variaciones de las series más longevas y las series regionalizadas obtenidas en el proceso de regionalización.

- **Capítulo 5 - Cambios y evolución en las secuencias pluviométricas secas de larga duración.** Se aborda el análisis de los cambios experimentados por los principales parámetros (duración, magnitud, frecuencia) que definen las sequías, mediante la utilización de herramientas como el método KORE y la regresión local LOWESS. Además, se analiza el impacto de las temperaturas y la influencia de los principales patrones de teleconexión sobre las sequías. Por último, se expone un análisis de la vulnerabilidad de sequía por subzonas hidráulicas.

- **Capítulo 6 - Conclusiones.** Se analizan y valoran los resultados obtenidos en los diferentes apartados de esta investigación. Asimismo, se detallan diferentes propuestas de actuación y posibles líneas de trabajo futuras.



**CAPÍTULO II**

**RIESGO DE SEQUÍA:**

**MARCO CONCEPTUAL**

En las últimas décadas se ha producido un aumento generalizado en el estudio de los riesgos naturales como consecuencia del incremento de pérdidas materiales y de vidas humanas relacionadas con los desastres naturales. Este interés no se ha centrado solamente en la comunidad científica, sino que también radica en el conjunto de la sociedad, cuyos bienes están constantemente expuestos a la acción de los diferentes fenómenos naturales. El interés creciente por el análisis de los eventos naturales de rango extraordinario se puede evidenciar claramente, con la declaración del “Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (1990-1999), por parte de Naciones Unidas. Esta declaración representa, por un lado la más reciente e importante muestra de la preocupación universal por estas cuestiones, y por otro lado, el intento de llamar la atención sobre el deterioro medioambiental insostenible (Conesa García y Calvo García Tornel, 2003).

Además, se ha generado la impresión de una mayor ocurrencia de eventos naturales excepcionales, cuando lo que ha ocurrido realmente, es el incremento de la exposición de la población mundial frente a los peligros naturales debido a la ocupación intensiva del territorio (Olcina Cantos y Ayala Carcedo, 2002). Esto deriva, en que las personas sufran cada vez más las consecuencias y efectos de los desastres naturales (ONU, 2002). La ocupación y alteración de espacios con riesgo, bajo la premisa del desarrollo colectivo, provoca que los grupos sociales se tornen vulnerables a la más mínima manifestación de las fuerzas de la naturaleza (Olcina Cantos, 2006).

Desde el ámbito de la Geografía, la investigación sobre los riesgos que el medio natural lleva consigo para la sociedad, comenzó a desarrollarse en la escuela anglosajona desde la década de 1960, con un carácter básicamente aplicado en relación con diversos aspectos de la ordenación del territorio (Calvo García-Tornel, 1984). Esto permitió que se configurara una línea de investigación denominada Geografía de los Riesgos, cuando geógrafos de la Escuela de Chicago (White, Burton, Kates) replantearon el análisis conceptual de las relaciones hombre-medio (Burton y Kates, 1964; Capel Sáez, 1973).

A partir de este momento surgieron múltiples definiciones acerca del concepto de riesgo, entre las que se pueden resaltar las siguientes: “Conjunto de elementos del medio físico y biológico nocivos para el hombre y causados por fuerzas ajenas a él” (Burton y Kates, 1964); “Situación concreta en el tiempo de un determinado grupo humano frente a las condiciones de su medio, en cuanto este grupo es capaz de aprovecharlas para su supervivencia ,o incapaz de dominarlas a partir de determinados umbrales”(Calvo García-

Tornel,1984); “Daño o pérdida esperable a consecuencia de una acción de un peligro sobre un bien a preservar, sea la vida humana, los bienes económicos o el entorno natural” (Olcina Cantos y Ayala Carcedo,2002); “ Enfoque moderno de la previsión y control de las consecuencias futuras de la acción humana; las diversas consecuencias no deseadas de la modernización radicalizada” (Beck,2002).

Para el estudio del riesgo, es importante tener en cuenta la integración de sus diferentes factores según el modelo de análisis con el que se trabaje (Rojas Vilches y Martínez Reyes, 2011). Su análisis ha introducido tres conceptos que formarían parte del riesgo: peligro (peligrosidad), vulnerabilidad y exposición. Cada uno de ellos se relaciona con las tres componentes del espacio geográfico: la naturaleza, el hombre y el territorio (Olcina Cantos, 2009). El peligro es la ocurrencia o amenaza de ocurrencia de un acontecimiento natural o antrópico, que puede originar daños a una comunidad, a sus actividades o al propio medio ambiente (Aneas de Castro, 2000; Olcina Cantos, 2009). La vulnerabilidad es un proceso por el cual se determina la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante un peligro específico, pudiéndose tratar de vulnerabilidad humana, estructural, económica, ecológica, educativa, cultural o política (Cardona Arboleda, 1993; Wilches; 1993). La vulnerabilidad humana es la más importante, porque el bien vulnerable más apreciado es la vida humana. Por último, la exposición es el conjunto de bienes a preservar que pueden ser dañados por la acción de un peligro natural (Olcina Cantos, 2008).

El riesgo, en su doble acepción de probabilidad de ocurrencia de un peligro o daño, y de asunción voluntaria de ese peligro, ha estado presente en las sociedades de todas las épocas, y es un magnifico reflejo para analizar los cambios acontecidos en las relaciones que el hombre establece con su medio. El riesgo expresa la faceta negativa de tales relaciones, en oposición del aspecto positivo constituido por los recursos, a través de los cuales las sociedades se apropian de los múltiples beneficios que el medio también puede ofrecer (Del Moral Ituarte y Pita López, 2002). Un ejemplo se encuentra en los asentamientos de las distintas sociedades en las fértiles vegas de los ríos. El desconocimiento del funcionamiento de la naturaleza y el temor ante sus fenómenos extremos, han convertido la espera de la catástrofe en un elemento común de la vida cotidiana (Olcina Cantos, 2012b).

Por último, cabe destacar que el uso de los conceptos de riesgo, catástrofe y desastre genera cierta confusión en la ciudadanía, hasta el punto de que se llegan a manejar como

sinónimos. Estos términos son ampliamente utilizados en el ámbito científico y su uso se ha popularizado en los últimos años debido al interés de la opinión pública. El riesgo natural es la posibilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita pueda verse afectado por un fenómeno natural de rango extraordinario. La catástrofe es el efecto perturbador que provoca sobre un territorio un episodio natural extraordinario y que a menudo supone la pérdida de vidas humanas. Por último, si las consecuencias de dicho episodio natural alcanzan una magnitud tal que ese territorio necesita ayuda externa en alto grado, se habla de desastre natural (Olcina Cantos y Ayala Carcedo, 2002).

## **2.1. Definición y tipología de sequías**

La sequía es el riesgo natural que mayor número de afectados y repercusiones económicas genera en los territorios donde se desarrolla, como por ejemplo, el ámbito territorial del sureste de España. De hecho, en la clasificación de los riesgos naturales según su vulnerabilidad en el mundo (clasificación obtenida a partir del análisis de las mayores catástrofes naturales ocurridas en la superficie terrestre entre 1900 y 2005), las sequías aparecen en primer lugar según población afectada, y en segundo lugar por víctimas causadas tan solo por detrás de las inundaciones (Olcina Cantos, 2006). Paradójicamente, entre el conjunto de fenómenos naturales extremos que suponen un riesgo para la actividad humana, la sequía es el que menos atención recibe en los estudios de riesgo, pese a producir numerosas pérdidas económicas, y en casos extremos pérdidas humanas.

La escasa atención de carácter preventivo recibida por las sequías por parte de las administraciones y organismos públicos está muy relacionada con la percepción temporal del evento. La sequía se constituye como un riesgo silencioso, siendo su manifestación progresiva y constante. Conforme avanza el tiempo, sus efectos se van agravando de forma continua hasta que se den las condiciones atmosféricas idóneas que sufraguen el déficit de lluvias acumulado (Olcina Cantos, 2006). En las últimas décadas, con respecto a la consideración del riesgo de sequía, y conforme ha ido aumentando el nivel de vida, las sociedades desarrolladas han pasado de la austeridad en el gasto de agua al despilfarro y de la adaptación al catastrofismo (Morales Gil et al., 1999), lo cual aumenta más si cabe la vulnerabilidad de la población frente a las sequías.

Aunque su lenta evolución permite actuar con más tiempo que frente a otros riesgos naturales que se manifiestan de forma brusca y repentina, como las inundaciones o los terremotos, la falta de consecuencias tangibles a corto plazo y el alivio temporal que



producen los episodios de lluvias torrenciales que suelen intercalarse durante los periodos secos, provocan entre las administraciones y la población un desinterés que no hace sino agravar los efectos del déficit hídrico consecuente (García Marín, 2008a). En este punto, es importante resaltar que el riesgo potencial de sequía en un lugar dado es tanto mayor cuanto más grande sea la variabilidad interanual de las precipitaciones (Pita López, 1989). De este modo, es un fenómeno natural que, sin llegar a ser predecible, si es esperable con recurrencia indeterminada. Por tanto, se podrían implantar medidas de carácter preventivo que ofrecieran la suficiente garantía para que durante el inicio de un periodo seco la falta de recursos hídricos no provocara alteraciones importantes en las actividades económicas.

Se trata de un hecho natural que se manifiesta, con regularidad y efectos diversos en todas las regiones peninsulares. No obstante, aunque las secuencias secas afectan a todas las regiones españolas, por lo común son aquellos territorios donde las lluvias anuales no superan los 600 mm, los que sufren en mayor medida las consecuencias de la reducción de las precipitaciones recogidas. En este sentido, las áreas que registran de forma habitual exiguas precipitaciones se ven obligadas a mantener unos márgenes de seguridad tan escasos en sus reservas hídricas, que pueden alcanzar la situación de déficit hídrico con suma facilidad (Pita López 1989). Este hecho se acentúa, en aquellas regiones de clima mediterráneo, como el sureste de España, en las que las precipitaciones se concentran sobre todo en los equinoccios, y dentro de ellas, en muy pocos días, en forma de lluvias torrenciales (Morales Gil et al., 1999).

El sureste de España es el área de la península ibérica en donde las consecuencias socioeconómicas y territoriales de los periodos de indigencia pluviométrica son más graves e intensas. El surgimiento en las últimas décadas de una serie de factores, como el incremento de la población, la expansión de la superficie de regadío o el auge espectacular de las actividades turísticas, ha provocado un incremento de los factores de la exposición y vulnerabilidad. De este modo, el desarrollo socioeconómico actual ha convertido al fenómeno de las sequías en un posible agente catastrófico de mayor envergadura social y mediática que antaño. Por tanto se puede afirmar, que la sequía ha pasado de ser un riesgo natural a un riesgo inducido. Esta realidad se ve acrecentada debido al crecimiento de la capacidad de actuación del hombre respecto a su medio, y la implantación de diferentes actividades en espacios de riesgo que anteriormente habrían sido evitados (García Marín, 2008a).

Por otra parte, si se hace referencia a la definición de sequía, observando las múltiples acepciones recopiladas en diccionarios y enciclopedias, se puede concluir que la sequía tiene lugar cuando se produce una deficiencia de las precipitaciones durante un periodo de tiempo relativamente prolongado. No obstante, el término sequía concede un amplio abanico de acepciones en función del espacio geográfico o actividad económica afectada. En este sentido se pueden distinguir entre definiciones conceptuales y operacionales (Marcos Valiente, 2001). Las conceptuales son las que no establecen umbrales de referencia y no tienen en cuenta la realidad climática del área afectada por el déficit pluviométrico. En cambio, para las operaciones se requiere un conocimiento más detallado de las variables climáticas, así como disponer de series de datos pluviométricos a diferente escala, en función del nivel de detalle deseado (horario, diario, mensual, estacional, anual, etc.).

La Real Academia Española (RAE) define sequía como << tiempo seco de larga duración>>. En el diccionario del español jurídico se expone como <<situación temporal de escasez de agua que obliga a reducir los consumos de agua y adoptar medidas de ahorro y conservación a las administraciones hídricas competentes>>. La OMM, dentro del programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, y tras analizar los efectos de la sequía de 1974-1985 en diversas regiones del mundo, propuso especificar la sequía como <<secuencia atmosférica caracterizada por el desarrollo de precipitaciones inferiores en un 60% a las consideradas estadísticamente normales durante un intervalo de tiempo de dos años o más consecutivos>>.

En este punto es interesante resaltar, que en multitud de ocasiones, el conjunto de la sociedad tiende a confundir y utilizar indistintamente los términos de sequía, aridez y escasez, siendo estos conceptos diferentes. La sequía, entendida como anomalía temporal de la precipitación, puede producir, o no, una situación de insuficiencia en los suministros de agua, en función del nivel de demanda existente en el área y de las características de los sistemas de explotación de los recursos hídricos. En cambio, la escasez alude a una situación permanente de déficit en relación con las demandas de agua en un sistema de recursos de ámbito regional, caracterizado, bien por climas áridos o semiáridos, o bien por un rápido crecimiento de las demandas consuntivas. Por último, la aridez es una situación estructural natural de una región y por tanto permanente (Ministerio de Transición Ecológica, MITECO). No obstante, bajo las condiciones de aridez no debería existir déficit si los sistemas de explotación estuvieran adecuadamente diseñados y

explotados, y las demandas de agua se mantuvieran en límites razonables, acordes con las características climáticas de la región. En este sentido, la ordenación y planificación del territorio deben jugar un papel primordial.

En relación, con la evaluación del riesgo de sequía, también se establecen los denominados “umbrales de sequía. Charre (1977), reflejó que pueden existir tres estados de pluviometría con respecto al umbral sequía: 1) las necesidades de agua están aseguradas; 2) la necesidades de agua están casi aseguradas, es decir el umbral no se ha rebasado, existiendo aún cierta adaptación al riesgo de sequía; 3) el umbral queda sobrepasado como consecuencia de un sistema socioeconómico inadaptado (Pérez Cueva, 1983). En definitiva, la interacción hombre-medio se da dentro de unos límites muy variables. Si no se sobrepasa el umbral de sequía, existen ciertos mecanismos y acciones que permiten cierta acomodación sobre el territorio, pudiéndose paliar los efectos de la escasez hídrica. Sin embargo, si el umbral es sobrepasado, las formas de adaptación son insuficientes, y pueden surgir cuantiosos efectos socioeconómicos negativos, así como conflictos sociales, territoriales y políticos (García Marín, 2008b).

Como ya ha sido mencionado no existe una definición universal del concepto de sequía. Se han hecho numerosas clasificaciones de grupos de sequía, siendo sin duda la propuesta por Wilhite y Granz (1985) la que aporta información conceptualmente mejor sustentada. Estos autores detectaron más de 150 definiciones operacionales del concepto de sequía, categorizándolas en cuatro grandes grupos, en función de la disciplina científica desde la cual se analice el fenómeno: sequía meteorológica, sequía agrícola, sequía hidrológica y sequía socioeconómica (Marcos Valiente, 2001). Estos cuatro grupos muestran una clara jerarquización, de modo que las consecuencias negativas se van sucediendo de una categoría a otra. El déficit pluviométrico (sequía meteorológica o pluviométrica) más o menos prolongado en el tiempo sobre una región afecta en primer lugar a los cultivos de secano (sequía agrícola). Si este déficit continúa se produce una disminución de los recursos hídricos disponibles (sequía hidrológica), los cuales están dispuestos fundamentalmente para los cultivos de regadío (sequía agrícola) y el abastecimiento de la población y sus respectivas actividades económicas (sequía socioeconómica). A continuación se describe con mayor detalle cada uno de estos cuatro grupos:

A) **Sequía meteorológica:** Está basada en el uso de datos climáticos. Ante la dificultad de establecer la duración y magnitud del déficit pluviométrico válido para diferentes espacios geográficos, algunas autores optan por no especificar umbrales fijos en las

definiciones de sequía meteorológica. Palmer (1965) la define como el << intervalo de tiempo generalmente con una duración del orden de meses o años, durante el cual el aporte de humedad en un determinado lugar cae consistentemente por debajo de lo climatológicamente esperado o del aporte de humedad climatológicamente apropiado>>. La OMM (1990), la enuncia como <<un periodo de condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitaciones cause un grave desequilibrio hidrológico>>. Olcina Cantos y Rico Amorós (1995), expresan que puede considerarse sequía a un periodo nunca inferior a dieciséis meses con una reducción de las precipitaciones igual o superior al 40% de la media pluviométrica de un determinado lugar.

En España las diferentes demarcaciones hidrográficas responden de manera diferente ante el déficit pluviométrico prolongado. Según Olcina (1994) se pueden considerar años secos aquellos cuya precipitación experimenta la siguiente reducción respecto a la media anual: Cantábrico, Duero, y Ebro (15-25%); Guadalquivir (20-25%); Guadiana y Tajo (30%); Levante y Segura (40-50%). Estos valores evidencian que las regiones pluviométricamente mejor dotadas son las más sensibles a la disminución temporal de los aportes de lluvias. Por el contrario, aquellas regiones que sufren una aridez manifiesta pueden soportar déficits pluviométricos más acusados, dado que están mejor adaptadas para afrontar los episodios de indigencia pluviométrica, debido a la puesta en marcha de una serie de medias de planificación y ordenación del territorio, orientadas a la reducción y mitigación del riesgo de sequía (Morales Gil et al., 1999).

En definitiva, en la mayoría de las ocasiones, resulta imposible extrapolar las definiciones de sequía meteorológica de una región a otra, debido a que cada acepción presenta información específica para cada área geográfica particular, la cual varía en función de las características climáticas regionales (Marcos Valiente, 2001). Mediante la sequía pluviométrica se establecen los umbrales de referencia específicos para identificar los límites temporales de inicio y finalización del periodo de sequía (García Marín, 2008a). A través de la utilización de una serie de índices de sequía pluviométrica se puede realizar la caracterización de los eventos secos. Índices como Palmer Drought Severity-PDSI (Palmer, 1995), Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica- IESP (Pita López, 2000) o Standardized Precipitation Index-SPI (McKee et al., 1993), se constituyen como herramientas imprescindibles para la identificación precisa de las sequías, pudiendo ayudar en la monitorización y predicción de las mismas (Peña Gallardo et al., 2016). En

los últimos años se ha introducido la variable de la temperatura en el análisis de la sequía meteorológica para analizar el impacto del aumento de las temperaturas en este fenómeno. Para ello se propuso el índice Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI (Vicente Serrano et al., 2010a).

**B) Sequía agrícola:** La agricultura es el sector económico que resulta afectado en primer lugar por la escasez de precipitaciones, siendo los cultivos de secano los primeros en verse afectados. Posteriormente si el déficit pluviométrico continúa se produce una reducción de los recursos hídricos disponibles (sequía hidrológica), viéndose perjudicados los cultivos de regadío. Según Palmer (1965), se considera que existe sequía agrícola cuando concurre una disminución de la humedad en el área radical de los cultivos dificultando su crecimiento. Si los niveles de humedad en el subsuelo son suficientes para proporcionar agua a un determinado tipo de cultivo durante el periodo que dure la sequía meteorológica, no llegara a producirse la sequía agrícola. Por otra parte, la enorme variabilidad interanual de las precipitaciones existente en las regiones de clima mediterráneo puede crear en los agricultores una sensación de relativa seguridad y efecto engañoso en los años húmedos o durante los episodios de lluvias torrenciales, que luego se ve truncada por la aparición de largos periodos secos (García de Pedraza, 1988).

Dado que la cantidad de agua que requiere cada especie de cultivo para su desarrollo óptimo es distinta, no es posible establecer umbrales de sequía agrícola válidos ni tan siquiera para una única área geográfica, como por ejemplo la Demarcación Hidrográfica del Segura (Marcos Valiente, 2001). En este sentido la ecohidrología (ciencia que estudia la interacción entre el ciclo hidrológico y los ecosistemas) puede jugar un papel fundamental en el análisis del efecto del agua sobre el desarrollo de las distintas especies vegetales, incorporando las nuevas tecnologías para monitorizar con gran resolución temporal la dinámica vegetal y distintas variables asociadas al ciclo hidrológico (Lozano Parra et al., 2015; Lozano Parra et al., 2018). La utilización de esta serie de técnicas puede permitir la realización de una monitorización y zonificación de gran precisión de la humedad del suelo, midiendo parámetros como la capacidad de campo o el punto de marchitamiento en diferentes ámbitos geográficos, lo cual puede ser de gran utilidad para el cálculo de umbrales de sequía agrícola.

Por último, cabe destacar que existen algunos índices de sequía agrícola que cuantifican sobre todo la variable de la intensidad. Entre ellos se pueden destacar: Crop Moisture Index- CMI (Palmer, 1968), que mide las variaciones semanales de disponibilidad de agua

del cultivo y Surface Water Supply Index-SWSI (Shafer y Dezman, 1982) que es una modificación del índice PDSI de Palmer (1965), pero agregando información adicional que incluye datos de suministro de agua (datos de reservorios, superficie de nieve y escorrentía).

C) **Sequía hidrológica:** Se puede definir como la disminución en las disponibilidades de aguas superficiales y subterráneas en un sistema de gestión durante un periodo temporal determinado, respecto a los valores medios, que puede impedir cubrir las demandas de agua al cien por cien (Ministerio de Transición Ecológica, MITECO). A diferencia de la sequía agrícola, que se presenta poco tiempo después de la sequía meteorológica, la sequía hidrológica puede demorarse durante meses desde el inicio de la escasez pluviométrica o bien no manifestarse si las precipitaciones retornan en poco tiempo (Morales Gil y Rico Amorós, 1996). La capacidad de gestionar los recursos hídricos hace que la sequía hidrológica no dependa exclusivamente del volumen de agua existente en los depósitos naturales o artificiales, sino que también es determinante la forma en la que se emplea el agua (Marcos Valiente, 2001). Bajo esta premisa, Linsley et al. (1975) definieron la sequía hidrológica como <<periodo durante el cual los caudales son inadecuados para satisfacer los usos establecidos bajo un determinado sistema de gestión de aguas>>.

De este modo, cuando se produce una sequía hidrológica se ven afectados en primer lugar especialmente los cultivos de regadío, y posteriormente se pone en jaque el abastecimiento urbano de recursos hídricos, desencadenándose de esta forma la sequía socioeconómica. Los impactos de las sequías sobre la sociedad dependen en gran medida de la severidad del evento de sequía hidrológica. En consecuencia, la variación espacial de la severidad de sequía hidrológica es altamente dependiente de los procesos hidrológicos terrestres (Van Loon y Laaha, 2015).

Entre los índices de sequía hidrológica más utilizados en el ámbito científico se pueden resaltar los siguientes: Palmer Hydrologic Drought Index-PHDI (Palmer, 1965) que surge a partir de una modificación del PDSI para cuantificar el impacto a largo plazo de las sequías con aplicaciones hidrológicas (Vicente Serrano et al., 2012a); Standardized Streamflow Index-SSI (Vicente Serrano et al., 2012b) que permite la comparación temporal y espacial entre los datos de caudal independientemente del régimen estacional de los ríos y de las magnitudes del caudal; Streamflow Drought Index-SDI (Nalbantis y Tsakiris, 2009) que utiliza la metodología del SPI con el uso de datos de caudal mensual.

D) **Sequía socioeconómica:** Se produce cuando la disponibilidad de recursos hídricos disminuye hasta el punto de provocar importantes pérdidas tanto personales como económicas en la población de las zonas afectadas por el déficit pluviométrico prolongado. La presión antrópica ejercida sobre los recursos hídricos provoca que cada vez sea mayor la incidencia de la sequía socioeconómica (Marcos Valiente, 2001). Pita López (1995), la define como << déficit hídrico inusual que genera impactos adversos en la sociedad que la padece, alternando el normal desenvolvimiento de su vida colectiva >>. A partir de esta premisa básica, se puede afirmar que en territorios como el sureste de España, donde el agua es un bien escaso por naturaleza y su disponibilidad es de vital importancia para el desarrollo de las actividades económicas principales (agricultura y turismo), esta sucesión lógica temporal de situaciones de sequía puede verse alternada desde el punto de vista de la percepción social (García Marín, 2008a).

Un claro ejemplo de cómo puede influir la perfección social de la sequía se encuentra en el sentimiento de falsa seguridad y confianza que se ha creado en la población del sureste peninsular, con la llegada de las aguas del Trasvase Tajo-Segura (TTS en adelante) a partir de 1979. En Morales y Gil (1996), se menciona un caso concreto de lo anteriormente expuesto. Estos autores demuestran que tras el invierno climatológico de 1996 que no resultó húmedo en el sureste peninsular, se anunció en los medios de comunicación de Murcia y Alicante, el cese de una de las sequías de mayor gravedad del S.XX, gracias a la aprobación de un trasvase de 120 hm<sup>3</sup> desde el Alto Tajo. De este modo, se demuestra una vez más la capacidad de influencia de los medios de comunicación sobre la población, mediante la difusión de noticias que carecen muchas veces de rigor científico, generando por tanto una clara confusión en la sociedad afectada. Esto aumenta más si cabe la vulnerabilidad de la población ante los periodos de indigencia pluviométrica.

En el caso de la sequía socioeconómica, son tan determinantes la magnitud y la duración del ciclo seco como la forma en que la economía y la sociedad desarrollan sus actividades. En el sureste peninsular el desarrollo en los últimos años, de actividades como el turismo o la agricultura intensiva, provoca el incremento de la vulnerabilidad de la población, llegándose al extremo de la sequía pueda ser considerada como una catástrofe (Marcos Valiente, 2001). Por último cabe reseñar que en la actualidad no existe ningún índice para evaluar y caracterizar la sequía socioeconómica como tal. Los únicos valores

cuantitativos disponibles son las relaciones de pérdidas económicas o el número de habitantes afectados por las restricciones de abastecimiento de agua.

En resumen, los cuatro grupos de tipos de sequía descritos reflejan un proceso de evolución de la sequía determinado tanto por la variabilidad natural del clima, como por la duración y magnitud del evento, y por la interacción entre clima y sociedad (Marcos Valiente, 2001). De este modo, la sequía meteorológica no se constituye por sí misma como una catástrofe natural en potencia, sino que genera situaciones de riesgo que adquieren un carácter catastrófico en función de la vulnerabilidad socioeconómica (García Marín, 2008a). En la figura 1, se muestra un cuadro resumen sobre la secuencia de evolución de los diversos tipos de sequía operacional anteriormente descritos. En dicho cuadro se recogen también los diferentes índices (en naranja) existentes para llevar a cabo la caracterización de los diferentes tipos de sequía.

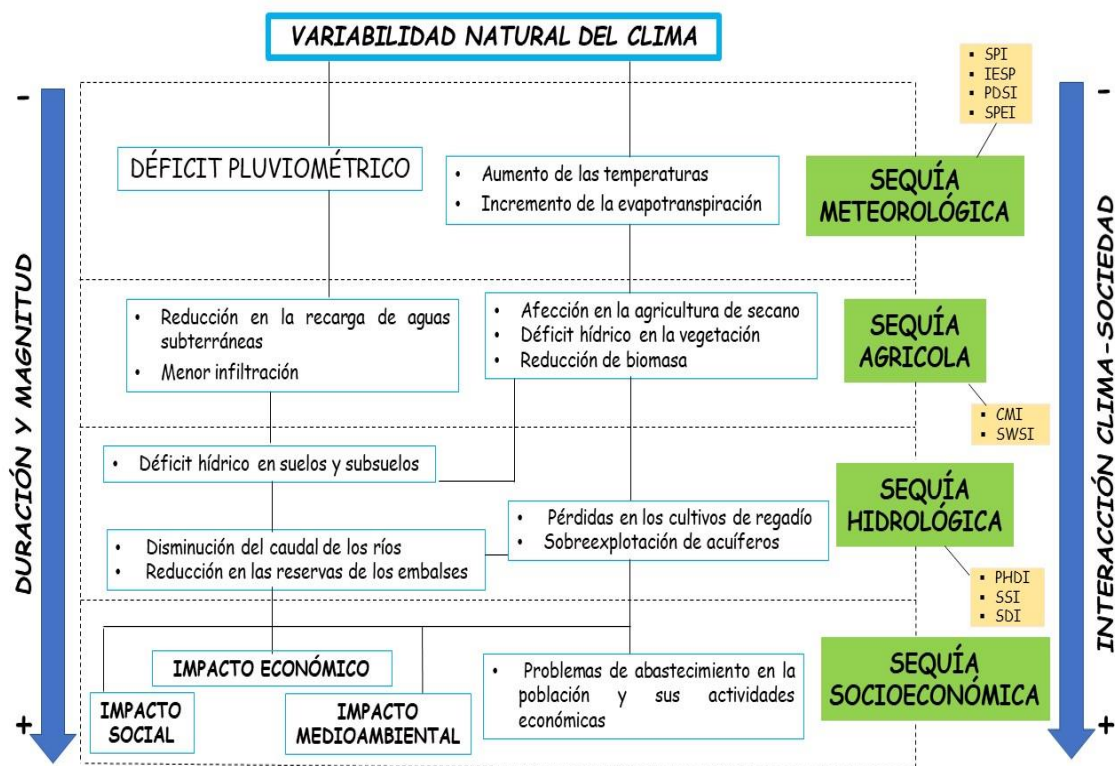


Figura 1. Secuencia evolutiva de los diferentes tipos de sequía operacional. Fuente: Modificado de Marcos (2001) y NDMC (1995).

Las definiciones de los distintos tipos de sequía operativa necesitan ser evaluadas desde un punto de vista cuantitativo para poder delimitar las características principales de los periodos secos (magnitud, duración, severidad, frecuencia, etc.), lo cual se realiza a través



de los diferentes índices de sequía. En España, AEMET a la hora de establecer umbrales cuantitativos de sequía, utiliza el denominado método de Gibbs (Gibbs y Maher, 1967). A partir de este método, para cuantificar si un mes, estación o año han sido muy secos o secos, se utilizan los índices de frecuencia calculados a partir de los valores de los quintiles de la serie de precipitación. De esta forma, AEMET asigna las siguientes categorías: Muy seco (0-20%); Seco (20-40%); Normal (40-60%); Húmedo (60-80%); Muy Húmedo (80-100%).

Desde un punto de vista geográfico, la caracterización de las sequías debe llevarse a cabo teniendo en cuenta sus causas físicas y humanas. En la actualidad son los aspectos humanos los que tienen un mayor peso en la valoración de este fenómeno natural, hasta el punto de motivar su propia aparición debido a que las demandas de agua urbana, agraria, hidroeléctrica e industrial han provocado una alteración del umbral de sequía en numerosos ámbitos geográficos, como el sureste de España (Olcina Cantos 2001b). El umbral de sequía se sitúa sobre la curva de distribución de la precipitación, aunque son las características sociales, territoriales, económicas e incluso políticas las que determinan finalmente su posición concreta (Charre, 1977). El umbral de sequía evoluciona por tanto con la sociedad, y su evolución dependerá tanto de la variación en la distribución temporal y espacial en las precipitaciones, como de los cambios en la capacidad de flexibilización de la oferta y demanda, de los usos del suelo, de la gestión de los estados de sequía y el ritmo de las demandas de agua (Pérez Cueva, 1983; García Marín, 2008a).

Burton et al. (1978), plantearon un total de siete parámetros para la caracterización de las sequías meteorológicas e hidrológicas mediante métodos cuantitativos: magnitud, duración, frecuencia, velocidad de implantación, esparcimiento temporal, extensión y dispersión espacial. Estos parámetros se pueden agrupar en dos componentes: espacial (extensión y dispersión espacial) y temporal (duración, frecuencia, velocidad de implantación y esparcimiento temporal). La magnitud es un parámetro independiente. Para la cuantificación de estos parámetros es necesario aplicar cálculos matemáticos con los que establecer de forma concisa en qué medida ha habido déficit pluviométrico y cuáles son los límites temporales del episodio seco (Marcos, 2001). Estos parámetros han sido descritos por diferentes autores (Dracup et al., 1980; Martín-Vide, 1998; Marcos Valiente, 2001; Lorenzo Lacruz et al., 2013; Van Loon y Laaha, 2015), y en general se pueden definir de la siguiente manera:

- **Magnitud:** Es el déficit medio de precipitación o caudal durante el periodo de duración del ciclo seco. Puede medirse como la anomalía (en porcentaje) o la diferencia (en valor absoluto), de precipitación o caudal para el periodo seleccionado. Los conceptos de severidad e intensidad están muy ligados al parámetro de la magnitud. La severidad se puede definir como el déficit acumulado de caudal o precipitación. En cambio la intensidad se refiere al grado de disminución de la precipitación y/o a la gravedad de los impactos asociados con esa disminución. Ambos parámetros se miden mediante la aplicación de los índices de sequía.

- **Duración:** Es el tiempo (días, meses o años consecutivos), durante el cual la precipitación o el caudal totales registrados son inferiores a la precipitación o el caudal medio de ese mismo periodo.

- **Frecuencia:** Es el número de eventos que se producen durante un periodo determinado. Además puede medirse a través de la probabilidad empírica de que la precipitación o el caudal sean inferiores a la media. Esta probabilidad se obtiene para diferentes periodos de retorno del evento seco (intervalo medio de tiempo dentro del cual se espera que pueda desencadenarse una sequía de determinada magnitud).

- **Velocidad de implantación:** Es el tiempo transcurrido entre el momento en el que se inicia el déficit de precipitación o caudal, y el instante en que ese déficit alcanza su valor máximo (intensidad máxima).

- **Esparcimiento temporal:** Es el tiempo transcurrido entre los diferentes periodos de indigencia pluviométrica, lo cual proporciona una medida de la regularidad o aleatoriedad del fenómeno.

- **Extensión:** Alude a la superficie total donde se registra el déficit hídrico.

- **Dispersión espacial:** Es la medida del grado de difusión o concentración de la anomalía de precipitación o caudal. Es un parámetro muy útil para analizar patrones de difusión espacial de los eventos secos.

En la figura 2 se expone un esquema donde se muestran los principales parámetros que permiten caracterizar a las sequías (duración, magnitud e intensidad máxima). La figura está basada en el índice de sequía SPI. Para clasificar las diferentes categorías de sequías se utiliza la clasificación modificada por Agnew (2000), ya que sus valores se ajustan a una clasificación más racional (Portela et al, 2015; Santos et al., 2010), que la propuesta

original de McKee et al. (1993). Agnew (2000) considera como sequía los valores por debajo de un valor de intensidad de -0.84. Dado que las sequías tienen por naturaleza una ocurrencia aleatoria, y una evolución espacio-temporal impredecible, se les puede asociar un periodo de retorno concreto que esté ligado a probabilidades de ocurrencia diferentes (Santos et al., 2011).

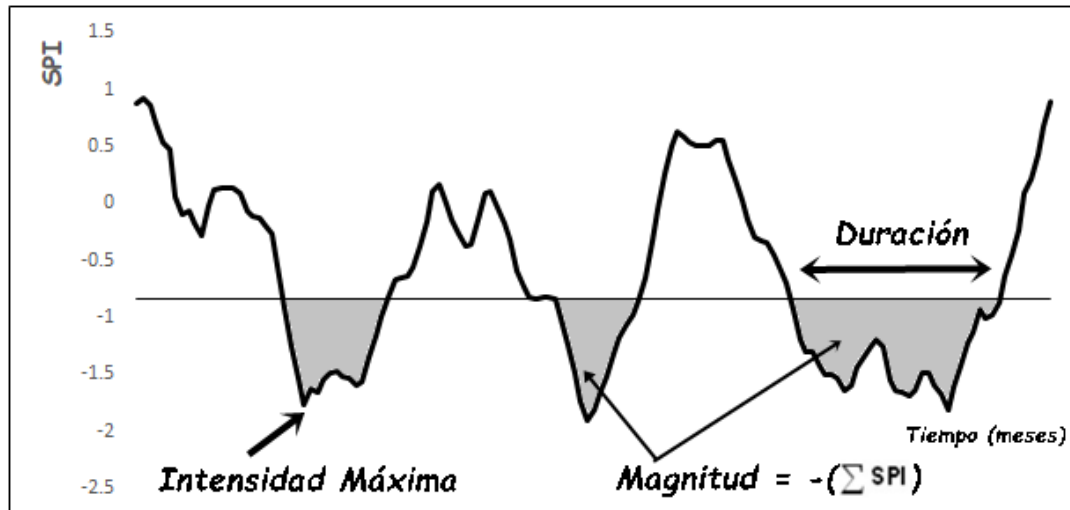


Figura 2. Definición de parámetros de sequía (duración, magnitud e intensidad) a partir del cálculo del índice de sequía SPI. Fuente: Elaboración propia (basado en Santos et al., 2011).

## 2.2. Situaciones atmosféricas generadoras de episodios pluviométricos secos

En ámbitos semiáridos como el sureste de España los estudios sobre las causas atmosféricas que provocan los episodios pluviométricos secos comenzaron a desarrollarse desde mediados del S.XIX, debido a las enormes consecuencias socioeconómicas que conlleva dicho fenómeno. La obra “Memoria sobre las causas de la sequía de las provincias de Almería y Murcia, y de los medios para atenuar sus efectos” (Echegaray, 1851), fue la precursora de este tipo de estudios en el sureste de España. En esta obra se expone lo siguiente acerca de las sequías: <<desgraciadamente las lluvias son allí irregulares, sin periodo, vienen de tarde en tarde, por cuya sequía tan continuada se hallan aquellos inmensos campos, que se llaman de secano, casi siempre sin cultivo>>. En la actualidad, la preocupación por este tipo de estudios sigue vigente con la realización de múltiples trabajos acerca de las causas y consecuencias de las sequías en el sureste de

España (Olcina Cantos y Rico Amorós, 1995; Gil Olcina, 2001; Urrea Mallebrera et al., 2011; García Galiano et al., 2015; Pérez Sánchez y Senent Aparicio, 2017).

Las secuencias de sequías son un fenómeno natural estructural de las condiciones climáticas de la totalidad de las regiones españolas, en virtud de la propia ubicación de la península ibérica en posición meridional de la zona de circulación general del oeste de las latitudes medias. En estas configuraciones predominan situaciones de subsidencia anticiclónica, estabilidad y descenso significativo de las precipitaciones (Olcina Cantos, 2001a). La reducción de las precipitaciones pone en cuestión la gestión de los recursos hídricos al motivar un descenso de su oferta, pudiéndose mostrar incapaz de satisfacer las demandas de agua, sobre todo las destinadas a las actividades agrícolas y turísticas (Olcina Cantos, 2001b). Dichos sectores han mostrado un gran auge en el sureste peninsular desde la década de 1980, sobre todo a raíz de la llegada de las aguas del TTS.

En Olcina Cantos (2001c), se expone que es posible distinguir entre cuatro tipos básicos de sequía en España: sequías cantábricas, ibéricas, surestinas y canarias. Las sequías ibéricas tienen carácter coyuntural, es decir, son secuencias secas sin intervalo fijo de aparición que afectan a la práctica totalidad de las tierras de la península ibérica. Por el contrario, las sequías surestinas, que afectan casi en exclusividad al ámbito del sureste ibérico, presentan un carácter estructural, ya que resulta difícil encontrar años húmedos en las series pluviométricas de los observatorios de dicha región. Además, cabe resaltar que en el sureste peninsular se prolongan los efectos de las sequías ibéricas, puesto que estas suelen terminar debido a la llegada sucesiva de frentes atlánticos que provocan importantes precipitaciones en la mayor parte de la península ibérica excepto en el sureste de España (salvo en el caso de borrascas muy enérgicas), debido a que dichos frentes llegan a esta región ibérica sin apenas efectividad pluviométrica a consecuencia del efecto Foehn provocado por la cordilleras béticas (López Bermúdez y Alonso Sarriá, 2001).

En este apartado se pone especial énfasis en la explicación de las sequías ibéricas y surestinas, puesto que son las que afectan al ámbito de estudio de esta tesis. Las situaciones atmosféricas proclives a producir secuencias secas de larga duración en los climas de influencia mediterránea son las siguientes (Olcina Cantos, 2006, Morales Gil y Rico Amorós, 1996): anticiclones vinculados a dorsales de aire tropical marítimo (suroeste-noroeste); anticiclones asociados a crestas de aire tropical marítimo (suroeste-noroeste); anticiclones asociados a crestas de aire tropical continental (sur-norte). Además en el sureste de España, hay que añadir el paso de frentes atlánticos desgastados

tras su tránsito por la península ibérica (situaciones de poniente). En definitiva, las configuraciones atmosféricas generadoras de episodios secos en el mediterráneo occidental, están vinculadas a los mecanismos de la circulación general atmosférica, donde la presencia del flujo atlántico del oeste contribuye a contener las masas de aire frío en latitudes altas, y las masas cálidas en latitudes más bajas, siendo por lo tanto predominantes los periodos de estabilidad atmosférica (Quereda Sala et al., 2001). En la figura 3 se muestra un esquema con las diferentes configuraciones atmosféricas generadoras de las secuencias de sequías ibéricas y surestinas.

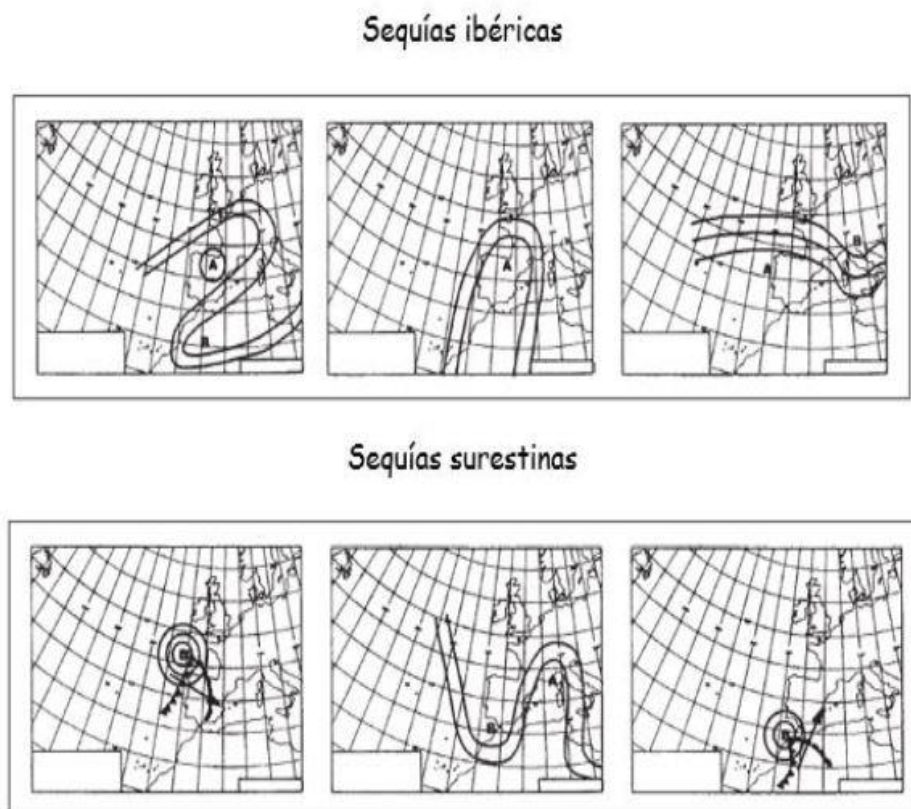


Figura 3. Situaciones y configuraciones atmosféricas causantes de las secuencias de sequías surestinas e ibéricas. Fuente: Olcina (2001b).

### **2.2.1. Descripción de situaciones sinópticas de sequía**

En este subapartado se describen detenidamente una serie de mapas sinópticos de configuraciones atmosféricas enmarcadas dentro de episodios de sequías procedentes del Reanalysis de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Además se exponen las anomalías (con respecto al periodo de referencia 1981-2010) en el Geopotencial de 500 hPa y de la presión atmosférica superficial, a partir de los datos

facilitados por la base de datos 20th Century Reanalysis Monthly Composites (NOAA-Earth System Research Laboratory -ESRL). Se han seleccionado los cuatro periodos de sequía pluviométrica de mayor gravedad en los últimos 40 años en el ámbito territorial del sureste peninsular: 1981-1986, 1993-1996, 2005-2006 y 2013-2015.

En primer lugar, en la figura 4, se muestra una situación de cresta sahariana situada sobre la península ibérica (centro sobre las islas británicas). Es una configuración típica generadora de sequías ibéricas. El mapa sinóptico se corresponde al 13 de octubre de 1985. En el periodo 1981-1986, prevalecieron rachas prolongadas de dorsales subtropicales sobre la península ibérica, que favorecen condiciones de subsidencia anticiclónica, y la consecuente ausencia de precipitaciones. En numerosos puntos del interior del área de estudio es la sequía más duradera del periodo 1968-2017 el cual se analiza con detalle en el capítulo 5. Las consecuencias y causas de este ciclo de sequía han sido analizadas en múltiples trabajos de investigación (Zapata et al., 1990; Morales y Rico, 1996; Gil Olcina, 2001).

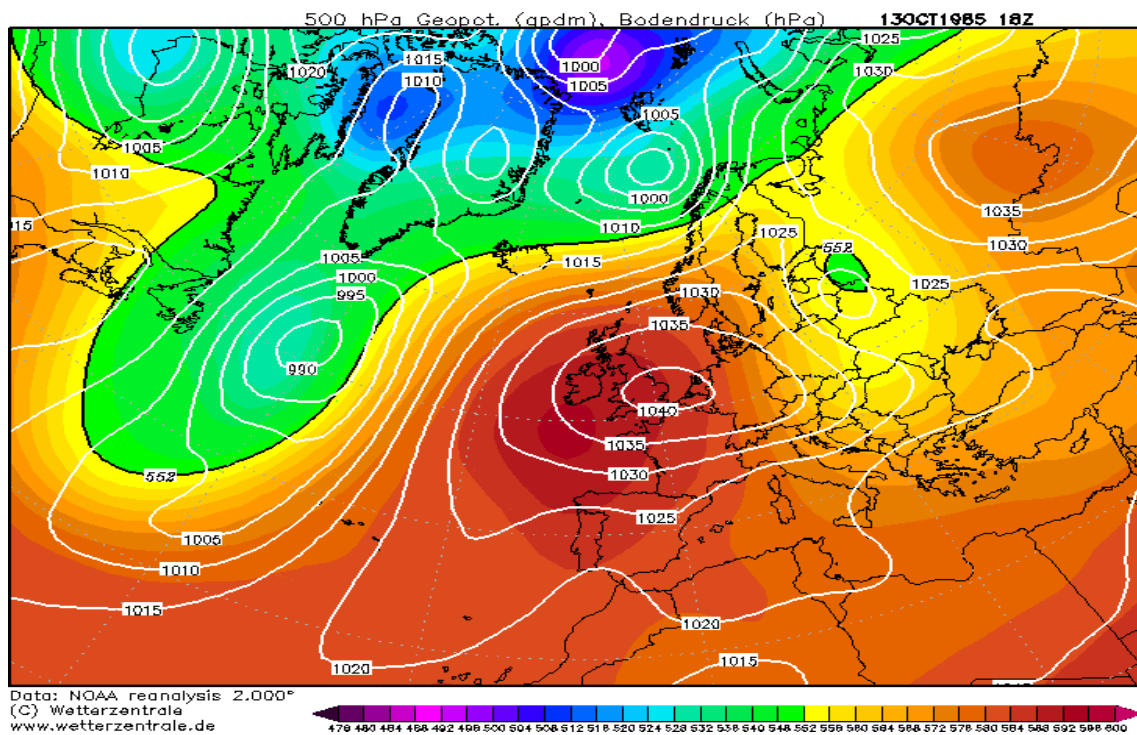


Figura 4. Configuración atmosférica de cresta sahariana sobre la península ibérica.

Mapa sinóptico del 13 de octubre de 1985 (Geopotencial 500 hPa y presión atmosférica). Fuente: Wetterzentrale.

Durante este periodo, las sequías fueron también especialmente intensas en el suroeste europeo (Spioni et al., 2015). Además se registraron algunos episodios de lluvias

torrenciales que mitigaron en parte los efectos de esta sequía, prevaleciendo el episodio de octubre de 1982 que provocó importantes inundaciones en la provincia de Alicante y las vegas alta y media del Segura (López y Gutiérrez, 1982; Olcina y Rico, 1995) .Por otra parte, en la figura 5, se evidencia que durante el periodo 1981-1986, predominaron sobre la península ibérica anomalías positivas de la presión atmosférica superficial con respecto a la media del periodo de referencia 1981-2010.

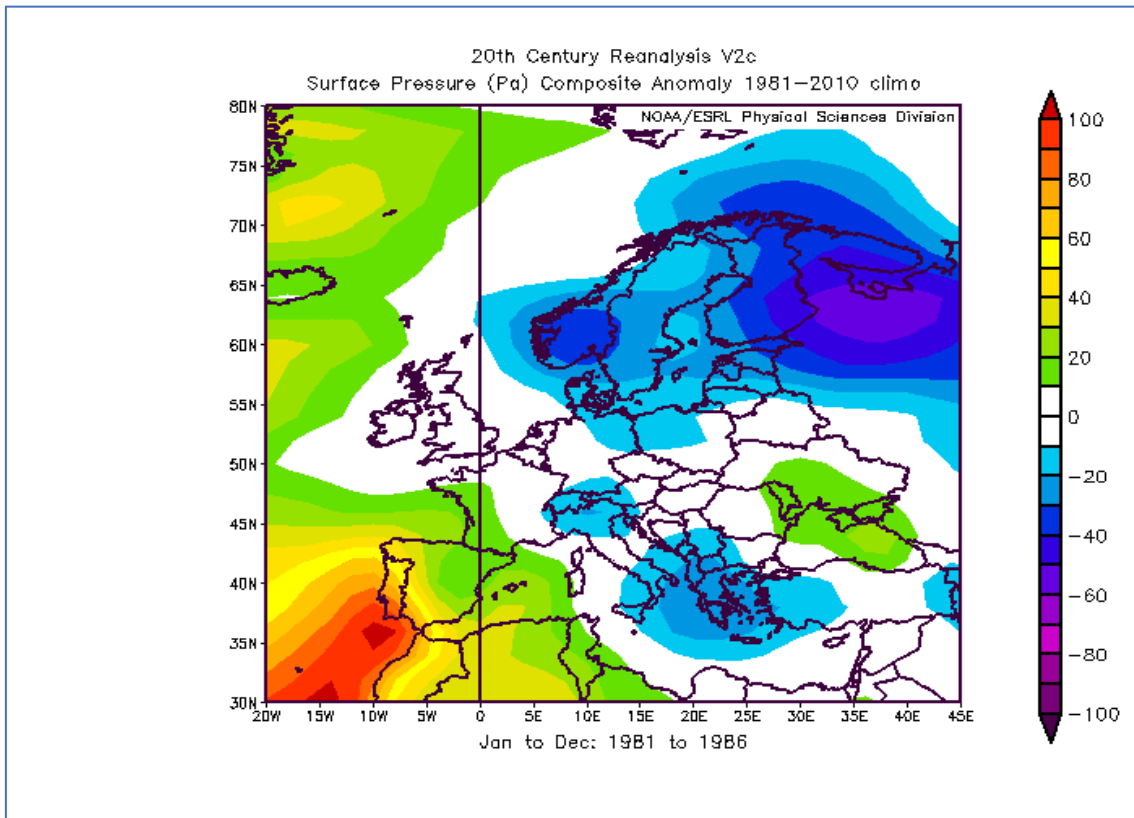


Figura 5. Anomalía de presión atmosférica superficial durante el periodo 1981-1986 con respecto al periodo de referencia 1981-2010. Fuente: NOAA Earth System Research Laboratory (ESRL).

En la figura 6, se muestra una configuración atmosférica típica de interacción vaguada/dorsal sobre la península ibérica, situándose la dorsal sobre la fachada occidental mediterránea. Es un mapa sinóptico del 23 de enero de 1996. Durante este invierno predominó esta situación en la península ibérica, lo que provocó el fin de la intensa sequía ibérica transcurrida entre 1990-1995 (Olcina Cantos y Rico Amorós, 1995; Morales Gil y Rico Amorós, 1996; Morales Gil, 1999, Galán Gallego y Labajo Montero, 2016). Este escenario facilitó la sucesión de frentes atlánticos sobre la península ibérica, que dejó intensas precipitaciones, excepto en el tercio oriental del sureste peninsular donde dichos



frentes llegan muy debilitados. En la cabecera del Segura, si se puso fin a esta intensa sequía, tal y como se analizará en el capítulo 5. Este tipo de configuración atmosférica provocó la prolongación en el sureste peninsular de las consecuencias y los efectos provocados por la sequía ibérica 1990-1995 hasta finales del año 1996, pudiéndose catalogar como sequía surestina el periodo 1993-1997 (Gil Olcina, 2001). Esta configuración atmosférica es característica de la fase negativa del patrón de teleconexión North Atlantic Oscillation (NAO), que favorece el desplazamiento hacia el sur de los frentes atlánticos, con el correspondiente aumento de las precipitaciones en gran parte de la península ibérica (Martín-Vide y Fernández Belmonte, 2001; Gallego et al.,2005).

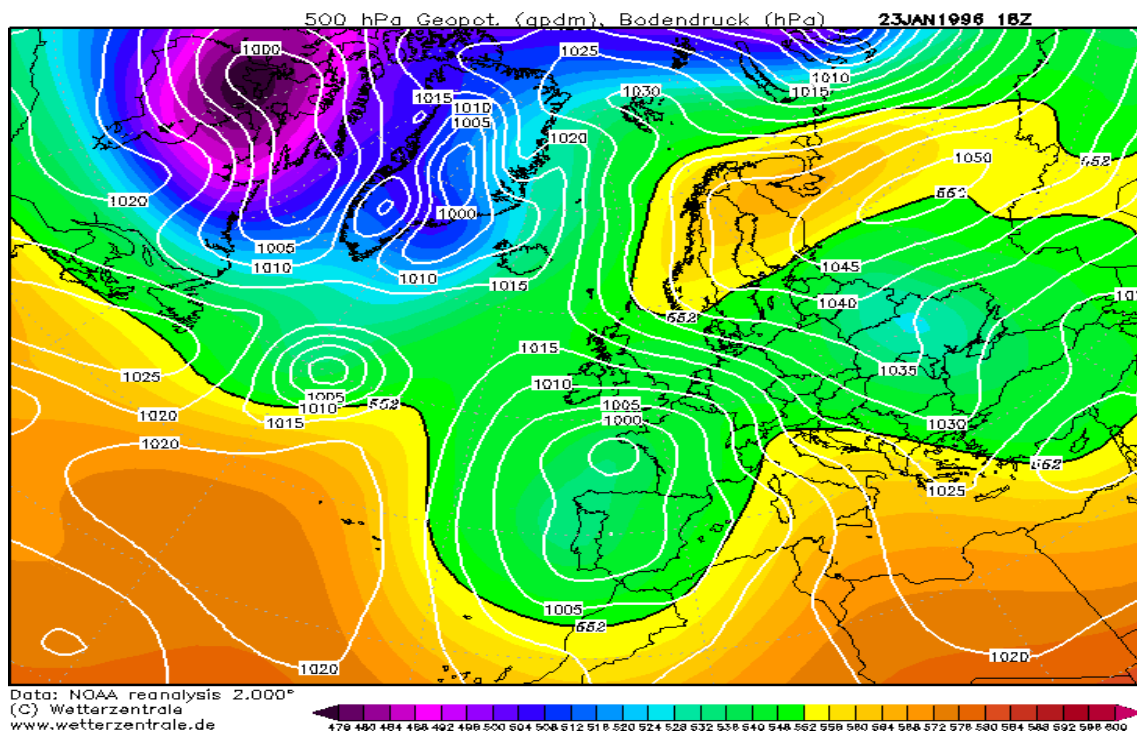


Figura 6. Configuración atmosférica de interacción vaguada/dorsal, situándose la dorsal sobre la fachada occidental mediterránea. Mapa sinóptico del 23 de enero de 1996 (Geopotencial 500 hPa y presión atmosférica). Fuente: Wetterzentrale.

En la figura 7, se muestra como durante el periodo 1994-1995, que fue el espacio temporal de mayor intensidad del ciclo sequía 1993-1996, se encuadran sobre la península ibérica anomalías positivas tanto en el geopotencial de 500 hPa como de la presión superficial. Esto refleja que fue un periodo en el que predominaron las condiciones de estabilidad atmosférica. Esta situación se corresponde con un ciclo de prevalencia de la fase positiva del patrón de teleconexión North Atlantic Oscillation (NAO), que provoca que las borrascas circulen por las latitudes más septentrionales, reduciéndose su incidencia sobre



la península ibérica (Vázquez López,1999). En el ámbito territorial del sureste peninsular se produjeron numerosas pérdidas económicas como consecuencia de esta sequía. De hecho, tras el verano de 1995, uno de lo más secos de todo el S.XX, el gobierno de España, impulsó y aprobó, por vía de urgencia, el denominado “Plan Metasequía”, que incluía múltiples actuaciones de emergencia (Morales Gil, 1999).

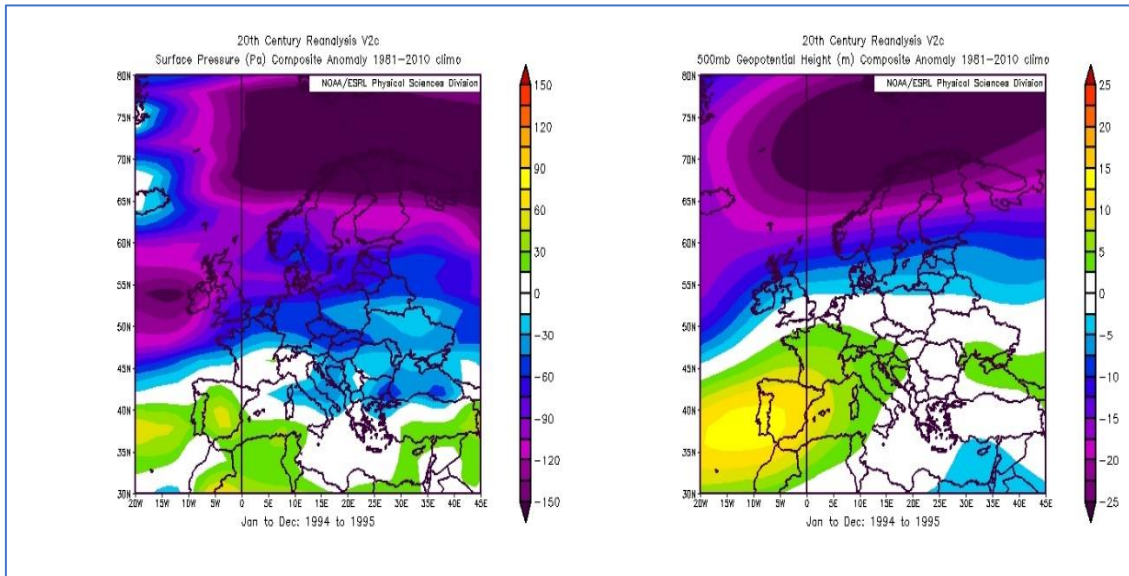


Figura 7. Anomalía de presión atmosférica superficial y geopotencial a 500 hPa durante el periodo 1994-1995 con respecto al periodo de referencia 1981-2010. Fuente: NOAA Earth System Research Laboratory (ESRL).

Tras la sequía de 1993-1996, tuvieron lugar los periodos de sequía 1998-2001 y 2005-2006. En la figura 8, se presenta la configuración atmosférica del día 10 de febrero de 2005. El periodo invernal de 2004-2005 fue muy seco en toda la península ibérica, dando lugar al inicio de una sequía ibérica en la primavera de 2005. Este periodo invernal se caracterizó por la presencia de anticiclones de bloqueo vinculados a circulaciones de tipo retrogrado (Olcina Cantos,2001b). Estas situaciones pueden dar lugar a la advección de vientos húmedos en la vertiente mediterránea, que pueden ocasionar chubascos que mitiguen la severidad de la sequía. Durante el año 2005, se produjeron numerosas pérdidas económicas en la península ibérica, debido a la reducción de las reservas hídricas almacenadas. En Fernández Sánchez et al., (2006) se efectúa una recopilación de las noticias recogidas en los medios de comunicación sobre esta secuencia pluviométrica seca, pudiéndose resaltar las referencias a la explotación de los recursos hídricos y la sequía hidrológica. También se hace especial mención a noticias relacionadas sobre el TTS, y los conflictos sociales, territoriales y políticos que llevo consigo su aprobación

durante este ciclo seco. Por otra parte, en la figura 9, se exhiben anomalías positivas en el geopotencial de 500 hPa y presión superficial durante el año 2005.

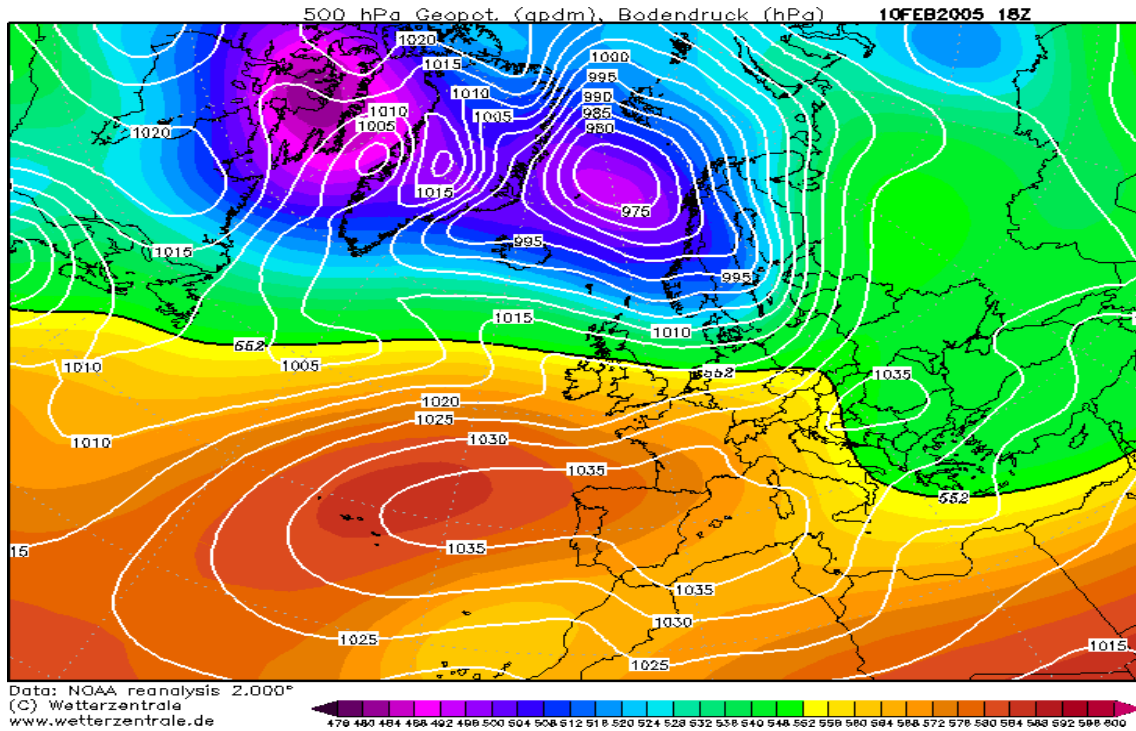


Figura 8. Configuración atmosférica de bloqueo anticiclónico sobre la península ibérica. Mapa sinóptico del 10 de febrero de 2005 (Geopotencial 500 hPa y presión atmosférica). Fuente: Wetterzentrale.

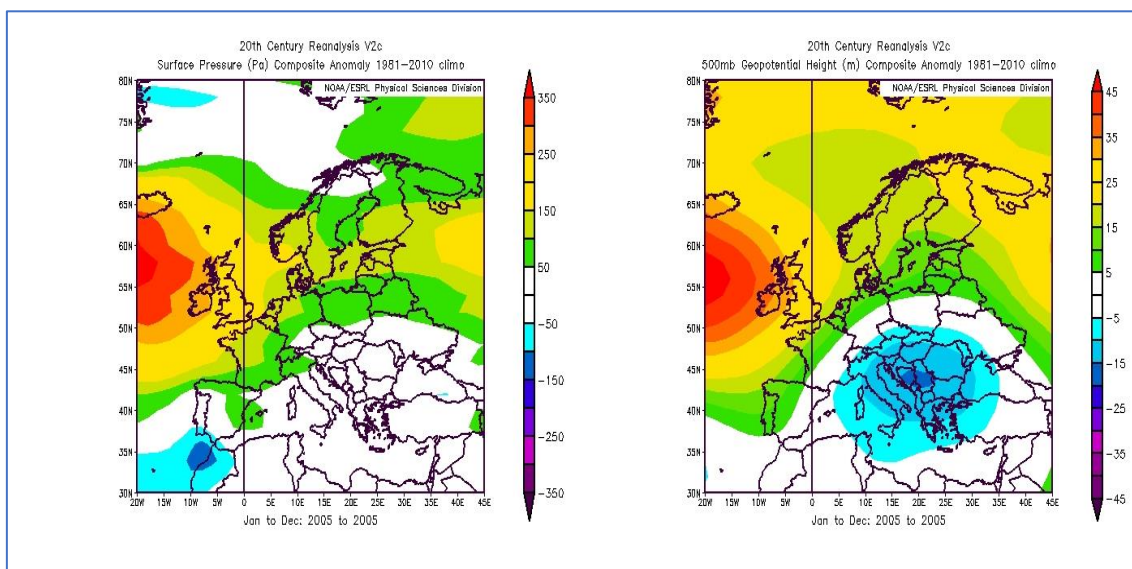


Figura 9. Anomalía de presión atmosférica superficial y geopotencial a 500 hPa durante el año 2005 con respecto al periodo de referencia 1981-2010. Fuente: NOAA Earth System Research Laboratory (ESRL).

Por último, en la figura 10, se hace referencia a la última gran sequía surestina, la de 2013-2015. Concretamente se muestra una mapa sinóptico del 16 de enero de 2014. Dicho invierno se caracterizó por la presencia y persistencia en la entrada de numerosos frentes atlánticos asociados a profundas borrascas, que en algunos casos derivaron en procesos de ciclogénesis explosiva (Menéndez et al., 2014; Fuentes López, 2014; García Ruiz y Castro Guío, 2016). Como ya se ha mencionado estas borrascas llegan sin apenas efectividad pluviométrica al sureste peninsular (salvo en el caso de borrascas muy energéticas), influyendo enormemente en este hecho, el relieve, ya que estos territorios se encuentran a sotavento de los flujos húmedos atlánticos. De hecho, tal y como se analiza en el capítulo 5, este periodo de sequía es uno de los de mayor severidad del S.XX en el área de estudio (Ruiz Álvarez et al., 2016). En este ciclo, tuvo especial incidencia la sequía agrícola, provocando importantes pérdidas en los cultivos de secano (Montesinos et al., 2017), sobre todo en cultivos de almendro y cereal

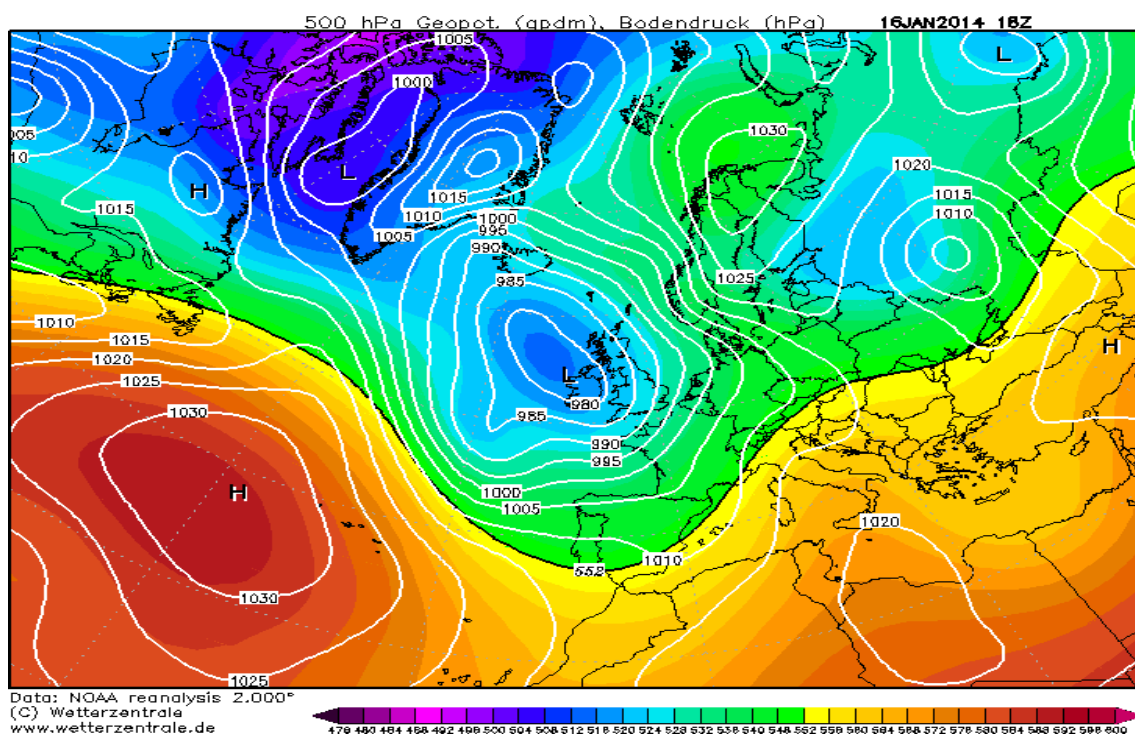


Figura 10. Configuración atmosférica típica de frentes atlánticos asociados a profundas borrascas, que penetran en la península ibérica por el noroeste. Mapa sinóptico del 10 de enero de 2014 (Geopotencial 500 hPa y presión atmosférica). Fuente: Wetterzentrale.

Por otra parte, en la figura 11, se vislumbra como durante el año 2014 en el momento de mayor intensidad de la sequía surestina 2013-2015, prevalecieron anomalías negativas tanto en el geopotencial a 500 hPa como en la presión superficial, lo cual es un claro

indicativo del predominio de la entrada de frentes atlánticos sobre la península ibérica. De hecho, la primavera de 2013 y el invierno de 2013-2014 fueron muy húmedos o húmedos en gran parte de la península ibérica (Bernabé et al., 2013 y Bernabé y Barceló, 2014). Esto favoreció un aumento considerable de las reservas hídricas, incluyendo los embalses de la cabecera del Segura, que en la primavera de 2013 llegaron al máximo de su capacidad teniendo que desembalsar agua. Además durante este periodo los recursos de los Embalses de Buendía y Entrepeñas se encontraban bastante por encima del nivel mínimo de 400 hm<sup>3</sup> para realizar trasvases de agua hacia el Segura (Morote Seguido y Rico Amorós, 2018). Esta secuencia pluviométrica seca concluyó en gran parte del área de estudio, en marzo de 2015, debido a un episodio de lluvias torrenciales.

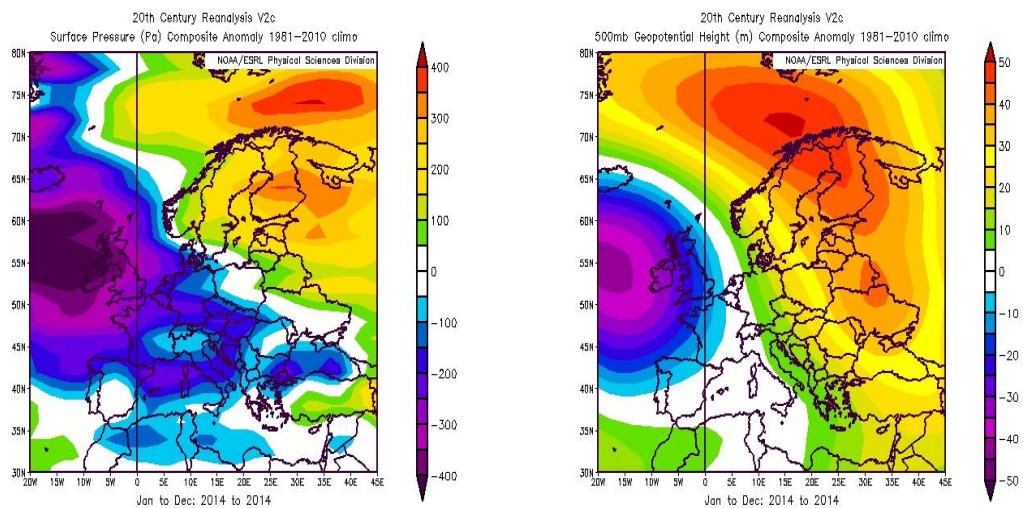


Figura 11. Anomalía de presión atmosférica superficial y geopotencial a 500 hPa durante el año 2014 con respecto al periodo de referencia 1981-2010. Fuente: NOAA Earth System Research Laboratory (ESRL).

Por tanto, y en referencia a las sequías surestinas, se puede afirmar que son un rasgo condigno de las condiciones climáticas del sureste ibérico. Las configuraciones sinópticas que dan lugar a estas secuencias secas originan sequías agrícolas muy intensas, con importantes pérdidas en los cultivos de secano. Por otra parte, y a pesar de la aridez característica de esta región natural, se han implementado usos del suelo que exceden los recursos de agua endógenos de la DHS, por lo que ha sido necesario el acceso a recursos exógenos (siendo el mayor exponente el TTS) para mantener una pujante actividad económica y unos abastecimientos en permanente expansión ligados en gran parte a los cultivos intensivos de regadío y las actividades turísticas (Morales Gil, 1999).



La dependencia de recursos hídricos externos, junto a la concentración de la mayor parte de las reservas hídricas en la cabecera del Segura, provoca que durante las secuencias secas ibéricas, las sequías hidrológicas sean muy intensas, dado que se producen importantes descensos en el nivel de las reservas tanto en la cabeceras del Tajo como en la del Segura. Esto da lugar a importantes impactos sociales, económicos y medioambientales en el sureste ibérico (sequía socioeconómica). Los cambios en las reglas de explotación del TTS pueden mermar la flexibilidad de explotación de estos recursos cuando concurren situaciones de prolongada sequía en el sureste ibérico, dado que tanto la cabecera del Tajo como la del Segura se ven afectadas por los mismos mecanismos generadores de secuencias secas (Morote Seguido et al., 2018). A esto hay que añadir que los escenarios de cambio climático simulan una reducción drástica de los recursos en la cabecera del Tajo, provocando un trasvase cero durante gran parte del tiempo (Pellicer Martínez y Martínez Paz, 2018). Por lo tanto se hace necesario buscar nuevas fuentes de abastecimiento, que aseguren el suministro de agua en situaciones futuras de prolongada sequía. En Morote Seguido y Rico Amorós (2018), se analiza detenidamente el impulso de los recursos hídricos procedentes de la desalinización.

Por último, es muy importante resaltar que el cese de las sequías surestinas, se suele corresponder con el desarrollo de un gran episodio de lluvias torrenciales vinculadas a la génesis de desarrollos ciclogénéticos en relación con la presencia de una DANA sobre el Golfo de Cádiz o los sectores marítimos mediterráneos de Alborán o Argel, o bien por la entrada de vientos húmedos del este de gran recorrido marítimo. Un claro ejemplo se encuentra a la famosa “Riada de la Bendita” en la cuenca del río Segura en abril de 1946 (Gil Olcina, 1968; Ferreras Fernández, 2004), que marco el cese de una de las sequías más intensas que han acontecido en la Región de Murcia, en el periodo temporal 1864-2014 (Ruiz Álvarez et al., 2016). De hecho el año 1945 es el más seco de toda la serie de Murcia ciudad (1864-2019), con un total de 91,6 mm. En los últimos años con la acentuación de los extremos pluviométricos se han dado dos casos de ceses de sequías surestinas con episodios de lluvias torrenciales. Se trata de las sequías de 2012 y 2016 que tuvieron una duración breve debido al desarrollo de dos importantes episodios de lluvias torrenciales en septiembre de 2012 y diciembre de 2016 (Espín Sánchez et al., 2016; Gil Olcina, 2016a). En definitiva, la alternancia de sequías y episodios de lluvias torrenciales es uno de los rasgos más característicos del clima del sureste ibérico (Olcina Cantos, 2001b).

### **2.3. El papel de la Ordenación del Territorio en la mitigación del riesgo de sequía**

El elevado ritmo de ocupación del espacio geográfico y el rápido proceso de transformación de los usos del suelo en las últimas décadas, ha provocado que las políticas de ordenación racional del medio se hayan visto desbordadas, lo cual ha motivado que el grado de riesgo natural lejos de reducirse, se haya mantenido o aumentado, y no precisamente por un incremento del parámetro de la peligrosidad sino por la proliferación de actuaciones humanas poco acordes con las características naturales del medio donde ocurren (Olcina Cantos, 2003). En el caso del riesgo de sequía, la implementación en el área de estudio de actividades como los cultivos de regadío o el desarrollo de infraestructuras turísticas (sobre todo a partir de llegada de las aguas del TTS en 1979), ha originado que estos usos del suelo excedan de los recursos de agua endógenos de este territorio, provocando un elevado déficit hídrico. Además, como ya ha sido mencionado, durante los ciclos de sequía ibérica se producen elevados impactos sociales, territoriales, ambientales, económicos y políticos como consecuencia de la elevada dependencia de recursos hídricos exógenos. Las áreas afectadas se concentran sobre todo en las comarcas litorales y prelitorales.

En este sentido, la ordenación del territorio se constituye como el proceso y la herramienta más eficaz, racional y sostenible de reducción de la vulnerabilidad y exposición de las sociedades frente a los peligros naturales (Olcina Cantos, 2010). De este modo, en ámbitos territoriales semiáridos, como el sureste de España que ostentan dificultades actuales para atender las demandas de agua requeridas por la población, resulta imprescindible el desarrollo de estrategias de mitigación y adaptación al riesgo de sequía, que deben estar encaminadas hacia un uso sostenible y racional de los recursos hídricos, lo que implica el desarrollo de actividades económicas adaptadas a las condiciones de aridez reinantes en el territorio estudiado. En Ruiz Álvarez y Jódar Abellán (2016), se hace un análisis exhaustivo de las actuaciones y propuestas de mitigación frente al riesgo de sequía en la Región de Murcia.

En este apartado se realiza un análisis de las medidas y estrategias de mitigación y adaptación frente a las sequías en el área de estudio. En primer lugar se lleva a cabo una contextualización de las actuaciones ejecutadas dentro de un marco histórico. Posteriormente se realiza una descripción exhaustiva de las infraestructuras encargadas

del abastecimiento de agua en este territorio: Canales del Taibilla, trasvase y postrasvase del Tajo-Segura y desaladoras. Dentro de los canales del Taibilla, se ha puesto especial énfasis en la descripción de las funciones del organismo de la MCT. Además se analiza la evolución temporal de los recursos hídricos utilizados por este organismo en las tres últimas décadas.

### **2.3.1. Marco histórico**

El sureste de la península ibérica ha sufrido a lo largo de la historia, los envites y consecuencias territoriales perjudiciales de las secuencias pluviométricas secas de larga duración. El primer aspecto que hay que resaltar es que conforme se ha ido aumentando el nivel de vida, la sociedad española ha pasado de la austeridad en el gasto de agua al derroche, y consecuentemente de la adaptación al catastrofismo (Morales Gil et al., 1999). Ejemplos tradicionales de adaptación a las sequías son el aprovechamiento de aguas pluviales a través de aljibes, el riego de turbias, la distribución de aguas para riego mediante redes de acequias y azarbes, o la construcción de embalses para el almacenamiento de recursos hídricos. Además, cabe mencionar que existen otras medidas que no son de carácter estructural, que estuvieron muy arraigadas en la población del sureste de España, como son las rogativas pro lluvia. La datación de estos acontecimientos a través de la información extraída de los archivos históricos se constituye como una herramienta muy útil para la reconstrucción de eventos de sequía históricos (Gil Guirado et al., 2016).

Hay indicios de adaptación a las sequías por parte de todas las civilizaciones que han ocupado el espacio geográfico del sureste de España. Prueba de ello son los acueductos construidos en época romana o por ejemplo la extensa red de acequias y azarbes de la Huerta de Murcia, construida durante la época musulmana, para la distribución y aprovechamiento máximo de las exiguas aguas del río Segura. A pesar de que desde el S.XVI se han sucedido numerosos intentos para solucionar el problema de abastecimiento de agua potable en el sureste de España mediante la realización de trasvases de agua desde ámbitos territoriales más húmedos (desde las zonas montañosas del interior hacía las zonas costeras), cabe destacar, que en la actualidad en pleno S.XXI, siguen vigentes los problemas de abastecimiento de agua para la población y las actividades económicas, sobre todo como consecuencia de la inadaptación de dichas actividades a las condiciones reinantes de escasez hídrica y manifiesta aridez. Esto genera importantes problemas

territoriales, y graves conflictos sociales y políticos entre regiones vecinas, por la lucha por los recursos hídricos.

Las primeras tentativas de trasvases de agua intercuenas en el sureste peninsular datan del S.XVI con la proyección del canal de Huéscar (perteneciente a la cuenca hidrográfica del Guadalquivir), donde se unen los ríos Castril y Guardal para conducir sus aguas a la cuenca del río Almanzora y desde allí poder llevar el agua al valle del Guadalentín y campo de Cartagena. En el S.XVII se iniciaron estas obras, siendo destruidas por una gran avenida. Posteriormente en el S.XVIII se creó la Real Compañía del Canal de Murcia (basada en el proyecto del canal de Huéscar), que fue anulada por no comenzar las obras en el plazo previsto (Gil Olcina, 2016b). Todos estos intentos como los sucesivos resultaron infructuosos por un motivo u otro hasta principios del S.XX.

Aparte de la tentativa de estos trasvases, a mediados del S.XVII se planteó la necesidad de construir embalses reguladores de las aguas de la cuenca del Segura. El primer embalse que se ejecutó fue el embalse de Puentes que comenzó a erigirse en el año 1647, constituyéndose como uno de los embalses más antiguos de Europa. No obstante una avenida destruyó la presa en 1648, y no fue hasta finales del S.XVIII cuando se construyó una nueva presa en el mismo lugar, la cual fue destruida de nuevo en 1802 debido a un importante episodio de lluvias torrenciales. En 1791, se concluyeron las obras del embalse del Valdeinfierno, situado también en la subcuenca del río Guadalentín al igual que Puentes. Ambos embalses se edificaron con una doble función: laminación de avenidas y regulación de las aguas para riego.

No obstante, no fue hasta la primera mitad del S.XX cuando se construyeron los grandes embalses reguladores existentes en la actualidad en la DHS, que son el embalse del Cenajo (capacidad de 437 hm<sup>3</sup>) y el embalse de la Fuensanta (capacidad de 210 hm<sup>3</sup>). Para más información sobre los embalses se debe consultar el apartado 3.1.3. Hidrología. Por otra parte, durante las primeras décadas del mencionado S.XX, se planteó la necesidad de construir una infraestructura que permitiera el abastecimiento de agua potable a gran parte de los municipios de la reciente creada Confederación Hidrográfica del Segura. Esta necesidad se materializó con la creación de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT), en el año 1927 mediante el Decreto-Ley de 4 de octubre. Sin embargo, hubo que esperar hasta el año 1939, para que esta infraestructura cogiera un impulso definitivo.



Por su parte, las Confederaciones Hidrográficas, fueron creadas en el año 1926 mediante Real Decreto Ley, de 5 de marzo de 1926. Se crearon con el nombre de Confederaciones Sindicales Hidrográficas, disponiendo su artículo 1 que “en todas las cuencas hidrográficas en que la Administración lo declare conveniente o en que lo solicite el 70% por lo menos, de su riqueza agrícola e industrial, afectada por el aprovechamiento de sus aguas corrientes, se formara la Confederación Sindical Hidrográfica”. Las Confederaciones Hidrográficas han venido funcionando desde su nacimiento, desempeñando un importante papel en la planificación hidrológica, gestión de recursos y aprovechamientos, protección del dominio público hidráulico o la ejecución de nuevas infraestructuras hidráulicas, entre otros.

### **2.3.2. Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT)**

A principios del S. XX , concretamente a partir de 1913, se realizaron los estudios que concluirían posteriormente con la creación de la MCT en 1927. En un primer momento se contempló la posibilidad de traer el agua desde los Chorros del río Mundo, pero finalmente se decidió que la opción más viable era el río Taibilla. Es necesario llegar a la década de 1920 para que el Ingeniero de Caminos José Eugenio Ribera redacte un anteproyecto en la que la fuente de suministro es el río Taibilla (MCT,2019). Este anteproyecto, desencadenó en el ya mencionado Decreto-Ley de 4 de octubre de 1927.

En la actualidad ostenta la naturaleza jurídica de Organismo autónomo de los previstos en el artículo 43.1 de la Ley 6/1997 (LOFAGE), encontrándose adscrito al Ministerio de Transición Ecológica. Su finalidad es el abastecimiento de agua potable en red primaria (captación, potabilización o desalinización, conducción y almacenamiento en depósitos de reserva). Sus normas básicas reguladoras son el Decreto-Ley 4 de octubre de 1927 de Creación de la Mancomunidad y la Ley 27 de Abril de 1946- Reforma de la MCT. La Mancomunidad está regida, por un Delegado del Gobierno, según establece el artículo nº7 de la Ley de 27 de Abril de 1946. A su vez este Delegado del Gobierno, forma parte de un comité ejecutivo que cuenta con cuatro vicepresidencias (un comisario de aguas y los alcaldes de Murcia, Alicante y Cartagena como ciudades más pobladas).

La MCT realiza en la actualidad el abastecimiento de agua potable de un total de 80 municipios (43 en la provincia de Murcia, 35 en Alicante y 2 en Albacete), ocupando una superficie de 11.776, 4 km<sup>2</sup>. La población abastecida a 1 de enero de 2018 es de 2.477.058 habitantes (INE), que llegan a superar los 3 millones durante la época estival. En el

apartado 3.1. Demarcación Hidrográfica del Segura y Mancomunidad de los Canales del Taibilla, se describe con más detalle el territorio abastecido por la MCT. Desde su creación en 1927, este organismo ha ido poco a poco aumentando el número de municipios abastecidos y consecuentemente se ha ido incrementando la cantidad de población, sobre todo a partir de 1970, cuando se pasó de abastecer a 700.000 habitantes a los cerca de 2,5 millones actuales (Melgarejo Moreno y Molina Giménez, 2017). Esto ha provocado que se hayan tenido que buscar nuevas fuentes de abastecimiento de agua, que fueran complementarias al embalse del Taibilla. A continuación se detalla brevemente la historia de este organismo.

Tras la creación de la MCT en 1927, una serie de problemas económicos y políticos provocaron que las obras no dieran comienzo hasta el año 1932 pero con un ritmo mucho más lento del esperado por los problemas ya citados, quedando paralizadas durante el transcurso de la Guerra Civil. A partir de 1939, se produjo un verdadero impulso para la obra, y se desarrolló la construcción del canal a un ritmo mucho más acelerado. Esto permitió que en mayo de 1945 quedaran abastecidas la ciudad de Cartagena y su Base Naval mediante la construcción en menos de un quinquenio de un canal de alrededor 200 km de longitud. La llegada de las aguas a esta ciudad es uno de los hitos más importantes en la historia de la MCT. Esto provocó un fuerte impulso para todos los sectores económicos de esta ciudad portuaria.

A partir del año 1945, la MCT fue ampliando paulatinamente el número de municipios abastecidos llegando en 1960 a un total de 24 municipios (460.000 habitantes). En esta década se consiguió el abastecimiento de las dos ciudades más importantes del área de estudio, Murcia en 1955 y Alicante en 1956. La década de 1960 supuso un gran impulso a esta infraestructura ya que se logró llegar a muchos más municipios, situándose la cifra en 60 municipios en 1970 (700.000 habitantes). Esto supuso un fuerte impulso a las actividades económicas del área de estudio, sobre todo para los sectores agropecuario, turístico e industrial, y trajo consigo una lógica mejora en las condiciones de vida de miles de ciudadanos. Entre las actividades promovidas con la llegada de las aguas del Taibilla se puede destacar el desarrollo del complejo industrial del Valle de Escombreras. Además gracias a la disponibilidad de agua se produjo un marcado desarrollo de la industria conservera en núcleos urbanos como Molina de Segura, Alcantarilla o Mula, así como la industria de curtidos en Lorca.

En 1975 se rompió la barrera del millón de habitantes abastecidos por la MCT, llegando a un total de 74 municipios. A partir de esta década, el rápido crecimiento de la población sobre todo en las áreas metropolitanas de Alicante-Elche y Murcia, originó que fuera necesaria la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento, aspecto que se abordará a continuación. En el año 2000 la población llegó a la cifra de 1.900.000 habitantes. La llegada masiva de inmigrantes en esta década y el espectacular desarrollo del turismo residencial en los litorales de Murcia y Alicante, propició un excepcional incremento de la población en esta década hasta llegar a una cifra máxima de 2,5 millones en 2011. En la actualidad la población está sufriendo un periodo de estancamiento. Para más detalles sobre la evolución de la población, ver apartado 3.1.8. Población.

A lo largo de su historia la MCT ha sufrido dos grandes periodos deficitarios de recursos hídricos, los cuales desencadenaron la puesta en marcha de otras grandes infraestructuras para el abastecimiento de agua en el sureste de España. Estas medidas forman parte de las estrategias de planificación, ordenación y vertebración del territorio de este marco espacial. El primer periodo deficitario, se inició en el año 1966 tras el intenso periodo seco de 1963-1967, debido a la insuficiencia de los caudales aportados por el río Taibilla, haciéndose preciso la incorporación creciente de volúmenes del río Segura con carácter provisional. Esto propició numerosos problemas de abastecimiento de agua a la población y sus actividades económicas. El gobierno de España, intentó buscar una solución a los problemas de suministro de agua. La solución adoptada por el gobierno de España fue una de las decisiones políticas de mayor alcance y repercusión para el sureste de España en el S.XX: el TTS. El “Anteproyecto General del Aprovechamiento Conjunto de los Recursos Hidráulicos del Centro y Sureste de España, Complejo Tajo-Segura” redactado en el año 1967, dio lugar al comienzo de las obras del TTS, el cual entró en funcionamiento finalmente el 31 de marzo de 1979. Las principales características y funciones del TTS son descritas en el apartado 2.3.3.

A partir de 1979 el TTS se convirtió en la principal fuente de abastecimiento de la MCT. Este trasvase se configura como una de las infraestructuras hidráulicas más importantes de las construidas en la península ibérica durante el S.XX. Por otra parte, el segundo periodo deficitario de recursos hídricos en la MCT surgió a partir del año 2000 tras las intensas sequías de 1993-1997 y 1999-2001, debido a la insuficiencia de los caudales del río Taibilla, y a que el TTS se situó por primera vez por debajo de la dotación máxima legal de aguas excedentarias (años hidrológicos 1994-1995 y 1995-1996). La secuencia

pluviométrica seca de 1993-1997 provocó cuantiosos problemas de abastecimiento de agua en el sureste de España, debido a la intensa sequía hidrológica originada por el marcado déficit pluviométrico. Por tanto, se hizo necesaria la búsqueda de nuevas fuentes de recursos hídricos para atender la creciente demanda de agua originada por el desarrollo económico e incremento demográfico en los municipios abastecidos por la MCT.

En un primer momento, para afrontar la elevada escasez hídrica, y evitar nuevos problemas futuros de abastecimiento de agua a la población, se recurrió a la apertura de los denominados pozos de sequía y a la extracción de recursos hídricos subterráneos, como por ejemplo los existentes en el Sinclinal de Calasparra. Además, dentro del marco del Plan Hidrológico Nacional, enmarcado en la Ley 10/2001, de 5 de julio del Plan Hidrológico Nacional, el gobierno de España planteó la posibilidad de realizar un trasvase desde el río Ebro a las provincias del sureste peninsular, idea que finalmente se desestimó a través del Real Decreto Ley 2/2004 que modificó lo establecido en la Ley 10/2001, derogando el proyecto del trasvase de aguas desde el Ebro. Además, este trasvase es difícilmente aceptable hoy en día, desde un punto de vista científico, ambiental y económico, incumpliendo numerosas nociones básicas de la Directiva Marco del Agua (DMA) de la Comunidad Europea que entró en vigor en el año 2000 (Villarroya Gil, 2006; Del Moral Ituarte y Silva Pérez, 2006).

Tras la derogación del Trasvase del Ebro, el gobierno de España estudió el planteamiento de nuevas alternativas a los problemas de escasez hídrica del sureste de España. Fruto de ello la solución dada por el gobierno fue el impulso de la desalinización mediante la construcción de una serie de desaladoras a lo largo de todo el litoral mediterráneo español. Este proyecto fue respaldado por el gobierno español mediante la puesta en marcha del programa AGUA (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua). A partir del año 2003 la MCT empezó a abastecerse del agua desalinizada. Desde este año hasta la actualidad el aporte de la desalación en la MCT ha ido creciendo paulatinamente, sustituyendo progresivamente a las aguas procedentes del TTS como fuente de abastecimiento principal.

El programa AGUA presenta las siguientes actuaciones prioritarias: a) Incremento de la disponibilidad de recursos hídricos con la construcción de una serie de desaladoras en el litoral mediterráneo español; b) Actuaciones encaminadas a la mejora de la gestión de recursos hídricos, que se materializan por ejemplo en la modernización de regadíos y la reutilización de aguas residuales; c) Acciones enfocadas a la optimización de la calidad

de agua; d) Prevención de inundaciones y restauración medioambiental (MITECO). La MCT posee un total de 4 plantas desalinizadoras (Alicante I, Alicante II, San Pedro del Pinatar I y San Pedro del Pinatar II), situadas en los litorales de las provincias de Alicante y Murcia. Todas presentan una producción diaria máxima de 65000 m<sup>3</sup>, siendo el proceso de desalinización la Ósmosis Inversa. Además, también se abastece de otras tres desalinizadoras que pertenecen a la sociedad estatal Aguas de las Cuencas Mediterráneas (ACUAMED) dependiente del MITECO. Estas desaladoras son Águilas y Valdelentisco (provincia de Murcia) y Torrevieja (provincia de Alicante).

La producción máxima anual en hm<sup>3</sup> de las desalinizadoras de la MCT es la siguiente: Alicante I- 21 hm<sup>3</sup>, Alicante II- 24 hm<sup>3</sup>; San Pedro del Pinatar I- 24 hm<sup>3</sup> y San Pedro del Pinatar II- 24 hm<sup>3</sup>. Por tanto, entre todas contabilizan una producción máxima anual de 93 hm<sup>3</sup>. Por su parte, las desalinizadoras de la sociedad ACUAMED aportan a la MCT los siguientes recursos: Valdelentisco- 13 hm<sup>3</sup>; Águilas- 10 hm<sup>3</sup> (capacidad total de 20 hm<sup>3</sup>) y Torrevieja- 40 hm<sup>3</sup> (capacidad total de 80 hm<sup>3</sup>). La producción total anual de estas tres desalinizadoras es 63 hm<sup>3</sup>. La primera desalinizadora en entrar en funcionamiento fue Alicante I en el año 2003, entrando en años venideros las restantes en funcionamiento: San Pedro del Pinatar I en 2005; San Pedro del Pinatar II en 2006; Alicante II y Valdelentisco en 2008, y finalmente Águilas y Torrevieja en 2013. La mayoría de las plantas desalinizadoras construidas tienen sobredimensionada su producción, con capacidades de producción muy superiores incluso a las que se precisarían para hacer frente a situaciones de sequía extrema (Rico Amorós, 2016). Este sobredimensionamiento es ocasionado porque la reducción del consumo de agua potable en la última década (Hernández y Morote Seguido, 2019) no fue considerado en los proyectos de construcción de las desalinizadoras tanto del programa AGUA como las de Acuamed.

La rentabilidad económica del agua desalada ha sido analizada en múltiples estudios (Rico Amorós, 2004; Melgarejo Moreno y Montaña Sanz, 2009; Montaña Sanz, 2013; Morote Seguido y Rico Amorós, 2018). En estos trabajos se expone que inequívocamente el coste económico del agua desalada es muy superior al de otras fuentes de recursos hídricos, como el TTS o la extracción de aguas subterráneas, debido al elevado coste de la maquinaria y del proceso de extracción del agua del mar. Aun así, se manifiesta que el coste del agua desalada puede ser asumido por el sistema urbano-industrial, aunque para el sector agrícola supone un gasto desorbitado tanto desde un punto de vista económico como medioambiental (debido al alto contenido en sales minerales del agua desalada que

perjudica el desarrollo óptimo de la vegetación y produce una enorme contaminación del suelo).

En Montaña Sanz (2013) se lleva a cabo un análisis comparativo de la rentabilidad económica de la desalinización frente al TTS. La primera conclusión que se obtiene es que indudablemente el agua del trasvase es notablemente más barata. No obstante, este autor localiza un punto a favor del agua desalinizada, que es su mayor seguridad y disponibilidad en cualquier momento, ya que la llegada de los caudales procedentes del río Tajo dependen de la existencia de caudales excedentarios en los embalses de Entrepeñas y Buendía. Como ya ha sido mencionado el comportamiento pluviométrico de las cabeceras de los ríos Tajo y Segura presenta una notable correlación positiva (Cabezas Calvo-Rubio, 2000), lo que provoca que ambos espacios geográficos se vean afectados por los mismos mecanismos generadores de secuencias secas (Morote Seguido et al., 2018). Por tanto, en este tipo de situaciones sinópticas las sequías hidrológicas son muy intensas tanto en la cabecera del Tajo como en la del Segura.

De ahí radica la importancia de la desalinización como fuente de abastecimiento alternativa a los recursos hídricos procedentes de la cabecera del Tajo que asegure el suministro de agua a la población y sus actividades económicas en episodios de sequías extremas. En Morote Seguido y Rico Amorós (2018), se realiza un análisis exhaustivo del impulso de la desalinización como recurso sustitutivo al TTS. Estos autores concluyen que este recurso no convencional se ha convertido en la última década en un recurso estratégico y que tiene vital importancia durante situaciones de sequía. En definitiva, los recursos hídricos procedentes de la desalinización estarían asegurados en el sureste de España durante los periodos de sequías extrema, sobre todo en zonas litorales donde las actividades agrícolas y turísticas tienen una gran importancia y requieren de una gran cantidad de recursos hídricos para su desarrollo óptimo.

Por otra parte, en la figura 12 se muestra la evolución de los recursos utilizados por la MCT para el abastecimiento de agua desde 1984. Lo primero que se debe resaltar es el volumen total de agua abastecido por este organismo fue creciendo paulatinamente desde la década de 1980 hasta el año 2005 (año en el que alcanza el máximo volumen anual de recursos hídricos con un total de 238 hm<sup>3</sup>), debido sobre todo al aumento de población abastecida y la cada vez más ingente cantidad de agua requerida por las actividades económicas. A partir de 2005 se produce un estancamiento en el volumen total anual abastecido por la MCT, aunque desde el año 2010 se observa un claro descenso en el

volumen utilizado. Este descenso está motivado principalmente por una serie de factores entre los que se pueden resaltar los siguientes: ligero descenso el número de habitantes, mayor concienciación ciudadana, instalación de tecnologías más eficientes en el uso del agua o el uso de recursos hídricos alternativos (aguas pluviales y depuradas) (Hernández y Morote Seguido, 2019).

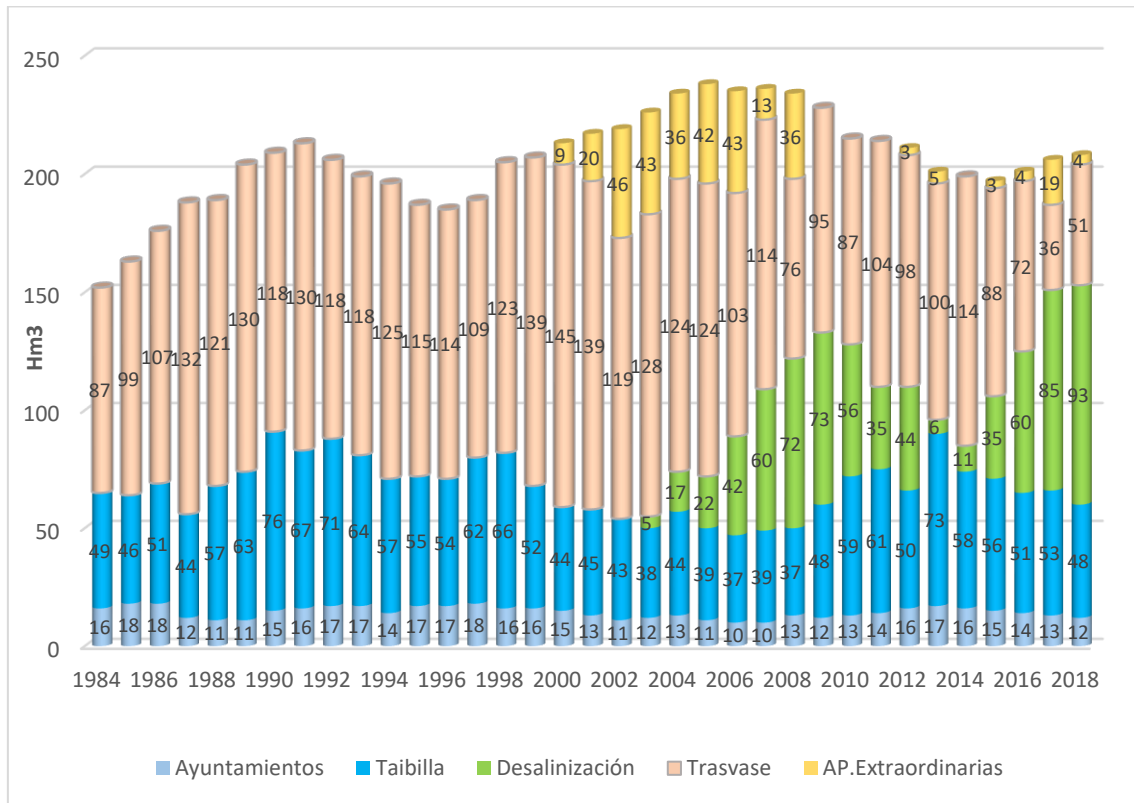


Figura 12. Evolución del volumen total de recursos hídricos utilizado por la Mancomunidad de los Canales del Taibilla en función de distintas fuentes de abastecimiento. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos de la MCT.

Con respecto a la distribución entre las distintas fuentes de abastecimiento, cabe resaltar que hasta la impulsión de la desalinización a través del programa AGUA en el año 2003 los recursos procedentes del TTS son predominantes. En el periodo temporal 1984-2003, el aporte medio de los recursos del TTS es de 120,8 hm<sup>3</sup> lo que se traduce en un porcentaje medio de un 61,3%. Con el aporte de los recursos procedentes de la desalinización los recursos aportados por el TTS han ido descendiendo paulatinamente, de tal forma que la desalinización ha ido sustituyendo como recurso mayoritario a las aguas trasvasadas. Las causas y factores que explican este cambio son fundamentalmente que en este periodo la cabecera del Tajo ha soportado varios episodios de sequía (entre los años hidrológicos 2005/06 y 2008/09; y entre 2015/16 y 2017/18), y sobre todo los cambios en las reglas de

explotación del TTS (subida de umbral de aguas excedentarias de 240 hm<sup>3</sup> a 400 hm<sup>3</sup>). En los años 2017 y 2018 la aportación de la desalinización se ha acercado a los 100 hm<sup>3</sup>, superándose por primera vez el umbral porcentual del 40% con respecto al conjunto de recursos.

La aportación desde el embalse del Taibilla es bastante más exigua que las dos fuentes de abastecimiento anteriormente descritas. Su aportación media en el periodo 1984-2018 es de 53 hm<sup>3</sup>/año. Se observa una ligera tendencia descendente en la aportación de los recursos de la fuente de abastecimiento primitiva de la MCT. En Jódar Abellán et al., (2018) se realiza un análisis sobre el impacto del cambio climático en la cuenca del río Taibilla, concluyendo que se estima una importante reducción en las reservas hídricas durante las próximas décadas lo que repercutirá negativamente en los aportes a la MCT. Por último, las aportaciones al abastecimiento por parte de los recursos hídricos de los ayuntamientos (sobre a través de fuentes municipales y manantiales) son insignificantes en el cómputo total, con una aportación media en el periodo 1984-2018 de 14 hm<sup>3</sup>/año. Además desde el año 2000, la MCT utiliza aportes extraordinarios (pozos de sequía como el Sinclinal de Calasparra o derivaciones de aguas desde el embalse de Alarcón perteneciente a la Confederación Hidrográfica del Júcar) en situaciones de severo déficit hídrico. Estas aportaciones fueron especialmente significativas entre los años 2002 y 2006 coincidiendo con el segundo gran periodo deficitario de la MCT.

Para finalizar con la descripción de la MCT en la figura 13 se expone la distribución espacial actual de las infraestructuras básicas de este organismo. Cuenta con 2 presas (presa de toma y presa del embalse Taibilla), 10 grandes estaciones de bombeo, >520 km de canales principales; 1.790 km de conducciones principales, 204 depósitos de agua, 6 elevaciones, 6 plantas potabilizadoras y 4 plantas desalinizadoras (MCT,2019) .Cuatro de los canales principales se concluyeron en 1945 con la llegada de las aguas a la ciudad de Cartagena. Estos son el Canal Alto del Taibilla (58 km), Canal Bajo del Taibilla (63 km), Canal de España (28 km) y Canal de Cartagena (65 km). Posteriormente se construyeron el Canal de Murcia (15,1 km) en 1956 y los canales de Alicante (53,7 km) y del Segura (79,5 km) en 1958. El objetivo de estos nuevos canales fue el abastecimiento de las áreas metropolitanas de Murcia y Alicante-Elche, así como de las comarcas de la Vega Alta y Vega Baja del Segura, entre otras.



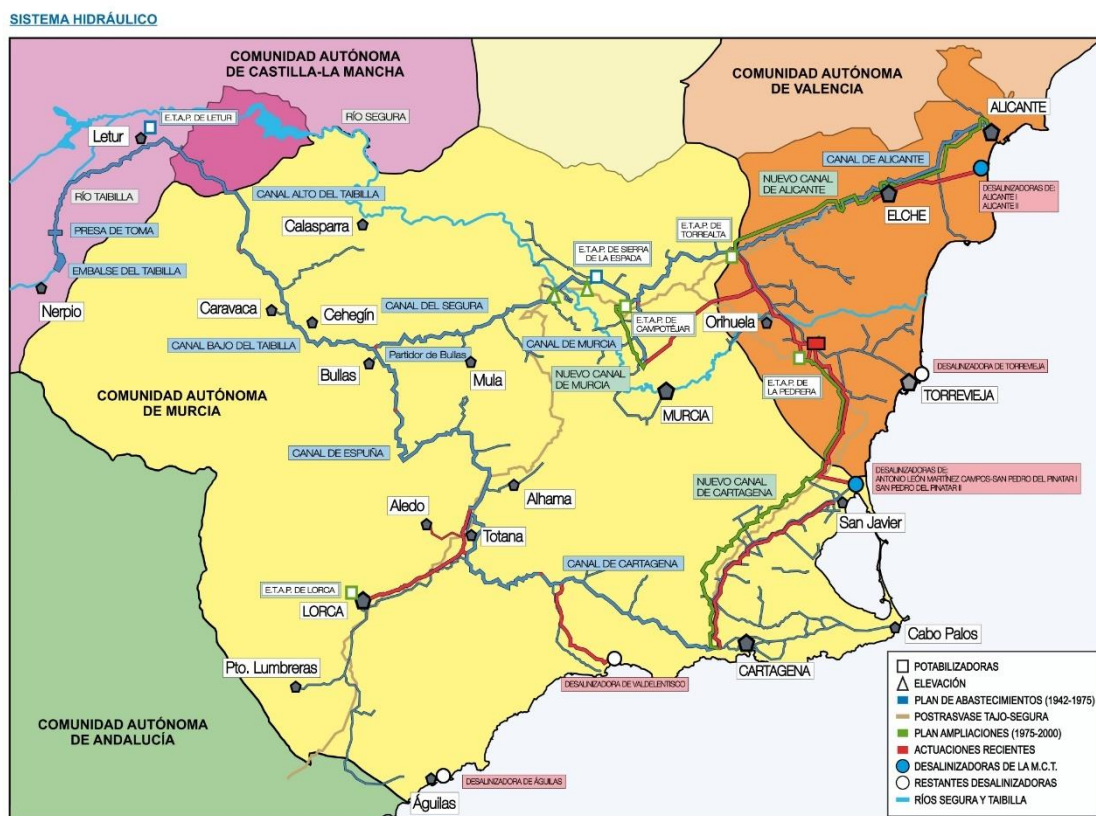


Figura 13. Distribución actual de las infraestructuras de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla. Fuente: MCT

Con la llegada de las aguas del TTS en 1979, la MCT llevo a cabo un plan de ampliaciones materializado en una serie de obras que tuvieron la suficiente capacidad para el tratamiento y distribución del agua procedente de la cabecera del Tajo. Estas obras están estrechamente relacionadas con las infraestructuras del postrasvase. En 1978 se puso en marcha el Nuevo Canal de Alicante (53,3 km) y el Nuevo Canal de Murcia (11,6 km). El Nuevo Canal de Alicante, es el canal principal de mayor capacidad del sistema hidráulico, conectando la Potabilizadora de Torrealta en Orihuela con la ciudad de Alicante. En su tramo final recibe las aguas procedentes de las desalinizadoras de Alicante I y Alicante II. Abastece de agua a los municipios pertenecientes a la provincia de Alicante. Por su parte, el Nuevo Canal de Murcia, se puso en marcha para conducir las aguas del TTS captadas en el Canal de la Margen Izquierda del Postrasvase hasta los depósitos reservorios de la ciudad de Murcia. Además, en 1980 entró en funcionamiento el Nuevo Canal de Cartagena (69,5 km), el cual tiene la finalidad de trasladar las aguas desde la Potabilizadora del embalse de la Pedrera hasta los depósitos de la ciudad de Cartagena. Asimismo, puede conducir parcialmente las aguas desalinizadas por las dos plantas de San Pedro del Pinatar.

Entre las actuaciones de reciente ejecución se pueden destacar: a) Conexión de la desalinizadora de Valdelentisco con el Canal de Cartagena (2008); b) Conducción reversible de Totana-Lorca para el abastecimiento de los núcleos urbanos de Lorca, Puerto Lumbreras y Águilas (2003), permitiendo la toma de aguas desde la desalinizadora de Águilas; c) Canal del Mar Menor (2008) para mejorar la distribución de las aguas en el Campo de Cartagena; d) Conexión entre las potabilizadoras de la Pedrera y Torrealta para aumentar la garantía de suministro en los municipios del Área Metropolitana de Murcia y Vega Baja del Segura. Por último, en la actualidad están proyectadas otra serie de actuaciones conjuntas de la DHS y MCT para la construcción de nuevas infraestructuras. Entre ellas se pueden resaltar la conexión entre los embalses de la Pedrera y Ojós con el objetivo de conducir las aguas procedentes de la desalinizadora de Torre vieja que se almacenan en la Pedrera hasta el embalse de Ojós punto en el que se inicia el postrasvase. Además, también se está estudiando la interconexión entre las tres desalinizadoras de Acuamed (Águilas, Valdelentisco y Torre vieja) y las de la MCT. El objetivo final de todas estas infraestructuras es incrementar la garantía de suministro de agua en futuros eventos de sequía extrema, y consecuentemente reducir la dependencia de recursos hídricos exógenos.

### **2.3.3. Trasvase Tajo-Segura**

El TTS es una de las infraestructuras hidráulicas más importantes de las construidas en la península ibérica durante el S.XX. Su construcción fue vital para el desarrollo de la agricultura de regadío (cultivos intensivos) en el sureste peninsular, favoreciendo un drástico aumento de las superficies de regadío en las provincias de Murcia, Alicante y Almería. Tanto a nivel europeo como a escala nacional existen numerosos ejemplos de trasvases de agua intercuenas, que forman parte de las estrategias de planificación hidrológica de numerosos estados. En el caso de España existen en la actualidad más de 40 trasvases de agua (tanto intra-cuenas como intercuenas) con una capacidad de suministro de unos 1300 hm<sup>3</sup>/año (Morote Seguido y Rico Amorós, 2018).

Los trasvases intercuenas han sido considerados como una pieza fundamental en la planificación hidráulica en el ámbito nacional, permitiendo el equilibrio de las disponibilidades hídricas y dar garantía a los suministros agrícolas, urbanos y turísticos con grandes implicaciones económicas y sociales (Morales Gil et al., 2005). Sin embargo, generan importantes conflictos sociales y políticos entre regiones vecinas por la lucha de los recursos hídricos, como ocurre por ejemplo en el caso de las comunidades autónomas

de Castilla La-Mancha, Andalucía, Comunidad Valenciana y Región de Murcia, por el abastecimiento de las aguas del TTS. Además, se originan conflictos económicos ya que las cuencas cedentes manifiestan que los recursos hídricos deben utilizarse en los lugares de origen para favorecer su desarrollo económico (Melgarejo Moreno,2000), como es el caso de la Confederación Hidrográfica del Tajo, y concretamente de los municipios de la cabecera del Tajo (lugar de origen del trasvase) que son los que fundamentalmente realizan estas reivindicaciones. Asimismo como ya ha sido mencionado la Directiva Marco de Agua 2000/60/CE, pone en cuestión este tipo de infraestructuras en el territorio de la Unión Europea, debido a su elevado impacto económico y ambiental.

El “Anteproyecto General del Aprovechamiento Conjunto de los Recursos Hidráulicos del Centro y Sureste de España, Complejo Tajo-Segura” redactado en el año 1967 fue el punto de partida de las obras del TTS, que entró en funcionamiento el 31 de marzo de 1979. Esta infraestructura está supervisada y controlada por un numeroso conjunto de disposiciones de diverso rango. A continuación se detallan las principales reglas y normas que afectan a su explotación (Morote Seguido y Rico Amorós,2018): a) Ley 21/1971, de 19 de junio, sobre el aprovechamiento conjunto Tajo-Segura ;b) Ley 52/1980, de 16 de octubre, de Regulación del Régimen Económico de la explotación del acueducto Tajo-Segura; c) Real Decreto 1982/1978, de 26 de julio, sobre la organización de los servicios encargados de gestionar la explotación de la infraestructura hidráulica “Trasvase Tajo-Segura”; d) Real Decreto 2530/1985, de 27 de diciembre, sobre régimen de explotación y distribución de funciones en la gestión técnica y económica del acueducto Tajo-Segura; e) Ley 13/1987, de 17 de julio, de Derivación de Volúmenes de Agua de la Cuenca Alta del Tajo, a través del Acueducto Tajo-Segura, con carácter experimental con destino al Parque Nacional de las Tablas de Daimiel (Confederación Hidrográfica del Guadiana); f) Real Decreto-Ley 8/1995, de 4 de agosto, por el que se adoptan medidas urgentes de mejora del aprovechamiento del Trasvase Tajo-Segura; g) Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional (PHN); h) Ley 21/2005, de 20 de julio, por la que se modifica la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes; i) Ley 21/2013 de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental; j) Real Decreto 773/2014, de 12 de septiembre, por el que se aprueban diversas normas reguladoras del trasvase por el Acueducto Tajo-Segura (Memorándum Tajo-Segura); h) Ley 21/2015, de 20 de julio, de Montes.

Los canales que conducen las aguas del TTS tienen una longitud total de 286 km. Parten de dos embalses de la cabecera del Río Tajo: el embalse de Entrepeñas (804 hm<sup>3</sup>) situado

en la provincia de Guadalajara y el embalse de Buendía (1.639 hm<sup>3</sup>) entre las provincias de Guadalajara y Cuenca, contando por tanto con una capacidad conjunta total de 2.443 hm<sup>3</sup>. La derivación de las aguas del TTS se realiza en el embalse de Bolarque, punto de confluencia de los caudales del río Tajo y de su afluente Guadiela, regulados por los hiperembalses de Entrepeñas y Buendía. Desde este embalse se impulsa el agua al embalse de la Bujeda de 7 hm<sup>3</sup>. Desde aquí se inicia una conducción de 93 km hasta el embalse de Alarcón (perteneciente a la Confederación Hidrográfica del Júcar). Desde Alarcón el agua es conducida a través de los canales de El Picarzo y Fuensanta, hasta llegar al túnel del Talave, que constituye un elemento clave del TTS. Este túnel de 31,9 km permite salvar la divisoria Júcar-Segura atravesando la sierra de Hellín. Finalmente, las aguas llegan al embalse del Talave.

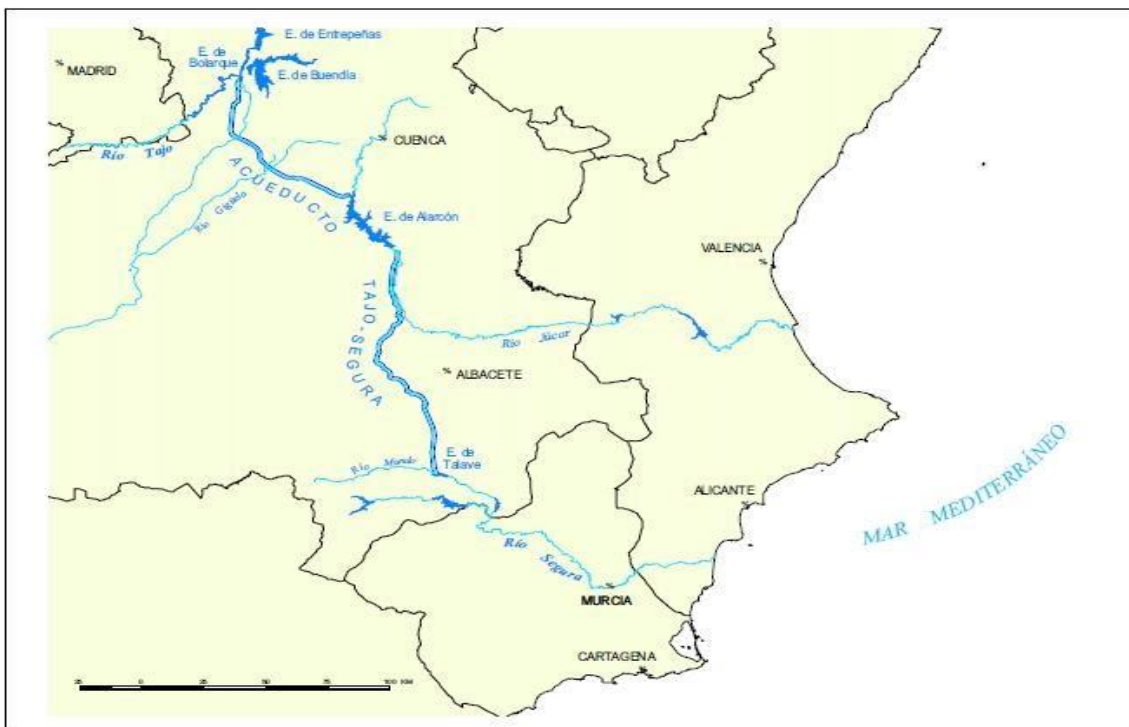


Figura 14. Infraestructuras básicas del Trasvase Tajo-Segura. Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO).

Desde el embalse del Talave (almacena las aguas del río Mundo), situado en la provincia de Albacete y perteneciente a la DHS, las aguas son conducidas a través del río Mundo hacia el embalse de Camarillas, desde donde las aguas desembocan definitivamente en el río Segura. Desde ahí, las aguas procedentes del TTS llegan al embalse de Ojós (provincia de Murcia), punto a partir del cual parte el postrasvase, infraestructura encargada de la distribución de las aguas del trasvase por parte del territorio de las siguientes comarcas:

Río Mula, Vega Alta del Segura, Vega Media del Segura, Huerta de Murcia, Campo de Cartagena, Mar Menor, Vega Baja del Segura, Bajo Vinalopó, Campo de Alicante y Levante Almeriense. En la figura 14 se presenta un mapa de las infraestructuras básicas del TTS, desde los embalses de Entrepeñas y Buendía, hasta el embalse del Talave.

La Ley 52/1980, de 16 de octubre, de Regulación del Régimen Económico de la explotación del acueducto Tajo-Segura especifica que el carácter de aguas excedentarias trasvasables se determinará en el Plan Hidrológico de la cuenca del Tajo. Además en su Disposición Adicional primera se establece la distribución de los volúmenes trasvasados en la primera fase de explotación del TTS, fijando en 600 hm<sup>3</sup> la dotación máxima en origen. Asimismo se define la asignación máxima para uso de riego (400 hm<sup>3</sup>) y abastecimiento para la MCT (110 hm<sup>3</sup>), estableciéndose un 15% de pérdidas (90 hm<sup>3</sup>) de los 600 hm<sup>3</sup> del origen.

Posteriormente se apreció que las pérdidas existentes realmente no eran del 15% supuesto inicialmente sino tan solo de un 10% (60 hm<sup>3</sup>/año), con lo que se origina un 5% adicional disponible por pérdidas menores (30 hm<sup>3</sup>/año), que siempre se han venido asignando en su totalidad al abastecimiento urbano de la MCT, dada la prioridad de este uso (Cabezas, 2013). Este hecho permitió incrementar las dotaciones destinadas al abastecimiento de agua potable hasta un volumen máximo de 155,5 hm<sup>3</sup>/año, destinándose 145,5 hm<sup>3</sup> a la MCT y 10 hm<sup>3</sup>, para los abastecimientos de la provincia de Almería (Rico, 2016). Por otra parte, de acuerdo con lo establecido en la Disposición Adicional primera de la Ley 52/1980, la distribución del máximo de 400 hm<sup>3</sup> trasvasables para regadíos por Zonas Regables del Trasvase (ZRT) se muestra en la tabla 3.

Zona Regable del Trasvase (ZRT)	Volumen máximo anual (Hm <sup>3</sup> )
Vega Alta y Media del Segura	65
Comarca del Río Mula	8
Lorca y Valle del Guadalentín	65
Alicante	125
Campo de Cartagena	122
Valle del Almanzora (Almería)	15
<b>Total</b>	<b>400</b>

Tabla 3. Distribución del volumen máximo anual trasvasable en cada una de las Zonas Regables del Trasvase. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos de la Confederación Hidrográfica del Segura.

### 2.3.3.1. Características de las Zonas Regables del Trasvase (ZRT)

Las ZRT ocupan una superficie bruta de 1503,2 km<sup>2</sup>, siendo la superficie neta de 1365,4 km<sup>2</sup>. La superficie bruta ocupa un 29,9% del total de superficie bruta de las UDAs y un 52,1% del total de superficie neta de las UDAs en el área de estudio. Este hecho pone de manifiesto la importancia de las aguas del TTS en el regadío del territorio estudiado, ya que más de la mitad la superficie neta de regadío depende de las aguas del trasvase. En la figura 15 se muestra la distribución espacial de las ZRT. Se observa como dichas zonas se concentran fundamentalmente en las comarcas litorales y valles prelitorales, que paradójicamente son las áreas más áridas del marco territorial ya que la precipitación media anual es inferior a los 300 mm en gran parte de este sector tal y como se explica en el apartado 3.1.2. Clima. Además en esta figura se pueden observar los embalses destinados a la regulación del TTS (Talave, Camarillas, Ojós, Mayés, Algeciras, Crevillente y La Pedrera), así como la parte del canal del Tajo-Segura perteneciente al área de estudio y los canales del postrasvase.

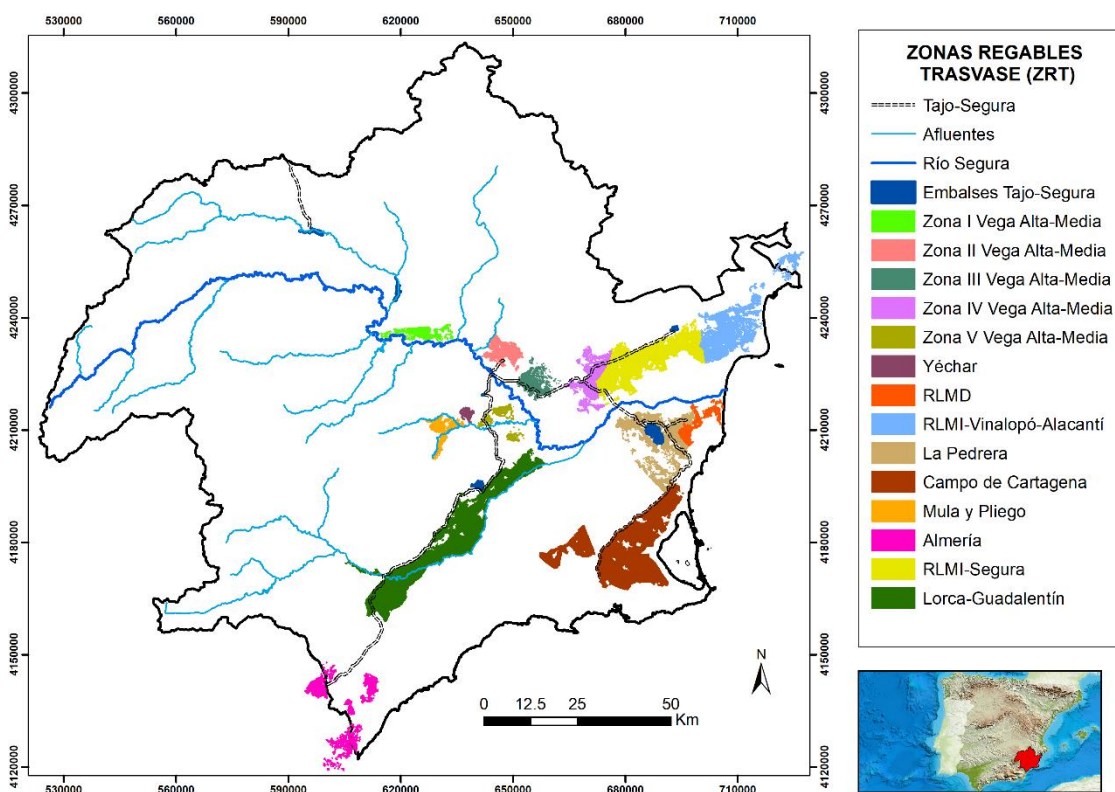


Figura 15. Distribución espacial de las Zonas Regables del Trasvase. Fuente: Elaboración propia a partir de la cartografía de la Confederación Hidrográfica del Segura.

A su vez las diferentes ZRT se dividen en una serie de subzonas que en general tienen asociada la superficie de una UDA concreta. Además cada ZRT cuenta con una serie de Comunidades de Regantes o Tomas Delegadas que se encargan de la distribución y gestión de los recursos hídricos. A continuación son descritas las distintas subzonas de las ZRT y las UDAs que tiene asociada cada una:

1) Vega Alta y Media del Segura: 5 subzonas (Zona I a Zona V Vega Alta-Media) y 13 Comunidades de Regantes. Superficie bruta de 198,4 km<sup>2</sup> correspondiente a las UDAs 26,37,38,39 y 40

2) Comarca del Río Mula: 2 subzonas (ZRT Mula y Pliego y ZRT Yéchar) y 4 Comunidades de Regantes. Superficie bruta de 39,1 km<sup>2</sup> correspondiente a las UDAs 41 y 73.

3) Lorca y Valle del Guadalentín: 1 subzona (ZRT Lorca y Valle del Guadalentín) y 5 Comunidades de Regantes. Superficie bruta de 346,6 km<sup>2</sup> correspondiente a las UDAs 61,65 y 66.

4) Alicante: 4 subzonas (ZRT La Pedrera, ZRT Riegos de Levante Margen Derecha-RLMD, ZRT Riegos de Levante Margen Izquierda-RLMI Segura y ZRT Riegos de Levante Margen Izquierda-RLMI Vinalopó-Alacantí) y 31 Comunidades de Regantes y Tomas Delegadas. Superficie bruta de 515,6 km<sup>2</sup> correspondiente a las UDAs 52,53,54, 56 y 72.

5) Campo de Cartagena: 1 subzona (ZRT Campo de Cartagena) y 1 Comunidad de Regantes. Superficie bruta de 330,8 km<sup>2</sup> correspondiente a la UDA 58.

6) Valle del Almanzora (Almería): 1 subzona (ZRT Almería- Distrito Hidrográfico Mediterráneo de Andalucía) y 5 Comunidades de Regantes. Superficie bruta de 72,7 km<sup>2</sup> correspondiente a las UDAs 70 y 71.

En la tabla 4 se presenta la información básica de las 13 Subzonas Regables del Trasvase. Se puede observar como hay 3 subzonas que representan un 73 % del total del volumen máximo anual trasvasable y un 68,7% del total de superficie de las ZRT: Campo de Cartagena (122 hm<sup>3</sup>), Riegos de Levante Margen Izquierda (105 hm<sup>3</sup>) y Lorca y Valle del Guadalentín (65 hm<sup>3</sup>). Cabe destacar que la subzona Riegos de Levante Margen Izquierda (RLMI), esta subdividida en dos áreas (Segura y Vinalopó-Alacantí). En este punto es muy importante resaltar que solamente durante el año hidrológico 2000/01, se alcanzó un



volumen de transferencia de 600 hm<sup>3</sup> (Rico Amorós, 2016). Esto fue propiciado gracias al espectacular aumento de las reservas hídricas en la cabecera del Tajo debido a los húmedos inviernos de 1996, 1997 y 2000 que pusieron fin a la intensa sequía ibérica de 1993-1996.

Subzona Regable del Trasvase (ZRT)	Superficie bruta (km <sup>2</sup> )	Volumen máximo anual (Hm <sup>3</sup> )
Zona I Vega Alta-Media	30,4	13,5
Zona II Vega Alta-Media	44,6	8
Zona III Vega Alta-Media	35,6	9
Zona IV Vega Alta-Media	65,9	25
Zona V Vega Alta-Media	21,9	9,5
Mula y Pliego	30,6	4
Yéchar	8,5	4
Lorca y Valle del Guadalentín	346,6	65
La Pedrera	122,2	14,5
RLMD	37,9	5,5
RLMI	355,5	105
Campo de Cartagena	330,8	122
Almería Distrito Hidrográfico Mediterráneo de Andalucía	72,7	15
<b>Total</b>	<b>1503,2</b>	<b>400</b>

Tabla 4. Distribución del volumen máximo anual trasvasable y de la superficie bruta en cada una de las Subzonas Regables del Trasvase. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos de la Confederación Hidrográfica del Segura.

Por tanto, las Comunidades de Regantes asociadas a las diferentes ZRT, ante la imposibilidad de disponer del máximo volumen anual trasvasable se ven obligadas a buscar otras fuentes de abastecimiento para garantizar sus demandas de agua, fundamentalmente durante los periodos de sequía. Entre las fuentes de abastecimiento para regadío alternativas al TTS, se pueden destacar los pozos de sequía, las cesiones de derechos, la desalinización desde el año 2003 o el Trasvase Negratín-Almanzora, entre otros.

La figura de cesión de aguas entre usuarios de Comunidades de Regantes de cuencas hidrográficas diferentes es bastante común sobre todo durante los periodos de sequía (Calatrava y Martínez, 2012). Por ejemplo, el Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo Segura (SCRATS), sobre todo durante el periodo de sequía comprendido entre 2005/06 y 2008/2009 compró derechos de agua a dos Comunidades de Regantes de la Confederación Hidrográfica del Tajo (Comunidad de Regantes Canal de Estremera y



Canal de Regantes La Estremera). (Calatrava Leyva y Martínez Granados, 2016). La MCT hizo lo propio durante el periodo 2005/06 y 2007/2008 mediante la cesión de derechos con la Comunidad de Regantes del Canal de las Aves (Aranjuez) por un volumen total de  $108 \text{ hm}^3$  (MCT,2019). El trienio 2006-2008, supuso uno de los grandes periodos deficitarios de los embalses de Buendía y Entrepeñas, por lo que la MCT no tuvo más remedio que establecer reservas estratégicas anuales mediante la cesión de derechos. A partir de esta fecha y gracias a la desalinización impulsada por el Programa AGUA, la MCT no ha tenido que volver a recurrir a estas cesiones de derechos, ya que el abastecimiento urbano durante periodos de sequía está asegurado con las aguas desalinizadas.

Por su parte, el Trasvase del Negratín-Almanzora comenzó a funcionar en el año 2004. Tiene una longitud de 120 km entre el embalse del Negratín (provincia de Granada) situado en el territorio de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir y el embalse de Cuevas de Almanzora (provincia de Almería) en el territorio de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas. En la Memoria y Anexo 6 del Plan Hidrológico del Guadalquivir se considera al Trasvase Negratín-Almanzora con una demanda anual de  $50 \text{ hm}^3/\text{año}$  y un déficit de  $10,61 \text{ hm}^3/\text{año}$  en el horizonte 2015, lo que supondría un trasvase medio de  $39,4 \text{ hm}^3/\text{año}$ . De este trasvase medio, se estima que  $17 \text{ hm}^3/\text{año}$  son aplicados en la cuenca del Segura. La infraestructura de este trasvase se ha convertido en un eje vertebrador del Valle del Almanzora y sector suroccidental de la Región de Murcia (Lorca, Puerto Lumbreras y Águilas) (Gil Meseguer y Gómez Espín, 2017), ya que permite la redistribución de los recursos hídricos cedentes de la cuenca del Guadalquivir y los recursos propios del Valle del Almanzora por una serie de Comunidades de Regantes. Además este trasvase permite el abastecimiento de una serie de núcleos de población de la provincia de Almería.

En Gil Meseguer et al. (2019), se analiza a modo de ejemplo la forma mediante la cual dos Comunidades de Regantes situadas dentro de las ZRT se adaptan a las condiciones de déficit del volumen máximo anual asignado de los recursos procedentes del TTS durante los periodos de indigencia pluviométrica. Las Comunidades de Regantes seleccionadas son la Comunidad de Regantes de la Purísima de Yéchar (ZRT de Yéchar) y la Comunidad de Regantes de Pulpí (ZRT Almería Distrito Hidrográfico Mediterráneo de Andalucía). El periodo estudiado es 1999-2018. En el caso de la Comunidad de Regantes de Pulpí durante 1998-2003 se abasteció entre un 30 y un 50% en función del

año de pozos de sequía (Calasparra y el Esparragal). A partir del año 2004 la puesta en marcha del Trasvase Negratín-Almanzora permitió que estos recursos se convirtieran en la principal fuente de abastecimiento de esta Comunidad de Regantes, aunque durante la sequía 2017-2018 se tuvo que recurrir a la desalinización. Por otra parte, con respecto a la Comunidad de Regantes de Yéchar cabe destacar que solo ha tenido que recurrir a recursos externos al TTS durante los periodos de sequía 2005-2008 (cesiones de derechos y pozos de sequía) y 2015-2018 (desalinización y pozos de sequía). La apuesta por la inversión en modernización de regadíos sobre todo a raíz de la puesta en marcha del Programa AGUA en 2004 y de la Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, ha permitido el ahorro de una ingente cantidad de agua en las zonas de regadío de las ZRT (Rico Amorós,2010).

#### **2.3.3.2. Evolución de los consumos y las reservas del Trasvase Tajo Segura**

En este subapartado se expone la evolución de los consumos netos ( $\text{hm}^3$ ) y del volumen aprobado en origen del TTS desde su puesta en funcionamiento en el año hidrológico 1978/79. Además, se detalla la evolución de las reservas conjuntas de los embalses de Buendía y Entrepeñas desde 1979, así como los cambios en las reglas de explotación del TTS y sus consecuentes repercusiones territoriales. En la figura 16 se muestra la evolución de los consumos netos del TTS, llevando a cabo una diferenciación en diferentes tipos de consumo: regadío, consumo urbano de la MCT y abastecimiento de Almería. Asimismo, en la figura 17 se presenta la evolución del volumen del TTS aprobado en origen, desde el embalse de Bujeda, incluyendo las derivaciones excepcionales al Parque Nacional de las Tablas de Daimiel (provincia de Ciudad Real).

El año hidrológico 2000/01 es el único periodo en el que se alcanzó el umbral de  $600 \text{ hm}^3$ , que es el volumen máximo de transferencia anual establecido en la Ley 52/1980. De estos  $600 \text{ hm}^3$ ,  $444,5 \text{ hm}^3$  se destinaron a regadío,  $145,5 \text{ hm}^3$  a abastecimiento de la MCT y  $10 \text{ hm}^3$  a abastecimiento de la provincia de Almería. A estos  $600 \text{ hm}^3$  hay que añadirle  $20 \text{ hm}^3$  que fueron trasvasados al Parque Nacional de las Tablas de Daimiel. Esto se tradujo en un consumo neto de  $482,6 \text{ hm}^3$  ( $331,9 \text{ hm}^3$  en regadío,  $139,7 \text{ hm}^3$  en abastecimiento de la MCT y  $10,9 \text{ hm}^3$  en abastecimiento a la provincia de Almería). En definitiva, el TTS se ha constituido como la principal fuente de suministro para la MCT, proporcionando en torno al 45-60% del volumen suministrado para usos urbanos desde su puesta en funcionamiento. En periodos de sequía siempre prevalece el uso urbano frente al regadío, para garantizar el suministro de las principales ciudades y áreas turístico residenciales

(Morales Gil et al., 2005; Melgarejo Moreno y Martínez Nicolas, 2009). Además, en situaciones de sequías socioeconómicas excepcionales, permite el suministro de la comarca de la Marina Baja (provincia de Alicante) a través de la conducción de emergencia Rabasa-Fenollar-Amadorio (Morote Seguido et al., 2018).

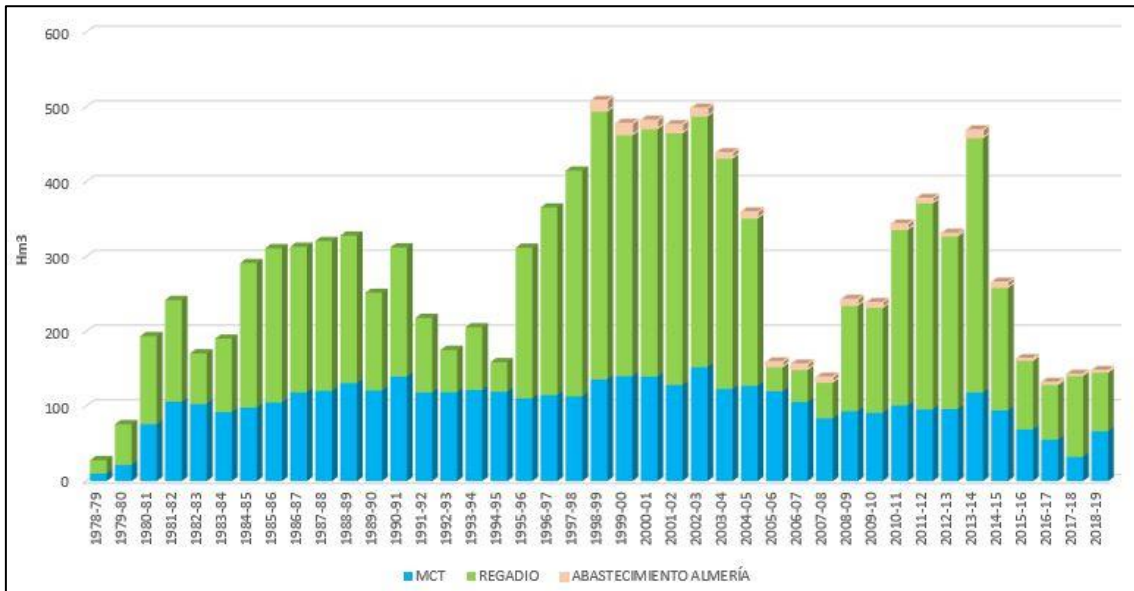


Figura 16. Evolución de los consumos netos (hm<sup>3</sup>) del Trasvase Tajo Segura. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos de la Confederación Hidrográfica del Segura y Ministerio para la Transición Ecológica.

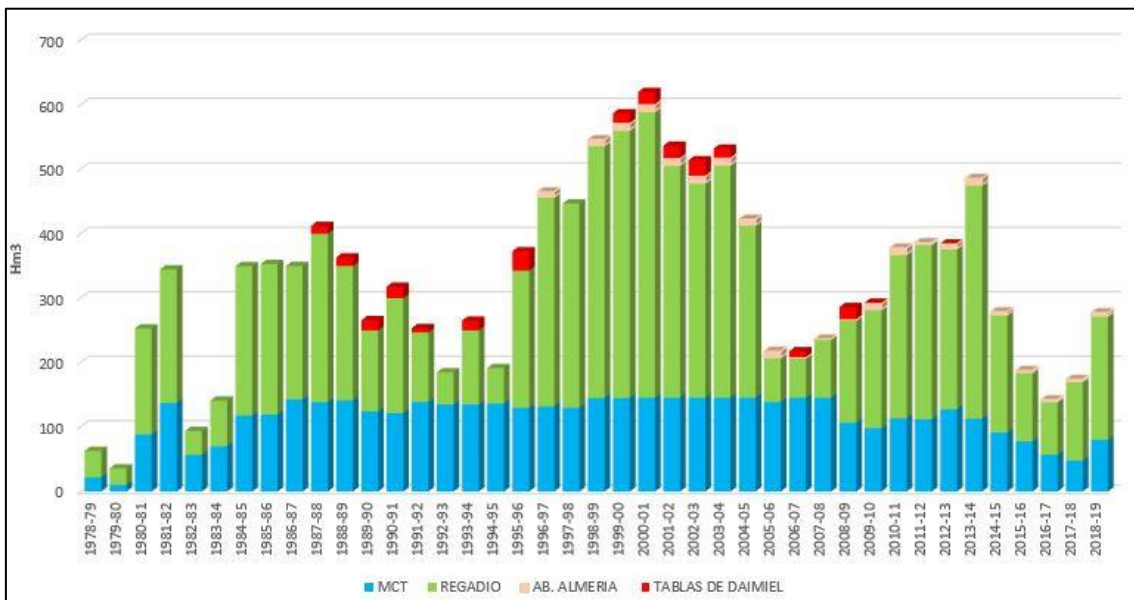


Figura 17. Evolución del volumen aprobado en origen (hm<sup>3</sup>) del Trasvase Tajo Segura. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos de la Confederación Hidrográfica del Segura y Ministerio para la Transición Ecológica.

Desde su puesta en funcionamiento en el año 1978/79 el TTS ha atravesado diferentes periodos de sequía, que han dado lugar a reducciones drásticas en el nivel de las reservas conjuntas de Entrepeñas y Buendía, originando severas sequías hidrológicas. Dichos episodios tienen importantes repercusiones económicas y sociales en el sureste de España, ya que en algunos de estos ciclos secos se ha producido un trasvase cero durante varios meses. Por tanto, la drástica reducción de las reservas en la cabecera del Tajo, acrecientan los efectos de la sequía socioeconómica, afectando sobre todo al regadío, ya que los recursos destinados a este uso son los que más sufren la reducción del agua trasvasada. Fundamentalmente el TTS ha atravesado desde su puesta en marcha cuatro grandes periodos de indigencia pluviométrica: 1983-1984, 1992-1996, 2005-2009 y 2014-2018 (figura 19). Las consecuencias territoriales de estas sequías hidrológicas serán comentadas más adelante.

El volumen medio de agua trasvasada en origen desde 1979 hasta la actualidad es de 316,8 hm<sup>3</sup>. El destino de los volúmenes transferidos es muy variable en función de los recursos hídricos disponibles, aunque mayoritariamente se utilizan para usos de regadío y en menor medida usos urbanos y turísticos (Grindlay et al., 2011). Es importante mencionar que desde principios del S.XXI se observa un continuo y brusco descenso de los recursos trasvasados. Esta reducción se debe fundamentalmente a dos factores: la disminución de las precipitaciones desde la segunda mitad del S.XX en gran parte de la península ibérica incluida la cabecera del Tajo (González Hidalgo et., 2011; Serrano Notivoli et al., 2017; Morote Seguido et al., 2018), y los cambios en las reglas de explotación del TTS a partir del año 2014, introducidos con la siguiente legislación: Ley 21/2013 de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental, Ley 21/2015, de 20 de julio, de Montes y Real Decreto 773/2014, de 12 de septiembre (Memorándum del Tajo-Segura).

El regadío se constituye como ya ha sido mencionado con el uso con mayor dotación de recursos hídricos del TTS, contando con un promedio anual de 207,2 hm<sup>3</sup> desde el año hidrológico 1980/81 que es cuando empezó a funcionar a pleno rendimiento el TTS. La Ley 52/1980 establece un máximo de 400 hm<sup>3</sup>/anuales para regadíos pero excepcionalmente en dos años hidrológicos (1999/00- 416 hm<sup>3</sup> y 2000/01-444,5 hm<sup>3</sup>) se superó debido a que las reservas conjuntas de Entrepeñas y Buendía rebasaron puntualmente los 1.300 hm<sup>3</sup>, concretamente desde marzo hasta mayo del año 2001 (nivel 2 que permite un trasvase mensual de 38 hm<sup>3</sup>). Por tanto, se puede afirmar que el máximo trasvasable para uso de regadío en situaciones excepcionales de excedentes hídricos es de

444,5 hm<sup>3</sup>. Por otra parte, cabe destacar que durante los periodos de sequía, los recursos destinados al regadío se reducen drásticamente porque prevalecen las dotaciones a usos urbanos. Los valores más bajos trasvasados para regadío durante los cuatro grandes periodos deficitarios del TTS son los siguientes: 37,2 hm<sup>3</sup>- 1982/83; 50 hm<sup>3</sup>- 1992/93; 62,1 hm<sup>3</sup>- 2006/07; 82,5 hm<sup>3</sup>-2016/17. Durante estos años las comunidades de regantes asociadas a la ZRT se ven obligadas a buscar otras fuentes de abastecimiento como ya sido detallado en el caso de las Comunidades de Regantes de Yéchar y Pulpí.

Por otra parte, con respecto a los recursos destinados a uso urbano cabe destacar que su evolución es bastante homogénea debido fundamentalmente a que al suministro para abastecimiento urbano está garantizado durante los periodos de sequía, ya que este uso prevalece sobre el regadío. El trasvase medio anual de la MCT en origen desde el año hidrológico 1980/81 es de 119,7 hm<sup>3</sup>. El trasvase máximo anual a la MCT como ya ha sido mencionado es de 145,5 hm<sup>3</sup>. En el decenio comprendido entre los años hidrológicos 1998/99 y 2007/08 se alcanzó o se rozó este tope durante todos los años, coincidiendo con un periodo excepcionalmente húmedo en la cabecera del Tajo, que permitió estar en el Nivel 2 entre 1996/97 y 2004/05, lo que originó la existencia de excedentes hídricos. A partir del año 2005, la cabecera del Tajo comenzó a verse inmensa en uno de sus grandes periodos deficitarios. No obstante y debido a que la MCT estaba atravesando su segundo gran periodo deficitario, hasta el año hidrológico 2007/08 se mantuvo el aporte máximo permitido para abastecimiento urbano de la MCT, en detrimento de los recursos del TTS destinados a regadío que a partir del año 2005 sufrieron una reducción significativa.

A partir del año 2008, los recursos del TTS destinados a la MCT sufrieron un drástico descenso, debido al auge que empezó a adquirir desde este año el agua desalinizada, convirtiéndose en un recurso sustitutivo de las aguas del TTS para abastecimiento urbano (Morote Seguido y Rico Amorós, 2018). Asimismo, es importante resaltar el efecto que han tenido los cambios en las reglas de explotación del TTS en el abastecimiento urbano, dado que desde el año hidrológico 2014/15 no se superan los 100 hm<sup>3</sup> destinados en origen a la MCT, aunque dicho abastecimiento está totalmente asegurado gracias a la desalinización.

Además, dentro del abastecimiento urbano hay que tener en cuenta el suministro que se hace a la parte de la provincia de Almería perteneciente a las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, situándose este en un máximo anual de 10 hm<sup>3</sup>. Este abastecimiento se viene

realizando desde el año hidrológico 1996/97 a través de la Sociedad “Gestión de Aguas del Levante Almeriense S.A.” (GALASA), la cual presta los servicios del ciclo integral del agua a un total de 24 municipios de la provincia de Almería, situados en las comarcas del Levante Almeriense y Valle del Almanzora. La media de recursos trasvasados destinados en origen a GALASA es de 6,5 hm<sup>3</sup>.

Por otra parte, cabe mencionar las derivaciones excepcionales de recursos hídricos al Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, desde el año 1987/88 a través de la infraestructura del TTS, gracias a la Ley 13/1987, de 17 de julio, de Derivación de Volúmenes de Agua de la Cuenca Alta del Tajo, a través del Acueducto Tajo-Segura. Esta ley se aprobó como consecuencia de las cuantiosas extracciones de aguas subterráneas en el acuífero de la llanura manchega que provocó un descenso generalizado y progresivo de los niveles freáticos cuyas consecuencias son extremadamente graves para la conservación de este ecosistema tan singular. Debido a dichas circunstancias en el artículo 1 de la Ley 13/1987, se establece que se pueden derivar un máximo anual de 30 hm<sup>3</sup> desde el TTS al Parque Nacional de las Tablas de Daimiel en situaciones de sequía excepcional. Además se especifica que dicho caudal debe ser utilizado únicamente para fines de tipo medioambiental. Asimismo, se estipula que los volúmenes de agua cuya derivación autoriza esta Ley son independientes del cómputo de volúmenes trasvasados regulados por la Ley 52/1980, de 16 de octubre. El máximo anual de 30 hm<sup>3</sup> solo se aprobó durante el año hidrológico 1995/1996 debido al elevado déficit de recursos en las Tablas de Daimiel originado por una excepcional sequía ibérica.

#### **2.3.3.3. Evolución de las reglas de explotación del Trasvase Tajo Segura**

En este subapartado se realiza una explicación concisa de las reglas de explotación del TTS, y las implicaciones territoriales surgidas con los cambios de esta regla a partir del año 2014. En primer lugar, se van a detallar los aspectos principales, de la Ley 52/1980, de 16 de octubre, de Regulación del Régimen Económico de la explotación del acueducto Tajo-Segura, que fue el primer documento legislativo que reguló las reglas de explotación del TTS tras su puesta en funcionamiento en el año 1979. En la tabla 5 se muestran los cuatro niveles de las reglas de explotación del TTS, en función del caudal almacenado en los embalses de Buendía y Entrepeñas a principio de cada mes. Las reglas de explotación contemplan básicamente dos componentes para su aplicación. Por un lado, las existencias totales embalsadas en el sistema conjunto Buendía-Entrepeñas, y por otro lado las aportaciones acumuladas en cabecera del Tajo en los últimos doce meses (Melgarejo

Moreno y Molina Giménez, 2010). A partir de estas dos premisas, el criterio de operación es servir toda la demanda propia del Tajo (evaluado en un desembalse de hasta 370 hm<sup>3</sup>/año, con modulación estacional), sin limitación alguna y estimar los volúmenes trasvasables (hm<sup>3</sup>/mes), a partir de estos datos (Cabezas Calvo-Rubio, 2000).

Nivel	Condiciones para trasvase	Volumen máximo trasvasable
Nivel 1	Existencias conjuntas de Entrepeñas y Buendía $\geq 1500$ hm <sup>3</sup> y aportaciones conjuntas entrantes $\geq 1000$ hm <sup>3</sup>	68
Nivel 2	Existencias conjuntas de Entrepeñas y Buendía $< 1500$ hm <sup>3</sup> y aportaciones conjuntas entrantes $< 1000$ hm <sup>3</sup> hasta llegar a un determinado umbral mensual establecido en Nivel 3	38
Nivel 3	Existencias inferiores a los valores mensuales dados en la tabla 7	23
Nivel 4	Existencias inferiores a 240 hm <sup>3</sup>	0

Tabla 5. Antiguas reglas de explotación del Trasvase Tajo Segura. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos de la Ley 52/1980, de 16 de octubre.

Los cuatro niveles establecidos hacen referencia a los siguientes aspectos: Nivel 1- Situación Ordinaria; Nivel 2- Situación restringida; Nivel 3- Circunstancias hidrológicas excepcionales; Nivel 4- Ausencia de excedentes. En los dos primeros niveles la Comisión Central de Explotación puede ordenar trasvases hasta el volumen mensual máximo trasvasable para cada nivel. Mientras, en el nivel 3 la competencia le corresponde al Consejo de Ministros, y finalmente en el nivel 4 no se puede realizar ningún trasvase lo que se corresponde con lo establecido en la legislación correspondiente, así como en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Tajo. Además cabe resaltar, que en todo momento se respeta la prioridad de la cuenca cedente, declarada en la disposición adicional novena de la Ley 52/1980 de 16 de octubre.

Estas reglas de explotación fueron modificadas con la Ley 21/2013 de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental. En su disposición adicional decimoquinta, se establecen las nuevas reglas de explotación del TTS (Tabla 6). En su punto primero, se establece un máximo anual trasvasable de 650 hm<sup>3</sup> en cada año hidrológico (600 hm<sup>3</sup> para el Segura y 50 hm<sup>3</sup> para el Guadiana). Además, en su disposición transitoria segunda “Régimen transitorio de la modificación de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional”, se establece la principal modificación de las reglas de explotación de la Ley 52/1980, que radica en incrementar el nivel 4 desde los 240 hm<sup>3</sup> a 400 hm<sup>3</sup>. En el punto uno de esta disposición, se especifica que la implantación del nuevo nivel de referencia

de 400 hm<sup>3</sup> para la definición de excedentes trasvasables en el conjunto Buendía y Entrepeñas seguirá un régimen transitorio de forma que este nuevo nivel se alcance a lo sumo en cinco años conforme al siguiente procedimiento: en la fecha de entrada en vigor del nuevo plan hidrológico del Tajo (año 2014), elaborado conforme a la Directiva Marco del Agua, el nivel se incrementará 32 hm<sup>3</sup>, y se irá elevando en escalones adicionales de 32 hm<sup>3</sup> a día de 1 de enero de cada año sucesivo, hasta alcanzar el tope de 400 hm<sup>3</sup>. De esta forma el umbral del nivel 4 de aguas excedentarias fue incrementado a 272 hm<sup>3</sup> a 1 de enero de 2014, elevándose el umbral año a año, hasta llegar a los 400 hm<sup>3</sup> a 1 de enero de 2018.

Por otra parte, en la disposición final tercera “Modificación de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional”, se expone lo siguiente: “En cuanto a las transferencias de aguas aprobadas desde la cabecera del Tajo, se considerarán aguas excedentarias todas aquellas existencias embalsadas en el conjunto de Entrepeñas-Buendía que superen los 400 hm<sup>3</sup>. Por debajo de esta cifra no se podrán efectuar trasvases en ningún caso. Este volumen mínimo podrá revisarse en el futuro conforme a las variaciones efectivas que experimenten las demandas de la cuenca del Tajo, de acuerdo con los principios de eficiencia y sostenibilidad, de forma que se garantice en todo caso su carácter preferente, y se asegure que las transferencias desde cabecera nunca pueden suponer un límite o impedimento para el desarrollo natural de dicha cuenca”

Nivel	Condiciones para trasvase	Volumen máximo trasvasable
Nivel 1	Existencias conjuntas de Entrepeñas y Buendía $\geq 1300$ hm <sup>3</sup> y aportaciones conjuntas entrantes $\geq 1200$ hm <sup>3</sup>	60
Nivel 2	Existencias conjuntas de Entrepeñas y Buendía $< 1300$ hm <sup>3</sup> y aportaciones conjuntas entrantes $< 1200$ hm <sup>3</sup> hasta llegar a un determinado umbral mensual establecido den Nivel 3	38
Nivel 3	Existencias inferiores a los valores mensuales dados en la tabla 7	20
Nivel 4	Existencias inferiores a 400 hm <sup>3</sup>	0

Tabla 6. Nuevas reglas de explotación del Traspase Tajo Segura. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos de la Ley 21/2013 de 9 de diciembre y la Ley 21/2015, de 20 de julio.

Las nuevas reglas de explotación se justifican debido fundamentalmente a las directrices que se imponen desde la Comisión Europea, y más concretamente en la Directiva Marco del Agua (DMA 2000/60/CE), en la que se especifica que a partir del año 2015 se debería



haber logrado “el buen estado ecológico de las masas de agua” (Morote Seguido y Rico Amorós, 2018). Estas nuevas reglas fueron refrendadas por la Ley 21/2015, de 20 de julio, y el Real Decreto 773/2014, de 12 de septiembre (Memorándum del Tajo-Segura). Concretamente, con respecto, a Ley 21/2015 las reglas de explotación del TTS se reflejan en su disposición adicional quinta. Además en su disposición final primera “Modificación de la Ley 52/1980, de 16 de octubre, de régimen económico de la explotación del acueducto Tajo-Segura”, se modifica el último párrafo de la disposición adicional primera de la Ley 52/1980 que pasa a tener la siguiente redacción: “ Por el contrario, si se producen menores pérdidas, los recursos adicionales generados se distribuirán en un setenta por ciento para regadío, en proporción a las referidas zonas regables, mientras que el treinta por ciento restante se asignará para abastecimiento de la provincia de Almería”. Por último, se introduce una nueva disposición adicional decimoquinta con la siguiente redacción: “Se llevarán a cabo con carácter de urgencia, y de acuerdo con criterios de viabilidad, las obras previstas en el Anexo al Plan Hidrológico Nacional que aún no hayan sido ejecutadas y que permitan a Castilla-La Mancha utilizar la infraestructura del trasvase Tajo-Segura, así como los recursos correspondientes que tenga asignados y reservados”.

En lo referido al Real Decreto 773/2014, de 12 de septiembre, por el que se aprueban diversas normas reguladoras del trasvase por el acueducto Tajo-Segura, hay que mencionar que es un documento acordado entre el Gobierno de España y las Comunidades Autónomas de la Comunidad Valenciana y Región de Murcia, al que se adhirieron posteriormente las comunidades de Castilla-La Mancha, Madrid y Extremadura (Melgarejo Moreno et al., 2014). Este Real Decreto es conocido con el nombre de “Memorándum Tajo Segura”. Posee un total de cinco artículos donde se establecen los siguientes aspectos: En su artículo 1 se refrendan las reglas de explotación del TTS establecidas en la Ley 21/2013, de 9 de diciembre; en su artículo 2 se especifica la forma de llevar a cabo la predicción de aportaciones mensuales; en su artículo 3 se definen los valores mensuales de los consumos de referencia de las aguas trasvasadas; en su artículo 4 se hace hincapié en los desembalses de referencia desde la presa de Bolarque hacia la Cuenca del Tajo; y en su artículo 5 se detallan los aspectos que deben incluir los informes de seguimiento del TTS.

En definitiva, el acuerdo establecido con el “Memorándum Tajo Segura”, supone un gran avance en la regulación de las relaciones en materia de agua entre las diferentes

comunidades autónomas, suponiendo un importante impulso para alcanzar la necesaria planificación hidrológica nacional. La Ley 21/2013 de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental, otorga al TTS una importante seguridad jurídica de la que carecía anteriormente (Melgarejo Moreno et al., 2015). Además, como hecho destacado se trató de la primera vez en que existía un consenso entre todas las comunidades autónomas afectadas. Finalmente este acuerdo y las modificaciones en las reglas de explotación del TTS, quedaron reflejadas en el Real Decreto 1/2016, de 8 de enero por el que se aprobó el Plan Hidrológico de la cuenca del Tajo (2015-2011) (Morote Seguido y Rico Amorós, 2018).

Aunque la principal modificación de las reglas de explotación del TTS y la que más repercusiones territoriales tiene es el incremento del umbral de aguas excedentaria desde los 240 hm<sup>3</sup> a 400 hm<sup>3</sup> (nivel 4), cabe destacar que en el resto de los niveles también se producen cambios siendo estos más drásticos en el nivel 3. Estos cambios se exponen a nivel mensual en la tabla 7. En cambio, el umbral de aguas excedentarias del nivel 2 se ha bajado desde un valor inferior a 1500 hm<sup>3</sup> hasta un valor por debajo de 1300 hm<sup>3</sup>, y por tanto el nivel 1 pasa a ser las existencias conjuntas de Entrepeñas y Buendía por encima de 1300 hm<sup>3</sup>. Además, se produce una modificación en el nivel del volumen máximo trasvasable mensual en el nivel 1 (de 68 a 60 hm<sup>3</sup>) y en el nivel 3 (de 23 a 20 hm<sup>3</sup>). En la figura 18 se realiza una comparativa de la evolución de los umbrales de los diferentes niveles entre las antiguas y nuevas reglas de explotación del TTS.

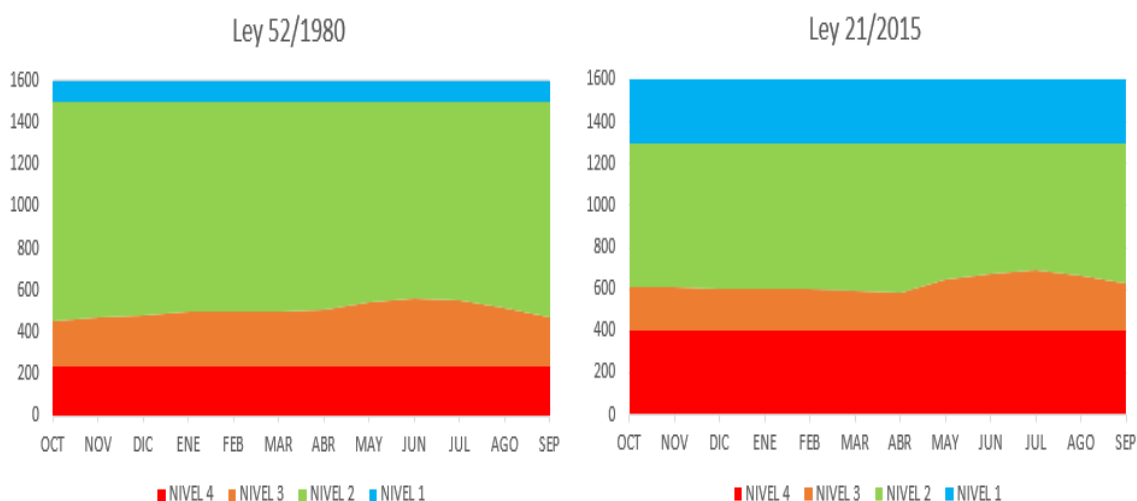


Figura 18. Comparativa de los umbrales de los niveles de las antiguas y nuevas reglas de explotación del Trasvase Tajo-Segura. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos de la Ley 52/1980, de 16 de octubre y la Ley 21/2015, de 20 de julio.

Regla	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Ley 52/1980	456	467	476	493	495	496	504	541	564	554	514	472
Ley 21/2015	613	609	605	602	597	591	586	645	673	688	661	631

Tabla 7. Evolución del umbral mensual ( $\text{hm}^3$ ) del nivel 3 de las reglas de explotación del Trasvase Tajo-Segura. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos de la Ley 52/1980, de 16 de octubre y la Ley 21/2015, de 20 de julio.

Por otro lado, en la figura 19 se muestra la evolución temporal de las existencias mensuales (primer día del mes) en el conjunto Entrepeñas y Buendía. Se expone el progreso de las existencias desde el año hidrológico 1981/82, ya que a partir de este año es cuando empezó a funcionar a pleno rendimiento el TTS. Además se refleja la evolución de los niveles mensuales reflejados en las diferentes reglas de explotación del TTS. Cada uno de estos niveles aparece representado con un color: nivel 2 (verde), nivel 3 (naranja) y nivel 4 (rojo). Se puede observar como la cabecera del Tajo ha atravesado como ya ha sido mencionado cuatro periodos deficitarios desde la puesta en funcionamiento del TTS: 1983-1984, 1992-1996, 2005-2009 y 2014-2018. Dichos periodos de déficit hídricos son provocados por ciclos de sequías ibéricas, que suelen finalizar con la llegada de un tren de frentes atlánticos muy activos que provocan un drástico incremento de las reservas hídricas (Olcina Cantos, 2001b).

Tanto el ciclo de déficit hídrico 1992-1996 como el de 2005-2009 finalizaron con periodos excepcionalmente húmedos (Morales Gil et al., 1999; Sánchez Laulhé, 2017), que provocaron que las existencias mensuales conjuntas de Entrepeñas y Buendía sobrepasaran los  $1000 \text{ hm}^3$  durante 30 meses ininterrumpidos entre enero de 1997 y junio de 1999 y durante 23 meses ininterrumpidos entre marzo de 2010 y enero de 2012. Estos han sido los únicos periodos en los últimos 30 años donde las existencias en la cabecera del Tajo han superado los  $1000 \text{ hm}^3$ . Este hecho generó un drástico incremento de los recursos hídricos trasvasados durante dichos ciclos húmedos. Entre los años hidrológicos 1996/97 y 2003/04 la media trasvasada fue de  $518,9 \text{ hm}^3$  siendo el año 2000/01 el único donde se ha llegado al umbral máximo anual trasvasable de  $600 \text{ hm}^3$ . Por otra parte, entre los años hidrológicos 2010/11 y 2013/14, la media trasvasada fue de  $408,5 \text{ hm}^3$ . Durante dichos años se creó una falsa sensación de seguridad en los agricultores, que derivó en un aumento considerable de la superficie de regadío (ESYRCE, 2018).

Por otra parte, y con respecto al promedio anual de existencias conjuntas en los embalses de Entrepeñas y Buendía cabe destacar que desde el año hidrológico 1981/82 hasta el año

hidrológico 2018/19 el promedio es de 693,5 hm<sup>3</sup>, aunque se observa una clara tendencia descendente. Esta tendencia negativa es de -39,5 hm<sup>3</sup>/década (obtenido con el test de Mann Kendal con un intervalo de confianza del 95%) aunque esta no es estadísticamente significativa. Por décadas, la evolución promedio es la siguiente: 1981-1990- 762,4 hm<sup>3</sup>; 1991-2000- 721,6 hm<sup>3</sup>; 2001-2010- 631,5 hm<sup>3</sup>; 2011-2019- 662,1 hm<sup>3</sup>. Por tanto, se observa una clara tendencia negativa en la evolución de las existencias mensuales conjuntas de Entrepeñas y Buendía. El impacto y la repercusión territorial de esta tendencia negativa, se ve agravado lógicamente por las modificaciones en las reglas de explotación del TTS.

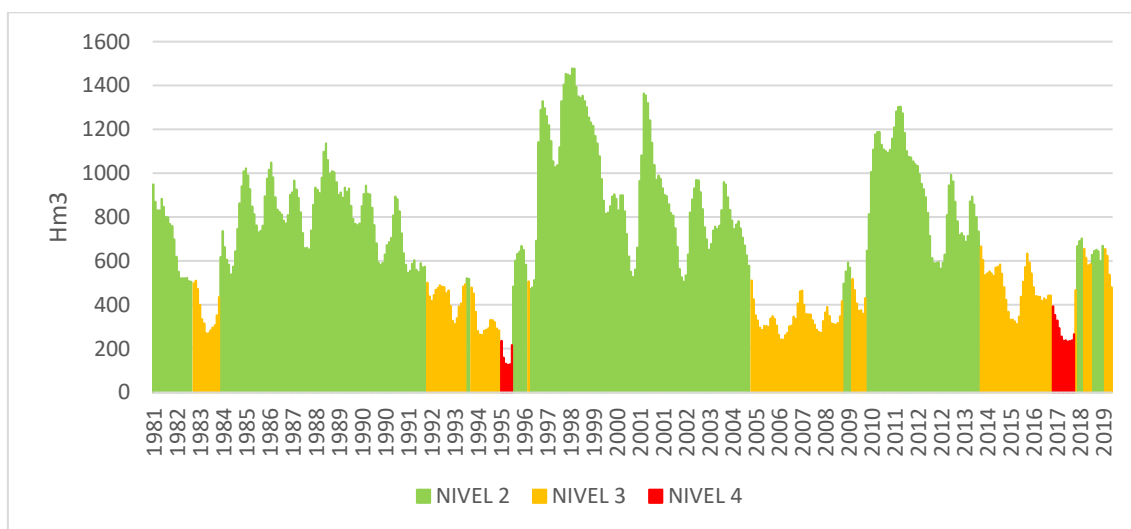


Figura 19. Evolución por niveles de las existencias conjuntas mensuales de Entrepeñas y Buendía entre el periodo 1981/82 y 2018/19. Fuente: Centro de Estudios y experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y Confederación Hidrográfica del Tajo.

En la figura 19 se puede observar como durante el periodo 2014-2019, las existencias mensuales apenas han sobrepasado el nivel 3, ya que desde el año 2014 tan solo se ha alcanzado el nivel 2 en 15 ocasiones. Coinciden dos aspectos fundamentales generadores de esta situación. En primer lugar, hay que resaltar que durante este periodo la cabecera del Tajo ha atravesado un importante déficit hídrico que generó que durante diez meses (desde junio de 2017 a marzo de 2018), las existencias estuvieran por debajo de 400 hm<sup>3</sup>, es decir, en el nivel 4 que supone un trasvase cero. Y en segundo lugar, hay que mencionar los cambios en las reglas de explotación del TTS a partir de la Ley 21/2013 de 9 de diciembre, cuyos cambios entraron en vigor a partir del día 1 de enero de 2014. Estos cambios, llevan consigo un importante incremento de los umbrales de los niveles 3 y 4 de las reglas de explotación, lo que originó que durante la mayor parte de los meses de este

periodo las existencias no rebasaran el nivel 3. Entre el periodo comprendido entre enero de 2014 y septiembre de 2019, la distribución mensual por niveles ha sido la siguiente: 15 meses-nivel 2, 44 meses- nivel 3, y 10 meses- nivel 4.

Año hidrológico	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1979/80	1885.9	1849.7	1832.6	1767.5	1703.7	1671.6	1667	1652.5	1678.8	1673.2	1628.9	1571.6
1980/81	1518.1	1479.7	1415.4	1331.1	1285.5	1284.9	1261.3	1229.6	1236.7	1164.7	1093	1023.5
1981/82	949.3	869.8	830.3	830.6	883.3	847.5	801.1	798.9	767.4	758.7	698.7	618.8
1982/83	545.9	520.9	521.3	521.6	522.3	507.8	505.1	498.3	509.4	472.3	399.5	334.8
1983/84	315.1	270.2	270.6	283.1	297.2	307.2	351.4	435.8	618	735.7	663.2	606.6
1984/85	583.2	539.3	573.5	644.6	746	862.7	940.6	1008.4	1021.9	989.5	927.5	848.2
1985/86	812.8	762.8	729.5	737.3	760.6	894.7	975.7	1016.2	1048.5	980.5	890.5	834.4
1986/87	823.6	811.2	783.6	771.2	809	900.2	913.3	967.2	925.5	888.1	821.9	727.2
1987/88	659.2	660.6	653.3	739.6	855.9	934.9	924.4	910.4	979.3	1098	1136.1	1059.7
1988/89	998.4	1009.5	1004.7	958.6	901.1	912.5	889.9	933.9	915.9	929.9	851.1	790.7
1989/90	769.5	761.8	770.3	849.4	905.3	943.4	907	904.3	842.6	763.5	680.4	593.4
1990/91	582.6	591.3	629.2	672.2	686.8	704.6	807.9	894	881.9	826	725.1	635.7
1991/92	583.2	546.3	554.8	586.7	603.3	558.8	549.1	590	571.3	574.1	501.1	438.1
1992/93	418.2	444.7	468.9	477.8	489.7	483.4	479.8	452.7	465.3	396	327.8	312.9
1993/94	339.1	391.4	405.3	483.5	493.9	520.7	518.4	478.3	450.7	368.6	280.8	264.6
1994/95	262.5	282.5	285.7	292.9	331.2	329.5	320.7	292.3	282.8	235.8	159.2	131.3
1995/96	127.9	129.3	216.1	483.1	601.3	632.8	643	669.3	650.3	583.2	507.2	472.2
1996/97	478.9	512.2	692.3	1141.5	1289.1	1328	1295.9	1259.5	1218.5	1146.7	1054.5	1027.9
1997/98	1036.8	1118.6	1328.5	1404.3	1453.1	1449.9	1445.3	1477.3	1477.6	1394.5	1350.3	1343.3
1998/99	1352.9	1328	1301.6	1254	1231.1	1216.9	1169.6	1136.6	1077	973.6	874.1	815.5
1999/00	820.7	849.4	893.3	903.9	883.9	830.4	900.1	899.5	826.2	723.5	621	550.7
2000/01	526.5	560.1	661.1	965.6	1082	1363.2	1355	1320.1	1241.4	1139.2	1038	969.4
2001/02	989.3	975.3	931.7	900.7	895.2	858.5	819.1	807.2	748.7	664.7	563.9	525.5
2002/03	506	534.8	630	820.9	881.1	932.1	969.1	968.6	914.4	836.8	753.3	697.3
2003/04	651.1	677.6	738.6	756.5	746.2	760.2	832.2	959.9	949.3	890.4	833	784.4
2004/05	746.5	766.7	781.9	748.9	706.2	670.3	624.7	578.3	511.5	425.7	352.5	328.8
2005/06	296.5	285.1	304.5	303.3	300	337.5	347.9	335.9	305.1	262.7	242.2	241
2006/07	261	271	301.8	304.7	345.5	336.5	405.3	461.4	464.8	399.6	358.4	356.6
2007/08	356.9	330.5	310.3	286.3	276.2	272.8	326.1	365.1	390.3	348.8	315.3	312.3
2008/09	310.2	317.3	347.6	416.2	497.2	552.3	592.8	569.4	518.6	466.8	406	373
2009/10	376.1	359.8	430.6	647.4	813.1	1005.6	1108.5	1176.3	1188.9	1187.9	1130.3	1107.5
2010/11	1100.8	1093.7	1106.1	1158.5	1208.5	1281.9	1303	1303.9	1272.8	1183.8	1100.5	1074.3
2011/12	1072.3	1054.2	1041.2	1033.4	996.1	951.6	927.9	890	819.4	713.9	613.4	590.1
2012/13	591.7	594.5	565.3	591.2	628.7	809.6	944.5	993.1	961.8	870.4	781.6	718.1
2013/14	727.8	714.4	687.7	713.6	871.9	893.2	857.1	799.9	734.4	666	604.3	535.9
2014/15	543.2	552	542.8	531	568.6	574.6	584.4	542.3	480.9	422.1	368.1	331.5
2015/16	332.4	324.7	313.2	346.5	437.2	505.7	573	633.8	592.4	543.8	480.2	439.2
2016/17	438	437	417	429	422	443	442	393	354	329	293	256
2017/18	236	238	233	235	238	266	467	668	691	702	656	614
2018/19	579.1	586.2	628.2	646	651.1	644.5	600.6	668.6	653.5	624.2	537.8	480.6

Figura 20. Evolución de los valores mensuales de las existencias conjuntas mensuales de Entrepeñas y Buendía entre el periodo 1979/80 y 2018/19. Leyenda: Nivel 1 (azul), Nivel 2 (verde), Nivel 3 (naranja), Nivel 4 (rojo); >400 hm<sup>3</sup> con la Ley 52/1980, de 16 de octubre (rosa) Fuente: Centro de Estudios y experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y Confederación Hidrográfica del Tajo.

Por otra parte, en la figura 20 se expone en forma de mosaico el valor mensual y su nivel correspondiente desde la puesta en marcha del TTS en el año 1979. El principal objetivo de esta figura es poder evaluar y resaltar el impacto y repercusión de las nuevas reglas de explotación del TTS. Para ello en rosa se han resaltado los meses cuyas existencias se situaban entre 240 y 400 hm<sup>3</sup>, ya que con las nuevas reglas de explotación de la Ley 21/2013 de 9 de diciembre, durante dichos meses se habría producido un trasvase cero. Por tanto, se observa claramente el efecto de las modificaciones en las reglas de explotación en la reciente sequía de 2014-2018, ya que durante 10 meses consecutivos se produjo un trasvase cero. Anteriormente tan solo se había producido un trasvase cero durante 6 meses entre julio y diciembre de 1995. En este punto es importante resaltar el impacto y repercusión que habría tenido el umbral de 400 hm<sup>3</sup> del nivel 4, en los anteriores periodos de déficit hídrico. Estos meses están resaltados en rosa (valores entre 240-400 hm<sup>3</sup>), y su distribución es la siguiente: 1983-1984- 9 meses; 1992-1996- 17 meses; y 41 meses en 2005-2009. Por tanto, en estas sequías sobre todo 2005-2009, si hubieran estado en vigor las actuales reglas de explotación del TTS las repercusiones socioeconómicas y políticas habrían sido mucho más cuantiosas, ya que durante más de 3 años consecutivos se habría producido un trasvase cero.

En este punto, hay que destacar el impacto conjunto de la tendencia negativa de las existencias mensuales conjuntas de Entrepeñas y Buendía, y las modificaciones en las reglas de explotación, que generan un claro aumento en la duración de los periodos de déficit hídrico en la cabecera del Tajo (niveles 3 y 4). De hecho, desde julio de 2014 hasta abril de 2018 se ha batido el récord de duración máxima con las existencias mensuales en los niveles 3 y 4, con un total de 44 meses consecutivos, superando de esta forma los 42 meses comprendidos entre junio de 2005 y enero de 2009, aunque en dicho periodo no hubo ningún mes con nivel 4. Cabe recordar en este punto que el volumen máximo trasvasable con el nivel 3 es de 20 hm<sup>3</sup> con las reglas actuales y de 23 hm<sup>3</sup> con las antiguas reglas. Los periodos de déficit hídrico anteriores tuvieron una duración máxima bastante inferior: 19 meses entre mayo de 1994 y enero de 1996, y de 13 entre mayo de 1983 y mayo de 1984.

Las existencias mensuales del TTS muestran una clara tendencia negativa desde su puesta en funcionamiento, lo cual repercute en un descenso de los recursos trasvasados, siendo los usos destinados a regadío los más afectados dado que prevalece el uso urbano de los recursos trasvasados. A esta tendencia descendente hay que sumar el impacto de las

modificaciones en las reglas de explotación del TTS con la ley 21/2013 de 9 de diciembre, que precisamente coincidió con el inicio de un periodo de déficit hídrico, el cual ha puesto de manifiesto que durante los periodos de sequía en la cabecera del Tajo, se van a incrementar considerablemente los meses con trasvase cero (nivel 4) y los meses con nivel 3. No obstante, en numerosos estudios se apunta que el descenso de las reservas y aportaciones de recursos hídricos en los principales embalses de las cuencas hidrográficas de España, comenzó en la década de 1980, con el denominado “Efecto 80” (Estevan et al., 2007; Lorenzo Lacruz et al., 2012; Pérez Martín et al., 2013; Hernández Bedolla et al., 2019).

En el caso de la cabecera del Tajo, el descenso de los recursos hídricos disponibles en la década de 1980 estaba estimado en un 47,5 %, teniendo en cuenta la reducción de las precipitaciones (Estevan et al., 2007). El “Efecto 80” hace referencia a la disminución de las aportaciones hídricas desde la década de 1980, y se tiene en cuenta para el cálculo de los recursos hídricos disponibles para la planificación hidrológica (Morote Seguido y Rico Amorós , 2018). El inicio de este fenómeno coincide temporalmente con la puesta en marcha del TTS, por lo que las estimaciones de aguas excedentarias en la cabecera del Tajo que se hicieron en el Anteproyecto del TTS pudieron estar sobrevaloradas (MOP, 1968; San Martín González, 2011), con el correspondiente sobrecoste económico.

A las tendencias negativas observadas en la disponibilidad de recursos hídricos en la cabecera del Tajo, hay que añadir las estimaciones realizadas por los escenarios de cambio climático, que pueden traer consigo un considerable de los conflictos sociales y políticos por el uso del agua entre regiones vecinas (Olcina Cantos y Vera Rebollo, 2016), ya que como ya se mencionado se estima una drástica reducción de los recursos hídricos en la cabecera del Tajo (Pellicer Martínez y Martínez Paz, 2018). Estos últimos autores, estiman un importante descenso de las precipitaciones y aumento de la temperatura en la cabecera del Tajo. Dichos cambios derivarían en una drástica reducción de los recursos hídricos en los embalses de Entrepeñas y Buendía. Esta reducción se estima entre un 70-79% respectivamente para los escenarios emisión RCP4.5 y RCP 8.5 para el periodo 2020-2090 frente a un escenario de no cambio climático, obtenido mediante la utilización de datos de precipitación y temperatura observados en la cabecera del Tajo en el periodo temporal 1940-2010. Por tanto, de cumplirse estos escenarios el TTS permanecería cerrado durante largos periodos de tiempo, al no superarse el umbral de aguas excedentarias de 400 hm<sup>3</sup> (nivel 4).

En definitiva, estos escenarios de cambio climático se deben de tener muy en cuenta para adaptar el ámbito territorial del sureste peninsular a los nuevos condicionantes climáticos de mayor aridez, con el objetivo de reducir su vulnerabilidad y exposición frente a la reducción de los aportes hídricos (Vargas Molina y Paneque Salgado, 2017). En este sentido, la desalinización debe jugar un papel fundamental, por lo que está previsto un aumento continuo de los recursos desalinizados disponibles en la DHS según PDHS 2015/21, pasando de los 158 hm<sup>3</sup> estimados para el horizonte 2015 a los 226 hm<sup>3</sup> estimados para el horizonte 2033. No obstante y a pesar de estos escenarios, las administraciones públicas están desarrollando iniciativas relacionadas con el incremento de la oferta para garantizar el abastecimiento de agua, en vez de apostar por medidas inducidas a la gestión de la demanda (Morote Seguido y Rico Amorós, 2018), que es hacia donde se deberían encaminar las diferentes iniciativas políticas.

Entre dichas medidas convendría incluir un mayor control de las superficies de regadío por parte de las distintas confederaciones hidrográficas y por supuesto de las áreas de regadíos ilegales. Por ejemplo, en la comarca natural del campo de Cartagena, concretamente en la cuenca de drenaje hacia el Mar Menor donde se localiza una buena parte de las ZRT, se ha comprobado que existen un total de 12.165 ha de regadíos que quedarían fuera de los límites en las UDAs delimitadas por la DHS (García Moreno et al., 2018). Según estos autores el agua procedente de la desalinización (desaladoras de Valdelentisco y Torrevieja fundamentalmente), no han contribuido a cubrir el exceso de demandas asociados a las ZRT, sino justo lo contrario ya que han favorecido la creación de nuevos regadíos ilegales, con lo que se incrementa la escasez de agua en la zona y la demanda de más recursos adicionales.

Los demostrados efectos medioambientales negativos sobre la laguna litoral del Mar Menor de los drenajes, vertidos y flujos de nutrientes de la agricultura intensiva, lamentablemente no han sido un impedimento para la ampliación de nuevos regadíos, a pesar de no contar con el trámite obligatorio de Evaluación de Impacto Ambiental (Martínez Fernández et al., 2013; García Aróstegui et al., 2016; García Moreno et al., 2018). Estas transformaciones de los usos del suelo implican un aumento drástico de la superficie de sellado de suelo y numerosos cambios paisajísticos (Caballero Pedraza et al., 2015; Romero Díaz et al., 2017) con el consecuente aumento de la escorrentía superficial y la ocupación indebida de zonas inundables delimitadas por el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables como el casco urbano de Los Alcázares



(Espín Sánchez et al., 2017; García Ayllón, 2018). En Castejón Porcel et al., (2018), se realiza un análisis del potencial actual del aprovechamiento de las aguas de escorrentía en el Campo de Cartagena, que provocaría un aumento en la disponibilidad de agua con el uso de un recurso endógeno, pudiendo ayudar a disminuir las distintas presiones ejercidas en dicha área.

En este sentido, es importante resaltar tanto las actuaciones que se han llevado a cabo en el sector agrario español para adaptarse a las condiciones de déficit hídrico, como una serie de propuestas de actuación futuras encaminadas a resolver la escasez hídrica en el sureste de la península ibérica. En este sentido, la eficiencia y la racionalización del agua se configura como el principal reto al que se enfrenta en la actualidad el regadío español (Berbel Vecino et al., 2017). En Pulido Fernández et al., (2019), se analiza el papel jugado por la construcción de infraestructuras de abastecimiento de agua en la modernización del sector agrario español, entre las que se destaca la modernización de regadíos que se constituye como la principal medida en políticas de aguas en el regadío de España en las últimas décadas.

En Gómez Espín (2019) se expone que entre el periodo 1996-2017 se ha modernizado más de la mitad de la superficie regada en España, lo que ha llevado consigo el ahorro de agua de más de 1800 m<sup>3</sup>/año. Este significativo ahorro de agua es corroborado en estudios realizados en otros espacios geográficos semiáridos a escala global (Fereres y Soriano, 2007; Geets y Kirk, 2009; Shammout et al., 2018). Además, supone un importante ahorro en las extracciones de aguas subterráneas, un aumento de la productividad de los factores (tierra, agua y trabajo), y de la calidad de vida de los agricultores (Berbel Vecino y Montilla López, 2019). No obstante, en Perry et al., (2009) se pone en duda el efecto ahorrador de la modernización de regadíos a escala de cuenca, debido al efecto rebote que genera una mayor producción de alimentos como consecuencia de un mayor consumo bruto de agua. Otro aspecto negativo de la modernización de regadíos es que el aumento considerable de la superficie de cultivos con riego localizado desde la puesta en marcha del Plan de Choque de Modernización de Regadíos (Real Decreto 287/2006, de 10 de marzo, por el que se regulan las obras urgentes de mejora y consolidación de regadíos, con objeto de obtener un adecuado ahorro de agua que minimice los daños producidos por la sequía) supone un fuerte gasto económico por parte de los agricultores que en algunos casos pueden tardar unos 25 años en amortizar la inversión (Alarcón Luque, 2017).

Como propuestas de actuación futuras, en Gil Olcina (2016b) se sostiene la utilización de los recursos hídricos de la margen derecha del Tajo Medio para satisfacer las demandas urbanas de Madrid y Toledo, y de esta forma reducir la presión sobre la cabecera del Tajo. El área del Tajo Medio (vertiente meridional del Sistema Central), está mucho más expuesta a los vientos húmedos de procedencia atlántica que la zona de la cabecera del Tajo. Este autor defiende que esta premisa debería ser básica para la planificación y ordenación de la cuenca del Tajo. En las zonas más favorecidas a los vientos húmedos atlánticos del Tajo las precipitaciones superan los 2000 mm de media anual, lo que repercute en el caudal de los afluentes del Tajo de la Margen Derecha de este sector (Jarama, Tiétar, Alberche y Alagón) (Morote Seguido y Rico Amorós, 2018).

Por otra parte, el SCRATS (2017) realiza por un lado una serie de medidas de actuación a corto y medio plazo para paliar el déficit hídrico en el sureste peninsular, y por otro lado medidas de actuación a largo plazo para resolver definitivamente el problema de déficit hídrico. Estas acciones están encaminadas a buscar y potenciar otras fuentes de abastecimiento, ante la progresiva reducción de las aguas trasvasadas por el TTS. Entre las medidas a corto y medio plazo se destacan las siguientes: incremento de la producción de las desalinizadoras pertenecientes a ACUAMED (Valdelentisco, Torrevieja y Águilas); conexión de estas desalinizadoras con los embalses reguladores del TTS (La Pedrera y Algeciras) y cesiones de derechos a través del TTS con origen en la Demarcación Hidrográfica del Tajo. Entre las actuaciones a largo plazo se proponen las siguientes: derivación de recursos desde el Duero medio; derivación desde el Tajo en el embalse de Azután; derivación desde el Tajo en Toledo; derivación de recursos en desembocadura del Ebro hasta el Segura; derivación de recursos desde el Ebro medio e incremento de la capacidad de desalinización en la DHS.

Las medidas propuestas por el SCRATS a corto y medio plazo, son bastantes realistas y viables. De hecho, como ya ha sido mencionado, está planificado un incremento considerable de los recursos desalinizados para el horizonte 2033. Además están previstas las obras de conexión de las desalinizadoras con los embalses reguladores del TTS de La Pedrera y Algeciras. En este sentido la desalinización debe regirse como recurso sustitutivo del TTS (Morote Seguido y Rico Amorós, 2018). Sin embargo, las medidas a largo plazo resultan bastante menos viables en su ejecución, siendo algunas de ellas como los trasvases desde el Ebro y el Duero, difícilmente aceptables en la actualidad desde un punto de vista científico ambiental y económico, ya que incumplirían gran parte de las

premisas establecidas por la DMA (Villarroya Gil, 2006; Del Moral Ituarte y Silva Pérez, 2006). En definitiva, estas medidas a largo plazo, están encaminadas hacia el incremento de la oferta de los recursos hídricos, en detrimento de las acciones enfocadas a la gestión de las demandas hídricas que es hacia donde se deberían dirigir las diferentes iniciativas de las administraciones públicas. En un futuro, el objetivo primordial de las medidas de actuación que se implanten debe ser la reducción del notable déficit hídrico existente en la actualidad en la DHS, estimado en 400 hm<sup>3</sup> para el horizonte 2021. Las demandas agrarias representan casi la totalidad de este déficit (394 hm<sup>3</sup>), por lo que lógicamente las propuestas de actuación deberían estar encauzadas a reducir la superficie de regadío, en vez de incrementar la oferta de recursos hídricos para seguir aumentando las zonas de regadío, y por supuesto controlar y eliminar las zonas de regadíos ilegales.

#### **2.4. Control y prevención de las sequías por parte de los organismos públicos**

Los organismos públicos juegan un papel muy importante en el control y prevención de las sequías, debido a que son los encargados de gestionar adecuadamente el uso de los recursos hídricos. En ámbitos semiáridos como el sureste de la península ibérica, las medidas de control, planificación y prevención frente a las sequías, resultan primordiales para la reducción de la vulnerabilidad y exposición de la población frente al riesgo de sequía. En este sentido, en García Marín et al. (2016), se realiza un análisis detallado de las medidas llevadas a cabo por diferentes organismos públicos en la Región de Murcia. A nivel internacional, cabe destacar que el National Drought Mitigation Center (NDMC) dependiente de la Universidad de Nebraska (Estados Unidos), fue uno de los organismos pioneros en el control y prevención del riesgo de sequía, llevando una monitorización diaria de la evolución de las sequías en Estados Unidos, siendo utilizada su metodología y cartografía espacial en numerosos países. En la figura 21 se muestra un ejemplo del monitoreo de sequías llevado a cabo por dicho organismo, con la representación de la superficie afectada por diferentes categorías de intensidad de sequía a partir del índice SPI (mapa del 17 de diciembre de 2019).

En este apartado se va a elaborar un análisis a diferentes escalas (europea, estatal y autonómica) de las medidas llevadas a cabo por diferentes organismos públicos, entre los que se incluyen los siguientes: Observatorio Europeo de Sequías; Consejo Superior de

Investigaciones Científicas-Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC); Agencia Estatal de Meteorología (AEMET); Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO); Ministerio de Economía y Empresa (MINECO); Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX); Junta de Andalucía- Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM); Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT); Confederación Hidrográfica del Segura (CHS). Se va a poner especial énfasis en el protocolo ante situaciones de sequía de la MCT, y el Plan Especial de Actuación frente a situaciones de alerta y eventual sequía en la Cuenca del Segura (PES), elaborado por la CHS. Las medidas de control y prevención frente a las sequías de estos dos organismos son primordiales en el sureste de España, ya que son los responsables de la gestión y la planificación de los recursos hídricos y del abastecimiento de agua potable.

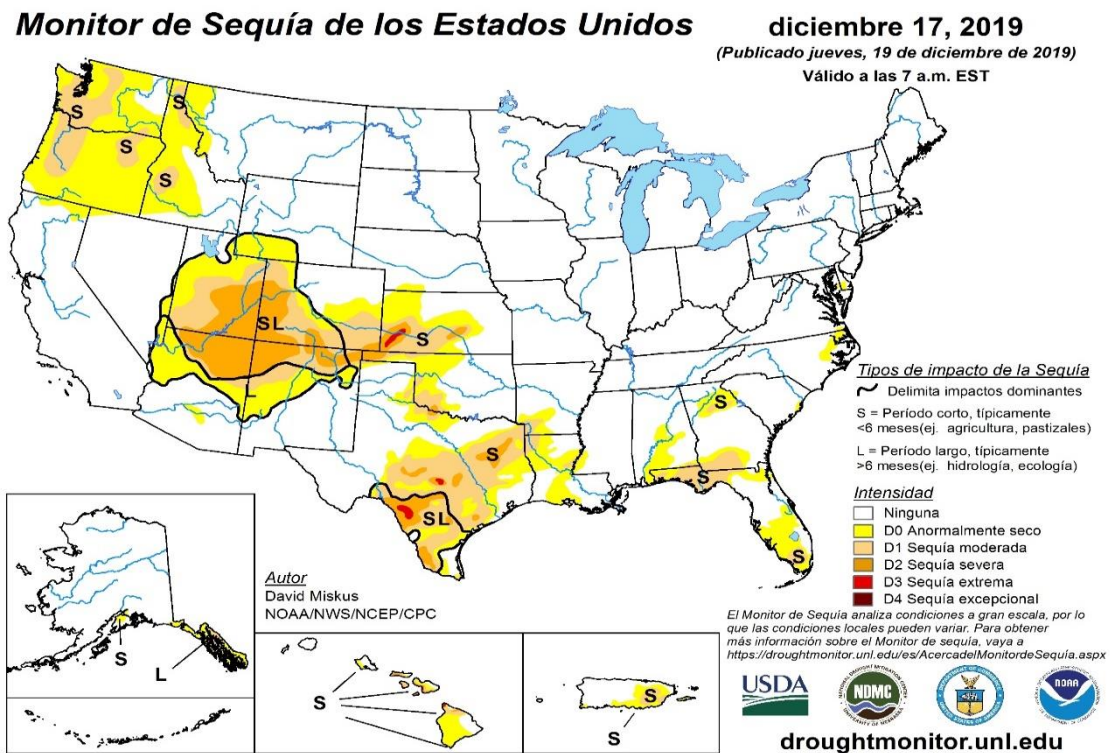


Figura 21. Monitor de sequía de Estados Unidos. Fuente: National Drought Mitigation Center (NDMC).

#### 2.4.1. Observatorio Europeo de Sequías (EDO)

El Observatorio Europeo de Sequías (European Drought Observatory- EDO) es un organismo dependiente de la comisión europea y asociado al proyecto COPERNICUS. El EDO colabora estrechamente con diferentes instituciones y organismos de los estados miembros de la Unión Europea entre los que se encuentra la CHS. Contiene un visor

geográfico en el que se recoge información relativa a diferentes variables meteorológicas, hidrológicas o agrícolas. En la figura 22 se muestra un ejemplo de la información que aparece en este visor, en el que se refleja la distribución espacial de un índice combinado de sequía (se delimitan áreas con déficit pluviométrico, déficit de humedad, y estrés hídrico en la vegetación) correspondiente a la primera decena de diciembre de 2019. Además permite la visualización de la evolución de las sequías en Europa, así como la descarga de información de distintas variables como los índices de sequía SPI o SPEI. Por último, cabe destacar que el EDO ha incorporado recientemente un visor global de sequías (Global Drought Observatory-GDO), en el que se realiza una representación espacial del riesgo de impacto de las sequías en la agricultura (Spinoni et al., 2019). En el GDO aparece asociado una base de datos de sequías a nivel mundial desde 1951 hasta la actualidad.

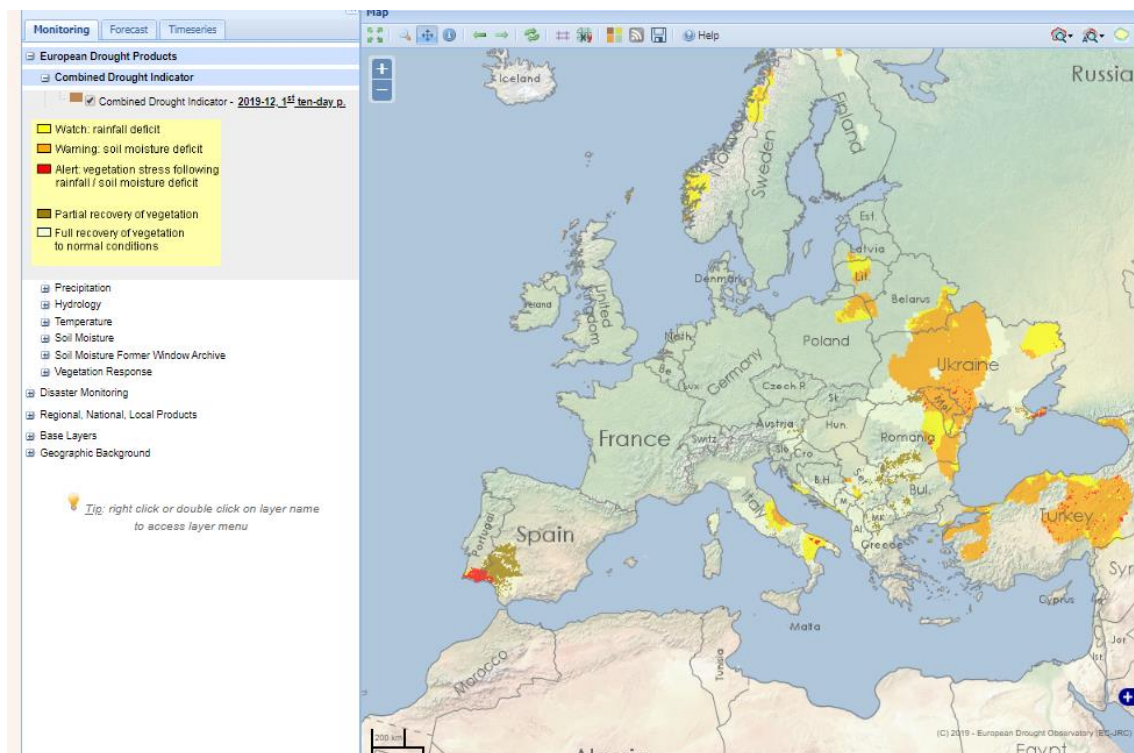


Figura 22. Índice combinado de sequía del Observatorio Europeo de sequías. Fuente: European Drought Observatory (EDO).

#### 2.4.2. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

AEMET destina un apartado dentro de su página web al seguimiento de la sequía meteorológica. El cual, incluye información sobre la evolución reciente en el territorio de España del SPI, uno de los índices de sequía más utilizados a nivel mundial, que se

actualiza todos los meses. Consta de los siguientes contenidos: 1) Información de un conjunto de mapas, cada uno de los cuales representa la distribución espacial de los valores del citado índice SPI, correspondiente a distintas escalas temporales (1,3,6,12,24, 36 meses y la parte transcurrida del año hidrometeorológico); 2) Una tabla, en la que figuran los valores del índice SPI en una serie de estaciones de la red de primera orden de AEMET, también para distintas escalas temporales.

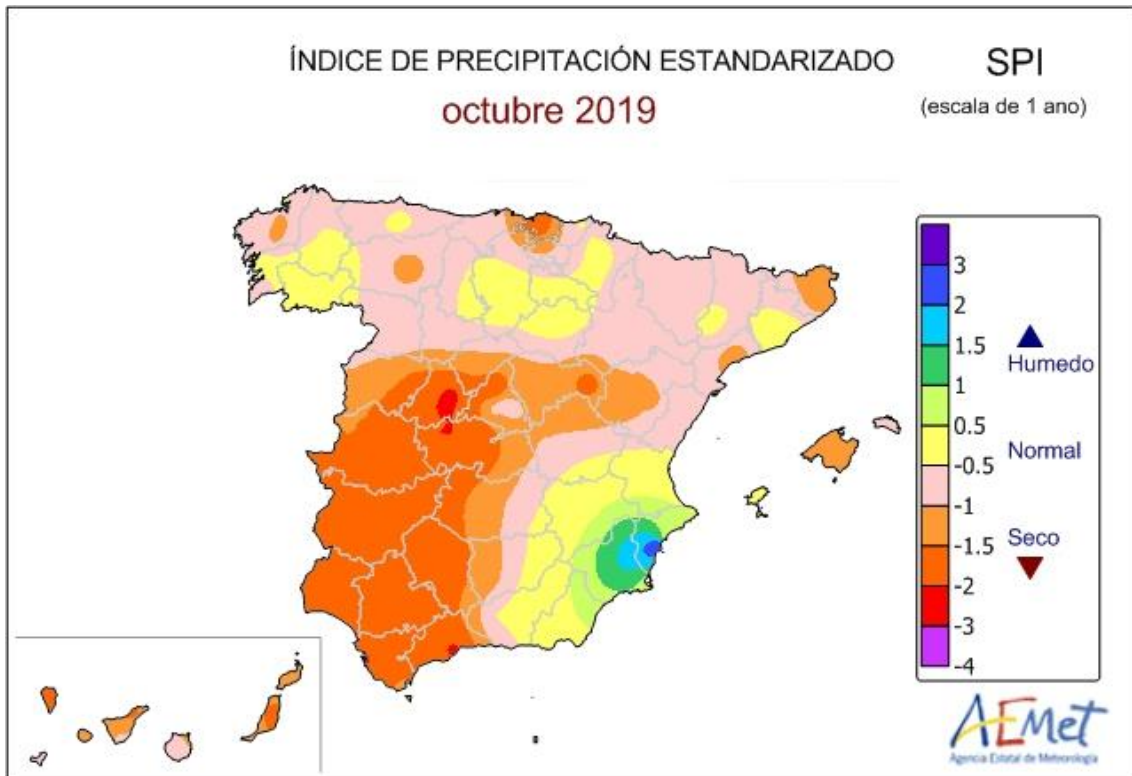


Figura 23. Cartografía de vigilancia de sequía meteorológica a partir del SPI en España  
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Por tanto la principal utilidad de este índice es que permite el análisis de los impactos de las sequías en distintas escalas temporales, ya que los diferentes sistemas naturales y sectores económicos pueden responder a las condiciones de sequía en escalas temporales desiguales (Vicente Serrano et al., 2012c). Un periodo de 3 meses inferior permite la monitorización de las sequías meteorológicas, por encima de 6 meses se pueden evaluar las sequías agrícolas, y por último, el periodo de 12 meses es el ideal para evaluar las sequías hidrológicas. Las escalas temporales por encima de los 12 meses son las más adecuadas para la evaluación de los impactos de las sequías socioeconómicas. En la figura 23 se observa un ejemplo de la cartografía que realiza AEMET, concretamente con una escala temporal de un año, ya que es la escala utilizada en el capítulo 5 para caracterización de los impactos hidrológicos de las sequías. El mapa se corresponde a

octubre de 2019, y en él se observa la clara dicotomía entre el sureste de España y el resto del territorio nacional, que en esa fecha se encontraba atravesando una severa sequía ibérica. En cambio el sureste peninsular se vio afectado durante el año 2019 por dos grandes episodios de lluvias torrenciales (De Cara, 2019; Caballero De Frutos et al.,2019; Martí Talavera et al.,2020). En esta imagen se observa claramente como gran parte del sureste peninsular tiene un patrón de sequías distinto al resto de la península ibérica.

#### **2.4.3. Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO)**

El MITECO anteriormente denominado Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, dedica un apartado a la gestión de sequías. Pone especial énfasis en los planes de gestión de sequías de las distintas demarcaciones hidrográficas. Es importante resaltar que a partir del año 2018 entraron en vigor los nuevos planes de gestión de sequía. Concretamente, el 26 de diciembre de 2018 se publicó en el BOE la Orden TEC/1399/2018, de 28 de noviembre, por lo que se aprueba la revisión de los Planes Especiales de Sequía (PES) correspondientes a las distintas demarcaciones hidrográficas de España, entre el que se incluye el Plan Especial de Sequía de la Demarcación Hidrográfica del Segura cuyos contenidos básicos son explicados en el apartado 2.4.9. Estos nuevos planes de gestión de sequías sustituyen a los planes que estaban vigentes desde el año 2007. La entrada en vigor de los nuevos planes permite pasar a utilizar un sistema doble de indicadores, en los cuales se diferencian las situaciones de sequía de las situaciones de escasez hídrica (relacionadas con problemas coyunturales en la atención de las demandas). En definitiva, estos nuevos planes se adaptan al nuevo contexto y la información existente en los planes hidrológicos de segundo ciclo, en relación con aspectos como los caudales ecológicos o los condicionantes del cambio climático.

Por otra parte, el MITECO realiza un seguimiento mensual de los indicadores y situación de sequía y escasez en todas las Demarcaciones Hidrográficas intercomunitarias. Todos los meses se publica dicha información, así como sendos mapas con los valores de los escenarios correspondientes al último día del mes anterior (figura 24). La diferencia conceptual entre la sequía prolongada (relacionada exclusivamente con el déficit pluviométrico y reducción de las aportaciones en régimen natural) y escasez coyuntural, radica en que esta última introduce la problemática temporal de atención de las demandas socioeconómicas. Este problema lleva a definir en los PES unidades territoriales de gestión diferenciadas. De este modo en cada Demarcación Hidrográfica se delimitan una



serie de Unidades Territoriales de Sequía (UTS) y Unidades Territoriales de Escasez (UTE), que en la mayoría de los casos se corresponden con el mismo ámbito geográfico.

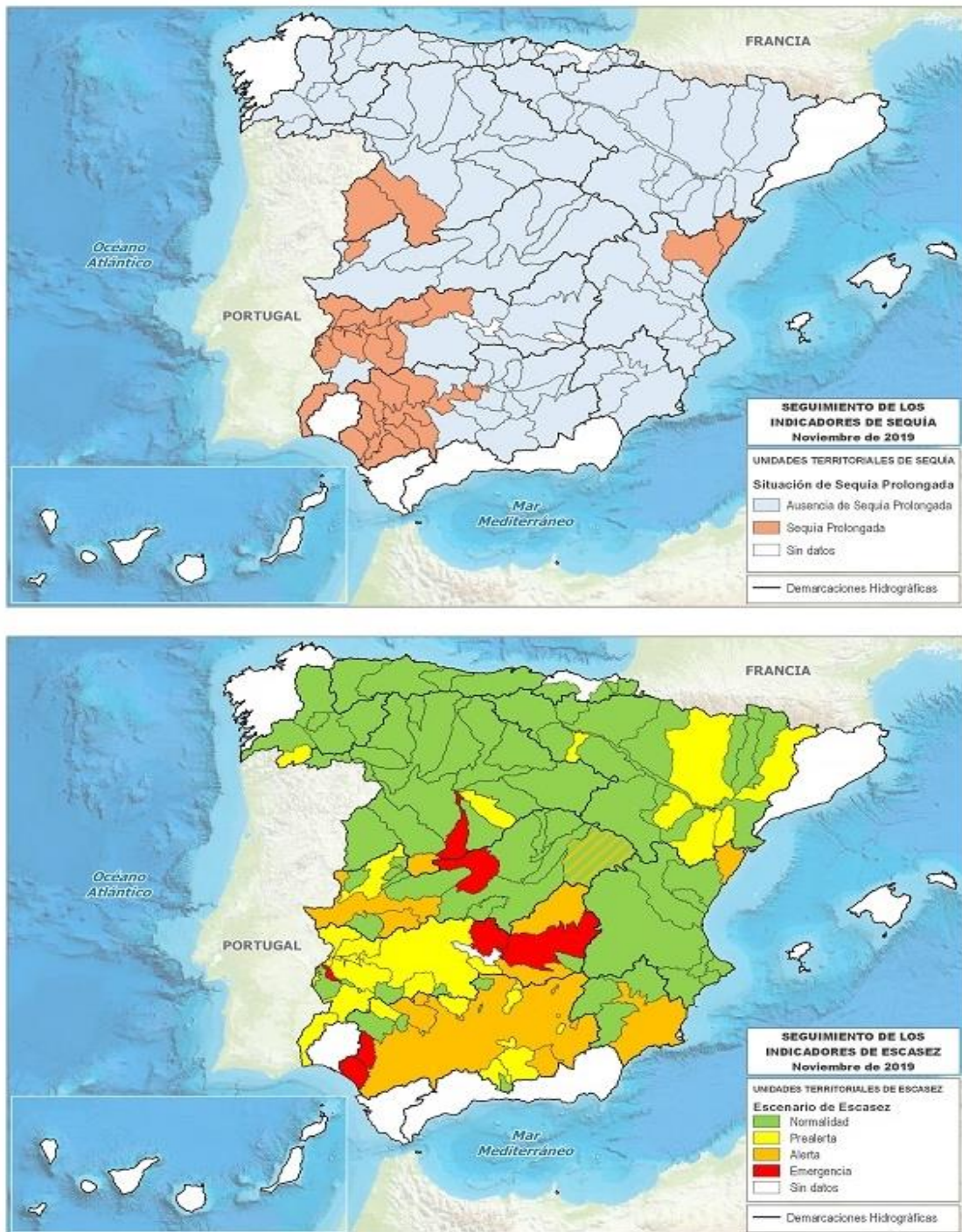


Figura 24. Seguimiento de los indicadores de sequía y escasez a fecha de noviembre de 2019. Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO)

En el documento de instrucción técnica para la elaboración de los planes especiales de sequía y la definición del sistema global de indicadores de sequía prolongada y escasez



(MAPAMA, 2017), se explican las diferentes categorías que se establecen en las situaciones de sequía prolongada y en los diferentes escenarios de escasez. Las unidades territoriales de sequía y escasez, son definidas como el ámbito de cada unidad de análisis del plan especial de sequía, que a efectos de la sequía prolongada estará relacionada con las zonas y subzonas del estudio de recursos del plan hidrológico, y a efectos de escasez, con los sistemas y subsistemas de explotación. Por un lado, la sequía prolongada es aquella producida por circunstancias excepcionales o que no han podido preverse razonablemente. La identificación de estas circunstancias se realiza mediante el uso de indicadores relacionados con la falta de precipitación durante un periodo de tiempo determinado y teniendo en cuenta aspectos como la intensidad y la duración.

Los indicadores de sequía prolongada tienen como objetivo detectar una situación persistente e intensa de disminución de las precipitaciones con reflejo en las aportaciones hídricas. Entre las medidas que se activan se encuentran la admisión justificada del deterioro temporal del estado de las masas de agua por causas naturales, y el establecimiento de caudales ecológicos menos exigentes. Con dichos indicadores se busca la identificación temporal y territorial de la reducción coyuntural de la esorrentía por causas naturales, independientes del manejo de los recursos por la acción humana. Las variables utilizadas en el cálculo de este indicador serán la precipitación y la aportación en estaciones de aforo, no utilizándose los datos de reservas almacenadas en embalses o acuíferos.

El índice presenta un valor adimensional entre 0 y 1, de tal forma que el 1 se corresponde con el dato de mayor disponibilidad y el 0 con el de menor disponibilidad de la serie temporal de datos de referencia. La serie de referencia comprende una serie de datos hidrológicos o meteorológicos de escala mensual que se extiende desde octubre de 1980 hasta septiembre de 2012, siendo utilizada para definir los indicadores de sequía prolongada y escasez. Cuando el indicador de la unidad territorial tome un valor inferior a 0,3 se considerará que existe una situación de sequía prolongada. Para el establecimiento de ese valor se tendrá en cuenta el análisis histórico de la variable analizada. La presentación del valor de sequía prolongada irá acompañada de una tabla que indique su ocurrencia en el ámbito territorial de la serie de referencia.

Por otro lado, los indicadores de escasez tienen como principal objetivo detectar la situación de imposibilidad de atender las demandas, de manera que sirvan como instrumento de ayuda a la toma de decisiones relativas a la gestión de los recursos

hídricos. Entre las acciones y medidas que se activan en situaciones de escasez destacan las siguientes: Concienciación de la población y ahorro; restricción de suministros y movilización de recursos; incremento de la vigilancia ambiental. En relación con estas medidas se publicó en el año 2007 la guía “La sequía en España: directrices para minimizar su impacto” (Ministerio de Medio Ambiente, 2007), en la cual un comité de expertos establece un conjunto de propuestas cuya puesta en marcha permita afrontar las sequías venideras con las mayores garantías posibles.

El indicador de escasez en cada unidad territorial se fundamentará en la relación entre la disponibilidad de recursos y las demandas, con el objetivo de identificar las situaciones de déficit en cada unidad territorial. Para ello se establecerán criterios objetivos de atención a la demanda que permitirán la posterior definición de los valores umbrales para cada escenario. Para cada una de las unidades territoriales establecidas se elegirán las variables hidrometeorológicas asociadas a los elementos de control más representativos de cada unidad, de modo que en las demarcaciones hidrográficas o unidades territoriales que dependan de recursos no convencionales, procedentes de desalinización o la reutilización de recursos, se podrán utilizar dichas variables en el cálculo del índice de escasez.

La evolución temporal del indicador de escasez se presenta en forma de gráficos para cada una de las unidades territoriales delimitadas. El indicador de cada registro se normaliza entre los valores de 0 y 1, respecto a los límites mínimo y máximo a lo largo de la serie de referencia. Se definen cuatro situaciones de estado que caracterizan la importancia de la escasez. Los valores umbrales (0,15-0,30 y 0,50) marcan los límites de cambio de situación. De esta forma son definidas las siguientes situaciones respecto a la escasez coyuntural: 1)  $\geq 0,5$ - Normalidad (ausencia de escasez). No corresponde la adopción de medidas coyunturales; 2) entre 0,3 y 0,5- Prealerta (escasez moderada). Situación que identifica el inicio en la disminución de los recursos hídricos disponibles que puede suponer un riesgo para la atención de las demandas. En esta situación se podrán aplicar medidas de ahorro y control coyuntural de la demanda ante el riesgo de la profundización del problema; 3) entre 0,15 y 0,30- Alerta (escasez severa). En este nivel se produce una intensificación en la disminución de los recursos hídricos disponibles evidenciando un claro riesgo de imposibilidad de atender las demandas. Además, se aumentará la vigilancia de la zonas con alto valor ambiental, así como reducciones en los suministros; 4) entre 0 y 0,15 -Emergencia (escasez grave). Situación de máximo grado

de afección por la disminución drástica de los recursos hídricos disponibles. Además de las medidas mencionadas anteriormente, se podrán adoptar las medidas excepcionales y extraordinarias que puedan resultar de aplicación.

Con respecto a la declaración de “situación excepcional por sequía extraordinaria”, los presidentes de las distintas confederaciones hidrográficas podrán declararla, cuando en una o varias unidades territoriales se den los siguientes condicionantes: 1) escenarios de alerta que coincidan temporalmente con el de sequía prolongada; 2) escenarios de emergencia que coincidan temporalmente con el de sequía prolongada o bien, que sin coincidir, los territorios estén claramente afectados tras una situación de emergencia. Además, cabe reseñar que según lo establecido en la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, los planes especiales de sequía serán objeto, en paralelo a su preparación de una evaluación ambiental estratégica. El informe del órgano ambiental resultante de la evaluación ambiental estratégica debe insertarse como Anejo en la Memoria del Plan Especial de Sequías.

En la figura 24 se exponen dos ejemplos de los mapas mensuales de seguimiento de los indicadores de sequía prolongada y escasez que realiza el MITECO. En el ámbito territorial de la DHS se puede observar que aunque no hay sequía prolongada en ningún punto, una de sus cuatro unidades territoriales de escasez, la UTE I está en situación de alerta a fecha de noviembre de 2019. Esta UTE situada en gran parte de la mitad meridional y zona suroccidental de la DHS, depende en gran medida de recursos exógenos procedentes del TTS, de ahí, su situación de alerta. Por último, en este apartado es importante recordar que el MITECO tiene otorgada la función de aprobar los trasvases de agua en el nivel 3 de las reglas de explotación actuales del TTS.

Con el nivel 3 el MITECO puede aprobar un trasvase mensual máximo de 20 hm<sup>3</sup>, pero en función de los condicionantes meteorológicos e hidrológicos de un momento determinado puede asignar una cantidad menor, como por ejemplo ocurrió en los meses de noviembre y diciembre de 2019, cuando se aprobó únicamente un trasvase de 7,5 hm<sup>3</sup> para abastecimiento urbano de la MCT. Esta medida generó bastante polémica entre los regantes del SCRATS, pero ni mucho menos supone que las ZRT se queden sin agua para regadío, ya que los embalses destinados al aprovechamiento del TTS almacenan una importante cantidad de recursos hídricos procedentes del TTS. Además los recursos que no se trasvasen en un determinado mes se acumularán en Entrepeñas y Buendía, y podrán ser trasvasados en meses venideros, al no alterarse el desembalse de referencia hacia el

Tajo (dicho desembalse es el encargado de satisfacer las necesidades ambientales y socioeconómicas de la cuenca cedente).

#### **2.4.4. Ministerio de Economía y Empresa (MINECO)**

El MINECO anteriormente Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, financia numerosos proyectos de investigación para el control y la prevención de las sequías en España. Entre estos proyectos se puede destacar “InfoSequía”. Se trata de un proyecto pionero al ser el primer sistema operativo de monitoreo de sequías basado en la teledetección en España (Contreras y Hunink, 2016; García León et al., 2019). En su página web se puede hacer un seguimiento de la evolución temporal de los valores de diferentes índices de teledetección (índice de sequía vegetativa-VHI, Índice de Condición de la Vegetación- VCI, Índice de Condición de la Temperatura Superficial-TCI), que permiten evaluar los impactos de la sequía en la vegetación natural y en los cultivos agrícolas. El seguimiento se puede hacer tanto por Comarcas Agrarias como por Sistemas de Explotación de Recursos Hídricos. Además el MINECO financió el proyecto FutureWater que permitió la monitorización de la sequía agrícola de 2013-2015 mediante el tratamiento de imágenes de satélite en la cuenca del Segura (Maestre Valero et al., 2013) a través de la herramienta GEISEQ (Sistema Multiherramienta para la Gestión Integral de Sequías).

#### **2.4.5. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)- Instituto Pirenaico de Ecología (IPE)**

El CSIC concretamente el centro de investigación del Instituto Pirenaico de Ecología (IPE) cuya sede está compartida entre las ciudades de Jaca y Zaragoza, realiza un monitoreo de las sequías en España desde 1961 a través de diferentes índices de sequía entre los que se destacan el SPI y SPEI (Vicente Serrano et al., 2017). Estos autores han elaborado una base de datos de índices de alta resolución para el ámbito territorial de España. Esta base de datos ofrece información histórica actualizable sobre las condiciones de sequía, con una resolución espacial de 1,1 km y una resolución temporal semanal. El periodo de calibración de los índices es 1961-2014. Además permiten la visualización de los valores de estos índices en diferentes escalas temporales (1,3,6,9, 12, 24, 36, 48 meses), así como la descarga de dichos valores.

Una de las grandes utilidades de esta base de datos es que permite la evaluación del impacto de las temperaturas en las sequías, al facilitar la comparación entre los índices

SPI (solo tiene en cuenta la variable de la precipitación) y el índice SPEI (que además de la precipitación utiliza las variables de la temperatura y la evapotranspiración). En la figura 25 se observa un ejemplo de la cartografía espacial realizada a partir de esta base de datos, concretamente del índice SPI con una escala temporal de 12 meses (a fecha de diciembre de 2014 para visualizar los valores del ciclo sequía surestina 2013-2015). Además desde el IPE, se llevó a cabo una base de datos global del SPEI (Beguería et al., 2010; Vicente Serrano et al., 2010b; Beguería et al., 2014), cuya cartografía se puede visualizar en el “Global Drought Monitor SPEI”. Este monitor global de sequía ofrece información casi en tiempo real sobre las condiciones del índice SPEI, con una resolución espacial de 1º grado y una resolución temporal mensual. La escala temporal del SPEI oscila entre 1 y 48 meses. El periodo de calibración es 1950-2010. En definitiva ambas herramientas constituyen un gran avance en el control y la prevención de las sequías, tanto a escala local como a escala global.



Figura 25. Monitor global de sequía del índice SPI con una escala temporal de 12 meses a fecha de diciembre de 2014. Fuente: Consejo Superior de Investigaciones Científicas Instituto Pirenaico de Ecología

#### 2.4.6. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)

El CEDEX es un organismo estatal dependiente del MITECO. Desde su creación, ha sido concebido como un organismo de asistencia técnica de alto nivel, en el campo de la ingeniería civil y el medio ambiente asociado. Entre otras temáticas centra sus estudios

en materias relacionadas con el cambio climático, el medio ambiente, infraestructuras hidráulicas, planificación hidrológica y usos y demandas de agua. Con respecto a la planificación hidrológica el CEDEX proporciona información muy detallada de la evolución de las reservas en los embalses de las distintas confederaciones hidrográficas a través de los datos proporcionados por los anuarios de aforos. Dichos anuarios permiten la consulta y la descarga de variables como las reservas mensuales ( $\text{hm}^3$ ) o las aportaciones mensuales ( $\text{hm}^3$ ) para un periodo temporal de más de 60 años (periodo 1953/54-2015/16). Por tanto, está información permite analizar el impacto de las sequías sobre los recursos hídricos, y ver la evolución de los distintos parámetros que caracterizan las sequías hidrológicas. En este sentido el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX juega un papel fundamental en la difusión de los datos hidrológicos de los embalses de las diferentes confederaciones hidrográficas (Quintas Ripoll, 2013).

El Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX creado en 1963, ha publicado a lo largo de su historia numerosos informes sobre la caracterización hidrológica de las sequías. Entre estos informes se pueden destacar dos publicados en el año 2013 en los que se lleva a cabo por una parte una caracterización hidrológica de las sequías (CEDEX, 2013a) a partir de la aplicación de una serie de índices de sequía basados en series hidrometeorológicas e índices basados en teledetección, y por otra parte, un catálogo donde se recopilan un conjunto de sequías históricas a partir de la reconstrucción de series de precipitación (CEDEX, 2013b) mediante el uso de diferentes técnicas de datación climática como la dendrocronología (Creus et al., 1992; Saz y Creus, 1998; Tejedor et al., 2015) o la utilización de documentación histórica. Por ejemplo la frecuencia y el nivel de las rogativas han sido parámetros utilizados por numerosos autores para realizar reconstrucciones de series de precipitación y la construcción de índices de sequía (Couchoud y Sánchez, 1965; Martín Vide y Barriendos Vallvé, 1995, Barriendos Vallvé, 2002; Vicente Serrano y Cuadrat Prats, 2007; Gil Guirado et al., 2019). Estos autores han compuesto reglas de ordenación que relacionan el tipo de rogativa con la intensidad de sequía. Couchoud y Sánchez (1965) y Gil Guirado et al. (2019), centran sus investigaciones en el ámbito territorial de la DHS.

Por último, el Centro de Estudios Hidrográficos, presentó en el año 2017 un estudio de evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España (CEDEX, 2017). En dicho estudio se dedica en primer lugar un apartado a las proyecciones climáticas utilizadas en el mismo. En segundo lugar se expone la obtención

de mapas de distintas variables climáticas (temperatura y precipitación) y los cambios en la precipitación y en la evapotranspiración potencial. Por otra parte, se lleva a cabo una simulación hidrológica e impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos. Esta simulación se efectúa sobre diferentes variables del balance hídrico (evapotranspiración real, humedad del suelo, recarga subterránea y escorrentía). Por último, se dedica un apartado al impacto del cambio climático en el régimen de sequías. Las principales conclusiones de este estudio son analizadas en el capítulo 1. Introducción.

#### **2.4.7. Junta de Andalucía- Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM)**

La Junta de Andalucía, concretamente la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM), dependiente de la Conserjería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, dispone de un sistema integral de seguimiento de la sequía en Andalucía, a través del cual se analiza la evolución de los periodos de indigencia pluviométrica a partir del índice de sequía IESP. Este análisis incluye a una parte del territorio de la DHS. Este sistema posee un servidor WMS del IESP que se va actualizando todos los años con una escala mensual, lo que permite estudiar la distribución espacial de las diferentes categorías de sequías, así como su evolución temporal. En la figura 26 se muestra un ejemplo de la cartografía realizada por este organismo, concretamente a fecha de noviembre de 2017, momento en el cual la cabecera el río Segura estaba atravesando un importante periodo de sequía, que generó que el nacimiento el río Segura permanecería seco durante casi un año. El seguimiento se realiza desde el año 1940 hasta la actualidad. Además, se realiza un análisis mensual de la sequía a escala de comarcas agrarias y se establecen previsiones sobre la persistencia del fenómeno en los meses venideros.

Este seguimiento de la evolución de la sequía por parte de la Junta de Andalucía se constituye como una buena metodología para ser aplicada por otros organismos públicos, como la DHS o la MCT, u otras Comunidades Autónomas. Además dicha cartografía espacial podría ser incluida en hipotéticos planes especiales de Protección Civil ante sequías (Aparicio Florido, 2007). Dicho autor argumenta la necesidad de incluir el riesgo de sequía dentro de los planes especiales de Protección Civil, al igual que ocurre con otros riesgos naturales como inundaciones, seísmos, olas de calor y frío o nevadas. En este punto es importante resaltar el hecho de que en 1983, el Consejo de Ministros aprobó el Plan de Emergencia por Sequía (Orden 27 de junio de 1983 por la que aprueba el Plan Especial de Emergencia por sequía), el cual se derogó dos años después con la

modernización del sistema nacional de Protección Civil, que provocó que el riesgo de sequía quedara fuera de los planes especiales de Protección Civil.

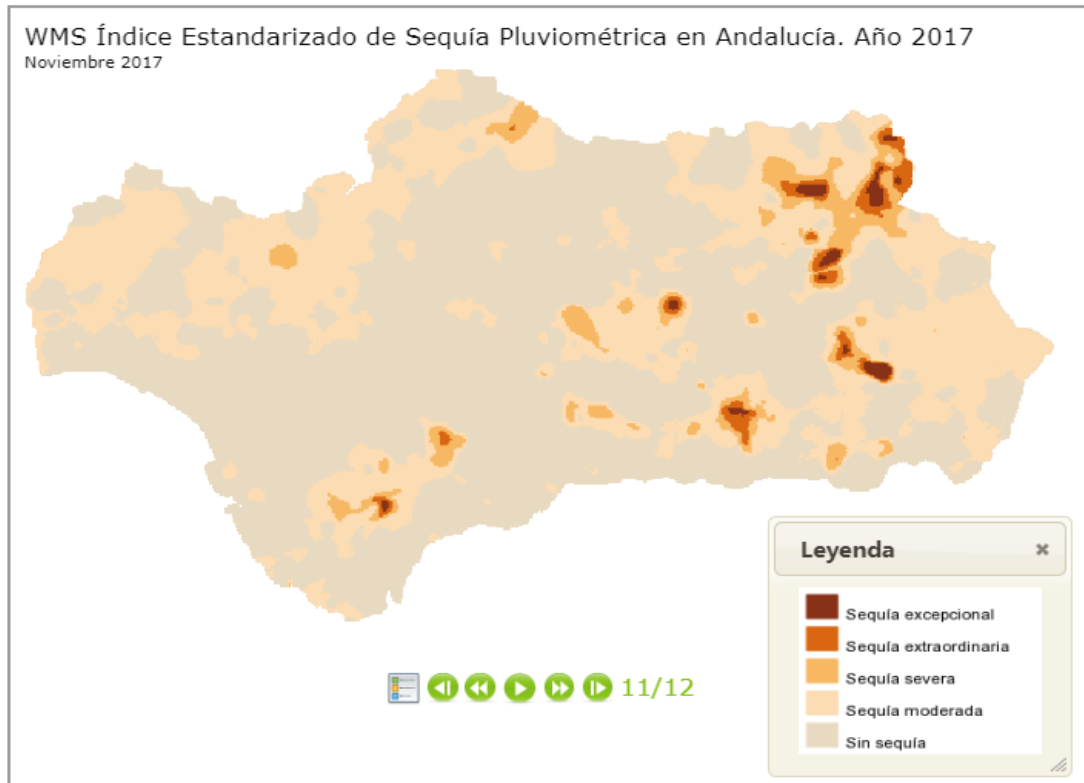


Figura 26. Cartografía espacial de seguimiento de la sequía pluviométrica en Andalucía a partir el índice de sequía IESP a fecha de noviembre de 2017. Fuente: Junta de Andalucía- Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM).

Por tanto, la elaboración de planes especiales de Protección Civil frente al riesgo de sequía a escala autonómica resulta de vital importancia, más si cabe en aquellos ámbitos semiáridos como el sureste de la península ibérica. En la actualidad es incomprensible que no se cuente con dicho plan en un territorio tan expuesto y vulnerable frente a las sequías. Además se podría elaborar, un plan desde un punto de vista interterritorial en el ámbito del área de estudio, con el objetivo de poner en marcha medidas conjuntas para la prevención y mitigación de los efectos y pérdidas económicas ocasionadas por las sequías (Ruiz Álvarez y Jódar Abellán, 2016). Dichos autores proponen la elaboración de un plan Especial de Protección Civil para la Región de Murcia. Este plan de Protección Civil sería indudablemente complementario con el Plan Especial de Sequía de la Cuenca del Segura y el protocolo ante situaciones de sequía de la MCT.



Según Aparicio Florido (2007), los planes especiales de Protección Civil frente a las sequías deben incluir los siguientes apartados: información territorial, tipología y clasificación de las sequías, análisis y zonificación del riesgo mediante cartografía de riesgo, sistema de prevención y vigilancia, definición de fases y situaciones de emergencia, y la descripción de la estructura y organización del plan. Las fases y situaciones de emergencia serían tres: 1-Fase de Preemergencia: se iniciaría con los primeros indicios de déficit pluviométrico y su impacto sobre los recursos hídricos y actividades económicas; 2- Fase de Emergencia: supone la aplicación de actuaciones de emergencia que necesitarían la intervención de las administraciones públicas a distintas escalas; 3- Fase de normalización: se corresponde con la reducción del déficit pluviométrico por la llegada de precipitaciones cuantiosas y la consecuente recuperación de las reservas hídricas, lo que pondría fin a las medidas de emergencia tomadas previamente.

Dentro de la fase de Emergencia, Aparicio (2007) propone el establecimiento de cuatro tipos de situaciones en función de la gravedad de las sequías, la cual estará marcada por los distintos parámetros que definen las mismas (intensidad, duración y magnitud). Estas situaciones de emergencia son las siguientes: Situación 0- se constata el inicio de la sequía pluviométrica en una o varias zonas más o menos amplias del ámbito territorial abarcado por el plan; Situación I- se activará cuando la sequía haya provocado sus primeros efectos negativos en diferentes sectores económicos. Se constata el inicio de las sequías agrícola e hidrológica, que puede dar a pérdidas en la agricultura de secano y a pequeña restricciones en el suministro urbano de agua; Situación II- se pondrá en marcha cuando la sequía sea perceptible por casi toda la población del área abarcada por el plan. Se constata el inicio de la sequía socioeconómica, generándose importantes pérdidas económicas e importantes impactos medioambientales; Situación III- Es la de mayor gravedad y se activará cuando los daños y repercusión de los periodos de indigencia pluviométrica sobre la población, sus bienes y el medio ambiente, sean tales que el Estado no tenga más remedio que declarar la situación de interés nacional.

Los diferentes apartados que debe incluir el plan especial de Protección Civil frente a las sequías, serán detallados en este trabajo, ya que la elaboración de dicho plan será una de las propuestas de actuación que se harán en el capítulo 6. Se pondrá especial énfasis en la descripción de tipología y clasificación de las sequías, y en el análisis y zonificación de las sequías mediante cartografía de riesgo. En definitiva, el objetivo principal de este plan

sería la puesta en marcha de medidas (tanto estructurales como no estructurales), encaminadas a la prevención y mitigación de los efectos adversos de las sequías.

#### **2.4.8. Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT)**

La MCT dispone de un protocolo ante situaciones de sequía. Este plan fue elaborado tras la excepcional sequía pluviométrica del año 2005, que provocó una drástica reducción de las reservas del embalse del Taibilla. Este déficit hídrico junto a la obligación establecida en la Ley 10/2001, del Plan Hidrológico Nacional, de disponer de un Plan de Emergencia ante situaciones de sequía en cada una de las confederaciones hidrográficas, originó la elaboración de un protocolo ante situaciones de sequía en la MCT (Melgarejo y Molina, 2017). El protocolo considera un Sistema Global de Explotación y un subsistema de explotación denominado “Taibilla”, que engloba a los 20 municipios que son abastecidos solamente por las aguas del río Taibilla.

Este protocolo comienza con la descripción de las infraestructuras básicas de la MCT, los sistemas de explotación derivados de ella y los recursos hídricos disponibles. Además incluye la evolución y la evaluación de la demanda. Se define posteriormente un coeficiente de disponibilidad al comienzo de cada mes del año hidrológico, el cual es equivalente al indicador de Estado que se expone en la Guía para la Redacción de Planes Especiales de actuación en situación de alerta y eventual sequía (Ministerio de Medio Ambiente, 2005). Dicho coeficiente es definido como el cociente entre los valores previsibles de recursos y demandas disponibles hasta finalización del año hidrológico. En el caso del subsistema del Taibilla los recursos disponibles engloban solo las reservas del embalse del Taibilla. En cambio, en el sistema global de explotación los recursos disponibles engloban además de los recursos del propio embalse del Taibilla, los recursos procedentes del TTS, de la desalinización y de recursos extraordinarios.

En función del valor obtenido en el cálculo del coeficiente de disponibilidad se establecen distintas situaciones o estados (normalidad, prealerta, alerta y emergencias). La MCT calcula el coeficiente de disponibilidad con la siguiente periodicidad que varía en función de la gravedad de la sequía: Normalidad-Trimestralmente; Prealerta- mensualmente; Alerta-quincenalmente; Emergencia- Semanalmente. En definitiva, el protocolo de la MCT frente a las sequías, expone las medidas a adoptar en cada uno de los estados o situaciones establecidas, e indica el tipo de actuaciones posibles a llevar a cabo por las administraciones municipales para la limitación de los consumos derivados de la red de

distribución (gestión de la demanda), con el objetivo final de minimizar al máximo los impactos socioeconómicos y medioambientales de las sequías (MCT, 2006).

En este punto, y con respecto a los impactos de las sequías en las demandas de agua urbana, caben resaltar los Planes de Emergencia ante situaciones de sequía en sistemas de abastecimiento urbano. Como ya ha sido mencionado la principal modificación incluida en los nuevos PES ha sido la distinción entre sequía prolongada y escasez coyuntural, cuyos valores son determinados mediante unos indicadores que permiten situar al sistema en el escenario de gestión adecuado. Partiendo de esta premisa básica establecida en los PES, en la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, dentro de su artículo 27 dedicado a la Gestión de Sequías, se establece lo siguiente en su apartado 3 (AEAS, 2019): “Las administraciones públicas responsables de sistemas de abastecimiento urbano que atiendan, singular o mancomunadamente, a una población igual o superior a 20.000 habitantes deberán disponer de un Plan de Emergencia, ante situaciones de sequía. Dichos planes, que serán informados por el Organismo de cuenca o Administración hidráulica deberán tener en cuenta las reglas y medidas previstas en los Planes Especiales de Sequía, y deberán encontrarse operativos en el plazo máximo de cuatro años”.

Los Planes de Emergencia por sequía en sistemas de abastecimiento urbano tienen los siguientes objetivos (AEAS,2019): Recopilar y ordenar la información básica sobre las demandas y la valoración de disponibilidades de recursos; definir los estados de riesgo de escasez vinculados a sequías en sus propios sistemas; establecer las condiciones en que se incurriría en los estados de riesgo de escasez y sería necesario activar medidas especiales para mitigar los efectos de la sequía y prevenir posibles daños de alcance mayor; establecer los objetivos de reducción de demandas y refuerzo de disponibilidades; orientar sobre las medidas a implantar en las diferentes situaciones de escasez en que se pueda encontrar un sistema de abastecimiento; establecer responsabilidades en la toma de decisiones y en la forma de gestionar las diferentes situaciones posibles de sequía, con el objetivo de minimizar los efectos negativos de tipo socioeconómico o medioambiental, mientras que perduren dichas situaciones de sequía excepcional.

En definitiva, cada sistema de abastecimiento deberá llevar a cabo en su correspondiente Plan de Emergencias, la definición y descripción de los escenarios de sequía prolongada y escasez coyuntural, incluyendo las condiciones de entrada y salida en cada uno de ellos y la enumeración prevista en los mismos. Además cabe resaltar que dichos planes, al igual

que los PES, no contemplan medidas estructurales, es decir dentro de las actuaciones a llevar a cabo para minimizar los impactos de la sequía prolongada y de la escasez coyuntural no se incluye ninguna obra ni soluciones que requieran estructuras permanentes. Este tipo de medidas, se incluyen dentro del Programa de Medidas de los Planes Hidrológicos de Cuenca, redactado por cada una de las confederaciones hidrográficas (AEAS, 2014). Con la elaboración de estos planes se pretende reducir la vulnerabilidad en los sistemas de suministro urbano. Ante los escenarios de cambio climático estos planes serán de vital importancia para reducir al máximo el impacto de las sequías en las demandas de agua urbanas (Morote Seguido y Hernández, 2019).

En los Planes de Emergencia ante situaciones de sequía en sistemas de abastecimiento urbano, se definen también distintas fases de escasez, en coherencia con la nomenclatura empleada en los PES: Normalidad, Prealerta, Alerta y Emergencia. En este sentido, deben quedar definidos los distintos umbrales que establecen la entrada en cada una de las fases de escasez consideradas. En dichos planes, se deben englobar las posibles acciones previstas en las diferentes fases de escasez, siendo aplicadas independiente o complementariamente en función de la naturaleza de cada una. Los tipos de actuaciones se pueden caracterizar de la siguiente forma: Preventivas, de identificación de condiciones de inicio; de administración, gestión y operación de los sistemas de suministro; orgánicas, institucionales y de carácter legal y normativo; actuaciones sobre las infraestructuras y los recursos; actuaciones sobre la demanda y de incidencia social (AEAS, 2019).

En el área de estudio, a fecha de 1 de enero de 2018 hay un total de 28 municipios con una población superior a 20000 habitantes, que por orden de población son los siguientes: Murcia, Alicante, Elche, Cartagena, Lorca, Torrevieja, Orihuela, Molina del Segura, San Vicente del Raspeig, Alcantarilla, Torre Pacheco, Águilas, Cieza, Yecla, San Javier, Santa Pola, Totana, Mazarrón, Hellín, Crevillente, Caravaca, Jumilla, San Pedro del Pinatar, Alhama de Murcia, Pilar de la Horadada, Las Torres de Cotillas, Almoradí y Aspe. Sería recomendable ampliar la obligatoriedad de elaboración de los Planes de Emergencia por sequía en sistemas de abastecimiento urbano, al menos a aquellos municipios que superaran los 10000 habitantes (un total de 46 en el área de estudio), para de esta forma poder afrontar con mayor seguridad y minimizar los impactos durante los eventuales periodos de indigencia pluviométrica. Esta será una de las propuestas de actuación expuestas en el capítulo 6.

#### **2.4.9. Confederación Hidrográfica del Segura (CHS)**

La CHS cuenta en su página web con una sección dedicada a la gestión de sequías. En este apartado se va a poner especial énfasis en la explicación del PES de la DHS del año 2018 que es el que está vigente en la actualidad. Los PES tienen su punto de partida en la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, donde se estableció en su artículo 27 sobre gestión de sequías la obligación de elaborar Planes Especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía en el ámbito de sus marcos territoriales. Concretamente en el apartado 2 de este artículo se establece lo siguiente: “Los Organismos de cuenca elaborarán en los ámbitos de los Planes hidrológicos de cuenca correspondientes, en el plazo máximo de dos años desde la entrada en vigor de la presente Ley, planes especiales de actuación en situación de alerta y eventual sequía, incluyendo las reglas de explotación de los sistemas y las medidas a aplicar en relación con el uso del dominio público hidráulico. Los citados planes, previo informe del Consejo de Agua de cada cuenca, se remitirán al Ministerio de Medio Ambiente para su aprobación”.

Ante esta obligatoriedad establecida en esta ley, y coincidiendo con el intenso periodo de sequía 1999-2001, la CHS consideró imprescindible la elaboración de un Protocolo de Actuación en Sequías de carácter temporal hasta la elaboración del PES. En dicho protocolo se identificaron los sistemas de explotación y unidades de demanda sensibles a situaciones de indigencia pluviométrica. Además se definieron las medidas a adoptar a corto plazo para solucionar los problemas planteados. En 2007 fue aprobado mediante la Orden MAM/698/2007, de 21 de marzo, el Plan Especial ante situaciones de alerta y eventual sequía (PES) de la Cuenca del Segura (CHS, 2007). La puesta en marcha de dicho plan supuso un paso más en la mejora de la gestión de los recursos hídricos durante situaciones de escasez, y definió las actuaciones tanto de carácter administrativo como las estructurales de emergencia y las de gestión de la demanda. En la actualidad este plan ha sido derogado por el nuevo PES del año 2018.

En el tiempo transcurrido entre la elaboración del PES del año 2007 y su derogación por el PES del año 2018, se identificaron numerosos aspectos a mejorar, pudiéndose destacar fundamentalmente las siguientes ideas: 1) Conveniencia de contar con criterios comunes para la revisión de los planes de sequía y para el ajuste del sistema de indicadores en las cuencas intercomunitarias españolas; 2) diagnosticar de forma claramente diferenciada las situaciones de sequía prolongada y las de escasez, fenómenos habitualmente

relacionados y confundidos, pero de origen y consecuencias diferentes, y que por tanto requieren de distintas acciones y medidas. Dichas actuaciones deben tener en cuenta lo establecido en el artículo 4.6 de la DMA, que indica que no será infracción el deterioro temporal del estado de las masas de agua si se debe a causas naturales o de fuerza mayor que sean excepcionales o no hayan podido preverse razonablemente.

Por todo lo anteriormente descrito, en el Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, se aprobó la revisión de los planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas intercomunitarias. En su disposición final primera se establece que sin perjuicio de las actualizaciones que hayan sido realizadas con objeto de la revisión de cada plan hidrológico, los Planes Especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía, deberán ser revisados antes del 31 de diciembre de 2017, según las instrucciones técnicas del MITECO. Estas instrucciones tienen como objetivo principal la identificación y el diagnóstico por separado de las situaciones de sequía prolongada y escasez coyuntural. Esto dio origen, a la redacción en el año 2017 por parte de la CHS de una primera versión del actual PES, que fue publicada en el BOE de 21 de septiembre de 2017.

Por otra parte, en la Resolución de 23 de abril de 2018, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, se formuló el Informe ambiental estratégico del PES de la Demarcación Hidrográfica del Segura, publicado en el BOE de 10 de mayo de 2018. Finalmente el plan fue aprobado por Orden TEC/1399/2018, de 28 de noviembre, por la que se ratificó la revisión de los PES correspondientes a las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar; y la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana, Ebro y Cantábrico Oriental. Dicha Orden fue publicada en el BOE del 26/12/2018, entrando en vigor desde el día siguiente a su publicación.

Como ya ha sido mencionado, una de las principales modificaciones introducida con la entrada en vigor de los nuevos PES ha sido la utilización de un sistema doble de indicadores, en los que se diferencian las situaciones de sequía prolongada de las situaciones de escasez coyuntural. Así la sequía prolongada está relacionada exclusivamente con la disminución de las precipitaciones y de las aportaciones en régimen natural, por lo que su unidad de análisis corresponderá con zonas homogéneas en cuanto a la generación de los recursos hídricos. Por su parte, la escasez coyuntural introduce la problemática temporal de atención de las demandas socioeconómicas

establecidas, y por tanto sus unidades de gestión estarán muy relacionadas con las infraestructuras de suministro existentes en la DHS (CHS,2019).

Con tal objetivo, se ha dividido el territorio de la DHS en cuatro Unidades Territoriales de Sequia (UTS) y cuatro Unidades Territoriales de Escasez (UTE), que coinciden plenamente desde un punto de vista territorial (figura 27). Estas cuatro unidades territoriales son: UTS1 o UTE1 -Sistema Principal, UTS2 o UTE2 – Sistema Cabecera, UTS3 o UTE3 – Sistema Ríos Margen Izquierda y UTS4 o UTE4- Sistema Ríos Margen derecha. Por último, la parte de la MCT localizada en el ámbito territorial del DHJ, forma parte de unidad territorial Vinalopó-Alacantí. A efectos de la escasez del análisis de la escasez, las unidades territoriales deben asociarse o guardar relación con los sistemas de explotación del Plan Hidrológico vigente, las cuales se conforman sobre la base de las zonas o subzonas hidráulicas.

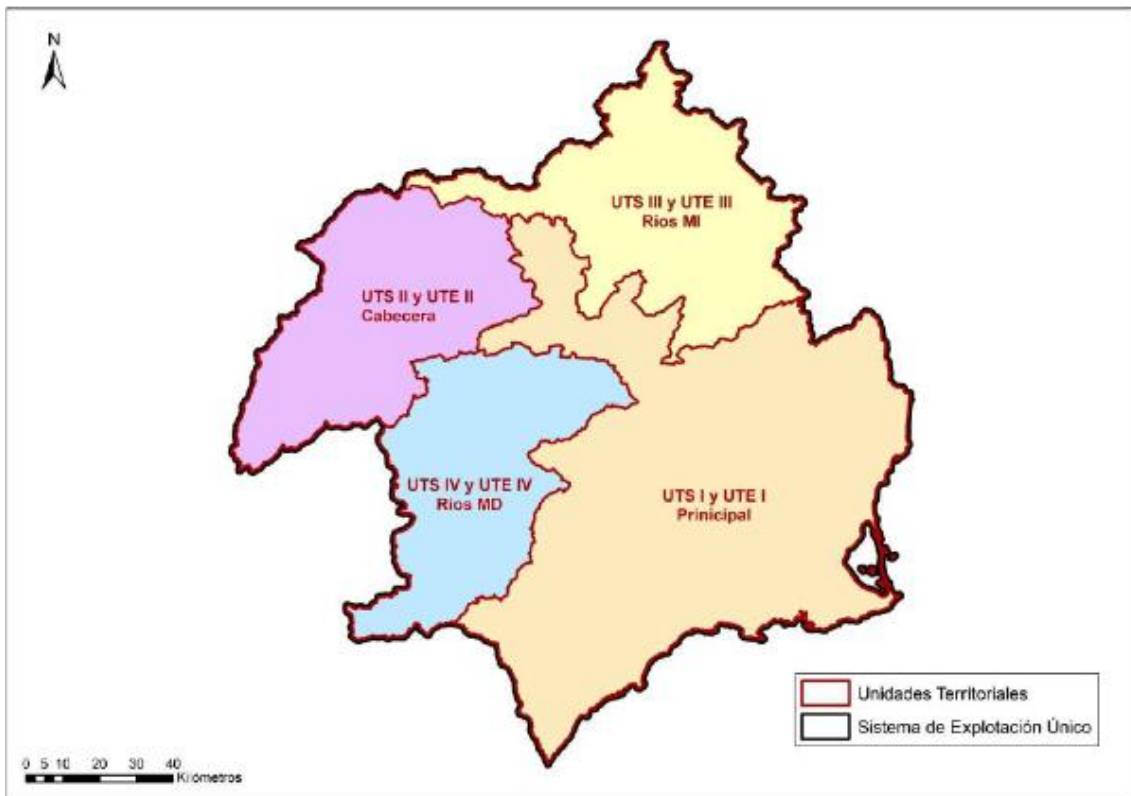


Figura 27. Unidades Territoriales de la Demarcación Hidrográfica del Segura. Fuente: Confederación Hidrográfica del Segura.

A continuación van a ser descritos brevemente los ámbitos territoriales de cada una de estas unidades:

- UTS1 o UTE1- Sistema Principal: Se corresponde con las subzonas hidráulicas de la DHS delimitadas por los embalses de cabecera del Talave, Fuensanta y Cenajo, o dominadas por las infraestructuras del trasvase y postrasvase. Además, en esta zona se aplican recursos superficiales y subterráneos de cuenca, recursos de los trasvases del Tajo y Negratín, y recursos depurados y desalinizados. En esta zona se concentran la mayor parte de la población y las ZRT del área de estudio. Por otra parte, desde este territorio se transfieren los recursos a las demandas exteriores a la demarcación que reciben recursos desde la misma (GALASA y las UDAS 54 y 70). Esta Unidad Territorial es la zona que concentra el déficit de aplicación reconocido en el Plan Hidrológico y la única que presenta escasez estructural.

- UTS2 o UTE2- Sistema Cabecera: Se corresponde con las subzonas hidráulicas aguas arriba de los embalses del Cenajo y Talave. Las demandas de esta UTE no reciben recursos del TTS ni desalinizados, y en su práctica totalidad se abastecen con recursos superficiales de ríos o de manantiales. La superficie de regadío en este territorio es muy escasa, además de ser la zona más despoblada del territorio. Esta UTE no presenta déficit en la planificación hidrológico vigente y su escasez estructural es nula.

- UTS3 o UTE3- Sistema Ríos de la Margen Izquierda: Se corresponde con las cuencas vertientes de los cursos fluviales de la margen izquierda del Segura (Arroyo Tobarra, Rambla del Judío, Rambla del Moro y río Chícamo), además de las áreas endorreicas de Yecla y Corral Rubio. El territorio de regadío es bastante reducido en comparación con otras zonas, concentrándose el 17% del total. Por otra parte, no recibe recursos del TTS o procedentes de la desalinización, ni presenta infraestructuras para la aplicación de recursos propios del río Segura. Por tanto, los recursos que suministran las demandas son en su práctica totalidad recursos subterráneos, lo que ocasiona una drástica sobreexplotación de acuíferos. En el Plan Hidrológico vigente se ha estimado un déficit por sobreexplotación de acuíferos de cerca de 100 hm<sup>3</sup>/año, el cual puede prorrogarse hasta el año 2027, año en el que los recursos sobreexplotados deberán cesar a partir del año 2027 según lo establecido en la DMA. Es por ello por lo que la sostenibilidad de las demandas de esta UTE está en peligro a largo plazo.

- UTS4 o UTE4- Sistema Ríos de la Margen Derecha: Se corresponde con las cuencas de los ríos Moratalla, Argos y Quípar vertientes al río Segura en su margen derecha, y los cauces vertientes al embalse de Puentes. La superficie de regadío es bastante exigua, localizándose tan solo el 6% del total del territorio. Las demandas de esta UTE se

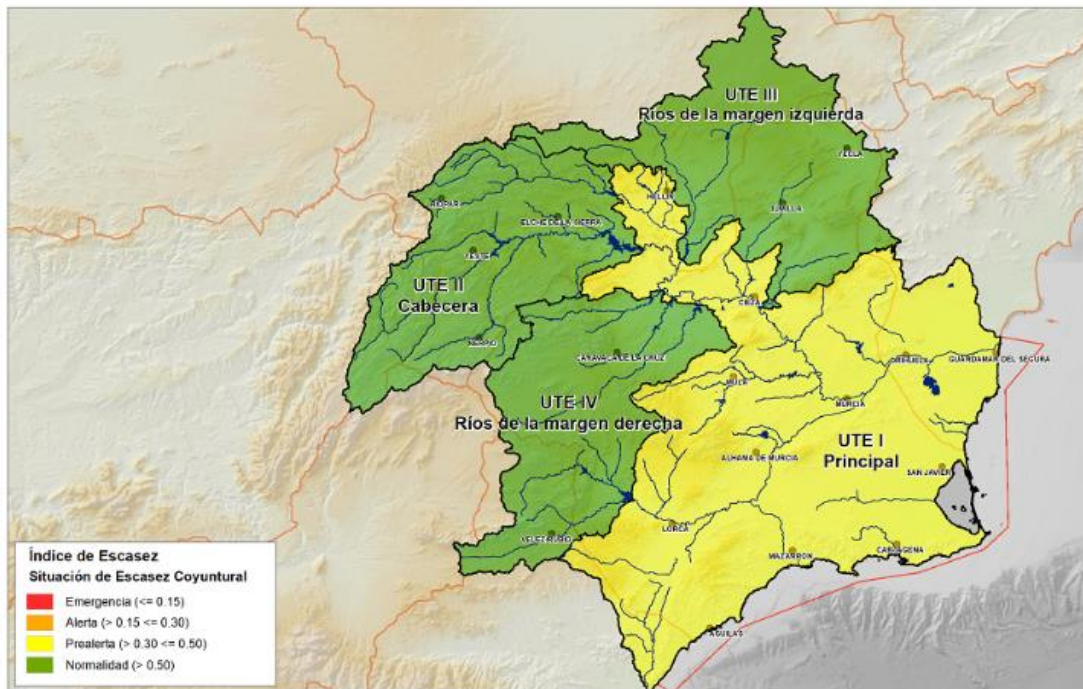


abastecen de recursos superficiales y subterráneos, ya que no pueden emplear los recursos del TTS o desalinizados. El aprovechamiento de los recursos de los manantiales cuenta con una gran importancia en esta UTE. A diferencia de la UTE3 el déficit de aplicación es muy reducido, tan solo de 7 hm<sup>3</sup>/ año y está ligado fundamentalmente a situaciones de sequía. Por tanto, puede considerarse que esta UTE, al igual que la UTE2- Sistema Cabecera, no presenta escasez estructural.

Por otra parte, para cada unidad territorial se calcula un índice de sequía. El SPI recomendado por la OMM es el índice de sequía seleccionado para tal fin. La escala temporal seleccionada es la de 9 meses, ya que es la que mejor refleja el comportamiento de los caudales, con el objetivo de cumplir con el requerimiento de caudales ecológicos. Los índices de cada UTS se combinan de manera ponderada para establecer un índice de sequía Global de la cuenca del Segura. Cabe recordar que los valores del índice inferiores a 0,3 indican una situación de sequía prolongada. En el caso de la UTS1 del Sistema Principal, se utilizará el índice de sequía de la UTS2 del Sistema de Cabecera para determinar la sequía prolongada en las masas del eje principal del río Segura, y se empleará su propio índice de sequía para determinar la sequía prolongada en el resto de las masas. La identificación de episodios de sequía prolongada a partir de los índices de estado, permitirá al Organismo de cuenca adoptar las siguientes medidas: el deterioro temporal del estado de las masas de agua y el establecimiento de caudales ecológicos mínimos menos exigentes.

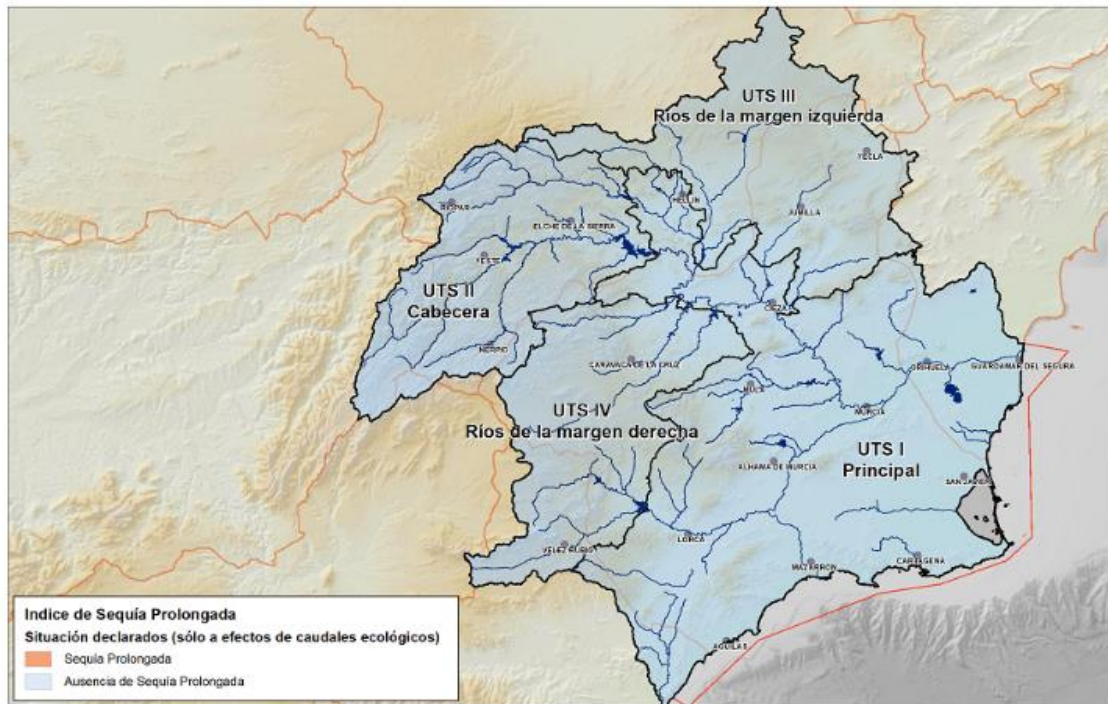
Con respecto a las UTE, el indicador del índice de escasez también se normaliza entre 0 y 1, y en función de los valores de este indicador se establecen cuatro situaciones de estado (Normalidad, Prealerta, Alerta y Emergencia), cuyos valores de umbral han sido definidos en el apartado 2.4.3. En la UTE1-Sistema Principal en la que tienen una gran importancia los recursos del TTS, se establecen dos subsistemas: cuenca y trasvase. Por un lado, el indicador del subsistema cuenca se obtiene mediante la ponderación de las aportaciones de cuenca acumuladas en 12 meses en los embalses de Fuensanta, Cenajo, Camarillas, Talave y Alfonso XIII (Peso 2/3), y los de los recursos embalsados de cuenca (Peso 1/3). Por otro lado, el indicador del subsistema trasvase se calcula mediante la ponderación de las aportaciones acumuladas en 12 meses de los embalses de Entrepeñas y Buendía (Peso 1/3), y los recursos embalsados en los embalses de Entrepeñas y Buendía (Peso 2/3).

De este modo, para el cálculo del índice de escasez global en la UTE1, se le da una ponderación del 50 % al índice calculado de ambos subsistemas (cuenca y trasvase). En este punto cabe resaltar que se podrá establecer un escenario de Alerta o Emergencia en la UTE1 si se da esta circunstancia en el subsistema del trasvase, aunque la situación sea de normalidad en el subsistema de la propia cuenca. En la figura 28 se muestra un ejemplo de esta situación, a fecha de 1 de enero de 2020. Por último, es importante hacer referencia que cuando el escenario global sea de Alerta o Emergencia se ampliará la frecuencia de monitorización del índice de escasez global, que pasará desde una frecuencia mensual a 15 días, según lo establecido en el PES de la DHS. A continuación se muestra la cartografía espacial elaborada por la CHS sobre los índices de escasez y sequía prolongada. Además se expone la evolución del índice de escasez para la UTE1-Sistema Principal tanto para el sistema global como para ambos subsistemas (cuenca y trasvase)



ÍNDICE DE ESCASEZ COYUNTURAL A 01/01/2020				
UNIDAD TERRITORIAL	ÍNDICE	SITUACIÓN	ESCENARIO	SUBSISTEMAS
UTE I. Principal	0.401	Prealerta	Alerta	CUENCA: 0.555
				TRASVASE: 0.247
UTE II. Cabecera	0.701	Normalidad	Normalidad	
UTE III. Ríos MI	1.000	Normalidad	Normalidad	
UTE IV. Ríos MD	0.763	Normalidad	Normalidad	
<b>GLOBAL</b>	<b>0.401</b>	<b>Prealerta</b>	<b>Alerta</b>	

Figura 28. Índice de escasez coyuntural en la Demarcación Hidrográfica del Segura a fecha de 1 de enero de 2020. Fuente: Confederación Hidrográfica del Segura.



ÍNDICE DE SEQUÍA PROLONGADA A 01/01/2020		
UNIDAD TERRITORIAL	ÍNDICE (*)	SITUACIÓN
UTS I. Principal	1.000	Ausencia de sequía prolongada
UTS II. Cabecera	0.701	Ausencia de sequía prolongada
UTS III. Ríos ME	1.000	Ausencia de sequía prolongada
UTS IV. Ríos MD	0.763	Ausencia de sequía prolongada
<b>GLOBAL SEGURA</b>	<b>0.767</b>	Ausencia de sequía prolongada

Figura 29. Índice de sequía prolongada en la Demarcación Hidrográfica del Segura a fecha de 1 de enero de 2020. Fuente: Confederación Hidrográfica del Segura.

En la figura 28 se muestra la cartografía espacial del índice de escasez coyuntural en la DHS a fecha de 1 de enero de 2020. Se observa como la UTE1-Sistema Principal es la única unidad territorial que presentaba una situación de Prealerta, al situarse el valor del índice en 0,401. Además, como ya sido mencionado, este índice se obtiene a partir de la ponderación al 50% de los subsistemas de cuenca y trasvase. El subsistema de cuenca se encontraba en situación de normalidad. En cambio el subsistema del trasvase se situaba en situación de Alerta, con un valor de 0,247. Este hecho propició que en la UTE1 se estableciera un escenario de Alerta, ya que esta unidad territorial tiene una gran dependencia de los recursos del TTS, a pesar de que como se observa en la figura 29 ninguna UTS presenta una situación de sequía prolongada. El sistema global que se corresponde con los valores de la UTE1 también se encontraba en situación de Prealerta y escenario de Alerta.

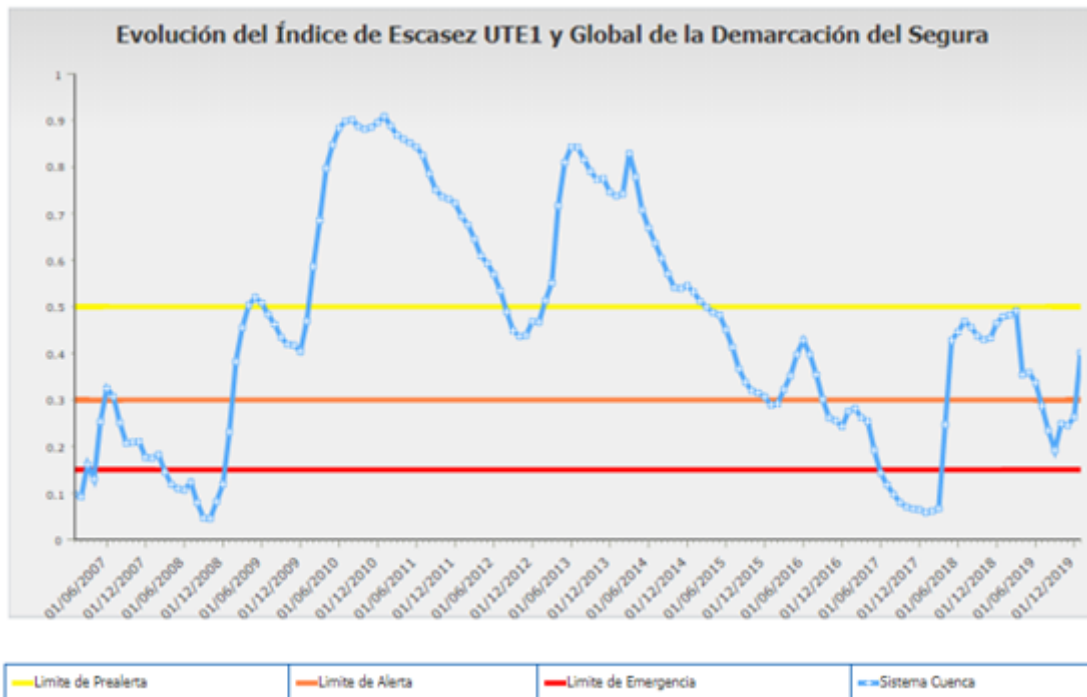


Figura 30. Evolución del índice de escasez coyuntural de la UTE1 y el Sistema Global de la Demarcación Hidrográfica del Segura durante el periodo 2007-2019. Fuente: Confederación Hidrográfica del Segura.

Por otra parte, en la figura 30 se observa la evolución del Índice de escasez coyuntural de la UTE1-Sistema Principal y del Sistema Global, desde 2007 hasta 2019. En este periodo se muestran dos periodos en situación de emergencia: mayo-diciembre de 2008 y octubre de 2017-mayo de 2018, que coinciden temporalmente con dos gran periodos deficitarios del TTS y periodos de sequía en la cabecera del Segura. En este punto cabe recordar que tanto la cabecera del Tajo como la del Segura se ven afectadas por los mismos mecanismos generadores de secuencias secas (Morote Seguido et al., 2018). Este hecho se observa claramente en la figura 31, ya que los índices de Escasez de los subsistemas de cuenca y del trasvase muestran un comportamiento bastante parecido. Por ello, los periodos deficitarios en la cabecera del Tajo tienen connotaciones muy negativas en la UTE1-Sistema Principal que es la única que utiliza los recursos del TTS. Por otro lado, los periodos excepcionalmente húmedos del invierno de 2010 y la primavera de 2013 (Bernabé et al., 2013, Sánchez Laulhé, 2017) permitieron que el índice de Escasez del Sistema Global se acercara a un valor de 1.



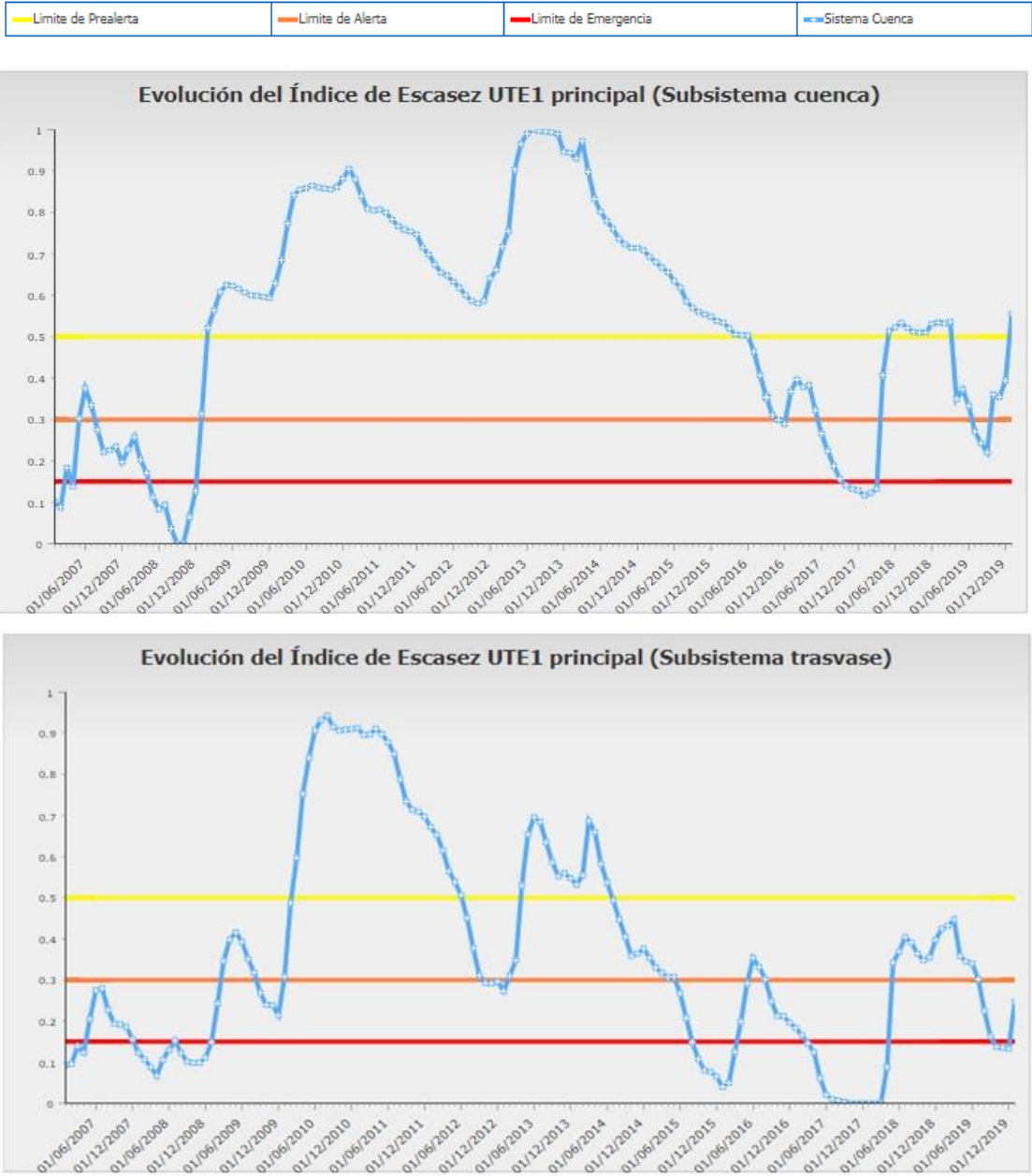


Figura 31. Evolución comparativa del índice de escasez coyuntural en los subsistemas de cuenca y trasvase de la UTE1 de la Demarcación Hidrográfica del Segura durante el periodo 2007-2019. Fuente: Confederación Hidrográfica del Segura.

Por último, de cara un futuro las situaciones y escenarios de Alerta y Emergencia por Escasez serán cada vez más frecuentes según lo establecido en las proyecciones realizadas a partir de los escenarios de cambio climático (CEDEX,2017, Senent Aparicio et al., 2017; Pellicer Martínez y Martínez Paz, 2018, Jódar Abellán et al., 2018) siendo la UTE1-Sistema Principal la unidad territorial más afectada ya que aparte de ser la única zona que utiliza los recursos del TTS, en ella se concentran la mayor parte de la población y de las ZRT del área de estudio. Por tanto, la UTE1-Sistema Principal se constituye con

diferencia como la zona con mayor vulnerabilidad y exposición frente al riesgo de sequía de la DHS. De cara a un mejor análisis de las situaciones de escasez sería conveniente unir el área perteneciente a la MCT de la UTE Vinalopó-Alacantí, al territorio de la UTE1-Sistema Principal, ya que esta zona se abastece con los recursos del TTS y de las desalinizadoras de la MCT y de ACUAMED. Este caso ilustra que no siempre la separación de las unidades territoriales por confederaciones hidrográficas es útil de cara a la gestión de las sequías, ya que la UTE Vinalopó-Alacantí aunque pertenece a la DHJ, se abastece de los recursos hídricos de la DHS y de la MCT, y por tanto los escenarios y situaciones de escasez serán muy similares a los establecidos en la UTE1- Sistema Principal.

Aparte de la explicación de los índices de escasez coyuntural y sequía prolongada el PES de la DHS del año 2018, contiene numerosa información sobre los mecanismos de control y actuaciones frente al riesgo de sequía, cuyas nociones principales van a ser detalladas a continuación. En primer lugar, el objetivo general del PES es según lo establecido en el artículo 27.1 de la Ley 10/2001 del Plan Hidrológico Nacional, minimizar los impactos ambientales, económicos y sociales de eventuales episodios de sequía, entendidas en este caso con carácter genérico (CHS,2018).

A partir de este objetivo general se establecen una serie de objetivos específicos que se encuadran dentro del marco de un desarrollo sostenible: 1) Garantizar la disponibilidad de agua requerida para asegurar la salud y la vida de la población, minimizando los efectos negativos de la sequía y escasez sobre el abastecimiento urbano; 2) Evitar o minimizar los efectos negativos de la sequía sobre el estado de las masas de agua, de modo que el establecimiento de caudales ecológicos mínimos menos exigente estén asociados exclusivamente a situaciones naturales de sequía prolongada; 3) Minimizar los efectos negativos sobre las actividades económicas, según la priorización de los usos establecidos en la legislación de aguas y en los planes hidrológicos de cuenca (CHS,2018).

Asimismo, para estos objetivos específicos se plantean cinco objetivos instrumentales u operativos: 1) Definir mecanismos para detectar lo antes posible, y valorar, las situaciones de sequía prolongada y escasez coyuntural; 2) Fijar el escenario de sequía prolongada; 3) Establecer escenarios para la determinación del agravamiento de las situaciones de escasez coyuntural; 4) Especificar las acciones a aplicar en el escenario de sequía prolongada y las medidas que corresponden en cada escenario de escasez coyuntural; 5)

Asegurar la transparencia y participación pública en el desarrollo de los planes (CHS,2018). Los contenidos de estos objetivos han sido detallados anteriormente, tanto en este subapartado, como en el subapartado 2.4.3.

Por otra parte, en el apartado 2.5 del PES se hace referencia a los impactos de las sequías en las demandas y usos de agua, poniendo especial énfasis en el abastecimiento urbano con el establecimiento de Unidades de Demanda Urbana (UDU) y en el abastecimiento de regadíos y usos agrarios con la delimitación de las UDAs. En el apartado 3 del PES se realiza una descripción detallada de las UTE, definiendo las UDU y las UDAs pertenecientes a cada una, y los recursos hídricos destinados a las mismas. El apartado 4 del PES está dedicado al registro de sequías históricas y cambio climático. Para la descripción de las sequías históricas se utiliza la información procedente del Catálogo de sequías históricas del CEDEX (CEDEX, 2013b). A propósito de este punto en el anexo III del PES se recogen las fichas resumen de los episodios de sequía más importantes en la DHS desde la década de 1980, y en el anexo IV se especifican las medidas adoptadas en las sequías históricas de la DHS.

Además, en el apartado 5 del PES se define el sistema de indicadores de sequía prolongada y escasez coyuntural, y en el apartado 6 se realiza un diagnóstico de los escenarios de sequía prolongada y escasez coyuntural, especificándose en el apartado 7 las acciones y medidas a aplicar en dichos escenarios y situaciones. Los últimos apartados del PES son los siguientes: 8- Medidas de información pública; 9- Organización administrativa; 10- Impactos ambientales de la sequía prolongada; 11- Impactos socioeconómicos de la escasez coyuntural; 12- Contenidos de los informe post-sequía; 13- Planes de emergencia para sistemas de abastecimiento que atienden a más de 20.000 habitantes; 14- Seguimiento y revisión del Plan Especial.

En relación con apartado 5 del PES, en su apartado 5.2.1 se efectúa una comparativa muy concisa entre los conceptos de escasez estructural y escasez coyuntural. Por escasez estructural se entiende “la situación de escasez continuada que imposibilita el cumplimiento de los criterios de garantía en la atención de las demandas reconocidas en el correspondiente plan hidrológico”, y por escasez coyuntural “la situación de escasez no continuada que, aun permitiendo el cumplimiento de los criterios de garantía en la atención de las demandas reconocidas en el correspondiente plan hidrológico, limita temporalmente el suministro de manera significativa”. En el PES solo se aborda la situación de escasez coyuntural, mientras que la escasez estructural se aborda en el PHDS

2015/21. En la tabla 8 se presenta la caracterización del déficit en el regadío de la DHS para cada UTE según lo establecido para el Horizonte 2021.

<b>Demanda UTE</b>	<b>Demandas regadío (hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Déficit de aplicación (hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>BNORE (hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Déficit total (hm<sup>3</sup>/año)</b>
UTE1- Sistema Principal	1298	185	106	291
UTE-2 Sistema Cabecera	17	0	0	0
UTE3- Margen Izquierda	153	0	96	96
UTE4- Margen Derecha	77	7	0	7
<b>TOTAL REGADÍO</b>	<b>1546</b>	<b>192</b>	<b>202</b>	<b>394</b>

Tabla 8. Caracterización del déficit en el regadío (demandas agrarias) de la Demarcación Hidrográfica del Segura. Fuente: Plan Especial de Sequía del año 2018 de la Confederación Hidrográfica del Segura.

Tal y como se comenta en el apartado 3.1.3. Hidrología, las demandas agrarias representan gran parte de la demanda total de recursos hídricos, con un 83,9 % del total (1546 hm<sup>3</sup>/año de un total de 1843 hm<sup>3</sup>/año). En la tabla 8 se presenta el reparto de las demandas de regadío por UTE, destacándose que las demandas agrarias de la UTE1-Sistema Principal (1298 hm<sup>3</sup>) representan un 84% del total. Además en dicha tabla se presentan el déficit total de las demandas agrarias que es de 394 hm<sup>3</sup>/año, que representa casi la totalidad del déficit total establecido en el PHDS 2015/21 que es de 400 hm<sup>3</sup>. La UTE1-Sistema Principal aglutina gran parte de este déficit con un total de 291 hm<sup>3</sup>/año (73,9%). Por otra parte, se hace una diferenciación entre el déficit de aplicación y el déficit de los bombeos no renovables (BNORE). La casi totalidad del déficit de aplicación se concentra en la UTE1-Sistema Principal. En cambio el déficit de los BNORE se encuentra repartido entre la UTE1-Sistema Principal y UTE3-Margen Izquierda, la cual, como se ha mencionado anteriormente, presenta una drástica sobreexplotación de acuíferos, porque la práctica totalidad de los recursos utilizados para las demandas son recursos subterráneos. Por el contrario, la UTE2- Sistema Cabecera presenta un déficit nulo, y la UTE4- Margen Derecha casi inexistente (7 hm<sup>3</sup>).

Desde el horizonte 2015 hasta el horizonte 2021, se ha conseguido reducir el déficit total de la DHS desde los 434 hm<sup>3</sup>/año hasta los 400 hm<sup>3</sup>/año. Este descenso se ha centrado exclusivamente en la demanda agraria, que pasa de tener un déficit de 429 hm<sup>3</sup>/año en el horizonte 2015 a 394 hm<sup>3</sup>/año en el horizonte 2021. Esta importante reducción se explica por un mayor uso del agua desalinizada que reduce el déficit de aplicación en 11 hm<sup>3</sup>/año (de 203 hm<sup>3</sup>/año a 192 hm<sup>3</sup>/año) y el déficit del BNORE en 24 hm<sup>3</sup>/año (de 226 hm<sup>3</sup>/año



a 202 hm<sup>3</sup>/año). Puesto que los recursos desalinizados son utilizados casi en su totalidad para las demandas de la UTE1-Sistema Principal, es donde se produce casi el 100% de la reducción del déficit de las demandas agrarias (de 325 hm<sup>3</sup> a 291 hm<sup>3</sup>/año). La eliminación de la sobreexplotación de recursos subterráneos establecida para el cumplimiento de los objetivos medioambientales establecidos en la DMA 2000/60/CE, se ha derogado por el Plan vigente hasta 2027, con el objetivo de minimizar y mitigar los importantes costes socioeconómicos asociados. De este modo esta eliminación de la sobreexplotación de las aguas subterráneas se realizará de una forma progresiva.

Por último, se va a hacer referencia a los Reales Decretos de Sequía aprobados en la DHS desde 1990. Concretamente en la década de 1990 se publicaron 3 Reales Decretos, 6 Reales Decretos-Ley y 2 Leyes con el objetivo de paliar los efectos de las sequías. Posteriormente, tras las sequía meteorológicas de 2005-2006 y 2013-2015 en las que se desencadenaron graves sequías agrícolas, hidrológicas y socioeconómicas se volvieron a aprobar Real Decretos de Sequía. Las medidas adoptadas por estos Reales Decretos serán detalladas en el capítulo 5. La legislación básica sobre las aguas, establecida en el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA), posibilita dichas acciones para mitigar los efectos coyunturales de la sequía y la escasez. Como ya ha sido mencionado, en el apartado 7 del PES de la DHS se especifican las acciones y medidas a aplicar en situaciones de sequía prolongada y escasez coyuntural, entre la que se encuentra la aprobación de los Reales Decretos de Sequía.

Las medidas y acciones programadas en el PES tienen el objetivo de mitigar y minimizar los impactos indeseados de las sequías. De esta forma, se adoptan acciones preventivas de los efectos y acciones operativas de tipo táctico para acomodar la gestión de los recursos hídricos a las necesidades específicas que se asocian con los problemas de sequía y escasez. Puesto que en el apartado 2.4.3 se ha hecho referencia a las medidas adoptadas en situación de sequía prolongada, en este punto se van a detallar únicamente aquellas medidas y acciones estipuladas por el PES para las situaciones y escenarios de escasez coyuntural. La finalidad de estas medidas es minimizar el impacto de la escasez coyuntural sobre los usos del agua (CHS, 2018).

La experiencia adquirida en otros periodos de sequía hidrológica ha puesto de manifiesto que la implantación progresiva de las medidas más idóneas en cada una de las fases declaradas de escasez coyuntural permite retrasar o evitar la llegada de fases más severas, y en todo caso mitigar sus consecuencias indeseadas. Por dicho motivo, es fundamental

identificar las situaciones de escasez coyuntural en sus fases iniciales. La tipología de las medidas adoptadas en los diferentes escenarios de escasez se establece en función de los indicadores de escasez en cada unidad territorial y son las siguientes: Normalidad- Planificación general y seguimiento; Prealerta- Concienciación, ahorro y seguimiento; Alerta- Medidas de gestión (demanda y oferta) y de control y seguimiento (artículo 55 del TRLA); Emergencia- Intensificación de las medidas consideradas en alerta y posible adopción de medidas excepcionales (artículo 58 del TRLA). A su vez, cada una de las clases de medidas a activar en los distintos escenarios, se pueden agrupar en función del problema sobre el que se actúa: demanda, oferta, organización administrativa y medio ambiente hídrico.

En el PES del Segura se establecen los siguientes tipos de medidas: 1) Medidas Administrativas: Se aplican al conjunto de la unidad territorial; 2) Medidas de movilización de recursos: En este tipo de acciones se incluyen la movilización de recursos hídricos de la máxima capacidad de desalinización y de los bombeos de sequía. La utilización de recursos desalinizados se priorizará sobre los bombeos de sequía, debido a su menor impacto ambiental. Estas medidas se aplicarán durante los escenarios de Alerta y Emergencia, únicamente en la UTE1-Sistema Principal, ya que es la única unidad territorial que utiliza recursos desalinizados; 3) Medidas de gestión de la demanda: Al igual que las medidas administrativas se aplicaran al conjunto de las demandas de cada unidad territorial (CHS, 2018).

En relación con los Decretos de Sequía su tramitación aparece reflejada en las medidas administrativas. Concretamente el inicio de la tramitación del Decreto de Sequía se efectúa en el escenario de Prealerta. La activación del Decreto de Sequía se lleva a cabo en la fase de Alerta en situaciones de concurrencia de escenarios de alerta de escasez y sequía prolongada. Durante la Emergencia, se produce la activación en que de no haberse activado previamente, o renovación y actualización del Decreto de Sequía. Por otra parte, en las medidas de movilización de recursos, en la fase de Alerta y Emergencia se estudian las medidas concretas a adoptar en las áreas amparadas por el Decreto de Sequía. En todo caso la activación del Decreto de Sequía, se efectuará cuando se haya declarado la situación excepcional por sequía prolongada.

## **2.5. Marco jurídico y político del riesgo de sequía**

En las últimas décadas se han puesto en marcha una serie de leyes y planes encaminados a la reducción del riesgo mediante la ordenación del territorio (Olcina Cantos, 2003). A lo largo de este capítulo se ha hecho referencia a gran parte de estas leyes, como por ejemplo la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, que en su artículo 27 referente a las gestión de sequías, establece la obligatoriedad de la elaboración de los PES por parte de las diferentes confederaciones y la ejecución de Planes de Emergencia por sequía en sistemas de abastecimiento urbano superiores a los 20.000 habitantes. Además, por ejemplo se han puesto de manifiesto las leyes relacionadas con el TTS y las medidas de control y prevención de las sequías por parte de diferentes organismos públicos.

En este apartado van a ser detalladas una serie de políticas de ordenación y planificación del territorio, encaminadas a la mitigación, prevención y reducción de las pérdidas provocadas por las sequías en diferentes escalas (europea, estatal y autonómica). A escala europea se van a detallar las referencias hacía las sequías establecidas en la DMA. A escala estatal se van a describir los aspectos relacionados con las sequías de los siguientes textos, reglamentos e instrucciones legislativas: Texto Refundido de la Ley de Aguas, Reglamento de Planificación Hidrológica, Instrucción de Planificación Hidrológica, Reglamento del Dominio Público Hidráulico. A escala autonómica va a ser descrita la Ley 13/2015, de 30 de marzo, de ordenación territorial y urbanística de la Región de Murcia, al ser la única Comunidad Autónoma que cuenta con casi totalidad de su territorio en el área de estudio.

### **2.5.1. Directiva Marco del Agua (DMA 2000/60/CE)**

La DMA por la que se establece un marco comunitario en la UE de actuación en el ámbito de las políticas de aguas, contiene varias referencias hacía las sequías. Ya en su artículo 1, establece como uno de sus objetivos la necesidad de “paliar los efectos de las inundaciones y las sequías”. En su artículo 13 de Planes hidrológicos de cuenca se establece que “los Estados miembros velarán por que se elabore un plan hidrológico de cuenca para cada demarcación hidrográfica situada totalmente en su territorio”. La DMA trata de llevar la política de aguas a un nivel elevado de protección del medio ambiente y proyectarlo sobre otras políticas públicas, bajo la premisa básica de que “el agua no es un

bien comercial como los demás, sino un patrimonio que hay que proteger, defender y tratar como tal”.

Por ello, en el artículo 4 se establecen una serie de objetivos medioambientales que deben ser cumplidos de forma obligatoria por los estados miembros, salvo en ocasiones excepcionales. Entre estos objetivos medioambientales destaca que los estados miembros deben aplicar las medidas necesarias para prevenir el deterioro del estado de todas las masas de agua superficiales y subterráneas. El apartado 6 de dicho artículo está dedicado al cumplimiento de estos objetivos medioambientales en situaciones excepcionales, entre las que se encuentran las situaciones de sequía extraordinaria. Dicho apartado establece lo siguiente: “El deterioro temporal de las masas de agua no constituirá infracción de las disposiciones de la presente Directiva si se debe a causas naturales o de fuerza mayor que sean excepcionales o no hayan podido preverse razonablemente, en particular graves inundaciones y sequías prolongadas, o al resultado de circunstancias derivadas de accidentes que no hayan podido preverse razonablemente cuando se cumplan todas las condiciones siguientes”:

a) que se adopten todas las medidas factibles para impedir que siga deteriorándose ese estado y para no poner en peligro el logro de los objetivos de la presente Directiva en otras masas de agua no afectadas por esas circunstancias; b) que en el plan hidrológico de cuenca se especifiquen las condiciones en virtud de las cuales pueden declararse dichas circunstancias como racionalmente imprevistas o excepcionales, incluyendo la adopción de los indicadores adecuados; c) que las medidas que deban adaptarse en dichas circunstancias excepcionales se incluyan en el programa de medidas y no pongan en peligro la recuperación de la calidad de la masa de agua una vez que hayan cesado las circunstancias; d) que los efectos de las circunstancias que sean excepcionales o que no hayan podido preverse razonablemente se revisen anualmente, y se adopten tan pronto como sea razonablemente posible, todas las medidas factibles para devolver la masa de agua a su estado anterior a los efectos de dichas circunstancias; y e) que en la siguiente actualización del plan hidrológico de cuenca se incluya un resumen de los efectos producidos por esas circunstancias y de las medidas que se hayan adoptado o se hayan de adoptar de conformidad con las letras a) y d).

### **2.5.2. Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA)**

La legislación básica sobre las aguas, fijada en el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA), aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, establece diversas acciones encaminadas a la mitigación de los efectos de la sequía prolongada y la escasez coyuntural. Concretamente se van a citar los artículos 46, 55, 58 y 92 que son los que hacen referencia a la adopción de medidas extraordinarias en situaciones de sequías excepcionales. En el artículo 46 de obras hidráulicas de interés general, se expone que tendrán la consideración de obras hidráulicas de interés general y serán de competencia de la Administración General del Estado: “las obras necesarias para el control, defensa y protección del dominio público hidráulico, sin perjuicio de las competencias de las Comunidades Autónomas, especialmente las que tengan por objeto hacer frente a fenómenos catastróficos como las inundaciones, sequías y otras situaciones excepcionales (...)”. En el artículo 92 sobre objetivos de la protección, se establece que son objetivos de la protección de las aguas y del dominio público hidráulico: “paliar los efectos de las inundaciones y sequías”.

No obstante, son los artículos 55 y 58, los que tienen una mayor relevancia en la legislación sobre sequías del TRLA. En el artículo 55 se reflejan las facultades del organismo de cuenca en relación con el aprovechamiento y control de los caudales concedidos. Concretamente en los dos primeros apartados de este artículo se expone lo siguiente: 1- “El organismo de cuenca, cuando así lo exija la disponibilidad del recurso, podrá fijar el régimen de explotación de los embalses establecidos en los ríos y de los acuíferos subterráneos, régimen al que habrá de adaptarse la utilización coordinada de los aprovechamientos existentes. Igualmente, podrá fijar el régimen de explotación conjunta de las aguas superficiales y de los acuíferos subterráneos”; 2- “Con carácter temporal, podrá también condicionar o limitar el uso del dominio público hidráulico para garantizar su explotación racional (...)”. Este artículo 55 y en concreto su apartado 2 es la normativa específica básica que da cobertura a las medidas establecidas en el PES durante la fase de Alerta.

Por otra parte, el artículo 58 sobre situaciones excepcionales faculta al Gobierno para adoptar medidas extraordinarias en situaciones excepcionales como la fase de emergencia del indicador de escasez coyuntural. En el mismo se hace referencia a lo siguiente: “En circunstancias de sequías extraordinarias, de sobreexplotación grave de acuíferos, o en similares estados de necesidad, urgencia o concurrencia de situaciones anómalas o

excepcionales, el Gobierno, mediante Decreto acordado en Consejo de Ministros, oído el organismo de cuenca, podrá adoptar, para la superación de dichas situaciones, las medidas que sean precisas en relación con la utilización del dominio público hidráulico, aún cuando hubiese sido objeto de concesión. La aprobación de dichas medidas llevará implícita la declaración de utilidad pública de las obras, sondeos y estudios necesarios para desarrollarlos, a efectos de la ocupación temporal y expropiación forzosa de bienes y derechos, así como la urgente necesidad de la ocupación.

A través de lo establecido en el artículo 58, cuando el Organismo de cuenca, a partir de la evolución de los indicadores de escasez coyuntural y sequía prolongada, prevea que puede producirse una “situación excepcional por sequía extraordinaria”, se procederá a informar al Gobierno, a través del ministerio responsable en lo relativo a la gestión de las sequías, de la posibilidad de tener que adoptar medidas en relación con el dominio público hidráulico, a los efectos de iniciar la tramitación del oportuno decreto (CHS, 2018). En tal caso el ministerio correspondiente (MITECO a fecha de diciembre de 2019), podrá iniciar la tramitación del Decreto de Sequía, que en ninguna circunstancia podrá activarse sin la declaración previa de “sequía extraordinaria”, situación que se explica en el apartado 2.4.3 de este capítulo.

### **2.5.3. Reglamento de Planificación Hidrológico (RPH)**

El RPH, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, completa la transposición de la DMA al ordenamiento jurídico español, y es de gran utilidad en algunos temas que son particularmente aplicables en los PES. En su artículo 1 sobre objetivos y criterios de la planificación hidrológica, se establece que “la planificación hidrológica tendrá por objetivos generales conseguir el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico y de las aguas objeto del texto refundido de la Ley de Aguas (...). Asimismo, la planificación hidrológica contribuirá a paliar los efectos de las inundaciones y sequías. En su artículo 18 dedicado a los caudales ecológicos se menciona en su apartado 4 que “en caso de sequías prolongadas podrá aplicarse un régimen de caudales menos exigente siempre que se cumplan las condiciones que establece el artículo 38 del RPH sobre deterioro temporal del estado de las masas de agua. Esta excepción no se aplicará en las zonas incluidas en la red Natura 2000 o en la Lista de humedales de importancia internacional de acuerdo con el Convenio Ramsar. En estas zonas se considerará prioritario el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos, aunque se aplicará la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de población.

En dicho artículo 38 se expone: “Se podrá admitir el deterioro temporal del estado de las masa de agua si se debe a causas naturales o de fuerza mayor que sean excepcionales o no hayan podido preverse razonablemente, en particular graves inundaciones y sequías prolongadas, o al resultado de circunstancias derivadas de accidentes que tampoco hayan podido preverse razonablemente”. Las condiciones para admitir dicho deterioro han sido descritas en el apartado dedicado a la DMA, concretamente en la descripción del apartado 4.6. Por otra parte, en el artículo 56 en el que se exponen las medidas para masas de agua con pocas probabilidades de alcanzar los objetivos ambientales, en su apartado 2 se manifiesta que “cuando las causas de no alcanzar los objetivos medioambientales sean naturales, de fuerza mayor o no hayan podido preverse razonablemente, en particular graves inundaciones y sequías prolongadas, podrá determinarse que no es factible adoptar medidas adicionales y admitir el deterioro temporal de acuerdo con el artículo 38”.

Por último en el artículo 62, sobre el registro de los programas y planes más detallados, se hace referencia a que “los planes hidrológicos tendrán en cuenta en su elaboración los planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía, elaborados por los organismos de cuenca en cumplimiento con el artículo 27 de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, de los que se incorporarán un resumen, incluyendo el sistema de indicadores y umbrales de funcionamiento utilizados y las principales medidas de prevención y mitigación propuestas”.

#### **2.5.4. Instrucción de Planificación Hidrológica**

La Instrucción de Planificación Hidrológica fue aprobada con posterioridad al RPH, mediante la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre. Esta instrucción desarrolla con mayor detalle los artículos contemplados en el RPH. Sus contenidos relativos a las sequías están por tanto referidos a la consideración de las mismas en los PES. En su apartado 3.5.1.3 sobre prioridades y reglas de gestión en los sistemas se expone que “se podrán definir umbrales en las reservas de los sistemas a partir de los cuales se activen ciertas restricciones en el suministro o se movilicen recursos extraordinarios (pozos de sequía, recursos desalinizados y activación de conexiones a otros elementos o sistemas). Dichos umbrales se basarán en los establecidos en los Planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía. Las restricciones se introducirán mediante escalones de reducción del suministro que deberán guardar relación con los déficits admisibles de acuerdo con las garantías establecidas para la demanda correspondiente y serán contabilizadas como déficit a efectos de determinar el nivel de garantía. Estas

restricciones deberán ser coherentes con lo establecido en el Plan especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía”.

#### **2.5.5. Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH)**

El RDPH aprobado por el RD 849/1986, de 11 de abril, ha sido recientemente actualizado a través del RD 638/2016, de 9 de diciembre. Entre otros contenidos incorpora varios preceptos relacionados con el tratamiento de los caudales ecológicos y las reservas hidrológicas. Dentro de este reglamento hay que destacar la incorporación del artículo 49 quáter referido al Mantenimiento del régimen de caudales ecológicos. Concretamente en su apartado 5 se establece lo siguiente sobre los PES: “Aquellas subzonas o sistemas de explotación que, conforme al sistema de indicadores de sequía integrado en el Plan Especial de Actuación ante Situaciones de Alerta y Eventual Sequía de la demarcación hidrográfica correspondiente, se encuentren afectados por este fenómeno coyuntural, con sequía formalmente declarada, podrán aplicar un régimen de caudales ecológicos menos exigentes de acuerdo con lo previsto en su plan hidrológico, sin perjuicio de lo establecido en el artículo 18.4 del RPH.

#### **2.5.6. Ley 13/2015, de 30 de marzo, de ordenación territorial y urbanística de la Región de Murcia**

En este subapartado se hace referencia a legislación básica de ordenación territorial y urbanística de la Región de Murcia, ya que es la única Comunidad Autónoma que cuenta con la casi totalidad de su territorio en el área de estudio. La Ley 13,2015, de 30 de marzo, de ordenación territorial y urbanística de la Región de Murcia, derogó el Decreto Legislativo 1/2005, de 10 de junio, por el que se aprobó el texto refundido de la Ley del Suelo de la Región de Murcia. El objetivo de esta Ley se establece en su artículo 1: “La presente ley tiene por objeto la regulación de la ordenación del territorio, la ordenación del litoral y de la actividad urbanística en la Región de Murcia, para garantizar, en el ámbito de un desarrollo sostenible, el derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona y la protección de la naturaleza, el derecho a disfrutar de una vivienda digna y adecuada y la protección del patrimonio cultural y del paisaje”.

El artículo 19 se expone que “la ordenación del territorio constituye la expresión de las políticas económicas, sociales, culturales y medioambientales con incidencia territorial, formulada mediante los instrumentos oportunos definidos en la presente ley”. Las clases de instrumentos ordinarios de ordenación del territorio se establecen en el artículo 20. Por



orden de preferencia son los siguientes: Directrices de Ordenación Territorial, Planes de Ordenación Territorial y Programas de Actuación Territorial. Además se establecen como instrumentos excepcionales de ordenación del territorio las Actuaciones de Interés Regional. Las Directrices de Ordenación Territorial, que son el instrumento de mayor rango tienen como finalidad “la regulación de actividades y la coordinación de políticas urbanísticas y sectoriales con incidencia territorial, pudiendo abarcar todo el ámbito regional, un ámbito territorial determinado o sectores específicos de actividad.

En todas las Directrices que están en vigor se dedica un apartado al estudio de las actuaciones encaminadas a la mitigación y prevención de los riesgos naturales, poniéndose especial énfasis en el estudio del riesgo de inundación y del riesgo sísmico, realizándose de ambos mapas de riesgo. Sin embargo, el riesgo de sequía apenas es aludido a pesar de que el territorio de la Región de Murcia se ve afectado regularmente por episodios de intensas sequías que provocan severas pérdidas económicas, lo cual es un grave error que debería ser subsanado en futuras actualizaciones de estas directrices. A continuación van a ser mencionados los aspectos de las Directrices y Planes de Ordenación Territorial (DPOT) que hacen referencia a los efectos territoriales y socioeconómicos provocados por los periodos de indigencia pluviométrica.

Se alude al estado de sobreexplotación de los acuíferos, la cual se ve incrementada durante los periodos de indigencia pluviométrica por la apertura de pozos de sequía como el Sinclinal de Calasparra. Por otra parte, se mencionan las infraestructuras disponibles para el abastecimiento de agua potable, así como el origen de los recursos hídricos. Se proponen cambios de usos de suelo en aquellas zonas que cuenten con escasos recursos hídricos, fundamentalmente en el ámbito de las comarcas litorales, donde se propone por ejemplo la limitación de los cultivos en invernadero debido a su excesivo gasto de agua.

En relación con los recursos hídricos, se especifica que es necesario que los planes y proyectos que se desarrollen contemplen los objetivos y criterios definidos en la DMA, así como los emanados del PHDS 2015/21. Asimismo, a efectos de garantizar la compatibilidad de usos y la sostenibilidad de los incipientes procesos de ocupación del territorio, sería conveniente señalar que los nuevos desarrollos urbanísticos, tanto residenciales como industriales, contemplen la depuración y reutilización de las aguas residuales para el riego de sus instalaciones deportivas y zonas verdes. Además deberían incluir la utilización siempre que sea posible de diseños y técnicas de xerojardinería y la

reducción de los riesgos e impactos producidos por la impermeabilización de los suelos sobre la recarga de acuíferos y las escorrentías superficiales.

Con respecto al caso específico de algunas instalaciones deportivas como los campos de golf, se prohíbe la utilización de aguas procedentes de transferencias de cuencas exteriores a la DHS. Por tanto, no pueden utilizarse las aguas procedentes del TTS, y se deben utilizar aguas depuradas para la gestión de este uso. En los casos en los que los campos de golf se asocien con un desarrollo residencial, y en tanto que no puedan reutilizarse las aguas residuales por ausencia de agua a depurar, se permitirá la utilización de forma transitoria de aguas subterráneas, excepto en caso de desequilibrio hídrico del acuífero utilizado.

## **2.6. Cambios en los usos del suelo**

En este apartado se va a realizar un análisis de las transformaciones en los usos del suelo desde el año 1990 hasta el año 2018. Con tal fin, ha sido utilizada la información espacial proporcionada por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) a través del proyecto CORINE Land Cover (CLC- Coordination of Information on the Environment) que se inició en el año 1985. CLC es una base de datos donde se plasma la superficie territorial ocupada por cada uso del suelo, basada en una nomenclatura jerárquica de tres niveles con 44 clases de usos del suelo, siendo el tamaño mínimo de polígono de 25 ha. Posee una escala de referencia de 1:100.000. La primera versión se realizó en el año 1990. Desde entonces la base de datos se ha actualizado periódicamente (con una periodicidad de 6 años desde el año 2000), con las versiones de los años 2000, 2006, 2012 y la actual del año 2018.

Para llevar a cabo el análisis de la evolución de la superficie ocupada por las diferentes clases de usos del suelo de CLC, se ha procedido a agrupar las mismas en diferentes categorías, las cuales se han dividido en dos niveles, con el objetivo de estudiar los cambios en los usos del suelo con diferente nivel de detalle. Estas categorías se han obtenido mediante la reclasificación de las clases de suelo originales del CLC. En la tabla 9, se muestran los dos niveles de categorías de usos de suelo obtenidos. En el nivel 1 se han agrupado las diferentes clases de usos del suelo en cinco categorías, que a su vez se han subdividido en un total de trece categorías en el nivel 2. Las clases que componen estas

trece categorías se detallan en el apartado 3.1.7. Uso del Territorio, en el cual se realiza un análisis de la superficie y la distribución espacial de dichas categorías en el año 2018. En el nivel 1 se ha decidido separar las superficies de regadíos del resto de zonas agrícolas por la implicación que tiene el riesgo de sequía en este uso.

NIVEL 1	NIVEL 2	CÓDIGOS CLC
ARTIFICIAL	Urbano, Industrial y Transportes, Zonas Mineras y Vertederos	111, 112, 121, 122, 123, 124, 131, 132, 133, 141, 142
AGRÍCOLA	Secano, Cultivos Permanentes, Praderas, Agrícola Heterogéneo	211, 213, 221, 222, 223, 231, 241, 242, 243, 244
REGADÍO	Regadío	212
FORESTAL	Bosques, Pastizales y Matorrales, Suelos desnudos	311, 312, 313, 321, 323, 324, 331, 332, 333, 334
SUPERFICIES DE AGUA	Zonas Húmedas y superficies de agua	411, 421, 422, 423, 511, 512, 521, 523

Tabla 9. Categorías de los dos niveles establecidos para el análisis de las transformaciones y cambios de los usos del suelo. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del proyecto CORINE Land Cover.

### 2.6.1. Evolución de la superficie por categorías de usos del suelo entre 1990 y 2018

En este primer subapartado se estudia la evolución entre los años 1990 y 2018 de la superficie ocupada por cada una de las distintas categorías de usos del suelo que componen los dos niveles establecidos. Para analizar la evolución temporal y los cambios producidos en los usos del suelo se han seleccionado los datos espaciales de cuatro versiones del CLC: 1990, 2000, 2012 y 2018. La superficie de cada categoría se ha obtenido mediante la utilización del complemento del programa QGIS, "Group Stats". Los resultados se plasman en las tablas 10 y 11.

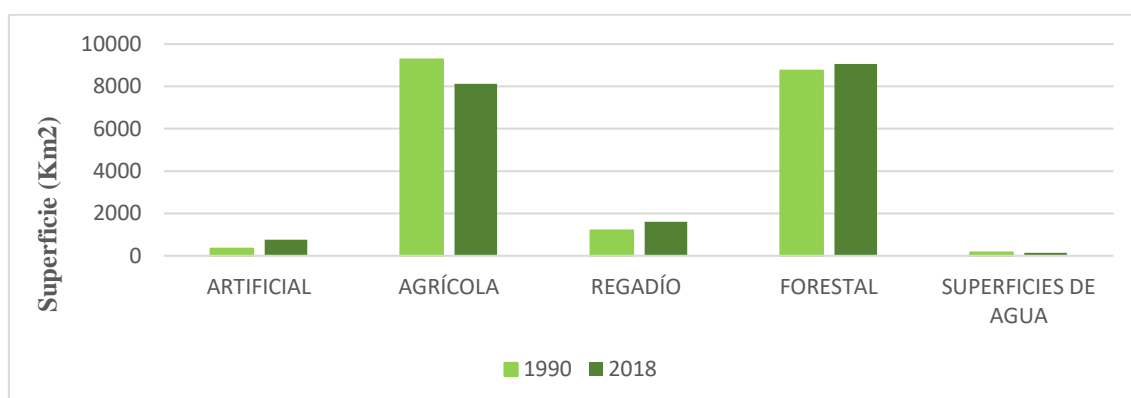


Figura 32. Comparativa de la evolución de la superficie de las categorías de usos del suelo del Nivel 1 entre 1990 y 2018. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del proyecto CORINE Land Cover.

CATEGORÍA	1990	2000	2012	2018
Artificial	333,5 (1,7%)	535,4 (2,7%)	752,1 (3,8%)	760,9 (3,9%)
Agrícola	9277 (47,1%)	8958,8 (45,5%)	7987,7 (40,6%)	8122,6 (41,2%)
Regadío	1198 (6,1%)	1414,6 (7,2%)	1660,6 (8,4%)	1606,3 (8,2%)
Forestal	8742,1 (44,4%)	8640,3 (43,9%)	9148,2 (46,4%)	9063,9 (46%)
Superficies de Agua	147 (0,7%)	148,5 (0,8%)	147 (0,7%)	143,9 (0,7%)
<b>TOTAL (Km<sup>2</sup>)</b>	19697,6	19697,6	19697,6	19697,6

Tabla 10. Evolución de la superficie (Km<sup>2</sup>) en las categorías de usos del suelo del Nivel

1. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del proyecto CORINE Land Cover.

CATEGORÍA	1990	2000	2012	2018
Urbano	260	394,9	502,8	506,5
Industrial y Transportes	43,3	97,4	182,2	188,1
Zonas mineras y vertederos	30,2	43,2	67,1	66,3
Secano	2789,3	2443,2	2008,7	2004,2
Regadío	1198	1414,6	1660,6	1606,3
Cultivos Permanentes	2677,4	2875,9	3438,5	3598,4
Praderas	0	0	382,3	461,0
Agrícola Heterogéneo	3810,4	3639,6	2160,3	2059,0
Bosques	2947,8	2742,5	3607,5	3553,5
Pastizales y matorrales	4833,8	4833,2	5405,4	5365,7
Suelos desnudos	960,4	1064,6	135,2	144,7
Zonas húmedas	64,3	63,6	62	58,7
Superficies de Agua	82,7	84,9	85	85,2
<b>TOTAL (Km<sup>2</sup>)</b>	19697,6	19697,6	19697,6	19697,6

Tabla 11. Evolución de la superficie (Km<sup>2</sup>) en las categorías de usos del suelo del Nivel

2. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del proyecto CORINE Land Cover.

Con respecto a la evolución de la superficie en el nivel 1, en la figura 32 se muestra como las categorías artificial, regadío y forestal han aumentado su superficie en el periodo 1990-2018. Sin embargo, la superficie agrícola ha sufrido un importante descenso. La superficie artificial es la que ha experimentado un aumento más drástico, localizándose la mayor parte de este incremento entre 1990 y 2012, ya que debido a la crisis económica mundial que se inició en el año 2008 (Aalbers, 2009; Rodríguez López, 2009) se paralizó casi por completo la actividad inmobiliaria, cesando de esta forma cualquier vestigio edificatorio (Serrano Martínez, 2011; Giménez García et al., 2018). Es por ello, que entre los años 2012 y 2018 apenas se ha incrementado la superficie artificial. Además, cabe destacar que entre las numerosas etapas de auge inmobiliario experimentadas por la economía española, la del periodo comprendido entre 1997 y 2008 ha sido la de mayor alcance (Burriel De Orureta, 2008). Dentro las categorías del nivel 2, la superficie urbana es la que ha sufrido un mayor incremento (tabla 11).

La superficie de regadío también ha experimentado un notable aumento entre 1990 y 2012 (pasando de 1198 km<sup>2</sup> a 1660 km<sup>2</sup>) sobre todo por la expansión del regadío en las UDAs de las ZRT concentradas mayoritariamente en las comarcas litorales, que ha dado lugar a una importante transformación de superficies de secano a regadío. Desde 2012 la superficie de regadío se ha estabilizado, sufriendo incluso un ligero retroceso. No obstante cabe destacar que dentro de esta superficie no se contabilizan las superficies de regadío ilegal (García Moreno et al., 2018). En contraposición, la superficie agrícola ha advertido un importante descenso, el cual se ha producido en gran parte en las superficies de secano y zonas agrícolas heterogéneas (tabla 11).

El abandono de las tierras de cultivo es una de las causas más importantes que provoca dicha reducción (Rey Benayas, 2007; Martínez Hernández y Romero Díaz, 2015), destacándose que los factores de abandono agrícola pueden dividirse en tres tipos: factores socioeconómicos, factores relacionados con la gestión y factores ambientales (Alonso Sarriá et al., 2016). Además el abandono de cultivos conlleva drásticos procesos de degradación de suelos (Romero Díaz et al., 2012). En lo referido a los impactos en la componente agua, la regeneración natural de la cubierta vegetal tras el abandono suele ser muy notable, lo que provoca el aumento del consumo de agua para las funciones vitales de las plantas, así como por interceptación (Llorens et al., 1997; Belmonte Serrato y Romero Díaz, 2013), lo que hace reducir la infiltración y la escorrentía (Robledano et al., 2016). Por último, con respecto a la superficie forestal cabe destacar que se produce un ligero aumento en la superficie de bosques y pastizales y matorrales, el cual está influenciado en parte por el cambio en la consideración de la clase del CLC “333- Espacios con vegetación escasa”, que se produce entre las versiones del año 2000 y 2006. A partir de 2006, esta clase pasa de ser considerada en la categoría de suelo desnudo, a las categorías de bosques y pastizales y matorrales (Barreira González et al., 2012)

Por otra parte, en las figuras 33 y 34 se plasma la distribución espacial de la superficie de los usos del suelo en los años 1990 y 2018, para las categorías del nivel 1 (Artificial, Agrícola, Regadío, Forestal y Superficies de Agua). El principal objetivo es analizar los cambios y transformaciones que se han producido en los últimos 30 años, lo que será analizado en el apartado 2.6.2. Matriz de cambios de usos del suelo. En general, el aspecto más destacado es el drástico aumento de las superficies artificial y de regadío, en las zonas litorales y valles prelitorales, donde se concentra la mayor parte de la población. Las ganancias y pérdidas en los diferentes usos del suelo se analizan en el siguiente apartado.

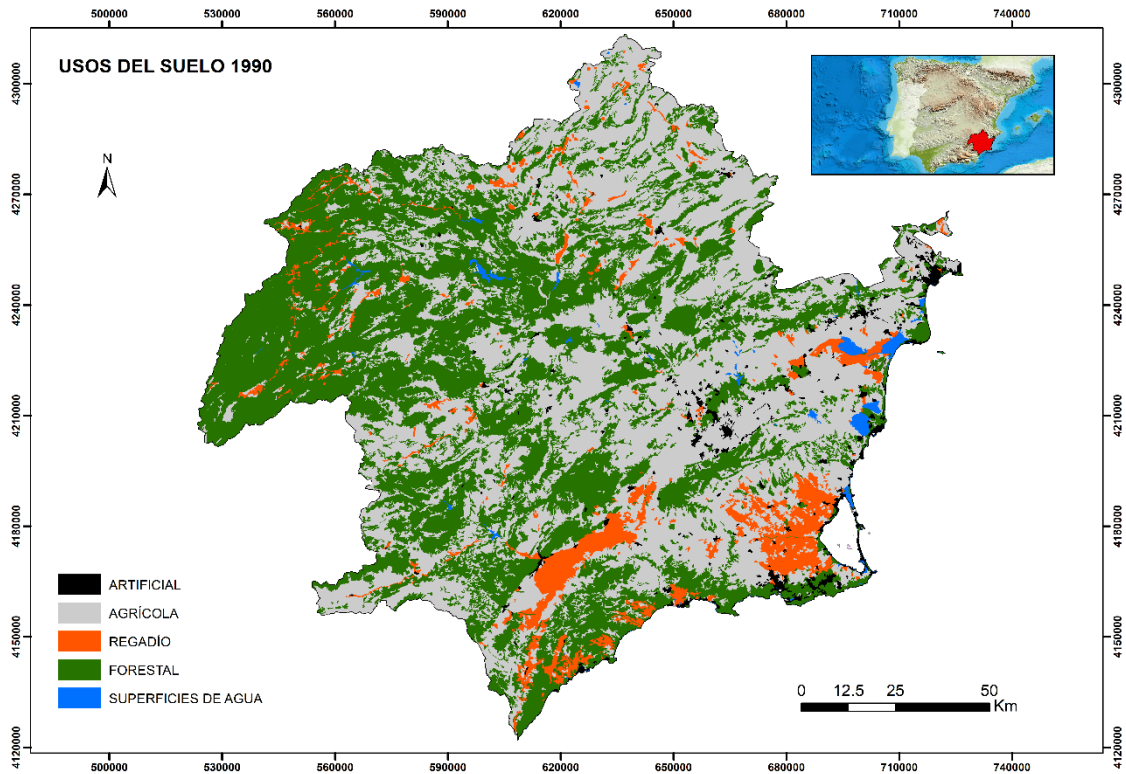


Figura 33. Distribución espacial de los usos del suelo en 1990 (Nivel 1). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del proyecto CORINE Land Cover.

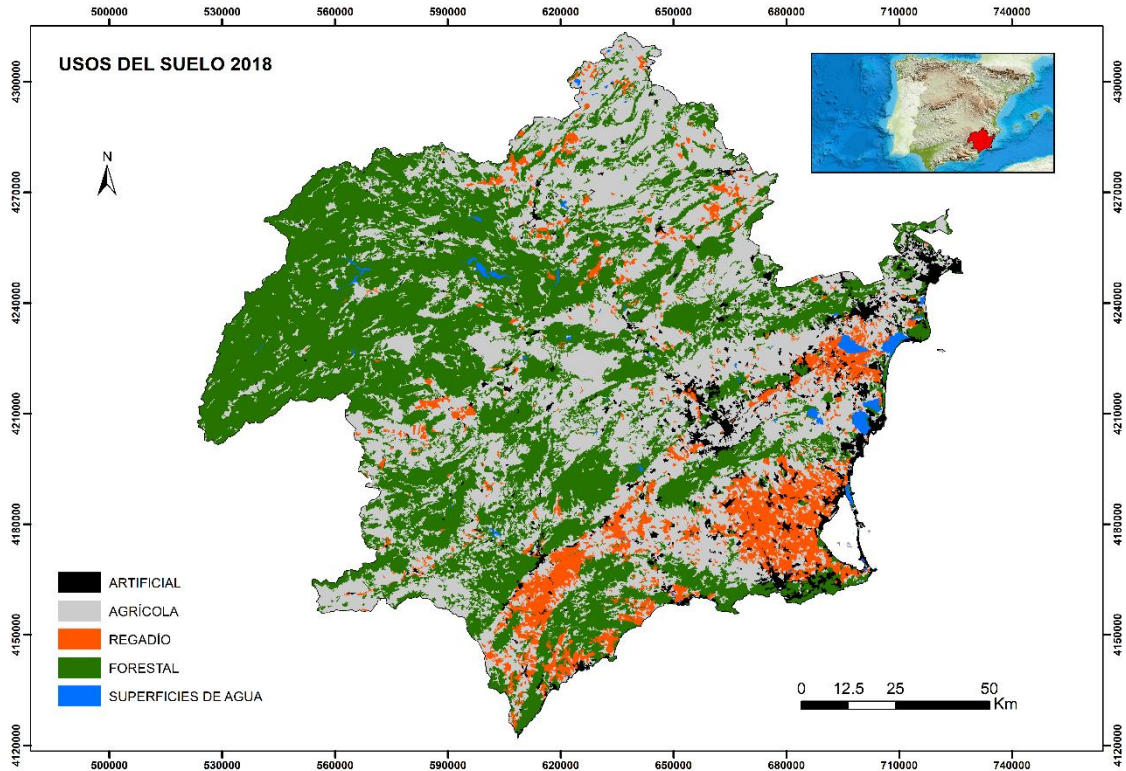


Figura 34. Distribución espacial de los usos del suelo en 2018 (Nivel 2). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del proyecto CORINE Land Cover.

## 2.6.2. Matriz de cambios de usos del suelo

El objetivo de este subapartado es estudiar las transformaciones y cambios en los usos del suelo producidas en las últimas tres décadas (1990-2018). Con tal fin se ha seguido la metodología desarrollada por Pontius et al. (2004), para la elaboración de una matriz de cambios o matriz de tabulación cruzada de usos del suelo. En esta matriz las categorías de usos del suelo del CLC de 1990 están representadas en las filas, y las categorías de usos del suelo del año 2018 en las columnas. De esta forma se puede ver la cantidad de superficie que cambia de una categoría a otra (Gallardo Beltrán y Martínez Vega, 2012), así como, la persistencia, mostrada en la diagonal, es decir, las superficies que no han sufrido cambio de categoría. En la figura 35, se plasma mediante un diagrama de flujos, la metodología que se ha desarrollado para la construcción de la matriz de cambios de usos del suelo.

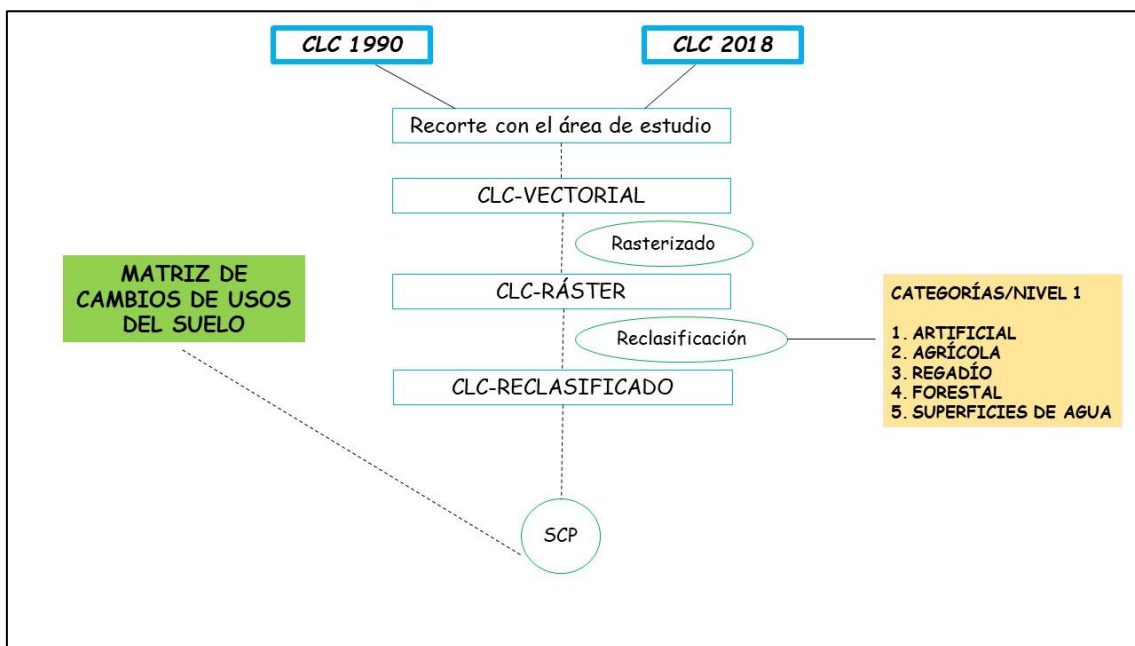


Figura 35. Diagrama de flujos empleado para la elaboración de la matriz de cambios de usos del suelo. Fuente: Elaboración propia.

La metodología seguida para la elaboración de la matriz de cambios de usos del suelo parte de las capas en formato vectorial de las versiones del CLC 1990 y CLC 2018. Lo primero que hay que destacar es que los geoprocursos aparecen señalados con círculos verdes en el diagrama de flujos, y que se han utilizado los programas ArcGIS y QGIS para la ejecución de los mismos. Las capas originales del CLC han sido recortadas con el territorio del marco espacial analizado, con el objetivo de obtener capas vectoriales de



usos del suelo del área de estudio. Posteriormente, se lleva a cabo la rasterización de las capas vectoriales, para poder llevar la reclasificación de las clases de usos del suelo. El tamaño del mosaico de píxeles resultante es de 10 metros \* 10 metros (100 m<sup>2</sup>), lo que va a permitir contrastar con una gran precisión las transformaciones producidas.

Seguidamente, se realiza la reclasificación del valor de estas celdas (código de las clases de usos del suelo originales del CLC), agrupándolas en cinco categorías diferentes según su naturaleza: 1- Artificial, 2- Agrícola, 3- Regadío, 4- Forestal y 5- Superficies de Agua. El objetivo de dicha reclasificación en cinco categorías (Nivel 1), es analizar los cambios en los usos del suelo en categorías con clases bastantes homogéneas, y estudiar las implicaciones de estas transformaciones en el riesgo de sequía (sobre todo en los parámetros de vulnerabilidad y exposición). Por último, una vez obtenidas las capas reclasificadas del CLC 1990 y 2018, mediante la utilización de la herramienta Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) que es un complemento del programa QGIS (Congedo, 2013), se ha contrastado la información mostrada en ambas capas reclasificadas, obteniéndose el número de píxeles que han cambiado de uso. La eficacia del SCP está ampliamente corroborada en el ámbito científico (Leroux et al., 2018; Pereira y Guimarães, 2019; Rodríguez Vallejo y Alonso Sarría, 2019).

MATRIZ DE CAMBIOS (Km <sup>2</sup> ) 1990-2018								
		2018					TOTAL	PÉRDIDAS
		1	2	3	4	5		
1990	1	284,8 (1,45 %)	29,5 (0,15%)	1,3 (0,01 %)	17,4 (0,09 %)	0,5 (0,00 %)	333,5 (1,69 %)	48,7 (0,25 %)
	2	313,6 (1,59 %)	7033,6 (35,71 %)	853,8 (4,33 %)	1063,4 (5,40 %)	12,6 (0,06 %)	9277,0 (47,10 %)	2243,4 (11,39 %)
	3	52 (0,26 %)	407,3 (2,07 %)	667,0 (3,39 %)	68,9 (0,35 %)	2,8 (0,01 %)	1198,0 (6,08 %)	531,0 (2,70 %)
	4	106,4 (0,54 %)	645,7 (3,28 %)	82,0 (0,42 %)	7898,9 (40,10 %)	9,2 (0,05 %)	8742,1 (44,38 %)	843,2 (4,28 %)
	5	4,1 (0,02 %)	6,6 (0,03 %)	2,2 (0,01 %)	15,3 (0,08 %)	118,8 (0,60 %)	147,0 (0,75 %)	28,2 (0,14 %)
TOTAL		760,9 (3,86 %)	8122,6 (41,24 %)	1606,3 (8,15 %)	9063,9 (46,02 %)	143,9 (0,73 %)	19697,6 (100,00 %)	3694,5 (18,76 %)
GANANCIAS		476,1 (2,42 %)	1089,0 (5,53 %)	939,3 (4,77 %)	1165,0 (5,91 %)	25,1 (0,12%)	3694,5 (18,76 %)	

Tabla 12. Matriz de cambios de usos del suelo. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del proyecto CORINE Land Cover.



En la tabla 12 se observa la matriz de cambios de usos del suelo en el área de estudio, con las correspondientes ganancias y pérdidas, que indican la importante transformación que ha tenido en las coberturas del suelo. En primer lugar, y antes de pasar al análisis de los resultados de la matriz, es importante resaltar que se deben tener en cuenta los errores existentes en la matriz de cambios, que se estiman en torno a un 15% (Gallardo Beltrán, 2014). Por tanto, la precisión de los mapas de datos espaciales del CLC es de en torno a un 85%. Tal y como señalan Pontius y Lippit (2004), la mayor parte de los estudios de cambios de usos del suelo se realizan sin considerar los errores que contienen los mapas de clasificación que se utilizan como entrada en los modelos. En este trabajo tampoco han sido corregidas estas transiciones raras entre categorías (como por ejemplo el paso de categoría artificial a agrícolas o forestal), ya que son insignificantes y no es el objetivo principal de este estudio.

Estos errores cartográficos en los resultados de los análisis de cambios de usos pueden deberse a diferentes causas: distintos fines de las diferentes fuentes de datos que se utilizan, distintas metodologías utilizadas en la generación de la información o en la detección de los cambios, desiguales escalas espaciales utilizadas, errores en la captación o registro de los datos, diferentes criterios en la definición de categorías, etc. (Gallardo Beltrán, 2014). Una posible solución a estos errores, sería la utilización directa de imágenes de satélite para la reclasificación de los usos del suelo, como la clasificación de usos del suelo en la DHS a partir de imágenes Landsat 8 realizada por Rodríguez Vallejo y Alonso Sarría (2019). Si se utiliza CLC los mapas originales pueden trabajarse previamente mediante procesos de generalización cartográfica, para eliminar de esta forma resultados imprecisos o erróneos (Petit y Lambin, 2002; Gallardo Beltrán, 2014).

Una vez mencionada la existencia de errores en los mapas, se procede a analizar los resultados de la matriz de cambios. En la matriz aparecen representadas las cinco categorías seleccionadas con el código correspondiente a cada una: 1- Artificial, 2- Agrícola, 3- Regadío, 4- Forestal y 5- Superficies de Agua. Por un lado, los usos del suelo del CLC del año 1990 están representados en las filas y en ellas se representan las pérdidas de unas categorías a otras. Por otro lado, los usos del suelo del CLC del año 2018 están representados en las columnas, y en ellas se visualizan las ganancias de unas categorías a otras, es decir se contabiliza la superficie nueva adquirida a partir de otras categorías en los últimos 30 años. Además, en la diagonal (resaltada en verde en la tabla 12), se muestra la superficie que no ha sufrido de cambio de categoría entre 1990 y 2018. Dicha superficie

representa 16.003,1 km<sup>2</sup> (81,24% del total) Las ganancias y las pérdidas representan un total 3.694,5 km<sup>2</sup> (18,76% del total), lo que es una clara muestra de las importantes transformaciones en las coberturas de usos del suelo que ha sufrido el territorio analizado en los últimos 30 años.

Antes de pasar a la descripción de los cambios producidos y de la distribución espacial de las ganancias y las pérdidas, en la tabla 13 se presenta el cambio neto, cambio total e intercambio en los usos del suelo. El cambio neto hace referencia a la diferencia en valor absoluto entre las pérdidas y las ganancias, o lo que es lo mismo la variación de la superficie de cada categoría entre 1990 y 2018. Por su parte, el cambio total es el resultado de la suma de las ganancias y las pérdidas. Por último, el intercambio se corresponde con el doble del valor mínimo de las ganancias o las pérdidas, o lo que es lo mismo, la diferencia entre el cambio total y el cambio neto. La superficie que ha sufrido más cambios es el uso agrícola. Además, es muy importante resaltar el dinamismo de cambios que han tolerado los usos artificial y regadío, a pesar de su reducida superficie en comparación con las superficies agrícola y forestal.

USO	CAMBIO NETO	CAMBIO TOTAL	INTERCAMBIO
Artificial	427,4	524,8	97,4
Agrícola	-1154,4	3332,4	4486,8
Regadío	408,3	1470,3	1062
Forestal	321,8	2008,2	1686,4
Superficies de Agua	-3,1	53,3	56,4

Tabla 13. Cambio neto, cambio total e intercambio en los usos del suelo (Nivel 1) expresados en km<sup>2</sup> entre 1990 y 2018. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del proyecto CORINE Land Cover.

En primer lugar van a ser descritas las superficies de ganancias de usos de suelo en las diferentes categorías y su distribución espacial que se muestra en la figura 36. En términos absolutos las categorías agrícola y forestal son las que presentan mayor superficie de ganancias, con 1.089 km<sup>2</sup> y 1.165 km<sup>2</sup> respectivamente. Con respecto a la superficie agrícola, la única categoría que gana en superficie es la de cultivos permanentes (arrozales, viñedos, frutales y olivares) que pasa de tener 2.677,4 km<sup>2</sup> en 1990 a 3.598,4 km<sup>2</sup> en 2018. Dentro de esta categoría, el área destinada a frutales es sin duda alguna la que más superficie ha ganado pasando de 2.000,1 km<sup>2</sup> en 1990 a 2.660,3 km<sup>2</sup> en 2018. Aunque no hay un patrón espacial marcado, la zona que ha ganado más superficie es la zona litoral, sobre todo el Valle del Guadalentín, pero a su vez en esta área se han

producido importantes pérdidas de esta superficie. El incremento de la superficie de frutales lleva consigo un aumento de la vulnerabilidad y exposición de este tipo de cultivos frente al riesgo de sequía. Por superficie la mayor parte de las ganancias proceden de los usos forestal (645,7 km<sup>2</sup>) y regadío (407,3 km<sup>2</sup>).

Por otra parte, la superficie forestal ha experimentado un ligero incremento entre 1990 y 2018, pasando de 8.472,1 km<sup>2</sup> a 9.063,9 km<sup>2</sup>. Dentro de esta categoría cabe destacar el aumento de la superficie de los bosques (bosques de frondosas, bosques de coníferas y bosque mixto) que pasan de 2.947,8 km<sup>2</sup> a 3.553,5 km<sup>2</sup>. La clase que más amplia su extensión es el bosque de coníferas, que pasa de 2.781,4 km<sup>2</sup> a 3.152,6 km<sup>2</sup>. La superficie de ganancia forestal se concentra sobre todo en el extremo noroccidental, distribución que está relacionada con las políticas de restauración forestal llevadas a cabo (Cuenca et al., 2016), que ha supuesto un incremento de la superficie forestal en España durante las tres últimas décadas (MITECO, 2018). La mayor parte de la superficie forestal adquirida procede de áreas que en 1990 estaban destinadas al uso agrícola (1.063,4 km<sup>2</sup>)

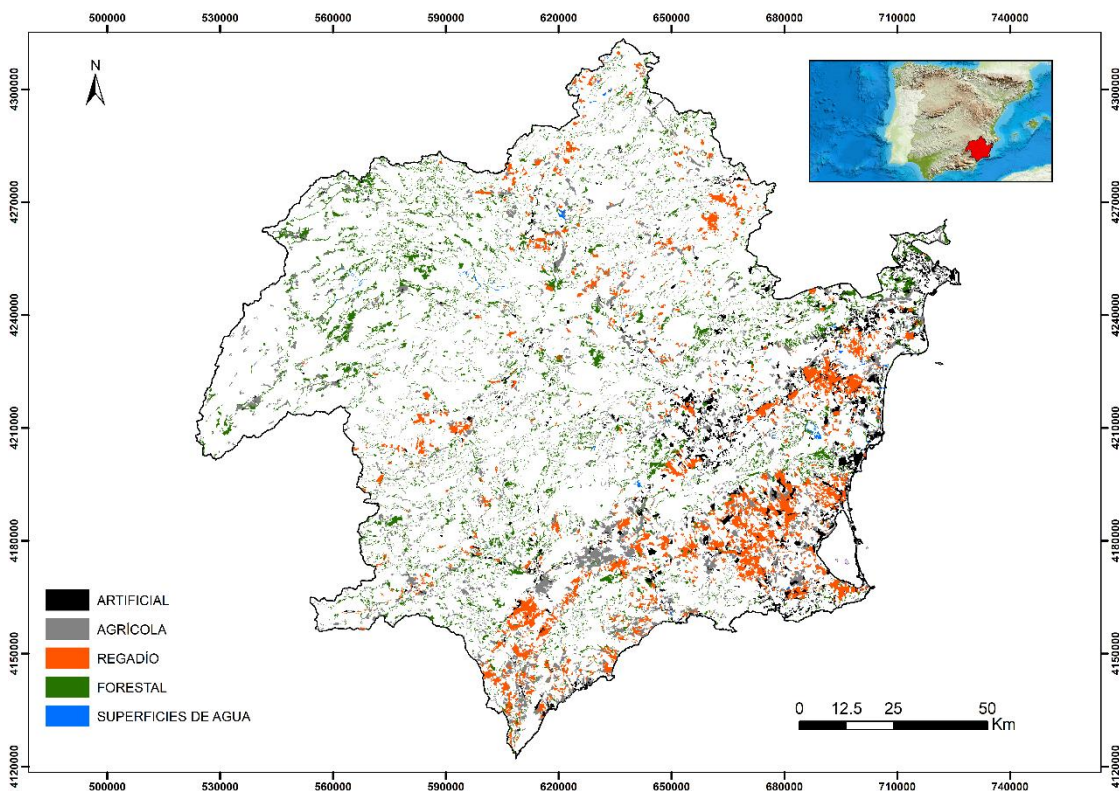


Figura 36. Distribución espacial de la superficie de ganancias de usos del suelo entre 1990 y 2018. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del proyecto CORINE Land Cover.

Aunque en términos absolutos las superficies agrícola y forestal son las que han ganado una mayor superficie, en términos relativos sin duda los usos que han incrementado más su superficie son las categorías artificial y regadío, con unas ganancias respectivamente de 476,1 km<sup>2</sup> y 939,3 km<sup>2</sup>. La superficie artificial ha advertido un drástico incremento, ya que desde 1990 ha duplicado su superficie absoluta, pasando de 333,5 km<sup>2</sup> a 760,9 km<sup>2</sup> en 2018. Esto es una clara muestra del fuerte proceso de antropización que ha sufrido este territorio. Por otra parte, con respecto al origen de la superficie artificial nueva, la mayor porción de los 476,1 km<sup>2</sup>, proceden de superficies que en 1990 estaban englobadas en las categorías agrícola (313,6 km<sup>2</sup>) y forestal (106,4 km<sup>2</sup>). Estas dos categorías son las coberturas de usos del suelo más lastradas por la antropización.

Dentro de esta categoría, la superficie urbana es la que ha experimentado un mayor incremento pasando de 260 km<sup>2</sup> a 506, km<sup>2</sup>. A su vez, en la categoría urbana, la clase de uso del suelo que más aumenta es el tejido urbano discontinuo que pasa de 90 km<sup>2</sup> a 270,3 km<sup>2</sup>. En cambio el tejido urbano continuo aunque también acrecienta su superficie, lo hace de un modo mucho más reducido, pasando de 150 km<sup>2</sup> a 176,4 km<sup>2</sup>. El mayor incremento de la superficie de tejido urbano discontinuo se produjo durante la década de la burbuja inmobiliaria entre 1997 y 2008 (Burriel de Orureta, 2008; Pitarch Garrido y Membrado Tena, 2014), etapa en la que también tuvo lugar un fuerte desarrollo de los usos destinados a instalaciones deportivas y recreativas.

Con respecto a la distribución espacial de la superficie adquirida por la categoría artificial, cabe reseñar que la mayor parte se concentra en torno a las áreas metropolitanas de Murcia y Alicante-Elche, y en las comarcas litorales del Campo de Cartagena, Mar Menor y Vega Baja, en las cuales como se analiza en apartado 3.1.8. Población, se ha producido un notable aumento de la población en las tres últimas décadas. En la figura 37, se muestra en detalle el área ganada por las categorías artificial y regadío entre 1990 y 2018. En Martí Talavera et al. (2020), se analizan con detalle los cambios en las coberturas de usos del suelo en dos de estas comarcas: Campo de Cartagena y Vega Baja. En ambas se ha producido un incremento notable de superficie artificial pasando en el Campo de Cartagena de 61,6 km<sup>2</sup> a 112,2 km<sup>2</sup>, y en la Vega Baja de 39,2 km<sup>2</sup> a 125,2 km<sup>2</sup>. En el caso de la Vega Baja una gran parte de este excepcional incremento se corresponde con la construcción de numerosas urbanizaciones destinadas al turismo residencial (Martínez Guirado y Mazón Martínez, 2016), sobre todo localizadas en los municipios alicantinos de Orihuela, Guardamar de Segura, Torrevecija y Pilar de la Horadada.

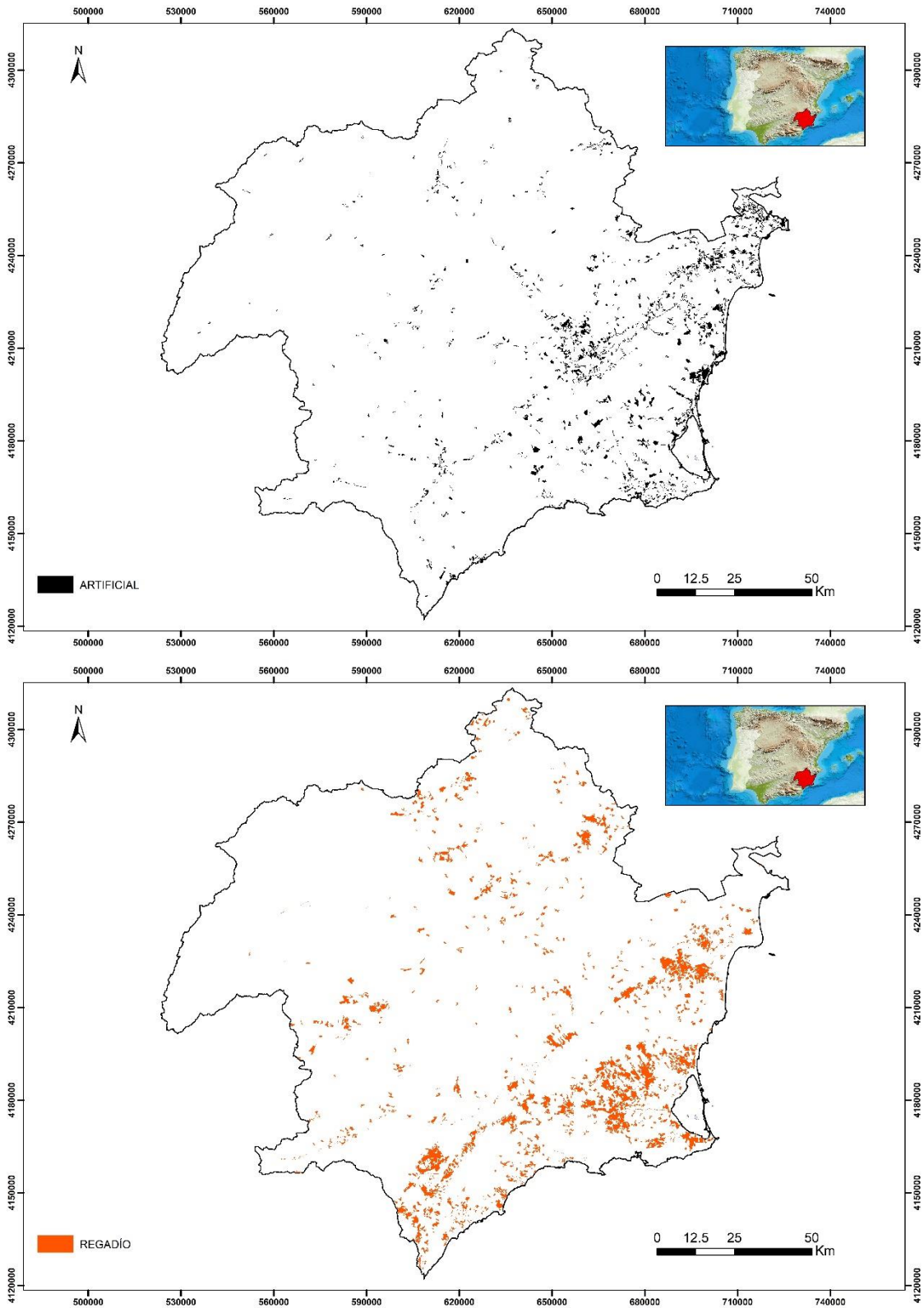


Figura 37. Distribución espacial de la superficie de ganancias de las categorías Artificial y Regadío entre 1990 y 2018. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del proyecto CORINE Land Cover.

Como ya se ha comentado, el severo incremento de los usos del suelo de la categoría artificial conlleva un notable aumento de la superficie de sellado de suelo (Caballero Pedraza et al., 2015; Romero Díaz et al., 2017) lo que origina un aumento de la escorrentía superficial y una pérdida de la capacidad de infiltración del suelo (Romero Díaz et al., 2011). Estos aspectos implican que durante los episodios de lluvias torrenciales típicos de la vertiente mediterránea, aumente la exposición y vulnerabilidad de la población frente a las inundaciones, tal y como se ha demostrado en los episodios acontecidos durante la última década (Romero Díaz et al., 2010, Espín Sánchez et al., 2017; Olcina Cantos, 2017; García Ayllón, 2018, Castejón Porcel et al., 2018). Estos hechos ponen en evidencia la clara responsabilidad del factor humano en el incremento del riesgo de inundación (Box Amorós y Morales Gil, 1993).

Indudablemente la ausencia e incongruencia de las diversas políticas de planificación urbanística y ordenación del territorial a nivel estatal, provocan un aumento de la vulnerabilidad y exposición de la población frente a las inundaciones (Olcina Cantos et al., 2018). En los últimas tres décadas, sobre todo en el decenio de la burbuja inmobiliaria (1997-2008), se realizaron numerosas actuaciones urbanísticas de dudosa legalidad a lo largo del litoral mediterráneo (Serrano Martínez, 2007), que ocupan indebidamente zonas inundables catalogadas en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), que en la mayor parte de los casos estaban destinados a usos agrícolas y forestales (Ibarra Marinas et al., 2017; Giménez García et al., 2018). Por último en referencia al impacto del incremento de la superficie artificial en el riesgo de sequía, cabe destacar que paradójicamente no ha supuesto un aumento del consumo de agua urbano-turístico, sino todo lo contrario, ya que desde mediados de la década del 2000, se ha producido un descenso continuado del consumo de agua (Hernández y Morote Seguido, 2019; Villar Navascués, 2019). Además durante los episodios de sequía y escasez coyuntural el abastecimiento de demanda urbana de agua está totalmente asegurado gracias a los recursos procedentes de la desalinización (Morote Seguido, 2017).

Por otra parte, una vez analizada la superficie adquirida por el uso artificial, se procede a describir la expansión de las superficies de regadíos. La distribución espacial de dichas ganancias es muy parecida a la comentada del uso artificial, ya las nuevas áreas de regadío se concentran mayoritariamente en los valles prelitorales y comarcas litorales. Dichas zonas se corresponden en su mayoría con las ZRT, y por tanto su abastecimiento depende de recursos hídricos externos a la DHS. Con respecto al origen de la superficie de regadío

nueva, la inmensa mayoría de los 939,3 km<sup>2</sup>, proceden de superficies catalogadas en 1990 como agrícolas (853,8 km<sup>2</sup>). Esto evidencia una clara evolución en la agricultura desde el secano tradicional a una agricultura de regadío intensivo con una marcada vocación de mercado (Ibarra Marinas et al., 2017).

La mayor parte de las nuevas hectáreas de regadíos está localizada en la UTE1- Sistema Principal. Por tanto, durante las situaciones de escasez coyuntural en esta unidad territorial no solo dependen del estado de los recursos hídricos de la DHS sino que también estriban de los recursos de la cabecera del Tajo (embalses de Entrepeñas y Buendía). Por tanto, se puede decir que estas nuevas zonas de regadío poseen una alta dependencia frente a los recursos procedentes del TTS. Tal y como se ha mencionado en el capítulo 2.3.3. Trasvase Tajo-Segura, los recursos trasvasados en origen muestran una clara tendencia desde su puesta en funcionamiento. Además la modificación de las reglas de explotación del TTS provoca que durante los episodios de sequía en la cabecera del Tajo sea muy difícil que se puedan producir trasvases. Por último, los escenarios cambio climático estiman una drástica reducción de los recursos hídricos en la cabecera del Tajo hasta finales del S.XXI (Pellicer Martínez y Martínez Paz, 2018).

En definitiva, estos nuevos cultivos de regadío desarrollados en las últimas tres décadas presentan una notable vulnerabilidad y exposición frente a los periodos de sequía, más si cabe por su fuerte dependencia de recursos externos a la DHS, procedentes del TTS. Además, como ya ha sido resaltado, sobre todo durante los ciclos de indigencia pluviométrica, se generan importantes impactos negativos en las aguas subterráneas por la sobreexplotación de acuíferos (Sahuquillo,2016). Del mismo modo, se originan notables problemas medioambientales como los producidos en el Mar Menor por la llegada masiva de nitratos procedentes desde las superficies de cultivo vertientes a esta laguna litoral (García Arostegui et al., 2016), que generan severos impactos en sus ecosistemas marinos (García Pintando et al., 2007; Fernández Pinilla, 2018). Todos los factores detallados evidencian la reducida viabilidad futura de estas superficies de regadío, por lo que desde las administraciones públicas se deberían apostar por políticas de reconversión de estos cultivos intensivos por cultivos muchos más sostenibles desde un punto de vista medioambiental, y que estuvieran adaptados a los nuevos condicionantes climáticos.

Para concluir este apartado, se detallan las superficies de pérdidas de las diferentes categorías entre 1990 y 2018. Las superficies agrícola y forestal son las categorías más



lastradas por las transformaciones de las coberturas del suelo, con unas pérdidas respectivamente de 2243,4 km<sup>2</sup> y 843,2 km<sup>2</sup>. La superficie agrícola ha sido la que mayor dinámica de cambios ha presentado, siendo la única que ha visto reducida su extensión, y la que ha soportado una mayor tasa de cambio total e intercambio superficial (tabla 13). En referencia a la distribución espacial de la superficie pérdida por las zonas agrícolas (figura 38), cabe destacar que aunque no se observa un patrón de concentración concreto, la superficie tiende a concentrarse en las comarcas litorales. De las 2.243,4 km<sup>2</sup>, 1.063,4 km<sup>2</sup> se han transformado en superficie forestal, 853,8 km<sup>2</sup> en regadío y 313,6 km<sup>2</sup> en artificial. El abandono de las superficies de cultivo es una de las principales causas de la transformación de superficies agrícolas en forestales (Rey Benayas, 2007; Martínez Hernández y Romero Díaz, 2015). Por otra parte, los 853,8 km<sup>2</sup> que han pasado de superficie agrícola a regadío, evidencian los fuertes procesos de transformación de secano a regadío acaecidos en las tres últimas décadas. No obstante, es importante resaltar que 843,2 km<sup>2</sup> de pérdida forestal, 645,7 km<sup>2</sup> han pasado a usos agrícolas sobre todo en las comarcas litorales.

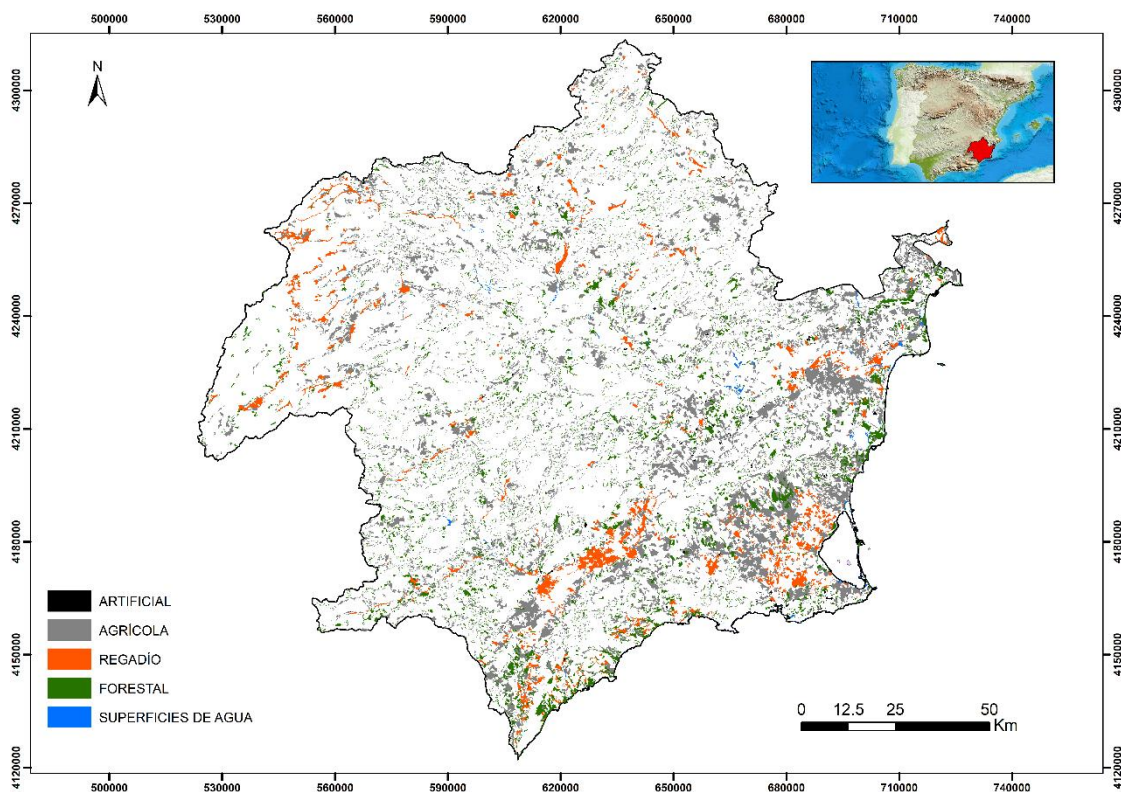


Figura 38. Distribución espacial de la superficie de pérdidas de usos del suelo entre 1990 y 2018. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del proyecto CORINE Land Cover.



Por otra parte, con respecto a las pérdidas de la categoría artificial es importante destacar que la mayor parte de los 48,7 km<sup>2</sup> que aparecen en la matriz de cambios se deben a los propios errores existentes en la matriz por la existencia de transiciones raras entre categorías, los cuales han sido detallados anteriormente. No obstante si es cierto que algunas zonas de extracción minera y vertederos en desuso si han pasado a formar parte de las categorías forestal o agrícola. Por último, en referencia a las pérdidas de la superficie de regadío, de los 531 km<sup>2</sup> que se han perdido, 407,3 km<sup>2</sup> se han transformado en otras superficies agrícolas, sobre todo frutales como el almendro que ha experimentado un aumento de su superficie en las últimas décadas (Romero Díaz et al., 2012). Dentro de la superficie perdida por los regadíos, cabe mencionar la reducción de la extensión de los regadíos tradicionales en la cabecera del Segura. En definitiva, los estudios de los cambios de los usos del suelo gracias a la múltiple información que ofrecen, pueden de ser de gran ayuda en la toma de decisiones y propuestas de mejora en la planificación urbanística y ordenación del territorio.



# **CAPÍTULO III**

## **ÁREA DE ESTUDIO**

### 3.1. Demarcación Hidrográfica del Segura y Mancomunidad de los Canales del Taibilla

Esta investigación centra su análisis en los ámbitos territoriales de la Demarcación Hidrográfica del Segura (DHS) y la Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT), localizados en el sureste de la península ibérica. Se ha seleccionado el marco espacial de estos organismos, debido a que ambos son los responsables de la gestión y la planificación de los recursos hídricos, y del abastecimiento de agua potable, respectivamente, de gran parte del cuadrante sureste de España.

El área de estudio tiene un total de 19.697,6 km<sup>2</sup>, de los cuales 19.025 km<sup>2</sup> pertenecen a la DHS. Los restantes 672,6 km<sup>2</sup> están englobados por términos municipales que forman parte de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ), pero que son abastecidos de agua potable por la MCT. Estos municipios se localizan en la provincia de Alicante y son los siguientes: Hondón de las Nieves, Hondón de los Frailes, Aspe, Elche, Santa Pola, Alicante y San Vicente del Raspeig. Los primeros cuatro términos municipales sí tienen parte de su territorio encuadrado en el territorio de la DHS.

Como se observa en la tabla 14, el área de estudio está conformada por parte del territorio de cuatro comunidades autónomas: Región de Murcia, Castilla-La Mancha, Andalucía y Comunidad Valenciana. La Región de Murcia es la que mayor territorio ocupa, representando un 56,8% del total. Además, casi la totalidad de su espacio (un 98,82%) forma parte de la DHS. Es seguida por Castilla-La Mancha (provincia de Albacete) con un 24,2%, y, por último, Comunidad Valenciana (provincia de Alicante) y Andalucía (provincias de Almería, Jaén y Granada), con un 10% y 9,1% respectivamente. Las provincias de Almería, Jaén y Granada representan el 5,8%, 3% y 0,3%, proporcionalmente (tabla 15). En la figura 39 se representa la distribución espacial del área de estudio.

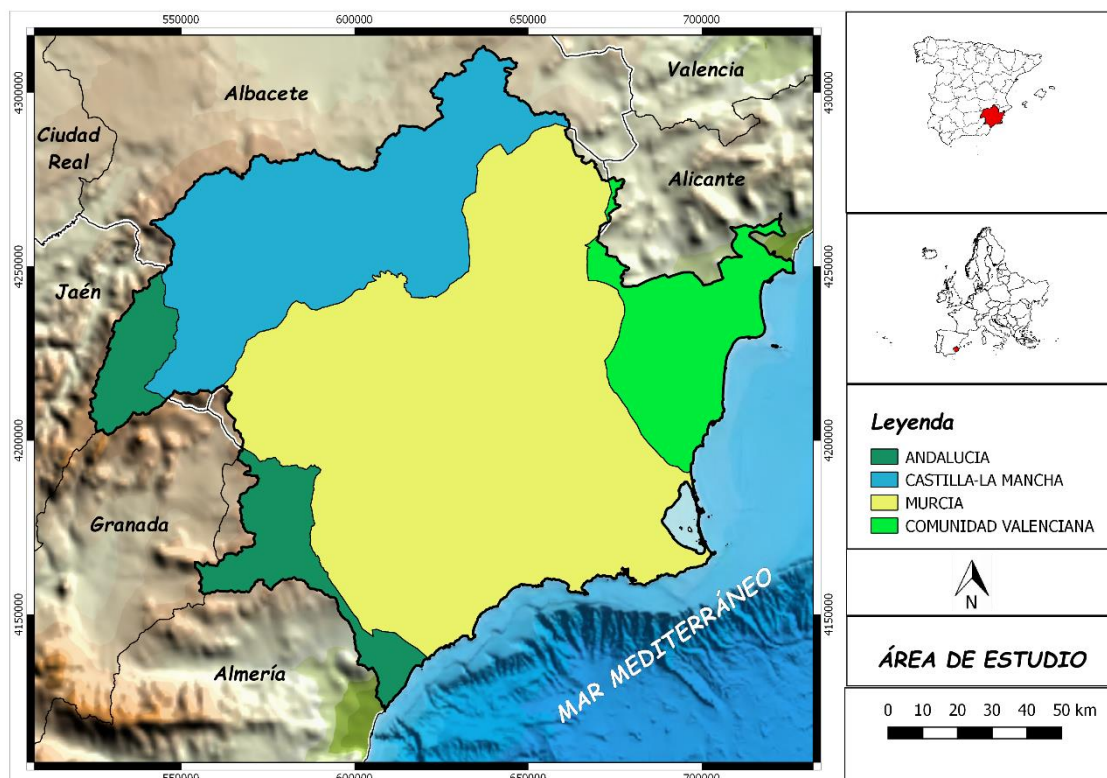
Comunidad Autónoma	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
Región de Murcia	11.180	56,8
Castilla-La Mancha	4.758,5	24,2
Comunidad Valenciana	1.972	10,0
Andalucía	1.787,1	9,1
Total	19.697,6	100

Tabla 14. Distribución de la superficie por comunidades autónomas. Fuente:

Elaboración propia.

Provincia	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
Murcia	11.180	56,8
Albacete	4.758,5	24,2
Alicante	1.972	10,0
Almería	1.132,9	5,8
Jaén	594,2	3,0
Granada	60	0,3
<b>Total</b>	<b>19.697,6</b>	<b>100</b>

Tabla 15. Distribución de la superficie por provincias. Fuente: Elaboración propia.



A su vez, está conformada por un total de 26 comarcas, de las cuales 12 se localizan en la provincia de Murcia, 5 en la provincia de Albacete, 5 en la provincia de Alicante, 2 en la provincia de Almería, 1 en la provincia de Granada y 1 en la provincia de Jaén. En la figura 40 se muestra la distribución espacial de estas comarcas, reflejándose en la tabla 16 la superficie y el porcentaje que ocupa cada una de ellas. Tan solo 11 de las 26 comarcas tienen la totalidad de su territorio en el área de estudio. Se trata de las comarcas de la provincia de Murcia (Alto Guadalentín, Bajo Guadalentín, Campo de Cartagena, Huerta de Murcia, Mar Menor, Oriental, Río Mula, Valle de Ricote, Vega Alta del Segura y Vega Media del Segura) y la comarca de la Vega Baja del Segura (provincia de Alicante).

ID	Comarca	Provincia	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
1	Altiplano	Murcia	1.509,1	7,7
2	Noroeste	Murcia	2.311,5	11,7
3	Vega Alta del Segura	Murcia	569,1	2,9
4	Valle de Ricote	Murcia	201,5	1,0
5	Oriental	Murcia	384,9	2,0
6	Río Mula	Murcia	727,5	3,7
7	Vega Media del Segura	Murcia	257,9	1,3
8	Huerta de Murcia	Murcia	956,4	4,9
9	Alto Guadalentín	Murcia	2.070,9	10,5
10	Bajo Guadalentín	Murcia	1.025	5,2
11	Campo de Cartagena	Murcia	859,6	4,4
12	Mar Menor	Murcia	306,6	1,6
13	Alto Vinalopó	Alicante	27	0,1
14	Medio Vinalopó	Alicante	256,4	1,3
15	Vega Baja del Segura	Alicante	957,5	4,9
16	Bajo Vinalopó	Alicante	489,3	2,5
17	Campo de Alicante	Alicante	241,8	1,2
18	Sierra del Segura	Albacete	2.615,2	13,3
19	Sierra de Alcaraz	Albacete	143,6	0,7
20	Albacete	Albacete	45,7	0,2
21	Monte Ibérico- Corredor de Almansa	Albacete	653,6	3,3
22	Campos de Hellín	Albacete	1.300,4	6,6
23	Sierra de Segura	Jaén	594,2	3
24	Huércar	Granada	60	0,3
25	Los Vélez	Almería	842,1	4,3
26	Levante Almeriense	Almería	290,8	1,5
Total			19.697,6	100

Tabla 16. Distribución de la superficie por comarcas. Fuente: Elaboración propia.

Las comarcas con mayor extensión son Sierra del Segura (13,3%), Noroeste (11,7%) y Alto Guadalentín (10,5%), representando entre las tres un tercio del territorio analizado. Sin embargo, como se verá en el apartado dedicado a la población, la Sierra del Segura y el Noroeste cuentan con una importante despoblación. En contraposición, comarcas litorales como Bajo Vinalopó, Campo de Alicante, Vega Baja del Segura o Campo de Cartagena, que tienen una superficie mucho más reducida, cuentan con una elevada concentración poblacional. Es importante destacar que las comarcas de la provincia de Albacete se constituyen como mancomunidades de municipios. En la figura 40, cada una de las comarcas está representada por un número (ID), el cual se puede consultar en la tabla 16. Además, aparecen representadas las capitales comarcales que se localizan dentro del área de estudio (un total de 19), que son las siguientes:

1)Yecla (Altiplano); 2) Caravaca (Noroeste); 3) Cieza (Vega Alta del Segura); 4) Archena (Valle de Ricote); 5) Oriental (Fortuna); 6) Mula (Río Mula); 7) Molina del Segura (Vega Media del Segura); 8) Murcia (Huerta de Murcia); 9) Lorca (Alto Guadalentín); 10) Totana (Bajo Guadalentín); 11) Cartagena (Campo de Cartagena); 12) San Javier (Mar Menor); 15) Orihuela (Vega Baja del Segura); 16) Elche (Bajo Vinalopó); 17) Alicante (Campo de Alicante); 18) Elche de la Sierra (Sierra del Segura); 21) Montealegre del Castillo (Monte Ibérico-Corredor de Almansa); 22) Hellín (Campos de Hellín); 25) Vélez Rubio (Los Vélez).

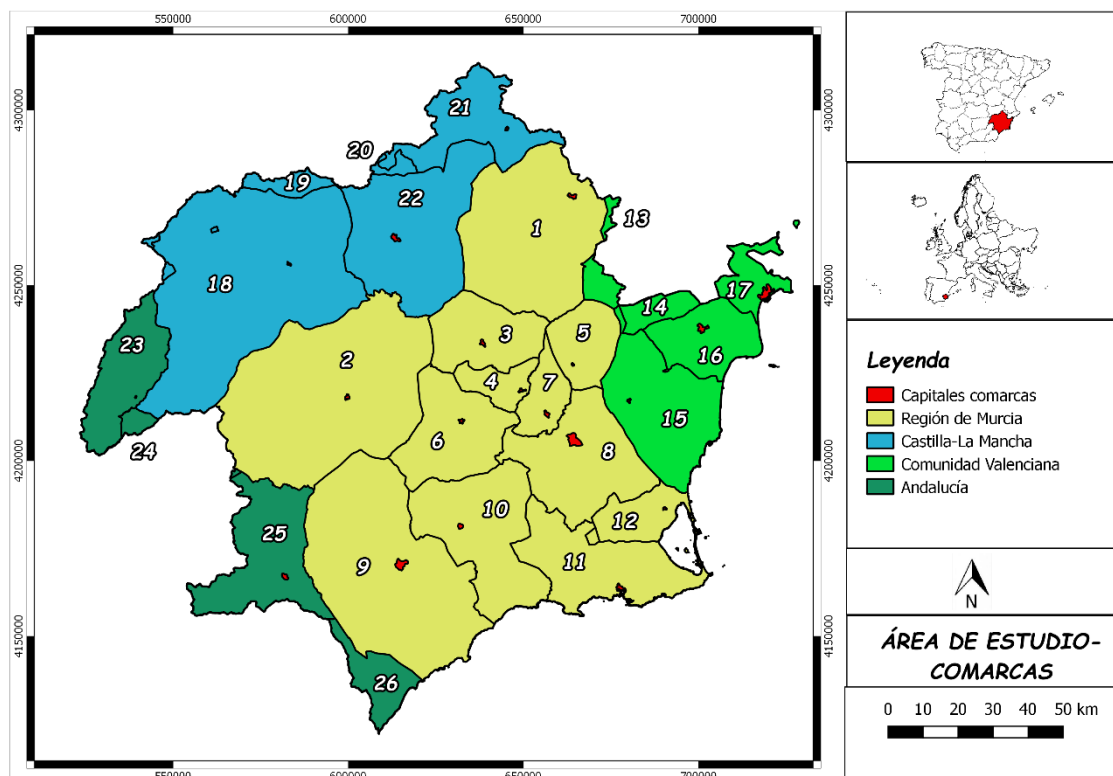


Figura 40. Distribución espacial de las comarcas. Fuente: Elaboración propia.

Por último, a escala municipal, existen un total de 140 municipios, en la que al menos una parte de su término municipal queda inserta dentro del área de estudio (45 se localizan en la provincia de Murcia, 36 en Albacete, 40 en Alicante, 9 en Almería, 6 en Jaén y 5 en Granada). Todos los municipios tienen la totalidad o parte de su término municipal en la DHS, excepto Santa Pola, Alicante y San Vicente del Raspeig, que pertenecen en su totalidad al territorio de la DHJ. Entre las tablas 17 y 20 se presenta la superficie y la comarca a la que pertenecen cada uno de estos municipios. Además, se muestra el ID con el que aparecen identificados en la figura 41, donde se observa la distribución espacial de los mismos (en cursiva se muestran los municipios pertenecientes a la MCT).

<b>ID</b>	<b>Municipio</b>	<b>Comarca</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>
1	Yecla	Altiplano	540,3
2	Jumilla	Altiplano	968,8
3	Moratalla	Noroeste	911
4	Caravaca	Noroeste	834,5
5	Calasparra	Noroeste	184,8
6	Cehegín	Noroeste	299,1
7	Bullas	Noroeste	82,1
8	Cieza	Vega Alta del Segura	366,9
9	Abarán	Vega Alta del Segura	114,9
10	Blanca	Vega Alta del Segura	87,3
11	Ricote	Valle de Ricote	86,8
12	Ojós	Valle de Ricote	45,3
13	Ulea	Valle de Ricote	40
14	Villanueva del Río Segura	Valle de Ricote	13,2
15	Archena	Valle de Ricote	16,4
16	Fortuna	Oriental	149,3
17	Abanilla	Oriental	235,6
18	Mula	Río Mula	633,8
19	Pliego	Río Mula	29,4
20	Albudeite	Río Mula	17
21	Campos del Río	Río Mula	47,3
22	Ceutí	Vega Media del Segura	10,2
23	Lorquí	Vega Media del Segura	15,7
24	Alguazas	Vega Media del Segura	23,7
25	Las Torres de Cotillas	Vega Media del Segura	38,8
26	Molina del Segura	Vega Media del Segura	169,5
27	Alcantarilla	Huerta de Murcia	16,2
28	Murcia	Huerta de Murcia	885,9
29	Santomera	Huerta de Murcia	44,2
30	Beniel	Huerta de Murcia	10,1
31	Lorca	Alto Guadalentín	1.674,4
32	Puerto Lumbreras	Alto Guadalentín	144,7
33	Águilas	Alto Guadalentín	251,8
34	Aledo	Bajo Guadalentín	49,1
35	Totana	Bajo Guadalentín	288,8
36	Alhama de Murcia	Bajo Guadalentín	311,5
37	Librilla	Bajo Guadalentín	56,5
38	Mazarrón	Bajo Guadalentín	318,5
39	Fuente Álamo de Murcia	Campo de Cartagena	273,5
40	Cartagena	Campo de Cartagena	560,5
41	La Unión	Campo de Cartagena	25,6
42	Torre-Pacheco	Mar Menor	189,4
43	Los Alcázares	Mar Menor	19,9
44	San Javier	Mar Menor	75
45	San Pedro del Pinatar	Mar Menor	22,3
		<b>Total</b>	<b>11.180</b>

Tabla 17. Distribución de la superficie de los municipios de la Región de Murcia.

Fuente: Elaboración propia.



<b>ID</b>	<b>Municipio</b>	<b>Comarca</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>
46	Villena	Alto Vinalopó	27
47	Pinoso	Medio Vinalopó	84,1
48	Algüenza	Medio Vinalopó	18,4
49	Monóvar	Medio Vinalopó	1,3
50	<i>Hondón de las Nieves</i>	<i>Medio Vinalopó</i>	68,9
51	<i>Hondón de los Frailes</i>	<i>Medio Vinalopó</i>	12,5
52	La Romana	Medio Vinalopó	0,3
53	Aspe	<i>Medio Vinalopó</i>	70,9
54	<i>Pilar de la Horadada</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	77,9
55	<i>Orihuela</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	365,5
56	<i>Benferri</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	12,4
57	<i>Redován</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	9,4
58	<i>Granja de Rocamora</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	7,2
59	<i>Callosa del Segura</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	24,8
60	<i>Albatera</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	61,5
61	<i>San Isidro</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	11,7
62	<i>Catral</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	20
63	<i>Cox</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	16,8
64	<i>Rafal</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	1,6
65	<i>Bigastro</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	4,1
66	<i>Jacarilla</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	12,2
67	<i>Benejúzar</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	9,3
68	<i>San Miguel de Salinas</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	54,9
69	<i>Dolores</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	18,7
70	<i>Almoradí</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	42,7
71	<i>Daya Nueva</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	7,1
72	<i>Daya Vieja</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	3,1
73	<i>Formentera del Segura</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	4,3
74	<i>Benijófar</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	4,4
75	<i>Rojales</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	27,6
76	<i>Algorfa</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	18,4
77	<i>Los Montesinos</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	51,1
78	<i>Torre Vieja</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	71,6
79	<i>San Fulgencio</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	19,7
80	<i>Guardamar del Segura</i>	<i>Vega Baja del Segura</i>	35,5
81	<i>Crevillente</i>	<i>Bajo Vinalopó</i>	104,6
82	<i>Elche</i>	<i>Bajo Vinalopó</i>	326,1
83	<i>Santa Pola</i>	<i>Bajo Vinalopó</i>	58,6
84	<i>San Vicente del Raspeig</i>	<i>Campo de Alicante</i>	40,5
85	<i>Alicante</i>	<i>Campo de Alicante</i>	201,3
Total			1.972

Tabla 18. Distribución de la superficie de los municipios de la Comunidad Valenciana.

Fuente: Elaboración propia.

<b>ID</b>	<b>Municipio</b>	<b>Comarca</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>
86	Riopar	Sierra del Segura	77,4
87	Paterna del Madera	Sierra del Segura	110,3
88	Molinicos	Sierra del Segura	143,5

89	Bogarra	Sierra del Segura	160,8
90	Ayna	Sierra del Segura	146,7
91	Liétor	Sierra del Segura	311,4
92	Elche de la Sierra	Sierra del Segura	239,3
93	Yeste	Sierra del Segura	510
94	Nerpio	Sierra del Segura	387,8
95	Letur	Sierra del Segura	263,4
96	Férez	Sierra del Segura	126,1
97	Socovos	Sierra del Segura	138,5
98	Salobre	Sierra de Alcaraz	0
99	Bienservida	Sierra de Alcaraz	0
100	Villaverde del Guadalimar	Sierra de Alcaraz	0,2
101	Vianos	Sierra de Alcaraz	10,7
102	Alcaraz	Sierra de Alcaraz	10
103	Peñascosa	Sierra de Alcaraz	24,4
104	Casas de Lázaro	Sierra de Alcaraz	2,6
105	Peñas de San Pedro	Sierra de Alcaraz	11,8
106	Alcadozo	Sierra de Alcaraz	66,7
107	Pozohondo	Sierra de Alcaraz	17,2
108	Albacete	Albacete	45,7
109	Pozo Cañada	Monte Ibérico-Corredor Almansa	23,3
110	Chinchilla de Monte Aragón	Monte Ibérico-Corredor Almansa	166,6
111	Higuera	Monte Ibérico-Corredor Almansa	53
112	Bonete	Monte Ibérico-Corredor Almansa	42,8
113	Pétrola	Monte Ibérico-Corredor Almansa	70
114	Corral Rubio	Monte Ibérico-Corredor Almansa	94,7
115	Montealegre del Castillo	Monte Ibérico-Corredor Almansa	172,8
116	Almansa	Monte Ibérico-Corredor Almansa	30,4
117	Tobarra	Campos de Hellín	306,4
118	Hellín	Campos de Hellín	775,8
119	Fuente Álamo	Campos de Hellín	133,3
120	Ontur	Campos de Hellín	54,5
121	Albatana	Campos de Hellín	30,5
Total			4.758,5

Tabla 19. Distribución de la superficie de los municipios de Castilla-La Mancha.

Fuente: Elaboración propia.

ID	Municipio	Comarca	Superficie (km <sup>2</sup> )
122	Santiago-Pontones	Sierra de Segura	396,6
123	Hornos	Sierra de Segura	11,9
124	Segura de la Sierra	Sierra de Segura	107,9
125	Orcera	Sierra de Segura	18,1
126	Benatae	Sierra de Segura	5,1
127	Siles	Sierra de Segura	54,6
128	Castril	Huéscar	0,2
129	Huéscar	Huéscar	55,8
130	Puebla de Don Fadrique	Huéscar	3,8
131	Orce	Huéscar	0,1
132	Cúllar	Baza	0,1
133	María	Los Vélez	72,1

134	Vélez Blanco	Los Vélez	413,3
135	Chirivel	Los Vélez	164,3
136	Vélez Rubio	Los Vélez	192,4
137	Oria	Valle del Almanzora	0,2
138	Huércal-Overa	Levante Almeriense	51,3
139	Cuevas de Almanzora	Levante Almeriense	144,7
140	Pulpi	Levante Almeriense	94,6
Total			1781,1

Tabla 20. Distribución de la superficie de los municipios de Andalucía. Fuente:

Elaboración propia.

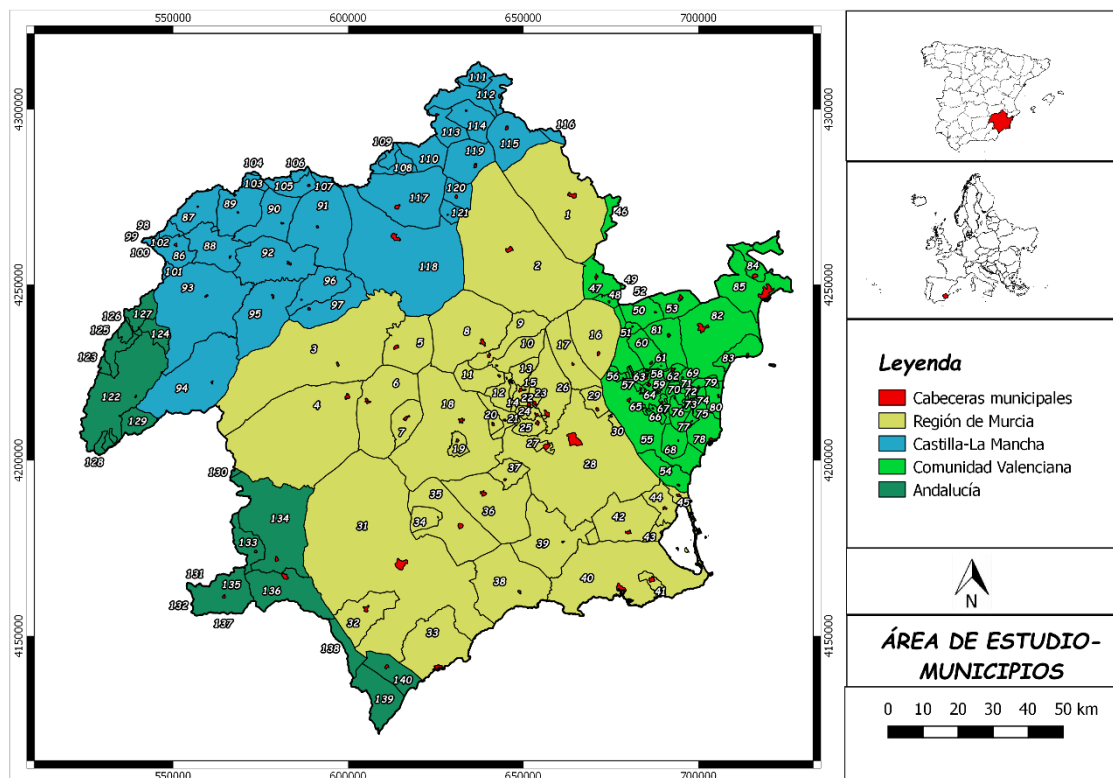


Figura 41. Distribución espacial de los municipios. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 41 puede verse que, en general, los términos municipales son bastantes extensos. De hecho, los municipios de Lorca, Jumilla, Moratalla, Murcia y Caravaca se encuentran entre los veinte más extensos de España. Destaca por encima de todos el término municipal de Lorca, con un total de 1674,4 km<sup>2</sup>, lo que se corresponde con un 8,5% del total del área de estudio. Se trata del segundo término municipal más extenso de España. Este aspecto es algo característico de la división municipal de España, en la que hay una clara dicotomía entre los extensos municipios de la mitad sur y los reducidos de la mitad norte. Esta división obedece fundamentalmente a diferentes fases de la reconquista, ya que en la mayor parte de los municipios del sur la ocupación fue más

rápida y estuvo comandada por las órdenes militares. Además, la escasez de agua es también un factor clave para que los municipios sean más extensos (Burgueño Ribero y Guerrero Lladós, 2004).

En las comarcas de la Vega Media del Segura, Valle de Ricote y Vega Baja del Segura, sin embargo, los municipios son muy reducidos (figura 41), y hay una alta concentración de estos en un territorio muy reducido. La presencia del río Segura es un factor fundamental para que la población se asentara en sus vegas. La Vega Baja del Segura cuenta con 27 municipios, siendo la extensión media de 35,4 km<sup>2</sup>/municipio. Los municipios del Valle de Ricote y la Vega Media del Segura tienen una extensión media de 40,3 y 51,6 km<sup>2</sup>/municipio, respectivamente.

Por último, cabe destacar que los municipios de Cúllar y Oria se encuentran en las comarcas de Baza y Valle del Almanzora, las cuales no han sido incluidas en el análisis de las comarcas porque su territorio en el área analizada es insignificante.

Para finalizar este apartado introductorio sobre el área de análisis, en las figuras 42 y 43, se presenta la superficie ocupada por el territorio de los dos organismos analizados en esta tesis: DHS y MCT. En primer lugar, y como ya se ha mencionado, la DHS tiene una superficie de 19.025 km<sup>2</sup> (figura 42), lo que se corresponde con un 96,6% del área de estudio. Además, un total de 137 municipios tienen al menos una parte de su territorio en dicha área. La población, a 1 de enero de 2018, es de 1.959.168 habitantes (Instituto Nacional de Estadística-INE), lo que se corresponde con un 74,4% del total. Por otra parte, la MCT realiza el abastecimiento de agua potable de un total de 80 municipios (43 en la provincia de Murcia, 35 en Alicante y 2 en Albacete), ocupando una superficie de 11.776,4 km<sup>2</sup> (figura 43), representando un 59,8% del territorio. La población abastecida, a 1 de enero de 2018, es de 2.477.058 habitantes (INE), constituyendo un 94,1% del total. Estas diferencias serán explicadas en el subapartado dedicado a la población. En la figura 43 se muestra el ID de cada uno de los municipios, el cual aparece entre las tablas 17 y 19. A continuación, son descritas las características territoriales básicas del área analizada.

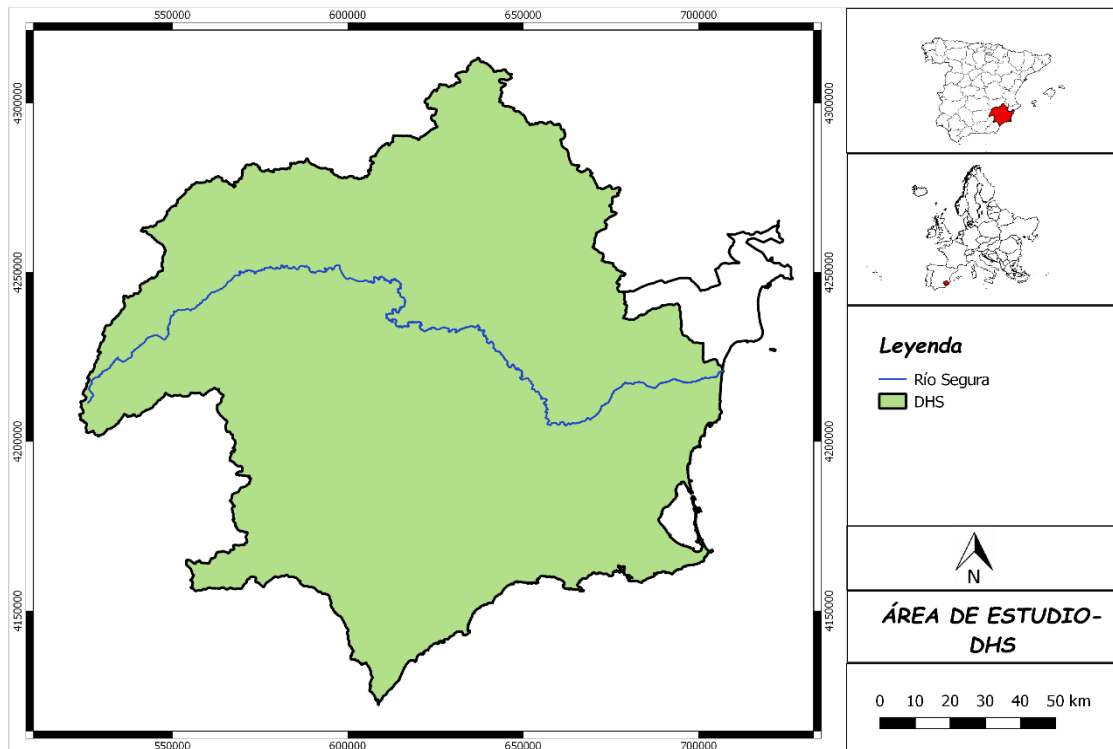


Figura 42. Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Segura. Fuente:

Elaboración propia.

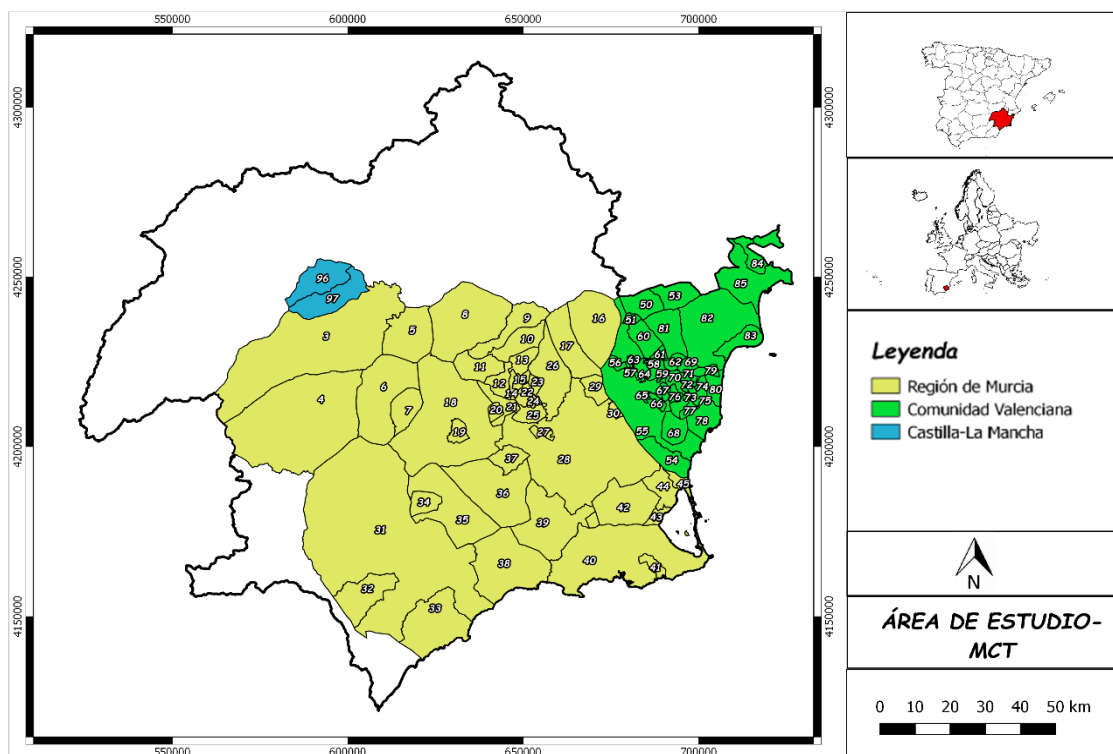


Figura 43. Ámbito territorial de la Mancomunidad de Canales del Taibilla. Fuente:

Elaboración propia.

### 3.1.1. Relieve

Una de las singularidades del área de estudio es la elevada variabilidad orográfica que presenta. De este modo, se alternan sistemas montañosos que superan los 2000 metros de altitud (msnm.) con valles, depresiones y llanuras costeras, y altiplanicies. El territorio se distribuye de la siguiente forma: el 18% está por debajo de los 200 msnm, el 40% se encuentra a menos de 500 msnm, y el 81% bajo la cota de 1000 msnm (CHS, 2014). Por encima de los 2000 msnm, tan solo se encuentran las zonas de cumbre de las sierras de María, Taibilla, Cabras y Revolcadores (figura 44).

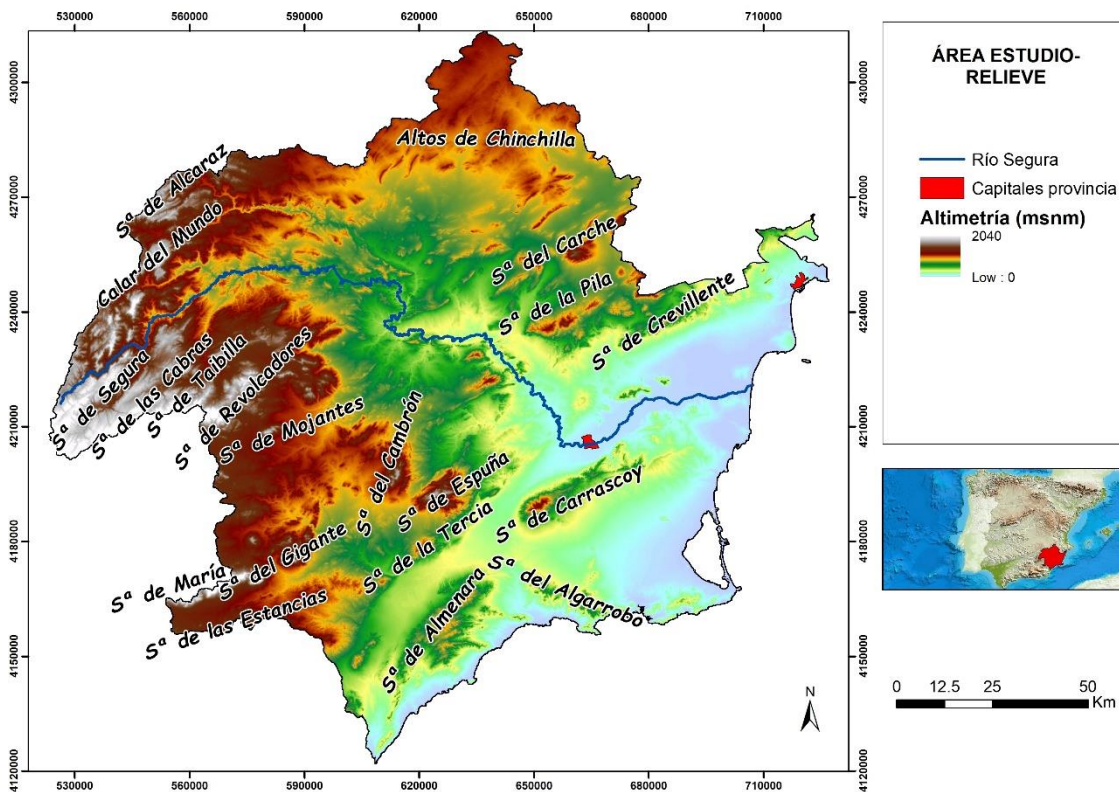


Figura 44. Relieve. Fuente: Elaboración a partir del MDT25 realizado por el IGN.

El relieve presenta acusados contrastes derivados de la combinación de múltiples factores estructurales, tectónicos y climáticos. Esto es debido a que el sureste peninsular se encuentra situado dentro de uno de los sistemas morfoestructurales más complejos de la península ibérica: las Cordilleras Béticas (Conesa García, 2006). En la figura 44, se observa como las mayores elevaciones se localizan en el extremo noroccidental, y las áreas más llanas en la parte suroriental: vegas del Segura y Vinalopó, Campo de Cartagena y Campo de Alicante. Este gradiente altitudinal se debe fundamentalmente a

la disposición del dominio Prebético en la mitad norte, Subbético en la parte central y Penibético en la mitad sur (conformando las sierras litorales y prelitorales).

Las mayores altitudes y pendientes se sitúan en las sierras de Segura (1964 msnm), del Taibilla (2034 msnm) y las Cabras (2040 msnm), ubicadas en el extremo noroccidental. En la sierra de Segura se localiza la cabecera del río Segura, la principal arteria fluvial del área de estudio. Además, en esta zona se ubica la divisoria de aguas entre la vertiente atlántica y mediterránea. En la parte oriental de la sierra del Taibilla, se sitúan el Macizo de Revolcadores (2014 msnm) y la sierra de Mojantes (1612 msnm). Dentro de este ámbito noroccidental, en su parte septentrional, se encuadran la sierra de Alcaraz (1796 msnm) y el Calar del Mundo (1631 msnm). Estos relieves tienen en general una marcada dirección suroeste-noreste. Por otra parte, la zona nororiental está caracterizada por la presencia de las estribaciones meridionales de la meseta sur. Estas tierras meseteñas conforman la comarca natural de la Mancha de Montearagón. En la comarca del Altiplano de Murcia destaca la sierra del Carche (1372 msnm).

Desde los relieves noroccidentales se van abriendo paso los principales ríos de la DHS (Segura, Zumeta, Tus, Madera y Mundo), a través de valles y corredores fluviales. De esta forma, se van conformando amplios valles y vegas, siendo la más destacada la vega del río Segura. La Vega Media del Segura queda delimitada por una serie de relieves montañosos, entre lo que destacan la sierra de Ricote (1122 msnm) y la sierra de la Pila (1264 msnm). Por otra parte, en el extremo suroccidental, delimitando el extenso valle del Guadalentín, se encuentran una serie de sistemas montañosos que superan ligeramente los 2000 msnm, como el caso de la sierra de María (2040 msnm). En este sector también se localizan la sierra del Gigante (1493 msnm) y la sierra de la Estancias (1300 msnm). En el borde septentrional de este valle se ciñen la sierra del Cambrón (1529 msnm) y sierra Espuña (1583 msnm).

Por último, entorno al litoral, se encuadran una serie de sierras y valles litorales y prelitorales. Son sierras de mediana altitud, como las sierras de Almenara (879 msnm), de la Tercia (964 msnm), de Carrascoy (1064 msnm), del Algarrobo (713 msnm) o de Crevillente (819 msnm). Estos sistemas son circundantes de valles y depresiones litorales, como el Campo de Cartagena, Mar Menor, Vegas Media y Baja del Segura o Huerta de Alicante. En estas llanuras litorales se concentran la mayor parte de la población y actividades económicas.

### 3.1.2. Clima

La disposición del relieve juega un papel primordial en la elevada variabilidad climática existente en este territorio. Entre los factores geográficos que condicionan el clima se pueden destacar los siguientes: latitud, componentes atmosféricos, la configuración de las alineaciones béticas, la distancia al mar y la presencia de un contorno litoral orientado hacia el Este y el Sur (López Bermúdez, 1985; Camero Iriarte et al., 2008). Esta serie de condicionantes implican que el sureste de la península ibérica se vea afectado por situaciones atmosféricas muy diversas, asociadas a la circulación zonal y meridiana de flujos de aire polar y aire tropical, siendo predominantes las masas de aire cálido tropical modificadas en su recorrido por el mar Mediterráneo (Gil Olcina, 2007). A su vez, durante gran parte del año, se halla sometido a la acción de abrigo aerológico que ejerce el Anticiclón de las Azores, responsable de largos e intensos periodos de sequía (Font Tullot, 1988). Las situaciones atmosféricas generadoras de episodios pluviométricos secos son analizadas en el Capítulo 2.

La variable precipitación cuenta con una elevada variabilidad interanual, que se constituye como una de las principales características del clima mediterráneo y los climas semiáridos. De este modo, se suceden largos periodos secos, con episodios de lluvias torrenciales, que causan graves inundaciones (Olcina Cantos, 2001a). Los episodios de lluvias intensas en la vertiente mediterránea están asociados en la mayoría de los casos a advecciones del Este, predominando las componentes E y NE (Marco Ortega et al., 2018). Aunque son menos frecuentes, las advecciones de SE son las que provocan los acumulados pluviométricos más cuantiosos (Capel Molina, 1983). El reforzamiento del anticiclón centroeuropeo, junto a las bajas presiones situadas en el norte de África, permiten las advecciones del E de largo recorrido marítimo (Espín Sánchez et al., 2017)

Se ha demostrado que existe una clara relación entre las advecciones del E y las precipitaciones torrenciales (Gil Olcina, 1988; Quereda Sala y Montón Chiva, 1997; Estrela Navarro et al., 2002). No obstante, la presencia de estos vientos húmedos no son sinónimo de lluvias torrenciales, ya que es necesario la combinación de otros factores para generar una acusada inestabilidad atmosférica (Jansá et al., 1990; Rivera Pérez, 1990). Entre ellos ocupan un lugar preferente las Depresiones Aisladas en Niveles Altos (DANAs). Por DANA se entiende una depresión cerrada en altura que se ha aislado y separado completamente de la circulación asociada al chorro, y que se mueve



independientemente de tal flujo llegando, a veces, a ser estacionaria o incluso retrograda (desplazamiento este-oeste) (Martín León, 2003).

Cuando las DANAs se sitúan sobre la vertical del Estrecho de Gibraltar pueden generar episodios de acusada inestabilidad atmosférica en el sureste de la península ibérica, constituyendo un elevado riesgo potencial de lluvias torrenciales. Esta configuración sinóptica favorece normalmente la entrada de viento del este de gran recorrido, que está motivada por la posición del anticiclón centroeuropeo (Espín Sánchez et al., 2017). Esta es la situación sinóptica más proclive para provocar lluvias de elevada intensidad horaria en el área de estudio, sobre todo durante las estaciones equinocciales. Suelen ser más intensos durante el otoño, ya que se ven favorecidos por el caldeoamiento veraniego del Mar Mediterráneo y el consiguiente contraste térmico entre las superficies del mar y la tierra (Quereda Sala et al., 2006). En numerosos estudios se ha demostrado la relación entre las anomalías positivas de la temperatura del mar mediterráneo y las lluvias torrenciales en la vertiente mediterránea española (Pastor Guzmán et al., 2015).

El relieve de las Cordilleras Béticas también ejerce una función primordial al facilitar el despegue de las capas más bajas por convección forzada o turbulencia (Gil Olcina, 2004). La disposición de este arco montañoso favorece la convección orográfica en los relieves interiores cuando se producen las entradas de masas de aire muy húmedas de dirección este-oeste (Llasat Botija, 2009), configurándose de este modo auténticas islas de humedad en las sierras expuestas a los vientos de origen marítimo (Capel Molina, 1991). Por otra parte, la formación de una baja secundaria sobre el Mar de Alborán puede aportar la advección de vientos de sureste muy húmedos, pudiendo propiciar la intensificación de las precipitaciones. En definitiva, la conjunción de estos factores genera una acusada inestabilidad atmosférica, provocando precipitaciones de alta intensidad horaria que pueden producir graves avenidas e inundaciones (López Bermúdez et al., 2002).

Este carácter torrencial, unido a la intrincada estructura fluvial de la red de drenaje (Camero Iriarte et al., 2008), es el responsable de las numerosas crecidas e inundaciones que desde tiempos históricos han afectado a este territorio (Ferrerías Fernández, 2004; Olcina Cantos y Giménez Ferrer, 2004). Las precipitaciones máximas diarias se registran en el extremo suroriental y litoral oriental del área de estudio, debido a su disposición favorable (barlovento) a los vientos húmedos y la configuración de los relieves litorales. Los récords de precipitación máxima diaria se localizan en observatorios situados en la costa. El 4 de noviembre de 1987 se registró una precipitación de 330 mm en San Javier, y el 30 de

septiembre de 1997 en Alicante, 270,2 mm (Garrido Abenza et al., 2014; Benhamrouche y Martín Vide, 2011). El registro de San Javier supera incluso su precipitación media anual del periodo de referencia 1981-2010 (311,8 mm), lo que evidencia la elevada torrencialidad y variabilidad de las precipitaciones. Recientemente en el episodio de lluvias torrenciales de septiembre de 2019, se registraron 420,6 mm en Orihuela el día 12 de septiembre (día pluviométrico), constituyéndose como récord absoluto de precipitación diaria en el área de estudio (Núñez Mora, 2019).

Durante las dos últimas décadas, se ha producido un drástico aumento de la vulnerabilidad de la población frente a los fenómenos de inundación, propiciada sobre todo por la expansión de nuevas áreas residenciales y cultivos agrícolas, que ocupan indebidamente superficies de cauces y zonas inundables (Pérez Morales, 2008; Rico Amorós et al., 2010; Conesa García et al., 2017; García Ayllón, 2018). Este incremento es especialmente significativo en zonas del litoral (Olcina Cantos, 2017). Este hecho se ha podido corroborar durante los episodios de lluvias torrenciales acontecidos en las últimas dos décadas, que provocaron cuantiosas pérdidas debido a las inundaciones ocasionadas (Homar et al., 2002; Amengual et al., 2015; Espín Sánchez et al., 2017).

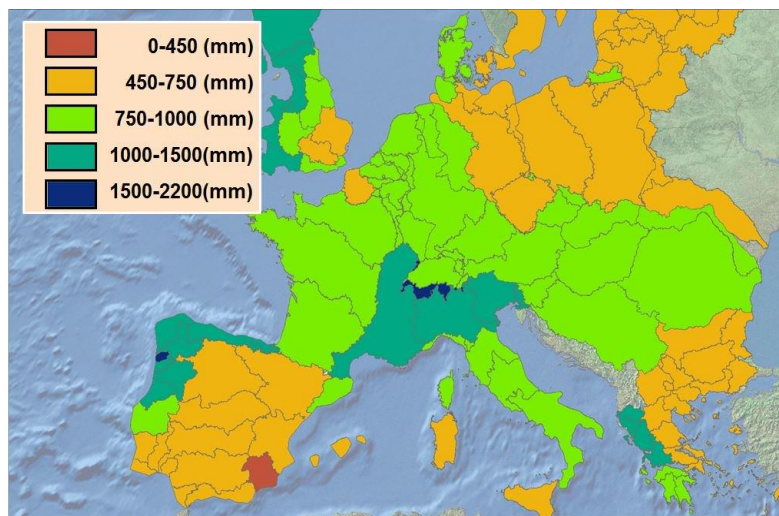


Figura 45. Precipitación media de las demarcaciones hidrográficas europeas. Fuente: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA).

Los componentes geográficos y climáticos mencionados condicionan la irregular y heterogénea distribución espacial de las precipitaciones. La precipitación media de la DHS es de 375 mm (CHS, 2015), para el periodo 1980/81- 2011-2012. En la totalidad del área de estudio, la precipitación media para el periodo de referencia 1981-2010 es de 364,3 mm, según los registros de la base de datos de la Agencia Estatal de Meteorología

(AEMET). La DHS es la demarcación hidrográfica más árida de Europa, y la única de un total de 215 cuya precipitación media es inferior a los 450 mm (figura 45). Por tanto, posee una situación de escasez pluviométrica estructural, lo que deriva en un déficit hídrico relevante.

Existe una clara relación entre la distribución espacial de la precipitación media anual y el relieve, de modo que los máximos pluviométricos se registran en los relieves noroccidentales (S<sup>a</sup> de Segura, Calar del Mundo y S<sup>a</sup> de Alcaraz), superándose puntualmente los 1000 mm/año (figura 46). En esta zona, los frentes atlánticos se encuentran con relieves superiores a 1500 msnm, por lo que las masas de aire se ven obligadas a ascender (disparo orográfico) y dejan importantes precipitaciones a barlovento de dicho flujo. En el resto del área de estudio, localizada a sotavento del flujo húmedo atlántico, los frentes llegan bastante degradados debido a la acción de barrera orográfica (efecto Foehn) de relieves como la S<sup>a</sup> de Segura (Capel Molina, 1983).

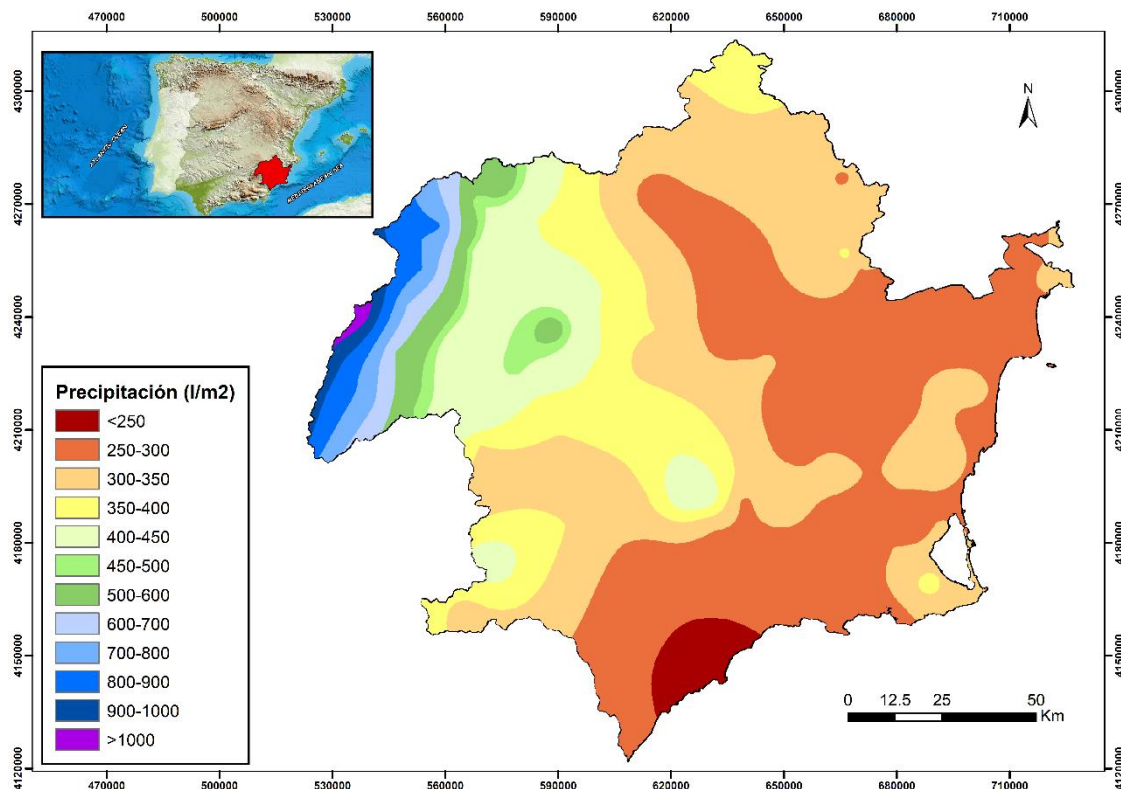


Figura 46. Precipitación media anual (periodo de referencia 1981-2010). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Agencia Estatal de Meteorología.

De este modo, se produce un descenso gradual de las precipitaciones desde el extremo noroccidental, donde se superan los 1000 mm, hasta el extremo suroccidental, donde los acumulados medios anuales son inferiores a los 200 mm, en la zona de Águilas (Figura

46). El litoral suroccidental de la Región de Murcia, junto al litoral de la provincia de Almería, se configuran como las zonas más áridas del continente europeo. Sin embargo, las comarcas situadas en la costa oriental presentan acumulados superiores que oscilan entre 250 y 350 mm, debido a su exposición favorable a las advecciones del E (Conesa García y Alonso Sarriá, 2006; Quereda Sala y Montón Chiva; 2019). Sierras interiores que superan los 1500 msnm, como S<sup>a</sup> España o S<sup>a</sup> del Cambrón, se constituyen como una excepción a este esquema general, ya que su disposición a barlovento del viento de levante permite que se conformen como islas de humedad, superando los 450 mm.

Con respecto a la distribución estacional de las precipitaciones, cabe destacar que, en la mayor parte de los observatorios, los máximos pluviométricos se registran durante los equinoccios, siendo el otoño la estación más húmeda. El arco montañoso noroccidental supone una excepción a este patrón al actuar de barrera orográfica frente al flujo atlántico, estableciéndose como la única zona donde se producen los máximos de precipitación invernales característicos del clima mediterráneo (Conesa García y Alonso Sarriá, 2006). No obstante, en la mayoría de los observatorios, el reparto pluviométrico porcentual es similar en los equinoccios y el invierno. En algunos observatorios del litoral y prelitoral el invierno es la segunda estación más húmeda, debido a que el reforzamiento del anticiclón centroeuropeo durante este periodo favorece el flujo de levante. Durante el verano la sequía estival es muy acusada en la mitad meridional del territorio, configurándose como una de las principales características del clima mediterráneo. En cambio, en la mitad septentrional (sector de mayor altitud), el estío no es tan seco, como consecuencia del desarrollo de fenómenos termoconvectivos que dan lugar a chubascos tormentosos.

Por otra parte, las temperaturas están también muy ligadas a la orografía. De esta forma, en los relieves de mayor altitud del extremo noroccidental la temperatura media anual es de 8°C. Desde este arco montañoso, se produce un aumento paulatino del promedio anual hasta superar los 18°C en torno al litoral, y en los valles del Segura y Vinalopó (figura 47). En el sector noroccidental los inviernos son fríos y los veranos templados. En cambio, en el resto del territorio los inviernos son suaves y los veranos calurosos. No obstante, la cercanía al mar suaviza las temperaturas. Se observa un aumento de la continentalidad desde la franja costera hasta la zona noroccidental (Capel Molina, 1983), algo característico de los climas mediterráneos.

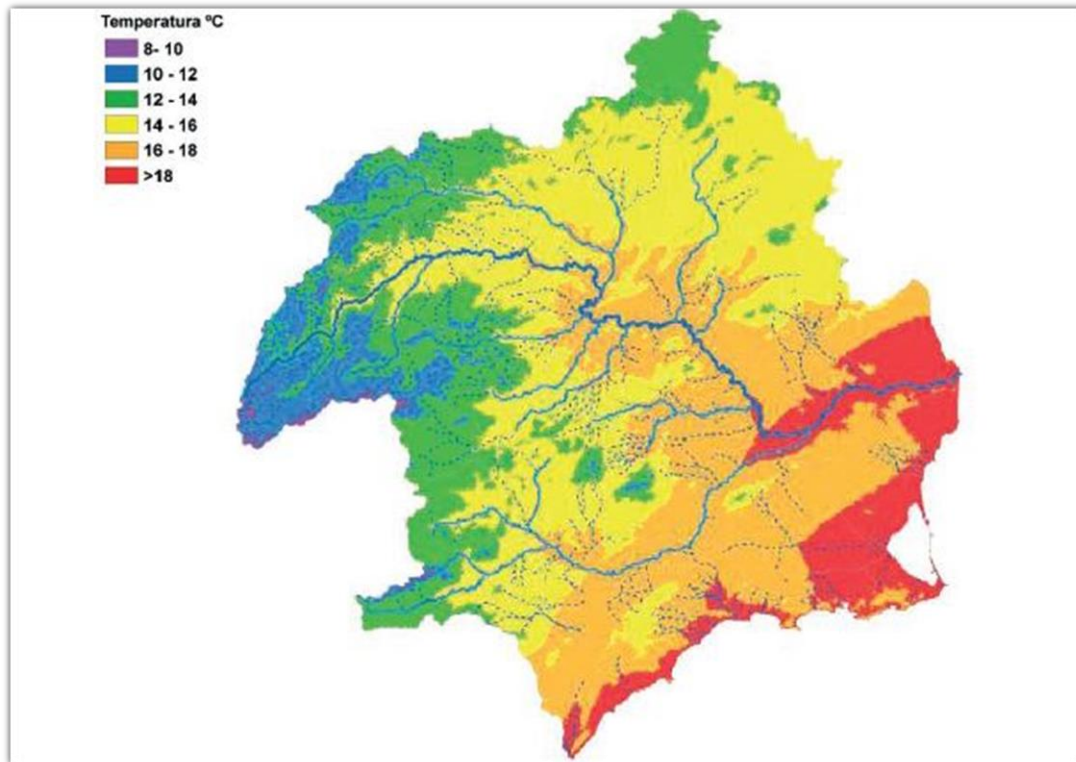


Figura 47. Temperatura media anual en la DHS. Fuente: Camero et al. (2008).

Los extremos térmicos son otra de las peculiaridades climáticas del sureste peninsular. Durante el invierno predominan las situaciones anticiclónicas sobre la península ibérica. La conjunción de las altas presiones y las advecciones de masas de aire frío polares o árticas pueden dar lugar a la aparición de fuertes inversiones térmicas, que originan heladas, sobre todo en los valles fluviales intrabéticos (Espín Sánchez, 2014). En los valles litorales y prelitorales estas heladas pueden provocar importantes pérdidas económicas, ya que en estas zonas se cultivan hortalizas como la lechuga o el brócoli, que son muy vulnerables ante las bajas temperaturas. Estas masas de aire frío pueden motivar episodios de olas de frío, que tienen mayor incidencia en zonas del interior (Rodríguez Ballesteros, 2012; Espín Sánchez, 2015). En ocasiones, estas advecciones frías pueden causar importantes nevadas, sobre todo cuando actúa la masa de aire de origen polar continental, pues en su desplazamiento favorece la llegada de vientos húmedos del mediterráneo (Olcina Cantos y Soriano Andreu, 2002). Las heladas son un meteoro habitual en puntos del interior, superándose las 150 heladas/año en la altiplanicie de los Campos de Hernán Perea, por ejemplo, localizada en la S<sup>a</sup> de Segura (provincia de Jaén). Las formaciones kársticas (dolinas y poljes) de esta área ayudan a originar temperaturas inferiores a los -20°C (Espín Sánchez et al., 2018).

Durante los meses de julio y agosto se alcanzan los máximos de temperatura, siendo el mes de julio el más cálido. En las últimas décadas, la frecuencia de episodios de olas de calor ha aumentado considerablemente, así como la duración de los mismos (Yagüe et al., 2006; Rodríguez Ballesteros, 2012). El 4 de julio de 1994, el observatorio de Alfonso X de la ciudad de Murcia registró una máxima de 47,2°C, que es el dato más elevado registrado en la red secundaria de estaciones de AEMET (Garrido Abenza et al., 2014). Asimismo, se ha producido un incremento acusado en el número de noches tropicales y noches ecuatoriales, siendo especialmente destacado en las áreas urbanas de Alicante y Murcia, y en los valles prelitorales y litorales (Royé y Martí, 2016; Espín Sánchez y Conesa García, 2018). El incremento de estos parámetros puede incidir negativamente en actividades como el turismo, produciendo un descenso durante los meses estivales de los valores del índice de confort climático (Olcina Cantos, 2012a; Miró Pérez et al., 2016).

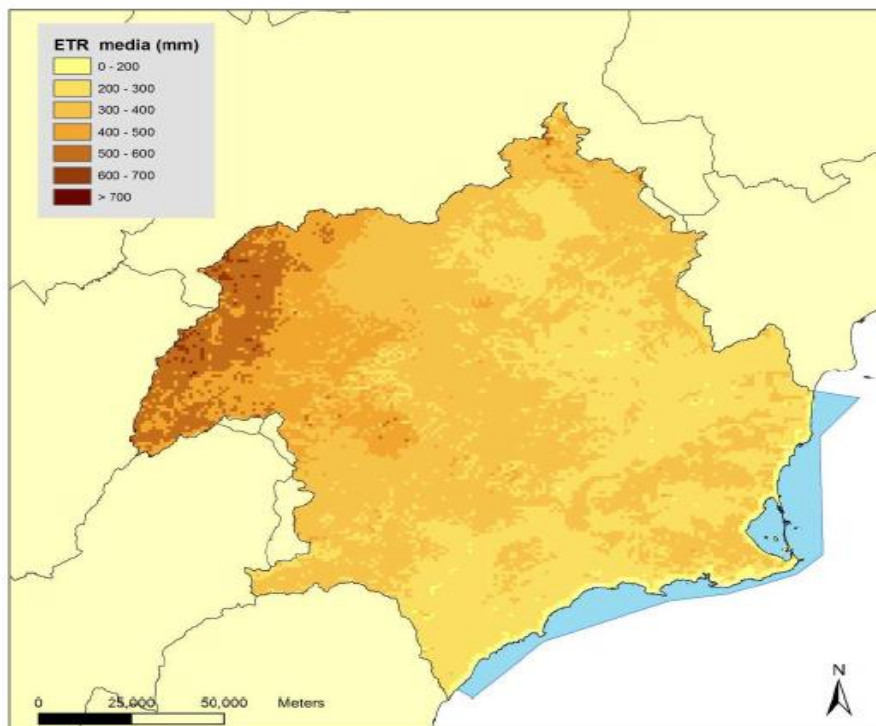


Figura 48. Evapotranspiración Real media en la DHS. Fuente: Camero et al. (2008).

Respecto a la variable evapotranspiración potencial (ETP), cabe mencionar que su distribución espacial sigue el mismo patrón que las temperaturas, registrándose los valores más bajos en zonas de cabecera y los más altos en áreas litorales. El valor medio anual para la DHS (estimado a partir del modelo de Thornthwaite) es de 993 mm (CHS, 2015). El valor medio de ETP es muy superior al registro de evapotranspiración real



(ETR), que es de 335 mm para el periodo de referencia 1980/81-2011/2012 (CHS,2015). En la figura 48 se muestra la distribución espacial de la ETR en la DHS, que sigue la misma distribución espacial que las precipitaciones. El índice de aridez de la UNESCO, que relaciona la ETP y la precipitación, clasifica casi todo el territorio como semiárido, con las excepciones de la cabecera del río Segura (categorías húmeda y subhúmeda) y el litoral (árido).

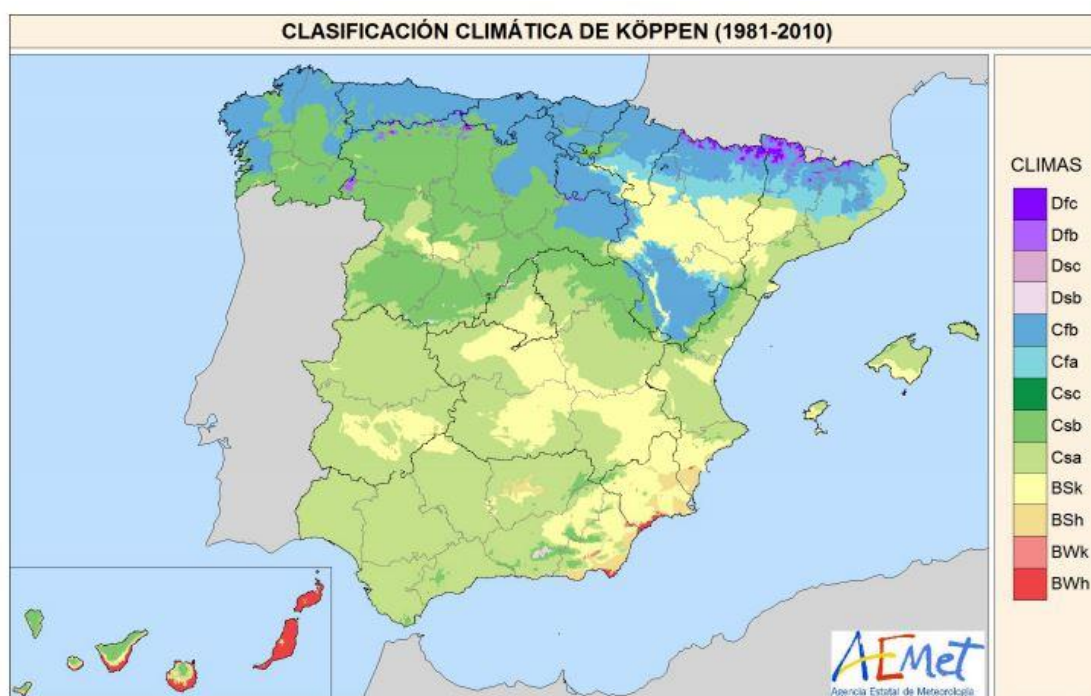


Figura 49. Clasificación climática de Köppen para España (periodo de referencia 1981-2010). Fuente: AEMET.

En definitiva, la conjunción de todas estas variables climáticas da como resultado una región climática con elevada aridez, caracterizada por la presencia de importantes fluctuaciones interanuales (López Bermúdez y Alonso Sarriá, 2001). La cartografía de la clasificación climática de Köppen (Köppen, 1936; Peel et al., 2007) realizada por AEMET para el periodo 1981-2010 (figura 49), determina que gran parte del área de estudio, se encuentra bajo el dominio de los climas semiáridos o secos (Bsk y Bsh — k: temperatura media anual inferior a 18°C; h: superior a 18°C). En numerosos estudios se han definido estos subtipos como clima Mediterráneo Seco (Gómez Zotano et al., 2015; Garrido Abenza et al., 2014). Se trata de climas de transición entre el clima mediterráneo y los climas desérticos. En la zona de cabecera del Segura, por encima de los 1000 msnm, se localiza el clima templado con veranos secos y frescos (Csb). En Gómez Zotano et al.

(2015), se especifica que esta zona tiene un clima mediterráneo frío de cimas prebéticas. Zonas de mayor altitud como los Campos de Hernán Perea (altitud media de 1700 msnm), caracterizadas por fuertes inversiones térmicas en invierno, podrían encuadrarse dentro del clima frío de verano seco y fresco (Dsb), ya que se ha comprobado que la temperatura media del mes más frío está por debajo de 0°C (Espín Sánchez et al., 2018). Por último, una reducida franja del litoral suroccidental posee un clima desértico cálido (Bwh), coincidiendo con el área donde las precipitaciones anuales son inferiores a 200 mm.

### **3.1.3. Hidrología, demanda agrícola y disponibilidad de recursos hídricos**

La red de drenaje de la DHS se caracteriza por su elevado grado de jerarquización (Camero Iriarte et al., 2008). El comportamiento hidrogeológico de los materiales que aparecen en la demarcación es muy variado y complejo. El dominio Prebético es el área donde se reúnen las mejores cualidades estructurales y litológicas para la recarga de los acuíferos (López Bermúdez, 1972). A ese aspecto hay que unir que esta zona se constituye como la más húmeda del territorio. Esta franja territorial se corresponde con la cabecera del río Segura, que se conforma como el cauce principal de la DHS. Su nacimiento se localiza en el municipio jienense de Santiago-Pontones, en la sierra de Segura, a una altitud de 1413 msnm. Tiene una longitud de 325 km hasta su desembocadura en la localidad alicantina de Guardamar del Segura.

Los regímenes fluviales presentan una elevada complejidad y variedad, y están fuertemente influenciados por la distribución espacial de las precipitaciones. En función de la temporalidad de los cauces, en el PHDS 2015/21 se establecen 4 categorías: ríos permanentes, temporales, intermitentes y efímeros. Estos últimos están conformados por las ramblas semiáridas. Por otra parte, atendiendo a la morfometría y al régimen hidráulico, cabe mencionar que las subcuencas de mayor pendiente media se encuadran en la zona de la cabecera de la demarcación, localizándose las subcuencas más llanas en las depresiones litorales. En función de la pendiente media, se pueden diferenciar cuatro tipos de cauces (Camero Iriarte et al., 2008): 1) Tranquilos: presentan una pendiente media inferior a un 0,2% (ejemplo: tramo bajo del río Segura); 2) Rápidos: pendiente media entre 0,2 y 1,5% (ejemplos: ríos Quípar y Mula); 3) Torrenciales: tramos fluviales con pendiente alta entre 1,5 y 6% (ejemplos río Zumeta y rambla de Algeciras); 4) Torrentes: tramos con pendiente muy alta superior al 6% (zonas de cabecera).



Los regímenes pluviométricos son una clara muestra de la escasez pluviométrica reinante en este territorio. Los cauces de cabecera (ríos Zumeta, Segura, Mundo, Tus o Madera) son los únicos que presentan un régimen pluvionival atenuado (López Bermúdez, 1972). El río Mundo es el afluente más importante del río Segura. Es precisamente en esta área, y hasta la confluencia del río Mundo con el Segura, donde se generan la mayor parte de recursos hídricos. A partir de esta zona, los cauces se caracterizan por ser ríos de poco caudal o ramblas efímeras que están muy condicionadas por el régimen pluviométrico característico del sureste de la península ibérica. Todos estos cauces presentan un marcado carácter torrencial, provocando importantes inundaciones durante los episodios de lluvias tormentosas . A partir de la cabecera se distinguen dos conjuntos de subcuencas bien definidas: afluentes de la margen izquierda y afluentes de la margen derecha. En la figura 50 se muestra la distribución espacial de los principales cauces del área de estudio.

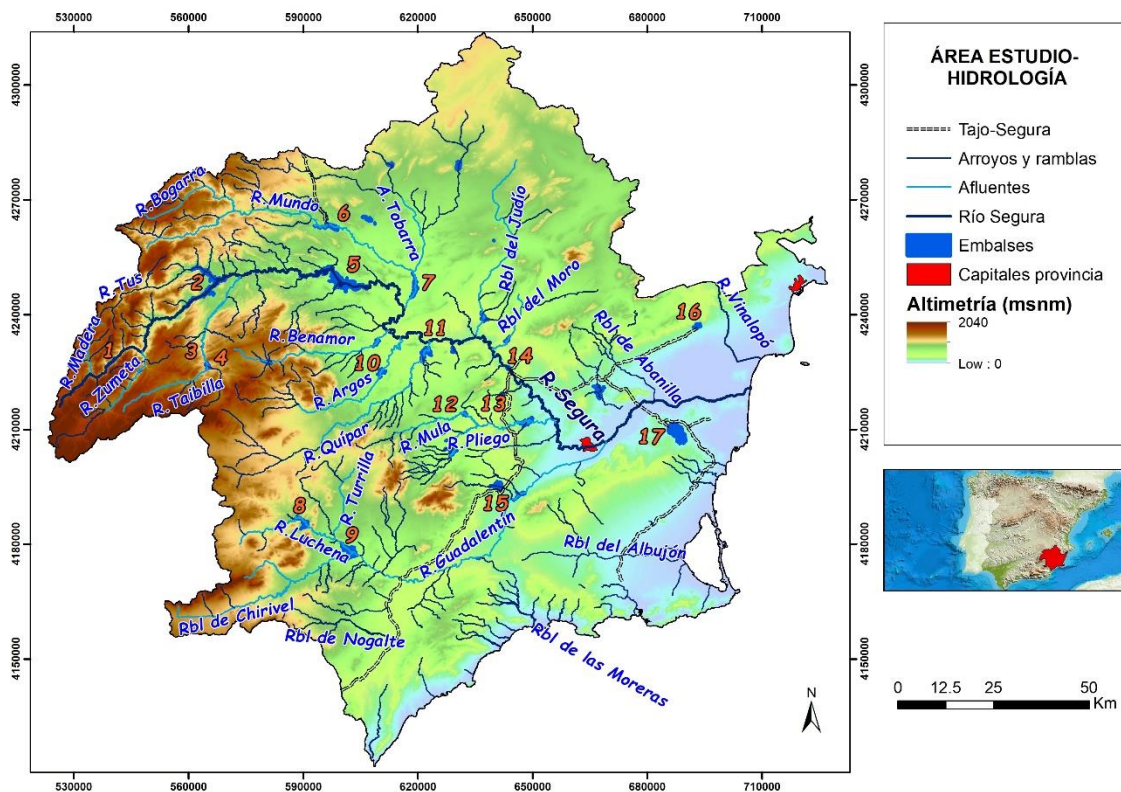


Figura 50. Hidrología. Fuente: Elaboración propia a partir de la cartografía de la Confederación Hidrográfica del Segura.

Los afluentes de la margen izquierda destacan por su marcado carácter torrencial, constituyéndose como ramblas efímeras (ramblas del Judío, del Moro o Abanilla, entre otras). En cambio, los afluentes de la margen derecha son, en general, cauces permanentes, aunque con exiguo caudal, que presentan importantes crecidas en

situaciones de lluvias torrenciales (ríos Argos, Quípar, Moratalla, Mula o Guadalentín, entre otros). Por otro lado, en la DHS también se incluyen algunas áreas endorreicas encuadradas en el sector nororiental del territorio (Yecla y Corral Rubio), donde se localizan algunas lagunas como la Hoya Grande de Corral Rubio (83 ha.) o la laguna salada de Pétrola (150 ha.). Por último, en la franja litoral se ciñen una serie de ramblas litorales que desembocan directamente en el mar Mediterráneo (rambla de las Moreras o rambla del Albuñón). Además, en el sector litoral oriental se encuentran algunas lagunas saladas como el Hondo, Torrevieja o la Mata. En el territorio perteneciente a la DHJ, hay que destacar el cauce del río Vinalopó.

ID	Embalse	Río	Uso	Capacidad (Hm <sup>3</sup> )
1	Anchuricas	Segura	Hidroeléctrico	6
2	Fuensanta	Segura	Regadío y Defensa	210
3	Presa del Taibilla	Taibilla	Abastecimiento	1
4	Taibilla	Taibilla	Abastecimiento	9
5	Cenajo	Segura	Regadío y Defensa	437
6	Talave	Mundo	Regadío y Defensa	35
7	Camarillas	Mundo	Regadío y Defensa	36
8	Valdeinfierno	Luchena	Regadío y Defensa	13
9	Puentes	Guadalentín	Regadío y Defensa	26
10	Argos	Argos	Regadío y Defensa	10
11	Alfonso XIII	Quípar	Regadío y Defensa	22
12	La Cierva	Mula	Regadío y Defensa	7
13	Mayés	Rambla del Mayés	Regadío	2
14	Ojos	Segura	Regadío	1
15	Algeciras	Rambla de Algeciras	Regadío y Defensa	45
16	Crevillente	Rambla del Bosch	Regadío	13
17	La Pedrera	Tajo-Segura	Regadío	246
Total				1.119

Tabla 21. Características básicas de los embalses con función de regadío. Fuente:

Elaboración propia a partir de la Confederación Hidrográfica del Segura.

En la DHS existen un gran cantidad de infraestructuras hídricas, ya que es una de las demarcaciones hidrográficas más reguladas de Europa, debido a su importante déficit hídrico. Existen un total de 33 embalses. Una tercera parte de los mismos tiene una doble función: regulación del regadío y defensa contra las avenidas. El resto actúan con una de esas funciones, o bien son utilizados para el abastecimiento de agua potable a la población, como el embalse del Taibilla. Por último, 3 embalses (Anchuricas, Almadenes y la Vieja) tienen un uso hidroeléctrico. En la figura 50 se observa la distribución espacial

de todos los embalses de la DHS, identificándose con un número (ID) aquellos que cumplen la función de regadío y abastecimiento (un total de 17). Además, se identifica el embalse de Anchuricas por su posición estratégica y por ser el primer embalse del río Segura desde su nacimiento. En la tabla 21 se indican las características básicas de los mismos.

La capacidad total de los 33 embalses situados en la DHS es de 1230 hm<sup>3</sup>. En este trabajo solo se han considerado los que cumplen la función de regadío y abastecimiento, dado que los embalses que tienen únicamente la función de defensa se encuentran vacíos durante gran parte del año. La capacidad de los embalses destinados a regadío y abastecimiento es de 1119 hm<sup>3</sup>. La mayor parte de las reservas hídricas potenciales se localiza en el sector noroccidental, en la cabecera del río Segura y en el río Mundo. Hasta la confluencia del río Mundo con el río Segura, se encuadran un total de 7 embalses que tienen un aforo conjunto de 734 hm<sup>3</sup> (un 65,6% del total), lo que representa prácticamente dos terceras partes de la capacidad de los mismos.

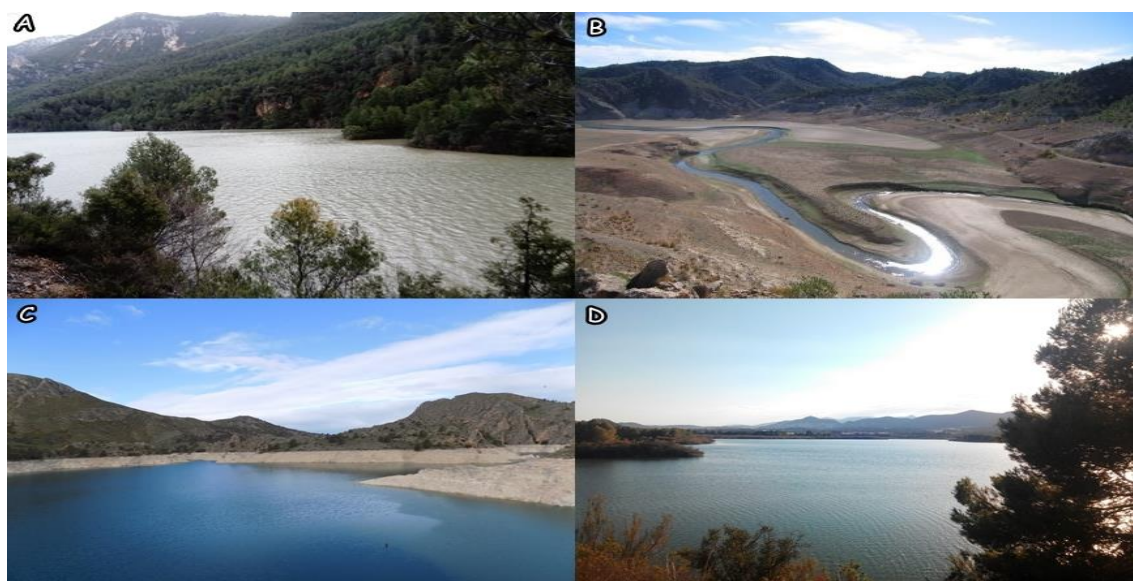


Figura 51. Embalses de cabecera y margen derecha del Segura. A) Anchuricas, B) Fuensanta, C) Cenajo y D) Argos. Fuente: Autor, José María Serna, Miguel Ángel Requena y Juan Antonio Amor

El embalse de Anchuricas (6 hm<sup>3</sup>) es el primer embalse del río Segura desde su nacimiento, y tiene un uso hidroeléctrico. Aguas abajo de este embalse se produce la confluencia del río Zumeta con el Segura. Posteriormente, se encuentran los embalses más importantes de la DHS: Fuensanta (210 hm<sup>3</sup>) y Cenajo (437 hm<sup>3</sup>). Este último es con



diferencia el embalse con mayor capacidad del territorio. La función de ambos es la regulación de caudales para atender las demandas de los aprovechamientos del Segura y la laminación de avenidas. Ambos embalses están separados entre sí por 62 km, pero su explotación se ejecuta de manera coordinada, conformándose el sistema de regulación de cabecera de la DHS. En la figura 51 se pueden observar estos tres embalses. La imagen del Embalse de la Fuensanta se corresponde con la intensa sequía de 2005.



Figura 52. Embalses de regulación del TTS. A) Talave, B) Camarillas, C) Ojós y D) La Pedrera. Fuente: Miguel Ángel Requena, José María Serna y José Antonio Ruíz.

En este sector también se localizan los embalses del Taibilla (9 hm<sup>3</sup>), Presa del Taibilla (1 hm<sup>3</sup>), Talave (35 hm<sup>3</sup>) y Camarillas (36 hm<sup>3</sup>), que son fundamentales para la gestión de los recursos hídricos de las dos infraestructuras hidráulicas más trascendentales para el abastecimiento de agua: Canales del Taibilla y TTS. Desde el embalse y la presa del Taibilla parten los canales del Taibilla, que forman parte de las infraestructuras básicas de la MCT (encargada del abastecimiento de agua potable de un total de 80 municipios). Los embalses de Camarillas y Talave (ver figura 52), situados en el cauce del río Mundo y separados entre sí por 38 km, tienen la finalidad de regular las aportaciones del TTS, además de atender las demandas propias de los aprovechamientos del río Mundo. En el capítulo 2 se explica con detalle la historia y el funcionamiento de ambas infraestructuras. En la figura 50 se muestra la ubicación territorial de los canales del TTS.

A partir de la cabecera, se encuentran una serie de embalses de menor tamaño, que están asociados a los afluentes de la margen derecha del río Segura (en la figura 51 se observa el embalse del Argos). En los ríos Luchena y Guadalentín se localizan dos de las presas

más antiguas de toda Europa, que comenzaron a construirse a finales del S.XVIII: Valdeinfierno (13 hm<sup>3</sup>) y Puentes (26 hm<sup>3</sup>). Ambos se construyeron para resolver una doble problemática (escasez de agua y crecidas) que asolaba el valle del Guadalentín. En las subcuencas de los ríos Argos, Quípar y Mula se encuadran los embalses del Argos (10 hm<sup>3</sup>), Alfonso XIII (22 hm<sup>3</sup>) y La Cierva (7 hm<sup>3</sup>). Estos tres embalses también cumplen la doble función de defensa frentes a avenidas y regadío. Por último, se enmarcan una serie de embalses cuya finalidad es la regulación de las aguas del Aprovechamiento Conjunto del Tajo Segura para regadío: Mayés (2 hm<sup>3</sup>), Ojos (1 hm<sup>3</sup>), Algeciras (45 hm<sup>3</sup>), Crevillente (13 hm<sup>3</sup>) y La Pedrera (246 hm<sup>3</sup>). La Pedrera es el segundo embalse de mayor capacidad de la DHS. En la figura 52 se exponen algunos de los embalses (Talave, Camarillas, Ojós y la Pedrera) destinados a la regulación del TTS.

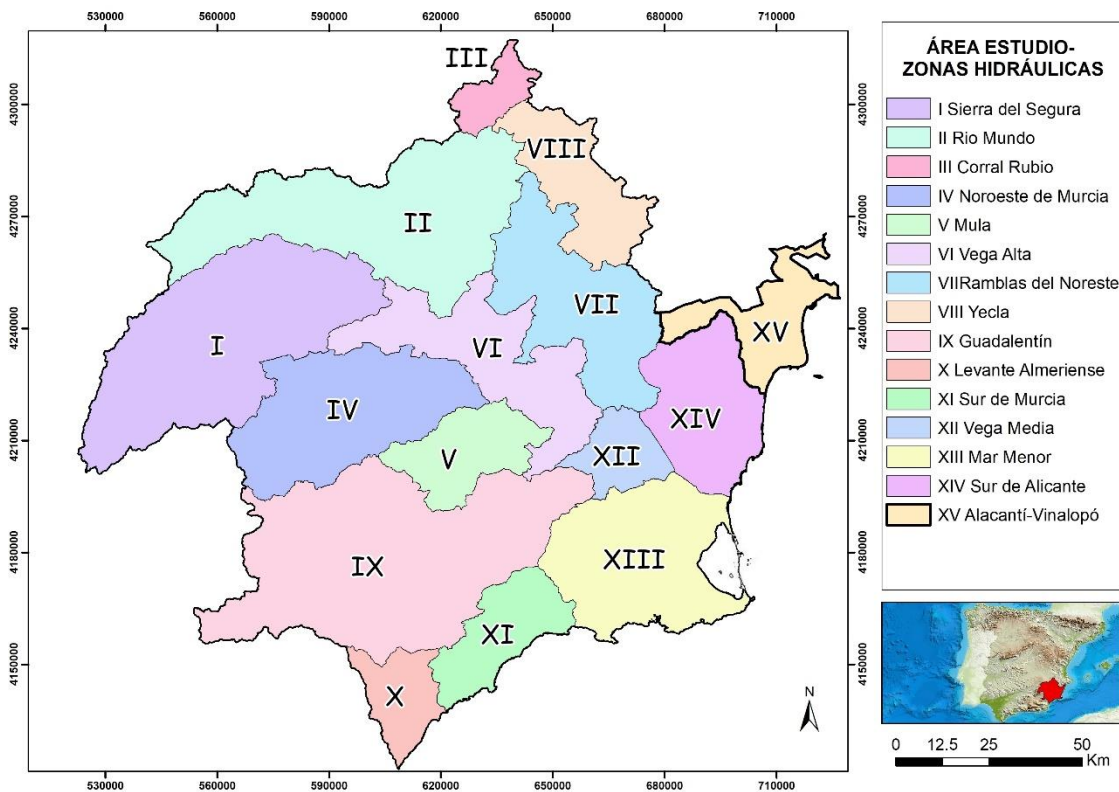


Figura 53. Zonas Hidráulicas. Fuente: Elaboración propia a partir de la cartografía de la Confederación Hidrográfica del Segura.

Por otra parte, el PHDS 2015/21 divide el territorio en una serie de zonas hidráulicas. La división de estas áreas se realiza atendiendo a criterios hidrográficos, administrativos, socioeconómicos y medioambientales. En función de la combinación de estos factores, resultan un total de 15 zonas hidráulicas. De ellas, un total de 14 pertenecen a la DHS y 1 a la DHJ (Alacantí-Vinalopó). En la figura 53 se observa la distribución espacial de las

mismas. En la tabla 22 se detallan sus características básicas. Las zonas hidráulicas de mayor extensión se localizan en la mitad occidental del territorio, coincidiendo con la zona de cabecera de los ríos Segura y Mundo, y las subcuencas de los afluentes del Segura de la margen derecha (Moratalla, Argos, Quípar y Guadalentín). La zona hidráulica del Guadalentín es la de mayor extensión, ocupando un 17% del total.

ID	Zona Hidráulica	Superficie (Km <sup>2</sup> )	%
I	Sierra del Segura	2.604,9	13,2
II	Río Mundo	2.419,2	12,3
III	Corral Rubio	270,1	1,4
IV	Noroeste de Murcia	1.688,1	8,6
V	Mula	708,6	3,6
VI	Vega Alta	1.389,3	7,1
VII	Ramblas del Noreste	1.502,1	7,6
VIII	Yecla	852,8	4,3
IX	Guadalentín	3.340,1	17,0
X	Levante Almeriense	453,7	2,3
XI	Sur de Murcia	688,7	3,5
XII	Vega Media	412,5	2,1
XIII	Mar Menor	1.603,1	8,1
XIV	Sur de Alicante	1.091,8	5,5
XV	Alacantí-Vinalopó	672,6	3,4
		19.697,6	100

Tabla 22. Características básicas de las zonas hidráulicas. Fuente: Elaboración propia a partir de la Confederación Hidrográfica del Segura

A su vez, las zonas hidráulicas se dividen en una serie de subzonas atendiendo también a criterios hidrográficos, administrativos, socioeconómicos y medioambientales. De este modo, resultan un total de 36 subzonas hidráulicas cuya distribución espacial se muestra en la figura 54. Esta zonificación es utilizada en el capítulo 5 para evaluar la vulnerabilidad de sequía. A continuación, se exponen el identificador, nombre y superficie de cada una de estas subzonas:

- I) **Sierra del Segura:** IA-Madera (187,6 km<sup>2</sup>), IB-Alto Segura (449,3 km<sup>2</sup>), IC-Fuentsanta (573,5 km<sup>2</sup>), ID-Taibilla (632,6 km<sup>2</sup>) y IE-Cenajo (761,9 km<sup>2</sup>)
- II) **Río Mundo:** IIA-Riopar (420,3 km<sup>2</sup>), IIB-Talave (333,8 km<sup>2</sup>), IIC-Tobarra (1347km<sup>2</sup>) y IID-Hellín (318,1 km<sup>2</sup>)
- III) **Corral Rubio** (270,1 km<sup>2</sup>)
- IV) **Noroeste de Murcia:** IVA-Moratalla (339,1 km<sup>2</sup>), IVB-Argos (510,8 km<sup>2</sup>) y IVC-Quípar (838,3 km<sup>2</sup>)

- V) **Mula:** VA-La Cierva (169,8 km<sup>2</sup>) y VB-Huerta de Mula (538,8 km<sup>2</sup>)
- VI) **Vega Alta:** VIA-Calasparra (422,2 km<sup>2</sup>), VIB-Cieza (472,8 km<sup>2</sup>) y VIC-Molina (494,3 km<sup>2</sup>)
- VII) **Ramblas del Noreste:** VIIA-Judío (546,8 km<sup>2</sup>), VIIB-Moro (386,4 km<sup>2</sup>), VIIC-Santomera (147,2 km<sup>2</sup>) y VIID-Chícamo (421,7 km<sup>2</sup>)
- VIII) **Yecla** (852,8 km<sup>2</sup>)
- IX) **Guadalentín:** IXA-Valdeinfierno (882,5 km<sup>2</sup>), IXB-Los Vélez (551,3 km<sup>2</sup>) y IXC-Valle de Lorca (1906,3 km<sup>2</sup>)
- X) **Levante Almeriense** (453,7 km<sup>2</sup>)
- XI) **Sur de Murcia:** XIA-Mazarrón (289km<sup>2</sup>) y XIB-Águilas (399,7 km<sup>2</sup>)
- XII) **Vega Media** (412,5 km<sup>2</sup>)
- XIII) **Mar Menor:** XIII A-Campo de Cartagena (1107,9 km<sup>2</sup>) y XIII B- Cartagena (495,2 km<sup>2</sup>)
- XIV) **Sur de Alicante:** XIVA-Vega Baja (486,4 km<sup>2</sup>), XIVB-Torrevieja (277,4 km<sup>2</sup>) y XIVC- Riegos de Levante Margen Izquierda (328 km<sup>2</sup>)
- XV) **Alacantí-Vinalopó** (672,6 km<sup>2</sup>)

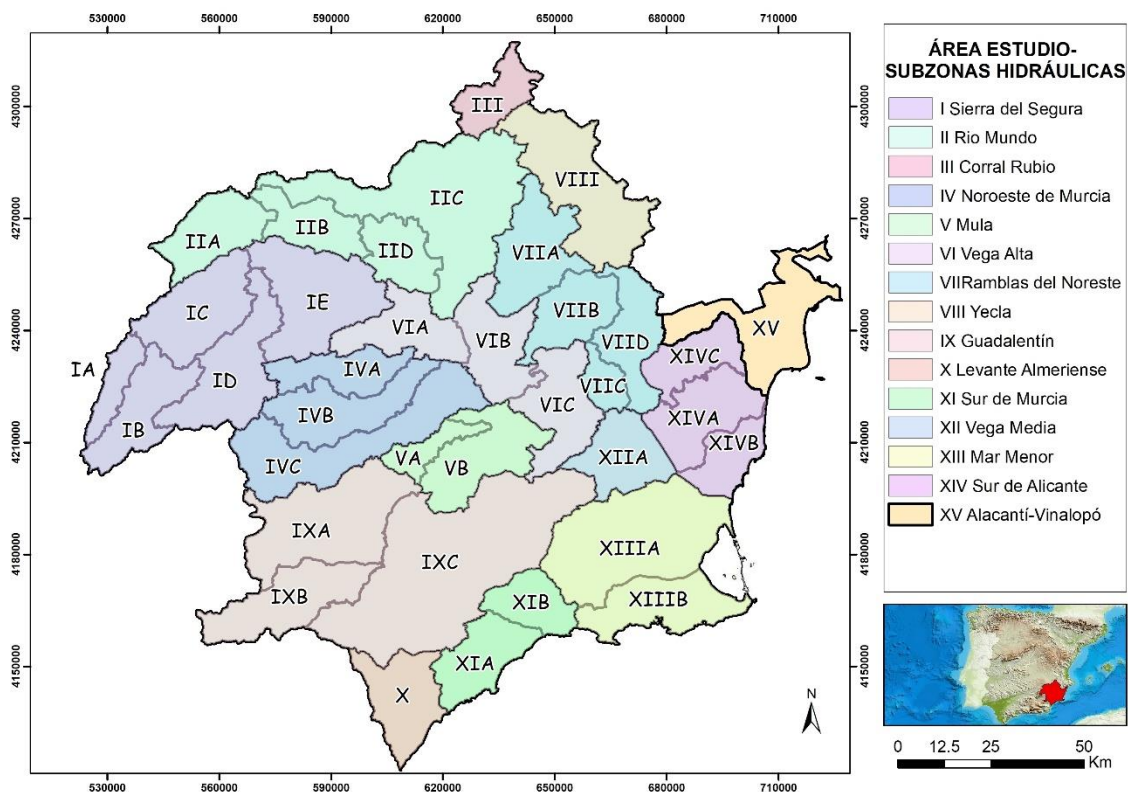


Figura 54. Subzonas Hidráulicas. Fuente: Elaboración propia a partir de la cartografía de la Confederación Hidrográfica del Segura.



Por último, y en relación con la superficie de regadío, se ha llevado a cabo un análisis de la extensión ocupada por las Unidades de Demanda Agraria (UDAs). Por UDAs se entienden las zonas de riego que comparten características comunes según el criterio fundamental de constituir una unidad diferenciable de gestión, bien por su origen de recursos, por sus condiciones administrativas, por su tipología de riego, por su similitud hidrológica, o por consideraciones estrictamente territoriales (CHS, 2015). En el área estudio se contabilizan un total de 70 UDAs (64 en la DHS y 6 en la DHJ). Presentan una superficie bruta de 5024 km<sup>2</sup> (4716,4 km<sup>2</sup> en la DHS y 307,6 km<sup>2</sup> en la DHJ), y una superficie neta de 2623,9 km<sup>2</sup> en la DHS. La superficie bruta de las UDAs representa un 25,5 % del área de estudio. Es importante distinguir entre superficie bruta y superficie neta, ya que esta última se refiere a la superficie regada en un año hidrológico con carácter máximo, siendo, por tanto, la superficie demandante de recursos y la superficie de cálculo de la demanda de riego (CHS, 2015). En la figura 55 se muestra la distribución espacial de las UDAs en relación con las zonas hidráulicas. La superficie bruta de UDAs por zona hidráulica se expone en la tabla 23.

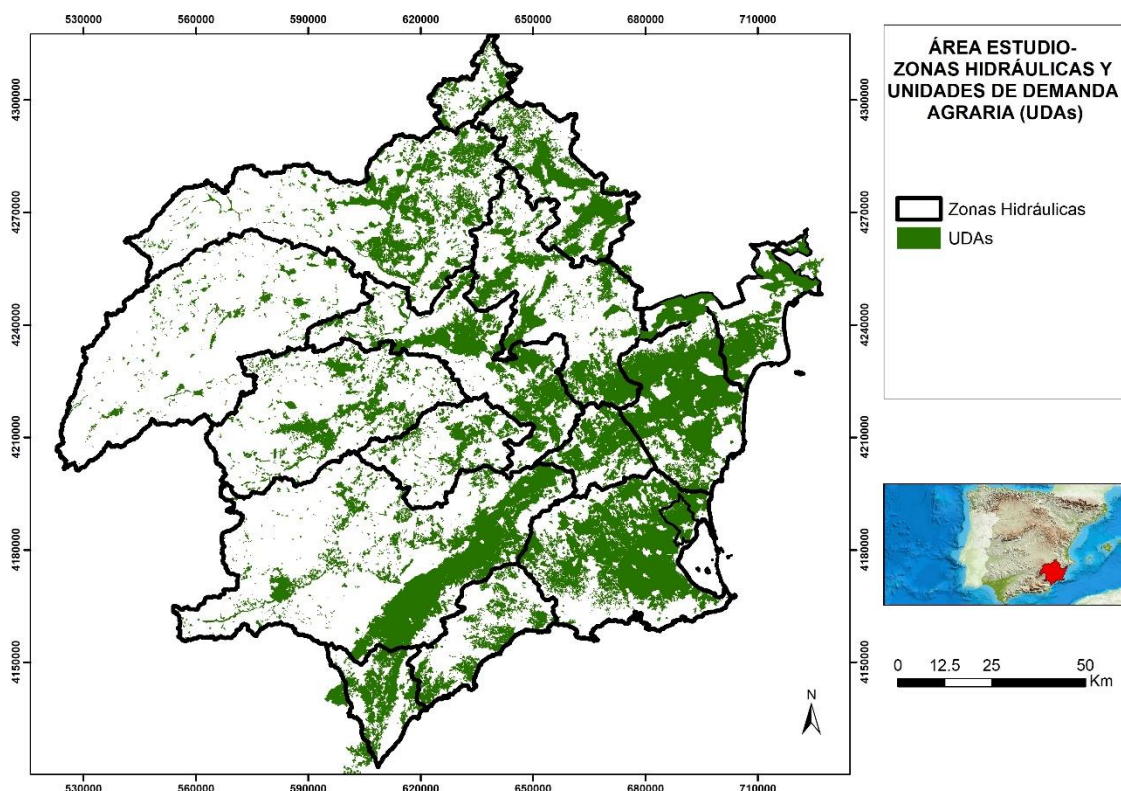


Figura 55. Distribución espacial de las Unidades de Demanda Agraria. Fuente: Elaboración propia a partir de la cartografía de la Confederación Hidrográfica del Segura.



La mayor parte de la superficie de las UDAs se localiza en las zonas hidráulicas situadas en las áreas litorales y prelitorales (Guadalentín, Levante Almeriense, Sur de Murcia, Vega Media, Mar Menor, Sur de Alicante y Alacantí- Vinalopó). En esta área se ubican el 60,4% de la superficie de UDAs (tabla 23). Este dato es más significativo si se tiene en cuenta que esta área tan solo representa un 41,9% de la superficie total del espacio de estudio. En las zonas hidráulicas de la franja suroriental (Vega Media, Mar Menor, Sur de Alicante y Alicante-Vinalopó), la concentración de UDAs es muy elevada, superando una ocupación del 40% de la superficie de sus respectivos territorios. En el Sur de Alicante, la superficie ocupada alcanza un 58,4%. En el resto del territorio el espacio destinado a las UDAs es poco significativo, tal y como se observa en la figura 55.

ID	Zona Hidráulica	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Superficie UDAs	% sobre zona hidráulica	%superficie total UDAs
I	Sierra del Segura	2.604,9	76,9	3,0	1,5
II	Río Mundo	2.419,2	424,4	17,5	8,4
III	Corral Rubio	270,1	52,1	19,3	1,0
IV	Noroeste de Murcia	1.688,1	234,1	13,9	4,7
V	Mula	708,6	105,2	14,8	2,1
VI	Vega Alta	1.389,3	417,8	30,1	8,3
VII	Ramblas del Noreste	1.502,1	398,9	26,6	7,9
VIII	Yecla	852,8	280,7	32,9	5,6
IX	Guadalentín	3.340,1	788,9	23,6	15,7
X	Levante Almeriense	453,7	162,8	35,9	3,2
XI	Sur de Murcia	688,7	148,5	21,6	3,0
XII	Vega Media	412,5	179,3	43,5	3,6
XIII	Mar Menor	1.603,1	808,8	50,5	16,1
XIV	Sur de Alicante	1.091,8	638	58,4	12,7
XV	Alacantí-Vinalopó	672,6	307,6	45,7	6,1
		19.697,6	5024	25,5	100

Tabla 23. Superficie de Unidades de Demanda Agraria por zonas hidráulicas. Fuente:

Elaboración propia a partir de la Confederación Hidrográfica del Segura

Tradicionalmente, las condiciones climáticas óptimas (temperatura e insolación) han favorecido el desarrollo de la agricultura en las vegas del Segura y en los valles de sus principales afluentes como el Guadalentín. Este factor permitió el desarrollo de una agricultura muy productiva a lo largo del S.XX, en comparación con otras regiones de Europa (Colino Sueiras et al., 2014), lo que conlleva que el sector agrícola represente un porcentaje mayor en el PIB que en el resto de España (Calvo García-Tornel, 2006). No obstante, y debido a la aridez de la DHS, esta agricultura es muy dependiente del regadío,

y su expansión hacía zonas litorales y prelitorales de las provincias de Murcia, Almería y Alicante, estuvo muy ligada a la llegada en 1979 de las aguas del TTS (Melgarejo Moreno, 2000; Hernández y Morales Gil, 2008), y a la sobreexplotación de acuíferos (García Arostegui et al., 2014), con la consecuente desaparición de numerosos manantiales (López Bermúdez et al., 2014). La desalinización también está jugando un papel importante en los últimos años en la agricultura (Morote Seguido et al., 2015). En definitiva, la conjunción de estos factores explica la elevada concentración actual de superficie de regadío en la franja suroriental del área de estudio.

De este modo, el intensivo uso del territorio junto a las condicionantes climáticas del sureste español, provocan que el balance hídrico de la cueca sea deficitario. Se ven afectadas tanto las aguas superficiales como las subterráneas. En el PHDS 2015/21 se especifica que tan solo 17 de las 63 masas de agua subterránea se encuentran en buen estado. En el Anejo 12 del PHDS 2015/21 se exponen las características básicas de las mismas. De acuerdo con las simulaciones realizadas del sistema de explotación, y considerando la serie de recursos 1980/81-2011/12 para el horizonte 2021, el déficit total anual medio de la DHS es de 400 hm<sup>3</sup>/año, en el supuesto de una aportación del ATS equivalente a la media de aportaciones del periodo 1980/81-2011-12 (CHS, 2015). En la tabla 24 se expone el déficit medio de cada tipo de demanda, para el mencionado horizonte 2021.

<b>Tipo</b>	<b>Demanda (hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Déficit Total (hm<sup>3</sup>/año)</b>
Demandas agrarias	1.546	394
Demandas urbanas	238	0
Demandas industriales	9	3
Demandas riego campos de golf	11	3
Demandas ambientales	39	0
<b>Total</b>	<b>1.843</b>	<b>400</b>

Tabla 24. Déficit medio de cada tipo de demanda para el horizonte 2021. Fuente:

Elaboración propia a partir del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Segura 2015/21.

La demanda total en la DHS es de 1843 hm<sup>3</sup>/año. Las demandas agrarias, con 1546 hm<sup>3</sup>/año, son con diferencia las más elevadas, representando el 83,9% del total. Además, las demandas agrarias suponen la mayor parte del déficit total, con 394 hm<sup>3</sup>/año. Los recursos hídricos totales estimados por el PHDS 2015/21 se establecen en un total de 1.602 hm<sup>3</sup>/año, lo que supone una variación del 3% con respecto al PHDS 2009/2015. En

la tabla 25 se presenta la distribución de los recursos hídricos en función de su origen, incluyendo los recursos trasvasados. Los valores de déficit y recursos hídricos totales podrían variar drásticamente en los próximos ciclos de planificación hidrológica, por las fluctuaciones del TTS. Los escenarios de cambio climático simulan una reducción drástica de los recursos en la cabecera del Tajo, provocando un trasvase cero durante gran parte del tiempo (Pellicer Martínez y Martínez Paz, 2018).

Recurso hídrico	PHDS 2009/15	PHDS 2015/21	Variación (%)
Aportaciones régimen natural río Segura	704	740	3
Recarga de lluvia en acuíferos no drenantes al río Segura	93	94	1
Recursos superficiales no drenantes al río Segura	20	20	0
Retornos superficiales (urbanos e industriales) menos vertido al mar	143	144	1
Retornos de riego al sistema superficial y subterráneo	119	124	4
Desalinización	139	158	14
Recursos trasvasados	337	322	-5
<b>Recursos Totales</b>	<b>1.555</b>	<b>1.602</b>	<b>3</b>

Tabla 25. Recursos hídricos totales estimados por el PHDS 2009/15 y por el PHDS 2015/21 para el horizonte de comparación 2015 ( $\text{hm}^3/\text{año}$ ). Fuente: Elaboración propia a partir del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Segura 2015/21.

Los valores de los recursos hídricos del PHDS 2015/21 se han estimado a partir de los registros de la serie 1980/81-2011/21, es decir, un periodo de referencia de 30 años. Las aportaciones del régimen natural del río Segura son las que tienen una mayor importancia, representando un 43,9%, seguidas por los recursos trasvasados con un 20,1%. En el periodo de 30 años analizado, los recursos trasvasados medios han sido de  $322 \text{ hm}^3$ , por lo que se ha producido una disminución de un 5% con respecto al PHDS 2009/15. De estos  $322 \text{ hm}^3$ ,  $305 \text{ hm}^3$  corresponden al TTS ( $205 \text{ hm}^3$  uso agrario y  $100 \text{ hm}^3$  uso urbano), y  $17 \text{ hm}^3$  al trasvase del Negratín-Almanzora. También, hay que resaltar que se ha producido un aumento importante en los recursos hídricos procedentes de la desalinización.

Finalmente, en la tabla 26 se presenta una comparativa con los valores del índice WEI+ (Water Exploitation Index) entre el PHDS 2009/15 y el PHDS 2015/21. Este índice se utiliza como indicador de la presión que la extracción de agua ejerce sobre los recursos hídricos, y que permite identificar las regiones con mayor probabilidad de sufrir estrés

hídrico. Los valores del WEI se pueden clasificar de la siguiente forma (García Bautista y Martínez Fernández, 2016): 1) <10%: sistemas sin estrés por explotación; 2) entre 10 y 20%: grado estrés bajo; 3) entre 20 y 60%: umbral de alarma por estrés; 4) >60%: estrés severo. En el PHDS 2015/21 (124%) se produce una pequeña disminución en este índice con respecto al PHDS 2009/15 (130%). Aun así, son valores muy elevados, que indican la fuerte presión a la que están sometidos sus hidrosistemas, especialmente si se tiene en cuenta que en el caso del WEI+ el cálculo se ciñe a usos estrictamente consuntivos, y que además incluye como recursos renovables los trasvasados desde la cuenca hidrográfica del Tajo (García Bautista y Martínez Fernández, 2016). La fórmula de cálculo del índice es la siguiente:  $WEI+ = (extracciones - retornos) / recursos\ hídricos\ renovables$ .

<b>Total sistema único</b>	<b>PHDS 2009/15 Horizonte 2015</b>	<b>PHDS 2015/21 Horizonte 2021</b>
Demandas totales	1.878	1.843
Suministro total de recursos	1.635	1.649
Retornos	263	272
Recursos renovables no trasvasados	1.058	1.108
Recursos trasvasados	337	322
<b>WEI+</b>	<b>130%</b>	<b>124%</b>

Tabla 26. Índice WEI+ anual (%). Fuente: Elaboración propia a partir del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Segura 2015/21.

### 3.1.4. Litología y geología

La DHS se encuadra, casi en su totalidad, bajo el dominio geológico de las cordilleras béticas. Tan solo en el extremo norte, se encuentran materiales de la cobertura tabular de la meseta sur que encubren los materiales más antiguos del zócalo herciniano (CHS,2005) Es un territorio muy heterogéneo con respecto a la litología y presenta una elevada complejidad geológica (Camero Iriarte et al., 2008). En el ámbito de estudio están representados materiales pertenecientes a las tres zonas en las que se divide tradicionalmente las cordilleras béticas: Prebética y Subbética (zonas externas), y Bética o Penibética (zonas internas). La zona Prebética tiene un carácter paraáutoctono y las dos últimas alóctono (Rodríguez Estrella, 2006). La zona Bética presenta tres complejos tectónicos bien diferenciados: Nevado-Filábride, Alpujárride y Maláguide (Rodríguez Estrella y Conesa García, 1991). Las zonas externas se localizan al norte del área de estudio, y las zonas internas en el sur.

La litología y la geología condicionan la morfología de los cauces y valles fluviales. La complejidad geológica da lugar a la existencia de numerosos acuíferos de mediana y pequeña extensión, que contribuyen al mantenimiento de los caudales naturales de los ríos. En la zona de la cabecera del Segura, coincidiendo con la zonas externas de la cordillera Bética, predominan las calizas y dolomías, dando lugar a una red de drenaje menos desarrollada, con cauces profundos y estrechos, que pueden llegar a desaparecer en determinadas áreas kársticas (cabeceras de los ríos Mundo y Segura). En cambio, en las zonas internas predominan los materiales sedimentarios de tipo arcilloso o margosos, que dan lugar a redes de drenaje muy densas, y cauces anchos y poco profundos. Un claro ejemplo se encuentra en los valles del Segura y Guadalentín (CHS,2005). Además, cabe destacar que la red de drenaje se encuentra muy condicionada por la presencia de fallas o fosas tectónicas, que pueden provocar cambios en la dirección de los cauces, como ocurre en el río Segura entre Calasparra y Cieza, debido a la presencia de la falla de Socovos.

Desde un punto de vista estratigráfico, es importante resaltar la gran diversidad que existe en el territorio estudiado, presentando una distribución geográfica que a grandes rasgos es la siguiente: en la zona Prebética destacan los materiales carbonatados del Cretácico Superior (Martín Chivelet, J., 1992); en la zona Subbética predominan las calizas y dolomías del Jurásico, junto a las arcillas con yesos del Triás; en la zona Bética afloran terrenos metamórficos del Permo-Triásico. En todas las zonas, hay cuencas posttectónicas, rellenas en gran parte por materiales margosos miocénicos, aunque estas predominan en la zona Bética (Rodríguez Estrella, 2006). En la figura 56 se muestra la distribución geográfica de las diferentes unidades litológicas.

En el noroeste predominan las calizas y dolomías, junto con areniscas y margas, ya que esta área se encuentra en la zona Prebética. En el área noroccidental también se localizan algunas áreas con conglomerados, cuarcitas y pizarras. En general, estas unidades litológicas predominan en toda la mitad norte, que coincide con los dominios de las zonas externas. En el sector nororiental también surgen áreas de depósitos de gravas, arenas y limos, que forman parte de cuencas neógenas. En cambio, en la mitad sur, bajo el dominio de la zonas internas, se localizan grandes áreas de materiales metamórficos (micaesquistos, filitas, pizarras o mármoles), que se concentran en las sierras litorales y prelitorales. En esta área también surgen algunos afloramientos volcánicos.

Por último, cabe resaltar la importancia de las cuencas neógenas en este territorio, sobre todo en las zonas internas. Están rellenas de materiales sedimentarios, fundamentalmente

de tipo margoso y arcilloso, que están muy expuestos a la erosión hídrica (Romero Díaz et al., 2011; Romero Díaz y López Bermúdez, 2009) al ser materiales poco resistentes. En el área de estudio se pueden diferenciar tres tipos de cuencas neógenas en función de su origen: 1) Cuencas del sur (plio-cuaternarias marinas y continentales), como las del Guadalentín-Segura o la del Campo de Cartagena, que se caracterizan por tener una alta subsidencia y un gran espesor de sedimentos continentales, aluviales y fluviales; 2) Cuencas centrales (marinas del Mioceno Superior, postorogénicas o intramontañas), como las de Fortuna, Lorca o Mula, que tienen una marcada presencia de depósitos marinos del Tortonense; 3) Cuencas del noroeste y norte (marinas y continentales del Mioceno, sinorogénicas y postorogénicas), como las Hoya de la Sima (Jumilla), de Tarragona (Caravaca) o Salmerón-Las Minas (Calasparra y Hellín). Estas últimas son las únicas que se localizan en las zonas externas.

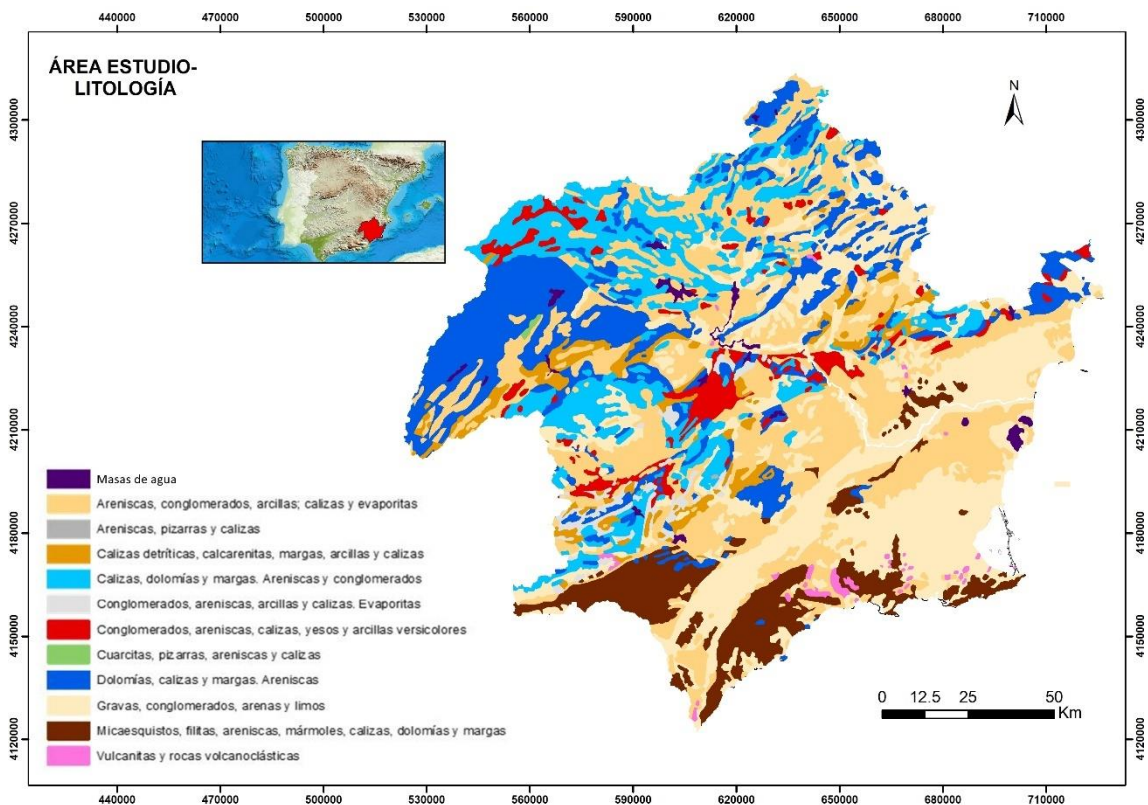


Figura 56. Distribución espacial de las unidades litológicas. Fuente: Elaboración propia a partir del mapa geológico de la península ibérica a escala 1:1.000.000

### 3.1.5. Suelos

Los suelos del área de estudio se caracterizan por su gran diversidad, como resultado de la combinación de factores climáticos, litológicos, topográficos, antrópicos y bióticos.



Dicha variedad se pone de manifiesto en el mapa de suelos del proyecto LUCDEME (Lucha Contra la Desertificación en el Mediterráneo) de la Región de Murcia a escala 1:200.000, ya que aparecen representados diez de los treinta y dos grupos de suelos definidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) en la World Reference Base for Soil Resources (WRB) (FAO, 1998; FAO, 2015). Los grupos representados son los siguientes: Fluvisoles, Regosoles, Arenosoles, Leptosoles, Gipsisoles, Xerosoles, Solonchacks, Kastonozems, Antrosoles y Luvisoles. En la figura 57 se expone la distribución espacial de los tipos de suelos para toda el área de estudio, a partir de la clasificación del USDA (United States Department of Agriculture), que es la utilizada en el mapa de suelos a escala 1:1.000.000 realizado por el Instituto Geográfico Nacional. Se muestran tanto el orden como el suborden de cada tipo de suelo.

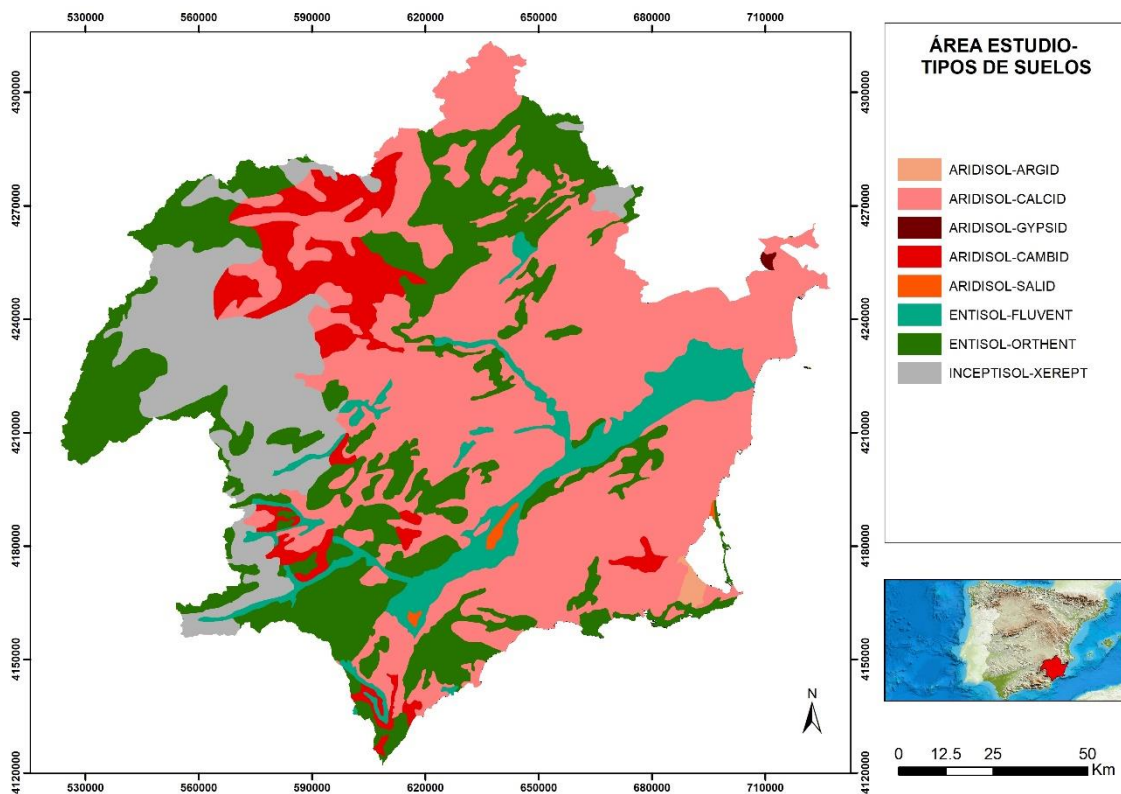


Figura 57. Distribución espacial de los tipos de suelo. Fuente: Elaboración propia a partir del mapa de suelos a escala 1:100.000 del Instituto Geográfico Nacional.

Tres de los doce órdenes de tipos de suelos definidos en la clasificación del USDA están representados en el área de estudio: Aridisoles, Entisoles e Inceptisoles. Los Aridisoles son el orden mayoritario, ya que son típicos de los suelos de climas semiáridos o áridos, donde generalmente la  $ET_P$  es mayor que la precipitación. El suborden Calcid, es sin duda

el que ostenta una mayor extensión, presentando un marcado horizonte subsuperficial rico en carbonatos cálcicos. Domina gran parte del territorio estudiado, y generalmente debido a la condiciones climáticas necesita del regadío para el desarrollo de las producciones agrícolas. En menor medida, aparece el suborden Cambid, sobre todo en la mitad norte, que se caracteriza por la presencia de suelos poco evolucionados. Por último, también surgen áreas muy exiguas de los subórdenes Gypsid, Salid y Argid.

Por otra parte, los Entisoles se concentran en torno a los valles del Segura y Guadalentín, y zonas de montaña. Se trata de suelos sin horizontes bien definidos. Se pueden distinguir dos subórdenes: Fluvent y Orthent. El primero está representado por los suelos aluviales presentes en los valles del Guadalentín y Segura, procedentes de las avenidas periódicas. En el caso del Orthent, se trata de suelos muy delgados de superficies de reciente erosión, que están presentes en la zona de montaña, destacando su presencia en la cabecera del Segura. Por último, en el tercio occidental, predominan los Inceptisoles del suborden Xerept. Son suelos jóvenes en proceso de formación, que poseen horizontes más desarrollados que los Entisoles.

### **3.1.6. Vegetación natural**

La vegetación presenta una gran riqueza taxonómica debido a la gran variabilidad climática, orográfica y litológica. Esto hace que sea un territorio con abundante variedad de especies y hábitats diversos. Se pueden distinguir las siguientes zonas (CHS, 2005):

- **Altiplano de Murcia y sur de Albacete:** En las solanas y pedregales surgen espartizales y matorrales. En las sierras de Salinas y Carche aparecen masas de pinos carrascos junto con algunos quejigos. Los terrenos agrícolas están destinados fundamentalmente a viñedos, almendros y cereales.

- **Centro-Oeste (parte occidental de Lorca y Puerto Lumbreras):** Presenta amplias zonas de cultivos de secano y pastizales, con algunas formaciones de pinares en las sierras del Gigante y del Almirez. Los cultivos de regadío se concentran entorno a la vega del río Guadalentín.

- **Litoral y sur de Alicante:** Resaltan los ecosistemas acuáticos (humedales, saladares, salinas o lagunas salobres) con especies como *Limonium*, *Carralluma europaea* o el endemismo *Tetraclinis articulata*. En el Parque Regional de Calblanque, Monte de las Cenizas y Peña del Águila, caben destacar formaciones de pinares y acebuches. En la



zona del Mar Menor se localizan ecosistemas acuáticos, en los que sobresalen endemismos iberoafricanos como *Maytenus senegalensis* o *Periploca angustifolia*.

- **Vegas del Segura:** Destacan las formaciones de palmito en Ricote, Ojós y Blanca, y la vegetación rupícola en el Cañón de Almadenes. En las sierras de la Pila y Ricote resaltan formaciones de pinares, sabinares o chaparrales. En la sierra de Carrascoy aparece el encinar mediterráneo húmedo mejor conservado de la Región de Murcia, surgiendo algunos alcornoques en la zona de Majal Blanco. En las ramblas se pueden observar el mirto, adelfa, almez, coscoja, lentisco o ajenjo en las partes bajas.

- **Centro (sierras de Pedro Ponce, Cambrón y Espuña):** Hay que resaltar la presencia de quejigos, sabina mora, arce y madroño. En las partes bajas destaca la *Caralluma europaea*, y en las partes altas las orquídeas.

- **Noroeste de la Región de Murcia:** Esta zona se caracteriza por la presencia de encinares, pinos carrascos y sabinares. En la sierra de la Muela y Revolcadores resaltan las formaciones de pino laricio. En zonas de la sierra del Gavilán se localiza el endemismo *Caralluma munbyana*. Por último, en las sierras de Moratalla y Villafuerte sobresalen importantes áreas de sabina albar (*Juniperus thurifera*).

- **Cabecera del río Segura:** Se trata de un área de gran valor medioambiental, siendo la única zona del área de estudio que está declarada como reserva de la biosfera (parque natural de la Sierra del Segura, Cazorla y las Villas). Existen extensos bosques de pino laricio en las cotas de mayor altitud. En zonas restringidas se localizan acebos, tejos, quejigales o rebollos. Es muy importante resaltar la presencia de la planta carnívora *Pinguicula Vallisnerifolia*, una especie endémica única en el mundo. En los cursos de los ríos Segura y Mundo aparecen diversas especies de sauces, chopos y olmedas.

### **3.1.7. Uso del territorio**

Los usos del suelo son analizados a partir de los datos del proyecto Corine Land Cover en su versión del año 2018. De las cuarenta y cuatro clases que se distinguen en este proyecto, cuarenta se localizan en el área de estudio. Para una interpretación más concisa y precisa, se han agrupado las clases en un total de trece grupos de usos de suelo. En la tabla 27 se expone la superficie ocupada (km<sup>2</sup>) por cada uno de ellos, y en la figura 58 se muestra la distribución espacial de los mismos. El uso más extendido es el agrícola, con un 49,5%, seguido por las zonas forestales con vegetación natural (45,2%). El uso urbano

tan solo representa un 3,9%. En el capítulo 2, se dedica un capítulo a los cambios producidos en los usos del suelo desde 1990 hasta la actualidad.

Usos del suelo	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
Urbano	506,5	2,6
Industrial, comercial y transportes	188,1	1,0
Zonas mineras y vertederos	66,3	0,3
Secano	2.004,2	10,2
Regadío	1.606,3	8,2
Cultivos permanentes	3.598,4	18,3
Praderas	461	2,3
Agrícola heterogéneo	2.059	10,5
Bosques	3.553,5	18
Pastizales y matorrales	5.365,7	27,2
Suelos desnudos	144,7	0,7
Zonas húmedas	58,7	0,3
Superficies de agua	85,2	0,4
<b>Total</b>	<b>19.697,6</b>	<b>100%</b>

Tabla 27. Distribución de la superficie de los usos del suelo. Fuente:

Elaboración propia a partir de los datos del proyecto Corine Land Cover 2018.

En general los grupos de usos del suelo están formados por una serie de clases. A continuación, se exponen las clases que forman parte de cada uno de ellos, indicando su superficie correspondiente:

**1) Urbano (506,5 km<sup>2</sup>):** 1a- Tejido urbano continuo (176,4 km<sup>2</sup>); 1b-Tejido urbano discontinuo (270,3 km<sup>2</sup>); 1c- Zonas verdes urbanas (3,2 km<sup>2</sup>); 1d- Instalaciones deportivas y recreativas (40,2 km<sup>2</sup>); 1e- Zonas en construcción (16,4 km<sup>2</sup>).

**2) Industrial, comercial y transportes (188,1 km<sup>2</sup>):** 2a- Zonas industriales o comerciales (169,7 km<sup>2</sup>); 2b- Redes viarias o ferroviarias (7,6 km<sup>2</sup>); 2c- Zonas portuarias (1,5 km<sup>2</sup>); 2d- Aeropuertos (9,3 km<sup>2</sup>).

**3) Zonas mineras y vertederos (66,3 km<sup>2</sup>):** 3a- Zonas de extracción minera (50,4 km<sup>2</sup>); 3b- Escombreras y vertederos (15,9 km<sup>2</sup>).

**4) Secano (2004,2 km<sup>2</sup>), 5) Regadío (1606,3 km<sup>2</sup>) y 7) Praderas (461 km<sup>2</sup>).**

**6) Cultivos permanentes (3598,4 km<sup>2</sup>):** 6a-Arrozales (12,4 km<sup>2</sup>); 6b-Viñedos (755,9 km<sup>2</sup>); 6c-Frutales (2660,3 km<sup>2</sup>); 6d-Olivares (169,7 km<sup>2</sup>).

**8) Agrícola Heterogéneo (2059 km<sup>2</sup>):** 8a-Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes (1,2 km<sup>2</sup>); 8b-Mosaico de cultivos (1480,9 km<sup>2</sup>); 8c-Terrenos

principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural (553,3 km<sup>2</sup>); 8d-Sistemas agroforestales (24,1 km<sup>2</sup>).

**9) Bosques (3553,5 km<sup>2</sup>):** 9a- Bosques de frondosas (95,6 km<sup>2</sup>); 9b- Bosques de coníferas (3152,6 km<sup>2</sup>); 9c- Bosque mixto (305,4 km<sup>2</sup>).

**10) Pastizales y matorrales (5365,7 km<sup>2</sup>):** 10a-Pastizales naturales (2897,7 km<sup>2</sup>); 10b-Vegetación esclerófila (1467,1 km<sup>2</sup>); 10c-Matorral boscoso de transición (1000,9 km<sup>2</sup>)

**11) Suelos desnudos (144,7 km<sup>2</sup>):** 11a-Playas, dunas y arenales (4,2 km<sup>2</sup>); 11b-Roquedo (5,7 km<sup>2</sup>); 11c-Espacios con vegetación escasa (110,9 km<sup>2</sup>); 11d-Zonas quemadas (23,8 km<sup>2</sup>).

**12) Zonas húmedas (58,7 km<sup>2</sup>):** 12a- Humedales y zonas pantanosas (6,4 km<sup>2</sup>); 12b-Marismas (30,5 km<sup>2</sup>); 12c-Salinas (21,8 km<sup>2</sup>); 12d-Zonas llanas intermedias (0,01 km<sup>2</sup>).

**13) Superficies de agua (85,2 km<sup>2</sup>):** 13a-Cursos de agua (1,1 km<sup>2</sup>); 13b-Láminas de agua (50,3 km<sup>2</sup>); 13c-Lagunas costeras (31 km<sup>2</sup>); 13d-Mares y océanos (2,7 km<sup>2</sup>)

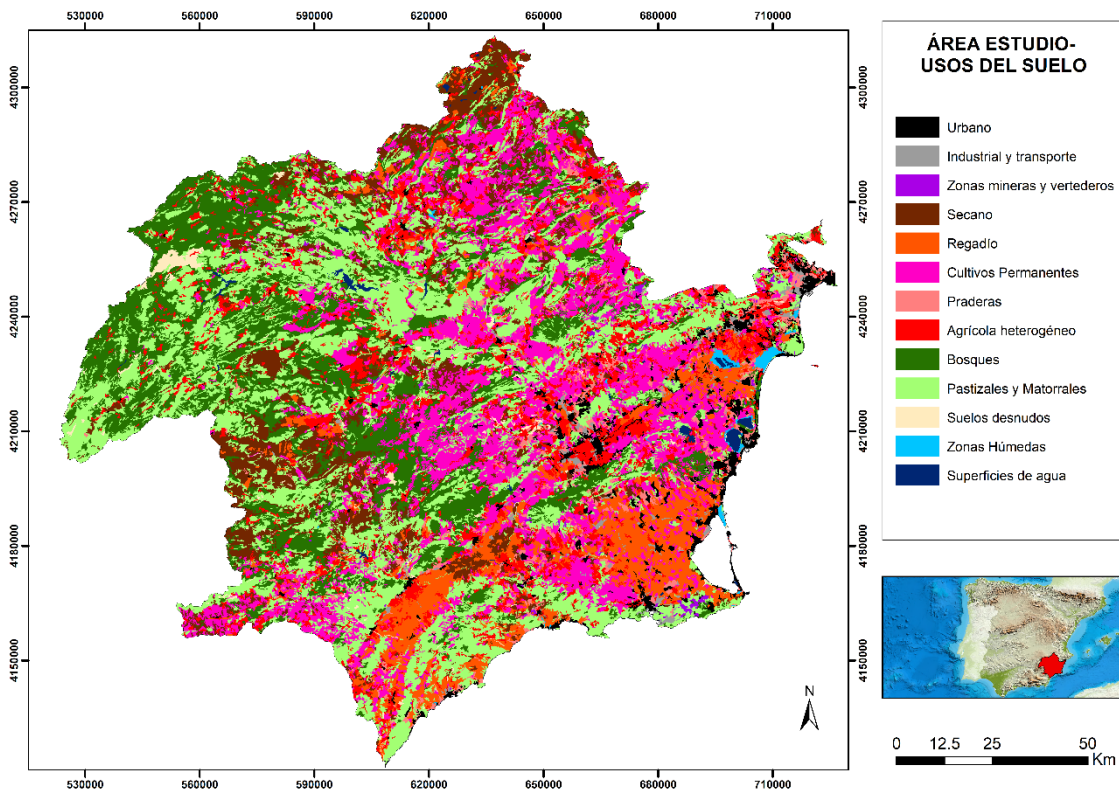


Figura 58. Distribución espacial de los usos del suelo. Fuente: Elaboración propia a partir del proyecto Corine Land Cover 2018.

Los usos agrícolas que son los de mayor extensión (9728,9 km<sup>2</sup>), y se localizan principalmente en zonas de valle, siendo predominantes en los valles del Segura y Guadalentín, Campo de Cartagena y Vega Baja del Segura. Entre estos, los cultivos permanentes (frutales, viñedos y olivares) son los que ocupan un mayor territorio, destacando la superficie destinada a los frutales. Los cultivos de secano predominan fundamentalmente en el extremo norte y en la comarca del Noroeste. En cambio, los cultivos de regadío se localizan principalmente en el valle del Guadalentín, Campo de Cartagena y Vega Baja del Segura. Estas áreas son abastecidas por el TTS. La drástica reducción de los recursos hídricos simulada por los escenarios de cambio climático en la cabecera del Tajo puede poner en entredicho la viabilidad futura de estos cultivos de regadío (Pellicer Martínez y Martínez Paz, 2018).

Los usos forestales, con 8919,3 km<sup>2</sup>, son los segundos de mayor extensión. La parte noroccidental es la zona con mayor presencia de estos grupos de suelo, aunque también hay importantes extensiones de pastizales y matorrales en las sierras litorales y prelitorales. Los bosques de coníferas son los que presentan una mayor superficie (3152,6 km<sup>2</sup>), seguidos por los pastizales naturales (2897,7 km<sup>2</sup>). Por último, los usos urbanos presentan una superficie de 760,9 km<sup>2</sup>, concentrándose primordialmente en las comarcas costeras y en los valles del Segura y Guadalentín. Las zonas húmedas y superficies de agua suman un área de 143,9 km<sup>2</sup>.

### **3.1.8. Población**

El área de estudio alberga un total de 2.633.315 habitantes a 1 de enero de 2018 (INE). La distribución espacial de la población es muy irregular (figuras 59), localizándose la mayor parte en las aglomeraciones urbanas de Murcia y Alicante-Elche (comarcas de la Huerta de Murcia, Bajo Vinalopó y Campo de Alicante), y en las comarcas del Campo de Cartagena y Vega Baja del Segura. Estas cinco comarcas engloban un total de 1.797.940 habitantes, lo que representa un 68,3% de la población total. En estas áreas la densidad de población es muy elevada, ya que solo ocupan un 17,8% de la superficie total. En contraposición, las comarcas situadas en el interior se encuentran bastantes despobladas, mostrando densidades de población muy bajas (figura 60). Como ya ha sido mencionado anteriormente, la MCT incluye a la mayor parte de la población (2.477.058 habitantes), siendo bastante superior al número de habitantes ostentado por la CHS (1.959.168 habitantes), debido a que la MCT engloba la población de los municipios de Elche, Santa

Pola, Alicante y San Vicente del Raspeig, que se encuentran densamente poblados, albergando una población de 651.712 habitantes (24,7% del total).

Por comunidades autónomas, la Región de Murcia es la que engloba un mayor número de habitantes, con un total de 1.478.509, seguida por la Comunidad Valenciana (1.064.764). Las comarcas pertenecientes a los territorios de Castilla-La Mancha y Andalucía albergan muy poca población, con 64.272 y 25.770 habitantes respectivamente. En la tabla 28 se muestra la distribución de la población por comarcas, así como la densidad de población existente en cada una de ellas. La evolución de la población desde principios del S.XX es muy desigual entre las comarcas del interior y las comarcas litorales y prelitorales (figura 60).

ID	Comarca	Provincia	Población	Densidad (hab/ km <sup>2</sup> )
1	Altiplano	Murcia	59.781	39,6
2	Noroeste	Murcia	70.418	30,5
3	Vega Alta del Segura	Murcia	54.483	95,7
4	Valle de Ricote	Murcia	24.491	121,5
5	Oriental	Murcia	16.123	41,9
6	Río Mula	Murcia	24.038	33
7	Vega Media del Segura	Murcia	120.431	467
8	Huerta de Murcia	Murcia	516.183	539,7
9	Alto Guadalentín	Murcia	143.091	69,1
10	Bajo Guadalentín	Murcia	91.076	88,9
11	Campo de Cartagena	Murcia	250.034	290,9
12	Mar Menor	Murcia	108.360	353,4
13	Alto Vinalopó	Alicante	0	0
14	Medio Vinalopó	Alicante	33.041	128,9
15	Vega Baja del Segura	Alicante	351.054	366,6
16	Bajo Vinalopó	Alicante	291.327	595,4
17	Campo de Alicante	Alicante	389.342	1610,2
18	Sierra del Segura	Albacete	16.180	6,2
19	Sierra de Alcaraz	Albacete	712	5
20	Albacete	Albacete	23	0,5
21	Monte Ibérico- Corredor de Almansa	Albacete	4.141	6,3
22	Campos de Hellín	Albacete	43.216	33,2
23	Sierra de Segura	Jaén	3.060	5,1
24	Huéscar	Granada	0	0
25	Los Vélez	Almería	11.137	13,2
26	Levante Almeriense	Almería	11.573	39,8
Total			2.633.315	133,7

Tabla 28. Distribución de población y densidad por comarcas. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE.

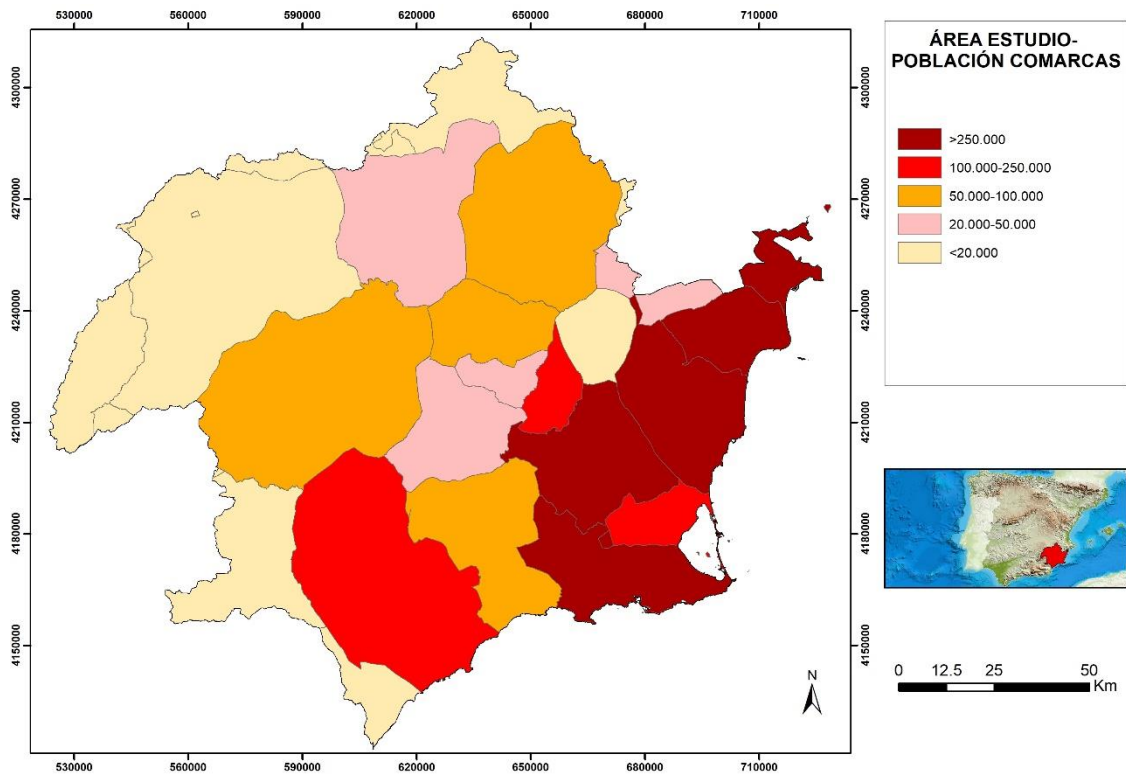


Figura 59. Distribución espacial de la población por comarcas. Elaboración propia a partir de los datos del INE.

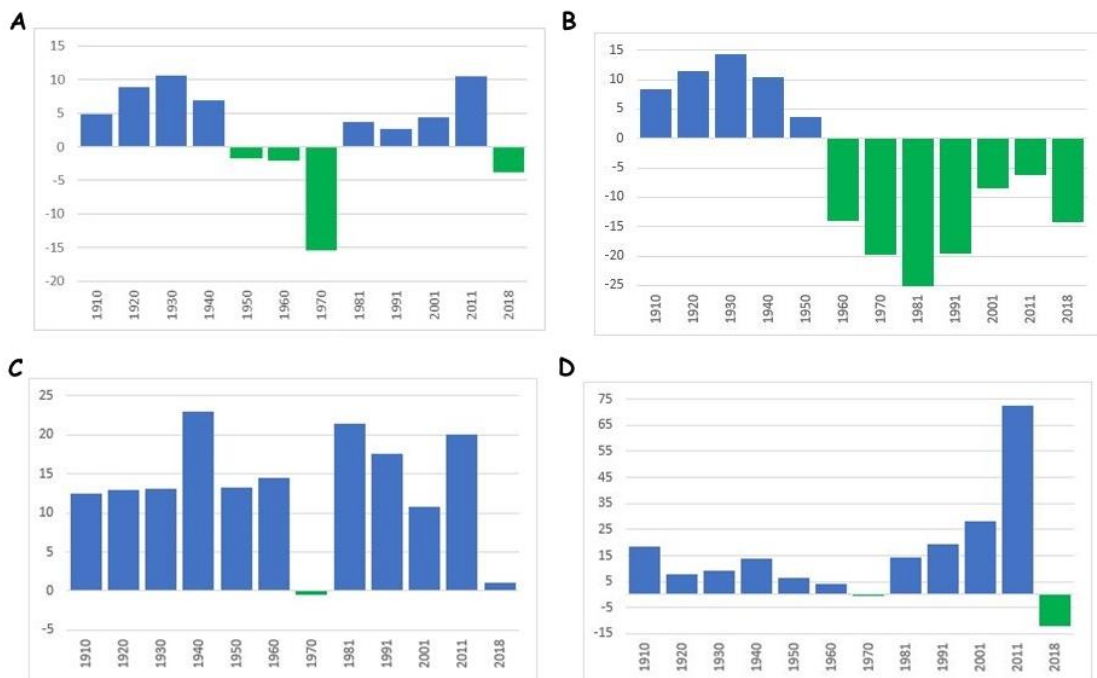


Figura 60. Variación interdecadal (%) de la población de las siguientes comarcas: A-Noroeste, B-Sierra del Segura, C-Huerta de Murcia y D-Vega Baja del Segura. Elaboración propia a partir de los datos del INE.

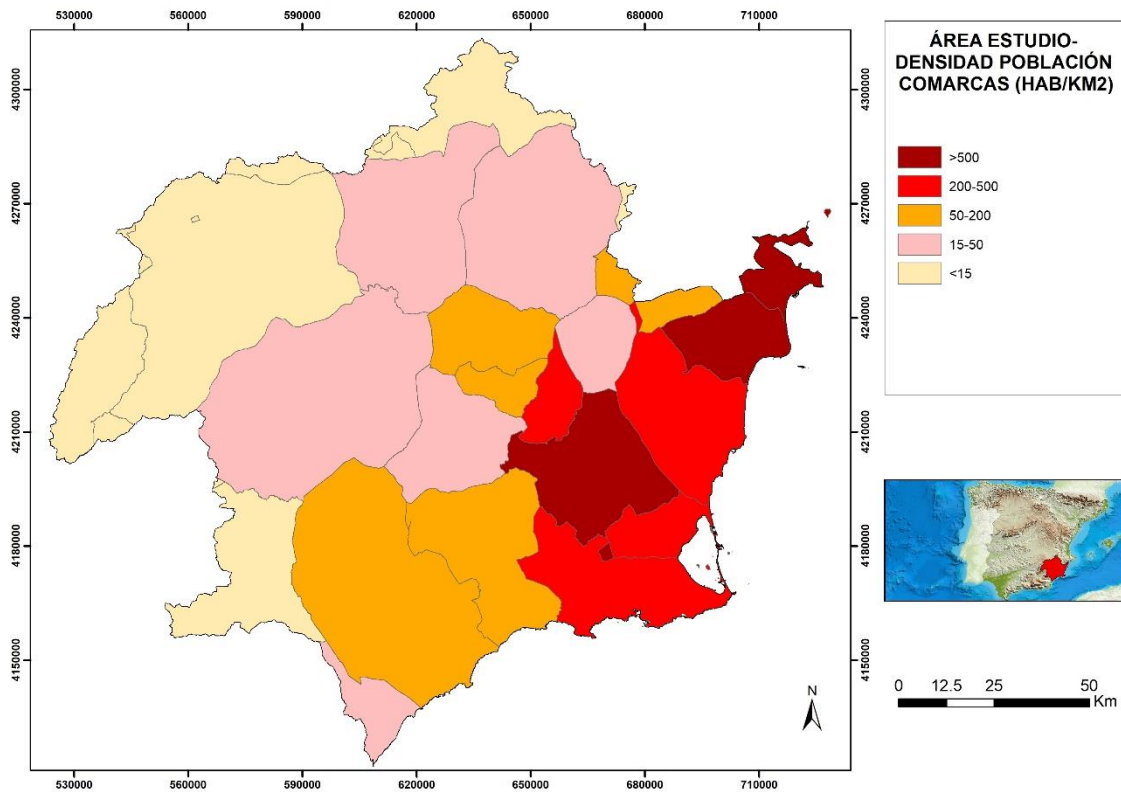


Figura 61. Distribución espacial de la densidad de población por comarcas. Elaboración propia a partir de los datos del INE.

Como en el resto de las regiones del litoral mediterráneo, existe una gran dicotomía entre los municipios interiores y costeros. Las comarcas litorales y prelitorales presentan un gran dinamismo demográfico, superando todas los 100.000 habitantes, excepto Bajo Guadalentín y Levante Almeriense. Resaltan las comarcas Huerta de Murcia, Vega Baja del Segura y Campo de Alicante, ya que superan la barrera de los 300.000 habitantes, y una densidad de población superior a 500 hab/km<sup>2</sup>. En la figura 60 puede verse como las comarcas Huerta de Murcia y Vega Baja del Segura presentan una variación interdecadal positiva desde principios del S.XX, con la excepción de la década de 1970, donde se produjo un ligero descenso de población. Destaca la espectacular variación de la población de la Vega Baja del Segura en la primera década del S.XXI, debido a la construcción de numerosas urbanizaciones destinadas al turismo residencial, sobre todo en los municipios costeros de Pilar de la Horadada, Orihuela, Torreveja y Guardamar de Segura (Martínez Guirado y Mazón Martínez, 2016). La población entre 2001 y 2011 se incrementó en 167.350 habitantes en esta comarca. Los municipios que experimentaron un mayor crecimiento fueron Torreveja (+52.000 habitantes) y Orihuela (+34.000 habitantes).



La magnitud de este fenómeno se refleja en el hecho de que Torrevieja se situaba en 2011 en cuarto lugar nacional en número de viviendas no principales, tan solo por detrás de Madrid, Barcelona y Valencia. Son viviendas que fueron adquiridas en gran parte por ciudadanos europeos, principalmente de países como Reino Unido y Alemania (Martínez Guirado y Mazón Martínez, 2016). La irrupción de la crisis económica a partir del año 2008 puso fin a este modelo de expansión residencial desmesurado, que originó un consecuente deterioro medioambiental, paisajístico, y de la imagen y calidad turística. Entre los factores que pudieron repercutir en el agotamiento de este recurso se encuentran: escasa creación de infraestructuras turísticas y limitación del recurso suelo (Mazón Martínez y Aledo Tur, 2005). Entre 2011 y 2018, la Vega Baja del Segura tuvo un descenso de 47.630 habitantes. En la comarca Huerta de Murcia, donde las viviendas destinadas al turismo residencial son escasas, no se ha evidenciado este descenso de población en la última década.

Paradójicamente, el fuerte incremento de la población en los municipios litorales de Alicante y Murcia no ha supuesto un aumento del consumo de agua urbano-turístico, sino todo lo contrario, ya que desde mediados de la década del 2000 se ha producido un descenso continuado en estos municipios (Hernández y Morote Seguido, 2019). Este retroceso también se vislumbra a nivel global en la mayor parte de las grandes aglomeraciones urbanas de los países desarrollados (March y Saurí, 2017). Entre las causas y factores que inducen a este descenso podrían destacarse la mayor concienciación ciudadana, la instalación de tecnologías más eficientes en el uso del agua o el uso de recursos hídricos alternativos (aguas pluviales y depuradas) (Hernández y Morote Seguido, 2019). En el litoral mediterráneo español la reducción del volumen suministrado y facturado de agua se produjo especialmente en los inicios de la crisis económica (2007-2010), posiblemente como consecuencia del cierre de empresas turísticas o la salida de población extranjera (Villar Navascués, 2019).

Por el contrario, las comarcas interiores presentan una marcada despoblación, que se ha visto acentuada durante las últimas décadas. Cabe destacar que las comarcas de Albacete, Alto Vinalopó y Huéscar no albergan ningún habitante en el área de estudio, al ser ínfima la superficie que ocupan en dicho territorio. Las comarcas Sierra del Segura (Albacete), Sierra de Alcaraz y Sierra de Segura (Jaén) son las más afectadas por este fenómeno, presentando densidades de población inferiores a 10 hab/km<sup>2</sup>. El territorio incluido en el área de estudio de la comarca Monte Ibérico-Corredor de Almansa también presenta una



densidad de población inferior a 10 hab/km<sup>2</sup>, y la comarca de Los Vélez 13,2 hab/km<sup>2</sup>. Las comarcas Noroeste, Altiplano, Río Mula y Oriental, localizadas en la Región de Murcia, también presentan densidades bajas, siendo inferiores a los 50 hab/km<sup>2</sup>.

La Unión Europea considera regiones escasamente pobladas aquellas que tienen una densidad igual o inferior a 12,5 hab/km<sup>2</sup> (Burillo Cuadrado et al., 2019). En España, se localizan diez Áreas Escasamente Pobladas del Sur de Europa (en inglés, Southern Sparsely Populated Areas, SSPA). Dos de ellas están integradas por municipios del área de estudio: Serranía Bética y Serranía Levantina (Burillo Cuadrado y Burillo Mozota, 2019). Por un lado, la Serranía Bética (9,75 hab/km<sup>2</sup>) engloba municipios de las comarcas Sierra de Segura (Jaén), Sierra del Segura y Sierra de Alcaraz (Albacete), Huéscar (Granada) y Noroeste (Murcia). Por otro lado, la Serranía Levantina (8,47 hab/km<sup>2</sup>) alberga municipios de la comarca Monte Ibérico-Corredor de Almansa. Todas estas comarcas presentan un descenso de la población desde la década de 1960, como consecuencia del éxodo rural. En la figura 60 se observa como la comarca Sierra del Segura presenta un continuo retroceso de población desde la década de 1960, pasando de tener 52.853 habitantes en 1950 a 16.180 habitantes en 2018. En esta figura se muestra también el ejemplo de la Comarca del Noroeste de Murcia, que muestra un estancamiento de su población, siendo una comarca de transición entre las comarcas interiores y litorales.

Por último, en las figuras 62 y 63 se expone la distribución espacial de la población y su densidad a escala municipal. En ellas se observa perfectamente la dicotomía existente entre los municipios del interior y los litorales. Cuatro municipios superan los 200.000 residentes (Murcia, Alicante, Elche y Cartagena), englobando 1.223.307 habitantes, lo que representa un 46,6% del total de población. Todos estos municipios tienen densidades por encima de 500 hab/km<sup>2</sup>, superándose en algunos casos los 1000 hab/km<sup>2</sup>, como en Alicante. En cambio, los municipios situados en el sector noroccidental presentan densidades inferiores a los 20 hab/km<sup>2</sup>. Municipios como Liétor, Ayna o Nerpio tienen densidades de población inferiores a 5 hab/km<sup>2</sup>, siendo una de las áreas más despobladas de Europa. Por último, cabe destacar que la concentración de la población en los municipios costeros hace que la gestión, planificación y distribución de los recursos hídricos sea muy compleja, ya que la mayor parte de las reservas hídricas se localizan en el sector noroccidental, como ya se mencionó en el apartado de hidrología.

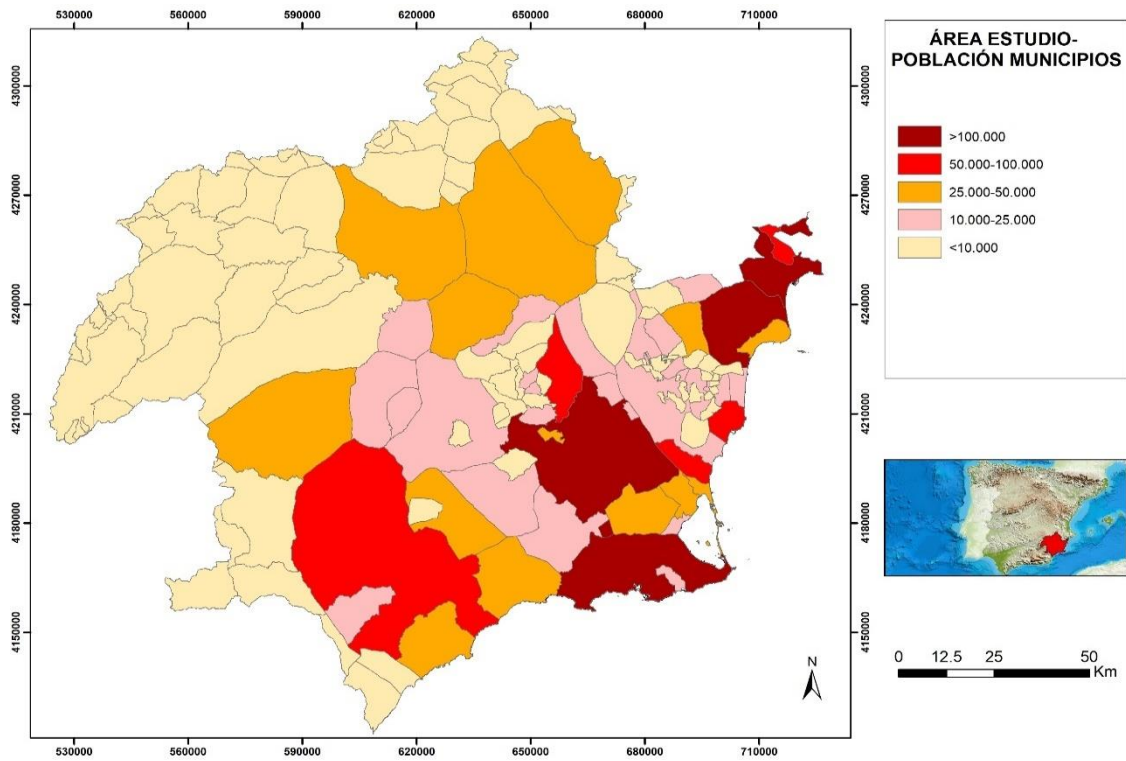


Figura 62. Distribución espacial de la población a escala municipal. Elaboración propia a partir de los datos del INE.

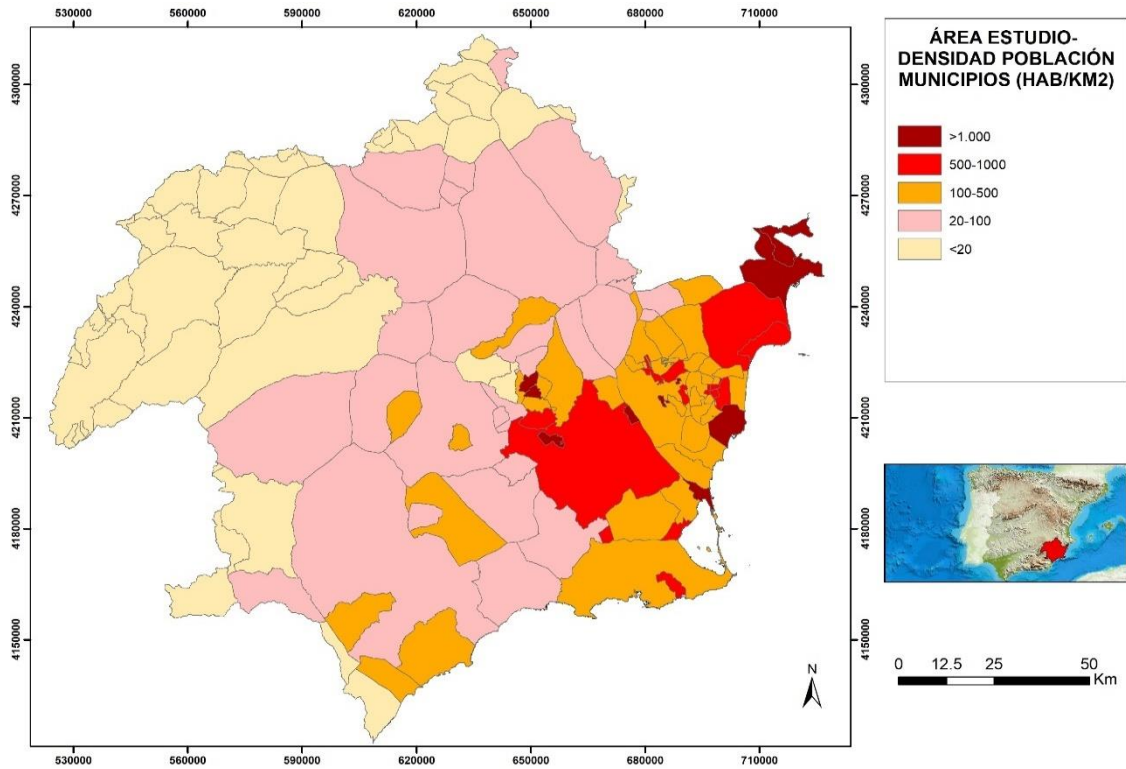


Figura 63. Distribución espacial de la densidad de población a escala municipal. Elaboración propia a partir de los datos del INE.





**CAPÍTULO IV**

**TENDENCIAS Y**

**VARIACIONES EN LAS**

**PRECIPITACIONES**

Los impactos asociados con el cambio climático han renovado en los últimos años el interés por el estudio de las tendencias y variaciones de diferentes variables climatológicas, especialmente de las temperaturas y las precipitaciones. El calentamiento del sistema climático es inequívoco, tal y como se deduce del incremento de la temperatura de la atmósfera y los océanos, de la reducción de los volúmenes de hielo y nieve, y del aumento del nivel del mar. De hecho, muchos de los cambios observados desde la década de 1950 no tienen precedentes en los últimos siglos. Concretamente, los datos combinados de temperatura de la superficie terrestre y oceánica promediados a escala global, calculados a partir de una tendencia lineal, muestran un calentamiento de 0,85°C para el periodo 1880-2012 (IPCC, 2013). Es probable (nivel de confianza alto) que el calentamiento global alcance un valor de 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales entre los años 2030 y 2052 si continúa incrementándose la temperatura al ritmo actual (IPCC, 2018).

En lo referido a las tendencias de las precipitaciones, existe mucha más incertidumbre por parte de la comunidad científica, que con la evolución de las temperaturas. La preocupación cada vez mayor por la evolución de los recursos hídricos en el contexto de los escenarios de cambio climático, provoca que los estudios sobre variaciones en las series de precipitación cobren una gran importancia (Guijarro Pastor, 2002). La elevada variabilidad espacial e interanual de las precipitaciones, dificulta el análisis de sus tendencias, más si cabe en el ámbito mediterráneo. Es por ello, que los cambios locales en la precipitación detectados a partir del estudio de pocas series longevas, pueden no ser totalmente representativos del comportamiento pluviométrico de una región (Miró Pérez et al., 2018).

En el quinto informe (en inglés Fifth Assessment Report-AR5) de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (conocido por sus siglas en inglés: Intergovernmental Panel on Climate Change- IPCC), se recopilan toda una serie de cambios acontecidos en las numerosas variables del sistema climático, tanto las procedentes de observaciones superficiales y satelitales como las simulaciones efectuadas mediante modelos climáticos (IPCC, 2013). En la figura 64 se muestran los resultados obtenidos en el AR5 con respecto a las tendencias globales de las precipitaciones para el periodo 1901-2010. En general, en este periodo se observa un aumento de las precipitaciones en las latitudes medias del hemisferio norte (con un nivel de confianza medio), con tendencias positivas estadísticamente significativas en numerosas áreas. En

la península ibérica, se observan también tendencias ligeramente positivas en la mitad norte y litoral mediterráneo oriental, lo cual es corroborado en otras investigaciones (Esteban et al., 1998; Brunet et al., 2007; Luna et al., 2012). Para el periodo 1951-2010, las tendencias siguen siendo positivas para gran parte de las latitudes medias del hemisferio norte, aunque se observan menos áreas con significancia estadística. En cambio, para la península ibérica y en general todo el ámbito mediterráneo si se evidencian tendencias negativas.

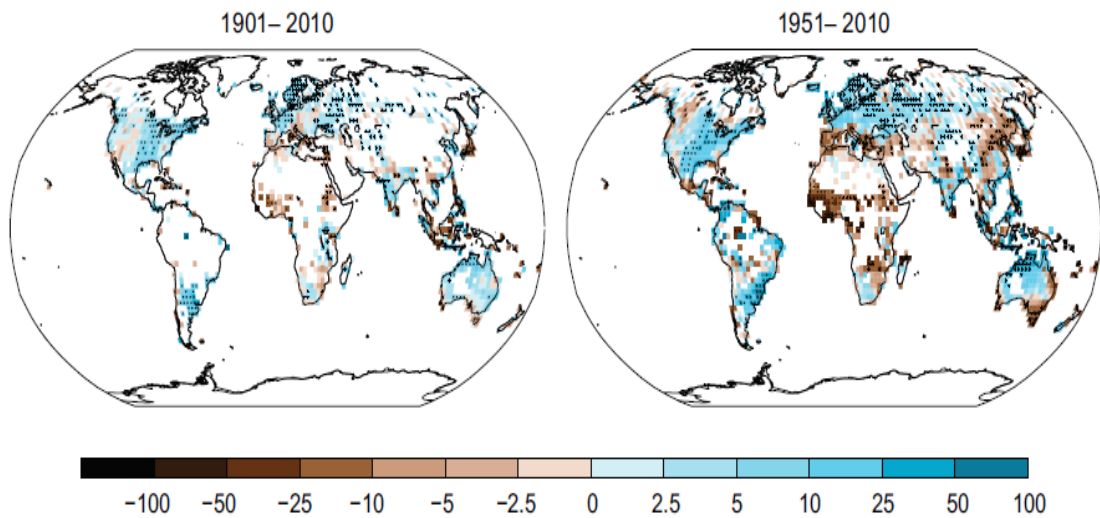


Figura 64. Tendencias de precipitación anual (mm/década) del conjunto de datos del Climatic Research Unit (CRU), para los periodos temporales 1901-2010 y 1951-2010. Los puntos negros indican que las tendencias presentan significancia estadística y las áreas blancas ausencia de datos. Fuente: IPCC (AR5).

Los resultados mostrados en el AR5 sobre tendencias de precipitación son corroborados en numerosos estudios en los que se detalla la existencia de una tendencia positiva en la precipitación para la mayor parte de los países del norte de Europa durante el siglo XX y principios del S.XXI (Schönwiese y Rapp, 1997; Van Haren et al., 2013; Van den Besselaar et al., 2013; Madsen et al., 2014), y por el contrario una tendencia claramente negativa en los países del ámbito mediterráneo, sobre todo a partir de la segunda mitad del S.XX (Folland y Karl, 2001; Norrant y Douguédroit, 2006; Philandras et al., 2011; Mariotti et al., 2015). Las causas de esta evolución podrían explicarse por el predominio de la fase positiva experimentada por la NAO desde mediados de la década de los setenta (Aguilar Alba, 2007), circunstancia que explica la reducción de las precipitaciones en las latitudes subtropicales. Este hecho está conectado con el aumento de las situaciones

anticiclónicas en el sur de Europa (Schönwiese y Rapp, 1997; Folland y Karl, 2001). En Cassou et al., (2004) se analiza detenidamente el desplazamiento del centro de acción del anticiclón de las Azores hacia el noroeste como consecuencia del aumento de los gases de efecto invernadero, lo que implica una consecuente disminución de las precipitaciones en la península ibérica.

Dentro del ámbito de la península ibérica también se han efectuado numerosos estudios que evidencian una clara tendencia negativa de las precipitaciones a partir de la segunda mitad del S.XX sobre todo en la vertiente atlántica (Esteban Parra et al., 1998; Serrano Pérez et al., 1999; González Hidalgo et al., 2011; Luna Rico et al., 2012; Ríos Cornejo et al., 2013; Serrano Notivoli, 2017). En Luna Rico et al.(2012), se analiza el mismo periodo utilizado en el AR5 (1901-2010) extrayéndose resultados muy similares, ya que para el periodo 1951-2010 también se reflejan tendencias ligeramente negativas. En cambio en la vertiente mediterránea si se observan tendencias ligeramente ascendentes en algunas áreas montañosas del interior de estas regiones desde la segunda mitad del S.XX (De Luis et al., 2009; Bartolomeu et al., 2016; Serrano Notivoli, 2017). Además en Almarza (2002) se señala una clara tendencia al alza de la variabilidad interanual en España desde la segunda mitad del S.XX.

Por otra parte, en estudios a escala regional concretamente en el ámbito territorial de la DHS también se observan tendencias negativas en las precipitaciones desde la segunda mitad del S.XX (Valdés Abellán et al., 2017; Miró Pérez et al., 2018) con la excepción de reducidas áreas montañosas del interior que están muy expuestas a los vientos de levante de gran recorrido marítimo. En Miró Pérez et al., (2018) se analiza el periodo 1955-2016 evidenciándose que la zona de la cabecera del Segura (zona más húmeda del territorio) es la que presenta un mayor descenso absoluto de las precipitaciones debido a la reducción de las lluvias de origen atlántico que tienen un elevado peso en esta zona. En Valdés Abellán et al. (2017), se pone de relieve un aumento de las condiciones de aridez en las zonas litorales de la DHS, siendo esta el área donde se concentran la mayor parte de la población y actividades económicas, lo que genera importantes repercusiones especialmente en la agricultura.

Por último, en el conjunto de la sociedad y en el ámbito científico, existe una elevada preocupación por los impactos futuros del cambio climático sobre los recursos hídricos. En recientes investigaciones se evidencia una clara intensificación de los fenómenos hidrológicos extremos en Europa (Lehner et al., 2006; Rajczak et al., 2013). Lehner et al.,



(2006) indican la existencia de regiones críticas en las que se esperan cambios significativos en la ocurrencia de fenómenos de inundación y sequías según distintos escenarios de cambio climático. Estos autores estiman un aumento de la frecuencia de las inundaciones en el norte y noroeste de Europa a lo largo del S.XXI, lo cual es corroborado en otras investigaciones (Kundzewich et al., 2006; Rajczak et al., 2013; Madsen et al., 2014; Alfieri et al., 2015). En cambio, en el sur y sureste del continente europeo se estima un aumento significativo de la frecuencia de sequías, de tal modo que sequías con un período de recurrencia de 100 años podrían repetirse con una frecuencia oscilante entre 10 y 50 años hacia la década de 2070 (Lenher et al., 2006). De este modo, las regiones mediterráneas serán uno de los ámbitos territoriales más afectados por la intensificación de los periodos de indigencia pluviométrica (Stagge et al., 2015; Spinoni et al., 2017).

En el AR5 se realiza una proyección de los cambios de precipitación a nivel global para el periodo 2081-2100 con respecto al periodo de referencia 1986-2005. La proyección se efectúa para los cuatro escenarios de emisión (en inglés Representative Concentration Pathway- RCP) existentes: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5 (figura 65). Cada uno de estos escenarios está caracterizado por un determinado forzamiento radiativo total para el año 2100, el cual oscila entre 2.6 y 8.5 W/m<sup>2</sup>. Estos nuevos RCP del AR5 pueden contemplar los efectos de las políticas orientadas a limitar los efectos del cambio climático efectuadas en el S.XX, frente a los escenarios de emisión utilizados en el AR4 (IPCC, 2007) que no contemplaban los efectos de dichas políticas y acuerdos internacionales tendentes a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.

El aumento de la precipitación media global está prácticamente asegurado con el aumento de la temperatura media global. Con un nivel de confianza alto se espera que aumente el contraste de la precipitación media anual entre las regiones secas y húmedas, debido a que el incremento de la temperatura aumentará la humedad específica en la troposfera, así como el incremento del transporte de vapor de agua desde los trópicos (IPCC,2013). De este modo las zonas semiáridas y áridas de las latitudes medias y subtropicales es muy probable que experimenten una reducción de las precipitaciones, mientras que las regiones húmedas de las latitudes medias probablemente percibirán un incremento de las precipitaciones. En los RCP más pesimistas (RCP 6.0 y RCP 8.5), estos contrastes serán mayores. Los cambios de precipitación global observados para cada RCP se pueden visualizar en la figura 65.

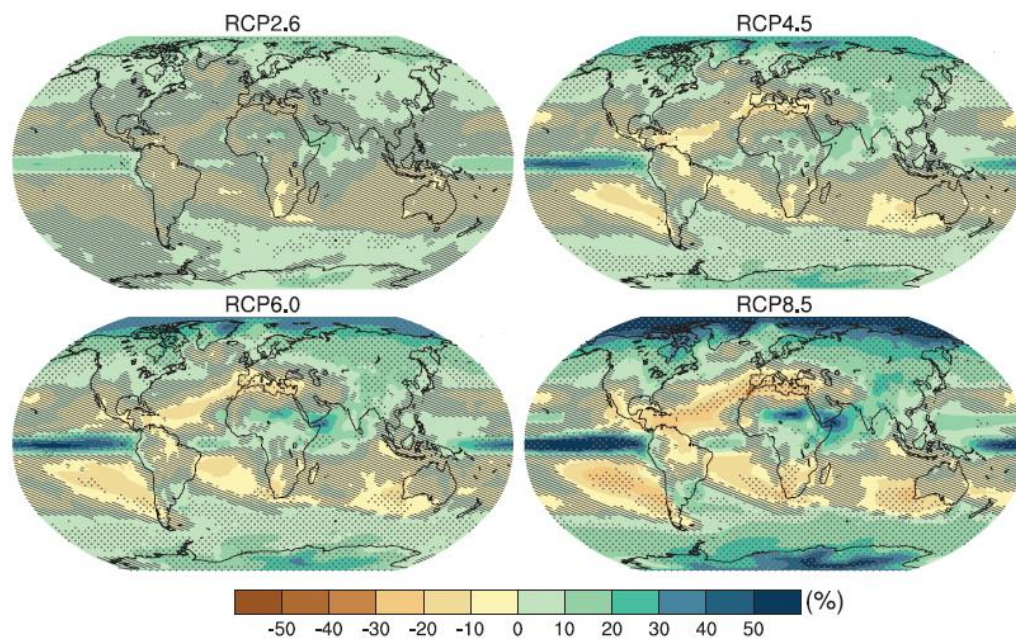


Figura 65. Cambios en la precipitación media anual (en %) del periodo 2081-2100 con respecto al periodo 1986-2015. Las tramas punteadas indican aquellas regional donde por lo menos el 90% de los modelos climáticos refleja que los cambios son estadísticamente significativos. Fuente: IPCC (AR5).

En la península ibérica el único RCP que no estima un descenso de las precipitaciones a finales del S.XXI es el escenario que conduce a un forzamiento muy bajo (RCP 2.6). El resto de RCPs que reflejan un incremento de las emisiones de gases de efecto de invernadero, si evidencian un descenso de las precipitaciones, siendo este muy acusado en el escenario RCP 8.5. En dicho escenario, se estima, que las regiones mediterráneas españolas experimenten un descenso de precipitación anual alrededor de un 20%. Esta reducción de las precipitaciones queda reflejada también a nivel regional en las proyecciones regionalizadas de cambio climático realizadas por AEMET. Concretamente para la DHS se prevé una reducción de un 5% para el RCP 4.5, y entre un 15 y 20% para los RCPs 6.0 y 8.5, hasta finales del S.XXI (figura 66).

En ámbitos semiáridos como la DHS que cuenta con una precipitación media anual de 375 mm, y amplias áreas por debajo de 300 mm anuales, un descenso de precipitación de un 20% (RCP 8.5) supondría una reducción absoluta de las precipitaciones entorno a unos 75 mm. Esta reducción implicará importantes repercusiones territoriales, sobre todo en las actividades económicas que más agua demandan (agricultura y turismo), por lo que

resulta imprescindible que estas actividades se adapten a los nuevos condicionantes climáticos, ya que los impactos sobre los recursos hídricos se agravarían de forma notable. Además se intensificarían los conflictos sociopolíticos interterritoriales por el dominio de este recurso básico, como en la DHS, por la gestión de los recursos del TTS.

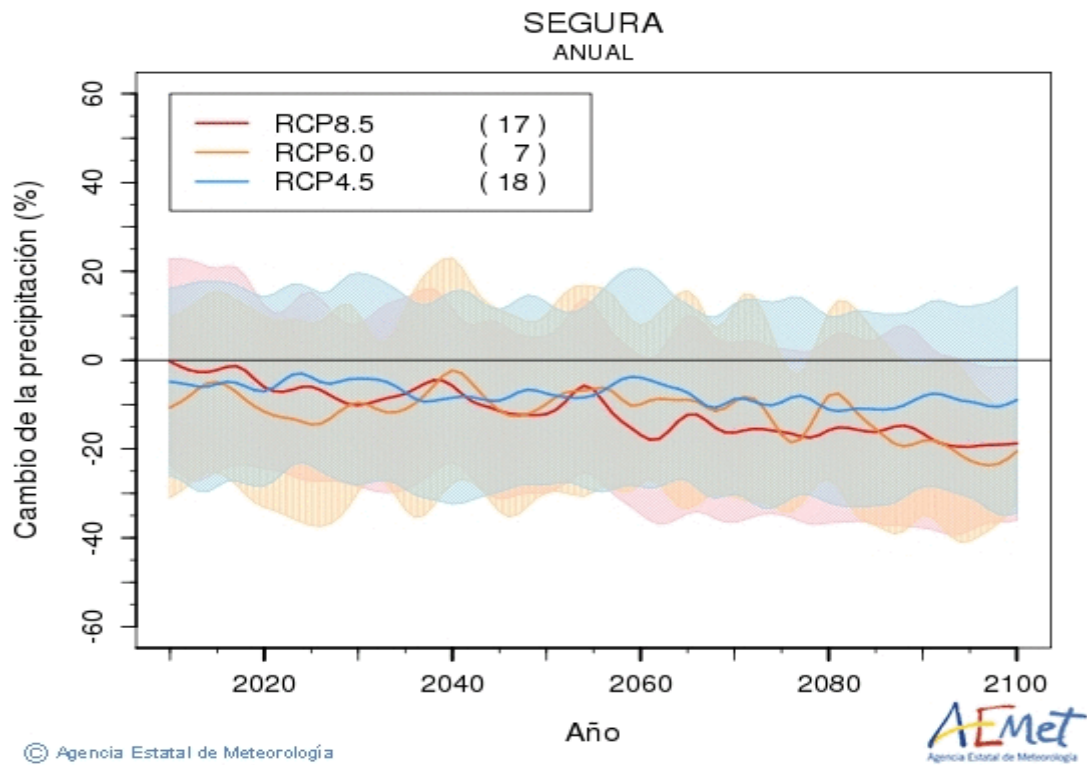


Figura 66. Cambios de precipitación estimados por las proyecciones regionalizadas de cambio climático para la Demarcación Hidrográfica del Segura hasta finales del S.XXI.

Fuente: AEMET.

Las posibles causas de la reducción de las precipitaciones para finales del S.XXI en las zonas áridas y semiáridas de las latitudes medias y subtropicales han sido analizadas en múltiples estudios. Predomina la hipótesis de la migración hacia el norte de los componentes de la Circulación General Atmosférica (CGA), como consecuencia del calentamiento global (Conesa García y Alonso Sarría, 2006; Seidel et al., 2008; Allen et al., 2012; Feng y Fu, 2013; Huang et al., 2017). El resultado de esta hipótesis en la península ibérica sería la reducción de la influencia de las perturbaciones ligadas al frente polar (incremento de la fase positiva de la NAO), y el consecuente aumento de los anticiclones subtropicales. El ascenso en latitud de los elementos de la CGA conlleva sin duda un incremento de la desertificación en las regiones mediterráneas (López Bermúdez, 1985).

Por último, una vez realizada una pequeña introducción sobre el estado de la cuestión, se va a llevar a cabo la descripción de los diferentes apartados que configuran este capítulo. En primer lugar, se expone la base de datos de las series de precipitación utilizadas, detallándose la metodología implementada para la reconstrucción y homogeneización de las mismas. En segundo lugar, se muestra la distribución espacial de las precipitaciones por estaciones para el periodo de referencia 1981-2020, así como la disposición espacial del peso de cada tipo de precipitación (origen atlántico, mediterráneo y convectivo). En tercer lugar, se analizan las tendencias y variaciones en las series más longevas del área de estudio. Posteriormente se lleva a cabo una regionalización de las precipitaciones a partir de un análisis de componentes principales, con el objetivo de estudiar patrones espaciales comunes, para el periodo 1968-2017. Finalmente, se estudian por una parte las tendencias y variaciones de la precipitación mensual a escala anual, estacional y mensual, y por otra parte las tendencias de precipitación diaria a escala anual y estacional. En ambos casos, se ha utilizado un periodo temporal de 50 años (1968-2017), ya que para este periodo se dispone de un total de 92 estaciones repartidas homogéneamente a lo largo de toda el área de estudio.

## **4.1. Base de datos: Reconstrucción y homogeneización de las series de precipitación**

### **4.1.1. Base de datos**

En este subapartado se expone la metodología seguida para la construcción de la base de datos de series de precipitación utilizada tanto en este capítulo como en el capítulo 5. Para comenzar con el proceso de construcción de la base de datos, se han recopilado todas las series disponibles de registros diarios de precipitación del área de estudio y zonas aledañas (máximo 15 km de distancia), procedentes de los registros en formato digital de AEMET. Inicialmente se disponía de registros de un total de 324 series de precipitación, siendo descartadas algunas de ellas en una primera criba debido a su elevado número de lagunas o por presentar un periodo temporal muy pequeño. En este punto, es importante resaltar que la OMM, establece, de forma general, un período mínimo de 30 años como la longitud recomendable que han de tener los registros meteorológicos y demás índices estadísticos para que posean una significación climática (Martín Vide, 2003).

De forma complementaria, se han utilizado algunas series pertenecientes a la DHS cuyo uso es compartido junto a AEMET y que fundamentalmente se encuentran localizadas en los embalses. Además, se han empleado como ayuda en la reconstrucción las series de precipitación localizadas en el área de estudio de las redes de estaciones meteorológicas del Sistema Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) y del Sistema de Información Agrario de Murcia (SIAM) (49 SIAM Murcia, 2 del SIAR Castilla-La Mancha, 2 del SIAR Comunidad Valenciana y 1 del SIAR Andalucía. El gran inconveniente de estas redes es que solo disponen de registros diarios como mucho desde el año 1996, y, por tanto, solo pueden ser utilizadas como ayuda en el proceso de reconstrucción ejecutado.

La reconstrucción de las series de precipitación parte de la premisa básica de que en algunos emplazamientos se dispone de varias estaciones meteorológicas próximas con un elevado número de registros en diferentes períodos temporales. Este hecho, permite que se pueda reconstruir una serie de precipitación, a partir de un conjunto de series más cortas cuya situación geográfica sea cercana. Por tanto, la reconstrucción está basada en la hipótesis de que el cese de un observatorio meteorológico suele estar acompañado del comienzo o la continuación de un observatorio en una ubicación muy cercana, debido a cambios de emplazamiento efectuados por diferentes motivos (González Hidalgo et al., 2002). De este modo, si la ubicación de las estaciones meteorológicas es próxima, las diferencias en las cantidades de precipitación mensual suelen ser muy pequeñas, salvo excepciones debidas a una orografía muy compleja (Luna Rico et al., 2012).

De esta forma, en este trabajo, a partir de las series originales anteriormente detalladas, se han reconstruido un total de 92 series de precipitación, cuya distribución espacial se muestra en la figura 68. Todas las series cuentan con al menos 50 años de registros, y finalizan en el año 2017, ya que en el momento de realizar la construcción de la base de datos solo se disponía de registros hasta dicho año. Las series más longevas, son sin duda la procedentes de los observatorios situados en las ciudades de Murcia y Alicante, ya que los registros datan del año 1864, y por tanto disponen de más de 150 años de observaciones meteorológicas. La evolución de los registros de las series originales disponibles se puede observar en la figura 67. En este punto, cabe reseñar que cuanto más largas sean las series analizadas, los resultados obtenidos serán más robustos. Por tanto, las series homogéneas con un largo recorrido temporal son de vital importancia para el análisis de la variabilidad climática y para la obtención de escenarios de cambio climático regionalizados (Almarza et al., 1996; Luna Rico et al., 2012).

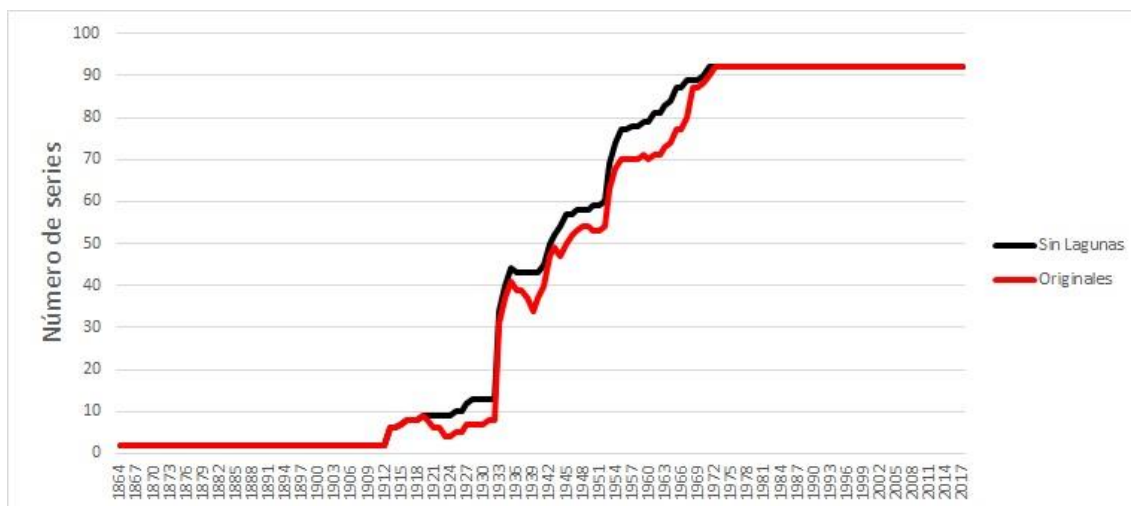


Figura 67. Evolución del número de series originales y sin lagunas tras el proceso de homogeneización y relleno de lagunas. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la evolución temporal de los datos originales, lo primero que hay que destacar es que todas las series han sido reconstruidas (el proceso de reconstrucción es explicado más adelante) hasta el primer año del que disponen datos. Por tanto, en la figura 67 se muestra tanto la evolución de las series originales como la evolución de las series sin lagunas. Tal y como se observa, hasta el año 1912 tanto solo se dispone de los registros de las series de las ciudades de Murcia y Alicante. En 1913, el número de series aumenta a 6. A partir de este año se produce una oscilación de las series originales entre 4 y 8, hasta el año 1932. En dicho momento se produce uno de los incrementos más notables en el número de series, ya que se pasa de 8 en 1932 a 31 en 1933. Este espectacular incremento se originó gracias a la creación en 1933, del Servicio Nacional de Meteorología, dependiente de la Dirección General de Aeronáutica (Palomares Calderón de la Barca, 2015).

Con la creación de este servicio, se instalaron numerosas estaciones meteorológicas a lo largo de la geografía española, muchas de las cuales siguen vigentes en la actualidad, siendo ya series casi centenarias, lo que les otorga un gran valor científico. En 1935, justo antes del inicio de la Guerra Civil Española, el número de estaciones asciende a 41. La dificultad de registrar los datos durante el conflicto bélico, provocó un descenso en el número, existiendo en el año 1939 un total de 34 series. Tras este paréntesis temporal, en el periodo de post guerra fue incrementándose poco a poco la cantidad de observatorios meteorológicos hasta alcanzar las 50 series en 1945. A partir de la segunda mitad del S.XX, el número de registros continúa aumentando, llegando a 70 series en 1955, y



posteriormente a 80 en 1967. Finalmente, a partir del año 1972 se dispone de las 92 series utilizadas en la base de datos.

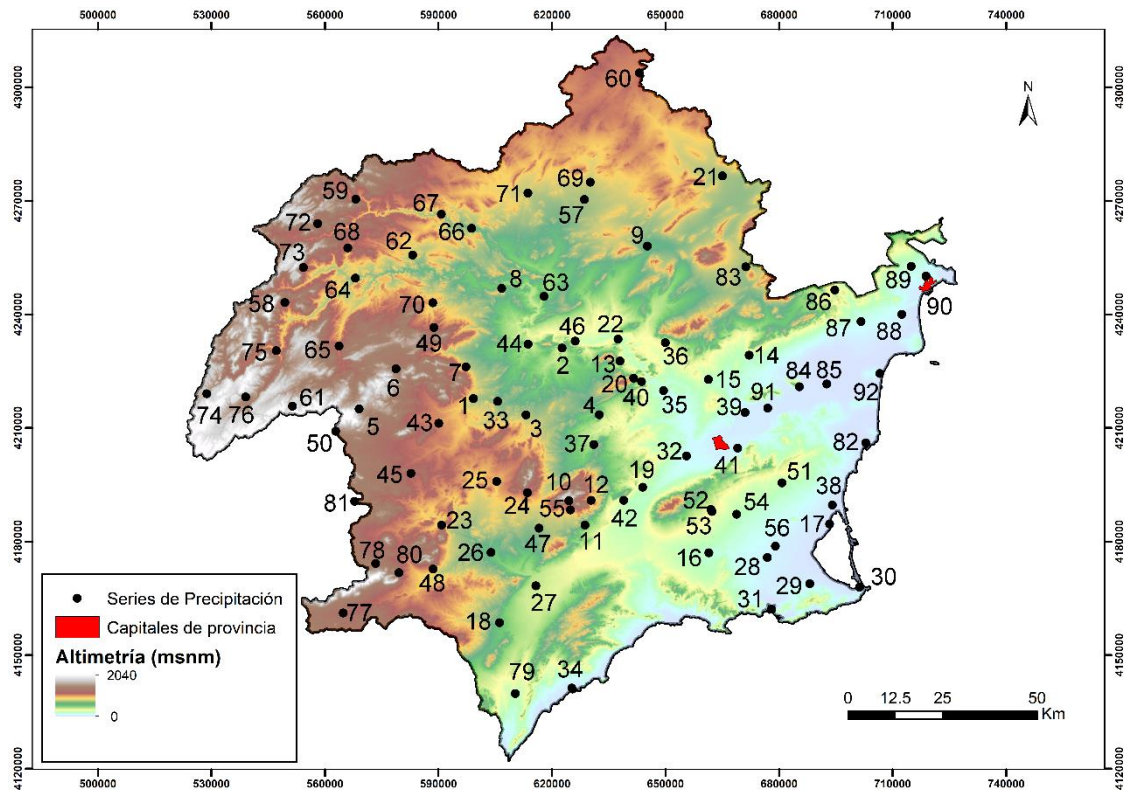


Figura 68. Distribución espacial de las series de precipitación utilizadas en la base de datos. El ID de cada serie se refleja en la tabla 29. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 68 se expone la distribución espacial de las 92 series utilizadas en la base de datos. Se observa cómo se distribuyen de forma más o menos homogénea a lo largo del territorio estudio, aunque presentan una mayor concentración en el valle del Segura, y en el resto de los valles prelitorales. Las zonas que presentan una menor densidad son gran parte de la costa occidental y el extremo nororiental. En la zona de cabecera del Segura la densidad de estaciones también es más reducida, así como el periodo temporal de las mismas, ya que la mayoría de las series solo disponen de datos a partir de la segunda mitad del S.XX. La baja densidad de series en las áreas mencionadas, junto con la ausencia de registros anteriores a la segunda mitad del S.XX, ha motivado que la regionalización de precipitaciones llevada a cabo en este capítulo se haya realizado únicamente para un periodo temporal de 50 años (1968-2017). No obstante, si se analizan periodos temporales más amplios para determinadas series largas localizadas en regiones con distintos patrones pluviométricos. En la tabla 29 se muestran las características básicas de las series utilizadas (ID, nombre, coordenadas, altitud, año de inicio de la serie,

porcentaje de huecos en el periodo 1968-2017 y precipitación anual para el periodo de referencia 1981-2010)

ID	Nombre	UTMX-30N	UTMY-30N	Altitud (msnm)	Año Inicio	% huecos 1968-2017	P (l/m2)
1	Caravaca	599265	4217785	623	1933	1,4	384,1
2	Emb. Alfonso XIII	622719	4231114	312	1933	1,0	302,4
3	Bullas	613162	4213496	604	1933	2,5	392,7
4	Emb. de la Cierva	632540	4213541	395	1933	0,7	340,1
5	Inazares	569086	4215068	1300	1933	2,9	470,8
6	Campo de S. Juan	578851	4225636	1150	1942	1,4	491,4
7	Moratalla	597290	4225636	710	1942	3,3	419,4
8	Emb. del Cenajo	606750	4246858	360	1933	0,4	392,5
9	Jumilla	645247	4258045	485	1928	0,4	297
10	Totana Carrasca	624526	4190755	1200	1913	3,1	468,6
11	Totana Morti	628806	4184347	480	1913	1,7	316,8
12	Alhama-Espuña	630390	4190908	760	1913	0,1	423,7
13	Abarán S <sup>a</sup> del Oro	638029	4227661	400	1925	6,7	305,6
14	Abanilla	672171	4229217	174	1933	3,1	287
15	Fortuna	661370	4222828	192	1953	1,2	267,8
16	Fuente Álamo	661516	4177040	140	1933	0,6	277,7
17	San Javier	693425	4184666	4	1933	0,2	313
18	Puerto Lumbreras	606219	4158572	445	1942	5,0	274,5
19	Librilla	643994	4194373	180	1934	1,2	300,9
20	Ricote	641612	4223128	480	1945	0,6	335
21	Yecla	665085	4276585	605	1935	3,1	296,3
22	Cieza	637517	4233449	188	1935	0,5	258,9
23	Emb. Valdeinfierno	590892	4184364	690	1933	0,2	355,1
24	Zaradilla Totana	613570	4192908	861	1941	2,5	350,5
25	Avilés	605419	4195882	770	1935	7,7	296,2
26	Emb. de Puentes	603946	4177121	450	1933	0,5	302,5
27	Lorca	615799	4168318	312	1934	4,7	252,2
28	Pozo Estrecho	676924	4175783	50	1933	0,7	296,1
29	Cartagena El Algar	688204	4168878	40	1935	3,3	370,3
30	Salinas Cabo Palos	701322	4167913	1	1942	10,6	302,9
31	Cartagena Puerto	678051	4162116	10	1919	4,3	272,5
32	Murcia/Alcantarilla	655618	4202611	75	1864	0	289,5
33	Cehegín	605682	4217064	563	1953	13,4	392,1
34	Águilas	625273	4141287	20	1953	0,4	204,1
35	Archena	649537	4119910	100	1948	0,2	266,8
36	Blanca Casa Castillo	649986	4232498	280	1945	6,1	282,9
37	Pliego	631107	4205656	381	1954	2,8	367,5
38	S. Pedro del Pinatar	694138	4189639	19	1955	5,7	293,4
39	Santomera	671099	4214137	36	1953	0,9	276,3
40	Ulea	643721	4222302	110	1945	6,7	302,9
41	Beniaján	669099	4204720	50	1933	3,2	282,1
42	Alhama El Praico	639019	4190895	210	1953	3,7	293,2
43	Barranda	590131	4211236	850	1942	1,3	355,5
44	Calasparra	613754	4232124	340	1933	1,8	354,5
45	Los Royos	582760	4198035	985	1953	6,8	335,4
46	Cieza Almadenes	626193	4232925	200	1965	0,3	310,2
47	Lorca Juncosa	616635	4183549	580	1959	1,9	315,4
48	Lorca Tirieza Alta	588620	4172780	790	1943	5,2	346,9
49	Benizar	588854	4236529	899	1954	1,5	533
50	Cañada de la Cruz	562870	4209161	1271	1953	1,1	433
51	Murcia Sucina	680849	4195504	203	1954	0,7	308,6
52	Murcia Corvera	662073	4188481	280	1954	0,5	284,2
53	Murcia S. Magin	662304	4187931	260	1952	0	286,4
54	Martínez del Puerto	668874	4187200	160	1954	3,2	266,6
55	Totana Alquerías	624929	4188356	799	1913	3,6	387,5
56	Torre Pacheco	679088	4178790	50	1968	8,6	299,7
57	Albatana	628633	4270364	580	1953	3	281,5
58	Arguellite	549472	4243127	980	1933	3,2	705,8
59	Bogarra	568250	4270364	880	1963	2,3	469,5
60	Bonete	643111	4303790	888	1954	14,4	376,7



61	Cañadas de Nerpio	551470	4215779	1485	1933	19,8	501,8
62	Elche de la Sierra	583237	4255674	630	1934	1,9	412,9
63	Emb. de Camarillas	617971	4244764	397	1933	11,9	327,6
64	Emb. Fuensanta	568112	4249583	680	1933	2,8	441,4
65	Presa del Taibilla	563790	4231669	870	1933	1,1	420,6
66	Emb. del Talave	598811	4262757	550	1933	16,7	375,5
67	Liétor	590800	4266454	641	1933	1,7	386,4
68	Molinicos	566106	4257581	823	1942	1,8	486,4
69	Ontur	630156	4274922	670	1915	1,8	323,4
70	Socovos	588540	4243061	750	1941	3,3	468,3
71	Tobarra	613674	4272049	625	1945	0,4	284,1
72	Cañada Provencio	558134	4263992	1125	1971	8,8	819,1
73	Yeste Hoya Parilla	554386	4252376	1018	1971	22,4	797,1
74	Pontones	528848	4219079	1333	1934	7,2	871,7
75	Salto de Miller	547191	4230414	725	1961	0,9	585,4
76	Stgo. de la Espada	539104	4218228	1332	1934	4,6	756,7
77	Chirivel	564906	4161125	1046	1934	10,5	321,8
78	María	573447	4174234	1202	1964	4,0	452,6
79	Pulpi Canalejas	610366	4139843	180	1963	9,6	254,9
80	Vélez Blanco	579617	4171794	1080	1967	7,3	383,9
81	Topares	567903	4190655	1182	1951	2,3	322
82	Torre vieja	703003	4206087	9	1927	9,5	281,6
83	Pinoso	671237	4252574	575	1934	0,6	286,1
84	Callosa de Segura	685406	4220935	25	1950	2,7	296,3
85	Almoradí	692698	4221660	7	1933	18,7	311,2
86	Aspe	694757	4246446	241	1944	8,0	296,8
87	Elche	701719	4238104	95	1955	0,7	271,9
88	Alicante/El Altet	712468	4239983	43	1967	0,4	276,4
89	S.Vicente Raspeig	714974	4252698	115	1961	1,5	286,4
90	Alicante	718904	4250120	81	1864	0,0	311,1
91	Orihuela	677074	4215260	26	1964	1,6	284,4
92	La Marina de Elche	706665	4224378	15	1970	6,3	289,9

Tabla 29. Información básica de las 92 series de precipitación utilizadas en la base de datos reconstruida. Fuente: Elaboración propia. \*P (l/m<sup>2</sup>) se refiere a la precipitación media del periodo de referencia 1981-2020.

#### 4.1.2. Proceso de reconstrucción

En el presente subapartado se explica la metodología que se ha seguido para la reconstrucción de los registros diarios de precipitación. El desarrollo de bases de datos climáticos homogéneos con un largo recorrido temporal constituye un paso fundamental para el posterior análisis de la variabilidad climática (Luna et al., 2012). En climatología, se considera que una serie de datos temporal es homogénea cuando sus variaciones proceden exclusivamente de la dinámica natural y no han sido originadas por la intervención humana (Conrad y Pollak, 1951; Almarza et al., 1996). Por el contrario, hay una serie de factores que pueden inducir alteraciones en los registros que reciben el nombre de inhomogeneidades (Aguilar et al., 2003), entre las que se encuentran las siguientes: modificación de las horas de la lectura de los datos, cambios en los instrumentos de medida o variaciones en la ubicación de las estaciones meteorológicas.

Por tanto, una serie de datos climáticos no homogénea presupone que cualquier resultado que se obtenga de su análisis no será fiable. Por ello, el primer paso para analizar las series de precipitación es la evaluación de su calidad y homogeneidad temporal (González Hidalgo et al., 2002). Según Martín Vide (2003), existen diferentes tipos de test para identificar las posibles inhomogeneidades en los registros de precipitación. Los diversos test poseen distintos niveles de exigencia, lo que genera que no en todas las ocasiones los resultados obtenidos serán los mismos, es decir una serie de precipitación, puede ser contemplada simultáneamente como homogénea por un test e inhomogénea por otro, de ahí la importancia en la elección del test idóneo (Meseguer Ruiz y Sarricolea, 2017).

En el proceso de homogeneización y relleno de lagunas de series es muy importante seguir una serie de pautas, para evitar interpretaciones erróneas de los registros (González Rouco et al., 2001). En Aguilar et al. (2003), se detallan las pautas que se deben seguir en el proceso de control de calidad y homogeneización de las series climáticas. Este proceso consta de 4 pasos: 1) Control de calidad: consiste en un análisis de los registros disponibles en las series de precipitación con el objetivo de identificar valores atípicos (outliers); 2) Construcción de una serie temporal de referencia para cada serie original o candidata; 3) Detección de puntos de ruptura (momentos en los que se observan cambios bruscos en las series y que pueden llegar a generar inhomogeneidades) en las series de datos originales; 4) Analizar los datos y ver cuáles de ellos son aceptados como inhomogeneidades reales y van a corregirse para que la serie pueda ser considerada homogénea.

En la actualidad, existen buenos métodos de reconstrucción a escala mensual, los cuales, en último término, dependen en gran parte de la disponibilidad de programas informáticos. En Szalai et al., (1999), se muestra un listado de los métodos más usados en el ámbito científico. Lo más habitual es evaluar la homogeneidad de las series climáticas a partir de la construcción de series de referencia (Peterson y Easterling, 1994), que son clasificados como métodos de homogeneización relativos (García Barrón y Pita López, 2001). El enfoque más común en la construcción de las series de referencia para obtener una serie candidata es calcular para cada año y mes, un promedio ponderado de los datos de observatorios próximos. Por lo general, se emplean los coeficientes de correlación, para seleccionar los observatorios vecinos más adecuados y que deben tener más peso en la serie de referencia (Aguilar et al., 2003).

La comprobación de la homogeneidad de las series de precipitación reconstruidas a escala mensual se suele realizar mediante el Standard Normal Homogeneity Test (SHNT) implementando por Alexanderson y Moberg, 1997. El SNHT ha sido empleado en múltiples estudios de reconstrucción de la precipitación mensual a escala nacional y regional (González Hidalgo et al., 2002, Luna et al., 2012 , Ruiz Álvarez et al., 2014; Valdés Abellán et al., 2017) y está implementado en numerosos software diseñados para la homogeneización de las series climáticas como AnClim (Štěpánek,2007), HOMER (Mestre et al., 2013) o CLIMATOL (Guijarro Pastor, 2018). Esta metodología fue seguida en Ruiz Álvarez et al., (2014) para la elaboración de una base de datos de series de precipitación a escala mensual en la Región de Murcia.

Una vez explicada la metodología empleada para la reconstrucción de series de precipitación a escala mensual, se va a detallar la metodología que se ha seguido en este trabajo para la construcción de la base de datos de series de precipitación a escala diaria. Hasta hace muy pocos años, no existía una reconstrucción adecuada a escala diaria. Serrano Notivoli (2017), elaboró un ensayo metodológico para la reconstrucción climática instrumental de la precipitación diaria en España, a partir del cual se desarrolló un paquete en R denominado “reddPrec” ([https:// CRAN.R-project.org/package=reddPrec](https://CRAN.R-project.org/package=reddPrec)) (Serrano Notivoli et al., 2017). La metodología implementada en dicho paquete tiene amplió reconocimiento internacional ya que ha sido empleada en numerosos recientes estudios (Diez Sierra y Del Jesús, 2017; Serrano Notivoli et al., 2018; Sarricolea et al., 2019; Del Castillo et al., 2019; Decuyper et al., 2020), y es la que se ha utilizado en el presente trabajo para la construcción de la base de datos de precipitación a escala diaria.

En este trabajo se ha decidido optar por una reconstrucción de la precipitación a escala diaria, debido a que esta resolución temporal resulta imprescindible en el estudio de la precipitación, y en el comportamiento de las sequías. De este modo, aspectos como el número de días de precipitación o la duración de las rachas secas, tienen una gran importancia para caracterizar el clima de una región. Además en regiones como el sureste peninsular que cuentan con una elevada variabilidad espacial de las precipitaciones, es relativamente frecuente que en un solo evento de precipitación (episodios de lluvias torrenciales) se supere la media de precipitación del mes en el que ocurre (Serrano Notivoli, 2017) o incluso en eventos extremos la de todo el año sobre todo en los ámbitos semiáridos con precipitación media anual inferior a los 250 mm. Por ello, la resolución a

escala diaria de precipitación también resulta imprescindible para el análisis de riesgos asociados con los eventos de lluvias torrenciales.

A continuación, se va a describir la metodología que se ha seguido para la realización del proceso de reconstrucción. En primer lugar, se han construido las 92 series de datos originales, en algunos casos a partir de una única serie, y en otros casos a partir de la unión de un conjunto de series más cortas cuya situación geográfica sea cercana. Por otra parte, antes de ejecutar los diferentes procesos incluidos en el paquete “reddPrec”, se ha llevado a cabo un primer control de calidad de los datos de las 92 series originales mediante el uso de la herramienta de CLIMATOL. De este modo, se ha procedido a identificar valores atípicos existentes en los registros diarios, los cuales se pueden clasificar en dos categorías (Tomas Burguera et al., 2016): detección de meses duplicados y corrección de la codificación de los valores -3 y -4.

Con respecto a la detección de registros de meses duplicados, cabe mencionar que es un hecho altamente improbable, que está provocado por errores de asignación durante el proceso de digitalización de los datos. En los casos detectados se ha decidido eliminar todos los registros, debido a la imposibilidad de determinar cuáles son los correctos y cuáles los repetidos. Por otra parte, se ha procedido a corregir los valores de -3 y -4 asignados por AEMET a algunos registros de las series. El valor de “-3” representa los días con precipitación inapreciable (IP) y por tanto, todos los registros con este valor se han sustituido por un valor de 0. En el caso del valor de “-4” hace referencia a aquellos días en los que el observador no pudo anotar los registros de precipitación. Después del último valor de “-4”, se pone el valor acumulado de precipitación de esos días. Al ser una reconstrucción a escala diaria, se ha optado por darle un valor de NA (sin datos) tanto a los días con registro de -4, como al valor acumulado, y que la precipitación sea estimada en el proceso de relleno de datos realizado con “reddPrec”.

Una vez realizado este primer control de calidad a los registros de las series originales se procede a ejecutar los pasos del paquete “reddPrec”. La reconstrucción parte y está sustentada en el cálculo de forma independiente para cada día y localización, de valores de referencia (VR en adelante). Dichos valores están basados en la combinación de dos valores predichos: por un lado una predicción binomial que expresa la probabilidad de que un día sea húmedo (precipitación  $\geq 0$ ) o seco (precipitación = 0); y por otro lado una predicción de magnitud (PM) que se encarga de estimar la cantidad de precipitación. Para calcular ambos VR se emplea la técnica de regresión logística multivariante (RLM) a

partir de los registros de los diez observatorios más cercanos. Además se utilizan como variables dependientes la altitud, latitud y longitud (Serrano Notivoli, 2017). La obtención de los VR, permite el desarrollo de una serie de procesos que están implementados como funciones del paquete “reddPrec” (Serrano Notivoli et al., 2017): 1) Función “qcPrec”: aplicación de un control de calidad exhaustivo sobre los conjuntos de datos originales de precipitaciones diarias, señalando aquellos datos sospechosos a partir de cinco criterios predefinidos; 2) Función “gapFilling”: proceso de relleno de lagunas en las series originales mediante la estimación de la precipitación a partir de las diez observaciones más cercanas para cada día; 3) Función “gridPcp”: creación de nuevas series en lugares donde no existían previamente datos; 4) Función “gridPcp”: elaboración de mallas regulares (con una resolución espacial de 5\*5 km) de valores diarios de precipitación. Dichas funciones deben aplicarse de forma secuencial.

En este trabajo tan solo se han implementado las dos primeras funciones para el proceso de reconstrucción de los datos originales, ya que no se han creado nuevas series en los lugares donde no hay observación. Como se ha mencionado la primera función consiste en la aplicación de un control de calidad exhaustivo. Para ello, hay que implementar la función “qcPrec”, la cual aplica un control de calidad a los registros de las series originales mediante la detección y eliminación de valores sospechosos que no se corresponden con la distribución espacial de la precipitación en cada día. Dicho control está basado en una comparación de los valores registrados en cada lugar y día, con sus respectivos VR, construidos partir de los diez observatorios más cercanos. La eliminación de los valores sospechosos por no corresponder con la propia variabilidad climática de las series resulta fundamental en el proceso de reconstrucción, ya que si estos valores atípicos se mantienen en el paso de relleno de lagunas, las anomalías resultantes se propagarían tanto en la propia serie como en todas las demás (Reek et al., 1992; Guijarro Pastor, 2004; Feng et al., 2004; Serrano Notivoli, 2017).

En la función “qcPrec” se establecen cinco criterios para la detección de los registros sospechosos, que son los siguientes (Serrano Notivoli et al., 2017): 1) QC.1 “Dato sospechoso”: El registro observado es superior a 0 mm, y los diez observatorios más cercanos registran 0 mm ; 2) QC.2 “Cero sospechoso”: A diferencia del QC.1, en este caso el registro observado es de 0 mm, y los diez observatorios más cercanos poseen valores superiores a 0 mm; 3) QC.3. “Extremo sospechoso”: La magnitud del valor observado es diez veces superior o inferior, al registro predicho por los diez observatorios

más cercanos; 4) QC.4 “Húmedo sospechoso”: Aunque el registro observado es igual a 0 mm, la probabilidad de que sea un día húmedo es superior al 99%, y el valor de magnitud predicho es superior a 5 mm; 5) QC.5 “Seco sospechoso”: Al contrario que en el caso del QC.4, el registro observado es superior a 5 mm, mientras que la probabilidad de que sea un día seco es superior al 99% y el valor de magnitud predicho es inferior a 0,1 mm.

En este punto cabe resaltar que para aplicar los supuestos QC.1 y QC.2 solamente son necesarios los registros observados en los diez observatorios más cercanos, mientras que para aplicar el resto de los supuestos es necesario calcular la predicción de magnitud (PM). Una vez aplicados los cinco criterios predefinidos a los datos observados en las series originales, los registros que resultan sospechosos son eliminados de la base de datos. En este momento el proceso es iterado con la nueva base de datos sin los elementos sospechosos detectados en el paso anterior. Dicho proceso es repetido hasta que ya no se detecta ningún dato sospechoso nuevo. De este modo, los registros originales detectados como sospechosos pasan a tener un valor de NA (sin datos), siendo estimado su valor en el proceso de relleno de lagunas. Los registros eliminados son almacenados en un conjunto de metadatos, donde aparece información a escala diaria sobre la fecha, el ID de la serie, y un código identificador del criterio por el cual ha sido eliminado un determinado valor. Una vez finalizada la implementación de la función “qcPrec” con la nueva base de datos resultante se procede a aplicar la función consistente en el relleno de lagunas. Dicha función se denomina “gapFilling”.

La base de datos resultante del proceso del control de calidad cuenta con tres tipos de registros: 1) Registros que conservan su original tras el control de calidad; 2) Días sin datos- NA; 3) Días con registro de precipitación en la serie original cuyo valor es eliminado en el proceso de control, y por tanto pasan a ser considerados como NA. Por tanto, en el proceso de relleno de lagunas diarias “gapFilling”, van a ser estimados los registros diarios de los casos 2 y 3. Para comenzar con la implementación de la función “gapFilling” lo primero que hay que hacer es calcular nuevos VR sobre los registros de la nueva base de datos depurada por la función “qcPrec”. Dichos VR, se obtienen para todos los días y localizaciones, con y sin observaciones originales (Serrano Notivoli et al., 2017).

La función “gapFilling” produce como resultado una matriz con todas las series de datos completas y un conjunto de archivos que representa a cada uno de los días reconstruidos (Serrano Notivoli, 2017). En cada uno de ellos se indica la siguiente información: 1) el

ID de la serie; 2) el valor observado; 3) la predicción binomial (PB) que refleja la probabilidad de ocurrencia de precipitación en un día y localización determinados; 4) la predicción bruta de la magnitud (PM) de la precipitación; 5) el VR resultante de la predicción; 6) el error estándar de la predicción de la magnitud (PM); 7) los VR estandarizados, que representan los registros finales corregidos y utilizables. El proceso de relleno de lagunas no utiliza las mismas series para todos los días, ya que selecciona los diez observatorios más cercanos para cada día.

De este modo si se utilizaran únicamente las estimaciones brutas, como dato final se obtendrían series de datos inhomogéneas. Para solucionar dicho problema en la función “gapFilling”, calcula una corrección multiplicando el VR predicho, por la ratio entre el valor observado y el VR predicho, con el objetivo final de obtener unos VR con la misma media que la serie observada. Esta corrección se aplica mensualmente, es decir se calcula el ratio de las observaciones para uno de los meses (Serrano Notivoli et al., 2017). Con el objetivo de asegurar una corrección lo más sólida posible, se recomienda utilizar únicamente aquellas series que originalmente disponían de más de 10 años de registros. La base de datos resultante del proceso de relleno de lagunas incluye el error estándar asociado a las estimaciones (Serrano Notivoli, 2017).

En la figura 69, a modo resumen se expone un esquema conceptual con los pasos que se han seguido para la construcción de la base de datos homogeneizada a escala diaria. Dado que en este capítulo, se trabaja también con una escala mensual, se realiza un agregado mensual a los datos diarios. En definitiva, en Serrano Notivoli (2017), se demuestra que la metodología aplicada se adapta correctamente a muy diferentes regímenes pluviométricos del territorio español. La validación realizada muestra un buen ajuste entre las observaciones y las estimaciones de precipitación diaria, con valores de correlación muy elevados tanto en medias diarias como por estaciones individuales. Con respecto al control de calidad de los datos, cabe destacar que se ha detectado y eliminado una ínfima fracción de los datos diarios originales. La detección de valores sospechosos presenta una mayor incidencia durante los primeros años de las series debido a la menor densidad de observatorios. De este modo, la mayor parte de los huecos existentes en las series procedentes se corresponden con las propias lagunas presentes en las series originales. El porcentaje de huecos en las series originales se muestra para el periodo 1968-2017 en la tabla 29.

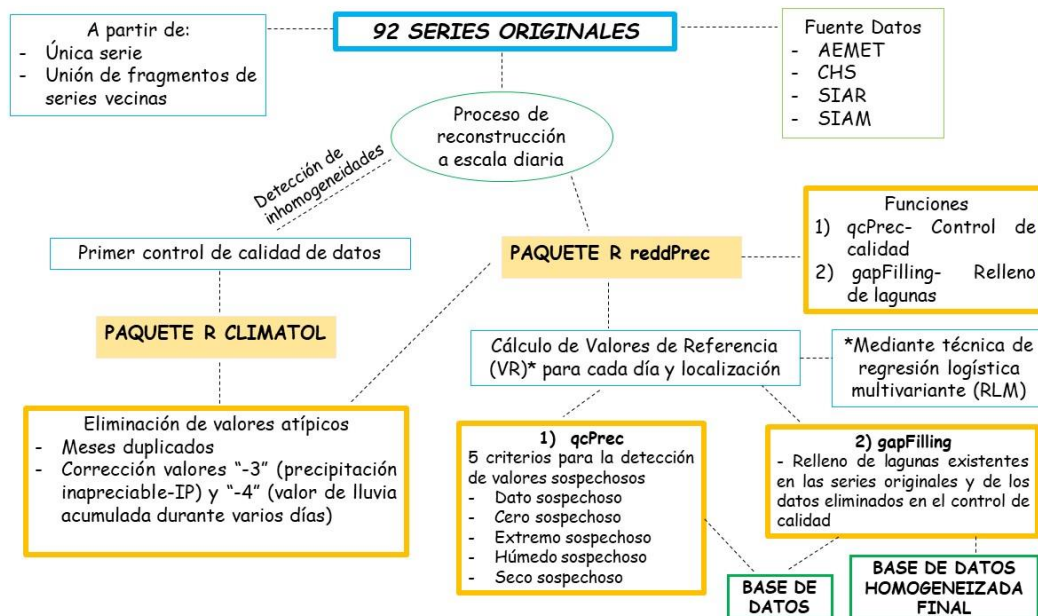


Figura 69. Esquema conceptual del proceso de reconstrucción de la base de datos de precipitación a escala diaria. Fuente: Elaboración propia.

Por último, cabe resaltar que la principal limitación del paquete “reddPrec”, reside en su baja aplicabilidad en zonas donde haya una baja densidad de observatorios, o que los mismos estén lejanos unos de otros, más si cabe en regiones como el sureste peninsular que cuentan con una elevada variabilidad espacial pluviométrica (Capel Molina, 1983; Font Tullot, 1983; Martín Vide, 2003; Gallego Herrezuelo et al., 2004). En Rodríguez Barrera et al.(1999), se expone que una de las características principales de los ambientes mediterráneos es la baja correlación entre observatorios vecinos. De este modo, las dificultades para la construcción de una serie de referencia se incrementan exponencialmente con el aumento de la variabilidad espacial de las precipitaciones.

#### **4.2. Disposición espacial de los diferentes tipos de precipitación (origen atlántico, mediterráneo y convectivo) y distribución espacial de las precipitaciones a escala estacional**

En este apartado, a modo de contextualización, se lleva a cabo una exposición de la disposición espacial de los diferentes tipos de precipitación (origen atlántico, mediterráneo y convectivo), así como de la distribución espacial de las precipitaciones a escala estacional en el área de estudio para el periodo de referencia 1981-2010. Este



análisis es fundamental de cara a la posterior evaluación de las tendencias y cambios en las precipitaciones tanto a escala mensual como a escala diaria.

En primer lugar, se expone la distribución espacial del peso porcentual que representa cada tipo de precipitación en el área de estudio. Dicho análisis resulta primordial para el estudio de diferentes patrones espaciales de precipitación, y la evaluación de sus tendencias y variaciones temporales, más si cabe dentro de los escenarios de cambio climático que evidencian un claro descenso de las precipitaciones en el ámbito mediterráneo. Para ello, se ha seleccionado la clasificación realizada para las regiones mediterráneas españolas por Millán et al. (2005), en la cual se dividen los tipos de precipitación en tres categorías: origen atlántico, mediterráneo y convectivo. En todos ellos la orografía juega un papel fundamental.

A continuación son descritas las principales características y rasgos de las situaciones sinópticas que dan lugar a las diferentes tipologías de precipitación:

-1) Origen Atlántico (frentes atlánticos): En este tipo de precipitación se incluyen las precipitaciones de carácter frontal que poseen su génesis en las borrascas atlánticas. Su ocurrencia más frecuente se localiza desde principios del otoño hasta finales de primavera, teniendo una mayor incidencia durante los meses invernales.

-2) Origen Mediterráneo: Se trata de eventos asociados con la advección de aire muy húmedo procedente del mediterráneo. Se producen con mayor frecuencia durante el otoño y el invierno, y con menor frecuencia en primavera. La configuración sinóptica adecuada para este tipo de precipitaciones es la presencia de altas presiones en el norte de Europa y bajas presiones circulando por el sur de Europa y norte de África que favorecen la advección de vientos supramediterráneos sobre la fachada oriental de la península ibérica (Olcina Cantos y Azorín Molina, 2004). Además estos temporales pueden ir acompañados por el descuelgue de DANAs.

-3) Origen Convectivo: Los procesos de convección que dan lugar a la formación de tormentas se encuentran vinculados a situaciones donde el forzamiento principal recae en el calentamiento diferencial existente entre las distintas superficies calóricas, marítimas y terrestres (Azorín Molina y López Bustins, 2004). Es importante resaltar, que bajo la conceptualización de situaciones convectivas sólo se agrupan los episodios provocados por convección térmica, y por ende, se excluyen los inducidos por convección dinámica (asociados a situaciones atlánticas o mediterráneas) (Millán et al., 2005). La

configuración atmosférica en estas situaciones suele estar caracterizada por la presencia de un pantano barométrico en superficie. Como consecuencia de esta situación el protagonismo en superficie recae en las corrientes térmicas de convección y en la dinámica de circulaciones superficiales de vientos locales (brisas de mar y de ladera) que interactúan con el relieve favoreciendo ascensos y disparos orográficos. Además hay que tener en cuenta que dichas condiciones de estabilidad se invierten completamente en niveles medios y altos de la columna troposférica, donde priman las condiciones de inestabilidad (Azorín Molina y López Bustins, 2004). Dicha inestabilidad, en la mayoría de casos, está originada por la incursión de vaguadas, o el descuelgue de embolsamientos de aire frío (Borrascas Frías Aisladas- BFA o DANAs). Las precipitaciones de origen convectivo suelen ser más frecuentes entre los meses de abril y octubre.

En la figura 70, se expone la distribución del peso (en porcentaje) de cada uno de los tres tipos de precipitación diferenciados, sobre el total de precipitación anual para el periodo de referencia 1955-1985. Dicha distribución espacial se muestra para los ámbitos territoriales de las Demarcaciones Hidrográficas del Segura y Júcar. La información ha sido extraída de Miró et al. (2018), donde también se analizan las tendencias y cambios experimentados por cada uno de los tres tipos sinópticos de génesis de lluvia durante el periodo temporal 1955-2016.

Las precipitaciones de origen atlántico exhiben una gran importancia en la cabecera del Segura, representando entre un 50-70 % del total de la precipitación anual en esta zona debido a que se encuentra a barlovento de los vientos húmedos procedentes del atlántico. Sin embargo, las sierras que configuran el arco montañoso de la cabecera del Segura (sierras de Segura, Cabras, Taibilla, Alcaraz y Calar del Mundo) actúan de barrera orográfica, produciendo un notable efecto Foehn. De este modo, se produce un drástico descenso desde el extremo noroccidental hasta el litoral suroriental, del peso de las precipitaciones de origen atlántico en el cómputo anual de precipitaciones. En las comarcas litorales y valles prelitorales el peso de los frentes atlánticos es muy exiguo, siendo inferior al 10% en algunas zonas. En el periodo 1955-2016, las precipitaciones de origen atlántico presentan una tendencia negativa en casi todo el territorio analizado, siendo esta más significativa en la cabecera del Segura (Miró Pérez et al., 2018). Las causas de este descenso están muy relacionadas con el predominio de la fase positiva experimentada por la NAO desde mediados de la década de los setenta (Aguilar Alba,

2007), que lleva consigo una reducción de la frecuencia de frentes atlánticos en las latitudes subtropicales.

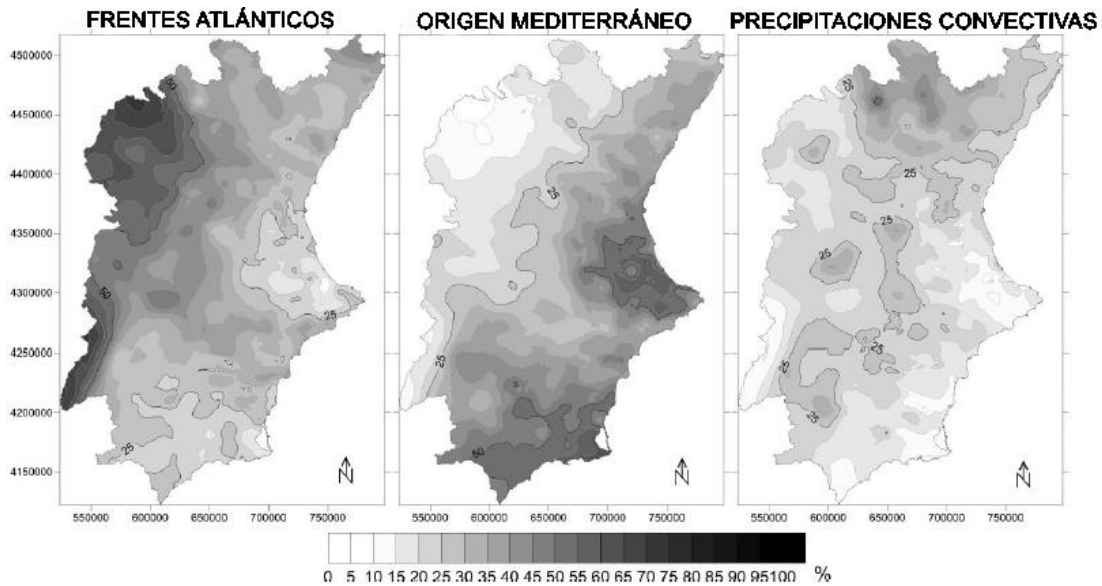


Figura 70. Peso (en porcentaje) de cada uno de los tres tipos de precipitación diferenciados, sobre el total de precipitación anual para el periodo 1955-1985 en las Demarcaciones Hidrográficas de los ríos Segura y Júcar. Fuente: Millán et al., 2005 y Miró Pérez et al., 2018.

Con respecto a las precipitaciones de origen mediterráneo, hay que resaltar que tienen un gran peso en las comarcas litorales y valles prelitorales, con porcentajes de entre 50-70 %. En la costa oriental el peso está próximo al 70% debido a su exposición muy favorable a las advecciones del este. En contraposición con lo ocurrido con las precipitaciones de origen atlántico en la cabecera del Segura su importancia es muy reducida, debido a que esta zona se encuentra a sotavento de las advecciones húmedas procedentes del mediterráneo. En los relieves centrales el peso oscila entre un 40-50%, siendo el tipo de precipitación que más aporta en el total de precipitación anual. Durante el periodo 1955-2016, ningún observatorio de la DHS presenta una tendencia con significancia estadística. Por un lado, se muestra una tendencia ligeramente positiva en gran parte de la mitad occidental del territorio (incluida la cabecera del Segura), y por otro lado una tendencia ligeramente negativa en gran parte de la mitad oriental y gran parte del litoral, con la excepción de las zonas costeras de las comarcas del Medio Vinalopó y Campo de Alicante, que están muy expuestas a las advecciones de levante (Miró Pérez et al., 2018). La hipótesis de la migración hacia el norte de los componentes de la Circulación General Atmosférica (CGA) evidenciada en múltiples estudios (Seidel et al., 2008; Allen et al.,

2012; Huang et al., 2017), podría estar provocando una mayor recurrencia de las advecciones del Este por el reforzamiento del anticiclón centroeuropeo sobre todo durante el otoño y el invierno (Grimalt et al., 2013; Azorín Molina et al., 2016). En este sentido, en Lorente Plazas et al. (2020), se ha demostrado un aumento de la frecuencia de los ríos atmosféricos mediterráneos (concepto definido en Ricard et al., 2012 y Reborá et al., 2013) en las cuencas del mediterráneo occidental, que pueden dar lugar a eventos de lluvias torrenciales que en algunos casos pueden representar gran parte del acumulado de precipitación anual (Espín et al., 2017; Núñez Mora, 2019; Martí Talavera et al., 2020). En Serrano Notivoli (2017), se señala una tendencia positiva en la contribución de los episodios de lluvias torrenciales a los totales anuales acumulados, lo que viene a señalar una mayor frecuencia de estos episodios (Olcina Cantos, 2017). Por otra parte, se ha observado una tendencia negativa en la cuantía de la precipitación máxima anual en un día en el sureste de la península ibérica (González Herrero y Bech, 2017), así como, un aumento de la intensidad horaria de las precipitaciones (Olcina Cantos, 2017).

Asimismo, se ha comprobado un aumento de la frecuencia de las DANAs a nivel global durante el periodo 1960-2017, incluyendo Europa con un incremento medio de un 6% (Muñoz et al., 2020). En dicho estudio, se analiza la variabilidad interanual de las depresiones aisladas en altura a 200 hPa y 500 hPa. En ambos niveles, se observa una marcada tendencia positiva basada en señales documentadas de cambio climático, tales como, el desplazamiento hacía los polos del jet polar (Hu y Fu, 2007; Pena Ortiz et al., 2013) y el debilitamiento del jet subtropical (Archer y Caldeira, 2008). El desplazamiento hacía los polos del jet polar está asociado con un aumento de la ruptura de las ondas de Rossby (Rivière, 2011), que se constituye como el principal mecanismo generador de las depresiones aisladas en altura (Thorncroft et al., 1993).

Por último, las precipitaciones de origen convectivo presentan una mayor relevancia en los sistemas montañosos interiores que favorecen ascensos y disparos orográficos. En dichos relieves, el peso de este tipo de precipitación oscila entre un 20-30 % en el total de precipitación anual, con la excepción de los relieves de la cabecera del Segura más expuestos a los frentes atlánticos, donde el peso es más reducido. Aunque las precipitaciones convectivas son más frecuentes en el periodo cálido transcurrido entre abril y octubre, cabe destacar que en las últimas décadas se está produciendo un incremento de este tipo de precipitaciones en los meses de noviembre, diciembre y marzo sobre todo en

los ámbitos litorales y prelitorales (Capel Molina 1990; Espín Sánchez y Romero Díaz, 2014; Núñez Mora, 2015; Espín et al., 2017).

Con respecto a las tendencias de las precipitaciones convectivas entre 1955-2016, casi ningún observatorio presenta significancia estadística (Miró et al., 2018), con la excepción de algunos observatorios del litoral del Campo de Alicante que presentan una tendencia estadísticamente positiva. Además la mayor parte de los sistemas montañosos interiores presentan una tendencia ligeramente positiva. En las precipitaciones de génesis convectiva es muy importante distinguir dos periodos temporales (mayo- agosto y septiembre- abril) para analizar las tendencias, ya que ambos ostentan un comportamiento totalmente contrapuesto.

Por un lado, entre mayo y agosto, la tendencia es claramente negativa en todo el territorio, presentando una significación en bastantes observatorios. La ya citada migración hacia el norte de los componentes de la Circulación General Atmosférica (CGA), es la causante de esta drástica reducción de las tormentas de verano debido a la menor presencia de aire frío en altura (Estrela Navarro y Miró Pérez, 2006). Esto genera que la sequía estival característica del clima mediterráneo se acreciente. Por otro lado, en contraposición en el periodo transcurrido entre septiembre y abril, las lluvias convectivas presentan una tendencia claramente positiva en todo el territorio, siendo estadísticamente significativa en numerosos observatorios. En Miró et al. (2015), se expone que podría deberse a un aumento en el número de días anuales bajo el régimen típico de verano (baja térmica en la península ibérica, brisas marinas y divergencia de vientos en altura). En este sentido, se ha comprobado un incremento de las precipitaciones por tormentas tardoestivales y otoñales (Estrela Navarro y Miró Pérez, 2006; Espín Sánchez y Romero Díaz, 2014). Sin embargo, se ha demostrado un descenso del número de eventos de tormentas por encima de 10 mm (Miró et al., 2018).

En definitiva, se exhiben tendencias claramente negativas en las precipitaciones de origen atlántico, así como tendencias prácticamente neutras en las precipitaciones de génesis mediterránea y convectiva. Se observa que hay áreas muy dependientes de un único tipo de precipitación, que son la cabecera del Segura con las precipitaciones de origen atlántico y las zonas litorales y prelitorales con las advecciones mediterráneas. Este hecho, tiene una gran importancia en los patrones sinópticos generadores de sequía, y provocan que ambas áreas sean muy vulnerables frente a este riesgo natural. Además, el estudio del peso de cada tipo de precipitación y de su distribución espacial, resulta

fundamental para analizar la distribución espacial de las precipitaciones tanto a nivel anual como estacional, así como sus tendencias y cambios.

A continuación y una vez analizada la distribución espacial del peso de cada tipo de precipitación, se procede a exponer la distribución espacial de la precipitación a nivel estacional. A escala estacional la disposición espacial de las precipitaciones sigue el mismo patrón que a escala anual cuyo análisis se expone en el subapartado 3.1.2. Clima (figura 46). De este modo, las precipitaciones presentan un descenso gradual desde el extremo noroccidental (cabecera del Segura), hasta el extremo suroccidental, en el que la orografía juega un papel fundamental.

En 84 de las 92 series de precipitación analizadas, el otoño es la estación más húmeda. Además, en la mayor parte (concretamente 62) de estas 84 series, la primavera es la segunda estación más húmeda, con la excepción de algunos observatorios del cuadrante suroriental donde el invierno se presenta como la segunda estación más húmeda. El arco montañoso noroccidental supone la única excepción a este patrón, ya que es la única zona donde se producen los máximos de precipitación invernales característicos del clima mediterráneo (Conesa García y Alonso Sarría, 2006). En esta área, la primavera se coloca en segundo lugar y el otoño en tercer lugar. El verano es la estación más seca en todos los observatorios, configurándose como una de las principales características del clima mediterráneo.

En la figura 71 se muestra la distribución espacial de las precipitaciones durante el invierno. En las zonas de la cabecera del Segura más expuestas a los frentes atlánticos la precipitación supera los 350 mm. Este arco montañoso noroccidental actúa como barrera orográfica frente al flujo atlántico, produciéndose de esta forma un drástico descenso de las precipitaciones hasta el extremo suroccidental, debido al efecto Foehn. En el cuadrante suroriental las precipitaciones son ligeramente más cuantiosas que en el extremo suroccidental y el cuadrante nororiental, debido a que estas zonas tienen una disposición más favorable a las advecciones del mediterráneo, que son frecuentes en durante el periodo invernal debido al fortalecimiento del anticiclón centroeuropeo que favorece la entrada de vientos húmedos mediterráneos. Como se verá más adelante, la cabecera del Segura es la única zona que presenta una tendencia descendente de las precipitaciones invernales en los últimos 50 años, ya que en el resto del territorio analizado se vislumbra una clara tendencia ascendente.

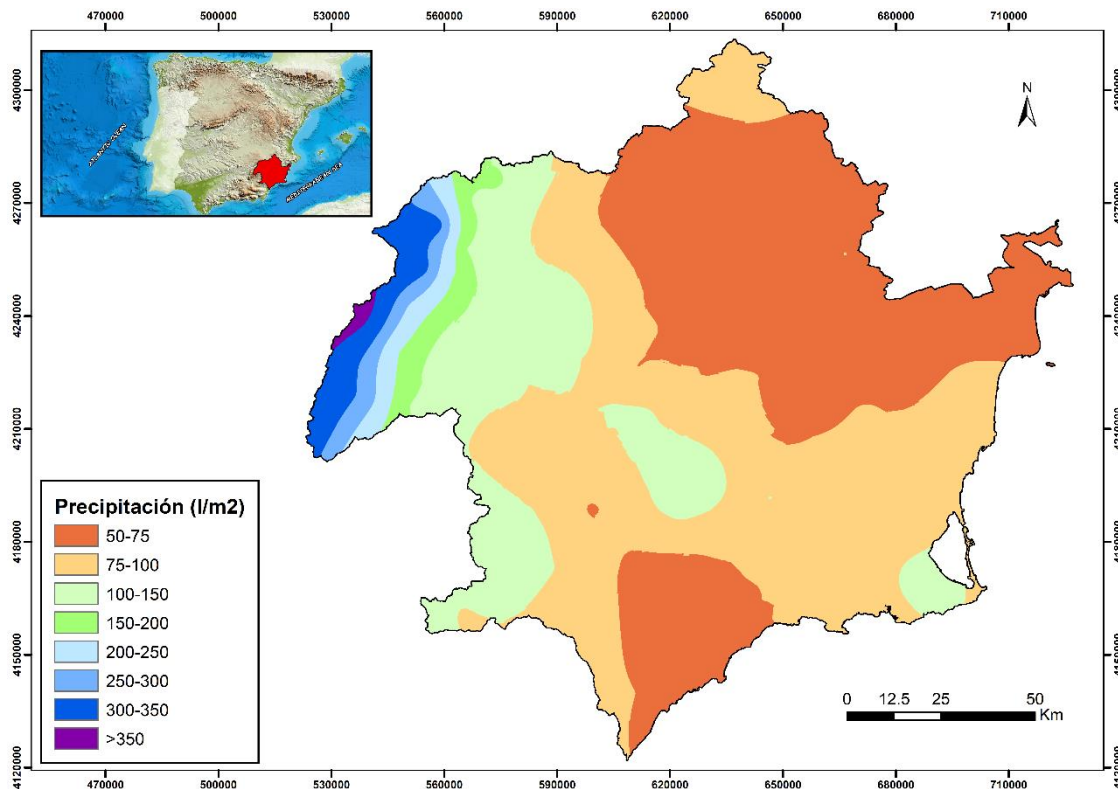


Figura 71. Precipitación media en invierno (periodo de referencia 1981-2010). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Agencia Estatal de Meteorología.

Durante la primavera las precipitaciones descienden ligeramente en la cabecera del Segura respecto al invierno (figura 72) debido sobre todo a la reducción paulatina de la frecuencia de los frentes atlánticos durante los meses de abril y mayo. En el cuadrante suroriental también se produce un ligero descenso de las precipitaciones respecto al invierno, como consecuencia de la menor frecuencia en estos meses de las advecciones de levante y a que en dicha área los fenómenos convectivos tienen muy poca importancia. En cambio, en el resto del territorio las precipitaciones aumentan ligeramente, sobre todo por la aportación de los episodios termoconvectivos que en dicha estación son bastante más recurrentes que durante el invierno, fundamentalmente a partir de la segunda quincena de marzo. Esta variación se nota en el notable aumento de la superficie abarcada por el rango pluviométrico establecido entre 100 y 150 mm, exhibida en la mitad occidental.

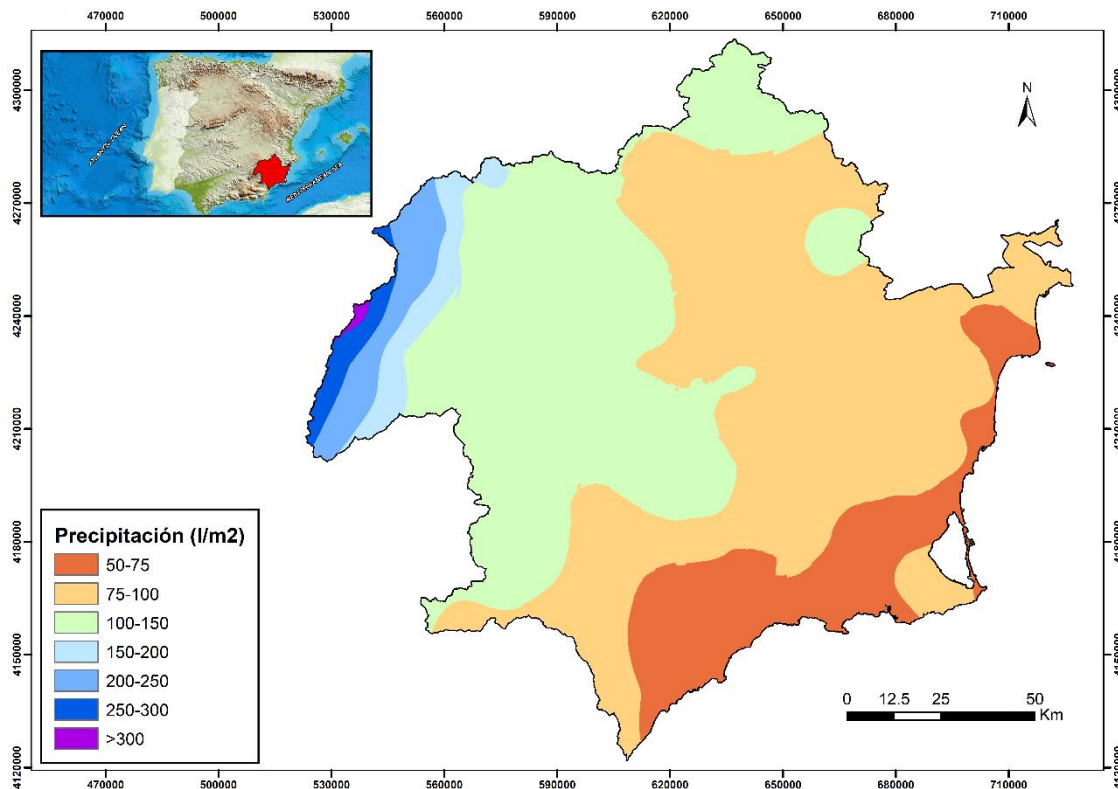


Figura 72. Precipitación media en primavera (periodo de referencia 1981-2010). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Agencia Estatal de Meteorología.

La estación estival es la más seca en todo el territorio (figura 73). En todo el litoral la sequía estival es muy acusada con precipitaciones inferiores a los 20 mm, como consecuencia de la exigua presencia de fenómenos termoconvectivos en dicha área. En los valles prelitorales las precipitaciones oscilan entre 20-35 mm. En cambio, en la mitad septentrional (sector de mayor altitud), el estío no es tan seco, ya que los sistemas montañosos favorecen el desarrollo de los fenómenos termoconvectivos. De este modo, en el sector noroccidental las precipitaciones oscilan entre 50-85 mm. Durante esta estación se está produciendo un descenso acusado en el número de tormentas en las últimas décadas (Miró et al., 2009), que da lugar a una tendencia negativa de las precipitaciones estivales en todo el territorio en el periodo 1968-2017 como se detallará más adelante, concentrada sobre todo en los meses de junio y julio. En el mes de agosto, sobre todo a partir de segunda mitad se vislumbra un aumento de las precipitaciones de origen mediterráneo.



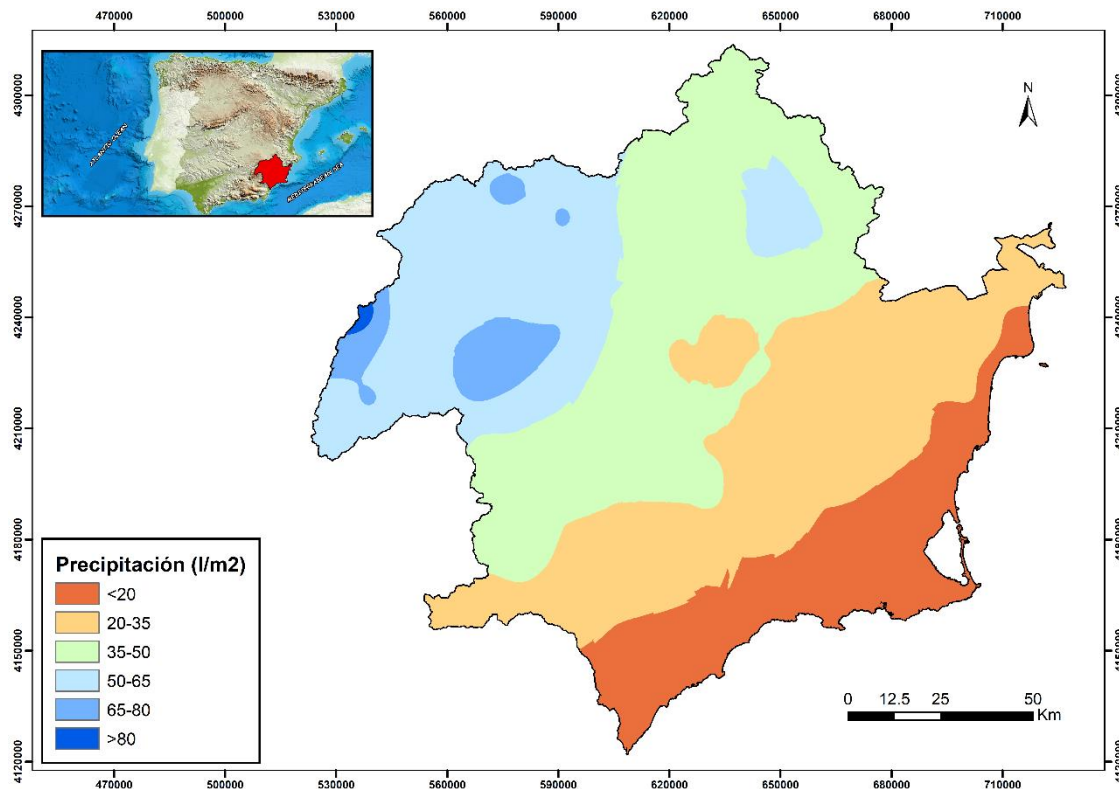


Figura 73. Precipitación media en verano (periodo de referencia 1981-2010). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Agencia Estatal de Meteorología.

El otoño es la estación más húmeda en la casi totalidad del territorio (figura 74). La excepción, como ya se ha comentado, se encuentra en la cabecera del Segura. En el arco montañoso noroccidental se superan puntualmente los 250 mm. En los meses de octubre y noviembre la recurrencia media de los frentes atlánticos se va incrementando (Azorín Molina y López Bustins, 2004). Además, es importante resaltar que la cabecera del Segura, es la más expuesta a las advecciones de origen mediterráneo entre todas las cabeceras de las demarcaciones hidrográficas situadas en la línea divisoria de aguas entre las vertientes atlántica y mediterránea (Gallego Jiménez, 1996; Aguilar Alba y Del Moral Ituarte, 2010; Fernández Chacón, 2009; Gil Olcina, 2009; Miró Pérez et al., 2018; Pellicer Martínez y Martínez Paz, 2018). Como consecuencia del incremento del peso de las precipitaciones de origen mediterráneo en la cabecera del Segura, se observa una tendencia ligeramente positiva durante el otoño en esta área como se expondrá más adelante, en el periodo 1968-2017. En el resto del territorio, solo el extremo suroccidental presenta una precipitación inferior a los 100 mm. En la mayor parte del territorio la precipitación oscila entre 100 y 150 mm, siendo la superficie abarcada por dicho umbral bastante superior que la exhibida durante el invierno y la primavera.

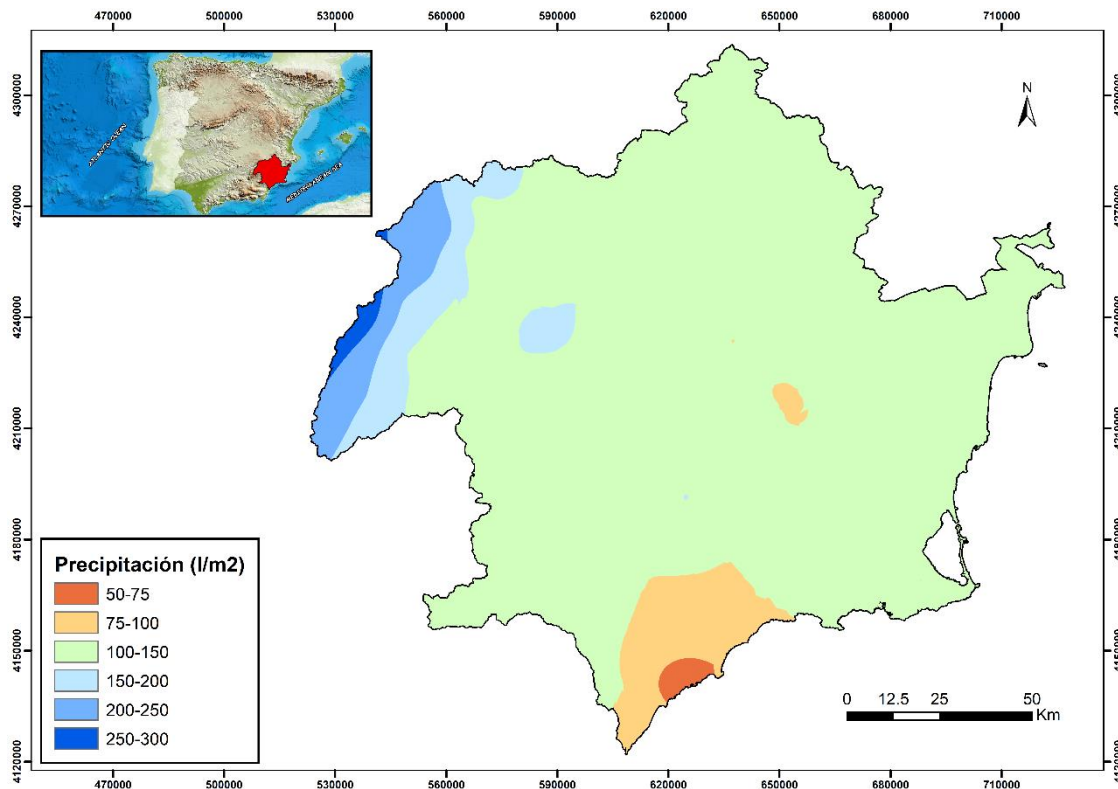


Figura 74. Precipitación media en otoño (periodo de referencia 1981-2010). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Agencia Estatal de Meteorología.

### 4.3. Análisis de las series de precipitación más longevas: períodos 1864-2019 y 1940-2019

El estudio de series homogéneas con un largo recorrido temporal es muy importante para el análisis de la variabilidad climática (Luna Rico et al., 2012). Cuanta más largas sean las series analizadas, los resultados obtenidos serán más interesantes y robustos, ya que se puede caracterizar el clima en escalas temporales más amplias. En el presente apartado, se examina el comportamiento de dos de las series más longevas de España (Murcia/Alcantarilla y Alicante), cuyos registros se remontan al año 1864. Es decir, ambas series cuentan con un total de 156 años de registros (periodo 1864-2019). Además, para el periodo 1940-2019 se lleva a cabo el análisis de cinco series más (Yecla, Embalse del Cenajo, Caravaca, Embalse de Puentes y Pontones). El objetivo es estudiar el comportamiento y la evolución de las precipitaciones en zonas con distintos patrones pluviométricos. Para ello, se han utilizado las cuatro regionales obtenidas en el proceso de regionalización de precipitaciones (el cuál se explica en el apartado 4.4). En la tabla

30 se muestran las características principales (nombre, coordenadas, altitud, año inicio y precipitación media) de las siete series longevas seleccionadas.

ID	Nombre	UTMX-30N	UTMY-30N	Altitud (msnm)	Año Inicio	P (l/m <sup>2</sup> )
1	Alicante	718904	4250120	81	1864	311,1
2	Murcia/Alcantarilla	655618	4202611	75	1864	289,5
3	Yecla	665085	4276585	605	1940	296,3
4	Embalse del Cenajo	606750	4246858	360	1940	392,5
5	Caravaca	599265	4217785	623	1940	384,1
6	Embalse de Puentes	603946	4177121	450	1940	302,5
7	Pontones	528848	4219079	1333	1940	871,7

Tabla 30. Información básica de las siete series largas de precipitación utilizadas.

Fuente: Elaboración propia. \*P (l/m<sup>2</sup>) se refiere a la precipitación media del periodo de referencia 1981-2020.

Por otra parte, en la figura 75 se muestra la distribución espacial de los siete observatorios utilizados en este apartado, así como la disposición de la cuatro regiones obtenidas en el proceso de regionalización de precipitaciones.

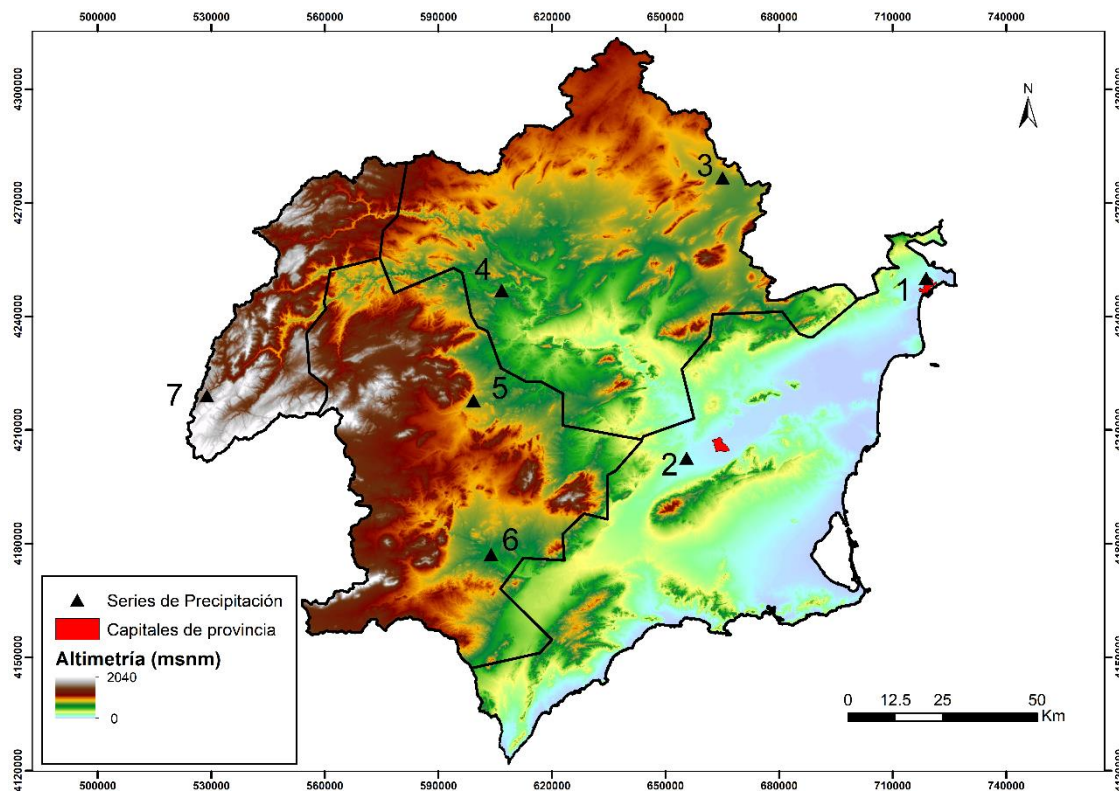


Figura 75. Distribución espacial de las siete series largas de precipitación utilizadas. El ID de cada serie aparece referenciado en la tabla 29. Fuente: Elaboración propia.

El proceso y la metodología para la elaboración de la regionalización se explica en el apartado 4.4. Como se puede observar en tres de la cuatro regiones obtenidas se han

seleccionado dos series largas en cada una, dado que son las regiones más extensas y las que cuentan con una mayor variabilidad pluviométrica en sus territorios como se detallará más adelante. Estas tres regiones abarcan una superficie muy parecida. Por último, en la región de la cabecera del Segura, tan solo se ha seleccionado una serie, ya que dicho ámbito territorial es el que presenta una mayor homogeneidad pluviométrica, además de ser con diferencia el menos extenso.

A continuación se procede a analizar las variaciones y tendencias en las siete series seleccionadas. Para comenzar, se examina el comportamiento de las dos series más longevas (Alicante y Murcia) y posteriormente las cinco restantes. En primer lugar cabe destacar, que se van a mostrar los resultados de las tendencias lineales a escala anual, estacional y mensual para los periodos 1864-2019 y 1940-2019, calculándose si estas tendencias lineales presentan significación estadística. Las tendencias se expresan en mm por década. En este estudio, las tendencias lineales en las series de precipitaciones se han calculado mediante una regresión lineal por mínimos cuadrados, donde la magnitud de la tendencia es la pendiente de la recta entre las anomalías de precipitación como variable dependiente (y) y los años como variable independiente (x). Para la evaluación de la significación estadística ( $p \leq 0,05$ , nivel de confianza del 95%) de las tendencias se ha empleado el test no paramétrico de Mann-Kendall (Kendall, 1976). Dicha prueba, tiene la ventaja que no asume ninguna forma especial para la distribución de la función de los datos (Mitchell et al., 1966). Además su uso es recomendado por la OMM. Para el cálculo de las tendencias y su significación estadística, se han utilizado el programa de análisis estadístico Anclim (Štěpánek, 2008) y R.

En todas las series, se analiza en primer lugar la tendencia a escala anual de las precipitaciones introduciendo una media móvil de 30 años con el objetivo de atenuar el sesgo introducido por la elevada variabilidad interanual de las precipitaciones en el clima mediterráneo. Esta media móvil de 30 años también se analiza a escala estacional, con la finalidad de estudiar posibles cambios en los patrones estacionales de las precipitaciones. Posteriormente, se lleva a cabo una categorización de las precipitaciones anuales en diferentes clases. Dicha división se establece siguiendo el método cuantitativo utilizado por AEMET (Gibbs y Maher, 1967). Este método, cuantifica el carácter pluviométrico de un año a partir de los valores de los quintiles de las series de precipitación. De este modo, se obtienen cinco categorías: Muy seco (0-20%); Seco (20-40%); Normal (40-60%); Húmedo (60-80%); Muy Húmedo (80-100%). Para el cálculo por quintiles se utiliza el

periodo de referencia 1981-2010. Además, se asignan dos categorías adicionales: extremadamente húmedo y extremadamente seco. Por un lado, un año se considera extremadamente húmedo cuando su precipitación supera la precipitación máxima anual del periodo 1981-2010, y por otro lado, un año se considera extremadamente seco cuando su precipitación es inferior a la precipitación mínima anual del periodo 1981-2010.

Por último, se estudia la variabilidad de las precipitaciones a través de la ejecución de una media móvil de 12 meses (periodo interanual) y una media móvil de 24 meses (periodo bianual). Con ello, se pretenden observar con mayor detalle la sucesión de ciclos húmedos y ciclos secos, constituida como una de las principales características del clima mediterráneo. Además, la escala temporal de 12 meses es la utilizada en el capítulo 5 para la elaboración de una regionalización de sequías a partir del índice de sequía SPI, ya que es la escala temporal que mejor refleja las sequías hidrológicas.

Todos estos análisis estadísticos son aplicados también a cada una de las cuatro series regionalizadas de precipitación obtenidas en el proceso de regionalización para el periodo 1968-2017, cuyos resultados se exponen en el apartado 4.4. En definitiva, con el estudio de las series largas se pretende contextualizar con una escala temporal más amplia el posterior análisis de las series regionalizadas. De este modo, se podrá examinar si se están acentuando los extremos pluviométricos tal y como se refleja en los escenarios de cambio climático.

#### **4.3.1. Serie Alicante ciudad (1864-2019)**

La ciudad de Alicante se localiza en el extremo norte del litoral del área de estudio. Su precipitación media para el periodo 1981-2010 es de 311,1 mm (OTO-138,8 mm, PRI-79,5 mm, INV-70,3mm y VER- 22,5 mm). Por su ubicación geográfica, depende en gran medida de las precipitaciones de origen mediterráneo que representan gran parte del peso de la precipitación anual. La mayor parte del acumulado anual de las precipitaciones se suele registrar en muy pocos días de precipitación, presentando una elevada intensidad horaria (Olcina Cantos et al., 2010). El litoral mediterráneo español constituye una de las áreas geográficas más destacadas en el mundo en el registro de intensidades diarias y horarias de las precipitaciones (González Herrero y Bech, 2017). Estos episodios de lluvias intensas, tienen su origen en la mayor parte de las ocasiones en la formación de DANAs que pueden dar lugar a la génesis de sistemas convectivos de mesoescala (SCM) (Capel Molina, 2000). Dichos SCM generan lluvias de elevada intensidad horaria que

pueden provocar episodios de inundación en la ciudad de Alicante (Gil Olcina y Olcina Cantos, 2017).

La urbe alicantina ha soportado reiterados episodios de inundación en su trama urbana en las últimas décadas. En Olcina Cantos (2017) se realiza una recopilación de dichos eventos desde 1950. En este trabajo, se distingue entre precipitaciones “intensas” (lluvias con una elevada intensidad horaria) que son aquellos registros de lluvia entre 20 y 100 mm acumulados en un máximo de dos horas, y precipitaciones “torrenciales” que son aquellos volúmenes de precipitación superiores a 100 mm en 24 horas, y que cuentan con intensidades horarias más moderadas. Desde 1980 se observa un incremento de los episodios de precipitación intensa en la ciudad de Alicante, donde las máximas cuantías se acumulan en apenas 60-90 minutos, tal y como ocurrió el 13 de marzo de 2017, provocando importantes anegamientos en la ciudad.

Los episodios de inundación por lluvias de elevada intensidad horaria presentan un notable incremento en todo el litoral mediterráneo (Olcina Cantos et al., 2010), cuyos efectos negativos sobre la sociedad se ven claramente magnificados por el aumento de la exposición y vulnerabilidad frente al riesgo de inundación. De hecho en recientes estudios se señala que el aumento significativo del número de inundaciones y sus consecuentes daños, está más relacionado con una multiplicación de la exposición y vulnerabilidad, que con el aumento de los fenómenos de precipitaciones extremas (López Martínez et al., 2017; Pérez Morales et al., 2018).

En contraposición, con los episodios de lluvias intensas y torrenciales, el litoral mediterráneo español se ve afectado por intensos periodos de sequía. La ciudad de Alicante por su ubicación geográfica se ve especialmente afectada por las sequías surestinas (Olcina Cantos, 2001b). Además, los efectos de las sequías ibéricas se suelen prolongar en el litoral mediterráneo, ya que el cese de estas sequías suele corresponderse con la sucesiva entrada de frentes atlánticos, tal y como ocurrió en la sequía ibérica de 1993-1996, cuyos efectos se extendieron en la ciudad de Alicante hasta el otoño de 1996 (Morales Gil y Rico Amorós, 1996; Gil Olcina, 2001).

Dichos condicionantes pluviométricos juegan un papel fundamental en la evolución de las precipitaciones. En la figura 76, se analiza la evolución de las precipitación a escala anual para el periodo 1864-2019, incluyendo una media móvil de 30 años. Se observa como la tendencia de las precipitaciones es claramente negativa. De hecho, la tendencia

anual es de -10 mm/década (con significación estadística). En la tabla 31, se presentan los valores de las tendencias a escala anual y estacional, para los periodos 1864-2019 y 1940-2019. En ambos, la tendencia anual es negativa con significancia estadística.

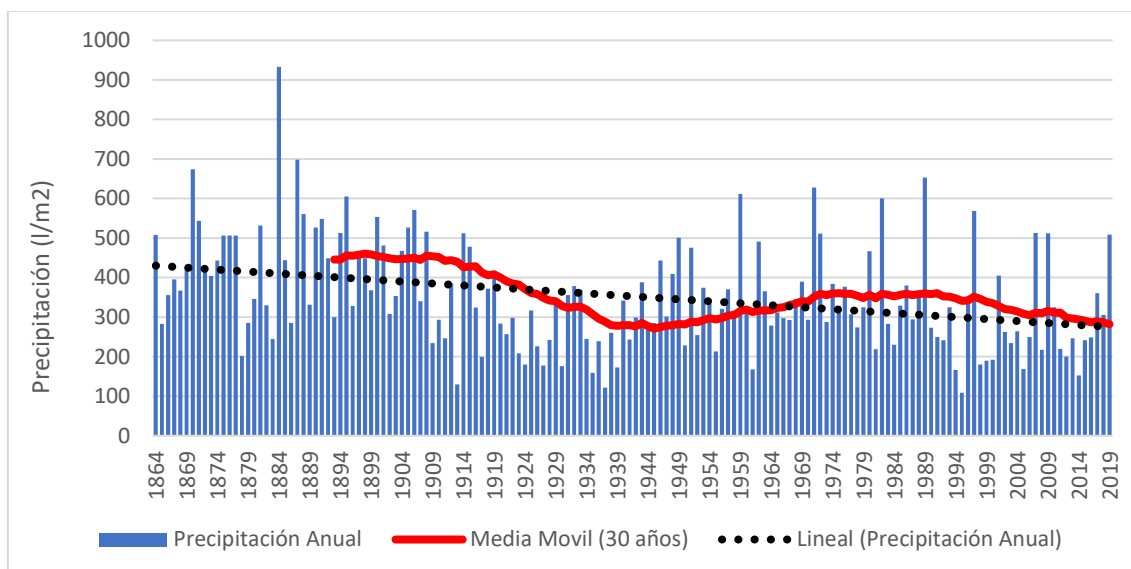


Figura 76. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie de Alicante ciudad para el periodo 1864-2019. Fuente: Elaboración propia.

Si se comparan las tendencias a escala estacional en los periodos 1864-2019 y 1940-2019, se puede observar cómo en ambos periodos las tendencias son negativas, con la diferencia que en el periodo más amplio las tendencias presentan significancia estadística en todas las estaciones excepto en el verano (tabla 31). En el periodo 1940-2019 solo se encuentra significancia estadística durante el invierno. En el periodo 1864-2019 el signo claramente negativo está influenciado por el ciclo excepcionalmente húmedo de finales del S.XIX.

1864-2019	TENDENCIA	1940-2019	TENDENCIA
Anual	-10,0*	Anual	-9,0*
Invierno	-2,4*	Invierno	-4,3*
Primavera	-2,9*	Primavera	-1,7
Verano	-0,4	Verano	-1,2
Otoño	-4,4*	Otoño	-1,9

Tabla 31. Tendencia (mm/década) para los periodos 1864-2019 y 1940-2019 en la serie de Alicante ciudad. El \*refleja que la tendencia es estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95 %. Fuente: Elaboración propia.

En la evolución de la media móvil de 30 años, se observa de forma concisa la clara evolución descendente de las precipitaciones. En el inicio de la serie, dicha media alcanza

su máximo con un total de 460,5 mm en el periodo 1869-1898. En estos 30 años se incluyen los tres años más húmedos de la serie: 1884, 1887 y 1870. A partir de este momento, la media comienza a presentar un progresivo y continuo descenso hasta llegar a su tope más bajo de toda la serie, en el periodo 1916-1945 con una precipitación media de 270,8 mm. Es decir, en 50 años se produce un descenso absoluto en la evolución de la media móvil de 190 mm, el cual está totalmente condicionado por el ciclo excepcionalmente húmedo de finales del S.XIX. El periodo transcurrido entre 1910 y 1945 fue un lapso temporal en el predominaron los años secos o muy secos.

A partir del año 1945, que es uno de los años más secos en el sureste peninsular, la media móvil comienza a experimentar un progresivo incremento hasta llegar a un tope de 361 mm en el periodo 1962-1991, tal y como se muestra en la figura 77. Desde 1991, comienza un drástico descenso en la media hasta la actualidad, situándose la media del periodo 1990-2019 en el punto más bajo desde 1951 con un total de 282,2 mm. En los últimos 30 años se localizan los periodos interanuales móviles más secos de toda la serie: diciembre 1994- noviembre 1995 (81,3 mm) y septiembre 2013- agosto 2014 (69,8 mm). Este acusado descenso en las últimas tres décadas es corroborado en Valdés Abellán et al. (2017), donde se refleja que la precipitación media anual sufre un descenso absoluto alrededor de un 15% en la ciudad de Alicante. De hecho, en el nuevo periodo de referencia utilizado por AEMET (1991-2020), la media va a descender en alrededor de 30 mm, pasando de 311,1 mm a unos 280 mm.

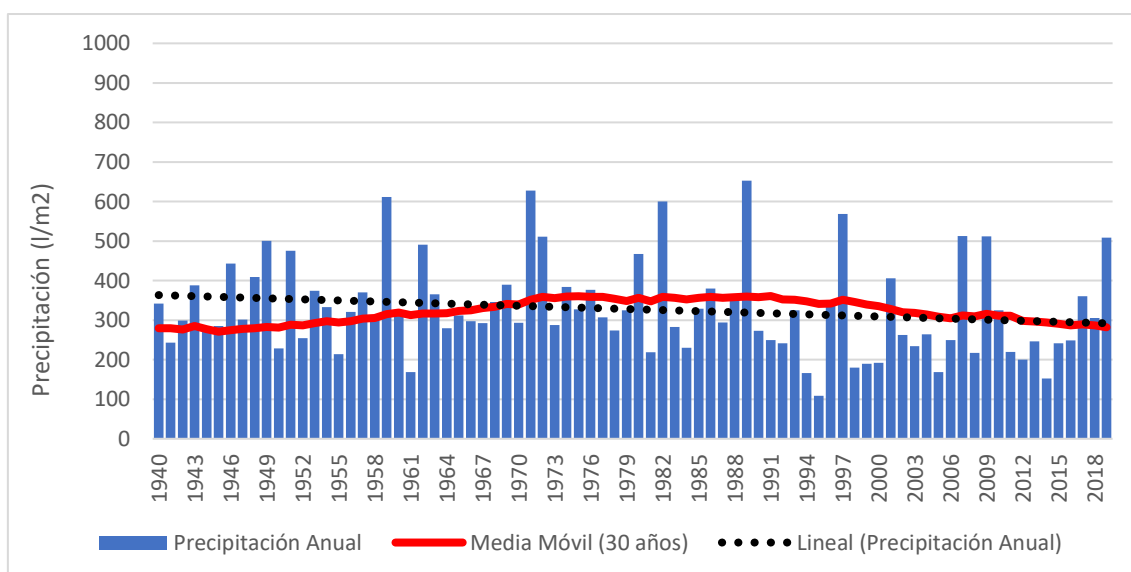


Figura 77. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie de Alicante ciudad para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.



Por otra parte, en la figura 78 se muestra la categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico (clasificación por quintiles). El objetivo es visualizar de una forma clara y concisa los diferentes ciclos húmedos y secos que ha atravesado esta serie. Comenzando el análisis por el principio de la serie, se puede observar como el último tercio del S.XIX y la primera década del S.XX fue un periodo excepcionalmente húmedo. De hecho, en el periodo transcurrido entre 1864 y 1908, tan solo hay dos años secos y tres años normales. Los 40 años restantes están categorizados como húmedos, muy húmedos o extremadamente húmedos. Entre 1887 y 1908, se registra una racha de 22 años húmedos o muy húmedos. En el periodo 1864-1908, se localizan los tres únicos años extremadamente húmedos de esta serie: 1884- 933,3 mm, 1887- 697,8 mm y 1870- 673,9 mm. Los tres superan el registro de 1989 que con 653,1 mm es el más húmedo del S.XX.

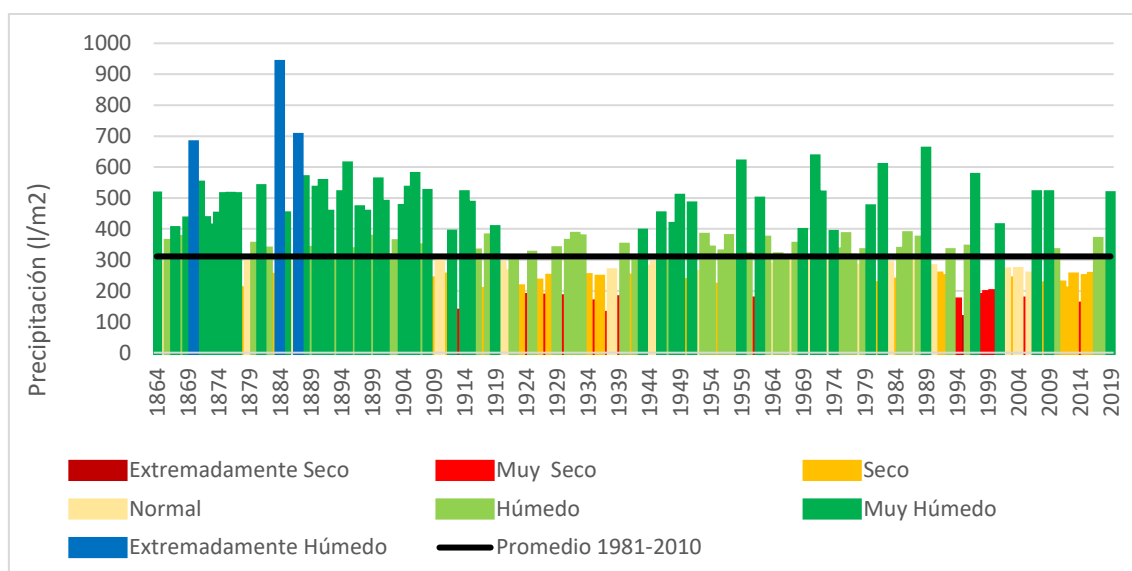


Figura 78. Categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico en la serie de Alicante ciudad para el periodo 1864-2019. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se procede a explicar los posibles causantes de este excepcional periodo con anomalías positivas de precipitación. En primer lugar, es importante mencionar, que los estudios sobre tendencias de las precipitaciones desde mediados del S.XIX son bastante escasos a nivel de la península ibérica (Esteban Parra et al., 1998; Luna Rico et al., 2012; Bichet et al., 2014). En Luna Rico et al. (2012), se lleva a cabo una reconstrucción de las series de precipitación más longevas de España, entre las que se incluyen las series de las ciudades de Alicante y Murcia. En Esteban Parra et al. (1998),

se exponen los cambios de las precipitaciones en España para el periodo 1880-1992. En ninguna de las regiones estudiadas se observa un descenso tan drástico desde finales del S.XIX como el mostrado en el presente trabajo en las series de Alicante y Murcia. Es posible, que el método de regionalización utilizado basado en un análisis por componentes principales, no delimite ninguna región representativa para el sureste de España, y de este modo no se plasme el descenso tan acusado observado en las series de Alicante y Murcia.

En la figura 79, se expone la anomalía existente en el geopotencial de 500 hPa entre el período 1870-1890 y el período 1981-2010. Se observa como en el periodo seleccionado predominaron anomalías claramente negativas en altura con respecto al periodo de referencia vigente en la actualidad. En Bichet et al. (2014), relacionan el aumento de las precipitaciones a finales del S.XIX, con importantes cambios en la circulación atmosférica a nivel global, con especial incidencia en las latitudes medias. Estos autores, apuntan a un predominio de bajas presiones, con debilitamiento de la circulación zonal, a finales del S.XIX, especialmente en niveles medios de la troposfera.

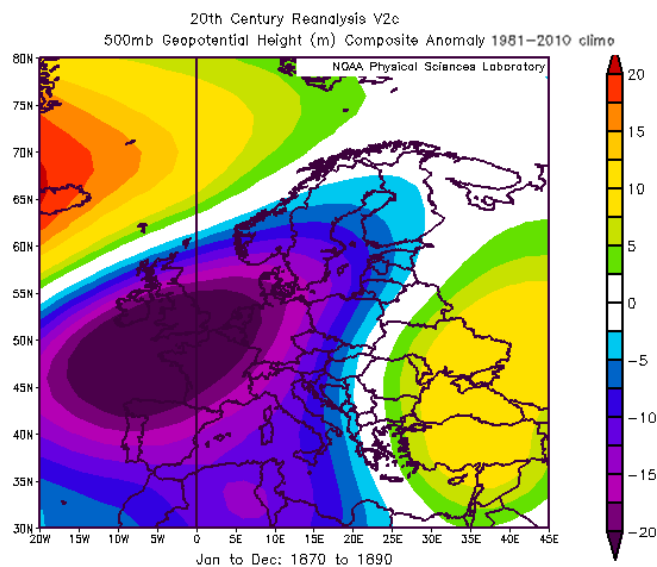


Figura 79. Anomalía en el geopotencial a 500 hPa durante el periodo 1870-1890 con respecto al periodo de referencia 1981-2010. Fuente: NOAA Earth System Research Laboratory (ESRL).

Bichet et al. (2014), llevan a cabo una comparación de las precipitaciones estivales (junio, julio y agosto) y de principio del otoño (septiembre y octubre), del periodo 1875-1890

con las del periodo 1901-2000, en Europa. En dicho estudio, solo se incluye la mitad norte de la península ibérica. En el mismo se demuestra claramente un aumento de las precipitaciones en el lapso temporal estudiado para gran parte de Centroeuropa en el periodo 1875-1890, en línea con lo observado en la series de Alicante y Murcia. Sin embargo, en contraposición para la mitad norte de la península ibérica no se refleja este aumento, sino más bien un descenso de las precipitaciones. Por lo tanto, se puede extraer la conclusión de que a finales del S.XIX el comportamiento de las precipitaciones en el sureste peninsular se asemeja mucho más a lo observado en Centroeuropa que a los registros mostrados para la mitad norte de la península ibérica.

Los cambios observados en la circulación general atmosférica, pudieron desencadenar importantes anomalías en altura (geopotencial de 500 hPa), tal y como se observa para el periodo 1870-1890. Este hecho, podría estar relacionado con una mayor frecuencia de la formación de embolsamientos de aire frío en altura, que ocasionaran la aparición de profundas e intensas DANAs durante las últimas décadas del S.XIX. Esto podría estar claramente relacionado, y ser una de las principales causas, de las intensas precipitaciones registradas en las series de Alicante y Murcia, sobre todo durante el otoño que es la estación con diferencia que registró mayor cantidad de precipitaciones en este periodo.

En Couchoud Sebastià (1965) y Ferreras Fernández (2004) se recopilan las riadas históricas acontecidas en la cuenca del Segura. En ambos trabajos se refleja que a finales del S.XIX se registraron numerosas riadas que provocaron cuantiosas pérdidas económicas y personales, sobre todo en los valles del Guadalentín y Segura. La mayor parte de estos eventos se registró durante el otoño. La más significativa fue la famosa “Riada de Santa Teresa”, acontecida el 15 de octubre de 1879, que generó enormes pérdidas económicas y personales, siendo uno de los primeros eventos de inundación con gran repercusión internacional (Calvo García-Tornel et al., 2001; González López, 2014).

En definitiva, las causas de las anomalías observadas en la circulación general atmosférica a finales del S.XIX no son todavía bien conocidas y existen diferentes hipótesis (Pauling y Paeth, 2007). Entre estas hipótesis, se puede resaltar que en algunos estudios (Rampino y Self, 1982; Fuster Casas, 2000; Pauling y Paeth, 2007) se afirma que las anomalías observadas en la circulación general atmosférica (Bitchet et al., 2014), pudieron estar amplificadas por las importantes erupciones volcánicas que tuvieron lugar en el último tercio del S.XIX. Entre estas erupciones, destaca, sin duda, la erupción del volcán Krakatoa (Indonesia) en agosto de 1883, que provocó un drástico descenso térmico a nivel

global (Fuster Casas, 2000). Dicho evento volcánico está considerado como la erupción más violenta ocurrida en el planeta desde 1815 (erupción del volcán Tambora también en Indonesia) hasta la actualidad. Igualmente, a finales del S.XIX se registraron otras grandes erupciones volcánicas entre las que pueden destacar la del Monte Tarawera (Nueva Zelanda) en 1886 (Bonadonna et al., 2005) o la serie de erupciones de la última década del S.XIX en Chile (volcanes de Cabulco, Yate y Huequi) (Watt et al., 2011).

Paradójicamente tras la potente erupción del volcán Krakatoa en agosto de 1883, en las series de Alicante y Murcia, el año 1884 es con mucha diferencia el año más húmedo de ambas series, con un total de 933,3 mm en Alicante y 765 mm en Murcia. En la serie de Alicante este acumulado triplica el valor de la precipitación media anual del periodo 1981-2010. Normalmente, los efectos e influencias de las erupciones volcánicas en el clima, suelen centrarse en invierno y verano (Robock, 2000; Fischer et al., 2007). Sin embargo, en el sureste de España, la mayor parte de estas precipitaciones se concentraron durante el otoño (619,4 mm en Alicante y 358 mm en Murcia).

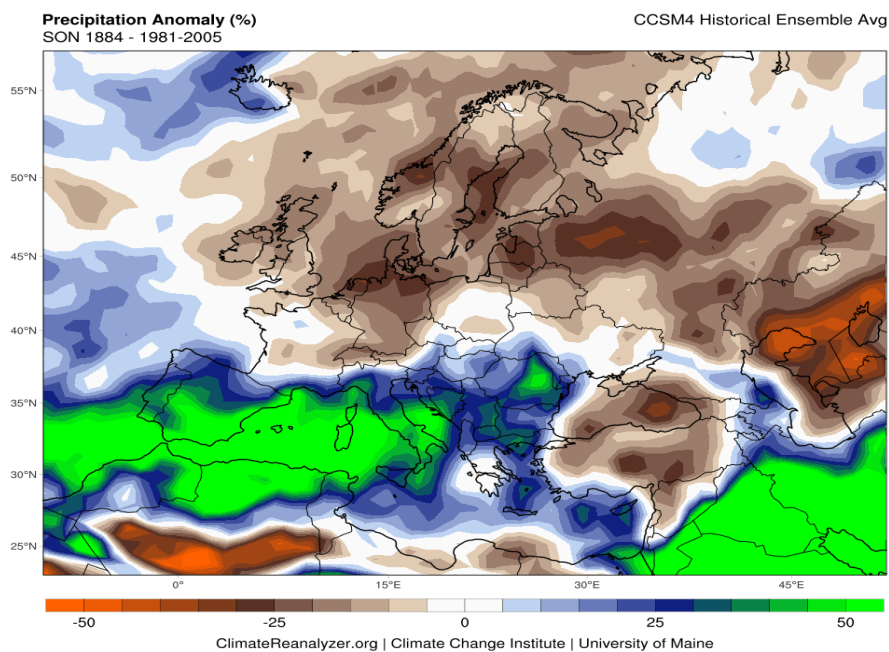


Figura 80. Anomalía de precipitación en el otoño de 1884 con respecto al periodo 1981-2005. Fuente: ClimateReanalyzer- University of Maine.

En la figura 80 se muestra la anomalía de precipitación en el otoño de 1884 con respecto al periodo 1981-2005. Se observa una notable anomalía positiva en las precipitaciones (+50 %) en el mediterráneo occidental, lo cual podría estar relacionado con la presencia de un bloqueo anticiclónico en Centroeuropa y una ruptura de la circulación zonal, que

pudo propiciar la circulación de bajas presiones hacía latitudes más bajas o una mayor frecuencia de DANAs. Según Fuster Casas (2000), la erupción del Krakatoa en 1883, originó cambios importantes en la circulación general atmosférica, lo que pudo traer consigo un aumento espectacular de las precipitaciones durante el año posterior a dicha erupción.

Tras el periodo excepcionalmente húmedo de finales del S.XIX y primera década del S.XX, en el año 1909 comienza una sucesión de ciclos secos y húmedos característica del clima mediterráneo. Esta variabilidad se observa mucho mejor con el análisis de las medias móviles de 12 y 24 meses. En el periodo transcurrido entre 1909 y 1945 predominan los años secos, pudiéndose resaltar que en este lapso temporal se localizan tres de los cinco años más secos de toda la serie: 1935- 158,9 mm, 1913- 129,6 mm y 1937- 122 mm. En este lapso de 37 años, se encuadran dos de los periodos de sequía más duraderos de toda la serie: 1923-1928 y 1934-1939. Posteriormente las décadas de 1950, 1960, 1970 y 1980, predominaron años húmedos, lo cual como ya ha sido mencionado repercute en el constante incremento de la media móvil de 30 años en estas décadas. A partir de la segunda mitad del S.XX se observa un incremento de la variabilidad interanual de las precipitaciones, así como una intensificación de los extremos pluviométricos. A diferencia de lo ocurrido en gran parte del mediterráneo occidental, donde la primera parte de la década de 1980 fue muy seca (Zapata et al., 1990; Spinoni et al., 2015), en la ciudad de Alicante prevalecieron años por encima de la precipitación media anual. El año 1982 con 600,4 mm es el tercero más húmedo del S.XX, siendo 1989 con 653,1 mm el más húmedo del S.XX, como ocurre en gran parte del sureste peninsular.

Finalmente, en las tres últimas décadas se enmarcan los dos periodos de indigencia pluviométrica más intensos de toda la serie (1993-1996 y 2011-2016), cuyas repercusiones territoriales se analizan en el capítulo 5. Además se localiza el trienio 1998-2000 que también fue muy seco. En los 156 años que comprende la serie, se observan 16 años por debajo de 200 mm, de los cuales 7 se encuadran en las tres últimas décadas, lo que pone de manifiesto su carácter seco. El año 1995 con 108,9 mm es el más seco de toda la serie, y 2014 con 152,6 mm el cuarto más seco. No obstante, durante este lapso temporal, también se observa un claro incremento de las lluvias intensas (Olcina Cantos, 2017), lo que evidencia una intensificación de los episodios pluviométricos extremos, tal y como se corrobora en el informe del AR5 (IPCC,2018).

Por otra parte, en la figura 81, se expone la evolución de la precipitación a nivel estacional mediante la ejecución de una media móvil de 30 años. Se observa como el otoño es, con bastante diferencia, la estación más húmeda en la serie de Alicante, aunque en el transcurso de los años la diferencia se ha ido reduciendo con respecto a la primavera e invierno que muestran un comportamiento muy similar. De hecho, como se observa en tabla 31, es la estación que presenta un mayor descenso por década en el periodo 1864-2019. El otoño pasa de tener una precipitación media máxima de 201,1 mm en el periodo 1879-1908 a un mínimo 107,2 mm en el periodo 1921-1950. Este brusco descenso es consecuencia del ya mencionado periodo excepcionalmente húmedo de finales del S.XIX que incidió especialmente durante los otoños. El resto de las estaciones presenta un descenso más atenuado en el periodo 1864-2019. Mientras tanto, en el periodo 1940-2019 continua la tendencia descendente en todas las estaciones.

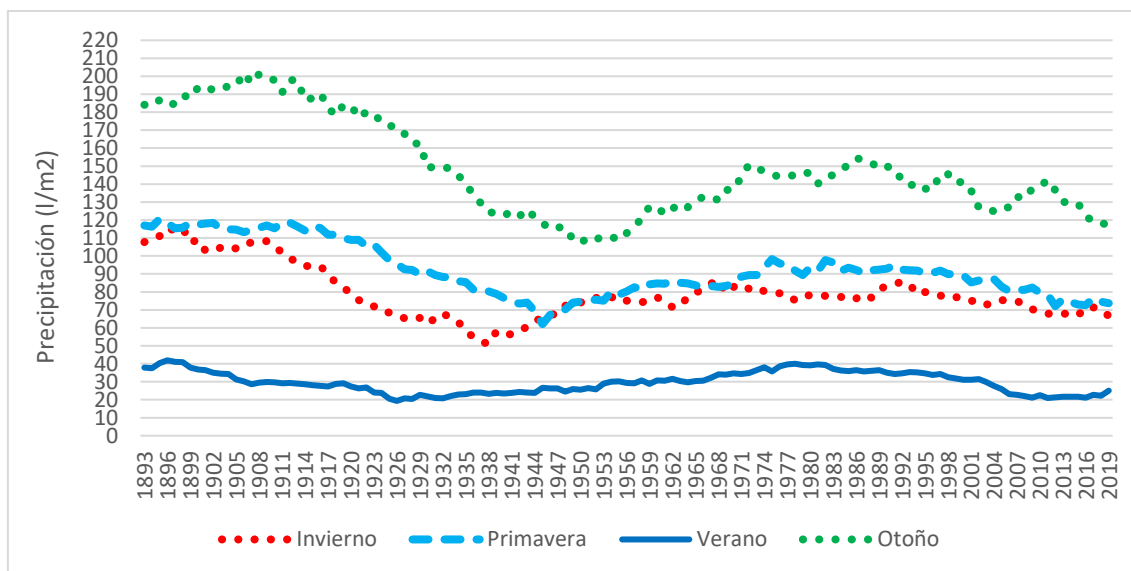


Figura 81. Evolución de la precipitación a escala estacional a partir de una media móvil de 30 años en la serie de Alicante ciudad para el periodo 1864-2019. Fuente:

Elaboración propia.

En la actualidad, con la entrada en vigor del nuevo periodo de referencia 1991-2020 todas las estaciones van a sufrir un retroceso en su media con respecto al anterior periodo de referencia 1981-2010, excepto el verano, el cual va a experimentar un ligero ascenso como consecuencia del incremento de las precipitaciones en el mes de agosto. En este punto, cabe resaltar que en agosto de 2019 se superó el récord mensual para dicho mes, con un total de 106,8 mm. Esto podría deberse a una tendencia positiva de las advecciones de origen mediterráneo durante el mes de agosto y un aumento de las precipitaciones de

origen convectivo sobre todo durante la segunda quincena de este mes (Olcina Cantos y Miró Pérez, 1998; Azorín Molina y López Bustins, 2004). No obstante, cabe reseñar que el peso en la precipitación anual de la precipitación estival es muy reducido, por la escasa relevancia de las tormentas estivales en la franja litoral.

Por último, en las figuras 82 y 83 se muestra la evolución de la precipitaciones a partir de una media móvil de 12 meses (período interanual) y 24 meses (período bianual). Se observa claramente el periodo excepcionalmente húmedo de finales del S.XIX, con un tope de 995,3 mm en el periodo abril 1884-marzo 1885 (que triplica el valor de la precipitación media anual) y 1441,5 mm (noviembre 1883-octubre 1885). A partir de esta fecha, se vislumbra una sucesión de ciclos húmedos y secos, característico del clima mediterráneo, con una variabilidad interanual muy elevada.

Es muy importante resaltar, que los dos períodos interanuales y bianuales más secos se han registrado en las tres últimas décadas, un hecho que también ha acaecido en otros puntos de la franja litoral y valles prelitorales. El periodo interanual transcurrido entre septiembre de 2013 y agosto de 2014 es el más seco de toda la serie con un total de 69,8 mm, seguido por periodo diciembre 1994-noviembre 1995 con 81,3 mm. En los 156 años de serie tan solo se había bajado de los 100 mm en el período interanual julio 1930- junio 1931 con 88,6 mm. En lo que respecta al periodo bianual, cabe que destacar que los periodos septiembre 2013-agosto 2015 (254,8 mm) y diciembre 1993-noviembre 1995 (263 mm) son los dos únicos que han registrado una cifra inferior a los 300 mm en la media móvil de 24 meses.

Ambos periodos originaron importantes repercusiones territoriales que serán analizadas con más detalle en el capítulo 5. No obstante, y a pesar de las exiguas precipitaciones registradas en el periodo 2013-2015, las restricciones en el abastecimiento urbano de agua en el área metropolitana de Alicante-Elche fueron mucho más reducidas que en los años 1994 y 1995 (Morales Gil, 1999; Olcina Cantos, 2002), debido al impulso de la desalinización (Morote Seguido, 2018). Como se explica con detenimiento en el capítulo 5, se está produciendo una intensificación de los periodos de sequía desde la segunda mitad del S.XX, algo que se corrobora en numerosos estudios (CEDEX, 2017; IPCC, 2018). Finalmente, cabe reseñar que el reciente periodo interanual abril 2019-marzo 2020, aunque ha tenido un carácter muy húmedo con 597,1 mm, no ha tenido un carácter tan excepcional como en otros puntos del área de estudio, como la serie de la ciudad de Murcia, donde se ha registrado el periodo interanual más húmedo en más de 120 años.

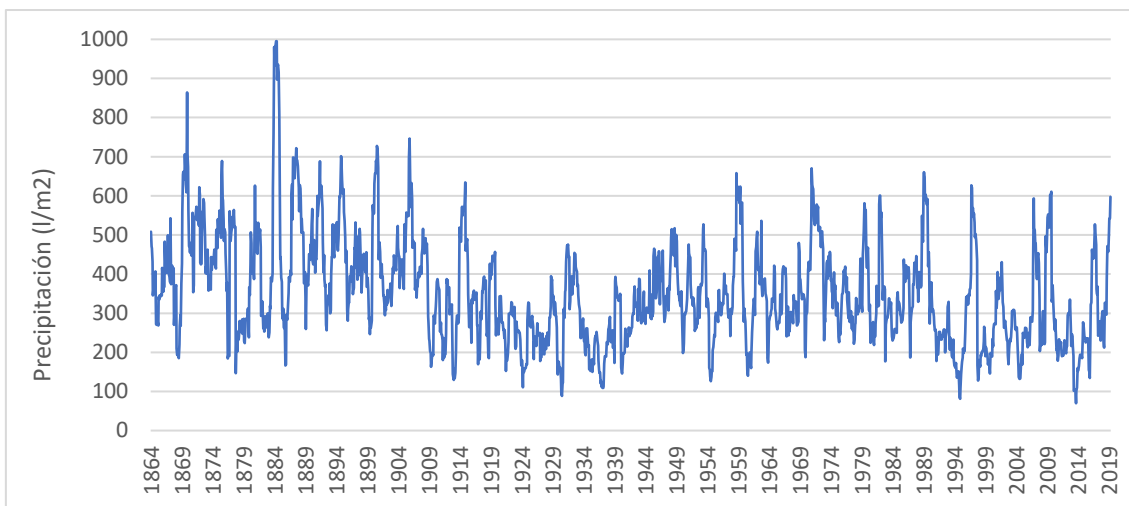


Figura 82. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses (periodo interanual) en la serie de Alicante ciudad para el periodo 1864-2019. Fuente: Elaboración propia.

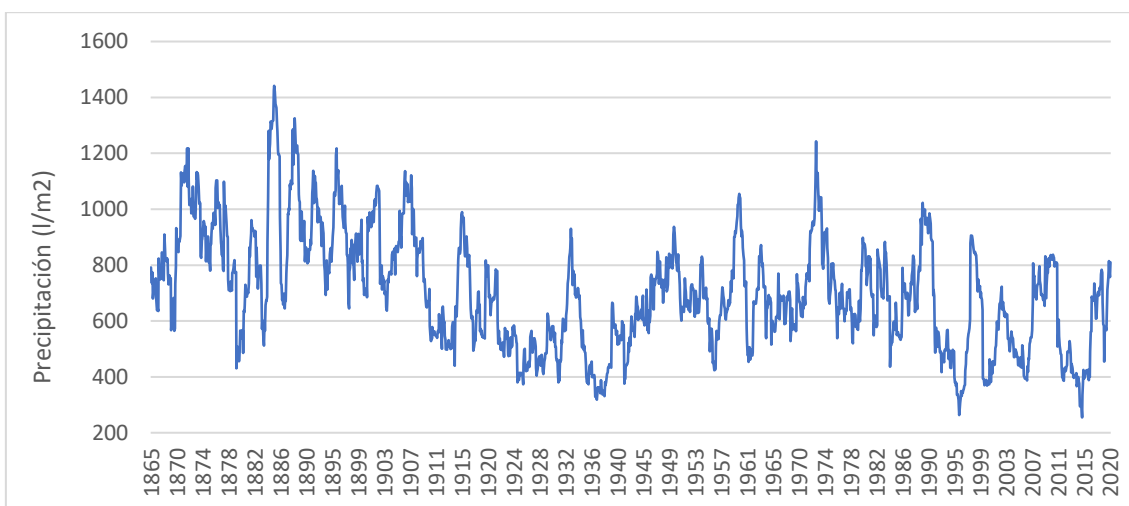


Figura 83. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 24 meses (periodo bianual) en la serie de Alicante ciudad para el periodo 1864-2019. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.2. Serie Murcia ciudad (1864-2019)

La ciudad de Murcia está situada en el tramo medio del valle del Segura. Dicha urbe se localiza en la comarca del Huerta del Segura, que incluye gran parte del área metropolitana de Murcia. Su precipitación media anual en el periodo 1981-2010 es de 289,5 mm (OTO-96,3 mm, PRI-79,9 mm, INV-76,2 mm y VER-29,3 mm), siendo está ligeramente inferior a la de la serie de Alicante. Aunque el otoño es la estación más húmeda, la diferencia con la primavera y el invierno no es tan notable como en el caso de la serie de Alicante. En el sector del valle del Segura que atraviesa el área metropolitana



de Murcia, las lluvias no presentan una intensidad horaria tan elevada como en puntos del litoral o de la cuenca del Guadalentín (López Bermúdez, 1978; Capel Molina, 1989; Garrido Abenza, 2014). Las precipitaciones cuentan con una elevada variabilidad interanual. La elevada variabilidad climática de esta serie y sus patrones termopluviométricos son analizados con detenimiento en Gil Guirado y Pérez Morales (2019).

Como sucede en Alicante, por su ubicación geográfica en el valle prelitoral del Segura, depende en gran medida de las precipitaciones de origen mediterráneo que representan gran parte del peso de la precipitación anual. Los mecanismos que dan lugar a los temporales de lluvia de origen mediterráneo ya han sido explicados con detenimiento en el apartado 4.3.1. Las precipitaciones de origen convectivo y origen atlántico representan una exigua parte. Muestra de ello, es que la precipitación media durante el periodo estival es muy reducida, debido a que las tormentas estivales tienen muy poca importancia en esta área.

Las precipitaciones presentan una evolución claramente descendente en el periodo 1864-2019 (figura 84). La cual está muy condicionada por el periodo excepcionalmente húmedo de finales del S. XIX cuyas causas han sido explicadas en el apartado 4.3.1. La tendencia es de -4,9 mm/década (con significación estadística). En la tabla 32, se presentan los valores de las tendencias a escala anual y estacional, para los periodos 1864-2019 y 1940-2019. Al contrario de lo que ocurre en la serie de Alicante, en el periodo 1940-2019, aunque la tendencia sigue teniendo signo negativo, no presenta una significación estadística. En este periodo, las precipitaciones muestran una tendencia neutra, ya que están prácticamente estabilizadas.

A nivel estacional en el periodo 1864-2019, todos los meses presentan una tendencia negativa (tabla x), excepto el verano. En el invierno y la primavera esta tendencia exhibe una significancia estadística. Sin embargo, en el periodo 1940-2019, ningún mes presenta significancia estadística siendo la tendencia prácticamente neutra en todas las estaciones. La tendencia ligeramente positiva del verano en ambos períodos, está causada por el incremento de las precipitaciones en el mes de agosto. Como ya ha sido mencionado, este incremento podría deberse a una tendencia positiva de las advecciones de origen mediterráneo y aumento en la frecuencia de DANAs por el debilitamiento del jet polar (Rivière, 2011; Muñoz et al., 2020), lo que puede dar lugar a un aumento de los

fenómenos convectivos inducidos por convección dinámica (Olcina Cantos y Miró Pérez, 1998; Millán et al., 2005).

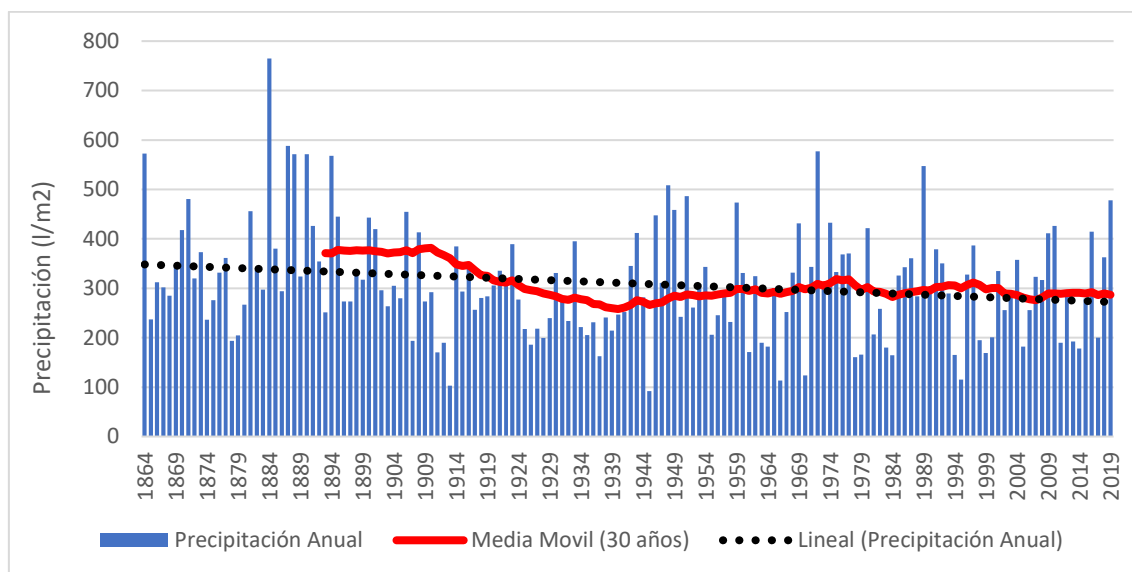


Figura 84. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie de Murcia ciudad para el periodo 1864-2019. Fuente: Elaboración propia.

1864-2019	TENDENCIA	1940-2019	TENDENCIA
Anual	-4,9*	Anual	-2,8
Invierno	-1,3*	Invierno	-1,4
Primavera	-1,7*	Primavera	-2,5
Verano	0,3	Verano	0,7
Otoño	-2,2	Otoño	0,4

Tabla 32. Tendencia (mm/década) para los periodos 1864-2019 y 1940 -2019 en la serie de Murcia ciudad. El \*refleja que la tendencia es estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95 %. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto, a la evolución de la media móvil de 30 años, cabe mencionar que se produce un notable descenso de la precipitación media desde el periodo 1881-1910 con una media de 381,7 mm al periodo 1911-1940 con 257,9 mm. Es un descenso absoluto 123,8 mm. Dicha reducción es menos acusada que en la serie de Alicante, dado que en dicho observatorio las precipitaciones de finales del S.XIX fueron más cuantiosas. Este descenso es corroborado en Gil Guirado y Pérez Morales (2019). A partir de 1940 la media móvil se mantiene prácticamente estable (figura 85) presentando un máximo de 318,4 mm en el periodo 1946-1975. En Ruiz Álvarez et al. (2014), se observa que la serie media anual de la Región de Murcia (periodo 1914-2013), presenta una tendencia ligeramente descendente (-0,45 mm/década), lo que está en concordancia con la

evolución observada en la serie de Murcia ciudad. En la actualidad, en el lapso temporal 1990-2019, la media es de 286,2 mm, por lo que se puede destacar que la precipitación en el nuevo periodo de referencia utilizado por AEMET (1991-2020), va a permanecer prácticamente igual que en el periodo de referencia vigente actualmente (1981-2010 con 289,5 mm).

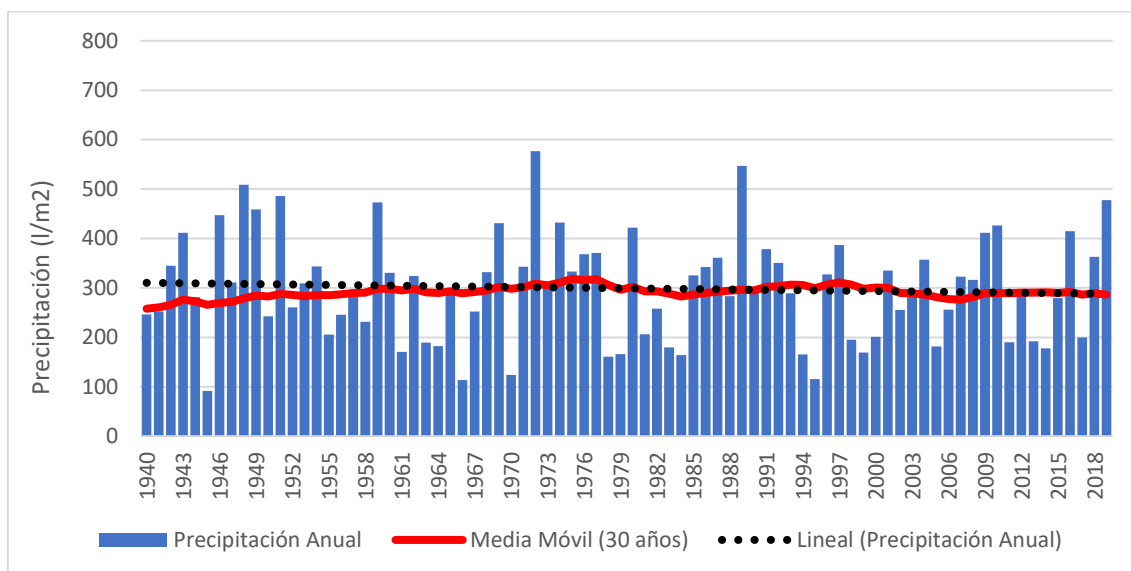


Figura 85. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie de Murcia ciudad para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en la figura 86 se expone la categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico (clasificación por quintiles). Comenzando el análisis por el periodo excepcionalmente húmedo de finales del S. XIX y primera década del S. XX, en el periodo 1864-1910 tan solo se registran 6 años categorizados como secos. Entre ellos, paradójicamente, se encuentra el año 1879 (204,5 mm), en cuyo mes de octubre tuvo lugar la famosa riada de Santa Teresa. En el observatorio de Murcia tan solo se recogieron 23,5 mm, lo que refuerza la hipótesis de que las lluvias torrenciales estuvieron muy localizadas en la cabecera del Guadalentín, y sierras de Oria, Estancias y María (Calvo García-Tornel et al., 2001). Estos autores afirman que la tormenta se concentró en un área de 150 km<sup>2</sup> en la que se estima que se registraran alrededor de 600 mm, estimando una punta de avenida de 2.300 m<sup>3</sup>/s en el río Segura a su paso por la ciudad de Murcia. En González López (2014), se estima que hubo al menos un millar de fallecidos. La cuenca del río Guadalentín, es una de las de mayor torrencialidad de Europa, presentando un gran poder erosivo. Las riadas del Guadalentín han dado lugar a

lo largo de la historia a numerosas inundaciones en la Huerta de Murcia, al confluir en esta área con el río Segura (Calvo García-Tornel, 1969). Por otra parte, en el periodo mencionado (1864-1910), se contabilizan 6 años extremadamente húmedos (1864,1884, 1887,1888,1890 y 1894), destacando por encima de todos el año 1884 con 765 mm, siendo con mucha diferencia el más húmedo de toda la serie como sucede en el observatorio de Alicante. En estos años se registraron numerosas riadas aparte de la ya mencionada Riada de Santa Teresa, como la Riada de la Asunción en 1884, la Riada de la Feria en 1888 o la Riada de los cuarenta y tres días en 1890 (Couchoud Sebastia, 1965).

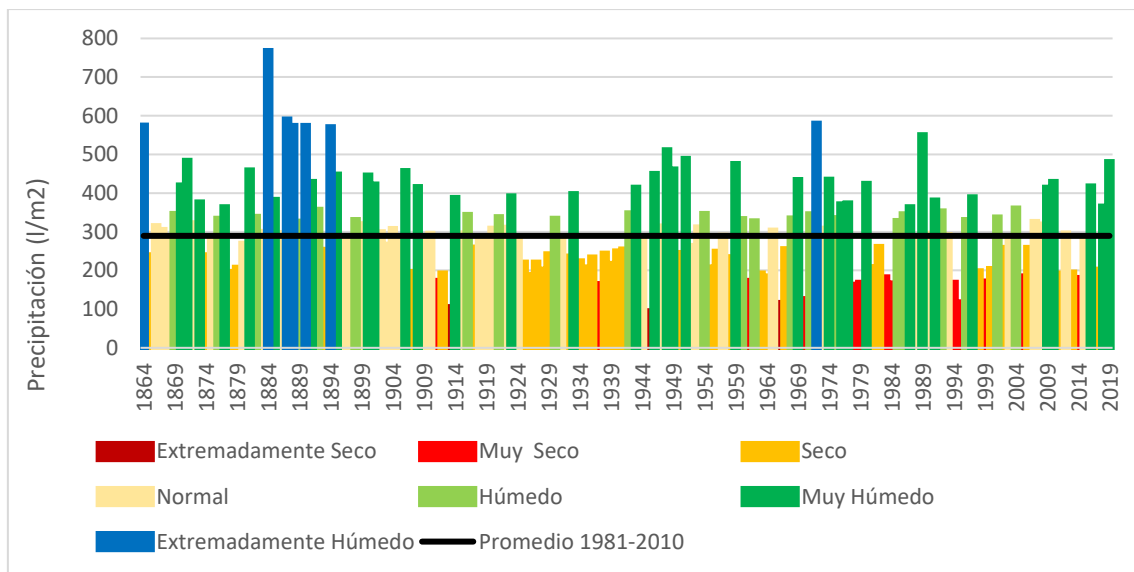


Figura 86. Categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico en la serie de Murcia ciudad para el periodo 1864-2019. Fuente: Elaboración propia.

Las décadas de 1910, 1920 y 1930 y primeros años de la década de 1940 fueron bastante secas, destacando los periodos de sequía 1911-1913, 1925-1929 y 1934-1941. Este último es el periodo más prolongado de años secos o muy secos en toda la serie, con un total de 8. En este periodo se encuadran los dos años más secos de toda la serie: 1913 y 1945, ambos con 91,6 mm. A partir de la segunda mitad del S.XX se inicia una sucesión de ciclos húmedos y secos, y un aumento en la irregularidad y variabilidad interanual de las precipitaciones (Garrido Abenza et al., 2014), con lluvias más torrenciales y períodos de sequía más largos e intensos como se analiza detenidamente en el capítulo 5.

Con respecto a la evolución de las precipitaciones a escala estacional (figura 87), hay que resaltar que las estaciones equinocciales son las que experimentan una mayor reducción de las precipitaciones tras el periodo excepcionalmente húmedo de finales del S.XIX. El

otoño pasa de un máximo de 141,9 mm (periodo 1877-1906) a un mínimo de 83 mm (periodo 1924-1953). Mientras tanto la primavera pasa de un máximo de 108,7 mm (período 1866-1895) a un mínimo de 69,7 mm (periodo 1916-1945). A partir de la segunda mitad del S.XX la evolución de la precipitación en todas las estaciones se mantiene bastante estable, con pequeñas oscilaciones originadas por la elevada variabilidad interanual de las precipitaciones. Finalmente cabe resaltar que el invierno se va a colocar en segunda posición en precipitación superando a la primavera en el nuevo periodo de referencia 1991-2020, un hecho que no ocurría desde el periodo de referencia 1881-1910. Esto evidencia un cambio de los patrones estacionales, en los cuales el invierno presenta una clara tendencia positiva en las últimas décadas.

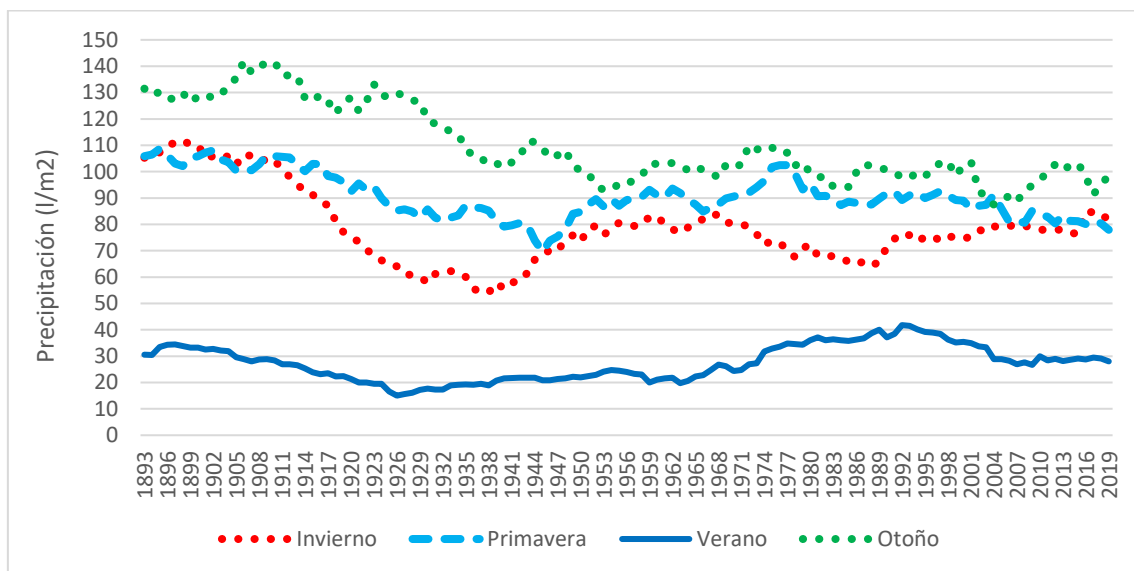


Figura 87. Evolución de la precipitación a escala estacional a partir de una media móvil de 30 años en la serie de Murcia ciudad para el periodo 1864-2019. Fuente: Elaboración propia.

Por último, en las figuras 88 y 89 se expone la evolución de la precipitaciones a partir de una media móvil de 12 meses (período interanual) y 24 meses (período bianual). Se observa como destaca claramente el periodo excepcionalmente húmedo de finales del S.XX con un máximo de 845 mm (diciembre 1883-noviembre 1884) en el periodo móvil interanual y 1229 mm (noviembre 1883-diciembre 1885) en el periodo móvil bianual. A partir de este lapso temporal, comienza una sucesión de ciclos secos y húmedos típica del clima mediterráneo, observándose una intensificación de los extremos pluviométricos en las últimas décadas (IPCC, 2018). Desde 1900, tan solo hay dos periodos que superan los 600 mm en el periodo interanual: diciembre 1971-noviembre 1972 con 637,2 mm y abril

2019-marzo 2020 con 682,9 mm. Este último periodo interanual es el más húmedo desde 1884, lo que evidencia su excepcionalidad y la magnitud del mismo. Además es muy probable que superen los 1000 mm en un periodo móvil interanual, ya que en el período abril 2018-marzo 2020 se han registrado 981,1 mm. Desde 1889, en tan solo en una ocasión se habían superado los 1000 mm en un periodo de 12 meses: mayo 1947-abril 1949 con 1041,3 mm.

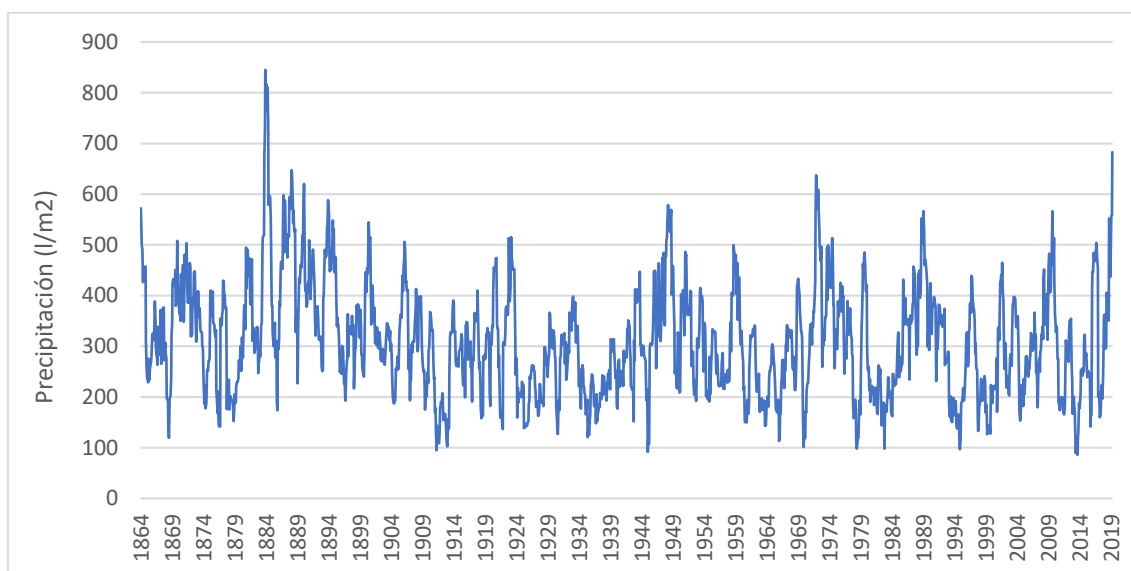


Figura 88. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses (periodo interanual) en la serie de Murcia ciudad para el periodo 1864-2019. Fuente: Elaboración propia.

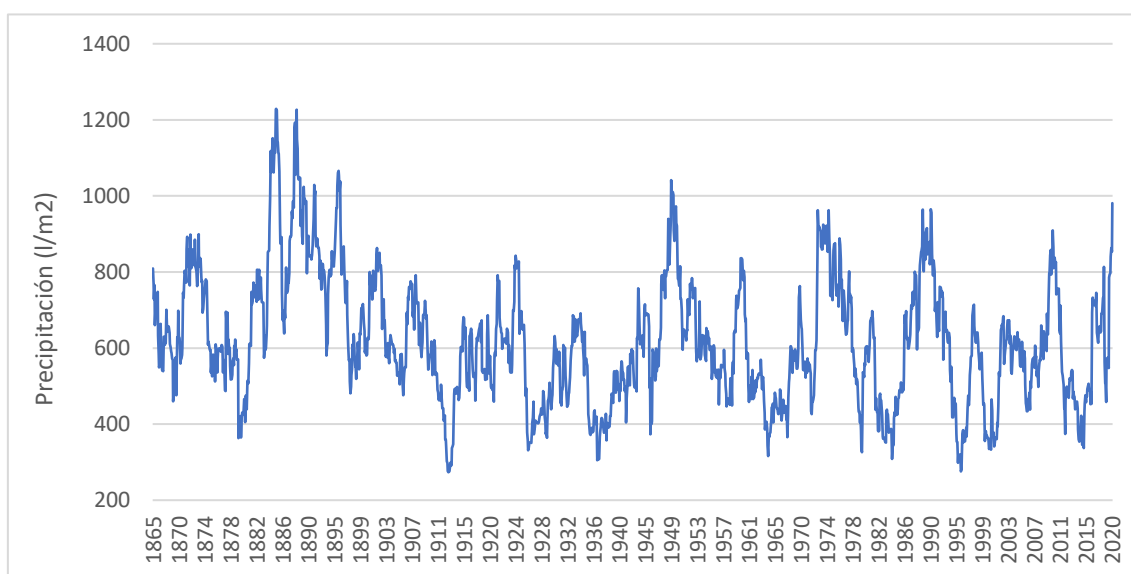


Figura 89. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 24 meses (periodo bianual) en la serie de Murcia ciudad para el periodo 1864-2019. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los periodos interanuales y bianuales más secos, cabe destacar que hay un total de seis periodos por debajo de 100 mm, que en orden cronológico son los siguientes: abril 1911-marzo 1912 (94,9 mm), enero-diciembre 1945 (91,6 mm), junio 1978-mayo 1979 (98,2 mm), noviembre 1982-octubre 1983 (98,2 mm), diciembre 1994-noviembre 1995 (96,7 mm) y septiembre 2013-agosto 2014 (86 mm). Este último es el periodo interanual móvil más seco de toda la serie. Es importante resaltar que de los seis periodos por debajo por 100 mm, cuatro se han localizado en las cuatro últimas décadas lo que evidencia una intensificación en el parámetro de intensidad de los ciclos secos. A nivel bianual destacan los dos períodos en los que la precipitación es inferior a 300 mm: julio 1911-junio 1913 (273,5 mm) y diciembre 1993-noviembre 1995 (275,3 mm). A diferencia de la serie de Alicante el periodo bianual 2013-2015 no es el más seco de toda la serie, registrándose un mínimo de 336,7 mm (septiembre 2013-agosto 2015).

La última década ha estado marcada por la presencia de eventos pluviométricos extremos, los cuales se evidencian en el hecho de que se han registrado tanto el periodo interanual más seco de toda la serie (septiembre 2013- agosto 2014 con 86 mm), como el periodo interanual más húmedo desde 1884 (abril 2019-marzo 2020 con 682,9 mm) en apenas 5 años de diferencia. Esto es una clara evidencia del incremento de los episodios pluviométricos extremos asociados al calentamiento global (IPCC,2013). Asimismo, se estima que estos fenómenos meteorológicos extremos se acentúen, con el calentamiento de 1,5°C respecto a los niveles preindustriales (IPCC, 2018). Además se han intercalado periodos interanuales muy secos con episodios de lluvias torrenciales muy intensos, entre los que destacan los siguientes: agosto 2011-julio 2012 con 165,4 mm, que finalizó con las lluvias torrenciales que propiciaron la riada de San Wenceslao en septiembre de 2012 (Gil Olcina, 2016a, Romera Franco y Romera Sánchez, 2016); y diciembre 2015-noviembre 2016 con 164,6 mm que finalizó con el episodio de lluvias torrenciales del 15 al 19 de diciembre de 2016 (Espín Sánchez et al., 2017).

En el último lustro, han acontecido varios episodios de lluvias torrenciales de carácter histórico, ya que se han superado varios récord tanto a escala diaria como a escala mensual en la serie de Murcia. Diciembre de 2016 (257,3 mm) y septiembre 2019 (240,4 mm) son los dos meses con mayor precipitación rebasando los registros de septiembre de 1888 con 216 mm y septiembre de 1877 con 212,7 mm. Además se han superado cuatro récords de precipitación máxima diaria en un día en los meses de marzo, abril, septiembre y diciembre, que por orden cronológico son los siguientes: 18 de diciembre de 2016

(112,4 mm), 19 de abril de 2019 (77,6 mm), 12 de septiembre de 2019 (179,9 mm) y 23 de marzo de 2020 (68,3 mm). Estos tres últimos eventos, se enmarcan en el periodo interanual excepcionalmente húmedo, abril 2019-marzo 2020. Todos ellos fueron originados por la formación de DANAs junto con la entrada de vientos de levante de gran recorrido marítimo. El día 12 de septiembre de 2019 con 179,9 mm, superó el récord de precipitación máxima diaria en la ciudad de Murcia por bastante diferencia con respecto al anterior récord que databa del 10 de octubre de 1943 con 136 mm.

Desde la década de 1990, se apunta a que el cambio climático está ligado a los incrementos de precipitación a escala diaria, debido al calentamiento del aire y al consiguiente aumento de la capacidad del aire para contener vapor de agua (IPCC,1995; Oria Iriarte, 2020). En González Herrero y Bech (2017) se señala como se está produciendo una intensificación en las precipitaciones en corto intervalo de tiempo (entre 10 minutos y 6 horas) en España, ya que en las dos últimas décadas se han ido superando dichos récords en diferentes episodios. Los récords vigentes en la actualidad en estos intervalos de tiempo se registraron en octubre de 2018, en la localidades de Alpendeire (Málaga) y Vinaroz (Castellón) (González Herrero, 2018). Sin embargo, a partir de un intervalo de 9 horas, los récords a nivel España, son anteriores a la década de 1990. Este tipo de precipitaciones suele destacar más por su persistencia, que por una intensidad horaria muy acusada. En Oria Iriarte (2019), se muestra un aumento en el promedio de la cantidad de precipitación diaria de los días muy húmedos en zonas del litoral mediterráneo durante los últimos 50 años. En estos cambios, juega un papel fundamental el calentamiento global. En Myhre et al. (2019), se expone que por cada grado de incremento de la temperatura global, la frecuencia de los episodios de lluvias torrenciales se multiplica aproximadamente por dos.

Ante esta disyuntiva las ciudades de la fachada mediterránea española deben adaptarse a estos nuevos condicionantes climáticos, más si cabe con lo observado en los escenarios de cambio climático que evidencian un incremento en la frecuencia de los episodios de lluvia intensa. Los eventos pluviométricos extremos suponen un enorme reto para la ordenación del territorio y en particular para la planificación del ciclo urbano del agua (Olcina Cantos, 2010). Por tanto las ciudades del ámbito mediterráneo deben estar preparadas para soportar meses de escasa precipitación y episodios de lluvias torrenciales que ocasionan inundaciones. En Olcina Cantos (2017), se exponen una serie de propuestas para minimizar las pérdidas ocasionadas por los eventos pluviométricos



extremos, entre las que se encuentran: construcción de colectores de agua pluvial de gran capacidad, construcción de depósitos pluviales y construcción de parques inundables. En la ciudad de Alicante, encontramos un gran ejemplo con el parque inundable “La Marjal” que demostró en marzo de 2017 su gran utilidad (Olcina Cantos, 2017). La construcción de este tipo de infraestructuras debe jugar un papel relevante en los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) (Fernández Rodríguez y Trapote Llaume, 2019).

#### **4.3.3. Serie Yecla (1940-2019)**

La ciudad de Yecla está situada en el extremo nororiental del área de estudio. Con respecto a la regionalización está localizada en la región nororiental que se corresponde en gran parte con el ámbito territorial de la UTE III Ríos de la Margen Izquierda. La precipitación anual de Yecla es de 296,3 mm en el periodo de referencia 1981-2010. (OTO-99 mm, PRIM-92,4 mm, INV-57,3 mm y VER-47,6 mm). Esta urbe está encuadrada en una zona de transición entre el litoral mediterráneo y la meseta sur (Morales Yago, 2004). Por tanto, la continentalidad tiene una marcada influencia en esta área, ya que también presenta una relativa altitud (605 m s. n. m.). Estos factores, junto a la propia dinámica atmosférica, han condicionado un clima marcado por una exigua precipitación media anual, caracterizada por la presencia de episodios de gran intensidad horaria y marcado carácter torrencial (Morales Gil, 1972).

De las cuatro regiones obtenidas en el proceso de regionalización, cabe destacar que las dos regiones centrales (que se corresponden más o menos con el territorio de la UTE III Ríos de la Margen Izquierda y UTE IV Ríos de la Margen Derecha) se encuadran en una zona de transición entre la marcada influencia atlántica de la región de la cabecera del Segura, y la clara influencia mediterránea de la región que abarca la franja costera y prelitoral. Junto a la serie de Yecla, en estas regiones son analizadas para el periodo 1940-2019, las series del Embalse del Cenajo, Caravaca y Embalse de Puentes. Estas cuatro series no tienen tanta dependencia de un único tipo de precipitación como ocurre en la cabecera del Segura con las precipitaciones de origen atlántico y en la franja costera con las precipitaciones de origen mediterráneo. Este hecho, les confiere un aspecto favorable en situaciones de sequía extrema, y hace que sean menos susceptibles.

En el caso de Yecla la distribución porcentual de la precipitación media anual por tipos de precipitación es más o menos la siguiente: 55% origen mediterráneo, 35% origen convectivo y 10% origen atlántico (Millán et al., 2005 y Miró Pérez et al., 2018). Es una

de las zonas donde las precipitaciones convectivas presentan una mayor importancia en el cómputo total anual. Con respecto a la evolución de la precipitación a escala anual en el periodo 1940-2019, hay que destacar que a diferencia del claro descenso observado en la región costera, en la serie de Yecla la tendencia es prácticamente neutra (figura 90). La tendencia anual es de 0,6 mm/década (tabla 33). En la media móvil de 30 años, refleja muy bien dicha tendencia presentando pequeñas oscilaciones propias de la elevada variabilidad interanual del clima mediterráneo. Dicho promedio presenta un máximo de 354,1 mm en el periodo 1948-1977 y un mínimo de 287,1 mm en el periodo 1978-2007. En el periodo actual 1990-2019 la precipitación media es de 308,1 mm, por lo que la precipitación se va a incrementar ligeramente en el nuevo período de referencia 1991-2020 con respecto al periodo referencia 1981-2010 (296,3 mm) vigente en la actualidad. Esto implica que sea una de las pocas zonas del área de estudio donde se va a producir esta circunstancia.

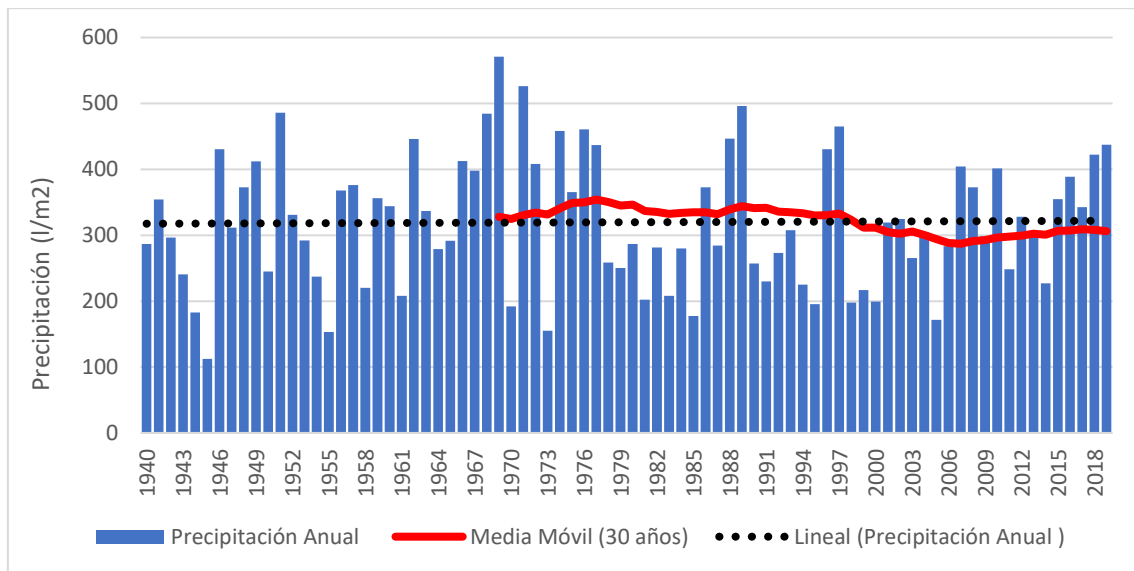


Figura 90. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie de Yecla para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

1940-2019	TENDENCIA
Anual	0,6
Invierno	-0,7
Primavera	4,1
Verano	-2,7
Otoño	1,1

Tabla 33. Tendencia (mm/década) para el período 1940 -2019 en la serie de Yecla.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en la figura 91 se expone la categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico (clasificación por quintiles). Se observa como existe una variabilidad interanual muy marcada, siendo muy destacada la sucesión de ciclos húmedos y secos. Respecto a los periodos de sequía los más destacados son los siguientes: 1943-1945, 1954-1955, 1978-1985, 1994-1995 y 1998-2000. Hay tres años catalogados como extremadamente secos: 1945 (112,3 mm), 1955 (153 mm) y 1973 (155,3 mm). Este último se enmarca en un ciclo bastante húmedo ya que en el periodo 1966-1977 predominaron los años muy húmedos (un total de 7 años) y extremadamente húmedos (2 años). Estos dos años son 1969 (571 mm) y 1971 (526 mm). En la serie se localizan otros ciclos húmedos entre los que se pueden destacar 1946-1949, 1988-1989 y 2015-2019. A diferencia de lo ocurrido en la franja costera, la sequía de 2013-2015 no fue muy intensa. Además, es de las pocas series donde el año 2017 no fue un año seco o muy seco.

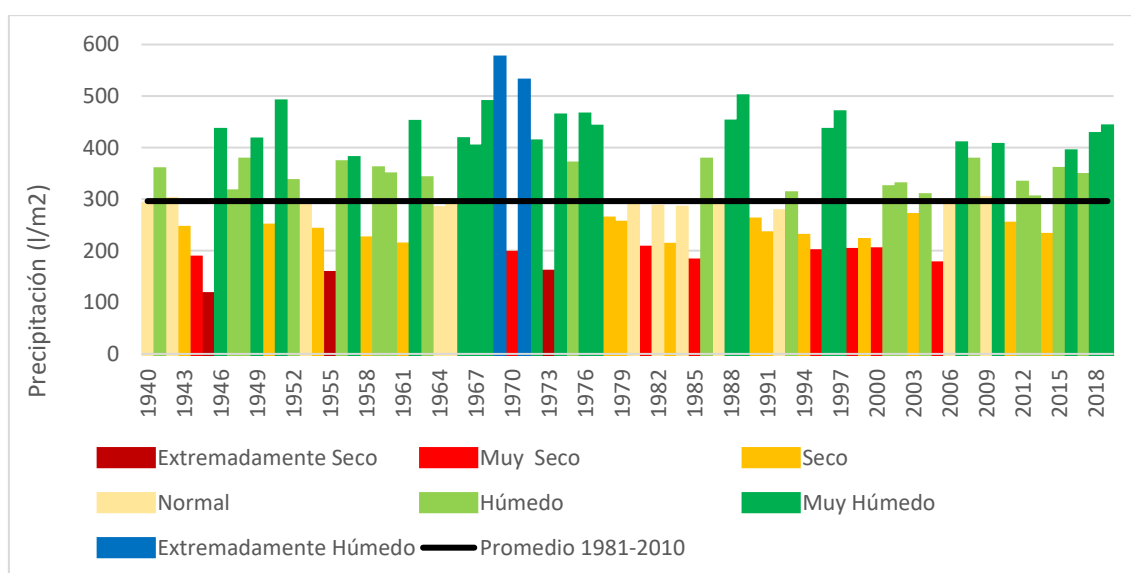


Figura 91. Categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico en la serie de Yecla para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

En lo referido a la evolución de la precipitación a escala estacional, en la figura 92 se observa como el verano es la estación que sufre un mayor retroceso de las precipitaciones. La tendencia durante el estío en el periodo 1940-2019 es de -2,7 mm/década. En la media móvil de 30 años se observa muy bien esta evolución decreciente durante la canícula, ya que se pasa de un promedio máximo de 67,9 mm en el periodo 1960-1989 a un mínimo de 37 mm en la actualidad (periodo 1990-2019). De hecho, durante dos periodos de

referencia (1961-1990 y 1971-2000) la precipitación media del verano fue superior a la del invierno, un aspecto que ocurre en muy pocas series, ya que el estío es con diferencia la estación más seca. Las causas de este descenso se explican por la notable reducción de las precipitaciones de tipo termoconvectivo durante el periodo cálido (entre mayo y agosto) (Miró Pérez et al., 2018). El descenso es muy acusado en junio y julio.

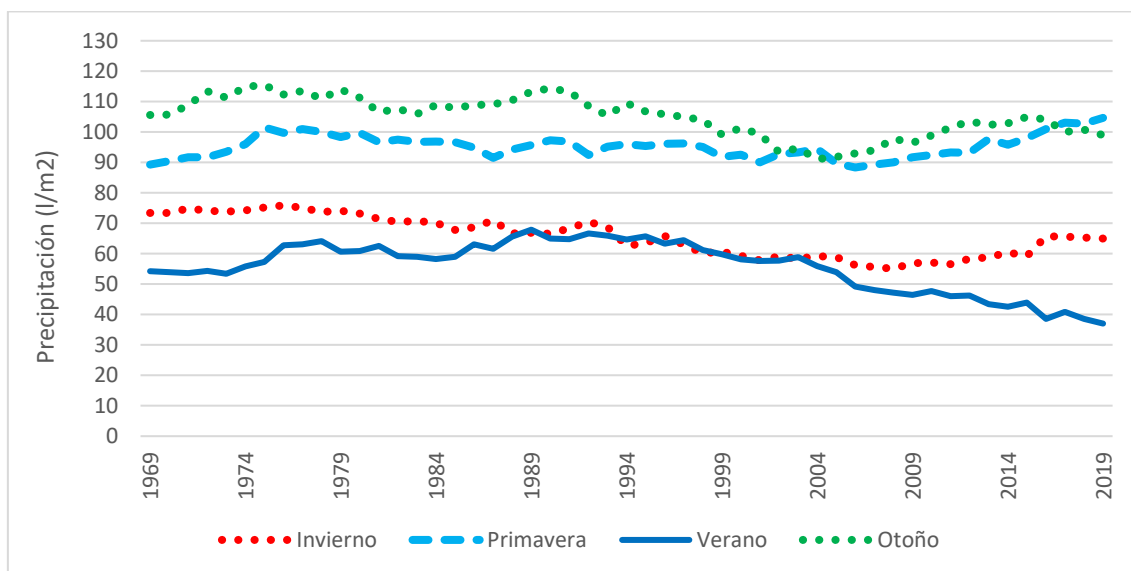


Figura 92. Evolución de la precipitación a escala estacional a partir de una media móvil de 30 años en la serie de Yecla para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la primavera es la estación que experimenta un mayor aumento (4,1 mm/década) sobre todo por el incremento de las precipitaciones de origen mediterráneo durante los meses de marzo y abril. La tendencia positiva del mes de marzo es estadísticamente significativa. En abril de 2019 se superó el récord de precipitación mensual de toda la serie con 210,9 mm superando el registró de diciembre de 1964 con 191 mm. La primavera va a rebasar en el nuevo periodo de referencia (1991-2020) al otoño como la estación más húmeda. Como ya ha sido mencionado, se está produciendo un incremento de la frecuencia de las DANAs (Muñoz et al., 2020) y de los eventos pluviométricos extremos. En Pulido Velázquez et al. (2015), se lleva a cabo una evaluación futura de los efectos de las variaciones en los episodios pluviométricos extremos estimadas en los escenarios regionalizados de cambio climático sobre la recarga de los acuíferos. Se expone que se espera una notable reducción de la recarga media anual de los acuíferos en el periodo 2071-2100 con respecto al periodo 1961-1990. Este aspecto sería bastante perjudicial para la UTE donde se asienta, la UTE III Ríos de la Margen Izquierda, que posee una elevada sobreexplotación de acuíferos.

Por último, en lo referido a la evolución de los periodos móviles interanuales y bianuales (figuras 93 y 94), cabe resaltar que en la serie de Yecla los periodos de indigencia pluviométrica no son tan acusados como en las series de Alicante y Murcia, a pesar de tener una precipitación media anual muy parecida a ambas series, lo que evidencia que la variabilidad interanual no es tan elevada como en franja litoral y valles prelitorales.

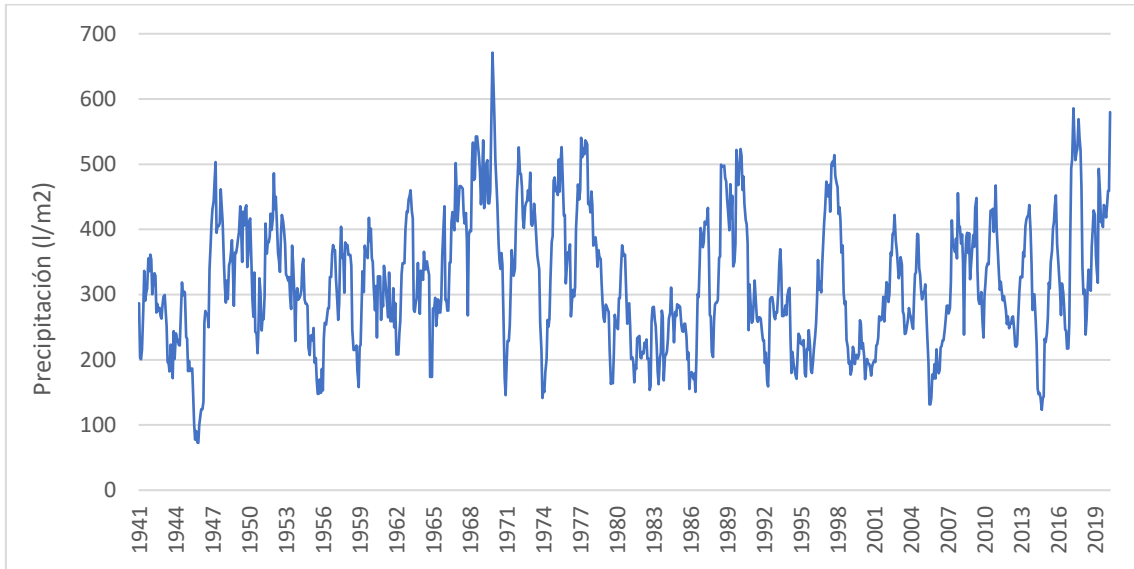


Figura 93. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses (periodo interanual) en la serie de Yecla para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

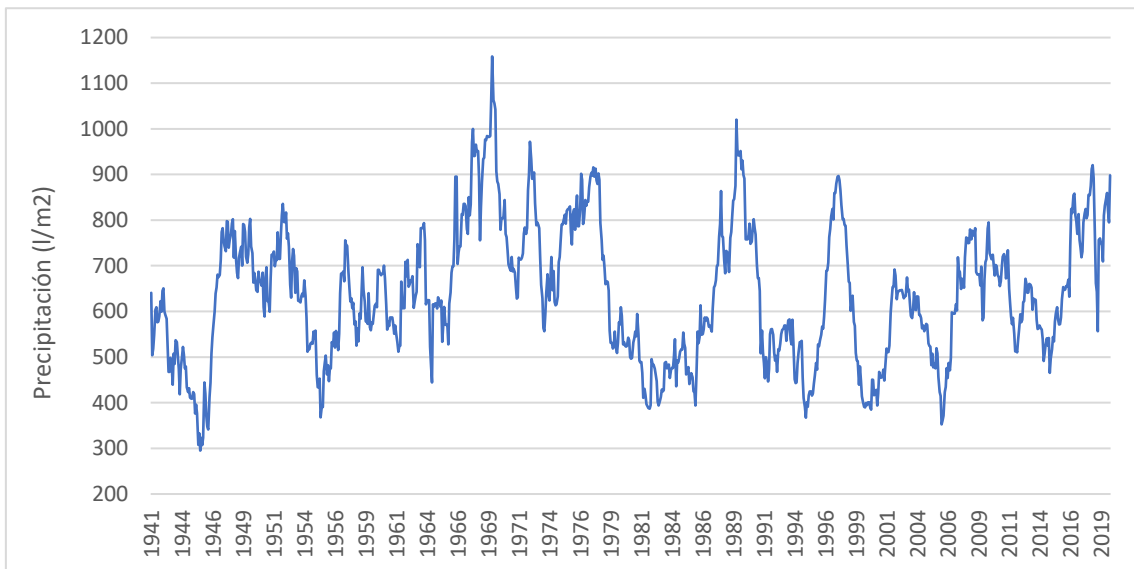


Figura 94. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 24 meses (periodo bianual) en la serie de Yecla para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

De hecho solo hay un periodo interanual que baja de los 100 mm, agosto 1944-julio 1945 con 77,5 mm. A escala bianual es la única ocasión en toda la serie en la que el acumulado fue inferior a 300 mm, con un total de 295,1 mm. En la segunda mitad del S.XX no hay ningún periodo interanual que baje los 100 mm, a diferencia de la serie de Murcia donde se contabilizan un total de 4 periodos, y 2 en la serie de Alicante. Además, en la serie de Alicante los periodos interanuales de 1994-1995 y 2013-2014 son los más secos de toda su serie.

Con respecto, a la evolución de los ciclos húmedos, los máximos de la serie se alcanzaron en el periodo interanual noviembre 1968-octubre 1969 con 671 mm y noviembre 1967-octubre 1969 con 1.158,6 mm. Junto a estos periodos resalta, el último lustro (2015-2019) que ha sido la primera vez en la que durante cinco años consecutivos se han superado los 300 mm en la serie de Yecla, lo que evidencia la excepcionalidad de este periodo húmedo, en el que han acontecido diferentes episodios de lluvias torrenciales entre los que se pueden destacar 15-19 diciembre de 2016, 18-21 enero de 2017, 13-14 de marzo de 2017, 18-21 de abril de 2019 y 12-15 de septiembre de 2019. En este lustro, en dos picos en el periodo interanual móvil se acercó a los 600 mm : abril 2016-marzo 2017 con 587,5 mm y abril 2019-marzo 2019 con 579,7 mm. En el periodo bianual se registró un pico máximo de 920,9 mm (noviembre 2016-octubre 2018) (figura 94). Durante este periodo, en enero de 2017, se registró una de las nevadas más intensas en el sureste peninsular desde la segunda mitad del S.XX (Jansá Clar, 2018), registrándose en el casco urbano de Yecla entre 15-20 cm de espesor. En López Bustins et al. (2008), se expone que podría estar produciéndose un incremento de las nevadas en las zonas montañosas del interior del sureste.

#### **4.3.4. Serie Embalse del Cenajo (1940-2019)**

Esta serie está ubicada en el Embalse del Cenajo, que con 437 hm<sup>3</sup> es el embalse de mayor capacidad de la DHS. Dentro de la regionalización obtenida está ubicada junto a la serie de Yecla en la región nororiental. Dentro de esta región se encuadrada en su sector noroccidental. Su precipitación media anual en el periodo de referencia 1981-2010 es de 390,4 mm (OTO-134,3 mm, PRIM-124,3 mm, INV-82,5 mm y VER- 49,3 mm). La media es casi 100 mm superior a la serie de Yecla, dado que presenta una ubicación más favorable ante los vientos de levante de gran recorrido marítimo. Asimismo, debido a su mayor cercanía a la cabecera del Segura posee una mayor influencia de las precipitaciones de origen atlántico. La distribución porcentual por tipos de precipitación a escala anual

es la siguiente: 60% origen mediterráneo, 25 % origen convectivo y 15% origen atlántico. Las precipitaciones de origen mediterráneo suelen presentar un marcado carácter torrencial aunque menos acusado que en la franja litoral.

En la figura 95 se observa como la tendencia de las precipitaciones es claramente ascendente (7,2 mm/década) en el periodo 1940-2019. Como se refleja en la tabla 34 la tendencia es positiva en todas las estaciones excepto en el verano. En la evolución de la media móvil de 30 años se observa muy bien esta tendencia ascendente, la cual está muy influenciada por las décadas de 1940 y 1950 que fueron bastante secas en esta zona.

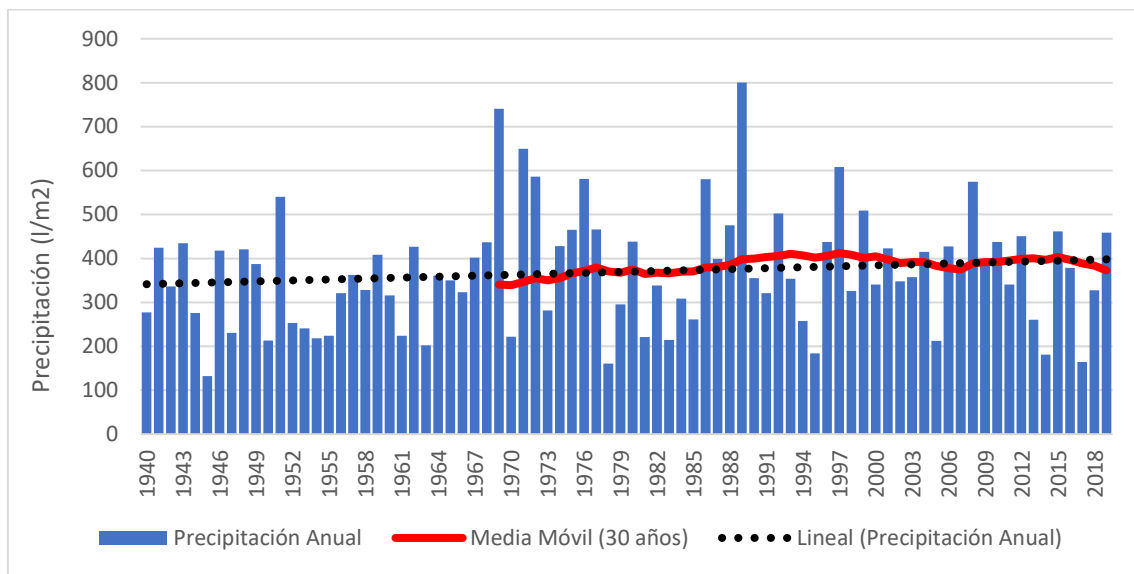


Figura 95. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie Embalse del Cenajo para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

El promedio mínimo se encuentra en el comienzo de la serie, con un total de 339,1 mm en el periodo 1941-1970. A partir de este lapso temporal, comienza una continua tendencia ascendente hasta llegar a un pico máximo de 1968-1997 con 412,3 mm. En este periodo están encuadrados los siete años más húmedos de esta serie (1969,1971,1972, 1976, 1986,1989 y 1997), destacando por encima de todos el año 1989 con 800,3 mm, siendo el año más húmedo de todo el siglo XX y principios del S.XXI en la mayor parte del área de estudio. Tras este pico máximo, que está influenciado por los años muy húmedos mencionados, la media presenta una ligera tendencia descendente hasta la actualidad. De hecho, en el nuevo periodo de referencia 1991-2020 la media va a sufrir un pequeño descenso respecto al periodo de referencia 1981-2010 (390,4 mm), ya que se va a quedar alrededor de 375 mm.

1940-2019	TENDENCIA
Anual	7,2
Invierno	0,7
Primavera	3,1
Verano	-1,2
Otoño	5,1

Tabla 34. Tendencia (mm/década) para el período 1940 -2019 en la serie Embalse del Cenajo. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 96 se expone la categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico (clasificación por quintiles). Se observa como las décadas de 1940 y 1950 fueron especialmente secas, resaltando el periodo 1952-1955 con 4 años consecutivos categorizados como muy secos. La primera parte de la década de 1980 también fue muy seca como ocurre en gran parte de Europa (Spinoni et al., 2015), así como los períodos 1994-1995 y 2013-2014. Hay un total de cuatro años extremadamente secos (1945, 1978, 2014 y 2017), destacando el año 1945 con 132 mm. En este punto cabe resaltar, que la evolución de las reservas hídricas del Embalse del Cenajo, depende en gran parte del comportamiento pluviométrico de la cabecera del Segura, que presenta un patrón diferente al del área del embalse.

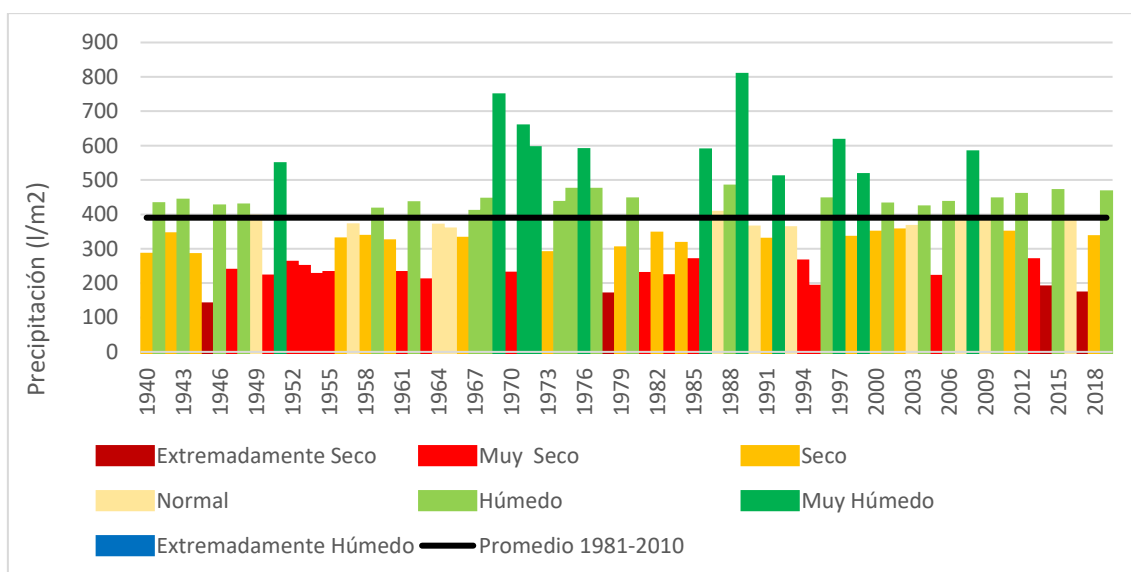


Figura 96. Categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico en la serie Embalse del Cenajo para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la evolución de la media móvil de 30 años a escala estacional, destaca sobre todo la tendencia ascendente observada durante los equinoccios (figura 97), la cual está causada por incremento de los episodios de origen mediterráneo, junto al aumento



de los fenómenos convectivos durante el otoño (Miró Pérez et al., 2018). La primavera va a rebasar al otoño como estación más húmeda en el nuevo periodo de referencia 1991-2020. El invierno presenta una tendencia prácticamente neutra, y el verano es la única estación que presenta una tendencia descendente presentando en la actualidad su pico mínimo de toda la serie, con un total de 40,1 mm (periodo 1990-2019), lo que evidencia un claro descenso de los fenómenos termoconvectivos durante el estío sobre todo en los meses de junio y julio.

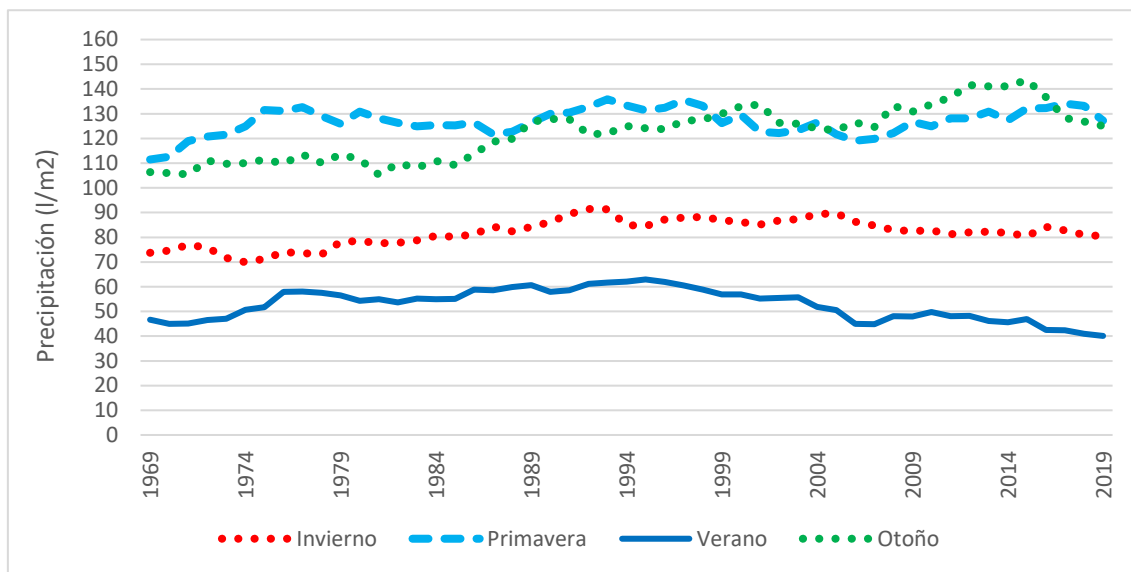


Figura 97. Evolución de la precipitación a escala estacional a partir de una media móvil de 30 años en la serie Embalse del Cenajo para el periodo 1940-2019. Fuente:

Elaboración propia.

Con respecto a la evolución de las precipitaciones a escala interanual y bianual (figuras 98 y 99), se observa como a diferencia de lo ocurrido en las series de la franja costera (Alicante y Murcia), a simple vista no se observa una intensificación de los periodos de sequía. No hay ningún periodo interanual que baje de los 100 mm, así como ningún periodo bianual por debajo de los 400 mm. No se observa ningún periodo de indigencia pluviométrica que resalte sobre los demás. A diferencia de lo observado en la serie de Yecla, en el último lustro se observan dos picos inferiores a los 200 mm en el periodo móvil interanual (destacando mayo 2013-abril 2014 con 142,1 mm). Entre los periodos húmedos destaca febrero 1989-diciembre 1990 con 804,3 mm, y a escala bianual octubre 1987-septiembre 1989 con 1402,1 mm. Este ciclo excepcionalmente húmedo de finales de la década de 1980, permitió la recuperación de los acuíferos cuyo nivel se vio bastante dañado por la intensa sequía de principios de la década de 1980 (Zapata et al., 1990).

En este periodo húmedo de finales de 1980 se encuadran los tres meses más húmedos de la serie: octubre 1986- 236,5 mm, marzo 1989- 226 mm y septiembre 1989-223,5 mm.

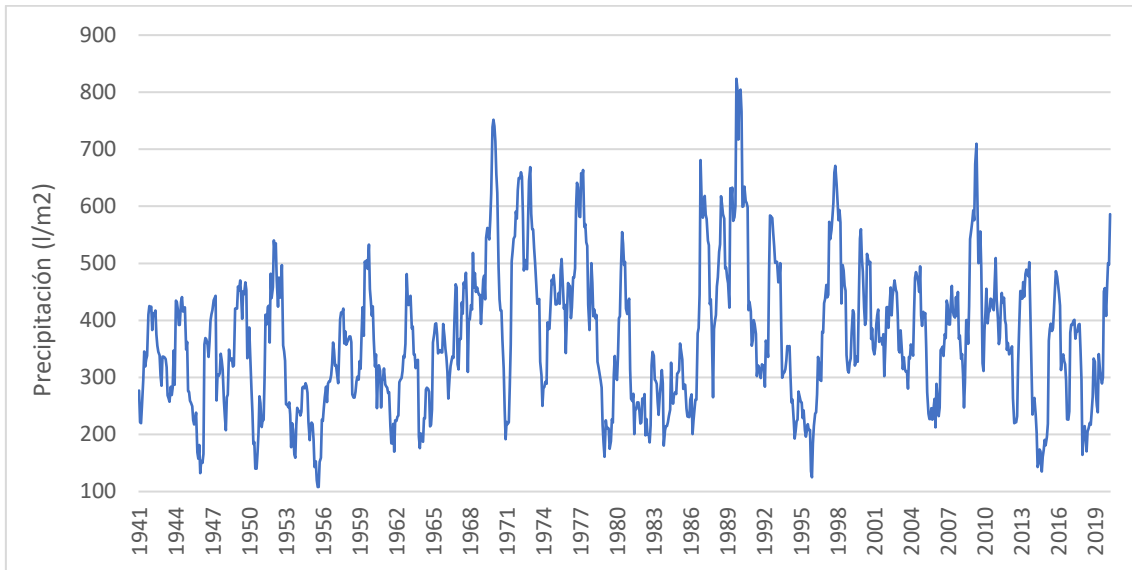


Figura 98. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses (periodo interanual) en la serie Embalse del Cenajo para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

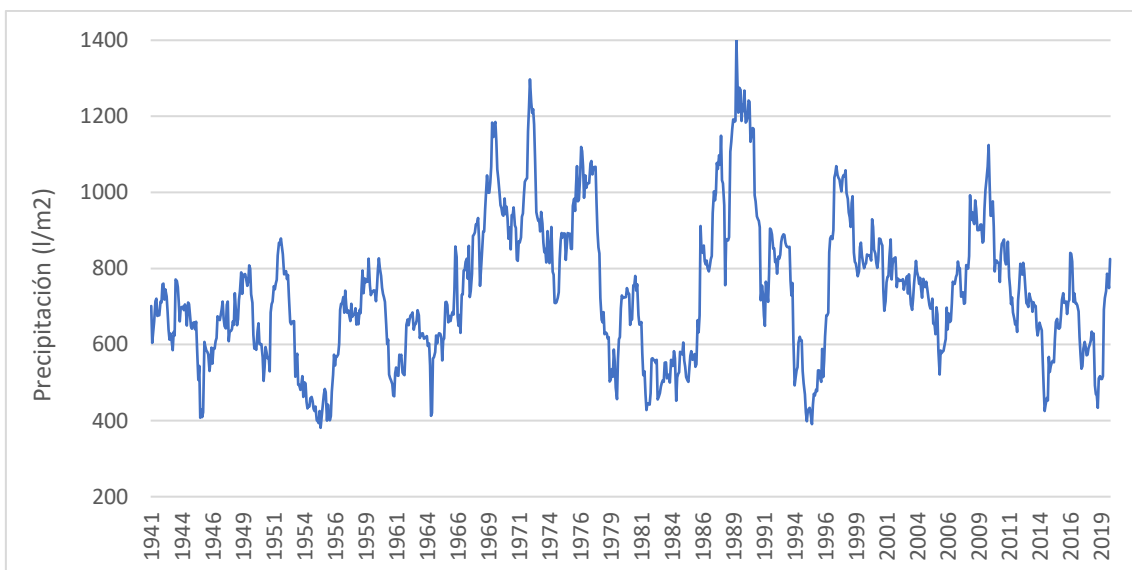


Figura 99. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 24 meses (periodo bianual) en la serie Embalse del Cenajo para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.5. Serie Caravaca (1940-2019)

La ciudad de Caravaca se encuentra ubicada en el valle del río Argos, uno de los afluentes de la margen derecha del río Segura. Con respecto a la regionalización se encuadra en la

región que se corresponde en gran medida con el territorio abarcado por la UTE IV Ríos de la Margen Derecha. Es un región muy montañosa, lo que hace que la orografía juegue un papel fundamental en la distribución de las precipitaciones. Su precipitación media anual en el periodo 1981-2010 es de 384,8 mm (OTO-123,5 mm, PRIM-116,2 mm, INV-98,3 mm, 46,3 mm). En esta serie en una de las zonas del área de estudio donde el otoño, la primavera y el invierno, presentan un comportamiento más homogéneo.

La distribución porcentual de la precipitación media anual por tipos de precipitación es la siguiente: 65% origen mediterráneo, 25% origen convectivo y 10 % origen atlántico. Es indudable la importancia de las precipitaciones de origen mediterráneo en el cómputo total de precipitaciones. Estas diferencias de la franja costera y valles prelitorales se caracterizan por su persistencia en vez de su carácter torrencial. De hecho es una de las pocas zonas de la Región de Murcia donde la precipitación máxima en 24 horas en el periodo 1981-2010 es inferior a 100 mm (Garrido Abenza et al., 2014). La precipitación máxima en 24 horas en la serie data del 22 de octubre de 1948 con 112,4 mm, un registro bastante exiguo en comparación con los registros de las estaciones prelitorales y litorales. Las lluvias de elevada intensidad horaria se registran sobre todo durante las tormentas estivales y tardoestivales.

La serie de Caravaca presenta una evolución de la precipitación a escala anual claramente ascendente (figura 100) en el periodo 1940-2019 (4,8 mm/década). A nivel estacional, todas las estaciones presentan una tendencia prácticamente neutra (tabla 35) excepto el otoño, donde la tendencia es claramente ascendente (5 mm/década), sobre todo en los meses de septiembre y noviembre. En este último la tendencia positiva es estadísticamente significativa. Noviembre de 2018 con 168,9 mm es el tercer noviembre más húmedo de toda la serie, registrándose uno de los episodios de lluvias con mayor acumulado en 5 días consecutivos de toda la serie (14-18 de noviembre de 2018 con 149,5 mm). Se trató de un temporal de lluvias orográficas favorecido por la presencia de un potente anticiclón en Centroeuropa. El fortalecimiento del anticiclón centroeuropeo sobre todo durante el otoño y el invierno como consecuencia de los cambios observados en la circulación general atmosférica (Grimalt et al., 2013; Azorín Molina et al., 2016) es una de las causas de la mayor recurrencia de las advecciones húmedas del Este, y podría explicar en gran parte el incremento de las precipitaciones durante el otoño.

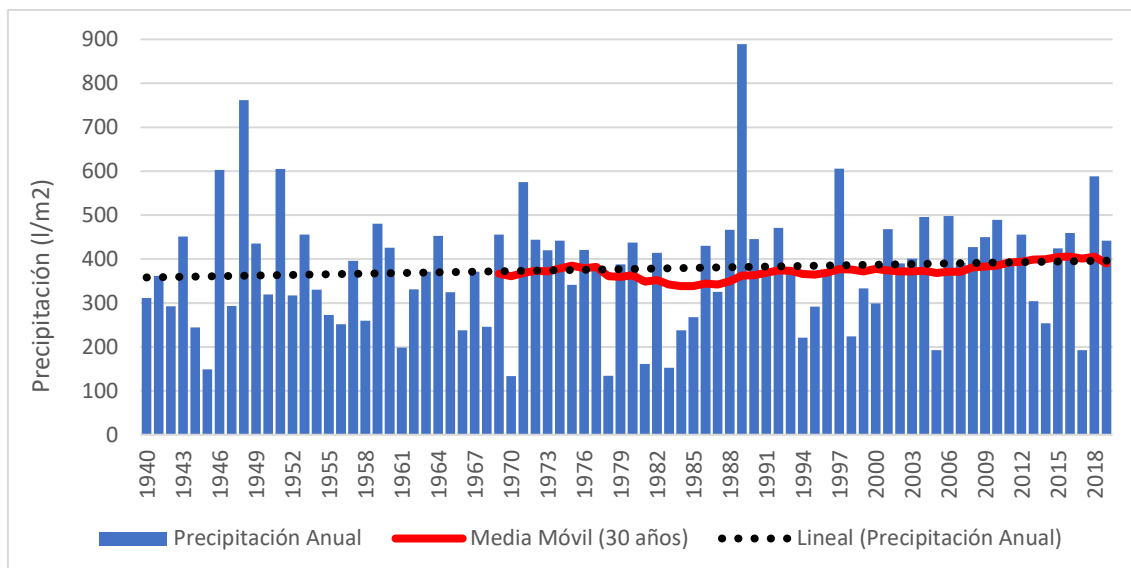


Figura 100. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie de Caravaca para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

1940-2019	TENDENCIA
Anual	4,8
Invierno	-0,5
Primavera	-0,5
Verano	1,4
Otoño	5

Tabla 35. Tendencia (mm/década) para el periodo 1940 -2019 en la serie de Caravaca.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la evolución de la media móvil de 30 años, comienza con un promedio de 366,7 mm (periodo 1940-1969) descendiendo ligeramente hasta principios de la década de 1980 cuando se alcanza su punto más bajo con 338,4 mm (periodo 1956-1985). A partir de este lapso temporal la media comienza a experimentar un brusco aumento hasta alcanzar su máximo prácticamente en la actualidad con 405,5 mm (periodo 1987-2016). La media ha experimentado en las tres últimas décadas un incremento absoluto de casi 70 mm. Es la única serie de las analizadas donde el máximo de la media móvil de 30 años se registra casi en la actualidad, lo que evidencia la clara tendencia ascendente de las precipitaciones en este ámbito territorial. En el nuevo periodo de referencia (1991-2020) la precipitación media va a experimentar un ligero incremento respecto al periodo 1981-2010 (384,8 mm). En el periodo 1990-2019 la precipitación media es de 390,2 mm, por lo que apenas se refleja la influencia de la ausencia del año 1989 (año más húmedo de la serie con 889,1 mm) en la media móvil de 30 años. En la figura 101 se expone la

categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico (clasificación por quintiles).

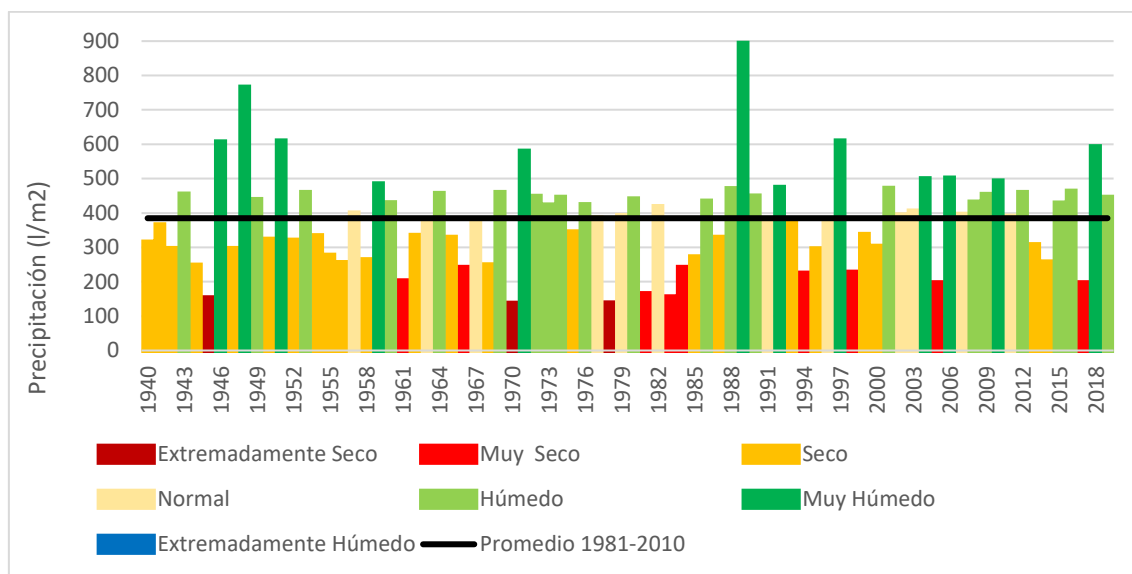


Figura 101. Categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico en la serie de Caravaca para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

En lo referido a la evolución a escala estacional (figura 102), el otoño es la estación que experimenta un mayor incremento pasando de 103,2 mm (periodo 1954-1983) a 137 mm (periodo 1986-2015). En los tres otoños más húmedos se han registrado en las tres últimas décadas (1989-376 mm, 2018-304,4 mm y 2012-288 mm). Tanto en otoño como en invierno el pico máximo de la media móvil de 30 años se alcanza en el último lustro. El invierno de 2017 es el segundo más húmedo de toda la serie con 254,2 mm, tan solo por detrás del invierno de 1949. Diciembre de 2016 es el diciembre más húmedo de toda la serie con un total de 204,4 mm, como consecuencia de los uno de los episodios de lluvias torrenciales más intensos de las últimas décadas (Espín et al., 2017). El ya mencionado fortalecimiento del anticiclón centroeuropeo, durante el otoño y el invierno, junto al incremento de las temperaturas en el mar mediterráneo, podría estar provocando un cambio en los patrones estacionales favoreciendo un aumento de los episodios de origen mediterráneo en el mes de diciembre ,aunque esta hipótesis debe ser estudiada con mayor detenimiento en futuros trabajos.

Además durante el otoño y el invierno se observa una manifiesta acentuación de la variabilidad interanual (Almarza, 2002), dado que por ejemplo en un año se pasó del segundo otoño más seco de toda la serie (otoño de 2017 con 5,6 mm) al segundo más

húmedo de toda la serie (otoño de 2018 con 304,4 mm). Con respecto al periodo invernal, el invierno de 2019 es con diferencia el más seco de toda la serie, con tan solo 4,8 mm. La primavera y el verano prácticamente muestran una tendencia neutra, aunque en los meses de mayo, junio y julio si se observa una clara tendencia negativa por la reducción de los fenómenos termoconvectivos en este periodo (Miró Pérez et al., 2018), compensándose esta pérdida por el aumento de las precipitaciones de origen mediterráneo en los meses de marzo, abril y agosto.

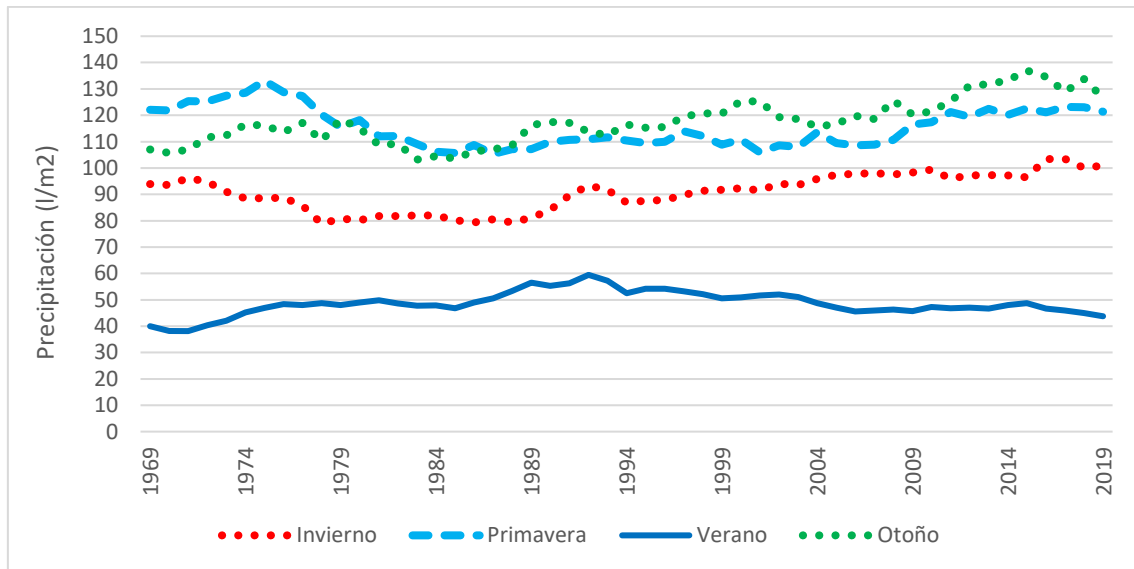


Figura 102. Evolución de la precipitación a escala estacional a partir de una media móvil de 30 años en la serie de Caravaca para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

En lo que respecta a la evolución de las precipitaciones a escala interanual y bianual (figuras 103 y 104) al igual que ocurre en las series analizadas de la región de los ríos de la margen izquierda, no se observa a simple vista una acentuación de los periodos de indigencia pluviométrica en las últimas décadas. A escala interanual destacan los periodos secos de diciembre 1969-noviembre 1970 con 98,8 mm (periodo interanual más seco de la serie) y noviembre 1982-octubre 1983 con 117,1 mm. A escala bianual resaltan los periodos noviembre 1982-octubre 1984 con 354,8 mm y junio 1993-mayo 1995 con 396,7 mm. Entre ambos periodos se intercala el periodo bianual más húmedo de la serie (mayo 1988-abril 1990 con 1421,5 mm). Dentro de los periodos húmedos a escala bianual resaltan mayo 1947-abril 1949 con 1239,5 mm, y el periodo abril 2018-marzo 2020 con 1099,5 mm (este último puede seguir incrementándose ligeramente). El periodo interanual abril 2019-marzo 2020 con 643,1 mm es el tercero más húmedo de la serie. En

este periodo tuvieron una gran importancia de los fenómenos convectivos, así como los episodios de origen mediterráneo. Por último, cabe destacar que el periodo de sequía 2013-2015, no tuvo un comportamiento ni mucho menos tan extremo como en la franja litoral, siendo el pico mínimo de 531 mm en el periodo diciembre 2012-noviembre 2013.

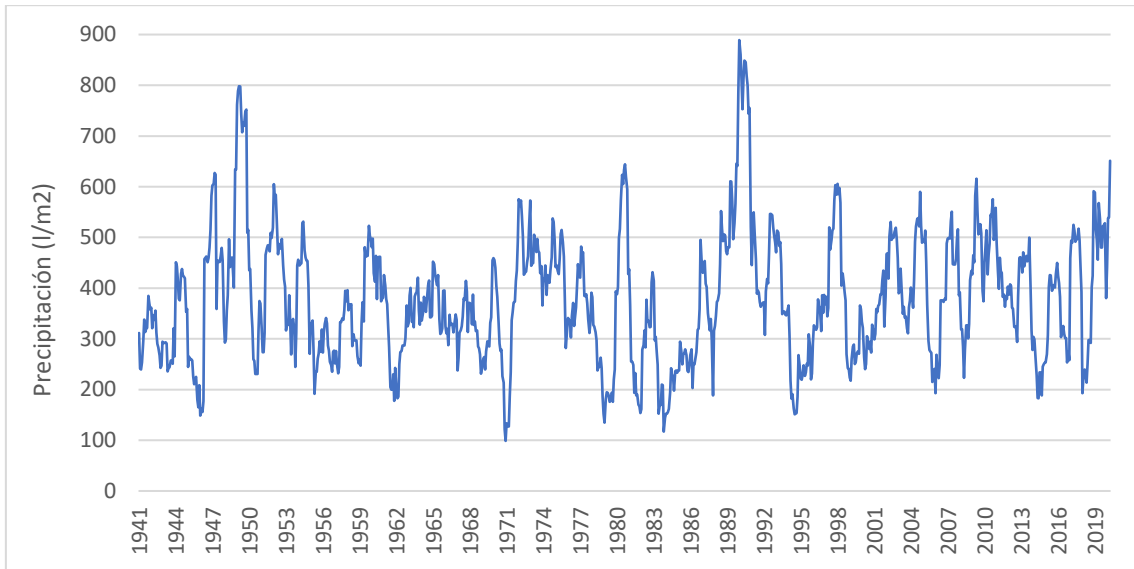


Figura 103. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses (periodo interanual) en la serie de Caravaca para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

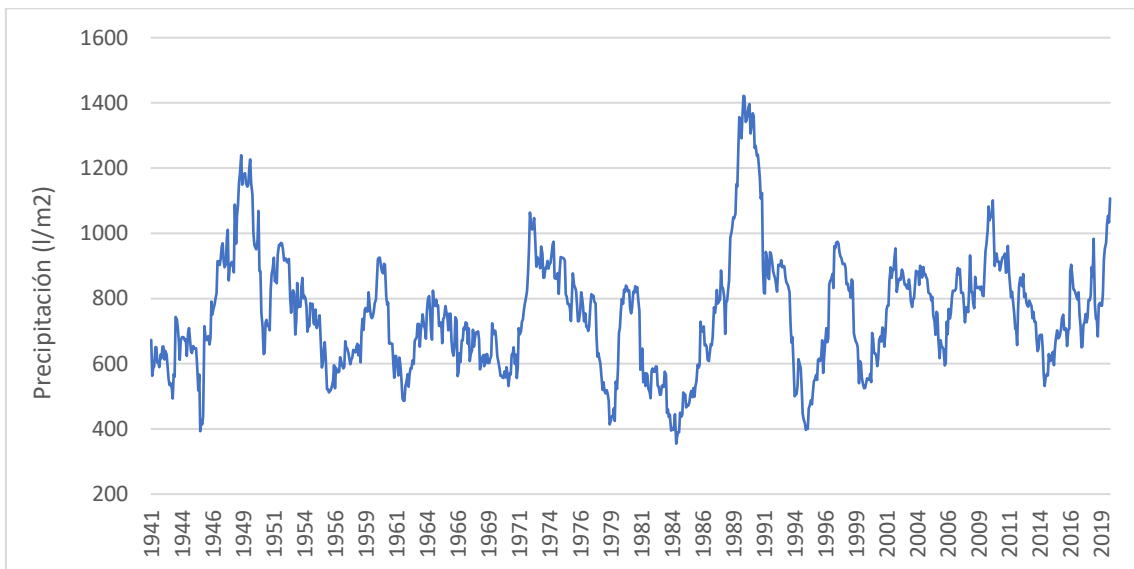


Figura 104. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 24 meses (periodo interanual) en la serie de Caravaca para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

#### **4.3.6. Serie Embalse de Puentes (1940-2019)**

El Embalse de Puentes se localiza en la zona suroccidental del área de estudio, a 12 km del casco urbano de Lorca y está encuadrado dentro de la cuenca del Guadalentín, una de las cuencas hidrográficas de mayor torrencialidad de Europa (Gil Olcina, 1968). La presa ha sido destruida en varias ocasiones como consecuencia de las riadas acontecidas por el río Guadalentín. Dentro de la regionalización por precipitaciones se ubica en la misma región que la serie de Caravaca, en su extremo meridional. Debido a esta ubicación se trata de una zona de transición con la región costera y por tanto presenta condicionantes climáticos similares a esta región. Su precipitación media anual es de 302,7 mm en el periodo 1981-2010 (OTO-108,5 mm, PRIM-87,6 mm, INV-77,2 mm y VER-29,4 mm). La distribución de la precipitación media anual por tipos de precipitación es más o menos la siguiente: 70% origen mediterráneo, 20% origen convectivo y 10% origen atlántico. La influencia mediterránea se refleja claramente en las precipitaciones estivales, que son más exiguas que otras series del interior, así como en el otoño que es la estación más húmeda con diferencia.

La evolución de las precipitaciones en el periodo 1940-2019 (figura 105), presenta una clara tendencia ascendente (6,1 mm/década). Dicho comportamiento está muy influenciado por la tendencia positiva del otoño y en menor medida del invierno. En cambio, la primavera y el verano presentan una tendencia prácticamente neutra (tabla 36). En la evolución de la media móvil de 30 años se observa claramente este comportamiento. El primer periodo (1940-1969) presenta una media de 267,7 mm, siendo este prácticamente el pico mínimo de la serie.

A partir de este lapso temporal la media va incrementándose poco a poco, hasta alcanzar su pico máximo en la última década en el periodo 1984-2013 con 312,9 mm, siendo junto a la serie de Caravaca, las únicas series analizadas en las que el pico máximo de la media móvil de 30 años se localiza en la última década. En el transcurso de estos 30 años se localiza el año 1989, que es con diferencia el año más húmedo de toda la serie con 652,4 mm. Además se encuadran seis de los diez años más húmedos de toda la serie (1989, 1992, 2003, 2007, 2009 y 2010). Al contrario de lo que ocurre en la serie de Caravaca, la ausencia del año 1989, en el nuevo periodo de referencia 1991-2020, si va a ocasionar que la media descienda ligeramente con respecto al periodo 1981-2010 (302,7 mm). En el periodo 1990-2019 la media es de 297,9 mm.



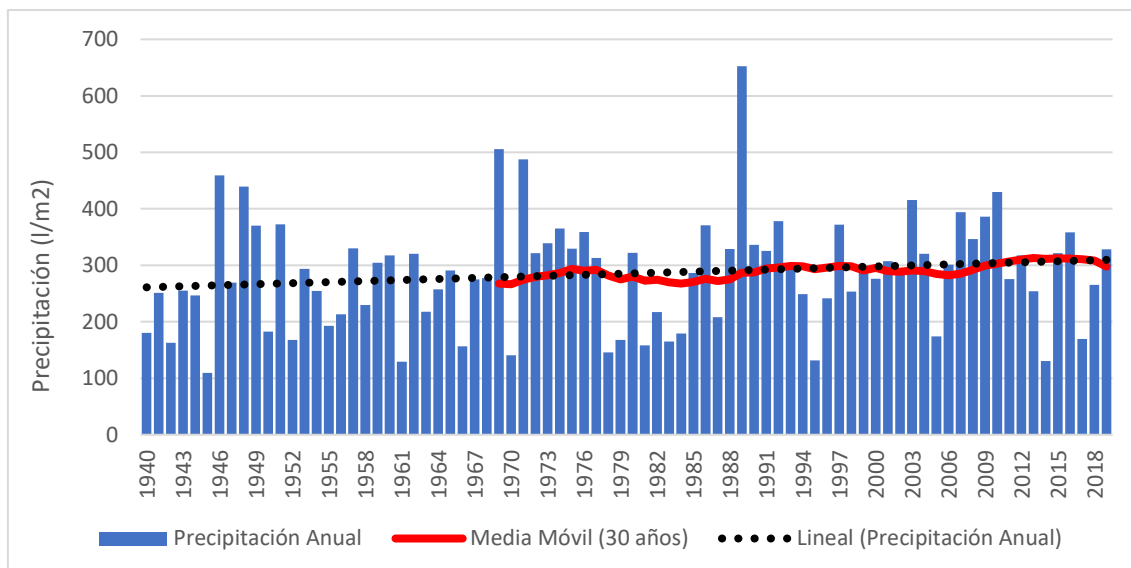


Figura 105. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie Embalse de Puentes para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

1940-2019	TENDENCIA
Anual	6,1
Invierno	1,9
Primavera	-0,9
Verano	-0,4
Otoño	4,9

Tabla 36. Tendencia (mm/década) para el periodo 1940 -2019 en la serie Embalse de Puentes. Fuente: Elaboración propia

La categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico (clasificación por quintiles) se expone en la figura 106. Se observa como las en las tres primeras predominan los años secos o muy secos, resaltando los años 1961 (129,3 mm) y 1945 (109,7 mm), que fueron extremadamente secos. El periodo 1978-1985 fue muy seco, con el hiato húmedo de 1980. En las últimas tres décadas destacan los periodos de sequía 1994-1996 y 2013-2014. El año 2014 con 130,6 mm es el tercer año más seco de toda la serie. Entre los periodos húmedos se pueden destacar tres: 1969-1976, 1988-1992 y 2007-2010.

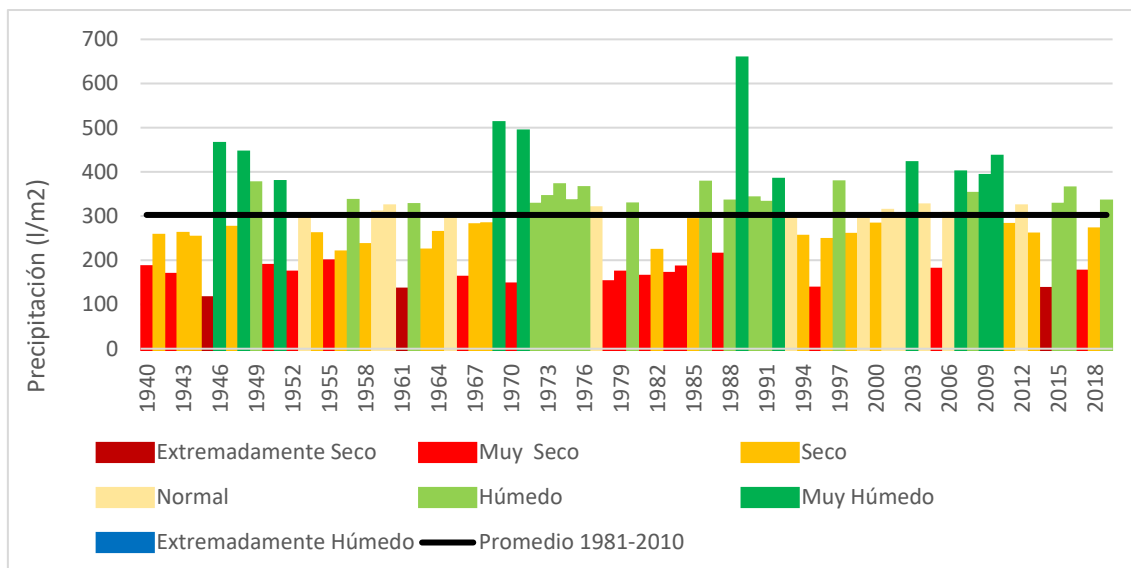


Figura 106. Categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico en la serie Embalse de Puentes para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

En lo referido a la evolución de las precipitaciones a escala estacional (figura 107) se observan un claro incremento de las precipitaciones en el otoño y el invierno. Ambas estaciones presentan su pico máximo en la media móvil de 30 años durante la última década. El invierno pasa de un promedio mínimo de 53,8 mm (periodo 1950-1979) a un pico máximo de 80,7 mm (periodo 1988-2017). En este lapso temporal, se encuadran los dos inviernos más húmedos de toda la serie: invierno de 2017 con 219,8 mm e invierno de 2010 con 183, mm. En el invierno de 2010 se registró una inusual entrada de frentes atlánticos por el Golfo de Cádiz (Saura Martínez, 2010), que se reforzaron en la vertiente mediterránea por la acción del Levante.

Los frentes atlánticos que entran por el suroeste de la península ibérica son los que presentan una mayor efectividad en el área de estudio, sobre todo en la cabecera del Segura y en menor medida en el resto de su mitad occidental. En el caso del invierno de 2017, la mayor parte de la precipitación se recogió en diciembre de 2016 con 188,5 mm. La mayor parte de las precipitaciones se acumularon en el episodio acontecido entre el 15 y 19 de diciembre de 2016, generado por una DANA muy estática sobre el norte de Marruecos, unido al flujo del E-SE en superficie debido a la persistencia e intensidad del anticiclón centroeuropeo (Espín Sánchez, 2017). Este registro casi duplicó el anterior récord mensual de diciembre (110,7 mm en diciembre de 1943).

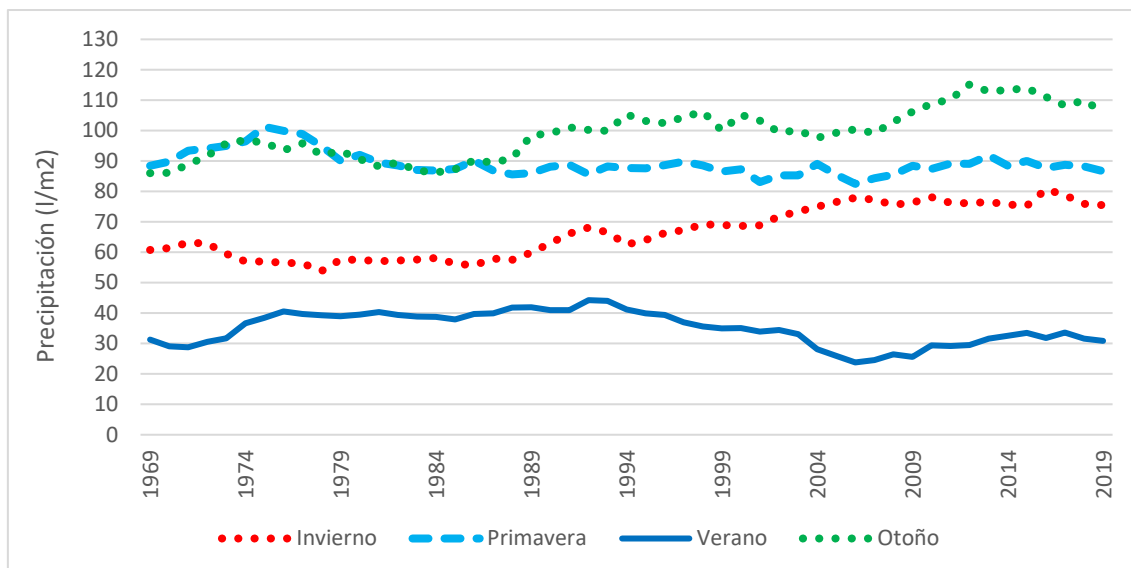


Figura 107. Evolución de la precipitación a escala estacional a partir de una media móvil de 30 años en la serie Embalse de Puentes para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al otoño, se pasa de registrar el promedio mínimo al comienzo de la serie con 86 mm (periodo 1940-2019) a registrar un máximo de 115,2 mm (periodo 1983-2012). En este periodo se localizan tres de los cinco otoños más húmedos de la serie (1989, 2003, 2012). El otoño de 2019 ha sido el quinto más húmedo de la serie. El incremento se debe en gran parte a la notable tendencia positiva mostrada por el mes de septiembre (4,7 mm/década) siendo el único mes donde la tendencia es estadísticamente significativa. Siete de los diez septiembrés más húmedos se han registrado en los últimos 31 años (1989, 1997, 2008, 2009, 2012, 2015 y 2019). Entre ellos hay que destacar a septiembre de 2012, concretamente el día de 28 de septiembre de 2012 en el que tuvo lugar la riada de San Wenceslao (Gil Olcina, 2016a, Romera Franco y Romera Sánchez, 2016) debido a un episodio de lluvias torrenciales de elevada intensidad horaria que tuvo especial incidencia en la cabecera del río Guadalentín, en la cual se acumularon más de 300 mm en apenas cuatro o cinco horas (Romera Franco y Romera Sánchez, 2016). En este episodio los embalses de Valdeinfierno y Puentes jugaron un papel fundamental para laminar la avenida del río Guadalentín.

En Lorente Plazas et al., (2020), se demuestra un aumento de frecuencia de los ríos atmosféricos mediterráneos, en las cuencas del mediterráneo occidental. Dicho río atmosférico mediterráneo estuvo muy marcado en el episodio de diciembre de 2016, en el que también resaltó una notable anomalía en la temperatura del mar mediterráneo,

alrededor de 2°C en noviembre de 2016 (Espín Sánchez et al., 2017). En Quereda Sala et al. (2006), se resalta la importancia de la configuración del campo térmico marino en el mediterráneo occidental sobre los episodios de inestabilidad atmosférica en la vertiente mediterránea peninsular. En numerosos estudios se ha demostrado un notable incremento de las temperaturas en el mediterráneo occidental en las últimas cuatro décadas (Skiriris et al., 2012; Miró Pérez, 2014; Shaltout y Omstedt, 2014). Por el contrario, la primavera y el verano, presentan una tendencia ligeramente negativa en las últimas décadas, sobre todo en los meses de abril, mayo, junio y julio.

En lo que se refiere a la evolución de las precipitaciones a escala interanual y bianual (figuras 108 y 109), al igual que ocurre con la series de las regiones centrales analizadas (Yecla, Embalse del Cenajo y Caravaca), no se observa un aumento de los periodos secos en la últimas tres décadas. Se vislumbra una elevada variabilidad interanual de las precipitaciones. Tanto a escala interanual como bianual , resalta el periodo de sequía de la primera década de 1980, con un pico mínimo de 93 mm en el periodo noviembre 1982-octubre 1983 y a escala bianual de 299,7 mm en el periodo agosto 1981-septiembre 1982. En este periodo se generaron numerosas pérdidas económicas en el valle del Guadalentín (Zapata et al., 1990; García Marín, 2008b). En contraposición, la década de 1980 finalizó con los periodos interanual y bianual más húmedo con diferencia: junio 1988- mayo 1989 con 631,4 mm y febrero 1989-enero 1991 con 1019,6 mm.

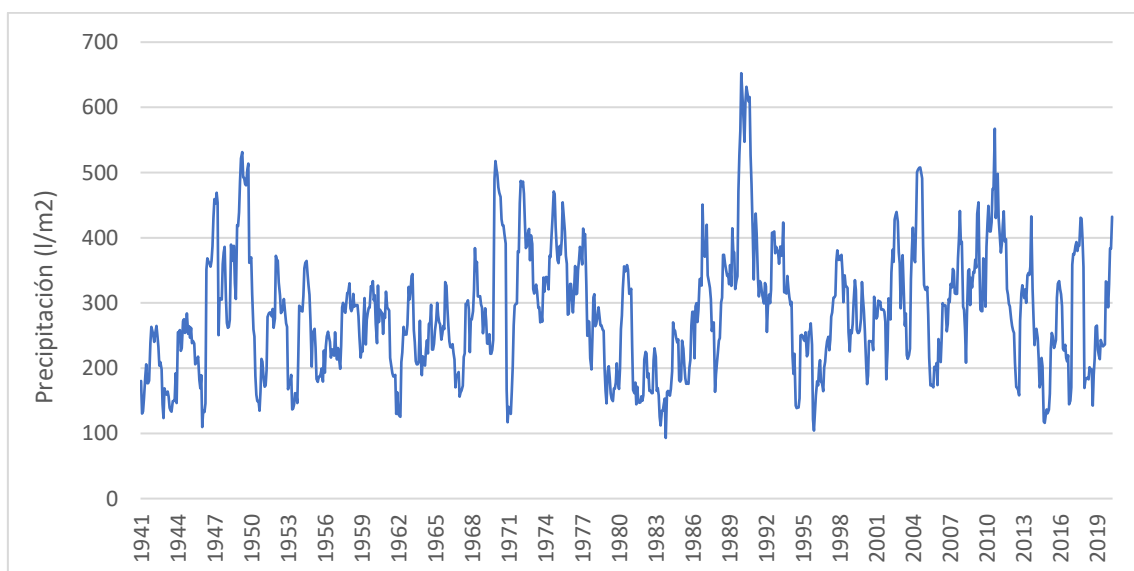


Figura 108. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses (periodo interanual) en la serie Embalse de Puentes para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

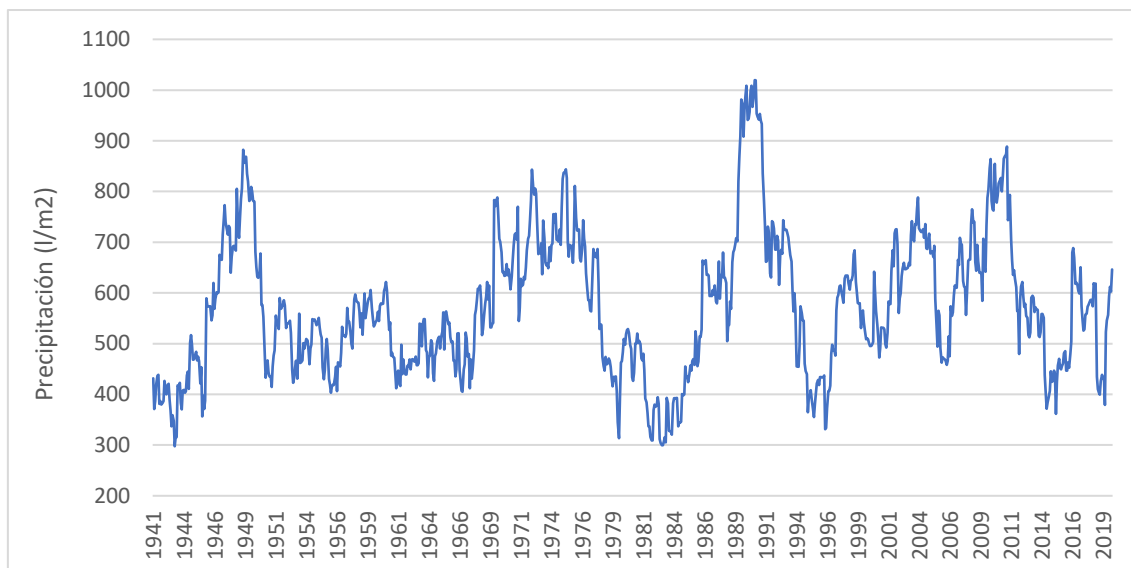


Figura 109. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 24 meses (periodo bianual) en la serie Embalse de Puentes para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.7. Serie Pontones (1940-2019)

El casco urbano de Pontones se ubica en la cabecera del Segura a 1333 msnm. En sus inmediaciones se encuentra el nacimiento del río Segura. Dentro de la regionalización se encuadra en la región de la cabecera de los ríos Segura y Mundo, que es con bastante diferencia la zona más húmeda del área de estudio, por su disposición favorable frente a las precipitaciones de origen atlántico. Es la región que presenta un patrón pluviométrico más diferenciado, el cual es parecido al de la cabecera del Tajo como ya ha sido mencionado. Su precipitación media es de 871,7 mm en el periodo de referencia 1981-2010 (INV-324,7mm, PRIM-262,2 mm, OTO- 226,9 mm y VER- 57,9 mm). En apenas 130 km en línea recta de la ciudad de Murcia, casi se triplica la precipitación media anual, lo que evidencia la singularidad pluviométrica que presenta esta región. Como se observa el invierno es la estación más húmeda con diferencia debido a que es la estación con mayor recurrencia de frentes atlánticos. La distribución porcentual por tipos de precipitación de la precipitación media anual a grandes rasgos es la siguiente: 60% origen atlántico, 20 % origen convectivo y 20% origen mediterráneo.

Con respecto a la evolución de las precipitaciones en el periodo 1940-2019 (figura 110), cabe destacar que la variabilidad interanual es muy elevada, con un máximo anual de 1581,8 mm en 1960 y un mínimo de 357,9 mm en 1953. La tendencia en el periodo 1940-2019 es prácticamente neutra (-0,3 mm/década) aunque con importantes variaciones y un

notable descenso en las tres últimas décadas. Por estaciones hay una clara dicotomía entre los equinoccios donde la tendencia es positiva sobre todo en otoño (6 mm/década) y el verano e invierno. El invierno es la estación donde se produce un mayor descenso (-5,6 mm) (tabla 37).

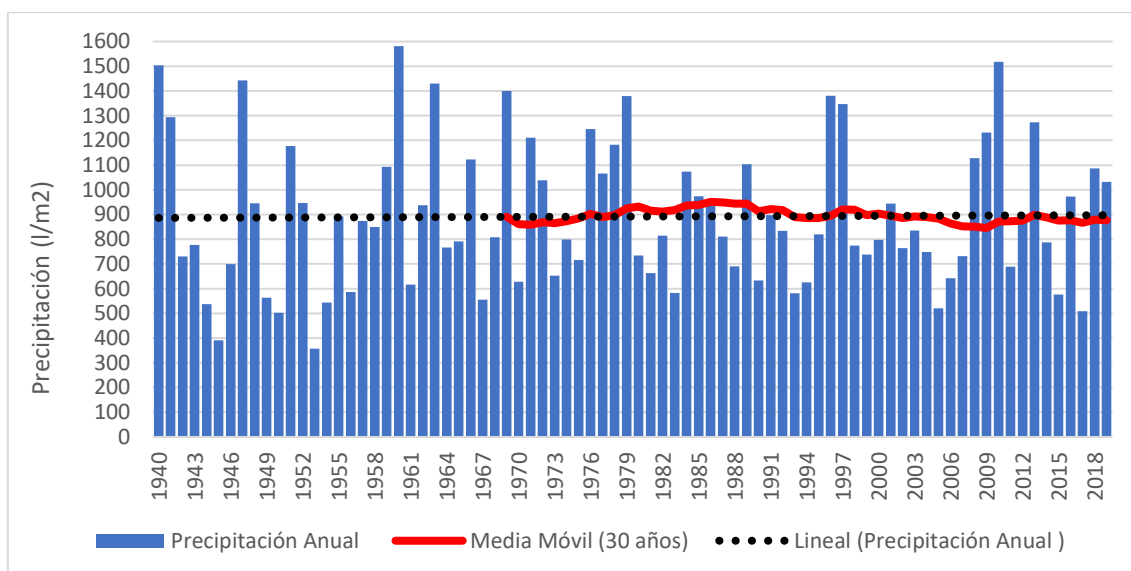


Figura 110. Evolución de la precipitación anual (datos originales) y media móvil de 30 años en la serie de Pontones para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

1940-2019	TENDENCIA
Anual	-0,3
Invierno	-5,6
Primavera	2,8
Verano	-2,6
Otoño	6

Tabla 37. Tendencia (mm/década) para el periodo 1940 -2019 en la serie de Pontones.

Fuente: Elaboración propia.

En la media de 30 años se observan dos picos mínimos que se sitúan por una parte en el inicio de la serie y por otra parte en la primera década del S.XX. El primer pico mínimo se registra en el periodo 1942-1971 con 858,7 mm y está muy influenciado por los años secos o muy secos de las décadas de 1940 y 1950. La década de 1950-1959 es la más seca de toda la serie con una media de 782 mm. A partir de este lapso temporal la media comienza a incrementarse de forma muy notable, debido a que las décadas fueron muy húmedas con una cifra en ambas en torno a los 1000 mm de media (1960-1969- 1001 mm y 1970-1979- 992 mm). Este hecho pone en evidencia la elevada variabilidad interdecadal existente en esta serie.

De esta forma se llega a un pico máximo de 951,1 mm en el periodo 1955-1986. A partir de este lapso temporal comienza a producirse un brusco descenso en la media móvil de 30 años hasta alcanzar el pico mínimo de toda la serie en el periodo 1980-2009 con 845,5 mm. Pontones es la única serie de las analizadas donde se observa una reducción tan notable de las precipitaciones en las tres últimas décadas, debido a su marcada influencia atlántica. No obstante, debido a la incorporación del año 2010 que fue excepcionalmente húmedo con 1518,8 mm, la media del periodo de referencia 1981-2010 se incrementa hasta 871,7 mm.

En el nuevo periodo de referencia 1991-2020 la precipitación en Pontones va a permanecer prácticamente estabilizada, ya que en el periodo 1990-2019 la media es de 877,2 mm. Por tanto, el brusco descenso iniciado a partir de la segunda mitad del S.XX se ha estancado en la última década. Es un caso paradigmático entre todas las cabeceras de las demarcaciones hidrográficas situadas en la línea divisoria de aguas entre las vertientes atlántica y mediterránea, ya que en el resto si se va a producir un importante descenso de las precipitaciones en el nuevo periodo de referencia 1991-2020 (CEDEX, 2017). Pontones es una de las zonas de la cabecera del Segura que está mejor expuesta a las advecciones de origen mediterráneo. En Miró Pérez et al. (2018) se expone que dicha zona es una de las pocas áreas de la cabecera del Segura donde se produce un incremento de las precipitaciones de origen mediterráneo (periodo 1955-2016) que junto con el aumento del acumulado de las precipitaciones convectivas entre octubre y abril podría ser la causa del estancamiento en la evolución de la precipitación media en la última década.

En la figura 111 se muestra la categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico (clasificación por quintiles). Se observa una elevada variabilidad interanual. Entre el año más húmedo (1960-1581,8 mm) y el año más seco (1953-357,9 mm) hay una diferencia de 1200 mm. Estas importantes variaciones interanuales están muy condicionadas por la acción de los frentes atlánticos. En años de predominio de la fase negativa de la NAO se suceden la entrada de frentes atlánticos sobre la península ibérica, provocando que los acumulados sean muy cuantiosos en los relieves montañosos mejor orientados al flujo atlántico, entre los que se incluye la cabecera del Segura (García de Pedraza, 1981).

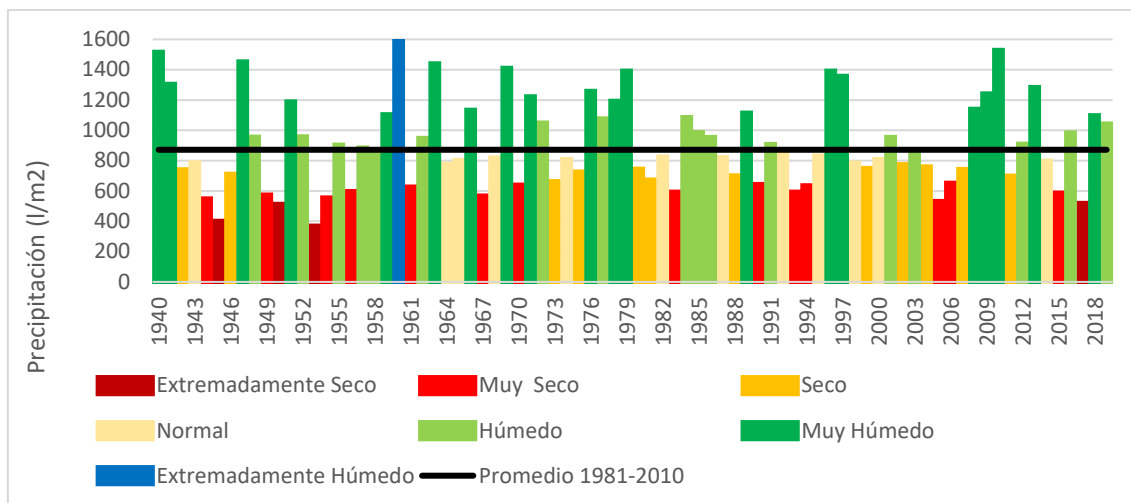


Figura 111. Categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico en la serie de Pontones para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

Durante las dos primeras décadas la variabilidad interanual es muy destacada sucediéndose años muy secos con años muy húmedos. En este periodo se localizan tres de los cuatro años extremadamente secos de la serie (1950-502,2 mm, 1945-390,4 mm y 1953-357,9 mm). En contraposición, se encuadran tres de los cinco años más húmedos de la serie (1960-1581,8 mm, 1940-1504,4 mm y 1947- 1442,4 mm). A partir de la década de 1960 comienza una clara sucesión de ciclos secos y húmedos. Por una parte, entre los ciclos húmedos se pueden resaltar los siguientes: 1976-1979, 1996-1997 y 2008-2010, que suelen acontecer justo después de los grandes periodos de sequía ibérica. Por otra parte, entre los ciclos secos destacan 1980-1983, 1993-1994, 2004-2007. Además hay que resaltar al año 2017, que es el cuarto año extremadamente seco de la serie con 508,6 mm.

La mayor parte de estos ciclos secos se corresponden con sequías ibéricas que se presentan con la fase positiva de la NAO (Aguilar Alba, 2007) que provoca que los frentes atlánticos circulen por latitudes más septentrionales. Estos periodos de indigencia pluviométrica generan un importante déficit hídrico en el complejo kárstico del nacimiento del río Segura, originando que la surgencia del nacimiento del río Segura quede completamente seca (López Bermúdez, 1972; López Limia, 1990; López Limia y López Bermúdez, 1999). La última vez que el nacimiento del Segura ha permanecido seco fue entre julio de 2017 y febrero de 2018 (figura 112). Estos ciclos de gran déficit hídrico provocados por la notable reducción de las precipitaciones, suelen finalizar de forma brusca, con la entrada sucesiva de frentes atlánticos muy activos, como ocurrió en



el marzo de 2018, en el que se registraron 421,3 mm en el observatorio de Pontones, generando un reventón en el nacimiento del Segura y la recuperación de los acuíferos de toda la cabecera del Segura.



Figura 112. Nacimiento del río Segura (Santiago Pontones, Jaén) en noviembre de 2017.  
Fuente: José María Serna García.

Con respecto a la evolución de las precipitaciones a escala estacional (figura 113), cabe destacar que hay una clara dicotomía entre el comportamiento experimentado por el invierno y el verano, y los equinoccios. El invierno y verano presentan una clara tendencia descendente presentando el pico mínimo de la media móvil de 30 años en la última década. En contraposición, la primavera y el otoño presentan una marcada tendencia positiva, alcanzando su pico máximo en la última década.

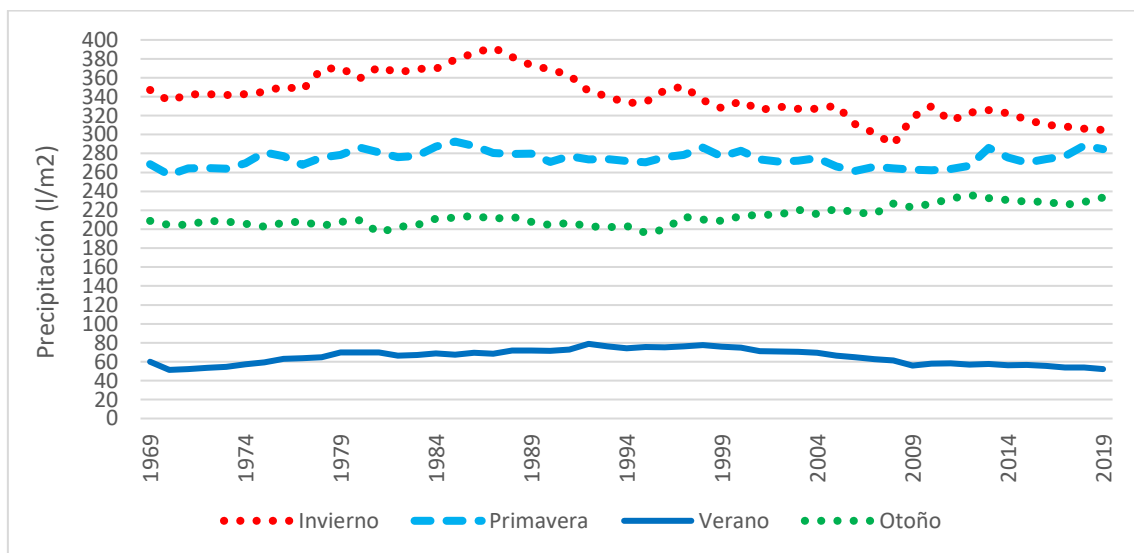


Figura 113. Evolución de la precipitación a escala estacional a partir de una media móvil de 30 años en la serie de Pontones para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

El invierno, es sin duda la estación que experimenta un mayor descenso de las precipitaciones como ocurre en el resto de las series de precipitación de la vertiente atlántica de la península ibérica (Esteban Parra et al., 1998; Serrano Pérez et al., 1999; González Hidalgo et al., 2011; Luna Rico et al., 2012; Ríos Cornejo et al., 2013; Serrano Notivoli, 2017). El descenso es más acusado desde la década de 1980, a partir de la cual se observa un predominio de la fase positiva de la NAO (Aguilar Alba, 2007). En la serie de Pontones se pasa de un pico máximo de 391,7 mm en el periodo 1959-1988, a un mínimo de 289,5 mm en el periodo 1980-2009. Se produce un descenso absoluto de más de 100 mm, lo cual pone en evidencia la envergadura de este descenso. Muestra de ello, es que en el lapso temporal 1980-2009, se encuadran siete de los diez inviernos más secos de la serie de Pontones (1981, 1983, 1993, 1995, 2003, 2005 y 2008).

El invierno de 1980/1981 es el más seco de toda la serie con un total de 75,1 mm. Precisamente a partir del año hidrológico 1980/1981 comienza un importante periodo de déficit hídrico en la cabecera del Segura el cual está muy influenciado por el acusado descenso de las precipitaciones invernales desde la década de 1980. Los grandes embalses de cabecera Cenajo (437 hm<sup>3</sup>) y Fuensanta (210 hm<sup>3</sup>) experimentan un lapso temporal de 30 años con las reservas conjuntas inferiores al 50% de su capacidad (valor inferior a 323,5 hm<sup>3</sup>). El embalse del Cenajo presenta un valor inferior a 250 hm<sup>3</sup> entre septiembre de 1980 y marzo de 2010. La mayor parte del caudal del río Segura es aportado por los temporales de lluvia de origen atlántico (García de Pedraza, 1981), asociados a vientos del noroeste, oeste (ponientes) y suroeste (ábregos y lebeches), que provocan abundantes precipitaciones a barlovento de las sierras de Alcaraz, Calar del Mundo y Segura, donde se localizan los nacimientos de los ríos Segura y Mundo. Durante estas tres décadas la cabecera del Tajo también sufrió importantes periodos de déficit hídrico, ya que los patrones pluviométricos de ambas cabeceras son bastante similares.

Sin embargo, en el invierno de 2009/2010 el acusado y duradero periodo de déficit hídrico en la cabecera del Segura, finalizó de forma súbita como consecuencia de un invierno excepcionalmente húmedo que registro un total de 1051,7 mm en Pontones. Este el invierno más húmedo con diferencia de toda la serie, superando al segundo más húmedo 1976/1977 (812,9 mm) por más de 200 mm. Este invierno en el hemisferio norte fue excepcional para la circulación atmosférica con el valor más del índice NAO registrado desde hace más de un siglo. En la España peninsular es el invierno más lluvioso desde al

menos el año 1965 (Sánchez Laulhé, 2017). En la serie de precipitación de Gibraltar (1813-2020) es el invierno más húmedo con diferencia (Ball, 2011).

La anómala configuración atmosférica durante dicho periodo invernal propició la entrada de un tren de frentes atlánticos por el golfo de Cádiz que registró abundantes precipitaciones en la mitad sur de la península ibérica provocando importantes inundaciones en Andalucía por el desbordamiento del río Guadalquivir (Saura Martínez, 2010). En gran parte de los observatorios de la mitad sur de España dicho invierno fue extremadamente húmedo (AEMET, 2010). Las anomalías de las corrientes en chorro en el atlántico norte durante el invierno 2009/2010 se correspondieron con una corriente en chorro media del Atlántico norte inusualmente zonal y desplazada un poco hacía latitudes más bajas, y el chorro subtropical africano desplazado hacía latitudes un poco más altas, lo que dio lugar a que ambos se confundieran en un único chorro zonal inusualmente persistente (Sánchez Laulhé, 2017).

En la serie de Pontones las precipitaciones en el invierno 2009/2010 se repartieron de la siguiente forma en los tres meses: diciembre 2009- 497,3 mm, enero 2010- 235,5 mm y febrero-318,9 mm. Los tres valores se encuentran entre los diez registros más húmedos de sus respectivos meses. Sin duda, destaca el mes de diciembre de 2009, que es el registro mensual más alto de toda la serie. Resalta el episodio del 21 al 23 de diciembre de 2009 con un acumulado total de 209 mm que en ese momento se convirtió en el mayor acumulado en tres días consecutivos en la serie de Pontones superando los 195 mm del 10 al 12 de febrero de 1985 mm. En dicho episodio también se registró hasta ese momento el máximo diario en 24 horas (140 mm el día 22 de diciembre) y el máximo en 48 horas (22-23 de diciembre con 179 mm). Las reservas hídricas en el conjunto Fuensanta-Cenajo experimentaron un extraordinario aumento, pasando de 194 hm<sup>3</sup> (30% de su capacidad) el 30 de diciembre de 2009 a 373,3 hm<sup>3</sup> (57,7 % de su capacidad) el 28 de febrero de 2010. El Embalse de la Fuensanta (primer gran embalse de la cabecera del Segura), pasó de estar prácticamente vacío el 30 de noviembre de 2009 con 9,6 hm<sup>3</sup> (4,5% de su capacidad) a 156 hm<sup>3</sup> (74,3% de su capacidad) el 28 de febrero de 2010.

En el reciente invierno 2019/2020 se han superado de forma notable los récords de acumulados entre 24 y 72 horas registrados en diciembre de 2009. Concretamente entre el 19 y 21 de diciembre de 2019 se registraron de 252,8 mm en la serie de Pontones. El 20 de diciembre se registraron 179,9 mm y entre 20-21 de diciembre 221,3 mm. La mayor parte del acumulado del invierno 2019/2020 (precipitación total de 317,4 mm) se registró

durante el episodio citado, lo que muestra la elevada concentración de este episodio. Se trató de un intenso episodio de ábregos como consecuencia de la entrada de frentes atlánticos asociados a las profundas borrascas atlánticas Elsa y Fabien (AEMET, 2019a; AEMET, 2019b). Ambas borrascas se formaron dentro de un flujo zonal muy intenso y húmedo que atravesaba todo el atlántico, fenómeno conocido como “río atmosférico atlántico” (AEMET, 2019b). Este tipo de configuración atmosférica suele afectar a la península ibérica en periodos de fase negativa de la NAO (Lavers et al., 2013; Eiras Barca et al., 2016).

En algunos trabajos se han estudiado los futuros cambios en los ríos atmosférico del atlántico (Lavers et al., 2013; Gao et al., 2016) a partir de las estimaciones de los modelos climáticos del CMIP5, observándose un claro aumento de la frecuencia de estos fenómenos sobre Europa. En Gao et al. (2016), se señala un aumento de la intensidad de precipitación en este tipo de fenómenos meteorológicos en relación con el aumento del transporte integrado de vapor de agua. En futuros estudios sería muy interesante analizar las posibles implicaciones de estos cambios sobre la cabecera del Segura y su repercusión sobre los recursos hídricos y la recarga de acuíferos. Además, muy interesante analizar también la repercusión del incremento observado de los episodios de lluvias torrenciales sobre los recursos hídricos. Tres de los cinco meses más húmedos en la serie de Pontones se han registrado en las tres últimas décadas: diciembre de 2009- 497,3 mm; marzo de 2013- 480,5 mm y marzo de 2018- 421,3 mm.

En relación con los recursos hídricos, en Senent et al. (2017), se analizan las implicaciones del cambio climático sobre los mismos en la cabecera del Segura. Estos autores manifiestan que se esperan cambios considerables como resultado de las variaciones en la temperatura y precipitación. En un mediano plazo (2041-2070) los caudales presentan una elevada variabilidad, presentando para el escenario RCP 8.5 un descenso entre un 9 y un 25% con respecto al periodo de referencia 1971-2020. Para el escenario RCP 4.5 la dispersión es mayor presentando incluso algunos modelos ligeros incrementos. Las mayores alteraciones se esperan a largo plazo (periodo 2071-2100) cuando el caudal medio y las esorrentías descenderían entre un 33 y 54 % en el modelo RCP 8.5 y entre 11 y 28 % para el modelo RCP 4.5. Las conclusiones obtenidas en este estudio podrían tener notables implicaciones en la DHS, que ya de por sí sufre un elevado estrés hídrico (Senent et al., 2016). Estos resultados son corroborados en otros estudios sobre el impacto del cambio climático en los recursos hídricos en España (Estrela et al.,

2012; Vargas Amelin y Pindado, 2014). En ambos trabajos se vislumbra un importante descenso en los caudales medios y las escorrentías a partir de la década de 1980.

Una vez explicadas las peculiaridades de las tendencias de precipitación durante la estación invernal, se aprecia que durante el verano también se produce un importante descenso de las precipitaciones (-2,6 mm/década). La reducción de las precipitaciones es acusada en los meses de junio (-1,9 mm/década) y julio (-1,5 mm/década), estando marcada por el notable descenso las precipitaciones de origen convectivo durante estos meses (Miró et al., 2018). Sin embargo, en agosto (0,8 mm/década) la tendencia si es ligeramente positiva. En las tres últimas décadas se han registrado siete de los diez agostos más húmedos (1993,1995,1997,1998,2010,2013 y 2016). Durante este mes la mayor parte de las precipitaciones tienen origen convectivo, por lo que se podría estar produciendo un incremento de este tipo de precipitaciones, junto a una mayor frecuencia de las advecciones mediterráneas a partir de la segunda quincena de agosto (Olcina Cantos y Miró Pérez, 1998). En el cómputo global, en la media móvil de 30 años se pasa de un máximo de 78,9 mm en el periodo 1963-1992, a un mínimo de 52,2 mm en el periodo 1990-2019.

Por el contrario, los equinoccios presentan una tendencia claramente positiva, siendo esta más destacada durante el otoño (6 mm/década). Se pasa de un pico mínimo en la media móvil de 30 años de 196,2 mm en el período 1966-1995, a un máximo de 236,1 mm en el periodo 1983-2012. Durante este lapso temporal se localizan los dos otoños más húmedos de la serie: 1997 con 536,5 mm y 2012 con 459,6 mm. En ambos, las advecciones mediterráneas tuvieron un peso notable, complementándose con la entrada de frentes atlánticos en el mes de noviembre. En estos dos años el mes de noviembre fue muy húmedo, destacando el año 1997 que con 387,5 mm, es el mes de noviembre más húmedo de la serie con diferencia. El incremento de las precipitaciones de origen convectivo durante los meses otoñales (Miró Pérez et al., 2018a), junto con el aumento de las precipitaciones de origen mediterráneo (Miró Pérez et al., 2018), podría la causa de la tendencia positiva de las precipitaciones durante los equinoccios. Esta es más evidente en el otoño, a pesar del notable descenso del volumen absoluto aportado por los frentes atlánticos (Estrela Navarro et al., 2004), especialmente en el mes de noviembre, ya que es el mes otoñal donde los frentes atlánticos son más efectivos.

Con respecto a la primavera (2,8 mm/década) la tendencia positiva de las precipitaciones es bastante menos acusada que durante el otoño. Durante los tres meses, la tendencia es

prácticamente neutra. La media móvil de 30 años pasa de un mínimo de 257,4 mm en el comienzo de la serie (periodo 1941-1970), a un máximo de 292,6 mm en el periodo 1956-1985, permaneciendo prácticamente sin cambios hasta la actualidad. En la última década se han registrado dos de las tres primaveras más húmedas de la serie de Pontones. La primavera de 2013 es la más húmeda de la serie con 681,7 mm y la primavera de 2018 la tercera con 571,9 mm. Entre ambas se encuentra la primavera de 1971 con 597,1 mm. Tanto en la primavera de 2013 como en la de 2018, el mes de marzo representó gran parte del acumulado total, ya que ambos marzos fueron excepcionalmente húmedos. Marzo de 2013 con 480,3 mm y marzo de 2018 con 421,3 mm, siendo con bastante diferencia los dos marzos más húmedos de la serie de Pontones, superando a marzo de 1960 con 320,9 mm. En ambos meses, la configuración atmosférica (fase negativa de la NAO) propició la entrada sucesiva de frentes atlánticos muy activos (Bernabé et al.,2013; AEMET, 2018). En España, son los dos marzos más húmedos desde al menos el 1947, con 166 mm de media en marzo de 2013 y 163 mm en marzo de 2018 (Bernabé et al.,2013; AEMET, 2018).

La excepcionalidad pluviométrica de las primaveras de 2013 y 2018 tuvo notables repercusiones sobre las reservas hídricas, aunque se presentan diferencias muy importantes debido a la situación en la que estaban las reservas hídricas en los meses anteriores a ambos episodios. En la primavera 2013 las reservas conjuntas de los embalses de Fuensanta- Cenajo superaron el 90 % llegando a un tope de 595,3 hm<sup>3</sup>, siendo la primera en las últimas décadas que se tuvieron que abrir las compuertas de ambos embalses. Debido a estas circunstancias, se registraron algunas inundaciones aguas abajo del embalse del Cenajo, como el caso de las vegas del Segura en el municipio de Calasparra. Desde el invierno extremadamente húmedo de 2009/2010 las reservas conjuntas las reservas conjuntas Fuensanta-Cenajo, prácticamente permanecieron por encima del 50% de su capacidad, lo que propició que en marzo de 2013, ambos embalses superaran el 90% de su capacidad. Entre febrero de 2018 y marzo de 2018 las reservas experimentaron un incremento de 140,5 hm<sup>3</sup>. En la figura 114, se muestra una imagen del Embalse de la Fuensanta en marzo de 2013, momento en el cual estaba prácticamente al 100 % de su capacidad (206,9 hm<sup>3</sup> de 210 hm<sup>3</sup>).



Figura 114. Presa del embalse de la Fuensanta en marzo de 2013. Fuente: José María Serna García.

En contraposición, en los meses anteriores a marzo de 2018, las reservas conjuntas Fuensanta-Cenajo estaban atravesando un intenso período de déficit hídrico como consecuencia del año excepcionalmente seco de 2017, presentando un pico mínimo de  $37,3 \text{ hm}^3$  en octubre de 2018 (5% de su capacidad). Entre febrero de 2018 ( $60,8 \text{ hm}^3$ ) y marzo de 2018 ( $152,3 \text{ hm}^3$ ) las reservas conjuntas experimentaron un aumento de  $91,5 \text{ hm}^3$ . De esta forma, este episodio puso fin de forma brusca al intenso periodo de déficit hídrico del año 2017. Entre febrero de 2018 y mayo de 2018 ( $209,5 \text{ hm}^3$ ) se produjo un incremento de  $148,5 \text{ hm}^3$ . Durante este episodio, y debido a la exigua situación en la que se encontraban las reservas conjuntas Fuensanta-Cenajo, no se produjeron inundaciones como en el caso de la primavera de 2013.

Durante el mes de marzo, al igual que ocurre en los meses de noviembre y diciembre, se observa un aumento en la intensidad de los episodios pluviométricos de origen atlántico durante las tres últimas décadas, a pesar del ya mencionado descenso acusado de las precipitaciones de origen atlántico (Miró Pérez et al., 2018). Tal y como se analiza, en el apartado 4.6, se observa un importante descenso en el número anual de días de lluvia en la cabecera del Segura durante las últimas cinco décadas, siendo este más acusado durante el invierno. Este descenso está provocado por la reducción en la frecuencia de los frentes atlánticos sobre todo a partir de la década de 1970, a partir de la cual predomina la fase positiva de la NAO (Aguilar Alba, 2007). Por tanto, se puede afirmar que el incremento

de los episodios de lluvias torrenciales de origen atlántico no es suficiente para evitar el descenso de la precipitación media durante el invierno. En cambio, en los meses de marzo y noviembre si se observa una tendencia ligeramente positiva debido al aporte de otros tipos de precipitación (origen mediterráneo y convectivo), que presentan una tendencia al alza durante estos meses. En futuros estudios, se debería estudiar con detalle, las repercusiones sobre los recursos hídricos del incremento de la frecuencia de episodios de lluvias torrenciales de origen atlántico, en los meses de noviembre, diciembre y marzo.

Por último, en las figuras 115 y 116, se muestra la evolución de las precipitaciones a escalas interanual y bianual. Al comienzo de la serie, en las décadas de 1940 y 1950 se suceden varios periodos muy secos. Resalta el periodo bianual marzo 1944-febrero 1946 con 872,2 mm que es el periodo bianual más seco de la serie. Tras estas dos década la media móvil de 24 meses tan solo vuelve a bajar de los 100 mm en una ocasión, en el periodo noviembre 1993-octubre 1995 con 995,2 mm, como consecuencia de una intensa sequía ibérica. A escala interanual, resalta el periodo septiembre 2004-agosto 2005 con 252,8 mm, que es el periodo interanual más seco de toda la serie, causando enormes pérdidas económicas (Olcina Cantos, 2009). El invierno de 2004/2005 fue extremadamente seco con 112,8 mm.

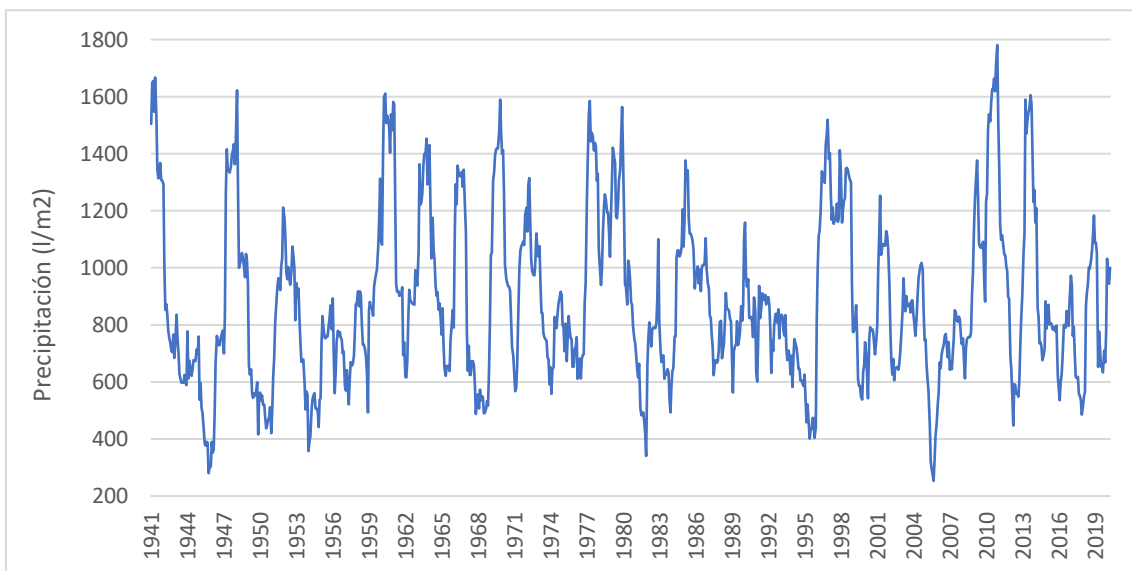


Figura 115. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses (periodo interanual) en la serie de Pontones para el periodo 1940-2019. Fuente:

Elaboración propia.



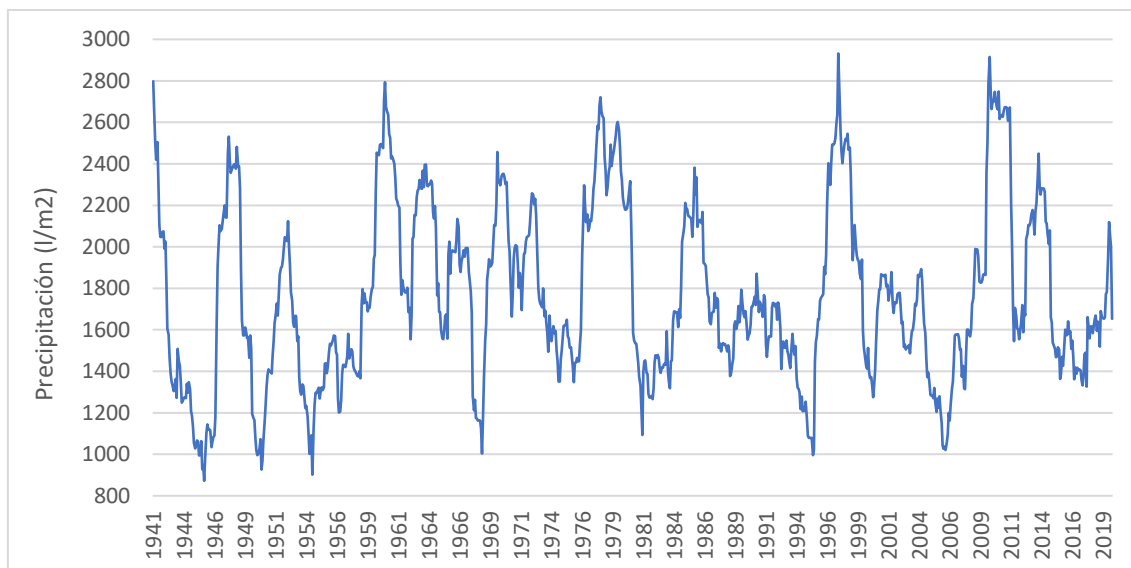


Figura 116. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 24 meses (periodo bianual) en la serie de Pontones para el periodo 1940-2019. Fuente: Elaboración propia.

En las tres últimas décadas se observa una clara acentuación de los extremos pluviométricos. Los periodos de sequía ibérica 1993-1995 y 2004-2006 finalizaron de forma brusca, sobre todo el periodo 1993-1995, como consecuencia de la entrada sucesiva de frentes atlánticos en diciembre de 1995, que registraron un acumulado de 430 mm (cuarto mes más húmedo de toda la serie). Tras ambos episodios de sequía ibérica tienen lugar los dos periodos bianuales más húmedos de toda la serie: diciembre 1995-noviembre 1997 con 2931,7 mm y abril 2008- marzo 2010 con 2914,5 mm. En este último periodo, se registró el lapso interanual más húmedo de toda la serie, con 1781 mm en el periodo diciembre 2009-noviembre 2010. Este ciclo excepcionalmente húmedo puso fin como ya se ha mencionado a un lapso temporal de 30 años con las reservas conjuntas Fuensanta-Cenajo por debajo del 50% de su capacidad.

En definitiva, en este apartado se han analizado los cambios observados en las series más largas del área de estudio. Se han estudiado series de las cuatro regiones obtenidas en el proceso de regionalización que se explica en el apartado 4.4. En todas se observa un incremento en los fenómenos hidrológicos extremos, tal y como se corrobora en el AR5 (IPCC,2018). Las series de Pontones (cabecera del Segura), y de Murcia y Alicante (región costera), son las que presentan mayores cambios. En ambas regiones se vislumbran un notable tendencia negativa en las últimas cinco décadas.

#### **4.4. Regionalización de precipitaciones (periodo 1968-2017)**

En el presente apartado se lleva a cabo una regionalización de las precipitaciones a partir de un análisis de componentes principales (ACP en adelante). Para ello se han utilizado las 92 series de precipitación disponibles en la base de datos construida (apartado 4.1). Para dicho proceso se utiliza la escala de precipitación mensual. El periodo temporal seleccionado es 1968-2017. La regionalización de un determinado elemento climático es un proceso que permite obtener regiones naturales de similar variabilidad con respecto a ese elemento (García Valero et al., 2008). En este sentido, el principal objetivo de la regionalización pluviométrica a escala mensual es conocer la variabilidad y distribución espacial de la precipitación, a partir de la delimitación de zonas geográficas homogéneas.

En zonas como el sureste de la península ibérica, que cuentan con una elevada variabilidad interanual de las precipitaciones y una compleja orografía, las técnicas de regionalización pluviométrica pueden ser de gran ayuda para mejorar la problemática asociada a la modelización de la precipitación y la verificación de los modelos climáticos (García Valero et al., 2008). Además, las regionalizaciones permiten identificar las escalas espaciales asociadas a cambios significativos en la variabilidad de los factores climáticos, lo que es fundamental para la determinación de subregiones sobre las que realizar predicciones a diferentes escalas temporales (Aguilar Alba, 2015). Del mismo modo, son de gran utilidad para la delimitación de patrones pluviométricos homogéneos, y así poder detectar de una forma más efectiva las condiciones bajo las que se originan episodios hidrológicos extremos, como las sequías (Serra de Larrocha, 1995).

La técnica de ACP ha sido ampliamente utilizada en numerosos estudios sobre regionalización de precipitaciones tanto a escala nacional (Fernández Mills et al., 1995; Esteban Parra et al., 1998; Álvarez Rodríguez, 2011) como a escala regional (Martínez Cortés y Bañón Peregrín, 1990; Serra de Larrocha, 1995; García Valero, 2007; García Valero et al., 2008; Argüeso et al., 2011; Aguilar Alba, 2015). En la mayoría de estos estudios se utiliza la escala de precipitación diaria. A nivel del DHS destaca el trabajo de Martínez Cortés y Bañón Pelegrín (1990) sobre regionalización de las precipitaciones a escala diaria. En el ámbito de la Región de Murcia, destacan los trabajos de García Valero (2007) y García Valero et al. (2008), donde se realiza una regionalización de las precipitaciones diarias a partir de la selección de una serie de episodios de lluvias

torrenciales. En el ámbito mediterráneo español destaca el trabajo de regionalización a escala diaria de Romero et al., (1999), en la que se obtienen 20 regiones.

La escala mensual se ha empleado sobre todo en estudios de regionalización de precipitaciones en España (Fernández Mills et al., 1995; Esteban Parra et al., 1998; Álvarez Rodríguez, 2011). En el ámbito regional, la escala mensual se ha utilizado en menor medida, pudiéndose destacar los trabajos de Rasilla Álvarez (1994) para la Meseta septentrional, Fernández Mills et al. (1994) para Cataluña y Aguilar Alba (2015) para Andalucía. En el ámbito territorial de la DHS tan solo se han realizado regionalizaciones a escala diaria (Martínez Cortés y Bañón Pelegrín, 1990). Esta es una de las principales razones por lo que viene motivada la selección de la escala mensual en este estudio. Además esta elección está justificada por otra serie de motivos entre los que se pueden resaltar la buena distribución espacial de las series de precipitación y que los registros mensuales de cada serie permiten identificar con mayor precisión (Aguilar Alba, 2015) que la escala diaria la diversidad de regímenes pluviométricos.

A continuación, se lleva a cabo la explicación de la metodología a partir de la cual se ha realizado el proceso de regionalización (aparatado 4.4.1). Se han obtenido un total de cuatro regiones en el área de estudio. A partir de las series de precipitación ubicadas en cada una de las cuatro regiones, se han elaborado series regionalizadas de precipitación para el periodo 1968-2017. En el apartado 4.4.2 se realiza una evaluación de los cambios y tendencias experimentados en cada una de las cuatro regiones obtenidas.

#### **4.4.1. Proceso de regionalización de precipitaciones (período 1968-2017)**

Como ya ha sido mencionado el proceso de regionalización se ha realizado mediante la técnica ACP. Se trata de un técnica multivariante que analiza una base de datos cuyas observaciones son descritas por variables dependientes intercorrelacionadas (Adbi y Williams, 2010). Esta técnica permite descomponer el conjunto de datos de una variable dada (en este caso las series de precipitación mensual) en representaciones univariadas de esa variable (Castell et al., 2006). De este modo, las variables originales correlacionadas se pueden agrupar en un número mucho más reducido de variables linealmente no correlacionadas, las cuales explican la mayor parte de la varianza total (Vicente et al., 2004).

En definitiva, el ACP permite seleccionar los patrones dominantes de variabilidad de un determinado campo estadístico, propiciando la eliminación de aquellos modos que

explican un porcentaje muy pequeño de la varianza total del conjunto de datos (García Valero et al., 2008). Este hecho permite reducir la dimensionalidad de los datos (Hair et al., 1998). El ACP separa la señal climática de la variabilidad ruidosa, muy redundante a escalas regional (Aguilar Alba, 2015; Arguëso et al., 2011). Las razones anteriormente descritas, propician que el ACP sea la metodología más extendida en las técnicas de regionalización (Aguilar Alba, 2015). No obstante, en la mayor parte de los estudios se suelen utilizar otras técnicas de análisis clúster (AC en adelante), para corroborar y dar estabilidad a los grupos obtenidos con el análisis de ACP. Las técnicas de AC implementadas en el presente trabajo son el método jerárquico Ward's con las distancias Euclidiana (Anderberg, 1973) y Manhattan (Gordon, 1999) y el método no jerárquico K-Means (Jain, 2010). En este punto, es muy importante resaltar que la identificación de los grupos homogéneos es muy dependiente de la técnica de clúster utilizada.

En el presente trabajo, el análisis ACP ha sido aplicado a una matriz de datos compuesta por las 92 series de precipitación mensual disponibles en la base de datos construida. El periodo temporal seleccionado es 1968-2017, ya que la base de datos fue reconstruida hasta el 31 de diciembre de 2017. Los análisis han sido implementados en R, mediante la utilización de distintos paquetes estadísticos. El análisis ACP, ha consistido en el cálculo de la matriz de covarianza de los registros de la matriz de datos para los correspondientes valores propios ("eigenvalues" en inglés) y vectores propios ("eigenvectors" en inglés) (Richman, 1986). Los componentes principales (CP en adelante) están dados por la proyección de los campos de la matriz de datos en las propias funciones ortonormales (Raziei et al., 2015). Por otra parte, cabe mencionar que la identificación de los patrones espaciales de la series de precipitación mensual está basada en la carga de los CP (los cuales representan la correlación entre cada de una de las series temporales de precipitación mensual y la correspondiente serie de componente principal. Por último, para obtener una mejor interpretación de los resultados obtenidos, los CP han sido rotados, utilizando la técnica Varimax, que es ampliamente utilizada en el ámbito científico para realizar estas rotaciones (Richman, 1986). De este modo se consigue localizar con mayor precisión la variabilidad espacial de los patrones de precipitación. Los patrones obtenidos a partir de este método se denominan componentes principales rotados (CPR).

En la figura 117, se muestran los diez primeros valores propios resultantes del análisis ACP. Esta representación es conocida con el nombre de "Scree Plot", la cual ha sido el

primer criterio para seleccionar el número de CP a retener (Hair et al., 1998) Se observa, como la primera componente es la que explica la mayor parte de la varianza con 67,8% del total. En el gráfico, se observa una línea negra que une los valores de varianza explicada por los diez primeros valores propios. Se vislumbra que esta deja de descender y se estabiliza aproximadamente en la cuarta componente principal, lo que significa que entre tres o cuatro CP deben ser retenidos. El posterior mapeo de los valores de las correlaciones entre las series de precipitación mensual y las CP (“factor loadings”), sugirió la selección de los cuatro primeros componentes, ya que cubren la práctica totalidad del área de estudio y no se superponen (figura 118).

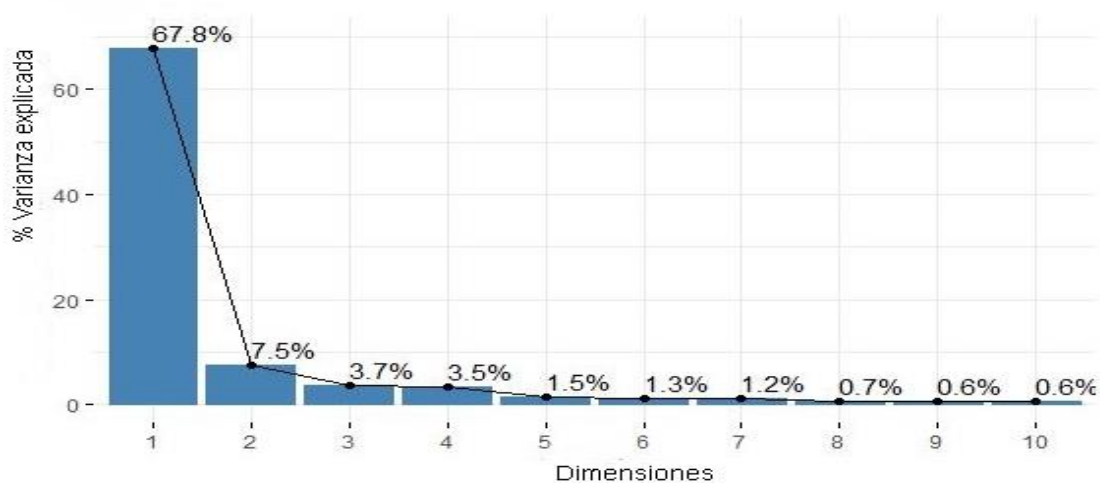


Figura 117. Varianza explicada por los diez primeros valores propios resultantes del análisis ACP aplicado a las series de precipitación mensual. Fuente: Elaboración propia a partir de R.

Es importante resaltar que mediante el uso de los valores propios puede ser extraída información del porcentaje de varianza explicada por cada uno de los CP, tanto a nivel parcial como la varianza acumulada. En la tabla 38, se muestra explicada por los diez primeros CP (no rotados y rotados). El porcentaje de varianza acumulada total explicada por las cuatro primeras componentes es de un 82,5%, distribuyéndose de la siguientes forma: 67,8% (CP1), 7,5% (CP2), 3,7% (CP3) y 3,5% (CP4). A partir de la cuarta CP, la contribución de la varianza de cada nueva dimensión es insignificante, siendo todas las variables inferiores a un 2%. De este modo, solo las cuatro primeras CP son retenidas para la ejecución de la rotación por Varimax, con el objetivo de identificar cuatro regiones homogéneas. Una vez realizada la rotación se observa como desciende considerablemente la varianza explicada por la CP1, situándose en valores muy próximos a las CP3 y CP4. La CP2 es la que menos varianza explica, ya que como se verá a continuación se

corresponde con la región más pequeña. Los cuatro CPR son representados espacialmente a través de mapas de carga factoriales (figura 118), los cuales representan la correlación existente entre cada CPR y cada una de las 92 series de precipitación.

ACP	Series precipitación mensual			
	Varianza explicada parcial (%)		Varianza explicada acumulada (%)	
	No rotado	Rotado	No rotado	Rotado
CP1	67,8	24,0	67,8	24,0
CP2	7,5	12,3	75,3	36,3
CP3	3,7	20,7	79,0	57,0
CP4	3,5	25,5	82,5	82,5
CP5	1,5		84,0	
CP6	1,3		85,3	
CP7	1,2		86,5	
CP8	0,7		87,2	
CP9	0,6		87,8	
CP10	0,6		88,4	

Tabla 38. Porcentaje de varianza explicada parcial y acumulada de los diez primeros CP (CP1 a CP10) rotados y no rotados. Fuente: Elaboración propia a partir de R.

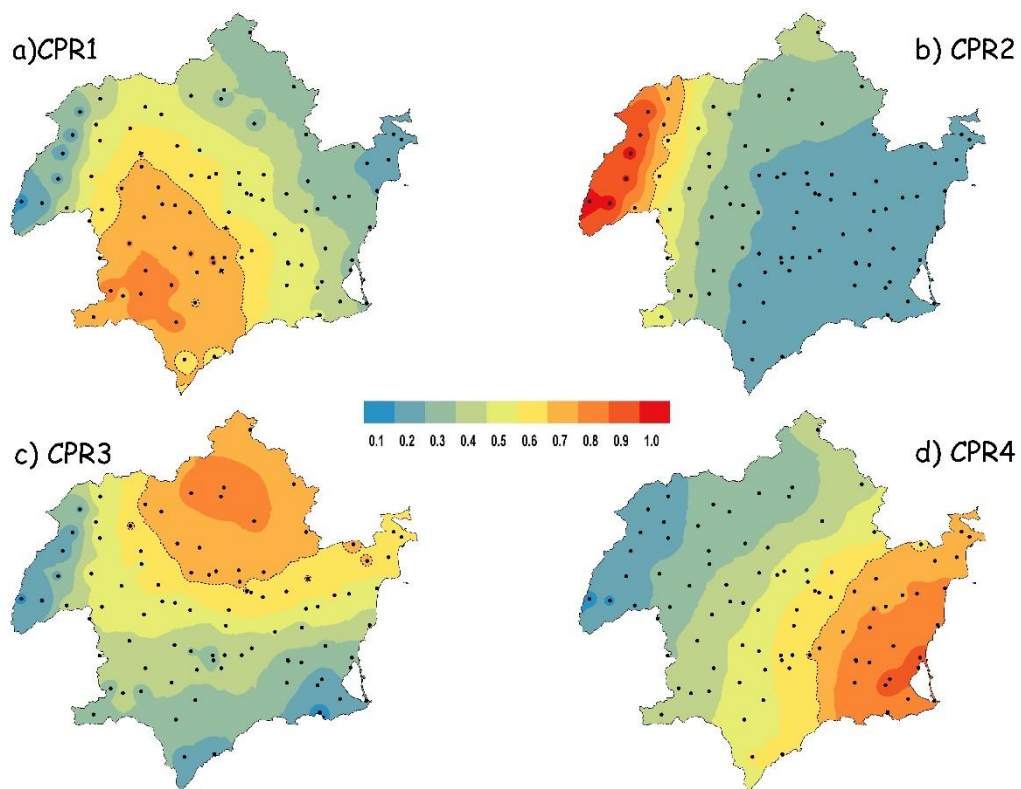


Figura 118. Mapa de correlación espacial entre cada CPR y la series de precipitación mensual. Fuente: Elaboración propia.

El método de interpolación utilizado para la ejecución de los mapas ha sido el Inverse Distance Weighting (IDW) con un exponente de 2. De esta forma, el proceso de rotación

ortogonal (Varimax) empleado para la identificación de patrones espaciales de precipitación, se muestra como una herramienta eficaz para realizar una delimitación bastante precisa de regiones con diferente variabilidad pluviométrica. En los cuatro mapas mostrados en la figura 118, se han delimitado las regiones donde los valores del coeficiente de correlación entre cada CPR y las series de precipitación son iguales o superiores a 0,6 (éstas áreas han sido delimitadas en los mapas mediante una línea discontinua para facilitar su identificación). Se ha seleccionado este coeficiente relativamente bajo como umbral para la delimitación de las regiones, debido a la elevada variabilidad espacial de las precipitaciones en el área de estudio.

Como se observa en los cuatro mapas de la figura 118, se delimitan de una forma bastante eficaz cuatro regiones homogéneas (correlación por encima de 0,6). La CPR1 se corresponde con una región en la que se enmarcan las cuencas de los ríos de la margen derecha del Segura con correlaciones que oscilan entre 0,6 y 0,8. La CPR2 muestra correlaciones muy elevadas en las cabeceras de los ríos Segura y Mundo, siendo la única CPR con correlaciones superiores a 0,9. Esta región presenta un patrón pluviométrico muy influenciado por las precipitaciones de origen atlántico, y debido a este hecho de las series de precipitación de esta zona con el resto de CPR son muy bajas. Además el resto de las series de precipitación presenta una correlación muy baja con dicha CPR, lo cual está ocasionado por el exiguo peso de las precipitaciones de origen atlántico en gran parte del área de estudio. Por su parte, la CPR3 presenta correlaciones por encima de 0,6 con la región nororiental que se corresponde en gran parte con las cuencas de los ríos de la margen izquierda. Por último, la CPR4 presenta correlaciones elevadas con las series de precipitación de la franja costera. Se observa como los valores de correlación van descendiendo conforme se avanza hacia el interior, lo cual indica que esta región delimita un área donde las precipitaciones de origen mediterráneo tienen un elevado peso.

En base a la delimitación realizada en la figura 118, se ha llevado a cabo una zonificación por áreas homogéneas con una correlación igual o superior a 0,6 (figura 119). Con tal finalidad, se ha asignado un área determinada a cada serie pluviométrica a partir del método de los polígonos de Thiessen (Thiessen, 1991). En la parte izquierda de la figura 119, se muestra como las regiones identificadas no se superponen y están espacialmente bien delimitadas cubriendo gran parte del territorio analizado (las series de precipitación aparecen representadas con puntos negros).

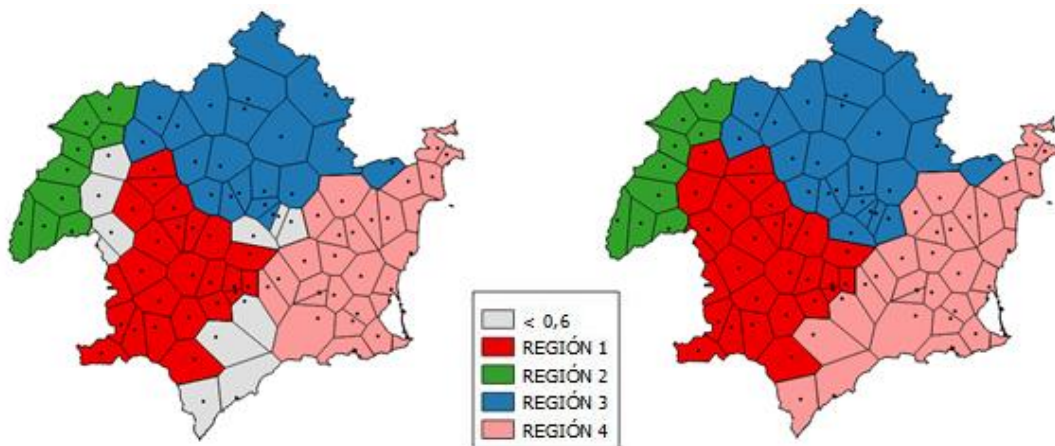


Figura 119. Áreas homogéneas con valores del coeficiente correlación superior a 0,6 entre capa CPR y las series de precipitación mensual (parte izquierda) y regiones homogéneas definitivas (parte derecha). Fuente: Elaboración propia.

Tan solo 11 de las 92 estaciones analizadas presentan una correlación inferior a 0,6 con las cuatro CPR. Esto se corresponde con un total de 2697 km<sup>2</sup> (13,7% de la superficie total). Las 11 series de precipitación son las siguientes: Embalse de la Fuensanta, Presa del Taibilla, Moratalla Cañada de la Cruz, Moratalla Inazares, Ulea, Mula Embalse de la Cierva, Archena, Totana Morti, Lorca, Águilas y Pulpí Canalejas. Todas ellas, como se observa se localizan en zonas de transición entre las distintas regiones.

Con el objetivo de que toda el área de estudio forme parte de una de las regiones homogéneas, se han implementado como ya se ha mencionado otras técnicas de clúster (Ward's con distancias Euclidiana y Manhattan y K-Means), para ayudar a asignar las 11 series de precipitación en una de las regiones homogéneas obtenidas con el análisis ACP. Tanto Ward's Euclidiana como Ward's son las dos técnicas con las que se obtienen resultados más homogéneos con la categorización obtenida a través del ACP. Sin embargo, los resultados obtenidos mediante la técnica de clúster K-Means difieren bastante de la categorización del ACP. En la parte derecha de la figura 119, se expone el mapa con todas las áreas de Thiessen incluidas en alguna de las cuatro regiones, es decir se muestra la propuesta de regionalización de precipitaciones a escala mensual.

A continuación, se detalla, de forma precisa, las regiones a las que quedan asignadas las 11 series de precipitación citadas. En primer lugar, las series Embalse de la Fuensanta, Presa del Taibilla, Moratalla Cañada de la Cruz y Moratalla Inazares, poseen una correlación entre un 0,4 y 0,5 con tres regiones (regiones 1,2,3). Se encuentran en una



zona de transición entre las cabeceas del Segura y Mundo, y las regiones centrales donde se encuadran los ríos de la margen derecha por un lado (región 1) y margen izquierda por otro lado (región 3). Las tres técnicas de análisis clúster coinciden en asignar estas cuatro estaciones en la región 1. Por otra parte, las series de Mula Embalse de la Cierva, Ulea y Archena se localizan en la zona de contacto entre las regiones 1,3 y 4, presentando con las tres una correlación entre 0,4 y 0,5. Es una zona con marcada influencia de las precipitaciones de origen mediterráneo. Todas las técnicas clúster asignan estas tres estaciones a la región 3, aunque la correlación en el análisis ACP es ligeramente superior con la región 4. Por último, las series ubicadas en el extremo suroccidental (Lorca, Águilas Diputación, Pulpi Canalejas y Totana Morti han sido las más complejas de asignar a una de las regiones homogéneas. Se localizan en la zona de transición entre la región 1 y región 4. A diferencia del resto de series de la franja costera, esta zona se ve menos afectada por los episodios de lluvia de origen mediterráneo. De hecho, en el análisis la correlación es superior con la región 1. Sin embargo, todas las técnicas clúster la asignan a la región 4, por lo que se ha decidido incluirlas en esta región costera. Se realizó un intento de mapear con la quinta CPR para visualizar si esta zona se correspondía con otra región, pero no se obtuvo un resultado óptimo.

De esta forma la distribución de las series de precipitación por regiones es la siguiente:

- **Región 1 (RG1- Ríos de la margen derecha del Segura)**- 28 series: Lorca Tirieza Alta, María, Puerto Lumbreras, Totana Alquerías, Lorca Embalse de Valdeinfierno, Lorca Embalse de Puentes, Lorca Zarzadilla de Totana, Totana La Carrasca , Caravaca Los Royos, Lorca La Juncosa, Caravaca Barranda, Cehegín, Vélez Blanco, Alhama Huerta Espuña, Caravaca Polideportivo, Lorca Avilés, Vélez Blanco Topares, Bullas El Carrascalejo, Chirivel, Moratalla Parque de Bomberos, Moratalla Benizar, Moratalla Campo de San Juan, Moratalla Inazares, Moratalla Cañada de la Cruz, Pliego, Socovos, Embalse de la Fuensanta y Presa del Taibilla.

- **Región 2 (RG2- Cabeceras de los ríos Segura y Mundo)** – 9 series: Molinicos, Cañadas de Nerpio, Bogarra, Salto de Miller, Arguellite, Cañada del Provencio, Yeste Hoya Parrilla, Santiago de la Espada y Pontones.

- **Región 3 (RG3- Nororiental y Ríos de la margen izquierda del Segura)**- 23 series: Calasparra Embalse Alfonso XIII, Calasparra, Cieza Los Almadenes, Moratalla Embalse del Cenajo, Elche de la Sierra, Liétor, Embalse de Camarillas, Abarán Sierra del Oro,

Mula Embalse de la Cierva, Ulea, Embalse del Talave, Ricote La Calera, Cieza, Blanca Casa Castillo, Tobarra, Ontur, Pinoso, Jumilla El Albal, Albana, Aspe, Yecla, Bonete y Archena.

**- Región 4 (RG4- Franja costera y valles prelitorales)-** 32 series: Lorca, Totana Morti, Águilas Diputación, Pulpi Canalejas, Librilla, Alhama El Praico, Murcia Corvera, Fuente Álamo, Murcia Alcantarilla, Murcia Los Martínez del Puerto, Murcia San Magín, Murcia Beniaján, Murcia Sucina, Cartagena Pozo Estrecho, Cartagena El Algar, Cartagena Puerto, Cartagena Salinas de Cabo de Palos, Torre Pacheco, Santomera, Fortuna, Orihuela Los Desamparados, Torrevieja Ciudad, San Pedro del Pinatar, Abanilla, Callosa de Segura, San Javier, Almoradí, La Marina de Elche, Alicante, San Vicente del Raspeig, Alicante El Altet y Elche.

El área de estudio cuenta con una altitud media bastante elevada, de 603,1 m s. n. m., debido a la compleja orografía de los sistemas béticos (figura 120). En dicha figura, se expone la distribución espacial de la altimetría por regiones. Su altitud máxima se encuentra en los 2040 m s. n. m. (altitud alcanzada tanto en la sierra de las Cabras como en la sierra de María). Si ya de por si las variables altitud y precipitación poseen una elevada correlación positiva, en el área de estudio es si cabe más elevada por su ubicación geográfica (Álvarez Rodríguez, 2011; Izquierdo Segovia y Amor Jiménez, 2019). La correlación es más elevada durante la primavera y el verano debido a los procesos termoconvectivos que son más frecuentes en las zonas de mayor altitud y un poco más reducida durante el invierno ya que el arco bético actúa de barrera orográfica ante los frentes atlánticos (Izquierdo Segovia y Amor Jiménez, 2019).

La RG2 es sin duda la región que presenta una mayor altitud media (1261,5 m s. n. m.). Su altitud máxima se localiza en la sierra de las Cabras (provincia de Albacete) con 2040 m s. n. m., la cual se encuentra en la zona limítrofe entre la RG1 y la RG2. Además posee un elevado gradiente altitudinal, pasando en muy pocos kilómetros de más 2040 msnm a los 600 m s.n.m. en las zonas de valle de los ríos Tus y Segura cercanas al embalse de la Fuensanta. Este hecho se traduce en un importante gradiente pluviométrico como se verá en el apartado 4.4.2. La RG1 también presenta una elevada altitud media (863,7 m s. n. m.), con sistemas montañosos como el Macizo de Revolcadores al norte y la sierra de María al sur que superan los 2000 msnm. El gradiente altitudinal es el más elevado de todas las regiones, sobre todo en la parte de la cuenca del río Guadalentín encuadrada en esta región, ya que se pasa de 2040 msnm en la sierra de María a menos de 200 m s. n.

m. en el valle del Guadalentín. Los sistemas montañosos de esta región están muy expuestos a los vientos de levante, sobre todo la sierras de Espuña, Cambrón, Pedro Ponce y Burete. Por su parte, la RG3 dominada por las vegas alta y media del Segura y las altiplanicies del extremo norte, presenta una altitud media (592,2 m s. n. m.) más exigua que la RG1 y RG2. Su punto de mayor altitud se localiza en la sierra del Carche con 1364 m s. n. m. y su punto más bajo en la vega media del Segura con menos de 100 m s. n. m. Por último, la RG4 situada en la franja costera y valles prelitorales, es sin duda la región con menor altitud media (181,9 m s. n. m.), destacando la sierra de Carrascoy como el punto más elevado con 1064 msnm. Dicho sistema montañoso es la sierra con mayor prominencia de la Región de Murcia con 857 m s. n. m.

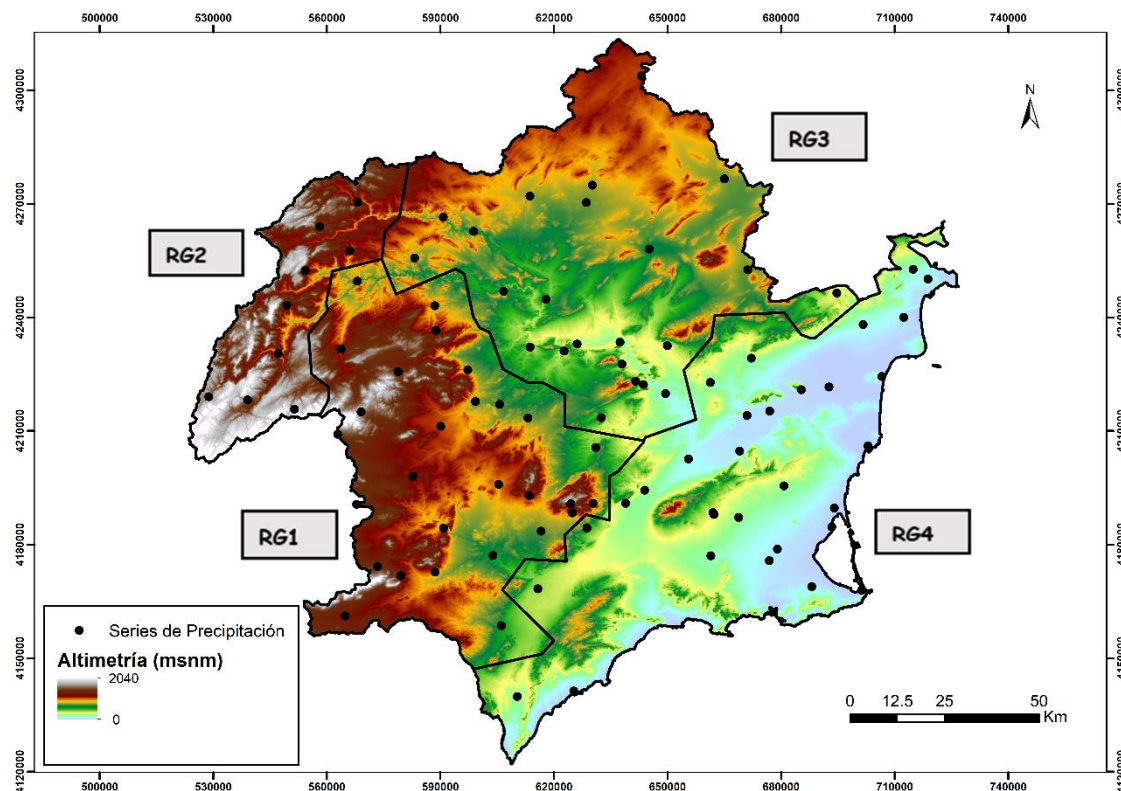


Figura 120. Distribución de la altimetría por regiones. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 39 se muestran las características principales (número de series, superficie, altitud media y precipitación media) de las cuatro regiones obtenidas en el proceso de regionalización. Las regiones 1,3 y 4 representan una superficie muy homogénea en torno al 30% del total. Sin embargo, la región 2 engloba solo un 9,5% del territorio, ya que es la zona que posee un patrón pluviométrico más diferenciado por la marcada influencia de las precipitaciones de origen atlántico. Este hecho provoca que sea con diferencia la

región con mayor precipitación media anual (668,6 mm en el periodo 1981-2010), superando en casi 300 mm a la región 1 que es la segunda más húmeda con 381,9 mm.

REGIÓN	N.º Series	Superficie (km <sup>2</sup> )	Altitud media (msnm)	Precipitación media (l/m <sup>2</sup> ) Periodo 1981-2010
1	28	5340,6	863,7	381,9
2	9	1868,7	1261,5	668,8
3	23	6231,6	592,2	322,3
4	32	6256,7	181,9	282,0

Tabla 39. Información básica de las cuatro regiones obtenidas en el proceso de regionalización de precipitaciones. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.2. Tendencias y variaciones de las precipitaciones por regiones (periodo 1968-2017)

En este subapartado se lleva a cabo un análisis de las tendencias y variaciones de las precipitaciones por regiones, siendo el periodo temporal seleccionado los últimos 50 años de datos disponibles (1968-2017). En primer lugar, se presenta un mapa de la distribución espacial de la precipitación media anual (periodo de referencia 1981-2010) por regiones (figura 121). Como se observa la RG2 situada en las cabeceras de los ríos Segura y Mundo es la región más húmeda como mucha diferencia, con un promedio de 668,8 mm en el periodo 1981-2010. Presenta un elevado gradiente pluviométrico debido a la acción de barrera orográfica ante los frentes atlánticos del arco bético, de modo que se pasa de los más de 1000 mm de media en la zona de Siles Acebeas a los 400-450 mm del tramo medio del río Mundo. Esta zona es fundamental en la gestión de los recursos hídricos, ya que en ella se encuentran los nacimientos de los ríos Segura, Mundo y Taibilla de los que dependen los grandes embalses de cabecera (Fuensanta y Cenajo en el que caso del río Segura y Talave y Camarillas río del Mundo), así como la Presa del Taibilla infraestructura de la que parte la MCT.

Por su parte, la RG1 es la segunda región más húmeda con un promedio de 381,9 mm (periodo 1981-2010). En esta región, cabe destacar que las precipitaciones van reduciéndose desde el norte hacia el sur, pasando de los más de 500 mm de su extremo noroccidental (zona limítrofe con la RG2) y los menos de 300 mm de la parte del valle del Guadalentín incluida en esta región. Aunque las precipitaciones de origen mediterráneo son las que presentan la mayor parte del peso en el promedio anual en toda la región, es importante resaltar que su peso porcentual se va reduciendo de sur a norte, en favor de las precipitaciones de origen atlántico y convectivo. La sierra de María debido a su ubicación y altimetría también supera los 400 mm. Además, en esta región, cabe

destacar la presencia de islas de humedad (sierras de Espuña, Cambrón, Pedro Ponce, Lavia y Burete), en el extremo suroriental debido a la excepcional exposición a los vientos de levante de las sierras mencionadas.

Por último, se observa (figura 121) como la mayor parte del territorio de las RG3 y RG4 se encuentra por debajo de los 350 mm. Son sin duda las regiones más áridas del área de estudio con una precipitación media en el periodo de referencia 1981-2010 de 322,3 mm en la RG3 y 282 mm en la RG4. La precipitación media anual es ligeramente superior en la RG3 debido sobre todo al que el extremo noroccidental de la RG3 (zona de transición con la RG2) registra una media superior a los 400 mm. En la RG4 gran parte de su territorio registra una precipitación media inferior a los 300 mm, destacando que solo se superan los 350 mm, en una franja territorial muy exigua del Campo de Cartagena que está muy expuesta a los episodios pluviométricos de origen mediterráneo. El sector suroriental de esta región costera, presenta una precipitación media inferior a los 250 mm, siendo una de las áreas más secas de Europa.

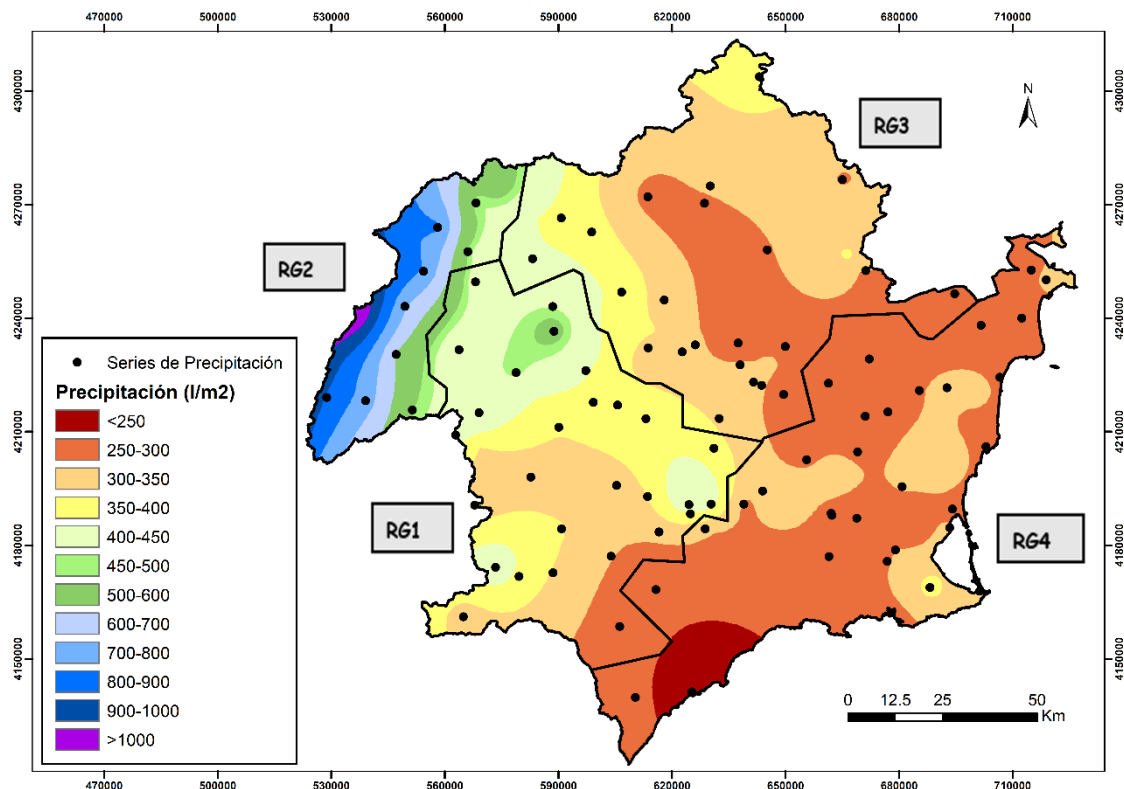


Figura 121. Distribución de la precipitación media anual (periodo de referencia 1981-2010) por regiones. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en la figura 122 se expone un diagrama de caja (también conocido como boxplot) de la distribución de la precipitación anual por regiones en el periodo 1981-2010. Se observa como la RG2 resalta sobre las demás por los motivos ya comentados anteriormente. En todas las regiones el año 1989, aparece como valor atípico debido a que fue un año excepcionalmente húmedo en toda el área de estudio, debido a la intensidad y la elevada recurrencia de episodios pluviométricos de origen mediterráneo durante este año. Destacan los 1027,5 mm de media de la RG2 o los 812,1 mm de la RG1.

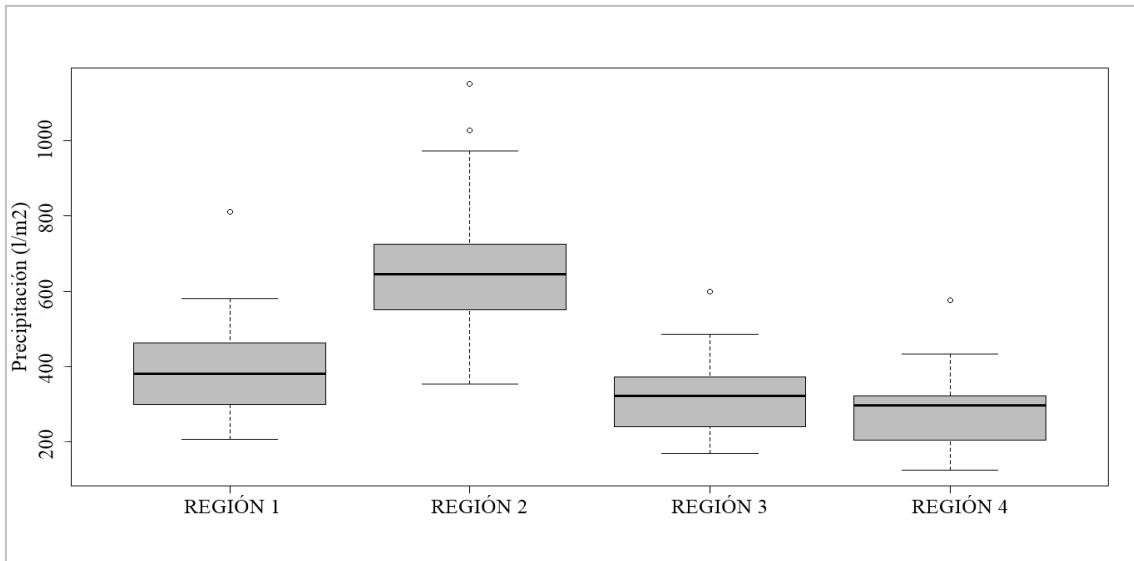


Figura 122. Diagrama de cajas de la precipitación anual por regiones en el periodo de referencia 1981-2010. Fuente: Elaboración propia.

Además en la RG2 destaca el año 2010 que es el año más húmedo del lapso temporal de 30 años analizado (1151,8 mm) periodo en el que predominaron los temporales de origen atlántico que propiciaron que el invierno de 2009/2010 fuera excepcionalmente húmedo. La existencia de años húmedos atípicos es una clara muestra de la elevada variabilidad interanual de las precipitaciones. Con respecto a los años más secos, cabe destacar que en la RG3 y RG4 el año más seco fue 1995, ya que ambas regiones se vieron afectadas por una intensa sequía surestina que fue la continuación de una de las sequías ibéricas más severas de los últimos 50 años. Sin embargo, los años más secos de las RG1 y RG2 se registran con sequías ibéricas, en 1983 en el caso de la RG1 (206,2 mm) y en 2005 en la RG2 con 352,4 mm. Este último, provocó una importante reducción de las reservas hídricas en los embalses de cabecera, originando graves problemas en el abastecimiento de agua.

Por otra parte, figura 123 se expone la categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico (clasificación por quintiles) donde se observa la elevada variabilidad interanual existente y la sucesión de ciclos húmedos y secos.

AÑO	REGION 1	REGION 2	REGION 3	REGION 4
1968	327.7	640.6	322.6	273.8
1969	618.4	1213.5	520.2	390.0
1970	177.6	432.5	180.1	152.6
1971	553.4	935.9	447.4	383.1
1972	536.8	938.5	474.7	473.7
1973	468.8	541.0	271.1	313.6
1974	409.5	645.3	393.8	397.1
1975	399.2	621.3	409.2	323.6
1976	464.0	921.7	448.9	308.8
1977	449.1	849.3	388.5	326.5
1978	205.0	865.8	182.0	156.1
1979	306.9	1007.8	250.1	207.3
1980	409.6	639.8	360.2	342.6
1981	212.9	541.9	213.8	176.8
1982	362.0	640.8	323.5	265.1
1983	206.2	421.3	188.3	159.9
1984	247.8	725.6	263.1	157.5
1985	311.5	722.6	240.3	294.6
1986	463.8	747.5	408.6	329.1
1987	313.6	682.8	348.2	315.5
1988	412.9	587.9	421.0	298.5
1989	812.1	1027.5	598.1	576.8
1990	414.7	581.3	319.2	317.6
1991	382.8	596.9	274.8	309.9
1992	468.3	650.2	305.3	325.0
1993	358.6	446.8	337.1	299.5
1994	233.6	402.2	220.0	195.4
1995	208.9	522.3	167.7	124.4
1996	376.8	957.8	380.3	292.1
1997	580.3	971.9	485.7	360.7
1998	282.5	529.3	239.1	205.2
1999	365.3	591.5	288.7	196.2
2000	297.8	647.6	221.0	243.3
2001	394.4	695.9	363.6	307.6
2002	377.1	617.8	317.4	221.5
2003	413.5	710.2	296.8	320.4
2004	461.6	679.4	371.3	322.2
2005	217.2	352.4	195.1	181.0
2006	463.1	618.7	346.0	295.3
2007	425.9	550.3	371.9	350.8
2008	471.7	838.1	407.1	295.8
2009	457.2	887.5	371.2	432.5
2010	489.4	1151.8	441.3	364.3
2011	365.7	515.2	317.6	254.9
2012	406.1	718.5	378.7	273.0
2013	343.3	951.3	306.7	202.3
2014	235.6	623.0	241.7	162.5
2015	399.1	529.9	380.1	234.4
2016	432.3	689.8	391.0	317.6
2017	229.4	423.9	235.6	193.1



Figura 123. Categorización de la precipitación anual en función de su comportamiento pluviométrico para el periodo 1968-2017. Fuente: Elaboración propia.

Entre los periodos de sequía destacan los siguientes (resaltando el tipo de sequía y las regiones afectadas): sequía surestina de 1978-1979- RG1, RG3 y RG4; sequía ibérica 1981-1983 (afectó a todas las regiones) extendida en forma de sequía surestina hasta 1985 en las RG1, RG3 y RG4; sequía ibérica 1990-1991 en la RG2; sequía ibérica 1993-1995 (todas las regiones) extendida en forma de sequía surestina hasta 1996 en la RG4; sequía surestina 1998-2000 con especial incidencia en las RG3 y RG4; sequía ibérica de 2005 en todas las regiones con marcada severidad en la RG2; sequía surestina de 2011-2015

en la RG4, afectando en el período 2013-2014 a las RG3 y RG1; sequía ibérica de 2017 con manifiesta intensidad en la RG2. En definitiva, se observa que las sequías ibéricas afectan con mayor severidad a la RG2 por su elevada dependencia respecto a las precipitaciones de origen atlántico, y las sequías surestinas a las RG1, RG3 y RG4, siendo especialmente intensas en esta última debido al elevado peso de las precipitaciones de origen mediterráneo en la franja costera.

Por último, en las tablas 40 y 41 se exponen los valores de las tendencias (mm/década) por regiones a escala anual, estacional y mensual, para el periodo 1968-2017. Con respecto, a la tendencia a escala anual cabe destacar que es negativa en todas las regiones, aunque sin presentar significancia estadística. El descenso es bastante destacado en la RG2 (-22,4 mm/década) y la RG4 (-10 mm/década). De este modo, la reducción es más acusada en aquellas regiones que tienen un gran dependencia de un único tipo de precipitación, en el cómputo total (RG2 precipitaciones de origen atlántico y RG4 precipitaciones de origen mediterráneo).

Período	RG1	RG2	RG3	RG4
Anual	-5,8	-22,4	-4,9	-10
Invierno	3,4	-8,9	2,9	4,6
Primavera	-3,5	-6,1	-0,5	-5,1
Verano	-2,9	-9,9*	-6,8*	-3,7*
Otoño	-2	1,5	1,5	-3,7

Tabla 40. Tendencias (mm/década) por regiones a escala anual y estacional para el periodo 1968-2017. El \*refleja que la tendencia es estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95 %. Fuente: Elaboración propia.

Mes	RG1	RG2	RG3	RG4
Enero	-0,1	-3,5	-0,5	1,4
Febrero	-0,9	-3,7	-1,3	-2,0
Marzo	1,8	1	2,6	0,1
Abril	-1,8	-1,1	-1,1	-1,9
Mayo	-3,5	-6,1	-2,1	-3,2
Junio	-2,7	-5,2*	-5,6*	-2,8*
Julio	-1,7	-2,8	-1,4	-1,1
Agosto	1,5	-1,9	0,2	0,3
Septiembre	5,0*	2,9	4,4*	5,6
Octubre	-7,3	-2,1	-5,5	-9,9*
Noviembre	0,3	0,8	2,6	0,6
Diciembre	3,6	-0,7	2,7	3,0

Tabla 41. Tendencias (mm/década) por regiones a escala mensual para el periodo 1968-2017. El \*refleja que la tendencia es estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95 %. Fuente: Elaboración propia.



Aunque el cómputo anual de las precipitaciones presenta una tendencia negativa en todas las regiones, cabe destacar que no todas las estaciones exhiben este signo descendente, presentando un comportamiento muy desigual. El verano es la única estación que presenta una tendencia negativa con significancia estadística (en todas las regiones excepto en la RG1 donde la tendencia es negativa pero sin significación estadística). Esta reducción de las precipitaciones se debe fundamentalmente al acusado descenso observado en las precipitaciones de origen convectivo durante el estío (Miró et al., 2018). En la figura 124 se expone un mapa de anomalías de precipitación durante el verano en el periodo 1990-2019 con respecto al periodo de referencia 1971-2000.

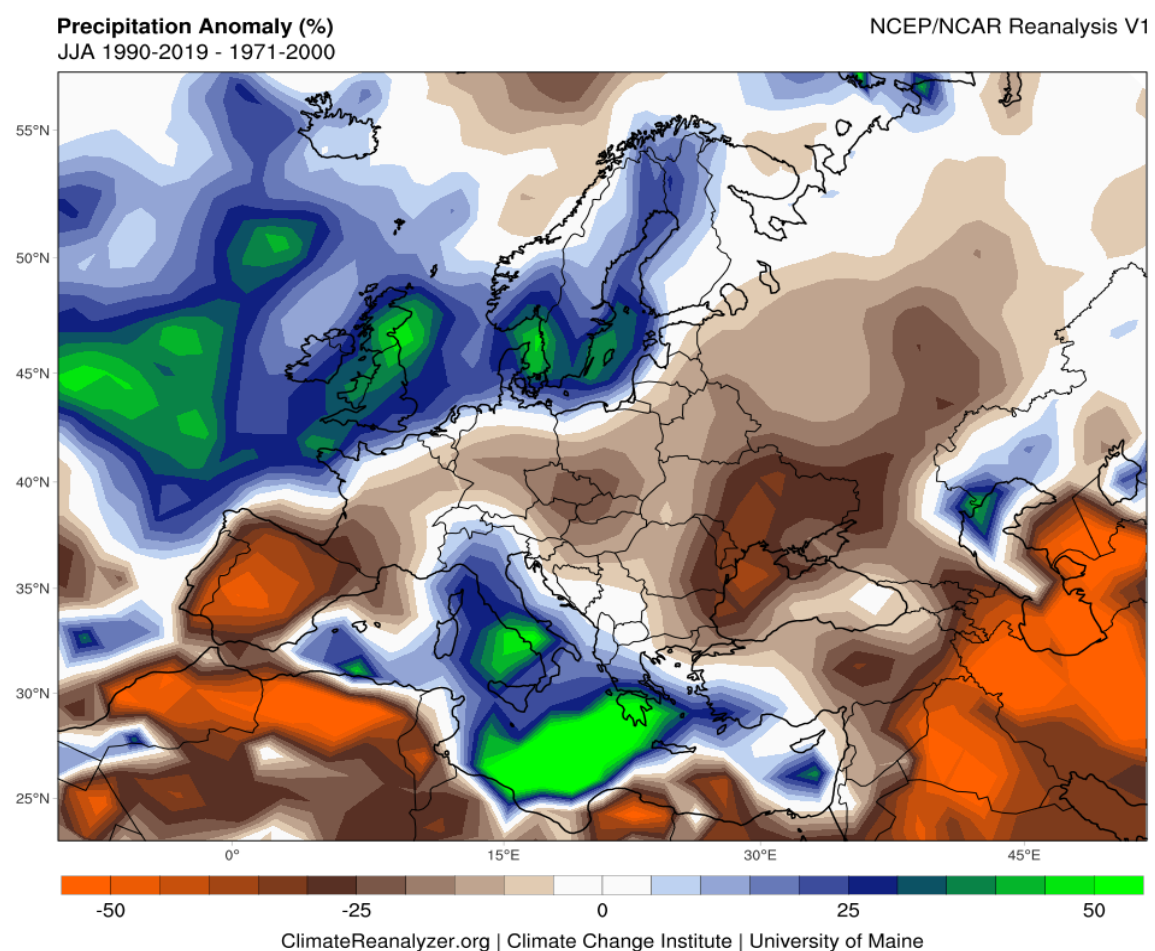


Figura 124. Anomalía de precipitación en el verano durante el periodo 1990-2019 con respecto al periodo de referencia 1971-2000. Fuente: ClimateReanalyzer- University of Maine.

Se observan importantes anomalías negativas en toda la península ibérica siendo especialmente relevantes (-50%) en el interior de la península ibérica. En el sureste peninsular las anomalías son más notables en las zonas montañosas del interior donde los

fenómenos termoconvectivos son más importantes. Como se muestra en la tabla 41 el descenso de las precipitaciones durante el estío se concentra en los meses de junio y julio. El mes de junio presenta una tendencia negativa estadísticamente significativa en todas las regiones excepto en la RG1. En la figura 125 se muestra un mapa de anomalías a nivel europeo en el mes de junio del periodo 1990-2019 con respecto al periodo 1971-2000. En el mismo se observan anomalías negativas muy notables, que están ligadas al acusado descenso de las tormentas durante este mes (Miró et al., 2018).

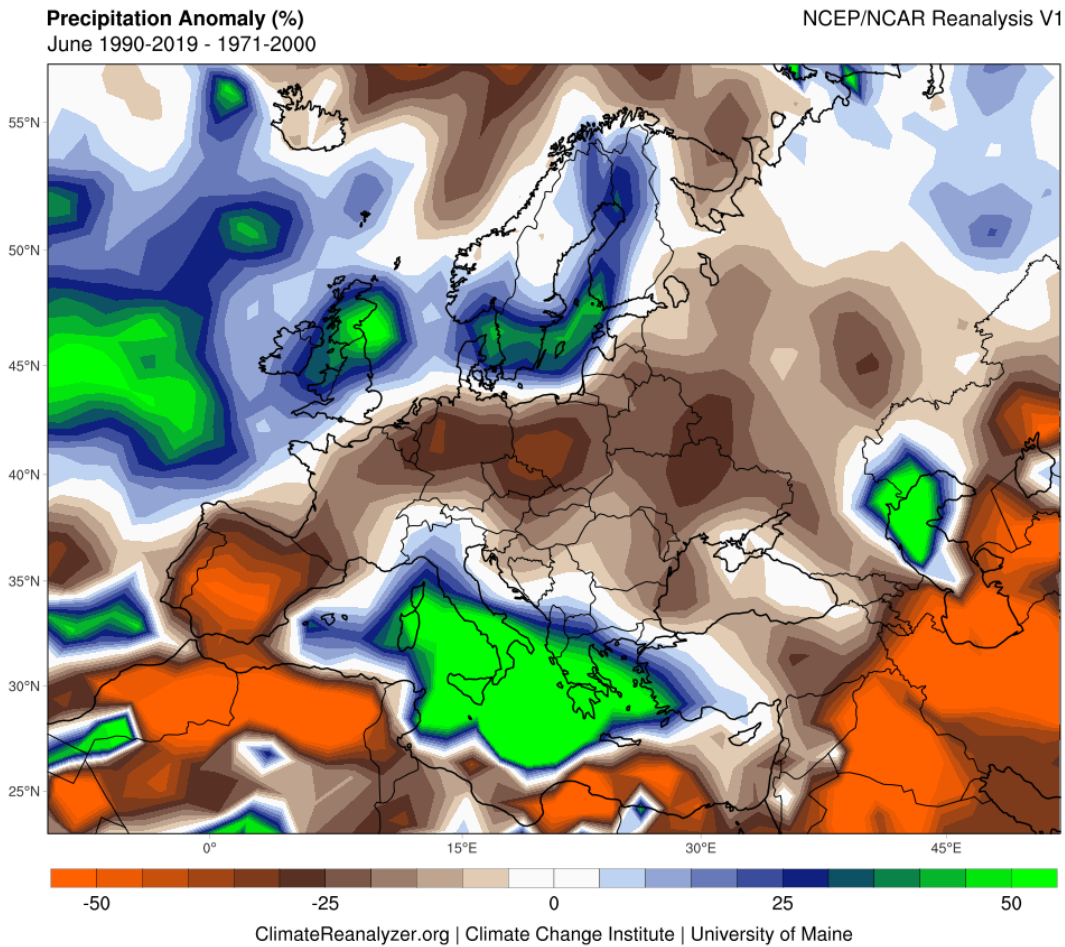


Figura 125. Anomalía de precipitación en el mes de junio durante el periodo 1990-2019 con respecto al periodo de referencia 1971-2000. Fuente: ClimateReanalyzer-University of Maine

Por otra parte, durante la primavera también se exhibe una tendencia negativa en todas las regiones (siendo más acusado en las RG2 y RG4) aunque a diferencia del verano sin significancia negativa. Esta reducción se concentra en los meses de abril y mayo, como consecuencia sobre todo de la disminución de los fenómenos termoconvectivos (Miró et al., 2018), ya que en el mes de marzo la tendencia es neutra o ligeramente positiva en

todas las regiones. Este hecho, esta en contraposición con lo ocurrido en la vertiente atlántica de la península ibérica donde el mes de marzo, es el periodo que presenta una tendencia negativa más acusada (Luna et al.,2012), debido al notable descenso experimentando por las precipitaciones de origen atlántico sobre todo a partir de la década de 1970 (Aguilar Alba, 2007; Luna Rico et al., 2012; Ríos Cornejo et al., 2013; Serrano Notivoli, 2017). En cambio, el otoño presenta una tendencia prácticamente neutra en todas las regiones, siendo ligeramente positiva en las RG2 y RG3, y ligeramente negativa en la RG1 y RG4. Destaca el mes de septiembre con una tendencia claramente positiva en todas las regiones, siendo estadísticamente significativa en la RG1 y RG3. En la figura 126 se muestra un mapa de anomalías a nivel europeo en el mes de septiembre del periodo 1990-2019 con respecto al periodo 1971-2000. Se observan claramente positivas (+50%) en el sureste peninsular.

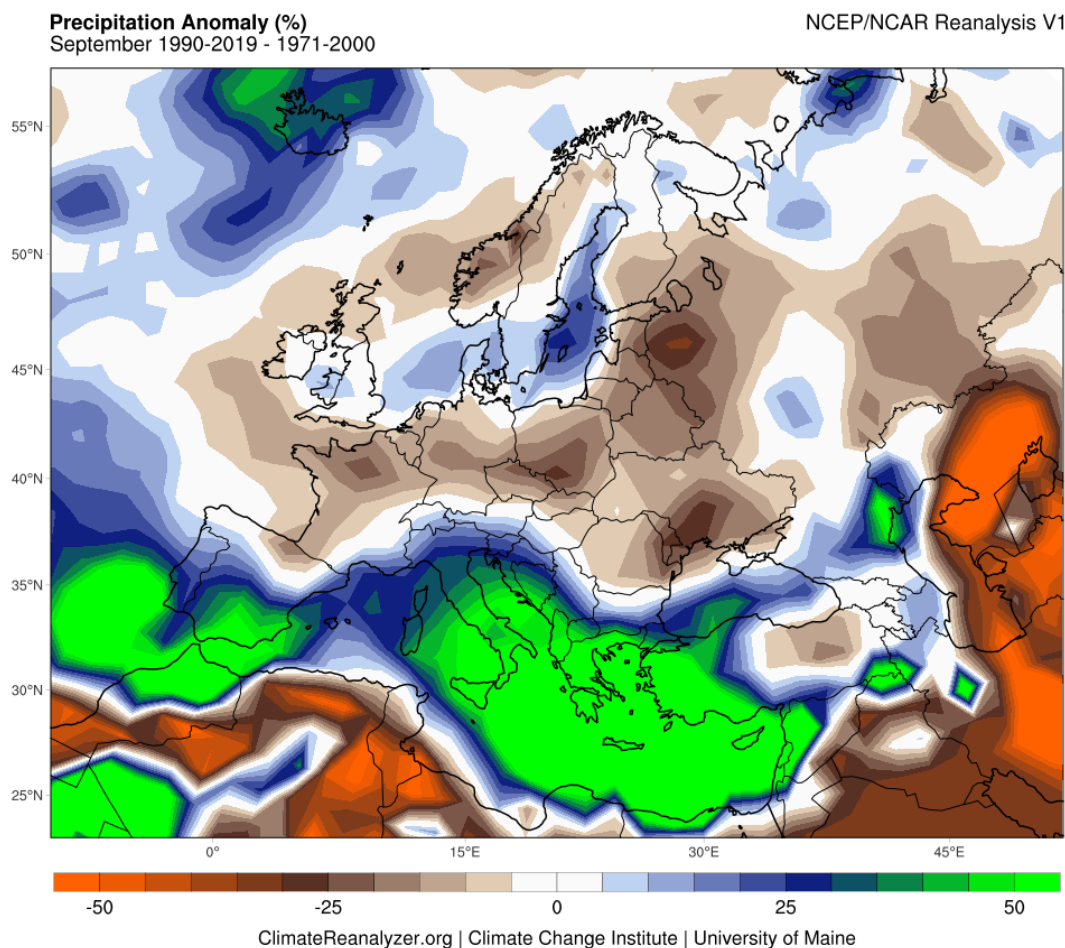


Figura 126. Anomalía de precipitación en el mes de septiembre durante el periodo 1990-2019 con respecto al periodo de referencia 1971-2000. Fuente: ClimateReanalyzer-University of Maine.

En las tres últimas décadas se vislumbra un aumento en la frecuencia de los eventos de lluvias torrenciales de origen mediterráneo en el área estudio, destacando los episodios de septiembre de 1997, 2009, 2012 y 2019 (Benhamrouche y Martín Vide, 2011; Romero Díaz et al., 2010; Gil Olcina, 2016a; Martí Talavera et al., 2020).

Por su parte, el invierno presenta una clara dicotomía entre la clara tendencia positiva mostrada por las RG1, RG3 y RG4, y la notable tendencia negativa de la RG2. En las cabeceras del Segura y Mundo el descenso está asociado a la marcada reducción de las precipitaciones de origen atlántico sobre todo en los meses de enero y febrero (Aguilar Alba, 2007; Luna Rico et al., 2012; Ríos Cornejo et al., 2013; Serrano Notivoli, 2017). La tendencia positiva exhibida en el resto de las regiones se concentra en el mes de diciembre.

Los diciembre de 2009 y 2016 son con diferencia los más húmedos en las series regionalizadas de las RG1 y RG3, siendo en la franja costera especialmente significativos los acumulados en el mes de diciembre de 2016 como consecuencia de un episodio de lluvia torrenciales de origen mediterráneo acontecido entre el 15-19 de diciembre de 2016 (Espín Sánchez et al., 2017). Las anomalías en el mes de diciembre durante la última década se exhiben en la figura 127.

Se ha seleccionado el periodo temporal 2009-2019 para poner en relieve la importante anomalía positiva existente en el sureste peninsular durante dicho lapso temporal con respecto al periodo 1981-2010, como consecuencia de los diciembre extremadamente húmedos de 2009 y 2016. Los acumulados durante ambos meses se dieron por génesis muy diferentes. Diciembre de 2009 estuvo marcado por la sucesiva entrada de frentes atlánticos muy activos por el golfo de Cádiz (Saura Martínez, 2010) que dejaron acumulados de precipitación muy notables en toda el área de estudio, siendo especialmente significativos en la RG2. Sin embargo, diciembre 2016 estuvo marcado por el episodio de lluvias torrenciales de origen mediterráneo del 15 al 19 de diciembre de 2016 (Espín et al., 2017). La conjunción de ambos episodios propicia que el sureste de la península ibérica sea la única zona de la península ibérica que presenta anomalías positivas en el mes de diciembre durante la última década (figura 127).

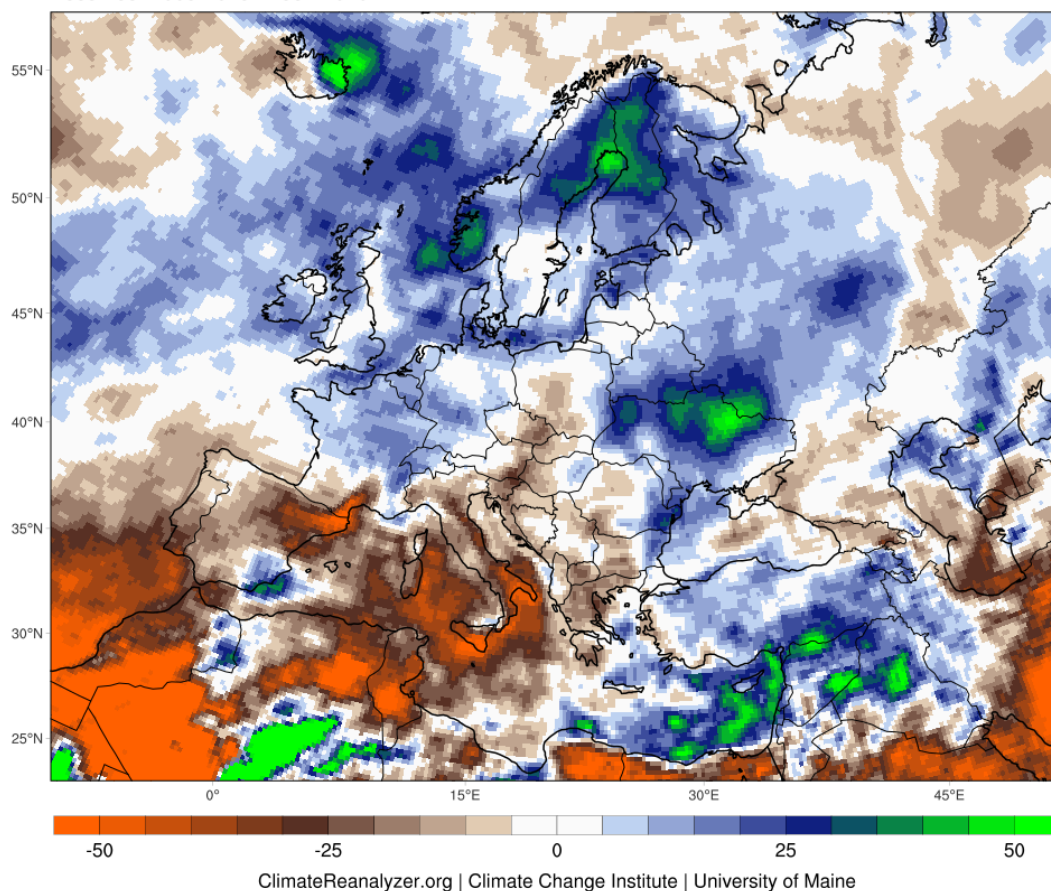


Figura 127. Anomalía de precipitación en el mes de diciembre durante el periodo 2009-2019 con respecto al periodo de referencia 1971-2000. Fuente: ClimateReanalyzer-University of Maine.

A continuación se lleva a cabo un análisis pormenorizado por regiones de las tendencias y variaciones de las precipitaciones en el periodo 1968-2017. En primer lugar, se exponen la evolución de las precipitaciones a escala anual y estacional. En segundo lugar, se hace referencia a la evolución de las precipitación a escala interanual mediante la utilización de una media móvil de 12 meses, ya que es la escala temporal utilizada en el análisis de las sequías (capítulo 5). Por último, se expone una comparativa de la evolución de las precipitaciones a escala anual, estacional y mensual en distintos periodos de referencia (1971-2000, 1981-2010 y 1991-2017), con el objetivo de estudiar variaciones en los patrones pluviométricos.

Las series regionalizadas de precipitación han sido obtenidas ponderando el peso porcentual de la superficie ocupada por cada una de las áreas de Thiessen (representan a las 92 series de precipitación mensual) ubicadas en cada región. En estos polígonos se



presupone que la precipitación es homogénea en todo el área (Thiessen, 1911; Alfonso Torreño y Schnabel, 2017). De este modo, se multiplica el peso porcentual de cada área por el valor de precipitación mensual de la serie correspondiente y se hace el sumatorio con las series de una región concreta para obtener el promedio. Así se consigue estimar un promedio mucho más realista que si se efectuará directamente la media aritmética sobre las series de precipitación sin tener en cuenta la superficie abarcada por cada uno de los polígonos de Thiessen. La media aritmética es el método más simple, pero únicamente es factible en áreas con escaso contraste topográfico y escasa variabilidad espacial de las precipitaciones (Ward y Robinson, 1990; Alfonso Torreño y Schnabel, 2017). La fórmula (figura 128) aplicada para calcular las series de precipitación regionalizadas mediante el método de los polígonos de Thiessen es la siguiente (Maderey Rascón, 2005):

$$P_{mm} = \left( P_1 \times \frac{S_1}{S} \right) + \left( P_2 \times \frac{S_2}{S} \right) + \dots + \left( P_n \times \frac{S_n}{S} \right)$$

Figura 128. Fórmula aplicada para el cálculo de las series de precipitación regionalizadas mediante el método de los polígonos de Thiessen. \*Donde Pmm es la precipitación media de la región; P1, P2.....es la precipitación registrada en cada pluviómetro; S1, S2, ..... el área de cada polígono de Thiessen y S el área total de la región. Fuente: Maderey Rascón, 2005.

#### 4.4.2.1. Región 1- Ríos de la margen derecha del Segura

En la figura 129 se expone la evolución de la precipitación a escala anual en el periodo 1968-2017. La tendencia es ligeramente descendente (-5,8 mm/década). Si se observa la evolución de las precipitaciones a escala estacional (figura 130) se vislumbra que la mayor parte del descenso se concentra en la primavera y el verano. Esto puede añadir una presión adicional sobre los cultivos de secano, aumentando el estrés hídrico en los meses más cálidos. En cambio durante el otoño la tendencia es prácticamente neutra, siendo el invierno la única estación donde la tendencia es positiva, gracias al mes de diciembre. En la figura 130 se exhibe como los inviernos de 2009 y 2016 fueron excepcionalmente húmedos, destacando holgadamente sobre el resto.

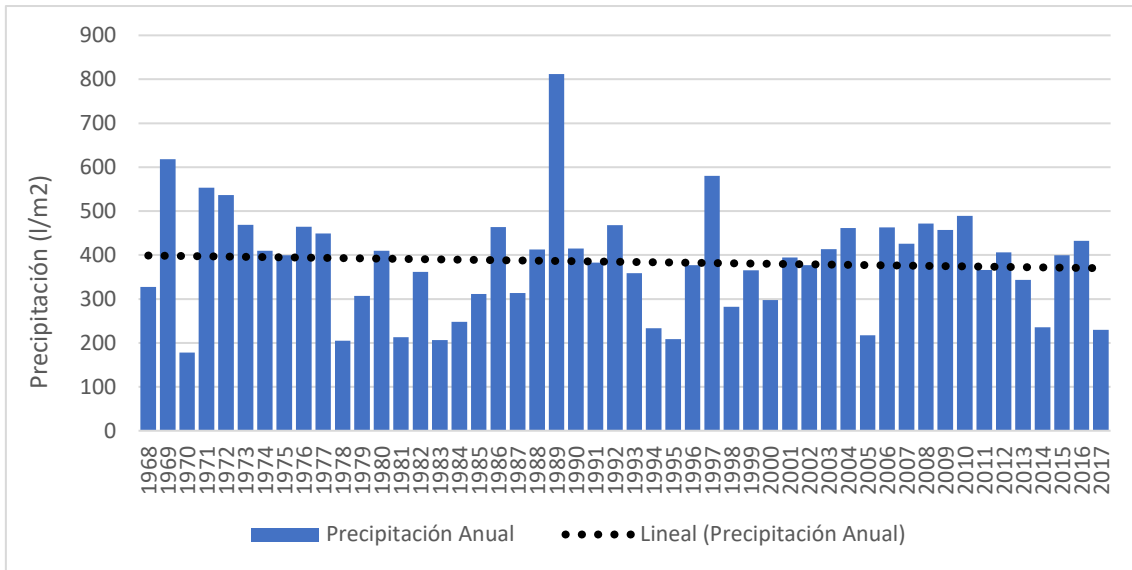


Figura 129. Evolución de la precipitación anual en la RG1 (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

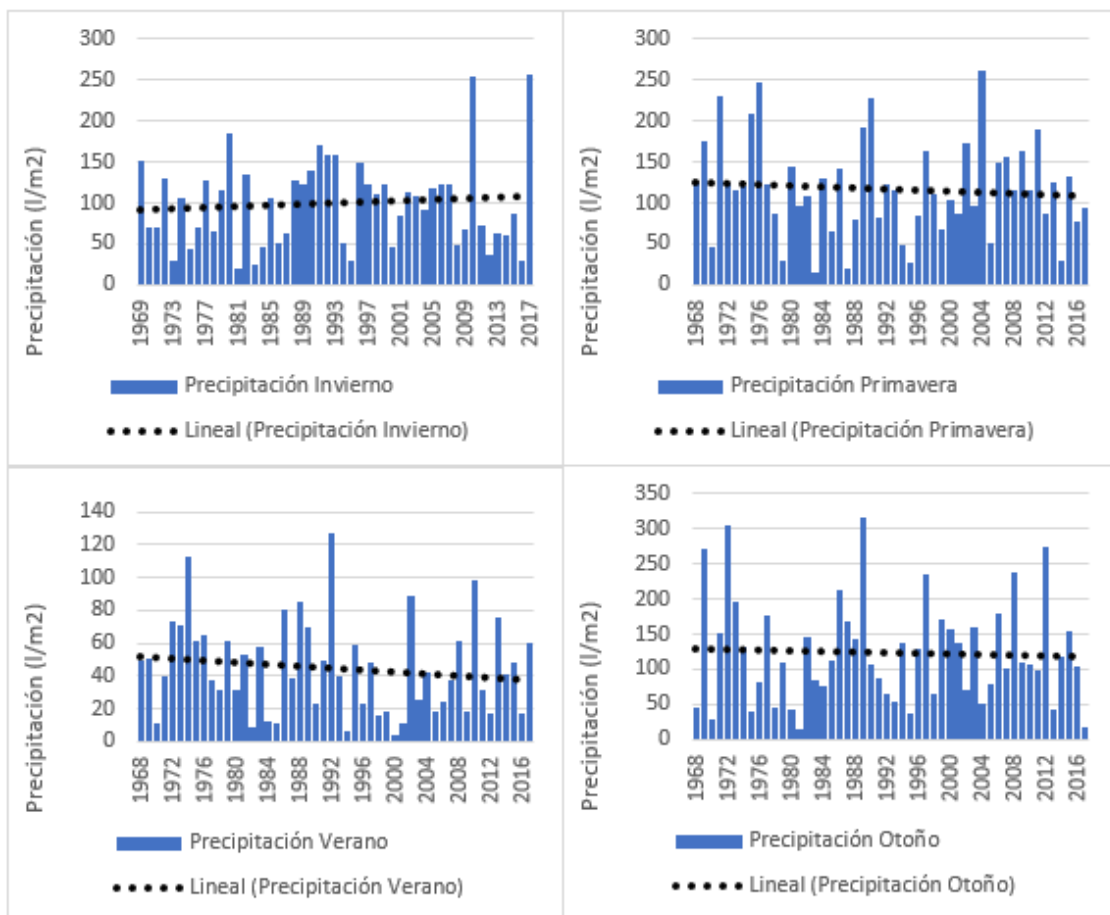


Figura 130. Evolución de la precipitación a escala estacional en la RG1 (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en la figura 131 se expone la evolución de las precipitaciones a escala interanual mediante la aplicación de una media móvil de 12 meses. Se observa como destaca el año 1989, con un pico máximo de 755,6 mm en el período febrero 1989-enero 1990. Este pico máximo también se exhibe en la RG1 y RG4, lo que denota que fue un año excepcionalmente húmedo en el sureste peninsular en el que predominaron los episodios pluviométricos de origen mediterráneo. Entre los periodos de sequía resalta el valor de 111,2 mm entre diciembre de 1982 y noviembre de 1983, enmarcado dentro de la sequía más duradera y de mayor magnitud registrada en esta región en los últimos 50 años. También destacan los mínimos registrados en las sequías ibéricas de 1970 y 1993-1995, en las cuales el periodo interanual móvil bajo de los 200 mm. Durante la sequía surestina de 2013-2014, también se rebasó esta cifra, aunque la magnitud fue bastante menor que la registrada en la RG4.

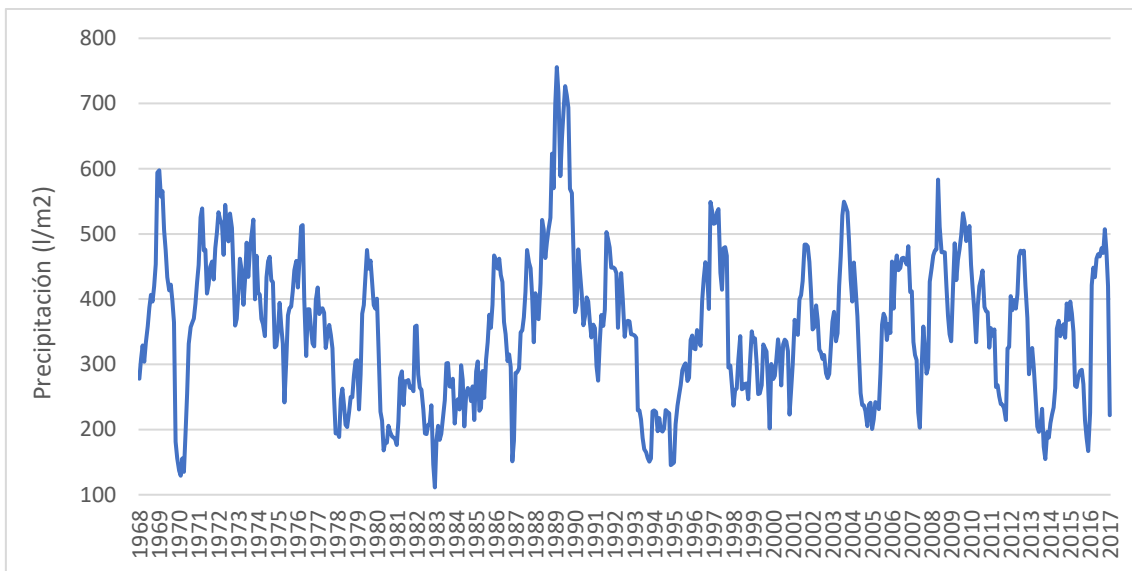


Figura 131. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses en la RG1 (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

En las tablas 42 y 43 se expone la evolución de las precipitaciones en diferentes periodos de referencia (en rojo se resaltan los valores máximos a escala estacional y mensual). Se observa cómo se van reduciendo las diferencias entre los valores promedios registrados durante el otoño, invierno y primavera. A escala anual la media está prácticamente estabilizada. Con respecto a la escala mensual, se exhibe como se produce un traslado del mes más húmedo entre octubre y septiembre, el cual pasa a ser el mes más húmedo en el periodo de referencia 1991-2017. Además mayo y octubre son los meses que sufren un mayor descenso de las precipitaciones. La acusada reducción durante el mes de mayo está



asociada a un descenso de las tormentas durante este mes, al igual que ocurre en los meses de junio y julio. En el caso de octubre, se observa una reducción de los episodios de lluvias torrenciales de origen mediterráneo en comparación con lo observado en las décadas de 1970 y 1980. Por su parte, marzo y diciembre son los que experimentan un mayor ascenso, sobre todo debido a una mayor frecuencia de episodios de origen mediterráneo, pasando a ser el segundo y tercer mes más húmedo respectivamente.

Período	INV	PRI	VER	OTO	ANUAL
1971-2000	95,8	114,3	47,2	<b>126,6</b>	383,8
1981-2010	103,5	111,9	41,6	<b>124,9</b>	381,9
1991-2017	104,5	112,1	41,0	<b>117,8</b>	375,5

Tabla 42. Evolución de las precipitaciones en diferentes períodos de referencia en la RG1 a escala anual y estacional. Fuente: Elaboración propia.

Período	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971-2000	29,4	35,7	34,3	36,0	44,0	25,2	8,7	13,2	34,7	<b>49,6</b>	42,3	30,6
1981-2010	31,2	36,8	35,9	33,6	42,3	23,1	4,8	13,7	37,5	<b>43,8</b>	43,6	35,5
1991-2017	31,1	33,4	40,8	34,5	36,8	21,4	3,2	16,5	<b>41,2</b>	38,0	38,6	40,1

Tabla 43. Evolución de las precipitaciones en diferentes períodos de referencia en la RG1 a escala mensual. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.2.2. Región 2- Cabeceras de los ríos Segura y Mundo

La RG2 es la región que presenta una mayor reducción de las precipitaciones a escala anual (figura 132) en los últimos 50 años (-22 mm/década), sobre todo ligada a la reducción de las precipitaciones de origen atlántico a partir de la década de 1970 (Aguilar Alba, 2007). Este descenso genera un grave impacto sobre los recursos hídricos, ya que de las precipitaciones de esta área dependen las reservas hídricas de los grandes embalses de cabecera del Segura.

A escala estacional (figura 133), el descenso más acusado se encuentra durante el estío (-9,9 mm/década), siendo la única estación donde la tendencia negativa es estadísticamente significativa. La primavera y el invierno también presentan una tendencia claramente negativa aunque no tan acusada como durante el verano, en ese caso como consecuencia sobre todo del descenso de las precipitaciones atlántico. No obstante, en ambas estaciones se vislumbra un aumento de los episodios de lluvias torrenciales ya que en las últimas se han superado sus respectivos récords (invierno de 2009/2010 con 760 mm y la primavera de 2013 con 436,3 mm). El otoño se presenta como la única estación que exhibe una

tendencia ligeramente ascendente, como consecuencia del incremento de las precipitaciones de origen convectivo y mediterráneo. El otoño de 2012 fue el más húmedo en los últimos 50 años con una precipitación media de 436,6 mm.

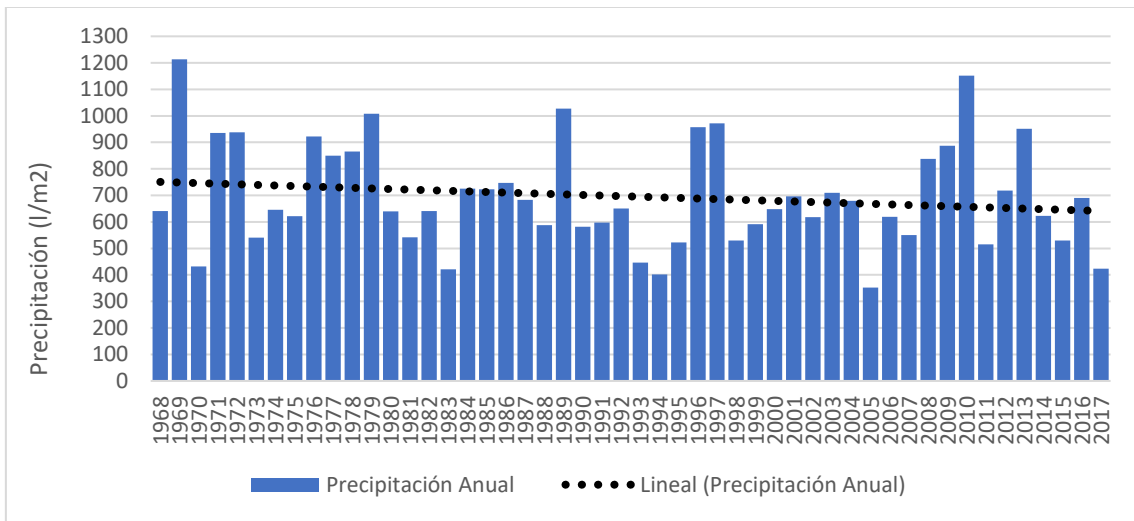


Figura 132. Evolución de la precipitación anual en la RG2 (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

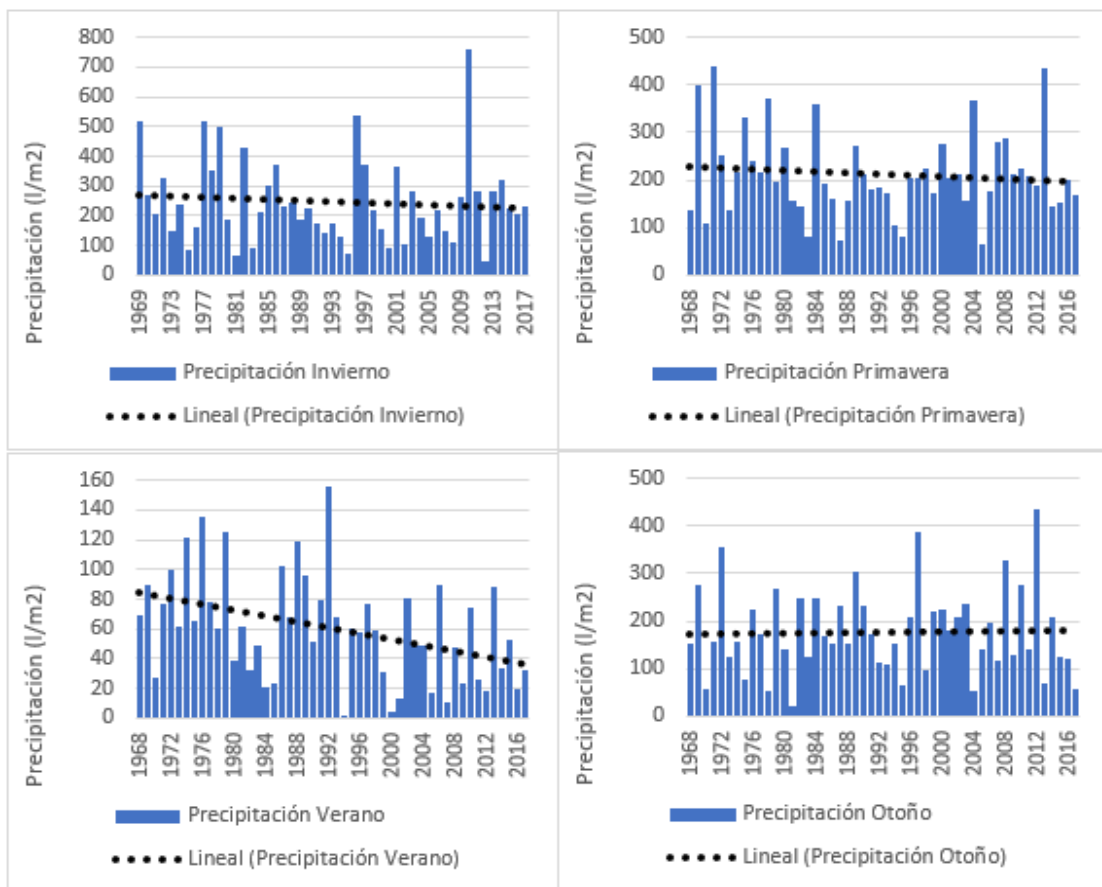


Figura 133. Evolución de la precipitación a escala estacional en la RG2 (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la evolución de las precipitaciones a escala interanual (figura 134) cabe destacar que existe una elevada variabilidad interanual. Entre los periodos interanuales más húmedos destacan los periodos 1968-1969 y 2009-2010 donde se superan los 1300 mm de media. En referencia a los ciclos de sequías, los periodos de sequía 1993-1995 y 2005 los dos únicos en los que la precipitación media en el periodo móvil de 12 meses desciende de 300 mm, coincidiendo con dos episodios de sequía ibérica muy intensos. Asimismo, se observa una intensificación de los extremos pluviométricos.

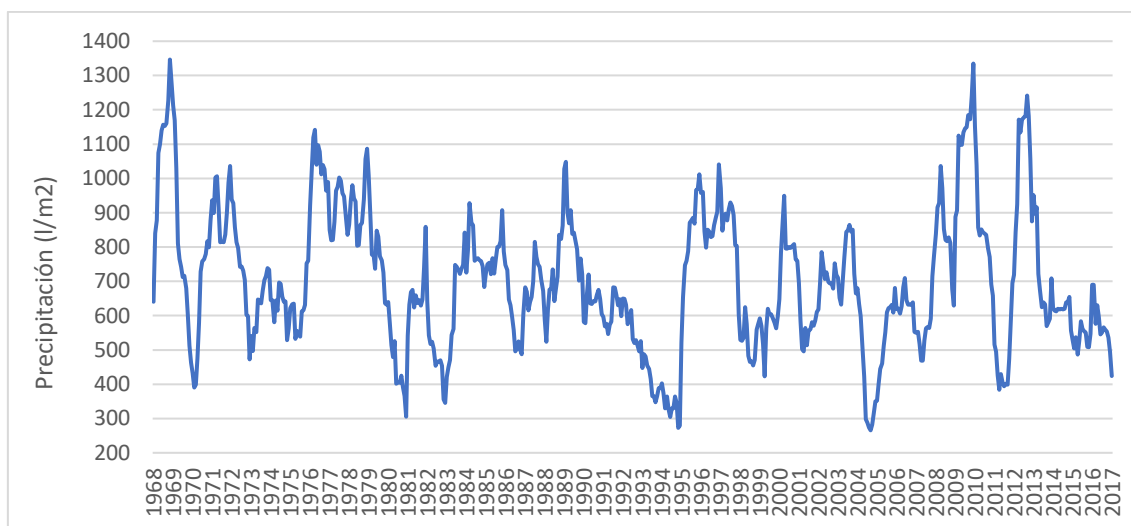


Figura 134. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses en la RG2 (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

En las tablas 44 y 45 se muestra la evolución de las precipitaciones en diferentes periodos de referencia (en rojo se resaltan los valores máximos a escala estacional y mensual). Se observa como a escala anual se produce un acusado descenso (30 mm) entre los periodos de referencia 1971-2000 y 1981-2010. En el último periodo de referencia se ralentiza dicho descenso. El invierno es la estación más húmeda con diferencia aunque la distancia se ha acortado con la primavera y el otoño. El verano es la estación que experimenta un descenso más acusado. A escala mensual destacan los notables descensos en los meses de mayo, junio y julio debido al descenso de los fenómenos terconvectivos. Diciembre es el mes más húmedo con diferencia

Período	INV	PRI	VER	OTO	ANUAL
1971-2000	<b>241,0</b>	209,4	69,4	179,0	698,7
1981-2010	<b>237,5</b>	193,4	55,7	183,3	668,8
1991-2017	<b>232,7</b>	203,6	48,7	176,9	661,8

Tabla 44. Evolución de las precipitaciones en diferentes periodos de referencia en la RG2 a escala anual y estacional. Fuente: Elaboración propia.

Período	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971-2000	68,2	80,8	60,7	72,8	75,9	36,0	13,7	19,6	38,1	63,2	77,7	92,0
1981-2010	65,8	73,0	59,2	67,7	66,5	31,5	8,2	15,9	40,9	64,0	78,4	98,8
1991-2017	69,4	71,7	75,0	67,4	61,2	26,7	5,2	16,9	43,0	62,7	71,2	91,6

Tabla 45. Evolución de las precipitaciones en diferentes períodos de referencia en la RG2 a escala mensual. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.2.3. Región 3- Nororiental y Ríos de la margen izquierda del Segura

La RG3 al igual que ocurre en la RG1 presentan una tendencia de precipitación a escala anual (figura 135) prácticamente neutra (-5,9 mm/década). Ambas son áreas de transición entre la RG2 donde las precipitaciones de origen atlántico tienen un elevado peso, y la RG4 en la cual las precipitaciones de origen mediterráneo representan la mayor del peso porcentual de la precipitación anual. De este modo, las RG3 y RG1 no presentan una gran dependencia de un único tipo de precipitación, aunque las precipitaciones de origen mediterráneo representen entre un 50-65% del cómputo total en función de las distintas áreas de estas regiones. Esto sin duda, es un factor favorable para ambas regiones, lo que se refleja claramente en la evolución de las precipitaciones.

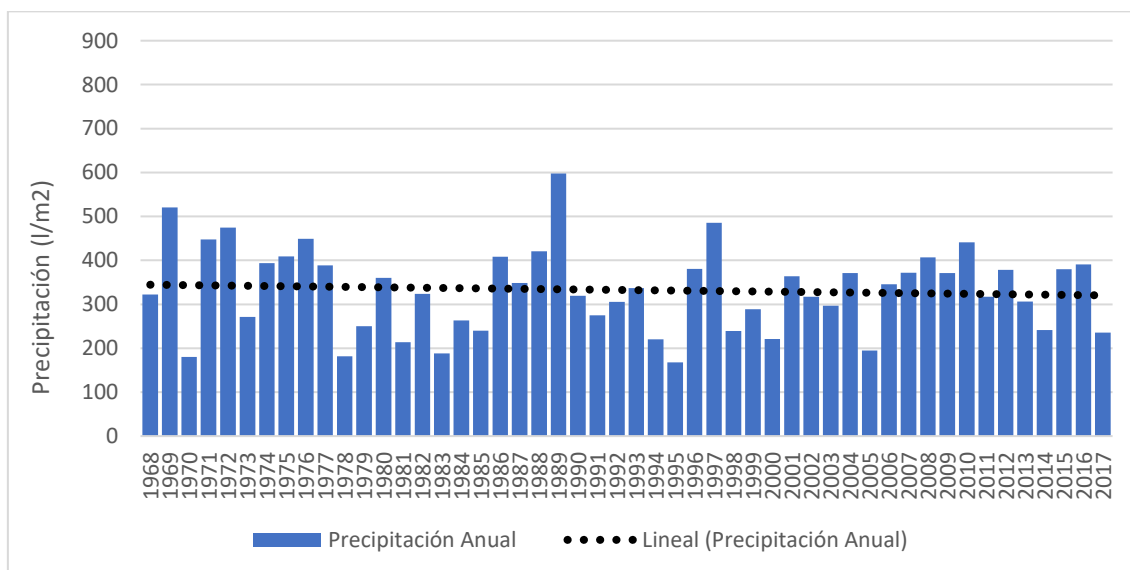


Figura 135. Evolución de la precipitación anual en la RG3 (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

En lo referido a la evolución de las precipitaciones a escala estacional (figura 136) cabe destacar que es prácticamente neutra en todas las estaciones, excepto en el verano (-6,8 mm/década), donde se exhibe una tendencia negativa con significancia estadística. Esta notable reducción es consecuencia del descenso acusado de las tormentas durante el

verano, el cual según Miró et al. (2018), es muy destacado en esta área. El mes de junio (-5.6 mm) presenta una tendencia claramente negativa con significación estadística. El invierno es la única estación que presenta una tendencia claramente positiva, la cual se concentra fundamentalmente en el mes de diciembre.

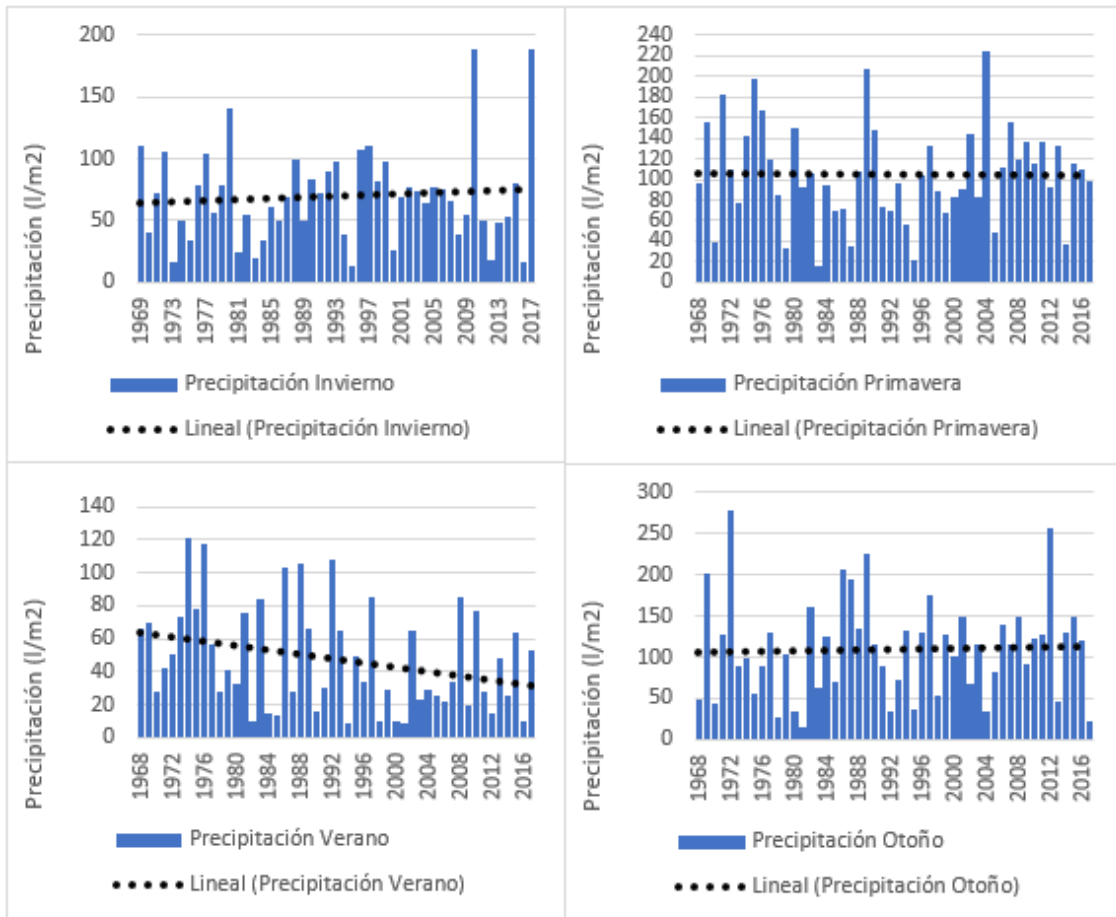


Figura 136. Evolución de la precipitación a escala estacional en la RG3 (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la evolución de las precipitaciones a escala interanual (figura 137), entre los ciclos húmedos hay que destacar el período febrero 1989-enero 1990 con 614,2 mm, siendo lapso temporal excepcionalmente húmedo al igual que ocurre en las RG1 y RG4. Con respecto a los periodos de sequía resalta sobre los demás el período diciembre 1994-noviembre 1995 con 121,6 mm, enmarcado dentro de la sequía ibérica de 1993-1995. Asimismo, cabe destacar que durante el periodo de sequía 2013-2016 la reducción de las precipitaciones no fue tan marcada como en las RG1 y RG4.

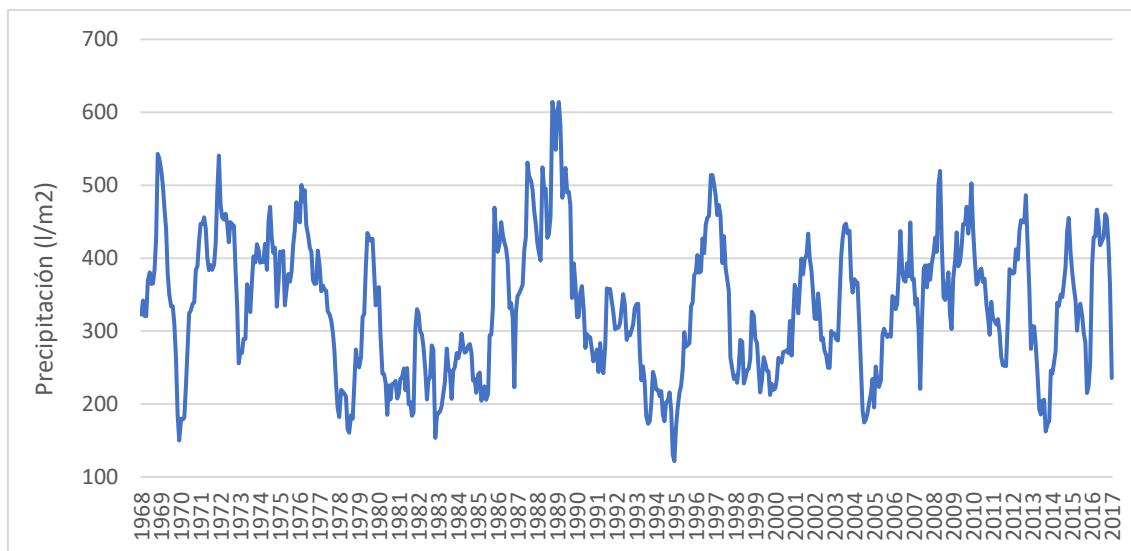


Figura 137. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses en la RG3 (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en las tablas 46 y 47 se expone la evolución de las precipitaciones en diferentes periodos de referencia (en rojo se resaltan los valores máximos a escala estacional y mensual). Se observa como la precipitación media anual apenas varía en los distintos períodos de referencia. El otoño es la estación más húmeda, pero con una diferencia muy exigua con respecto a la primavera. El verano presenta un descenso muy acusado entre los distintos periodos de referencia. En lo referido a la escala mensual, al igual que ocurre en la RG1, en el último período de referencia se produce un traslado del máximo mensual desde octubre hasta septiembre. Los meses de marzo y diciembre experimentan un notable incremento, mientras que mayo, junio, julio y octubre presentan un acusado descenso.

Período	INV	PRI	VER	OTO	ANUAL
1971-2000	67,7	100,6	54,3	<b>110,1</b>	332,7
1981-2010	69,2	98,7	43,9	<b>110,5</b>	322,3
1991-2017	73,1	101,7	39,2	<b>106,4</b>	320,5

Tabla 46. Evolución de las precipitaciones en diferentes períodos de referencia en la RG3 a escala anual y estacional. Fuente: Elaboración propia.

Período	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971-2000	19,6	25,4	28,5	34,2	38,0	29,3	10,6	14,3	33,0	<b>42,0</b>	35,1	22,6
1981-2010	18,4	25,3	28,2	32,8	37,7	23,8	6,9	13,2	36,0	<b>39,1</b>	35,4	25,5
1991-2017	19,2	22,9	34,3	34,1	33,4	19,8	5,0	14,5	<b>37,8</b>	33,5	35,1	31,1

Tabla 47. Evolución de las precipitaciones en diferentes períodos de referencia en la RG3 a escala mensual. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.2.4. Región 4- Franja costera y valles prelitorales

La RG4 que es la región que presenta una precipitación media más exigua, con una media 282 mm en el periodo de referencia 1981-2010. En los últimos 50 años la precipitación a escala anual (figura 138) exhibe una tendencia claramente negativa (-10 mm/década), lo cual acrecienta las condiciones de aridez de este territorio, que presenta una fuerte dependencia de recursos hídricos externos a esta región, ya que en ella se concentran la mayor parte de la población y de las actividades económicas. Gran parte de la superficie de regadío del área de estudio se encuadra en esta región.

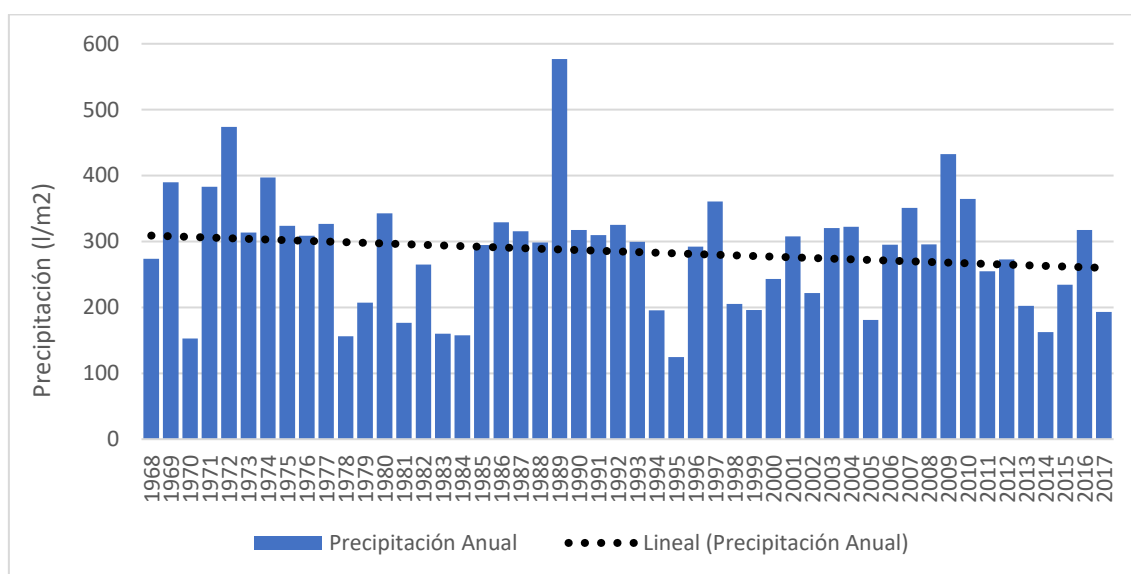


Figura 138. Evolución de la precipitación anual en la RG4 (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

A escala estacional (figura 139) todas las estaciones presentan una tendencia negativa, excepto el invierno. El invierno 2016/2017 es con diferencia el invierno más húmedo de la serie con más de 250 mm de media. En el invierno, la tendencia es positiva como consecuencia del ya mencionado incremento de los episodios de lluvias torrenciales de origen mediterráneo como consecuencia del reforzamiento del anticiclón centroeuropeo. En el verano se observa una clara intensificación de los extremos pluviométricos. Con respecto a la evolución de la precipitación a escala interanual (figura 140), entre los ciclos húmedos resalta al igual que la RG1 y RG3 el año 1989 con 576,7 mm. Con respecto a los periodos de sequía, en varios periodos interanual móviles se han rozado o rebajado los 100 mm en el periodo interanual, hecho que evidencia la elevada severidad de las sequías surestinas en esta región, muchas de las cuales se manifiestan justo después de las sequías ibéricas, por lo que las consecuencias territoriales son mayores. Los periodos

de sequía más destacados son los siguientes: 114,8 mm (diciembre 1969-noviembre 1970); 97,1 mm (noviembre 1982-octubre 1983); 105,6 mm (diciembre 1994-noviembre 1995); 88,2 mm (septiembre 2013-agosto 2014).

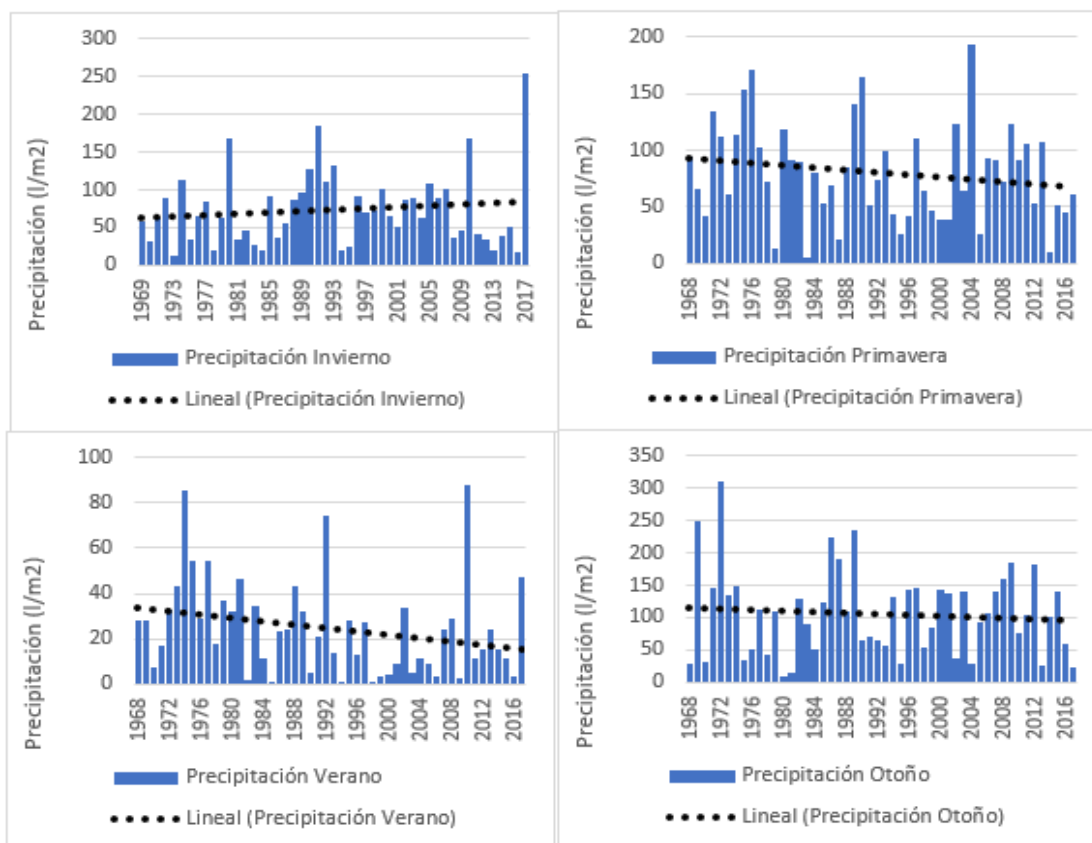


Figura 139. Evolución de la precipitación a escala estacional en la RG4 (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

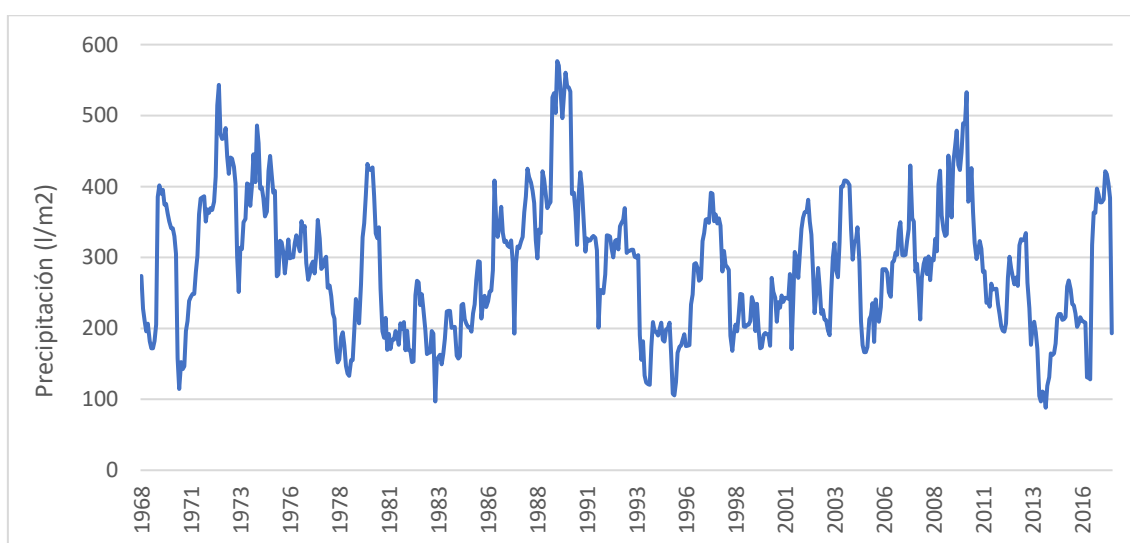


Figura 140. Evolución de la precipitación a partir de una media móvil de 12 meses en la RG4 (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.



Por último, en las tablas 48 y 49 se expone la evolución de las precipitaciones a escala anual, estacional y mensual en diferentes periodos de referencia (en rojo se resaltan los valores máximos a escala estacional y mensual). A escala anual, se observa un descenso continuo en los tres periodos de referencia analizados pasando de 289,2 mm a 269,7 mm, lo cual acentúa más si cabe las condiciones de aridez de esta región. A escala estacional, se produce un descenso continuo en todas las estaciones, excepto durante el invierno que presenta un incremento progresivo de la precipitación media. Este aumento, se debe sobre todo al incremento paulatino de la precipitación media durante el mes de diciembre.

Con respecto a la escala mensual, se observa el mismo patrón que en las RG1 y RG3, con respecto al traslado del máximo de precipitación desde octubre hasta septiembre. En las décadas de 1970 y 1980 dos episodios de lluvias torrenciales muy notables en esta región, en octubre de 1973 (Gil Olcina, 2016a) y octubre de 1982 (López Bermúdez y Gutiérrez Escudero, 1983). En cambio en las últimas tres décadas se observa una mayor frecuencia de estos episodios de lluvias torrenciales en el mes de septiembre (Benhamrouche y Martín Vide, 2011; Romero Díaz et al., 2010; Gil Olcina, 2016a; Martí Talavera et al., 2020). En septiembre de 2019, se registraron 420,6 mm en 24 horas en Orihuela el día 12 de septiembre, superándose de esta forma el récord de precipitación máxima en 24 horas en el área de estudio (Martí Talavera et al., 2020). Los meses de mayo y octubre son los que sufren un mayor descenso en su precipitación media.

Período	INV	PRI	VER	OTO	ANUAL
1971-2000	72.1	81.6	27.1	<b>108.4</b>	289.2
1981-2010	77.3	76.5	20.1	<b>108.1</b>	282
1991-2017	79.4	72.0	19.6	<b>98.6</b>	269.7

Tabla 48. Evolución de las precipitaciones en diferentes periodos de referencia en la RG4 a escala anual y estacional. Fuente: Elaboración propia.

Período	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971-2000	24.3	25.9	26.4	27.4	27.7	14.7	4.6	7.8	29.5	<b>46.7</b>	32.2	21.9
1981-2010	27.1	26.2	25.3	25.7	25.5	11.8	1.6	6.7	34.8	<b>38.2</b>	35.2	24.0
1991-2017	27.5	21.9	27.3	24.2	20.5	10.6	1.2	7.9	<b>36.6</b>	29.9	32.2	29.9

Tabla 49 . Evolución de las precipitaciones en diferentes periodos de referencia en la RG4 a escala mensual. Fuente: Elaboración propia.

#### **4.5. Distribución espacial de las variaciones de precipitación a escala mensual (periodo 1968-2017)**

El objetivo de este subapartado es analizar la existencia de patrones espaciales en las variaciones de precipitación a escala mensual durante el período 1968-2017. Para ello, se procede a examinar la distribución espacial de las tendencias de las precipitaciones (mm/década) a escala anual, estacional y mensual. De esta forma se han obtenido un total de diecisiete mapas a partir de los registros obtenidos del análisis de las tendencias en las 92 series de precipitación mensual. La técnica de interpolación espacial es “Kriging Ordinario” con un modelo de semivariograma esférico. La resolución espacial de los mapas es de 100X100 metros. Los mapas han sido realizados con el software “ArcGIS”. Además, en aquellos lapsos temporales que presenten puntos con tendencias significativamente estadísticas se exhiben mapas mostrando la distribución espacial del signo de la tendencia (significativa (+), positiva (+), negativa (-) y significativa negativa (-)). En los lapsos temporales que no presentan significación estadística en ningún punto de observación no se realizan dichos mapas.

A escala estacional, la primavera y el verano presentan algunos puntos donde la tendencia es negativa significación estadística. A escala mensual, hay cinco meses que exhiben puntos que registran tendencias negativas con significación estadística: mayo, junio, julio, agosto y octubre. Precisamente coinciden con el lapo temporal más cálido del año, lo cual acrecienta el estrés hídrico durante estos meses. Además, a este hecho hay que sumar el impacto del incremento de la temperatura media desde la segunda mitad del S.XX. En el periodo 1961-2014 se observa un incremento de 0,7°C en la temperatura media anual en la Región de Murcia, pasando de 16,3°C a 17°C (Garrido Abenza et al., 2015). En el capítulo 5 se analiza el impacto del incremento de las temperaturas sobre las sequías. Septiembre es el único mes donde se registran puntos de observación con tendencia positiva con significación estadística.

En el mapa de distribución espacial de las variaciones de precipitación a escala anual (figura 141). Se observa como la mayor parte del territorio presenta una tendencia negativa. Los descensos más acusados se localizan en los territorios correspondiente con las RG2 y RG4 obtenidas en el proceso de regionalización, es decir en la zona de la cabecera del Segura y Mundo, y en la franja costera. En estas regiones hay zonas donde la reducción es inferior a los -20 mm/década. Las áreas que muestran esta reducción tan

acusada son zonas que presentan una elevada dependencia en el cómputo anual de precipitaciones de un único tipo de precipitación. En el caso de la cabecera del Segura de las precipitaciones de origen atlántico y en el caso de la franja costera de las precipitaciones de origen mediterráneo.

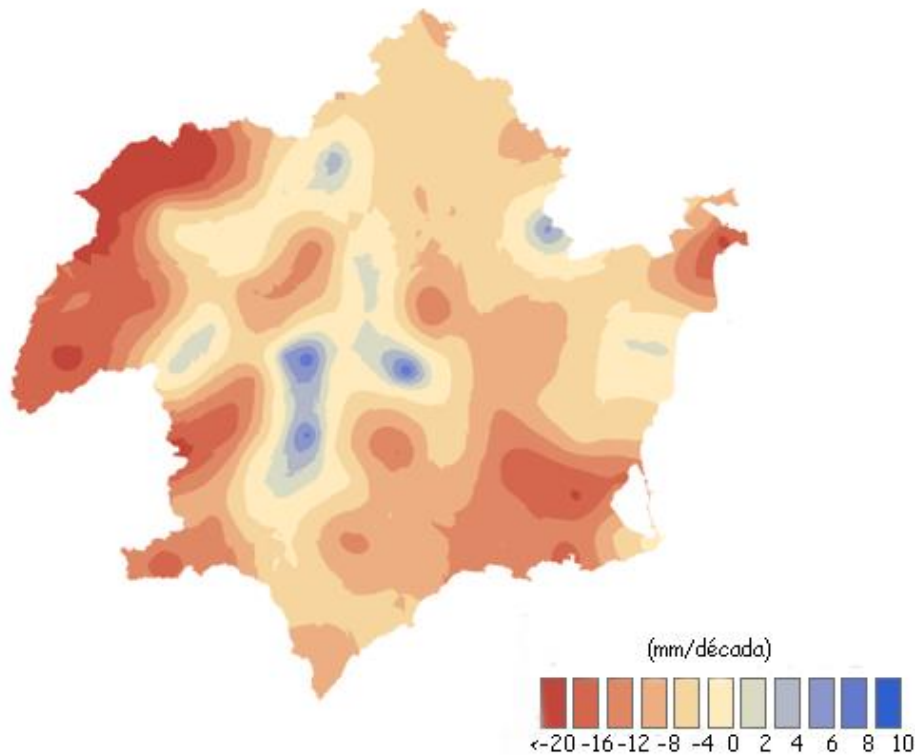


Figura 141. Distribución espacial de las tendencias de precipitación (mm/década) a escala anual para el periodo 1968-2017. Fuente: Elaboración propia.

En las cabeceras del Segura y Mundo los descensos más acusados se concentran en su extremo norte ya que es la zona más expuesta a los frentes atlánticos. Además esa zona es el territorio que menos exposición tiene a los vientos de levante del área de estudio. Por su parte, en la franja costera las comarcas del Campo de Cartagena y Campo de Alicante, son las que sufren una reducción más notable de las precipitaciones, debido a que presentan una elevada dependencia de los episodios pluviométricos de origen mediterráneo, acumulándose la mayor parte de las precipitación anual en muy pocos días. En estas áreas, los frentes atlánticos llegan muy debilitados y las precipitaciones de origen convectivo tienen muy poca relevancia. Ambas comarcas se encuentran densamente pobladas y la demanda de agua es muy elevada (sobre todo por las actividades agrícolas y turísticas). En ambas comarcas, las series de Alicante y Cartagena Puerto presentan una

tendencia negativa con significación estadística (figura 142). Además en la parte occidental del área de estudio, también presentan una tendencia negativa estadísticamente significativa las series de Bogarra y Caravaca Los Royos.

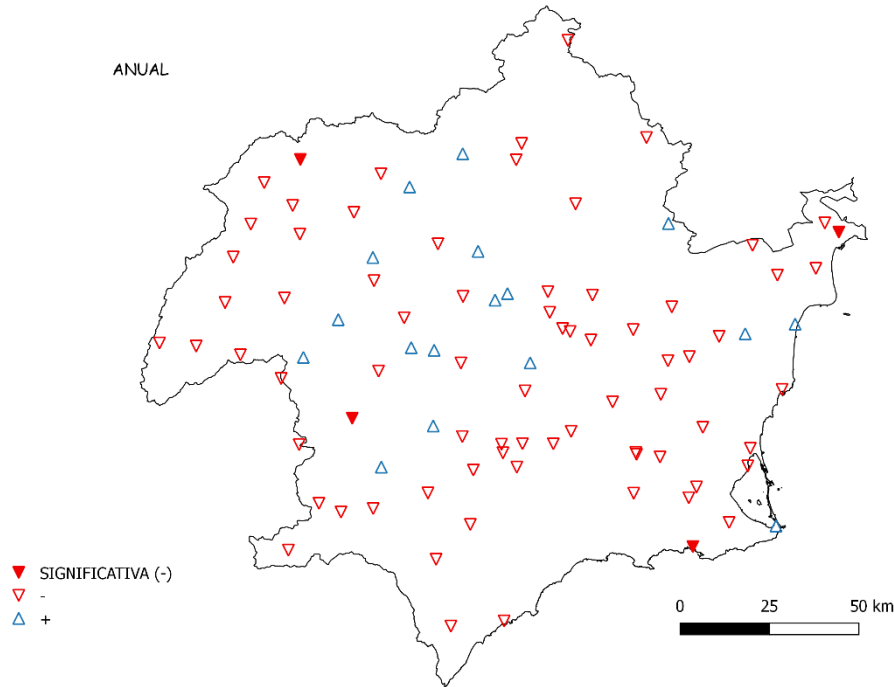


Figura 142. Signo de la tendencia de precipitación a escala anual para el periodo 1968-2017. Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, en áreas muy reducidas del interior de las RG1 y RG3 se registran tendencias ligeramente positivas (figura 142). Se trata de zonas de valles interiores con altitudes superiores a los 400-500 m s. n. m. que se encuentran muy expuestas a los vientos de levante de gran recorrido marítimo. En estos valles los episodios pluviométricos de origen mediterráneo se suelen caracterizar por la persistencia de las precipitaciones en vez de por su torrencialidad, lo cual es un aspecto muy positivo para la recarga de acuíferos. Estas tendencias positivas se concentran sobre todo en los valles de las cuencas de los ríos de la margen derecha del Segura (RG1), destacando las áreas más expuestas al levante de las cuencas de los ríos Argos, Quípar, Mula y Alhárabe. Además en estas zonas, las precipitaciones representan en torno a un 60-65%, y en un 35-40% se corresponde con precipitaciones de origen atlántico y convectivo. La conjunción de estos tipos de precipitación en estos valles interiores, junto el incremento observado de las precipitaciones de origen mediterráneo (Miró Pérez et al., 2018), permiten que estos

territorios muy localizados sean de las pocas áreas de la península ibérica que presentan una tendencia positiva en las precipitaciones en las últimas décadas. En las cuencas de la margen izquierda del Segura (RG3) destacan las áreas de valle muy localizadas en las zonas de Tobarra- Hellín y Pinoso, como las únicas que presentan una tendencia ligeramente positiva. En estas zonas de valle, se está produciendo en los últimos años, una intensificación de las actividades agrícolas con la expansión de cultivos de regadío permanente y regadío temporal (sobre todo frutales), lo que puede afectar al buen estado de las masas de agua subterráneas, así como problemas de contaminación de los acuíferos.

Con respecto a la distribución espacial de las variaciones de precipitación a escala estacional (figura 143), se exhiben comportamientos muy diferenciados entre las diferentes estaciones. El otoño presenta un notable contraste entre la mitad norte (tendencia ligeramente positiva) y la mitad sur donde la tendencia es ligeramente negativa. El descenso es más acusado en la franja costera sur y en la comarca de Los Vélez (entre -4 y -8 mm/década). El incremento en la mitad norte se debe todo al notable incremento de las precipitaciones de origen convectivo durante este lapso temporal (Miró Pérez et al., 2018), siendo este más notable en el extremo norte.

El invierno es la única que exhibe una tendencia positiva en casi toda el área de estudio, con la excepción de las cabeceras del Segura y Mundo, y una ínfima parte de la comarca del campo de Alicante. El incremento de las precipitaciones está provocado por un aumento de las precipitaciones de origen mediterráneo durante esta estación debido a que el fortalecimiento del anticiclón centroeuropeo favorece la entrada de vientos de levante de gran recorrido marítimo, sobre todo durante el mes de diciembre. Debido a este hecho, los relieves centrales (sierra Espuña, Pedro Ponce, Cambrón y Burete), son los que presentan un mayor aumento de las precipitaciones (8-10 mm/década). La zona de las Cabeceras del Segura y Mundo, es la única región que presenta una tendencia descendente destacada, debido a la notable reducción de las precipitaciones de origen atlántico. No obstante en ningún observatorio de esta región la tendencia es estadísticamente significativa.

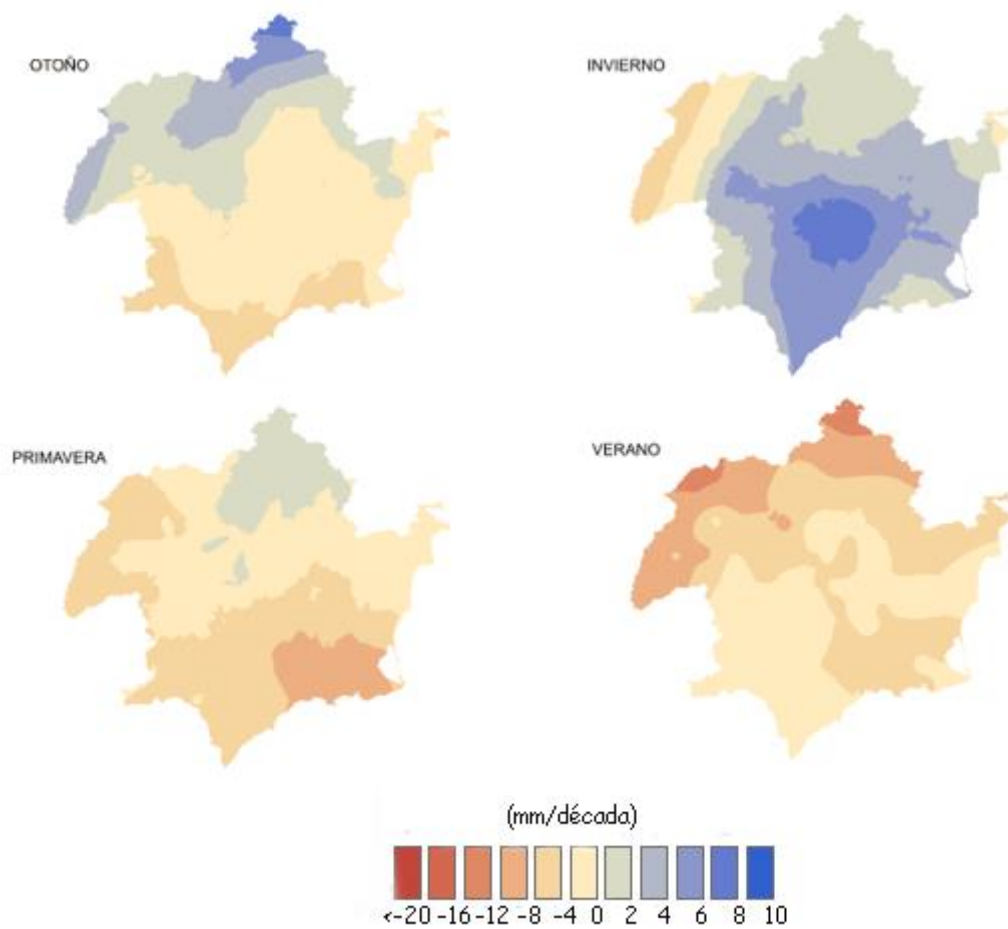


Figura 143. Distribución espacial de las tendencias de precipitación (mm/década) a escala estacional para el periodo 1968-2017. Fuente: Elaboración propia.

En la primavera y el verano (figuras 144 y 145), predominan las tendencias negativas en gran parte del área de estudio, sobre todo ligadas al acusado descenso de las precipitaciones convectivas durante el periodo cálido, siendo más destacado entre abril y julio (Miró Pérez et al., 2018). Durante estos meses la mayor parte de las precipitaciones tienen su origen en las procesos convectivos que dan lugar a tormentas sobre todo en los meses de mayo, junio y julio, que son precisamente los meses en los que registra un mayor descenso de precipitación. En relación con la primavera, el extremo nororiental es la única región que presenta un ligero incremento (0-2 mm/década) de las precipitaciones, el cual está totalmente ligado al aumento de las precipitaciones durante el mes de marzo. En el resto de área de estudio la tendencia es negativa, siendo el Campo de Cartagena el área donde se produce un descenso más acusado. De hecho, en esta comarca se concentran varios puntos de observación donde la tendencia presenta significación estadística (figura 144). Con respecto al verano, cabe destacar que la tendencia es descendente en toda el

área de estudio, con la excepción de dos observatorios situados en torno a la sierras de Espuña, Cambrón y Pedro Ponce (Lorca Zarzadilla de Totana y Lorca Avilés). La reducción de las precipitaciones es muy acusada en el extremo norte, con zonas con tendencias inferiores a los -20 mm/década. En estas zonas las tormentas durante en el estío presentan una marcada importancia. Tanto en esta región, como en la franja costera son predominantes los observatorios con descensos estadísticamente significativos (figura 145).

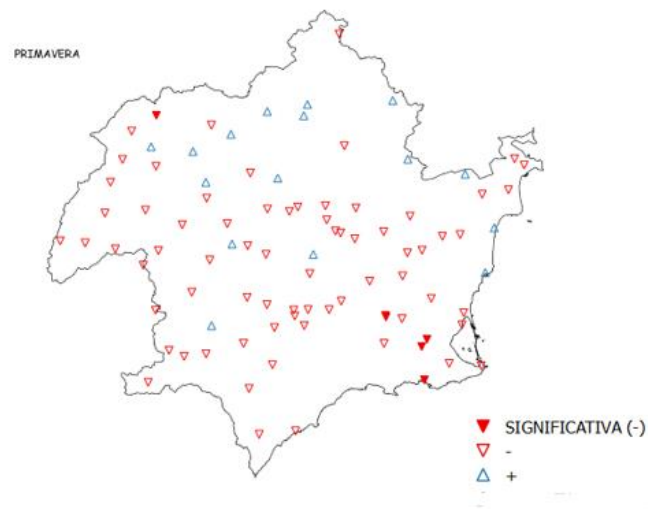


Figura 144. Signo de la tendencia de precipitación durante la primavera para el periodo 1968-2017. Fuente: Elaboración propia.

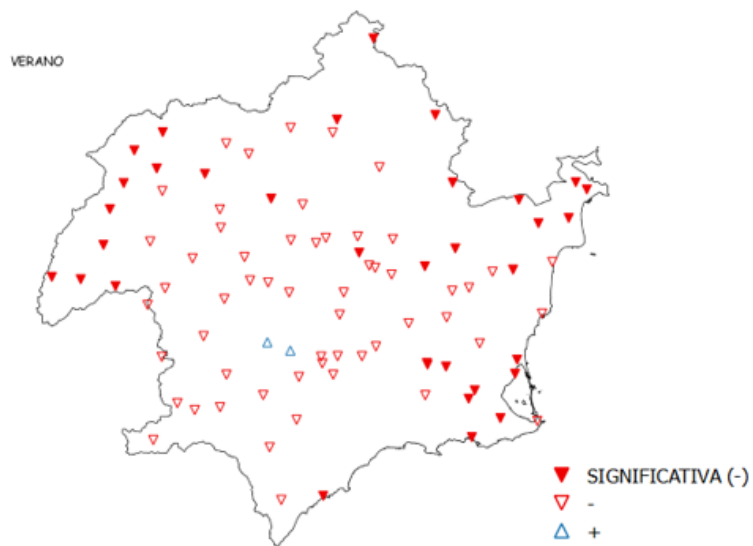


Figura 145. Signo de la tendencia de precipitación durante el verano para el periodo 1968-2017. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a las variaciones a escala mensual, en la figura 146 se exponen los cambios observados durante los meses comprendidos entre septiembre y febrero. Durante el periodo otoñal, los meses de septiembre y octubre presentan un comportamiento totalmente opuesto.

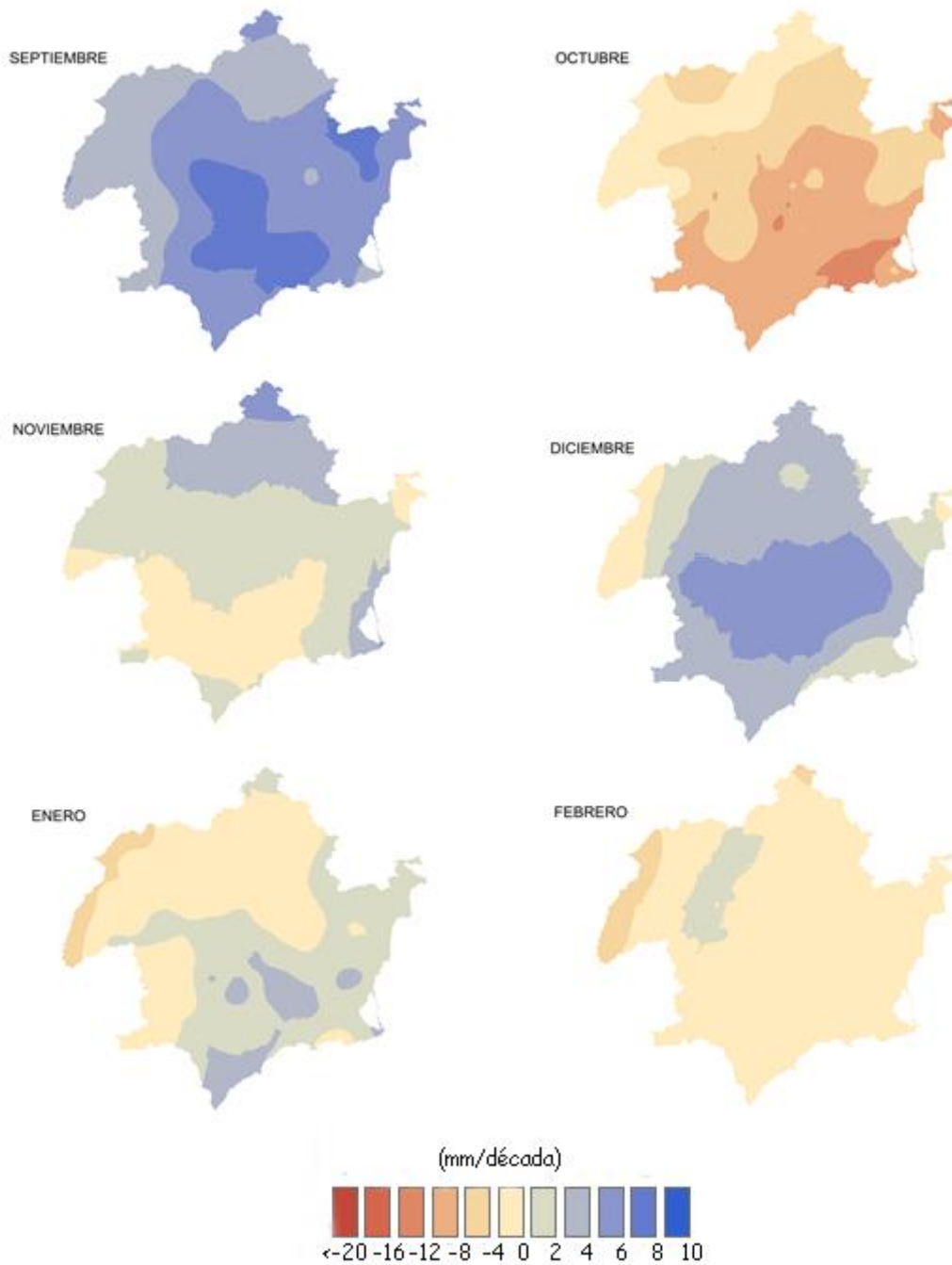


Figura 146. Distribución espacial de las tendencias de precipitación (mm/década) durante los meses comprendidos entre septiembre y febrero para el periodo 1968-2017.

Fuente: Elaboración propia.



Como ya ha sido mencionado, en gran parte del área de estudio el mes de septiembre va a pasar a ser el más húmedo en el nuevo periodo de referencia 1991-2020, en detrimento del mes de octubre. Durante el mes de septiembre todas las estaciones presentan un tendencia positiva, siendo la misma estadísticamente en algunos observatorios (figura 147) de los sistemas montañosos del interior mejor orientados a los vientos de levante (tendencia positiva entre 8-10 mm/década). En cambio, durante el mes de octubre la tendencia es negativa en todos los observatorios, siendo estadísticamente significativa en algunos puntos de las RG3 y RG4 (figura 148).

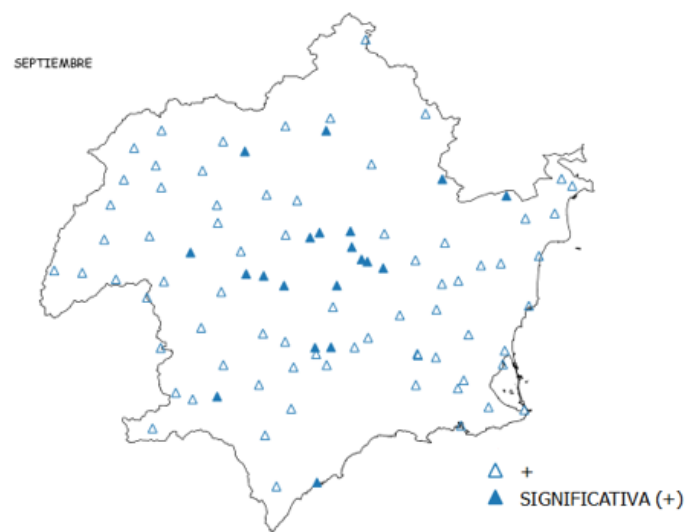


Figura 147. Signo de la tendencia de precipitación durante septiembre para el periodo 1968-2017. Fuente: Elaboración propia.

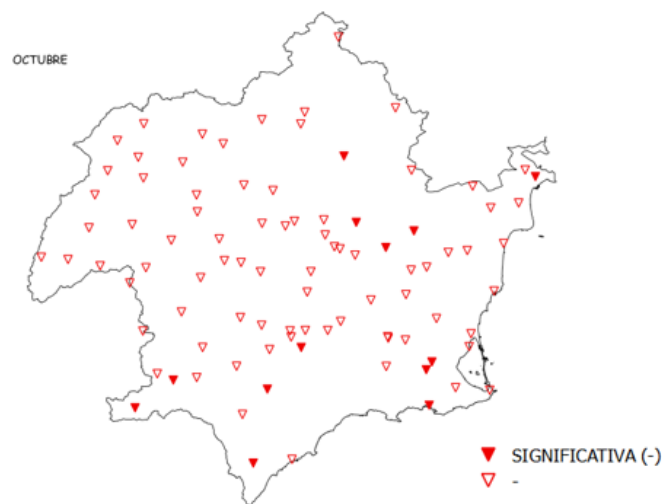


Figura 148. Signo de la tendencia de precipitación durante octubre para el periodo 1968-2017. Fuente: Elaboración propia.

En Garrido Abenza et al., (2015) se expone la traslación del máximo pluviométrico mensual desde el mes de octubre al mes de septiembre en la Región de Murcia. En los últimos 25 años se observa una mayor frecuencia de episodios de lluvias torrenciales en el mes de septiembre (Benhamrouche y Martín Vide, 2011; Romero Díaz et al., 2010; Gil Olcina, 2016a; Martí Talavera et al., 2020). En los últimas décadas se observa un aumento considerable en la frecuencia de DANAs (Muñoz et al., 2020), lo cual es una de las causas del notable aumento de las precipitaciones en el mes de septiembre. A esto hay que sumar, otros factores como el incremento absoluto de 0,22°C/década de la temperatura del conjunto de la cuenca del Mediterráneo en el periodo 1937-2008 (Skirris et al., 2012). En contraposición, en el mes de octubre se observa una drástica reducción de este tipo de episodios, muy frecuentes durante este mes en las décadas de 1970 y 1980. Precisamente la reducción de precipitaciones más notable se produce en la franja costera, que es el área con mayor acumulado de precipitación en estos tipos de episodios de origen mediterráneo. El mes de octubre es una excepción al comportamiento durante el otoño. El descenso de las precipitaciones en la mitad sur durante el otoño está totalmente condicionado, por la acusada reducción de las mismas durante octubre. Por su parte durante el mes de noviembre la tendencia es ascendente en toda el área de estudio, excepto en la mitad suroccidental.

Con respecto a los meses invernales, cabe destacar que en ninguno de los tres meses hay observatorios con tendencias estadísticamente significativas. En las cabeceras del Segura y Mundo, la tendencia es negativa en los tres meses debido al acusado descenso de las precipitaciones de origen atlántico. Se trata de la única zona donde la tendencia es negativa en los tres meses. Durante diciembre la tendencia es positiva en casi todo el área de estudio, resaltando el notable ascenso en los relieves centrales mejor orientados a los vientos de levante (6-8 mm/década). Destaca sobre todo el episodio de lluvias torrenciales de diciembre de 2016 (Espín Sánchez et al., 2017). En enero, la tendencia también es ligeramente positiva en gran parte de la mitad sur. El fortalecimiento del anticiclón centroeuropeo favorece la entrada de viento de levante de gran recorrido marítimo durante estos meses invernales. La conjunción de este factor con la advección de masas de aire de origen polar continental puede dar lugar a nevadas singulares en cotas medias, como la acontecida en enero de 2017 (Jansá Clar, 2018). Por su parte, durante el mes de febrero la tendencia ligeramente descendente en todo el área de estudio, siendo especialmente acusada en la parte más occidental de las cabeceras del Segura y Mundo.

Por otra parte, en la figura 149 se muestran los cambios observados durante los meses comprendidos entre marzo y agosto. En general, en todos estos meses predominan las tendencias negativas, con la excepción de marzo y agosto.

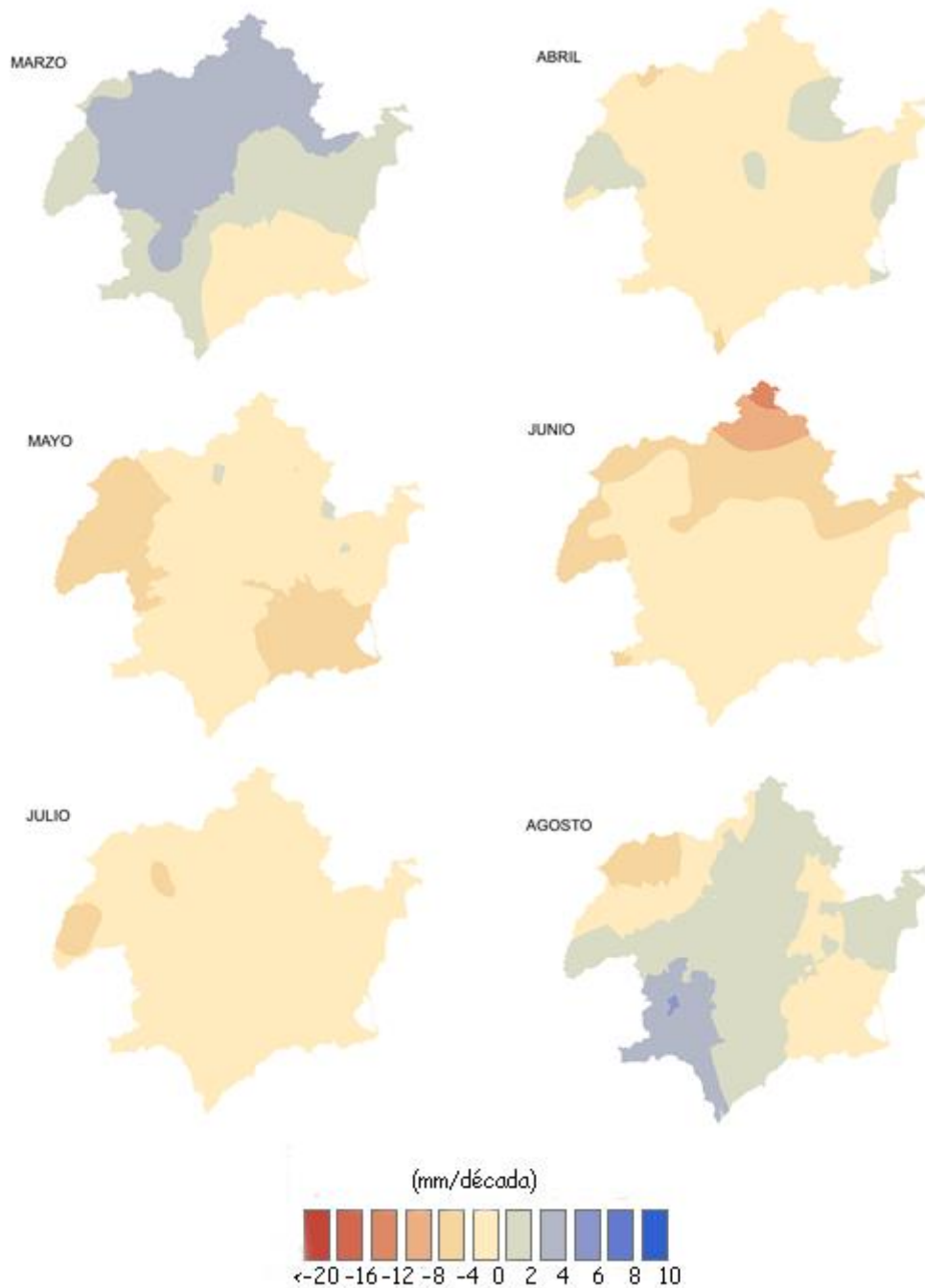


Figura 149. Distribución espacial de las tendencias de precipitación (mm/década) durante los meses comprendidos entre marzo y agosto para el periodo 1968-2017.

Fuente: Elaboración propia.

Además, cabe destacar que en todos los meses hay observatorios que presentan una tendencia descendente con significación estadística, a excepción de los meses de marzo y abril. Durante el mes de marzo, la tendencia es positiva en todo el área de estudio excepto en la parte suroriental. Este hecho es bastante significativo en gran parte de la península ibérica el mes de marzo, es el que sufre un mayor descenso de las precipitaciones debido al importante retroceso de las precipitaciones de origen atlántico (Luna et al., 2012). Por lo tanto, la tendencia ascendente en el área de estudio se debe al incremento durante dicho lapso temporal de las precipitaciones de origen mediterráneo y convectivas.

Por su parte, el mes de abril presenta una tendencia ligeramente negativa en gran parte del área de estudio. Durante el mes de mayo la reducción de las precipitaciones se acrecienta debido al descenso de las lluvias de origen convectivo. Dicha tendencia descendente presenta significación estadística en algunos observatorios de la franja costera (figura 150). Por otra parte, junio y julio son con diferencia los meses que presentan un descenso más acusado, siendo estadísticamente significativo en gran parte los observatorios (figuras 151 y 152). En agosto (figura 153) solamente las cabeceras del Segura y Mundo, exhiben observatorios con una tendencia estadísticamente significativa.

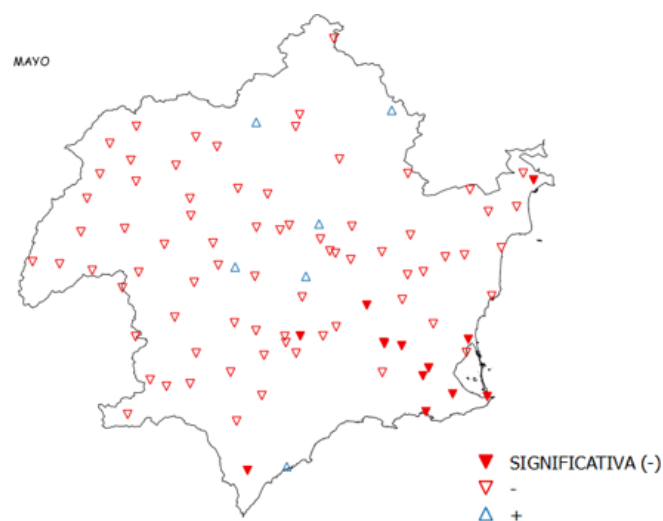


Figura 150. Signo de la tendencia de precipitación durante mayo para el periodo 1968-2017. Fuente: Elaboración propia.



Figura 151. Signo de la tendencia de precipitación durante junio para el periodo 1968-2017. Fuente: Elaboración propia.



Figura 152. Signo de la tendencia de precipitación durante julio para el periodo 1968-2017. Fuente: Elaboración propia.

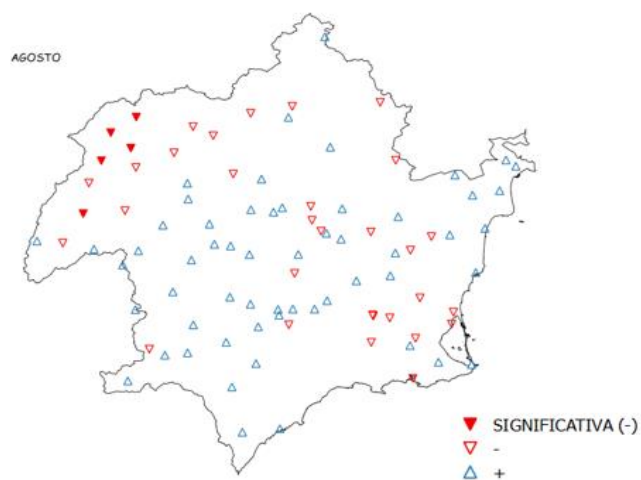


Figura 153. Signo de la tendencia de precipitación durante agosto para el periodo 1968-2017. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6. Cambios y tendencias en el número de días de lluvia (1968-2017)

Para realizar el análisis de los cambios y tendencias en el número de días de lluvia (1968-2017), se han seleccionado una serie de índices climáticos de precipitación recomendados por la OMM para el estudio de las tendencias del número de días de precipitación. Estos índices son los siguientes: día de lluvia (precipitación  $\geq 1$  mm); días de precipitación  $\geq 10$  mm (DP10, número anual de días en que la precipitación es  $\geq 10$  mm); días de precipitación abundante (DP20, número anual de días en que la precipitación es  $\geq 20$  mm); días de precipitación muy abundante (DP50, número anual de días en que la precipitación es  $\geq 50$  mm). Para cada una de estas variables, se ha procedido a calcular las tendencias para cada una de las 92 series de la base de datos, tanto a escala anual como a escala estacional. Para la evaluación de la significación estadística ( $p \leq 0.05$ , nivel de confianza del 95%) de las tendencias se ha empleado el test no paramétrico de Mann-Kendall (Kendall, 1976). Posteriormente, las tendencias han sido representadas espacialmente, para poder vislumbrar de un modo preciso y conciso la variabilidad existente en el área de estudio.

En la figura 154 se muestran los cambios estimados por las proyecciones de cambio climático elaboradas por AEMET para la DHS. Se observa un descenso entre 5-10 días de lluvia hasta finales del S.XXI, aunque cabe destacar que con respecto a esta variable existe una elevada incertidumbre en la vertiente mediterránea.

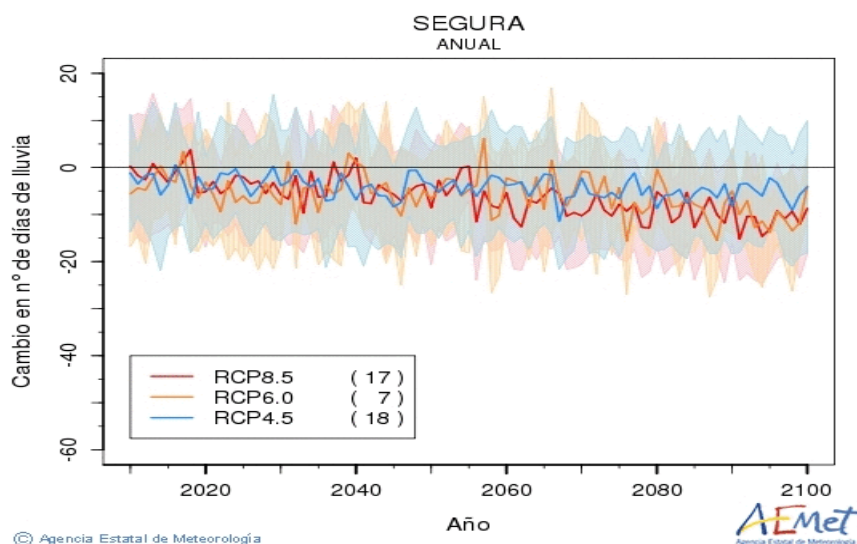


Figura 154. Cambios en el número de días de lluvia estimados por las proyecciones regionalizadas de cambio climático para la Demarcación Hidrográfica del Segura hasta finales del S.XXI. Fuente: AEMET.

En la evolución del número de días de lluvia a escala anual (figura 155) (precipitación  $\geq 1$  mm) se observa como el mayor descenso se registra en las cabeceras del Segura y Mundo, así como en algunos observatorios de la franja costera. En ambas regiones se localizan observatorios que presentan una tendencia negativa con significación estadística. En contraposición, en las regiones centrales (RG1 y RG3), en algunos observatorios la tendencia es positiva, siendo la misma estadísticamente significativa en un total de cuatro observatorios (Caravaca, Moratalla, Mula Embalse de la Cierva y Lorca Avilés). El intervalo DP10, es el que presenta un descenso más acusado con numerosos observatorios con significancia estadística. En cambio en los intervalos de días de precipitación abundante y muy abundante (DP20 y DP50), si se localizan algunos observatorios en las regiones interiores con tendencia positiva. No obstante, en el intervalo DP20, se observan algunos observatorios con tendencia negativa estadísticamente significativa en la cabecera de la DHS y en la franja costera.

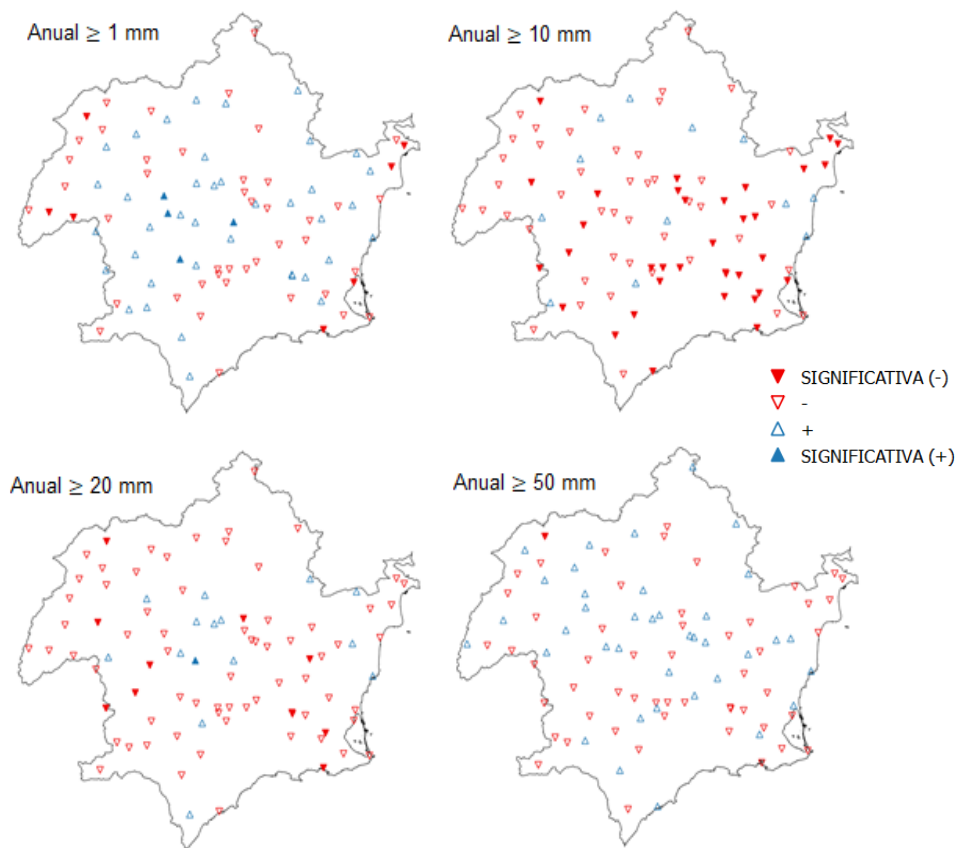


Figura 155. Cambios en el número de días de precipitación a escala anual (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

En la figura 156, se expone la distribución espacial de los valores de la tendencia (días/década) del número de días de lluvia (precipitación  $\geq 1$  mm). Se observa la existencia de un dipolo entre los sistemas montañosos del interior de las RG1 y RG3 muy expuestos a los episodios pluviométricos de origen mediterráneo y los sistemas montañosos de la cabecera de la DHS, que tienen una gran dependencia de las precipitaciones de origen atlántico. En el resto del territorio la variación es casi inexistente. Este comportamiento viene explicado por el aumento en el número de días de lluvia de origen mediterráneo y un importante descenso de los días de precipitación asociados a los frentes atlánticos (De Luis et al., 2000; Miró Pérez et al., 2009). Además en la zona que presenta una tendencia positiva se observa un importante incremento de los días de tormenta durante el otoño (Miró Pérez et al., 2018). En González Hidalgo et al. (2003), se expone que los días de precipitación DP20 y DP50, aumentan su contribución a la precipitación anual en la vertiente mediterránea. En Ruiz Álvarez et al., (2018), se exponen resultados muy parecidos a los aquí expuestos para el territorio de la Región de Murcia.

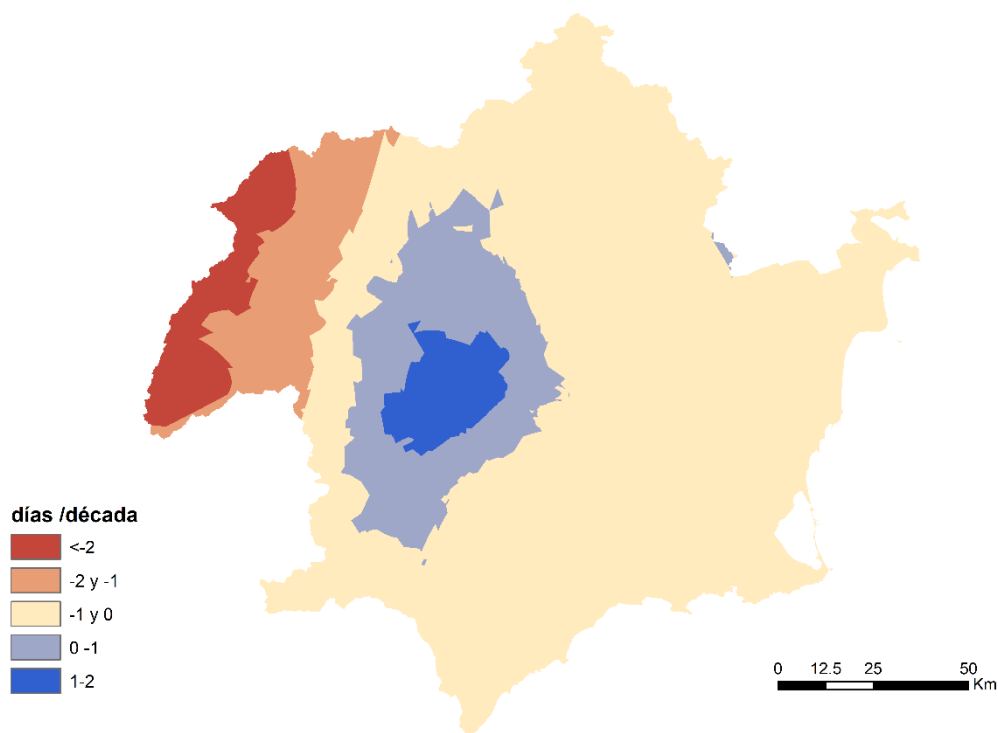


Figura 156. Tendencia (días/década) del número de días de lluvia (precipitación  $\geq 1$  mm) a escala anual (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se exponen los cambios en el número de días de precipitación a escala estacional. Comenzando el análisis por el periodo invernal (figura 157), se observa como



la tendencia es positiva en gran parte de los observatorios analizados, excepto en la zona de la cabecera de la DHS y algunos observatorios de la franja costera en los intervalos DP10, DP20 y DP50. Este incremento está asociado al aumento de los episodios de origen mediterráneo en esta estación (Miró Pérez et al., 2009) y una mayor frecuencia de DANAs (Muñoz et al., 2020), debido al fortalecimiento del anticiclón centroeuropeo y cambios en la circulación general atmosférica. El descenso exhibido en el Campo de Alicante en los intervalos DP10, DP20 y DP50 podría estar asociado a la menor afección asociada a las DANAs observada en esta zona, como por ejemplo el episodio de diciembre de 2016. El descenso en la cabecera de la DHS está provocado por la acusada reducción de los días de precipitación de origen atlántico (Miró et al., 2018).

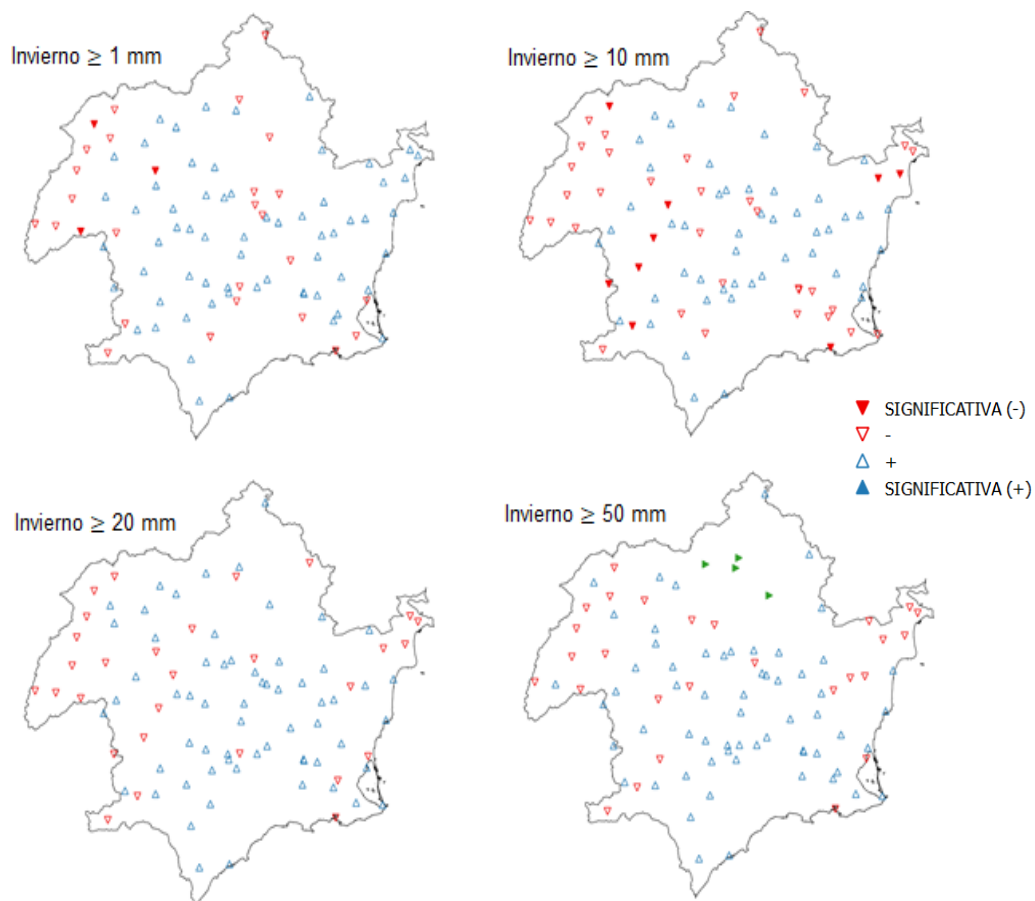


Figura 157. Cambios en el número de días de precipitación durante el invierno (periodo 1968-2017). \*En verde se muestran los observatorios sin registros el intervalo DP50

Fuente: Elaboración propia.

Durante la primavera (figura 158) en cambio predominan las tendencias negativas en todos los intervalos, siendo especialmente significativas en los días de lluvia (precipitación  $\geq 1$  mm) y en el intervalo DP10. En dicho intervalo, la mayor parte de los observatorios de la mitad sur presentan significación estadística. Este descenso esta causado fundamentalmente por el acusado de los días de tormenta, sobre todo en mayo. En cambio, en los intervalos DP20 y DP50, si se observa en un numero notable de observatorios, lo que podría estar provocado por un incremento de los eventos pluviométricos extremos, tanto de origen atlántico (episodios de marzo de 2013 y 2018 en la cabecera de la DHS), de origen mediterráneo como por ejemplo el episodio de marzo de 2015, o de origen convectivo (por ejemplo tormenta muy localizada en la ciudad de Alicante del 13 de marzo de 2017 que provocó importantes anegamientos).

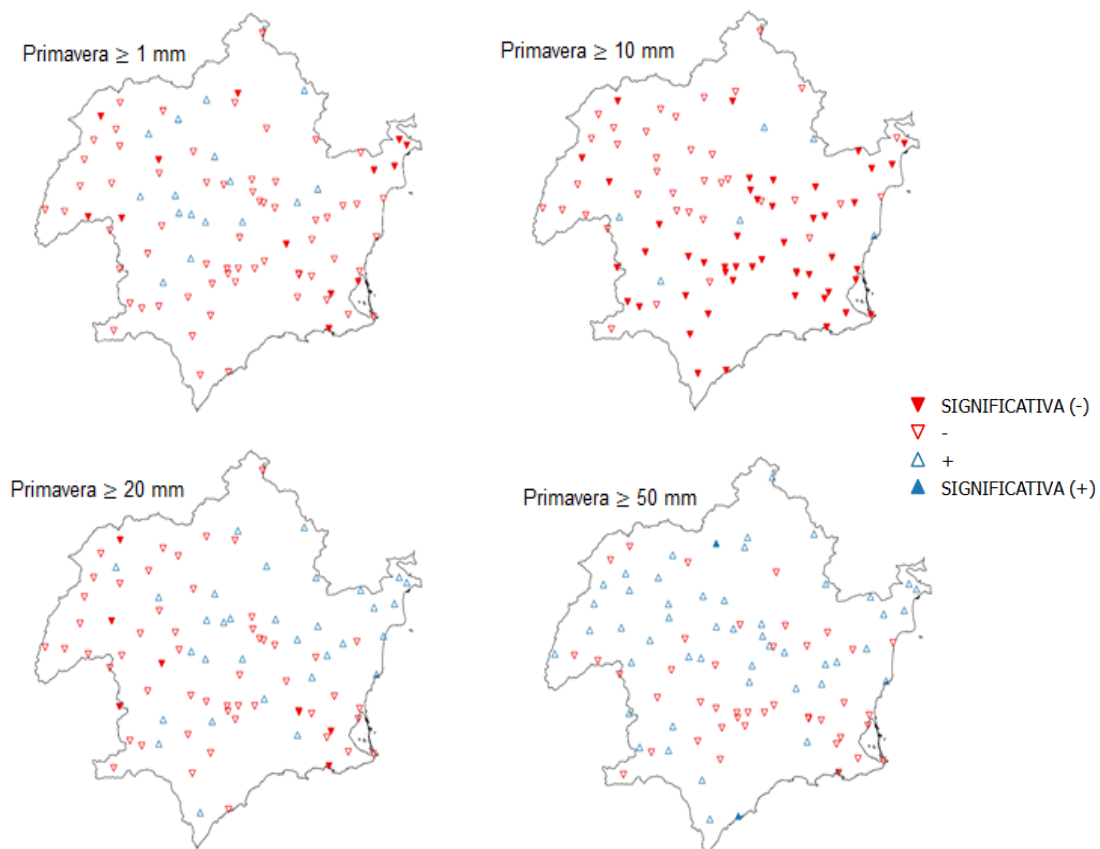


Figura 158. Cambios en el número de días de precipitación durante la primavera (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

Durante el estío (figura 159), la tendencia es claramente negativa, siendo la misma estadísticamente significativa en gran parte de los observatorios en los días de lluvia

(precipitación  $\geq 1$  mm) y en el intervalo DP10. Esta acusada reducción esta ligada al notable descenso de días de tormenta durante el verano. Sin embargo, en los intervalos DP20 y D50, algunos observatorios de las regiones interiores si presentan tendencia positiva, la cual podría estar ligada a un aumento de las tormentas muy intensas, y de la frecuencia de las DANAs sobre todo a partir de la segunda quincena de agosto (Olcina Cantos y Miró Pérez, 1998).

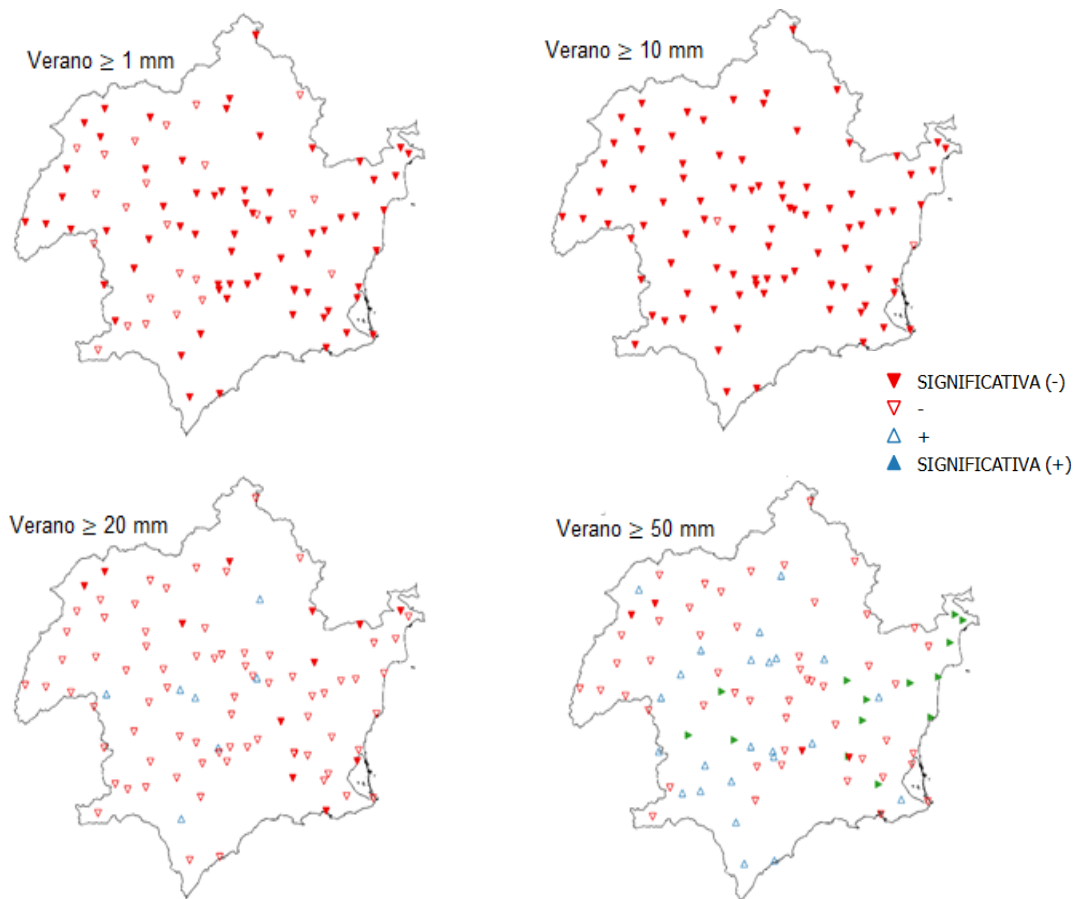


Figura 159. Cambios en el número de días de precipitación durante el verano (periodo 1968-2017). En verde se muestran los observatorios sin registros el intervalo DP50

Fuente: Elaboración propia.

Por último, durante el otoño (figura 160) cabe destacar que es la única estación donde la tendencia en los días de lluvia (precipitación  $\geq 1$  mm) es positiva en la mayor parte de los observatorios. Este comportamiento está ligado al considerable aumento de días de tormenta (Miró Pérez et al., 2018) y al incremento de las advecciones mediterráneas (Miró Pérez et al., 2009). En el resto de los intervalos, tan solo en algunos observatorios de los sistemas montañosos del interior se observa una tendencia positiva, lo que podría estar

ligado a un aumento de los episodios de lluvias torrenciales en las zonas de valle más expuestas a los vientos de levante (localizadas sobre todo en la RG1).

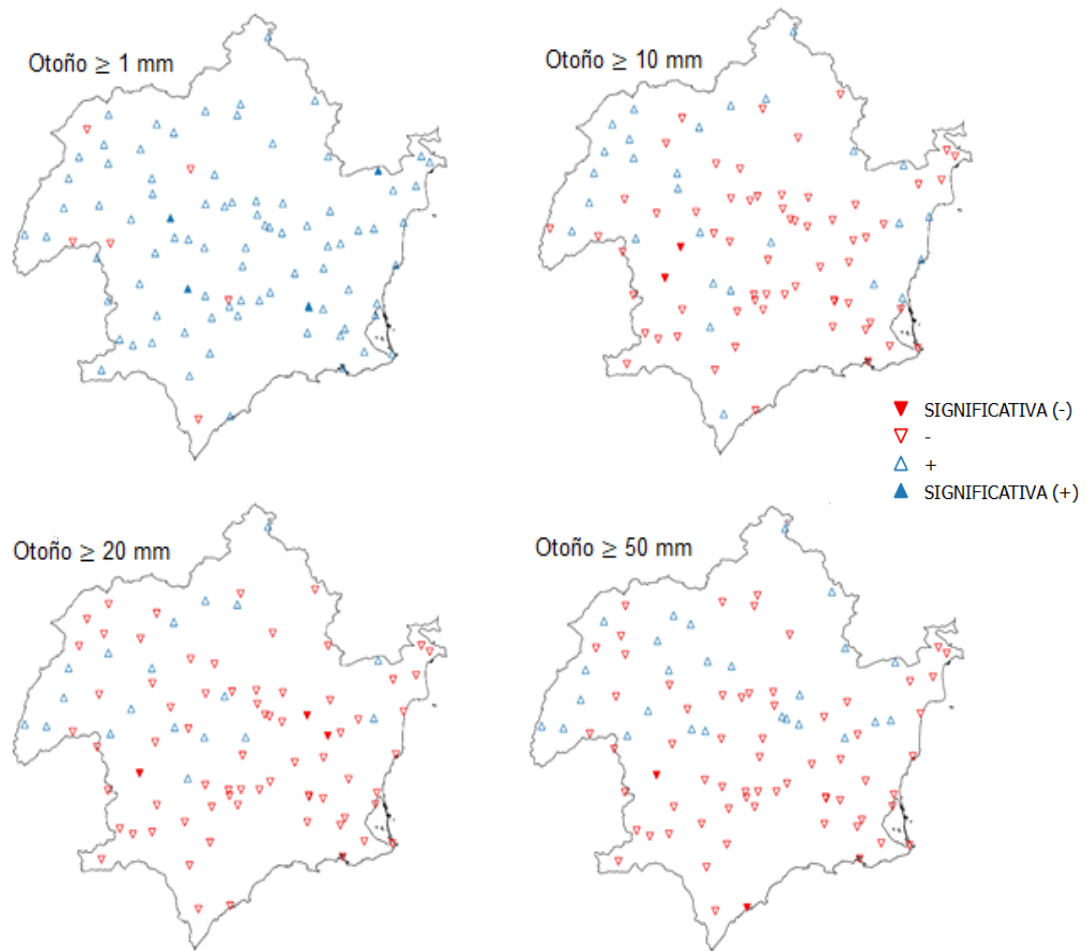


Figura 160. Cambios en el número de días de precipitación durante el otoño (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.





**CAPÍTULO V**

**CAMBIOS Y EVOLUCIÓN**

**EN LAS SECUENCIAS**

**PLUVIOMÉTRICAS**

**SECAS DE LARGA**

**DURACIÓN**

En el capítulo 2, se lleva a cabo un profundo análisis sobre el marco conceptual del riesgo de sequía. Dicho capítulo se divide en seis apartados: definición y tipología de sequías; situaciones atmosféricas generadoras de episodios pluviométricos secos; el papel de la Ordenación del Territorio en la mitigación del riesgo de sequía; control y prevención de las sequías por parte de los organismos públicos; marco jurídico y político del riesgo de sequía; y cambios en los usos del suelo. El exhaustivo análisis efectuado sirve para contextualizar el estudio de los cambios y evolución en las secuencias pluviométricas secas de larga duración, que se realiza en el presente capítulo.

A diferencia de otros riesgos naturales, como los terremotos o inundaciones, que se manifiestan de forma repentina y brusca, las sequías se desarrollan de forma lenta e imperceptible para la población, pudiendo pasar inadvertidas durante mucho tiempo (Tallaksen y Van Lanen, 2004). Este hecho genera, que las sequías causen el desplazamiento de más personas que cualquier otro tipo de desastre natural (Jarraud, 2013). Paradójicamente, entre el conjunto de riesgos naturales de origen climático que suponen un riesgo para la actividad humana, la sequía es el que menos atención recibe en los trabajos de investigación, a pesar de ocasionar numerosas pérdidas económicas.

De este modo, la falta de consecuencias tangibles a corto plazo, y el alivio temporal que producen los episodios de lluvias torrenciales que suelen intercalarse durante los periodos secos (Olcina Cantos, 2001a), provocan entre las administraciones y la población un desinterés que no hace sino agravar los efectos del déficit hídrico consecuente (García Marín, 2008). En este sentido, cabe destacar la estrecha relación existente entre la gestión de la sequía y la gestión de los recursos hídricos. Si la integración de las estrategias de gestión del riesgo de sequía y de los recursos hídricos resulta insatisfactoria, aumenta de forma considerable la vulnerabilidad de sequía (Vargas y Paneque, 2019). En la DHS, la relación entre la gestión de las sequías y los recursos hídricos es si cabe más importante, debido a la marcada aridez de gran parte de este ámbito territorial y al notable déficit hídrico existente.

Por otra parte, cabe destacar que los índices de sequía pluviométrica se constituyen como herramientas imprescindibles para la identificación precisa de los eventos de sequía, pudiendo ayudar en la monitorización y predicción de las mismas (Peña Gallardo et al., 2016). Desde la década de 1960 se han implementado diferentes índices de sequía, que presentan una serie de ventajas e inconvenientes bajo distintas condiciones climáticas (Mishra y Singh, 2011; Marcos Valiente, 2001). Entre ellos se pueden destacar el Palmer



Drought Severity Index (PDSI) (Palmer, 1965), Standardized Precipitation Index (SPI) (McKee et al., 1993) o el Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP) (Pita, 2000). En los últimos años, se ha introducido la variable de la temperatura en el análisis de la sequía meteorológica para analizar el impacto del aumento de las temperaturas en este fenómeno. Con tal objetivo Vicente Serrano et al. (2010a) propusieron el índice Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI. Sin duda, el SPI es el más utilizado en el ámbito científico, debido a las pocas variables de entrada que requiere, la simplicidad de su cálculo en comparación con otros índices, y la fácil comparabilidad entre distintas regiones al ser un índice adimensional (Santos et al., 2010; He et al., 2015).

Antes de pasar a describir los diferentes apartados que componen el presente capítulo, se realiza una contextualización del estado de la cuestión de los estudios sobre tendencias y variaciones de los periodos de sequía. Dentro de un ámbito mediterráneo los estudios reflejan un aumento e intensificación de los periodos de sequía a partir de la segunda mitad del S.XX (González-Rouco et al., 2001; Sousa et al., 2011; Philandras et al., 2011; Hoerling et al., 2012; González Hidalgo et al., 2018), lo que es corroborado por el AR5. En cambio, en España se observa una reducción en la duración media de las rachas secas, siendo espacialmente marcado este descenso en la vertiente mediterránea (Serrano Notivoli et al., 2018b) durante el periodo 1950-2012. Como ha sido mencionado en el capítulo 4, este hecho no implica un aumento del número de días de lluvia (precipitación diaria  $\geq 1$  mm), ya que este parámetro presenta una tendencia descendente en gran parte del área de estudio. Este hecho, podría estar provocado por el aumento en la frecuencia de las advecciones de levante. Además, en España se ha observado un incremento casi generalizado en el índice de concentración de precipitación diaria (CI), lo que puede llevar consigo un aumento en otros riesgos ambientales como la erosión o las inundaciones (Martín Vide, 2004; Serrano-Notivoli et al., 2018a).

A escala regional, en el ámbito de la DHS también se han realizado numerosos estudios sobre la evolución de las sequías y las rachas secas. En Pérez Sánchez y Senent Aparicio (2018) se lleva a cabo un análisis de la evolución de las sequías meteorológicas que han afectado a la DHS, en las tres últimas décadas, mediante un análisis determinado por la función de probabilidad. Estos autores ponen de manifiesto un incremento paulatino de la duración media de las rachas secas desde la cabecera del Segura hasta el extremo suroccidental. En Ruiz Álvarez et al. (2016) se lleva a cabo un análisis de la evolución temporal de las secuencias pluviométricas secas de larga duración en la Región de Murcia

(1864-2015). Se evidencia una intensificación de los periodos de sequía a partir de la segunda mitad del S.XX, siendo esta especialmente marcada en las cuatro últimas décadas. Por otra parte, otros estudios se centran en analizar las repercusiones territoriales y las consecuencias socioeconómicas de las sequías más intensas registradas en el sureste de España (Zapata Nicolás et al., 1990; Olcina Cantos y Rico Amorós, 1995; Morales Gil y Rico Amorós, 1996; Gil Olcina, 2001; García Marín, 2008a; García Marín et al., 2016; Redondo Orts, 2018; Gil Meseguer et al., 2020).

A escala más local, a nivel de subcuenca, en la cuenca del río Guadalentín se han realizado numerosos estudios acerca de la evolución de los periodos secos (García Marín y Conesa García, 2006; García Marín y Calvo García-Tornel, 2008; Sánchez Toribio et al., 2010). En todos esos estudios se señala la acentuación e intensificación de los periodos secos a partir de la segunda mitad del S.XX. La cuenca del Guadalentín es una de las más áridas del área de estudio. Debido a este hecho y la estructura socioeconómica de este territorio las consecuencias de los periodos de indigencia pluviométrica son muy notables. En García Marín y Calvo García-Tornel (2008) se expone que las rachas secas se manifiestan como uno de los hechos definidores del ambiente mediterráneo, y su trascendencia es sustancial en el funcionamiento de muchos ecosistemas, al generar fuertes alteraciones en la disponibilidad de agua dentro de un ámbito semiárido.

Por su parte, en García Marín y Conesa García (2006) se muestra que, desde la segunda mitad del S.XX, la evolución pluviométrica de la cuenca del Guadalentín ha estado marcada por apreciables anomalías, siendo la grave secuencia de sequías e inundaciones acontecida en los últimos años del siglo pasado, la que ha sensibilizado a la opinión pública, ya que estos fenómenos climáticos excepcionales han causado numerosas pérdidas. En Sánchez- Toribio et al. (2010) se manifiesta que la sequía en este territorio se ve agravada por la demanda evaporativa de los cultivos intensivos, y por tanto dicho tipo de agricultura incrementa la vulnerabilidad de este territorio frente a las sequías.

Por otro lado, en el conjunto de la sociedad y en el ámbito científico existe una elevada preocupación por los impactos futuros del cambio climático sobre los recursos hídricos. Recientes investigaciones evidencian una clara intensificación de los fenómenos hidrológicos extremos en Europa (Lehner et al., 2006; Rajczak et al., 2013). Según las estimaciones de las proyecciones regionalizadas de cambio climático, las regiones mediterráneas serán uno de los ámbitos territoriales más afectados por la acentuación de los periodos de indigencia pluviométrica (Stagge et al., 2015; Spinoni et al., 2018). En

otras áreas de clima mediterráneo también se vislumbra un incremento de la frecuencia e intensidad de las sequías como consecuencia del cambio climático, destacándose las siguientes investigaciones: Chile (Bozkurt et al., 2017); Sudáfrica (Burke et al., 2007); Australia (Shrestha et al., 2017); California (Polade et al., 2017).

En Ukkola et al. (2020), se lleva a cabo una proyección del impacto futuro del cambio climático sobre las sequías, mediante la utilización de la última actualización del proyecto de intercomparación de modelos climáticos acoplados (CMIP6). En la figura 161 se expone una comparativa entre lo previsto por los grupos de modelos climáticos CMIP5 y CMIP6 acerca de la evolución en la intensidad de sequías, para el periodo 2051-2100, en comparación con el periodo de referencia 1950-2014 (se utilizan los escenarios del RCP 8.5). En los modelos climáticos del CMIP6, se estima que las regiones de clima mediterráneo serán las más afectadas por el incremento de la intensidad de sequías, además de Centroamérica y las áreas tropicales y ecuatoriales de Sudamérica. Además, estas áreas presentan una mayor significación estadística que con los modelos CMIP5.

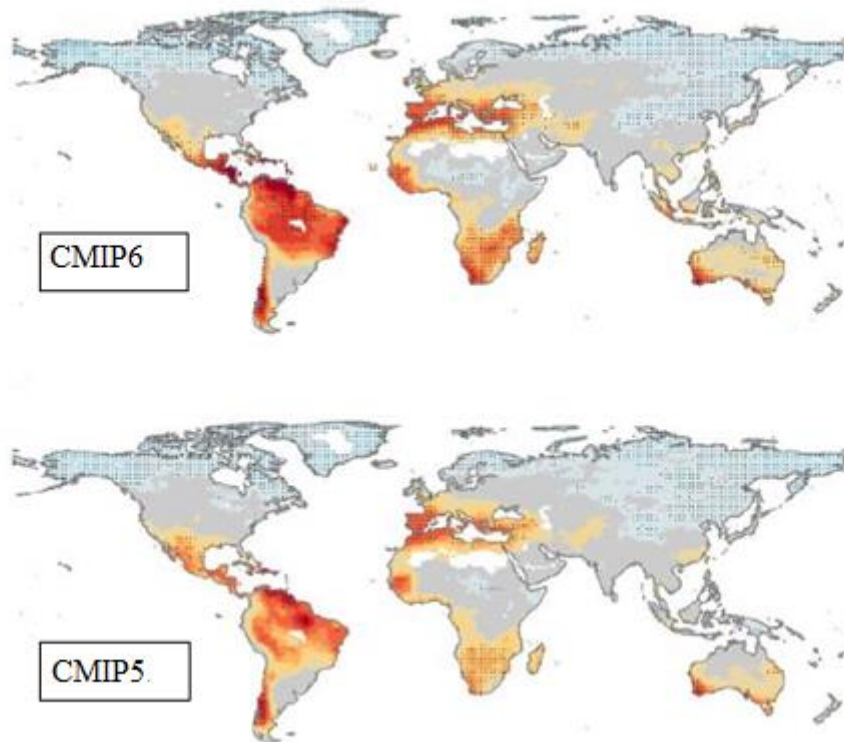


Figura 161. Proyección de cambio futuro en la intensidad de sequías del periodo 2051-2100, en comparación con el periodo de referencia 1950-2014 y para los modelos CMIP5 y CMIP6, a partir del RCP 8.5. Fuente: Ukkola et al. (2020).

En este sentido, los avances en la previsión estacional de las sequías y en la alerta temprana jugarán un papel fundamental en la minimización de los impactos de este fenómeno, tanto a escala global como regional (García Galiano et al., 2007; Turco et al., 2017; Vicente Serrano et al., 2017; Pontes et al., 2019). En García Galiano et al., (2007), se expone el desarrollo de indicadores de alerta temprana frente a sequías en la DHS mediante la utilización del sensor MODIS. Ante estos escenarios, los estudios de regionalización resultan de vital importancia con el objetivo de monitorizar diferentes regímenes de sequía y su distribución espacial con el fin de analizar más a fondo el comportamiento estacional de las sequías y poder articular de esta manera medidas encaminadas a la reducción de los impactos territoriales, económicos, sociales, políticos y medioambientales (Alvarez Rodríguez, 2004; Poquet et al., 2008; Santos et al., 2010; Portela et al., 2015).

Tras esta breve introducción, se procede a exponer los diferentes apartados que componen este capítulo. En primer lugar, se lleva a cabo un análisis de la evolución de las secuencias pluviométricas secas en las siete series de precipitación estudiadas en el capítulo 4 (apartado 4.3). En segundo lugar, se realiza una regionalización de sequías a partir de un análisis de componentes principales durante el periodo 1968-2017, siguiendo la metodología aplicada en el apartado 4.4. En tercer lugar, se analiza el impacto de las temperaturas sobre las sequías, mediante la comparación en un conjunto de series de los valores de los índices SPI y SPEI. En cuarto lugar, se evalúa la influencia de tres patrones de teleconexión en los patrones espaciales de sequías: NAO-Oscilación del Atlántico Norte, WeMO- Oscilación del Mediterráneo Occidental y MO-Oscilación del Mediterráneo. Por último, y en quinto lugar, se aplica un índice de vulnerabilidad de sequía, concretamente el Índice Estandarizado de Vulnerabilidad de Sequía (SDVI). La escala espacial seleccionada para efectuar dicha evaluación son las 36 subzonas hidráulicas del área de estudio, explicadas en el capítulo 3.

El SPI ha sido el índice seleccionado para la delimitación de las características de los periodos de sequía. La elección del índice de sequía depende de múltiples factores, como las características del régimen hidrológico o las variables disponibles. En este estudio se ha seleccionado el SPI al ser el índice más utilizado en el ámbito científico (Agnew, 2000; Portela et al., 2015; Espinosa et al., 2019). El SPI se calcula a partir de la conversión de datos de precipitación (se recomiendan más de 30 años de observación) a probabilidades basadas en registros de precipitación acumulada. Dichas probabilidades componen series

normalizadas con un promedio de 0 y una desviación estándar de 1 (Peña Gallardo et al., 2016).

La principal utilidad de este índice radica en que facilita el análisis de los impactos de las sequías en distintas escalas temporales (1, 3, 6, 9, 12, 24 y 48 meses). Por lo tanto, permite la identificación de los distintos tipos de sequía (meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica) definidos por Wilhite y Glantz (1985), ya que los diferentes sistemas naturales y sectores económicos pueden responder a las condiciones de sequía en escalas temporales desiguales (Vicente Serrano et al., 2012c). Un periodo inferior o igual a 3 meses permite la monitorización de las sequías meteorológicas, por encima de 6 meses se pueden evaluar las sequías agrícolas, y por último, el periodo de 12 meses es el ideal para evaluar las sequías hidrológicas.

De este modo, en este trabajo se ha seleccionado la escala temporal de 12 meses (SPI12 a partir de este momento), debido a las repercusiones territoriales que tienen las sequías hidrológicas en el sureste de la península ibérica, área que cuenta con un importante déficit hídrico estructural. Por tanto, el SPI12 es considerado como un índice de sequía hidrológica (Szalai y Szinell, 2000). Por otra parte, con la finalidad de agrupar sequías mutuamente dependientes y eliminar sequías cortas con poca repercusión hidrológica se ha aplicado un filtro de paso bajo de 5 meses a los valores originales del SPI (López-Moreno et al., 2009). Además, puede ser de gran utilidad para reducir el efecto de las precipitaciones intensas de corta duración, típicas del clima del sureste peninsular, sobre la intensidad de sequía. De esta forma, se obtienen mejores resultados que con otros métodos (Fleig et al., 2006).

Para la clasificación de las diferentes categorías de sequías se emplea la categorización modificada por Agnew (2000), debido a que sus valores se ajustan a una clasificación más racional (Portela et al., 2015; Santos et al., 2010) que la propuesta original de Mckee et al. (1993). Se distinguen tres categorías de sequía en función de su severidad: moderada, severa y extrema. En la tabla 50, se exponen los valores asignados a cada categoría de sequía, y el color que se le asigna a cada uno en los gráficos de evolución temporal del SPI (los cuales son construidos con la ayuda de R). Los valores de intensidad por debajo de -0,84 representan sequía moderada, por debajo de -1,28 sequía severa y por debajo de -1,65 sequía extrema, que se configuran como las secuencias pluviométricas secas de mayor gravedad. Entre -0,84 y 0,84 se consideran valores normales y por encima de 0,84 se localiza la categoría de húmedo.


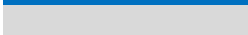



Valores SPI	Categoría	Probabilidad de excedencia	Color indicativo
>0.84	Húmedo	> 80%	
>-0.839 y <0.839	Normal	<80 % y >20 %	
< -0.84 y >-1,279	Sequía moderada	< 20%	
< -1.28 y >-1,649	Sequía severa	< 10%	
< -1.65	Sequía extrema	< 4,9%	

Tabla 50. Categorización de las sequías por niveles de intensidad. Fuente: Elaboración propia a partir de Agnew (2000).

Por último, cabe destacar que se lleva a cabo un análisis de la evolución de diferentes parámetros que caracterizan a las sequías: duración, magnitud y frecuencia. La duración hace referencia al número de meses consecutivos de sequía (en cualquiera de las tres categorías); la magnitud hace referencia al registro acumulado de los valores del SPI durante la duración del periodo seco; y la frecuencia al número de eventos que se producen durante un periodo determinado. Todos estos parámetros son definidos de forma más concisa en el apartado 2.1.

Con el objetivo de evaluar la evolución temporal de estos parámetros y ver si se está produciendo una intensificación en los mismos se han utilizado dos herramientas: regresión local (Locally Weighted Scatterplot Smoothing-LOWESS) (duración y magnitud), y el método Kernel Occurrence Rate Estimation-KORE (frecuencia). LOWESS es una herramienta muy recurrente en el análisis de regresión local. Consiste en la creación de una línea suavizada a través de un diagrama de tiempo o dispersión (en este caso evolución temporal de los valores de duración y magnitud de los diferentes periodos de sequía). Sirve de ayuda para evaluar la relación entre las distintas variables y prever tendencias (Cleveland, 1979). En este trabajo se ha seleccionado un “span factor (f)” de  $f = 0,2$  (Alexandrinis y Zapranis, 2013; Espinosa et al., 2019).

Por su parte, el KORE sirve para caracterizar la evolución temporal del parámetro de la frecuencia. Se sigue la metodología implementada por Silva et al. (2012) y Portela et al. (2015), incluyendo la generación de pseudodatos antes y después del periodo de observación, a través del método de reflexión para una amplitud de tres veces el ancho de banda (Portela et al., 2015; Espinosa et al., 2019). Para la selección de dicho ancho de banda (h), se ha aplicado la regla general de Silverman (Silverman, 1986). La técnica Kernel es un método no paramétrico desarrollado por Diggle (1985) para el suavizado de procesos puntuales de datos. El principal objetivo de la aplicación del KORE es analizar cómo cambia la frecuencia anual de los periodos bajo condiciones de sequía,  $\lambda(t)$ , a través

del tiempo. Con esta finalidad, el análisis KORE ha sido aplicado a los valores de las series regionalizadas del SPI12 (obtenidas en el proceso de ACP) y de las series del SPI12 más longevas, que representen valores de sequía moderada o inferiores, es decir, los registros inferiores a una intensidad de sequía de -0,84. Por último, con el objetivo de cuantificar la incertidumbre de los resultados obtenidos en este proceso, se han construido bandas de confianza alrededor de  $\lambda(t)$ , mediante las simulaciones Bootstrap (Mudelsee, 2011). Este método fue implementado por primera vez en el análisis de extremos climáticos por Mudelsee et al. (2003).

### **5.1. Análisis y evolución temporal de las secuencias pluviométricas secas en las series más longevas: 1864-2019 y 1940-2019**

En este apartado como ya ha sido mencionado se analiza la evolución de las secuencias pluviométricas secas en las siete series de precipitación analizadas en el capítulo 4 (apartado 4.3). En las series de Alicante y Murcia, se examina la evolución de las secuencias de sequía durante el periodo 1864-2019, y en las series de Yecla, Embalse del Cenajo, Caravaca, Embalse de Puentes y Pontones durante el periodo 1940-2019. En la figura 162 se muestra la localización espacial de las series de precipitación, así como la distribución de las cuatro regiones obtenidas en el proceso de regionalización de sequías (apartado 5.2). Tal y como se observa, la distribución espacial de las regiones difiere ligeramente de la obtenida en la regionalización de la precipitación mensual llevada a cabo en el capítulo 4. La región de las Cabeceras del Segura y Mundo, se delimita prácticamente de forma similar debido a que su comportamiento pluviométrico difiere del resto del área de estudio como ya ha sido mencionado. Por otra parte, el territorio de la RG1 obtenida en la regionalización por precipitaciones, se divide en dos, pasando su mitad norte a la región nororiental y su mitad sur a la región que ocupa gran parte de la franja costera y valles prelitorales. Por último en el campo de Alicante y zonas aledañas se delimita una región de tamaño muy reducido. Esta región está muy influenciada por las sequías surestinas que afectan a este territorio con mucha severidad. Por su parte, en las Cabeceras del Segura y Mundo, las sequías ibéricas presentan una elevada severidad. Las características de estas regiones serán explicadas con mayor detalle en el apartado 5.2.

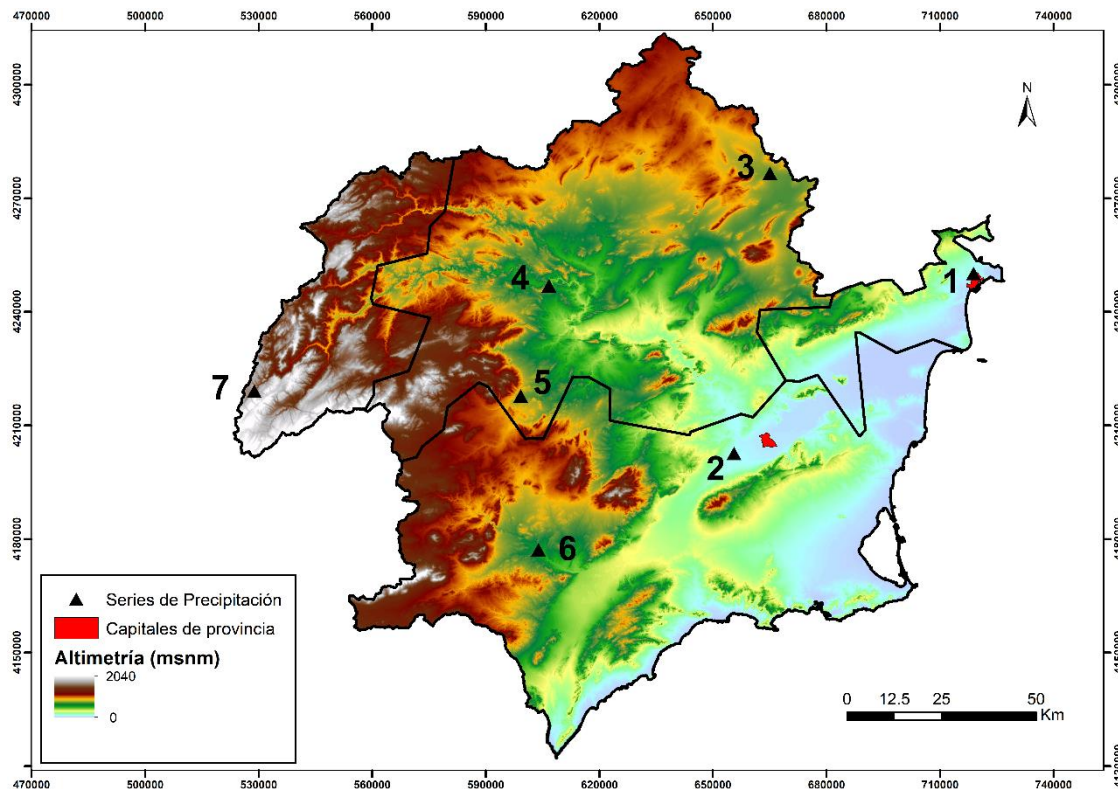


Figura 162. Distribución espacial de las siete series largas de precipitación utilizadas. El ID de cada serie aparece referenciado en la tabla 30. Fuente: Elaboración propia

En todas las series de precipitación, se presentan tablas que recogen las características de todas las sequías es las que al menos un mes presenta el nivel de sequía extrema. Las características expuestas son las siguientes: periodo temporal, duración, magnitud, número de meses con sequía externa (MSE en adelante), e intensidad máxima (IMAX). Los hiatos de un mes con valores superiores a  $-0,84$  (nivel normal), se consideran dentro de la duración de los periodos de sequía.

### 5.1.1. Serie Alicante ciudad (1864-2019)

En la figura 163, se expone la evolución temporal del SPI12. Además, en la tabla 51 se muestran las características básicas de los ciclos de sequía extrema. Se contabilizan un total de nueve periodos de sequía extrema. En el caso de la ciudad de Alicante estos periodos se concentran básicamente en dos lapsos temporales: 1910-1940 y 1990-2019. También cabe resaltar que se observan extensos periodos sin apenas registrar meses de sequía. Estos lapsos temporales son el final del S.XIX y primera década del S.XX, y el periodo entre 1965-1992 donde no se registra ningún mes con sequía. Este hecho es excepcional en el área de estudio, ya que por ejemplo a principios de la década de 1980 tuvo lugar una sequía muy intensa, la cual se ve reflejada en otros puntos de Europa y en



la mayor parte de la España peninsular (Spinoni et al., 2015; Romero Fresneda et al., 2020).

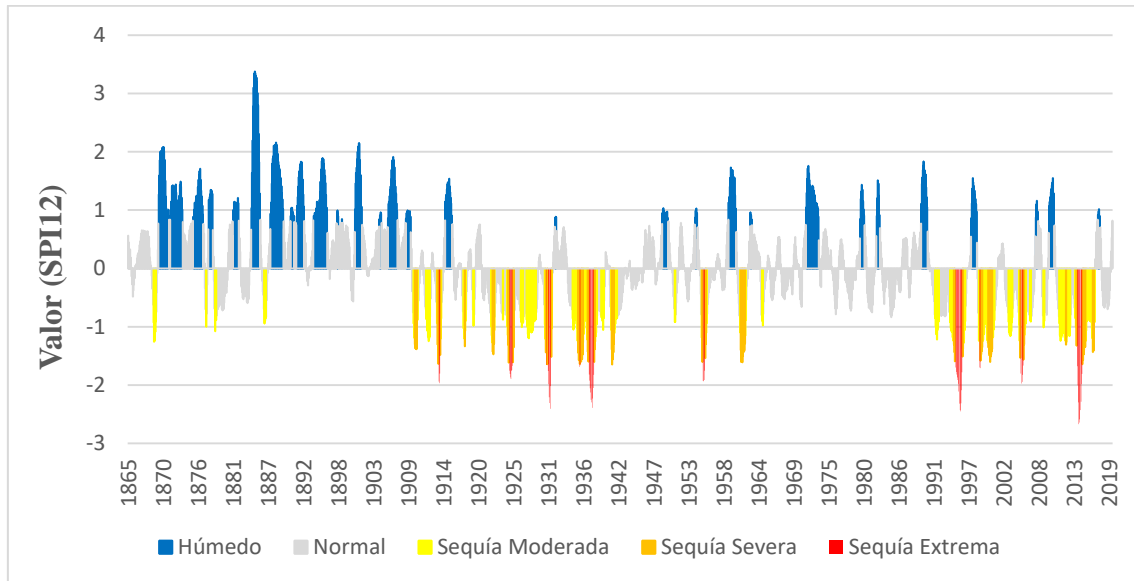


Figura 163. Evolución temporal del SPI12 en la serie de Alicante (1864-2019). Fuente: Elaboración propia.

Periodo	Duración	Magnitud	MSE	IMAX
nov 1913-jul 1914	9	-13,1	3	-1,97
nov 1924-dic 1925	14	-21,6	7	-1,86
oct 1930- nov 1931	14	-23,8	7	-2,4
nov 1935- dic 1938	<b>38</b>	<b>-56,9</b>	12	-2,39
jun 1955-mar 1956	10	-15,2	4	-1,93
jun 1994- oct 1996	29	-45,8	<b>13</b>	-2,44
dic 1998- may 2001	30	-38,4	2	-1,71
abr 2005- abr 2006	13	-18,9	5	-1,97
feb 2014- nov 2015	22	-37,6	10	<b>-2,67</b>

Tabla 51. Características de los periodos de sequía extrema en la serie de Alicante (1864-2019). En rojo se resaltan los valores más extremos. Fuente: Elaboración propia.

No obstante, como se verá en el resto de las series largas analizadas, durante el lapso temporal 1965-1992 se registran varios periodos de sequía, siendo la de principios de la década de 1980 una de las más severas en puntos del interior. Debido a este hecho, y a la fuerte dependencia de recursos hídricos externos del Campo de Alicante, las consecuencias territoriales son muy perjudiciales también en este territorio, a pesar de no registrar sequía meteorológica ni hidrológica. Además estos largos lapsos temporales sin sequía, pueden provocar una falsa sensación de seguridad en la sociedad y las administraciones públicas. Como señalan Morales Gil et al. (1999), respecto a la consideración del riesgo de sequía, y conforme ha ido aumentando el nivel de vida, las

sociedades desarrolladas han pasado de la austeridad en el gasto de agua al despilfarro y de la adaptación al catastrofismo lo cual aumenta más si cabe la vulnerabilidad de la población frente a las sequías.

Un buen ejemplo se encuentra en la sequía de 1994-1996, que provocó enormes repercusiones territoriales, con numerosos problemas de abastecimiento de agua. Se registró tras 27 años sin un solo mes de sequía a escala hidrológica, y tras 40 años sin sequía extrema. Este hecho pudo provocar una falsa sensación de seguridad por parte de los gestores públicos en unas décadas de gran desarrollo urbanístico y agrícola en la franja costera del área de estudio. Este periodo seco fue especialmente intenso en la comarca del Campo de Alicante, lo que incrementó de forma considerable la vulnerabilidad frente a la escasez de aguas. Durante la sequía de 1994-1996, quedó demostrado que las infraestructuras hidráulicas no estaban preparadas para soportar con garantías un periodo de sequía tan intenso. De hecho, tras el verano de 1995, uno de lo más secos de todo el S.XX, el gobierno de España, impulsó y aprobó, por vía de urgencia, el denominado “Plan Metasequía”, que incluía múltiples actuaciones de emergencia (Morales Gil, 1999).

En la serie de Alicante dicha secuencia pluviométrica seca transcurrió entre junio de 1994 y octubre de 1996, y es la segunda de mayor IMAX (-2,44) tan solo por detrás de la sequía de 2014-2015. Además, se trata de la sequía con mayor número de MSE (un total de 13 consecutivos). Este ciclo seco supuso un punto de inflexión en la gestión de las sequías por parte de las administraciones públicas, y dio lugar a la búsqueda de nuevas soluciones como por ejemplo la puesta en marcha en el año 2004 del programa AGUA para la impulsión de la desalinización. Las ventajas e inconvenientes de la desalinización y su repercusión en la gestión de las sequías han sido analizadas en numerosos trabajos como ya ha sido resaltado (Montaño Sanz, 2013; Morote Seguido, 2018; Ricart Casadevall et al., 2020).

El análisis de la evolución de los parámetros de duración, magnitud y frecuencia (figuras 164 y 165), determina que se está produciendo una intensificación en los mismos durante las tres últimas décadas. De hecho, tres de las cuatro sequías de mayor duración y magnitud se han registrado en este lapso temporal. En la evolución de estos parámetros hay dos picos, el primero en el periodo 1910-1940 y el segundo de mayor severidad entre 1990-2019. La sequía de 1935-1938 es la de mayor magnitud, coincidiendo prácticamente con la duración de la Guerra Civil. En relación, con la frecuencia de ocurrencia de sequías (figura 165) se observa como en las últimas décadas se produce la mayor recurrencia de

meses secos. Se exhibe que la mayor parte de estos meses se concentran en los dos lapsos temporales mencionados. El aumento de la frecuencia de ocurrencia de sequías, coincide como se verá en el apartado 5.4, con el impacto del incremento de las temperaturas en el aumento de la severidad de las sequías. Además, en las últimas décadas el desarrollo urbanístico desorbitado y la expansión de los cultivos de regadío, provocan que se haya producido un incremento de los parámetros de vulnerabilidad y exposición.

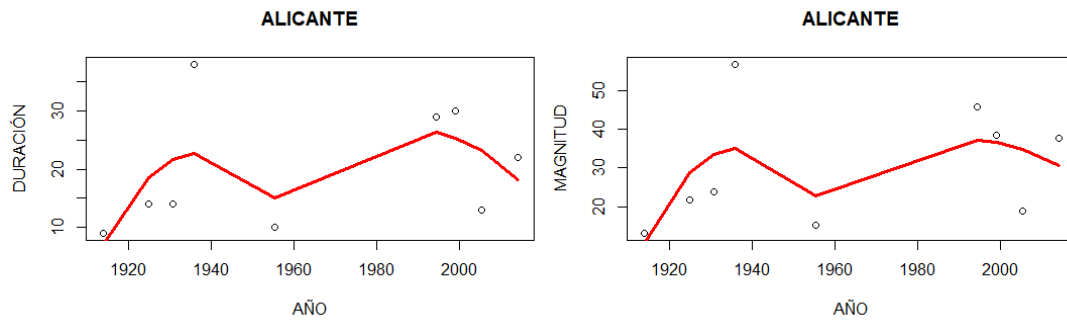


Figura 164. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie de Alicante (1864-2019), mediante una curva suavizada con el método LOWESS. Fuente Elaboración propia.

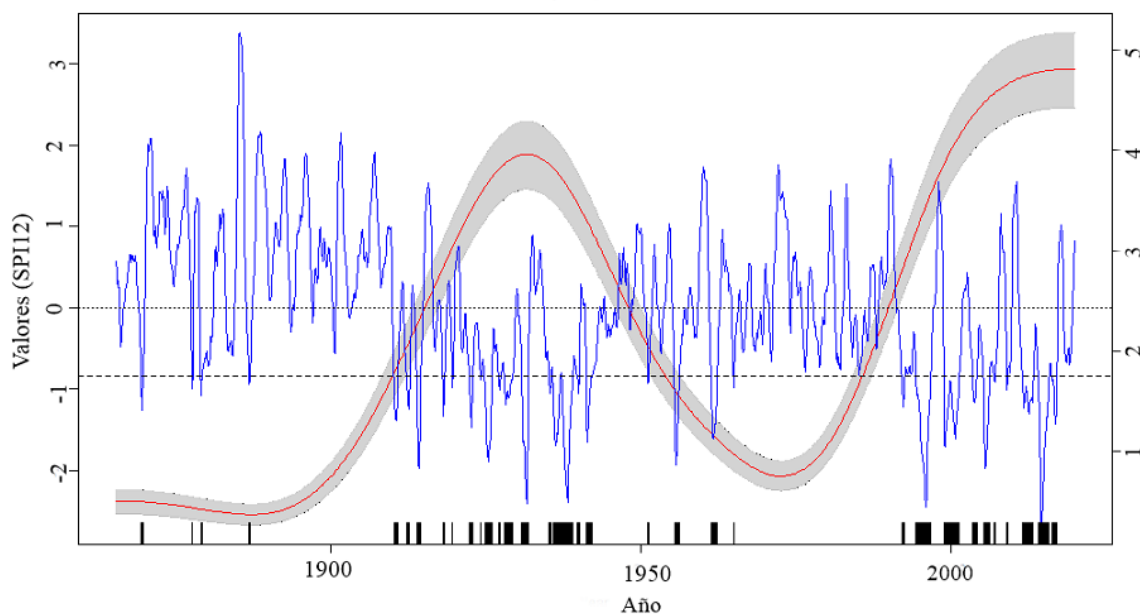


Figura 165. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie de Alicante (1864-2019) mediante análisis con el método KORE. Las marcas negras verticales indican los puntos en el periodo temporal analizado por debajo del umbral de sequía adoptado (-0,84), que aparece en línea discontinua. Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.2. Serie Murcia ciudad (1864-2019)

En la figura 166, se observa la evolución temporal del SPI12. Asimismo, en la tabla 52 se presentan las características básicas de los ciclos de sequía extrema. En el caso de la serie de Murcia se contabilizan un total de 11 sequías extremas (dos más que en la serie de Alicante). Al igual que en la serie de Alicante, las sequías extremas de mayor severidad se localizan en los lapsos temporales transcurridos entre 1910-1940 y 1990-2019. A diferencia de lo ocurrido en Alicante, en las décadas de 1960, 1970 y 1980 se localizan cuatro sequías extremas, cuyas repercusiones territoriales fueron clave para la aprobación de medidas extraordinarias como la ejecución del TTS.

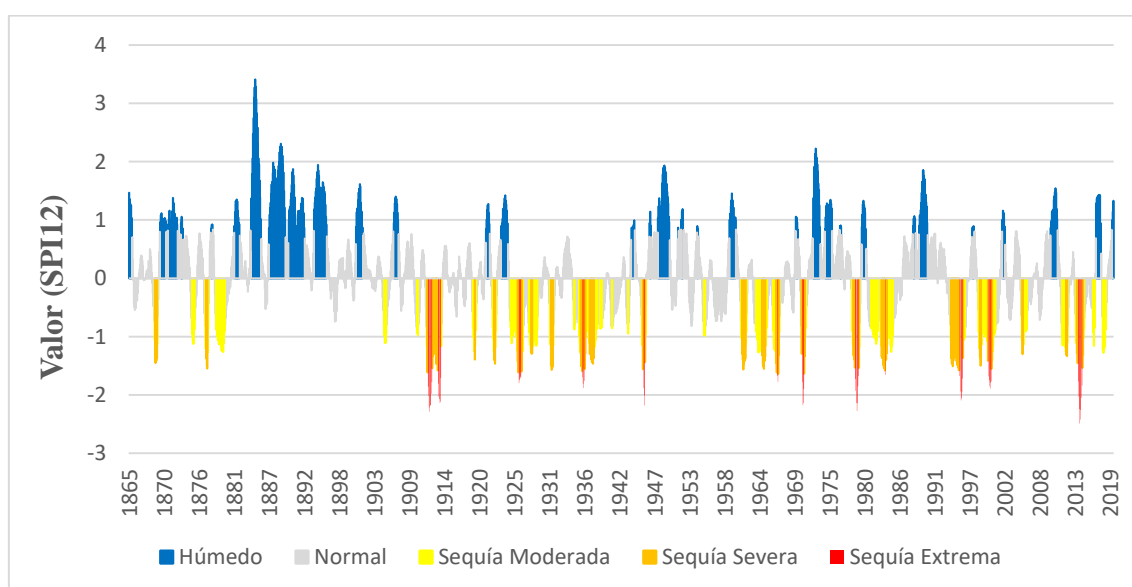


Figura 166. Evolución temporal del SPI12 en la serie de Murcia (1864-2019). Fuente: Elaboración propia

Periodo	Duración	Magnitud	MSE	IMAX
feb 1912- abr 1914	28	<b>-47,2</b>	<b>14</b>	-2,28
abr 1925- mar 1927	24	-29,5	5	-1,79
ene 1936- nov 1938	<b>35</b>	-42,9	4	-1,87
dic 1945- jun 1946	7	-11,2	3	-2,18
jul 1966- jun 1967	12	-16,1	2	-1,77
dic 1970- ago 1971	9	-14,1	4	-2,17
dic 1978- ene 1980	14	-22,7	7	-2,27
may 1983- abr 1985	24	-29,0	1	-1,65
may 1994- ago 1996	28	-41,0	6	-2,09
oct 1998- may 2001	32	-39,0	6	-1,88
ene 2014- abr 2015	16	-26,6	8	<b>-2,48</b>

Tabla 52. Características de los periodos de sequía extrema en la serie de Murcia (1864-2019). En rojo se resaltan los valores más extremos. Fuente: Elaboración propia.

En Gil Guirado (2013) se analiza la evolución de las sequías en la ciudad de Murcia desde 1600 hasta 2010, mediante técnicas de reconstrucción climática. Dicho autor expone que se produce una intensificación de las sequías a partir de la primera década de 1910. Desde el S.XVII al S.XIX apenas se presentan periodos de sequía, un hecho que se puede trasladar a otros puntos de la DHS (Ferrerías Fernández, 2004).

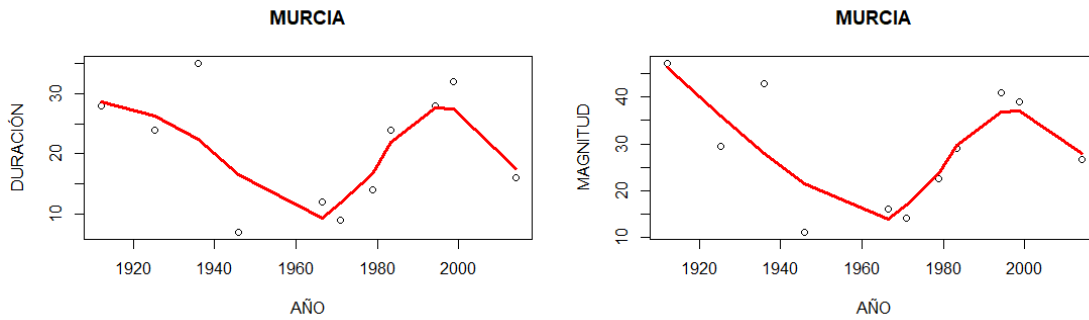


Figura 167. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie de Murcia (1864-2019), mediante curva suavizada con el método LOWESS. Fuente Elaboración propia

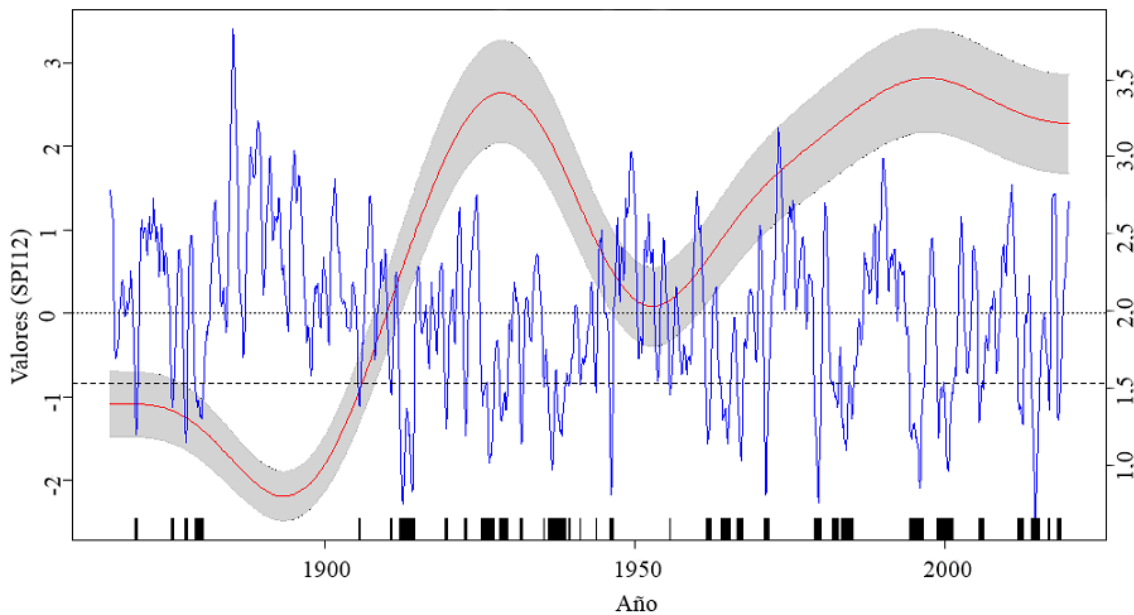


Figura 168. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie de Murcia (1864-2019) mediante análisis con el método KORE. Las marcas negras verticales indican los puntos en el periodo temporal analizado por debajo del umbral de sequía adoptado (-0,84), que aparece en línea discontinua. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la evolución temporal de los parámetros de las sequías, cabe destacar que las sequías de mayor duración y magnitud se concentran dos lapsos temporales (figura

167). Las sequías registradas en la primera parte del S.XX son ligeramente más severas que las registradas en las tres últimas décadas, a diferencia de lo ocurrido en la serie de Alicante. La sequía de mayor magnitud es la transcurrida entre febrero de 1912 y 1914 (-47,2), siendo a su vez la que mayor número de MSE tiene (un total de 14). Por su parte, la sequía acontecida entre enero de 1936 y noviembre de 1938 es la de mayor duración (35 meses). El periodo de sequía enero 2014-abril 2015, es el que presenta el valor más extremo de IMAX (-2,48). Con respecto al parámetro de la frecuencia (figura 168), se observa que a partir de la primera década del S.XX se produce una intensificación en la ocurrencia de sequías, concentrándose la mayor recurrencia de meses secos en los lapsos temporales 1910-1940 y 1990-2019. En ambos la ocurrencia de sequías es muy parecida.

### 5.1.3. Serie Yecla (1940-2019)

En la figura 169 se muestra la evolución temporal del SPI12 en la serie de Yecla durante los últimos 80 años. Además, en la tabla 53 se presentan las características básicas de los ciclos de sequía extrema. En este enclave situado en la región nororiental, las sequías surestinas no suelen ser tan severas como en el caso de las series de Alicante y Murcia. Por ejemplo, desde 1940 la duración media de las sequías extremas en Alicante es de 20 meses y en Yecla de 12,6 meses. Asimismo, las sequías ibéricas no suelen ser tan intensas como en la zona de la cabecera del Segura.

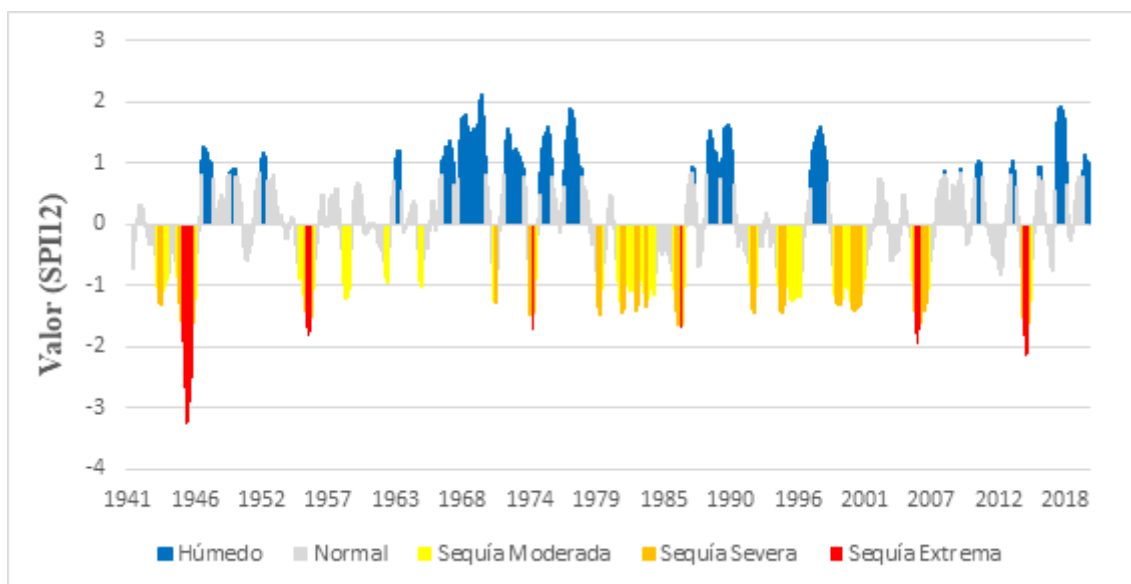


Figura 169. Evolución temporal del SPI12 en la serie de Yecla (1940-2019). Fuente: Elaboración propia.

Periodo	Duración	Magnitud	MSE	IMAX
ene 1945- jun 1946	<b>18</b>	<b>-38,9</b>	<b>11</b>	<b>-3,25</b>
feb 1955- abr 1956	15	-19,6	5	-1,83
dic 1973- jun 1974	7	-9,4	2	-1,72
nov 1985- ago 1986	10	-14,2	1	-1,70
jun 2005- sep 2006	16	-24,6	4	-1,94
may 2014- feb 2015	10	-16,7	5	-2,16

Tabla 53. Características de los periodos de sequía extrema en la serie de Yecla (1940-2019). En rojo se resaltan los valores más extremos. Fuente: Elaboración propia.

En esta serie se localizan un total de seis periodos de sequía extrema. La secuencia pluviométrica seca más severa es la transcurrida entre enero de 1945 y junio de 1946. Se trata de una de las sequías ibéricas más severas del S.XX. En el sureste peninsular finalizó con un fuerte episodio de lluvias torrenciales en abril de 1946 (Riada de la Bendita). En este espacio territorial como ya ha sido mencionado es bastante recurrente que las sequías finalicen de forma brusca como consecuencia del desarrollo de un fuerte episodio de lluvias torrenciales. Como hecho destacable, las sequías 1981-1984, 1994-1996 y 1998-2001, no alcanzaron la categoría de sequía extrema a pesar de ser bastante duraderas, lo que pone de manifiesto que la severidad de las sequías ibéricas y surestinas no es tan elevada como en otras zonas del área de estudio. Estas tres sequías se catalogan como sequías severas.

Con respecto a la evolución de los parámetros de duración y magnitud, cabe reseñar que se producen dos picos máximos (figura 170). El primero en las décadas de 1940 y 1950 y el segundo en el lapso temporal 1980-2000, siendo estos parámetros más intensos en las primeras décadas. Sin embargo, en lo referido a la frecuencia de ocurrencia de sequías el pico máximo si tiene lugar en el lapso temporal 1980-2000. En estas décadas la presión sobre los recursos hídricos fue notable, provocando numerosos problemas de sobreexplotación de acuíferos que perduran hasta la actualidad, y que se han visto acrecentados por las extracciones de aguas subterráneas a través de pozos para su utilización en los cultivos intensivos. En la actualidad, la UTE III Ríos de la Margen Izquierda, posee una elevada sobreexplotación de acuíferos. A diferencia de lo ocurrido en las series de Alicante y Murcia, donde la mayor ocurrencia de sequías tiene lugar en las tres últimas décadas, en la serie de Yecla apenas se observan meses de sequía, en las dos primeras décadas del S.XXI, salvo los lapsos temporales de las sequías extremas de 2005-2006 y 2014-2015, con 16 y 10 meses de duración respectivamente. Esto queda claramente reflejado en la figura 171.

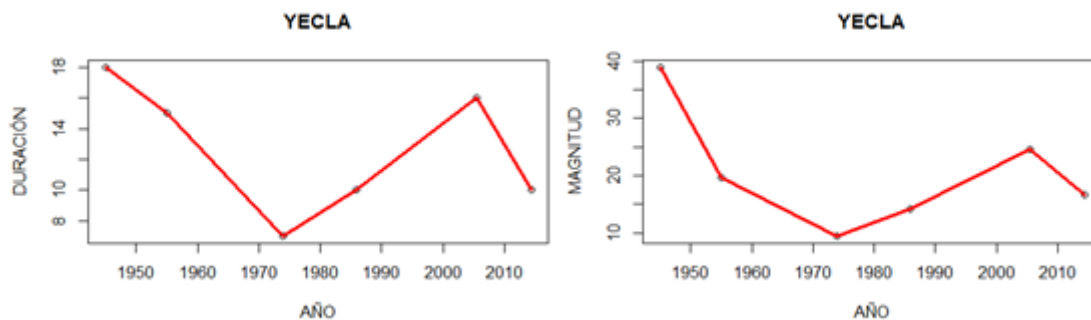


Figura 170. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie de Yecla (1940-2019), mediante curva suavizada con el método LOWESS. Fuente Elaboración propia

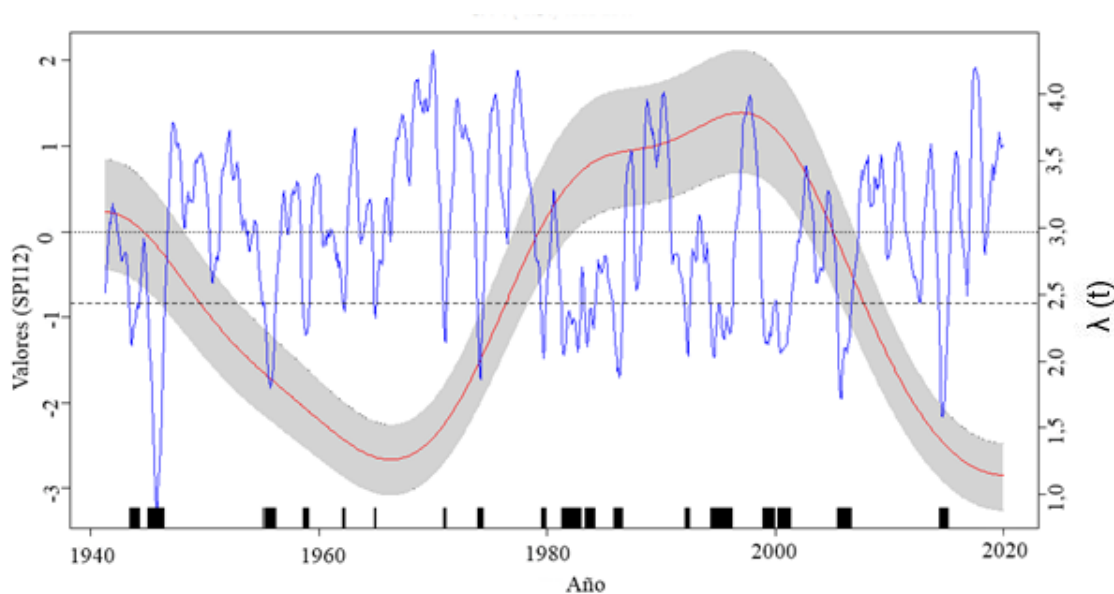


Figura 171. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie de Yecla (1940-2019) mediante análisis con el método KORE. Las marcas negras verticales indican los puntos en el periodo temporal analizado por debajo del umbral de sequía adoptado (-0,84), que aparece en línea discontinua. Fuente: Elaboración propia.

#### 5.1.4. Serie Embalse del Cenajo (1940-2019)

En la figura 172, se observa la evolución temporal del SPI12 en la serie Embalse del Cenajo durante el periodo 1940-2019. Además, en la tabla 54 se presentan las características básicas de los ciclos de sequía extrema. Exhibe un comportamiento bastante similar a la serie de Yecla, y también con las series de Caravaca y Embalse de Puentes. Como ya ha sido mencionado estas series situadas en las regiones interiores no tienen una dependencia tan elevada con un único patrón pluviométrico como las



cabeceras del Segura (precipitaciones de origen atlántico) y franja costera y valles prelitorales (precipitaciones de origen mediterráneo).

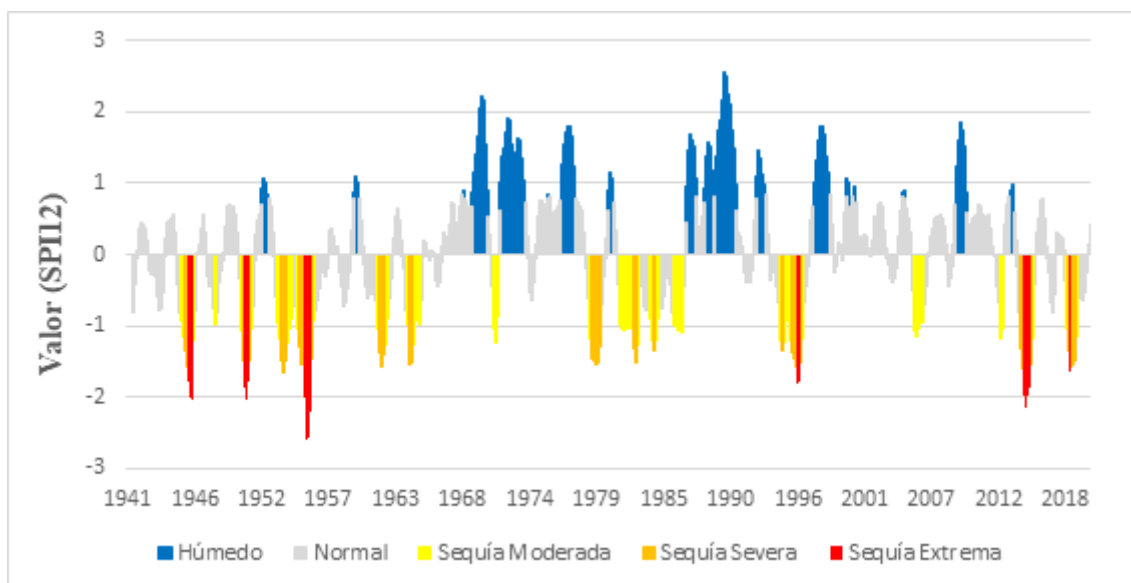


Figura 172. Evolución temporal del SPI12 en la serie Embalse del Cenajo (1940-2019).

Fuente: Elaboración propia

Periodo	Duración	Magnitud	MSE	IMAX
may 1945- may 1946	13	-19,4	5	-2,03
may 1950- mar 1951	11	-16,0	4	-2,02
nov 1954- abr 1956	18	-29,6	<b>8</b>	<b>-2,60</b>
jun 1994- may 1996	<b>24</b>	<b>-30,8</b>	4	-1,80
mar 2014- mar 2015	13	-22,1	8	-2,15
feb 2018- nov 2018	10	-13,6	1	-1,65

Tabla 54. Características de los periodos de sequía extrema en la serie Embalse de Cenajo (1940-2019). En rojo se resaltan los valores más extremos. Fuente: Elaboración propia

En el periodo analizado se han registrado un total de seis sequías extremas. Con respecto a la evolución de los parámetros de duración y magnitud (figura 173) no se observa una tendencia clara, ya que la mayoría de las sequías presentan parámetros muy parecidos. La sequía transcurrida entre junio de 1994 y mayo de 1996 es la de mayor magnitud y duración. Por su parte, la secuencia pluviométrica seca entre noviembre 1954 y abril de 1956, es la que presenta un mayor número de MSE y el valor máximo de IMAX. En lo referido a la evolución temporal de ocurrencia de meses secos, en la figura 174 se vislumbran tres picos máximos: 1940-1960; década de 1980 y década de 2010. No obstante, se observa una evolución descendente en la ocurrencia de sequías en cada uno de estos lapsos temporales. Una tendencia similar se exhibe en la serie Embalse de

Puentes. Una de las causas podría ser el incremento de los episodios de lluvias torrenciales, que impiden que las sequías sean muy duraderas. Es el caso de las sequías extremas acontecidas en el S.XXI, ambas finalizaron con sendos episodios de lluvias torrenciales de origen mediterráneo, en marzo de 2015 y noviembre de 2018. En Pulido Velázquez et al. (2015) se lleva a cabo una evaluación futura de los efectos de las variaciones en los episodios pluviométricos extremos estimadas en los escenarios regionalizados de cambio climático sobre la recarga los acuíferos, y se pone de manifiesto un claro descenso hasta finales del S.XXI.

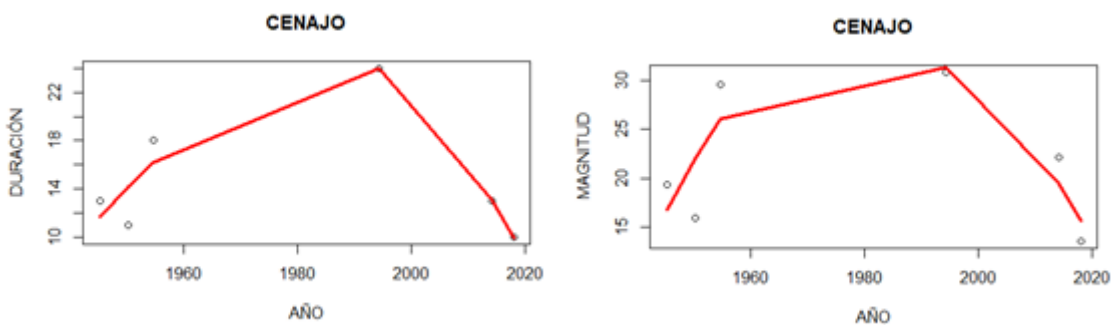


Figura 173. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie Embalse de Cenajo (1940-2019), mediante curva suavizada con el método LOWESS. Fuente Elaboración propia.

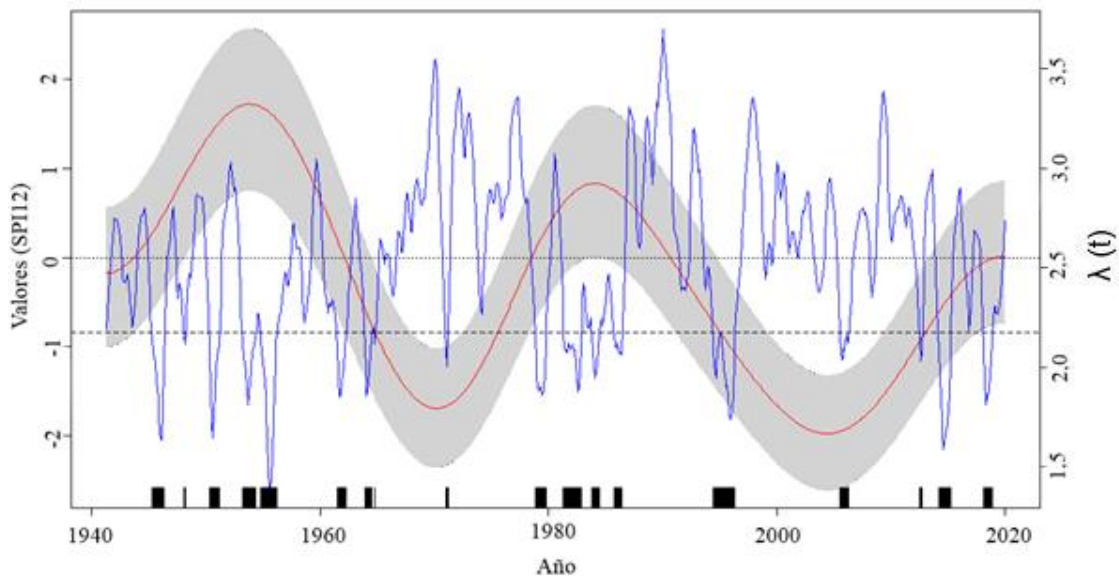


Figura 174. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie Embalse de Cenajo (1940-2019) mediante análisis con el método KORE. Las marcas negras verticales indican los puntos en el periodo temporal analizado por debajo del umbral de sequía adoptado (-0,84), que aparece en línea discontinua. Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.5. Serie Caravaca (1940-2019)

En la figura 175 se muestra la evolución temporal del SPI12 en la serie de Caravaca durante el periodo 1940-2019. Además, en la tabla 55 se presentan las características básicas de los ciclos de sequía extrema (se registran un total de seis sequías extremas). Esta serie es la que presenta una mayor influencia de las precipitaciones de origen mediterráneo. Asimismo, los fenómenos termoconvectivos tienen una marcada importancia en comparación con otras zonas del área de estudio. Estos condicionantes favorecen que las sequías surestinas no sean tan severas como en la franja costera.

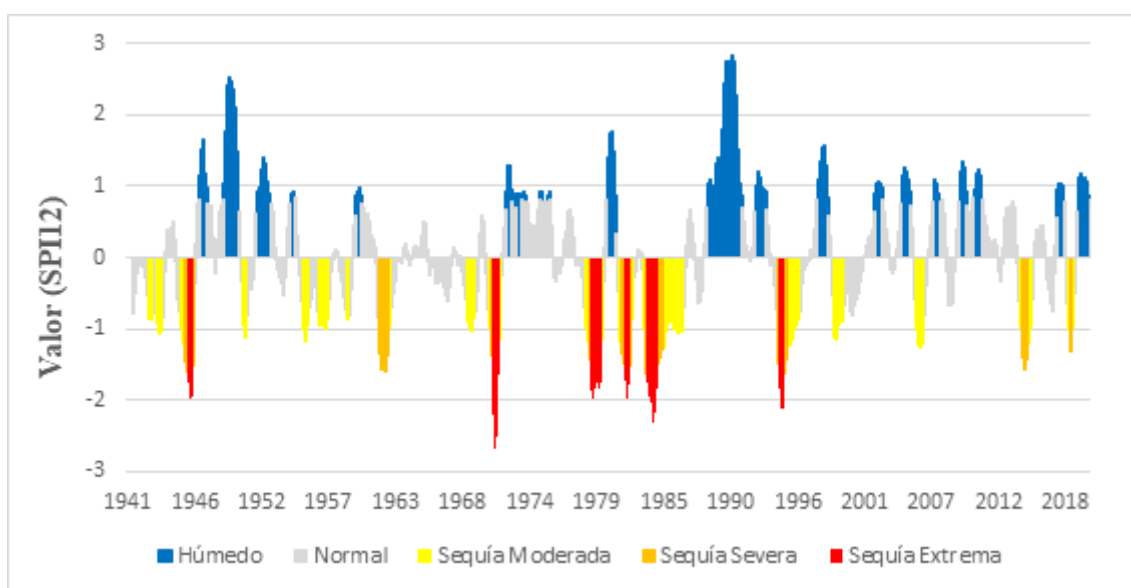


Figura 175. Evolución temporal del SPI12 en la serie de Caravaca (1940-2019). Fuente:

Elaboración propia

Periodo	Duración	Magnitud	MSE	IMAX
abr 1945- may 1946	14	-20,2	4	-1,97
sep 1970- jun 1971	10	-19,0	7	<b>-2,68</b>
jul 1978- nov 1979	17	-26,4	10	-1,96
may 1981- abr 1982	12	-17,6	5	-1,98
may 1983- jun 1986	<b>38</b>	<b>-51,2</b>	<b>11</b>	-2,31
abr 1994- dic 1995	21	-28,6	5	-2,13

Tabla 55. Características de los periodos de sequía extrema en la serie de Caravaca (1940-2019). En rojo se resaltan los valores más extremos. Fuente: Elaboración propia

Cinco de las seis sequías extremas se localizan en el lapso temporal 1970-2000. La sequía de mayor duración y magnitud (figura 176) tuvo lugar entre mayo de 1983 y junio de 1986, con un total de 38 meses y una magnitud de -51,2. De estos 38 meses, un total de 11 presentan la categoría de sequía extrema de forma consecutiva entre agosto de 1983 y junio de 1984, que fue el periodo de mayor severidad. Además, esta sequía estuvo

precedida por otras dos secuencias pluviométricas secas (julio 1978 - noviembre 1979 y mayo 1981- abril 1982), lo que generó perjuicios territoriales muy cuantiosos, sobre todo en los cultivos de secano (Zapata Nicolás et al., 1990).

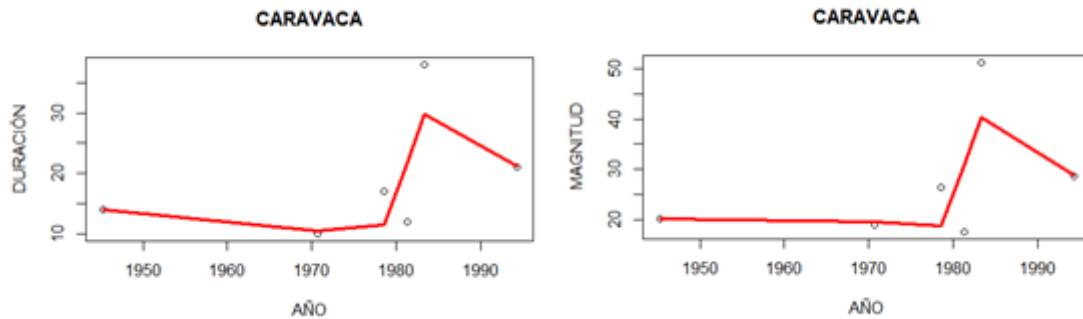


Figura 176. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie de Caravaca (1940-2019), mediante curva suavizada con el método LOWESS. Fuente Elaboración propia

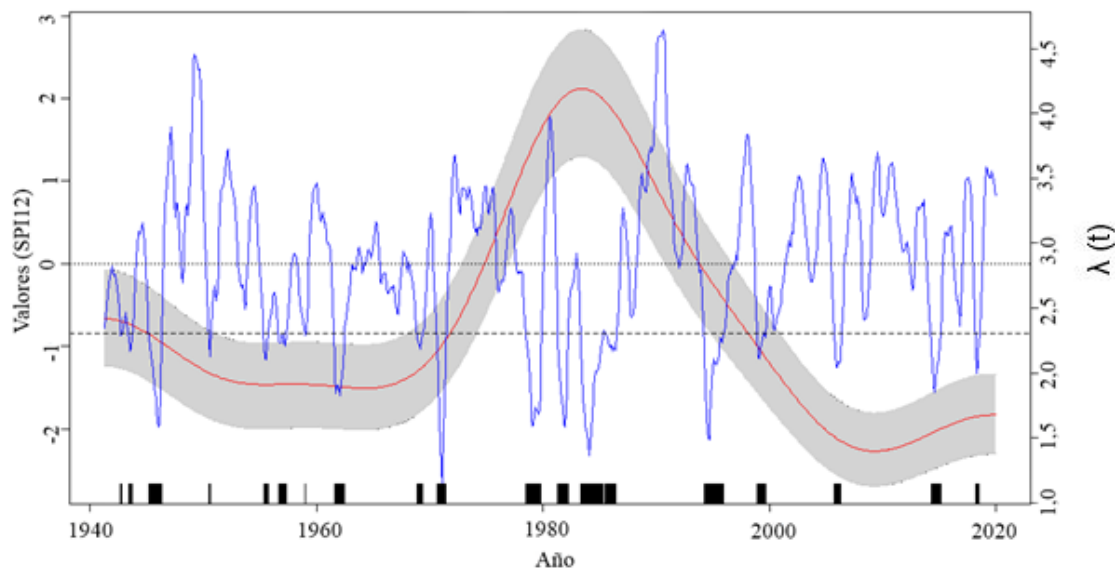


Figura 177. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie de Caravaca (1940-2019) mediante análisis con el método KORE. Las marcas negras verticales indican los puntos en el periodo temporal analizado por debajo del umbral de sequía adoptado (-0,84), que aparece en línea discontinua. Fuente: Elaboración propia.

La sequía 1983-1986 afectó con especial virulencia a las regiones interiores del área de estudio. Curiosamente esta sequía apenas afectó a las cabeceras del Segura y Campo de Alicante, que como se ha visto suelen ser las zonas más afectadas por las sequías ibéricas y surestinas, respectivamente. Durante este lapso temporal predominaron las anomalías positivas en los índices de teleconexión WEMO y MO. Como se verá más adelante las

fases positivas de estos índices tienen una importante correlación con la ocurrencia de sequías en estas regiones interiores. Este ciclo de sequía se podría calificar como una sequía mixta entre las características de las sequías ibéricas y surestinas. En la figura 177 se puede observar como entre 1978 y 1986 hay una gran recurrencia de meses de sequía. Los periodos secos de 1998-2001, 2005-2006 y 2014-2015 afectaron con menor severidad a este territorio.

### 5.1.6. Serie Embalse de Puentes (1940-2019)

En la figura 178, se exhibe la evolución temporal del SPI12 en la serie Embalse de Puentes durante el periodo 1940-2019. Además, en la tabla 56 se exponen las características básicas de los ciclos de sequía extrema (se registran un total de ocho sequías extremas). Dicho emplazamiento exhibe unos patrones de sequía muy parecidos a los observados en las series interiores del Embalse del Cenajo y Caravaca, aunque las sequías surestinas presentan una mayor severidad debido a su ubicación en el valle prelitoral del Guadalentín. Al igual que ocurre en la serie de Caravaca, la sequía extrema acontecida en la primera década de 1980 (mayo 1981-mayo 1984) es la de mayor severidad, con una duración de 37 meses y una magnitud de -50,6 (presenta diez meses consecutivos de sequía extrema entre mayo de 1983 y febrero de 1984). Como ocurre en las series de Alicante y Murcia, la sequía con el valor más bajo de IMAX, fue la de 2014-2015.

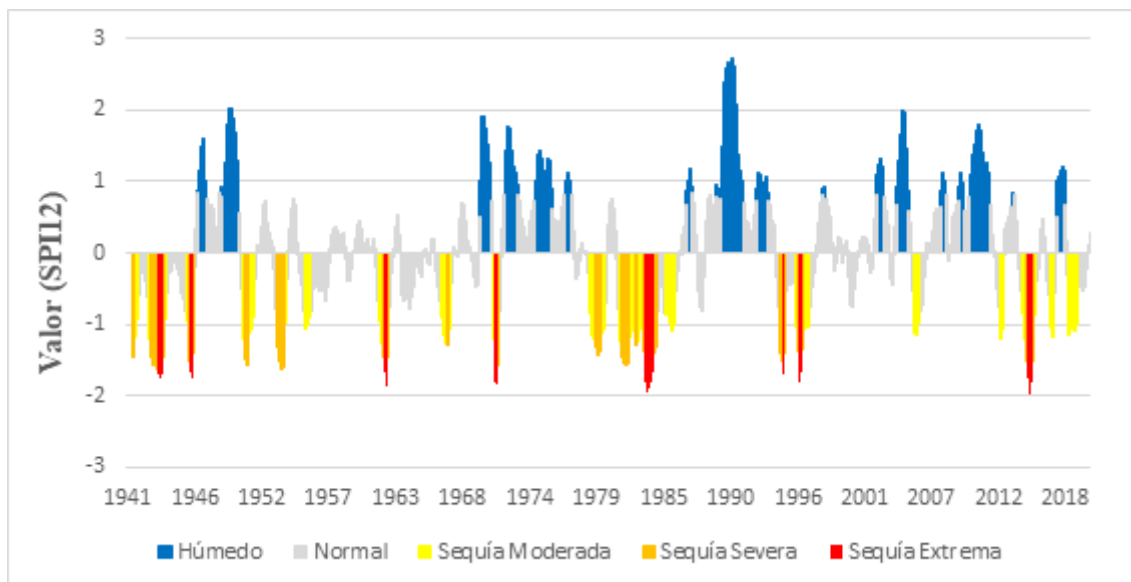


Figura 178. Evolución temporal del SPI12 en la serie Embalse de Puentes (1940-2019).

Fuente: Elaboración propia.

Periodo	Duración	Magnitud	MSE	IMAX
sep 1942- ene 1944	17	-24,5	4	-1,75
oct 1945- abr 1946	7	-9,5	2	-1,76
ago 1961- may 1962	10	-13,5	2	-1,85
ene 1971- may 1971	5	-7,8	2	-1,84
may 1981- may 1984	<b>37</b>	<b>-50,6</b>	<b>10</b>	-1,93
jun 1994- nov 1994	6	-8,2	1	-1,69
nov 1995- nov 1996	13	-16,1	3	-1,81
jun 2014- may 2015	12	-17,0	4	<b>-1,97</b>

Tabla 56. Características de los periodos de sequía extrema en la serie Embalse de Puentes (1940-2019). En rojo se resaltan los valores más extremos. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la evolución de los parámetros de duración y magnitud, en la figura 179 se observa como la sequía de 1981-1984 está muy por encima de las demás, que exhiben un comportamiento muy parecido. En general las secuencias pluviométricas secas de esta serie presentan una duración y magnitud media inferior a las series de Alicante y Murcia, debido sobre todo a que las sequías surestinas son menos severas en este territorio. La sequía surestina de 2014-2015 no es tan duradera como en la series de Murcia y Alicante. En referencia a la evolución de la frecuencia de ocurrencia de sequías, el análisis mediante el método KORE (figura 180) determina una evolución muy parecida a la acontecida en el Embalse del Cenajo. Se presentan tres picos máximos de mayor recurrencia de meses secos (1940-1950, 1980, y 2005-2019). Al igual que ocurre en la serie del Embalse del Cenajo, la frecuencia de meses con sequía va disminuyendo en cada uno de estos máximos.

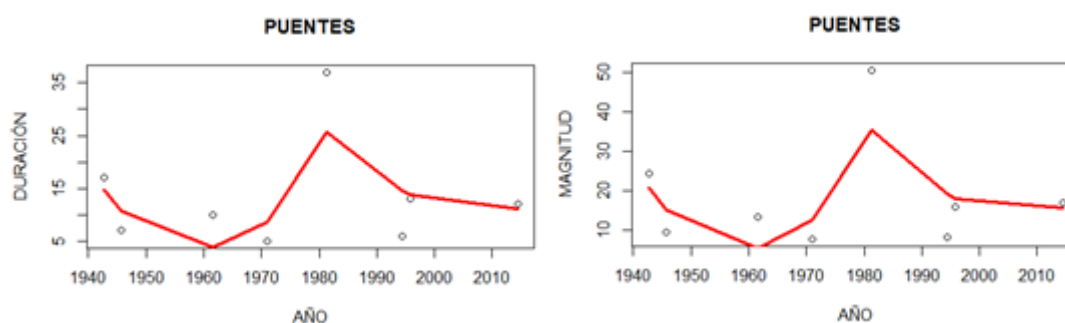


Figura 179. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie Embalse de Puentes (1940-2019), mediante curva suavizada con el método LOWESS. Fuente Elaboración propia

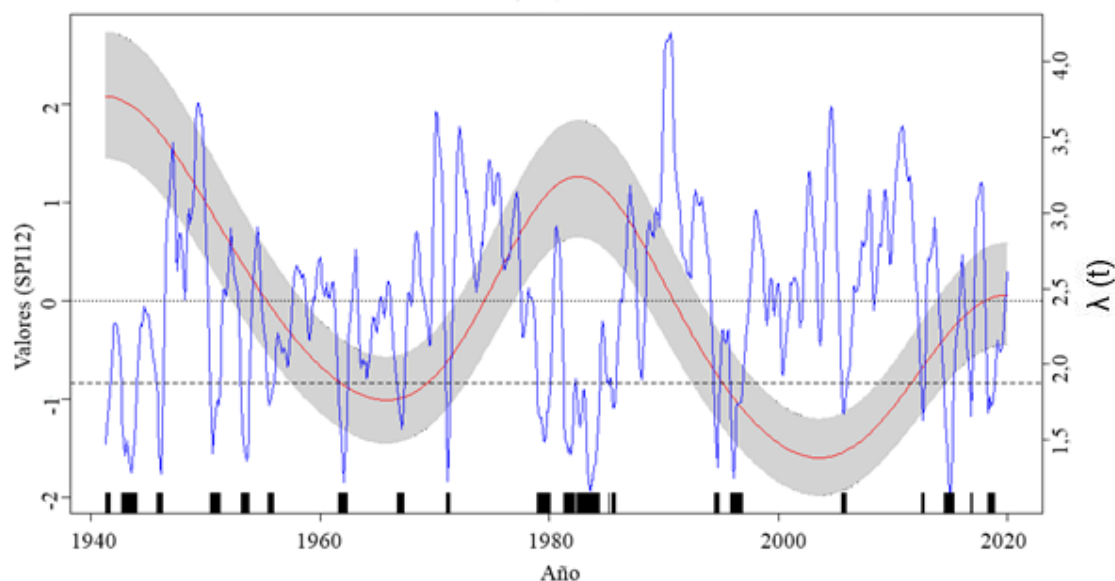


Figura 180. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie Embalse de Puentes (1940-2019) mediante análisis con el método KORE. Las marcas negras verticales indican los puntos en el periodo temporal analizado por debajo del umbral de sequía adoptado (-0,84), que aparece en línea discontinua. Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.7. Serie de Pontones

En la figura 181, se muestra la evolución temporal del SPI12 en la serie de Pontones durante el periodo 1940-2019. Además, en la tabla 57 se presentan las características básicas de los ciclos de sequía extrema (se registran un total de ocho sequías extremas). En esta región, las consecuencias negativas de las secuencias secas trascienden a toda el área de estudio, debido a que en ella se originan la mayor parte de los recursos hídricos (cabeceras de los ríos Segura y Mundo). En Pontones las sequías ibéricas tienen una enorme trascendencia. Las mismas se suelen desencadenar en las fases positivas de los índices NAO y MO como se verá más adelante. Las sequías surestinas tienen muy poca influencia en este territorio.

Se localizan un total de cinco sequías extremas, siendo la sequía ibérica de febrero 1945-junio 1946 la de mayor severidad, con un total de 17 meses y una magnitud de -30,6, de los cuales 11 meses consecutivos presentan el nivel de sequía extrema (entre junio de 1945 y abril 1946). Además, pocos años después se desencadenó la sequía extrema transcurrida entre septiembre de 1953 y febrero de 1955, que es la más duradera de toda la serie. Las secuencias secas estas décadas influyeron negativamente en los cultivos de secano, provocando una elevada escasez de productos agrícolas relacionados. En esta

época la agricultura de autoconsumo era de vital importancia para las familias. En algunos estudios (Benedicto, 1953; Beteta Avio, 2018), se señala que estas secuencias secas de, fueron la principal causa del descenso de población observado en la comarca jienense de la sierra de Segura. Este momento supuso el inicio del éxodo rural en numerosas comarcas interiores del área de estudio. La secuencia pluviométrica seca de abril 2005-abril 2006 es la que presenta una mayor IMAX.

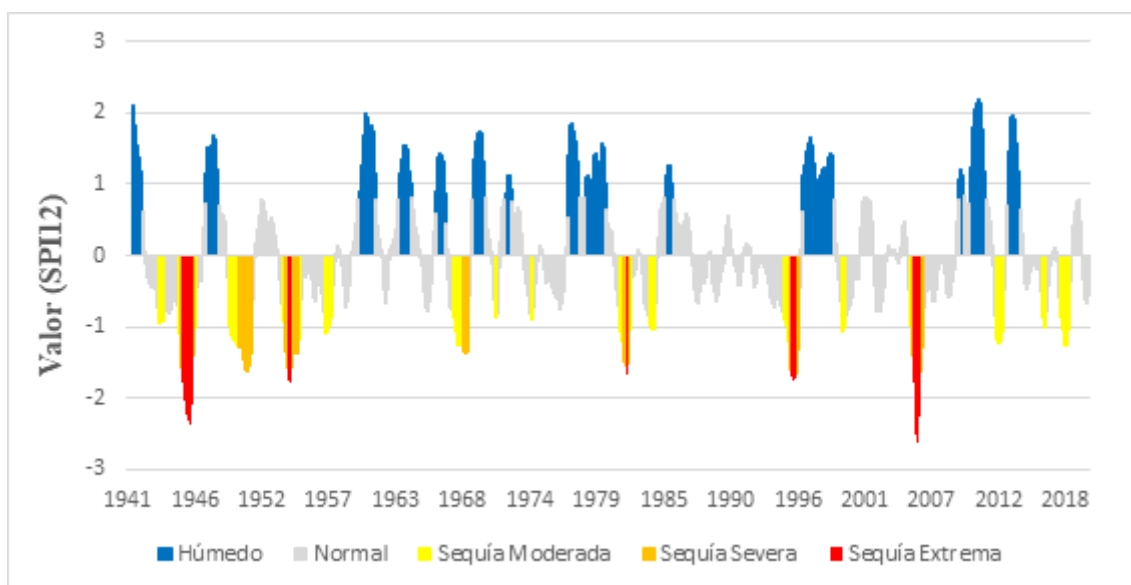


Figura 181. Evolución temporal del SPI12 en la serie de Pontones (1940-2019). Fuente: Elaboración propia

Periodo	Duración	Magnitud	MSE	IMAX
feb 1945- jun 1946	17	<b>-30,6</b>	<b>11</b>	-2,28
sep 1953- feb 1955	<b>18</b>	-23,9	3	-1,79
may 1981- feb 1982	10	-13,0	1	-1,67
oct 1994- ene 1996	16	-21,4	5	-1,76
abr 2005- abr 2006	13	-23,2	7	<b>-2,63</b>

Tabla . Características de los periodos de sequía extrema en la serie de Pontones (1940-2019). En rojo se resaltan los valores más extremos. Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la evolución de los parámetros de duración y magnitud, cabe resaltar que ambos parámetros son bastante similares en todas las sequías extremas (figura 182), aunque se observa que los valores son ligeramente superiores en las sequías de 1945-1946 y 1953-1955. En lo que se refiere, a la evolución temporal de la frecuencia de sequías (figura 183) el pico máximo de ocurrencia de sequías se localiza con diferencia en el inicio de la serie, en las décadas de 1940 y 1950. En contraposición, en las décadas de 1960 y 1970 la ocurrencia de meses con sequía fue muy reducida. Desde la década de 1980 hasta la actualidad se observa una ligera trayectoria ascendente en la ocurrencia de



sequías, sobre todo como consecuencia de las tres sequías ibéricas extremas acontecidas en este lapso temporal.

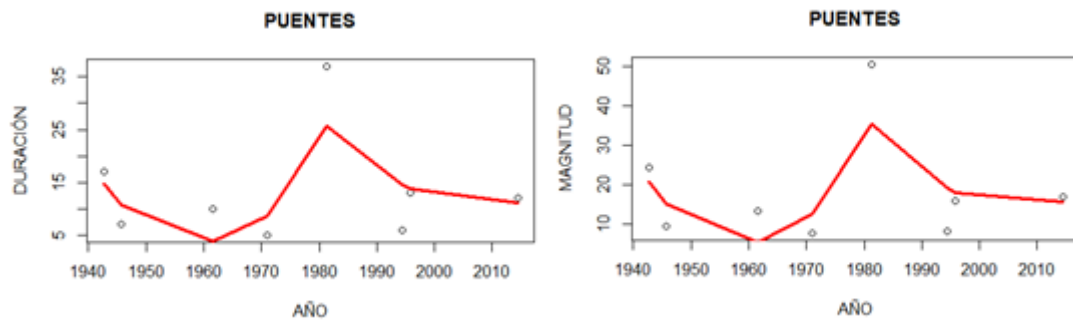


Figura 182. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie de Pontones (1940-2019), mediante curva suavizada con el método LOWESS. Fuente Elaboración propia

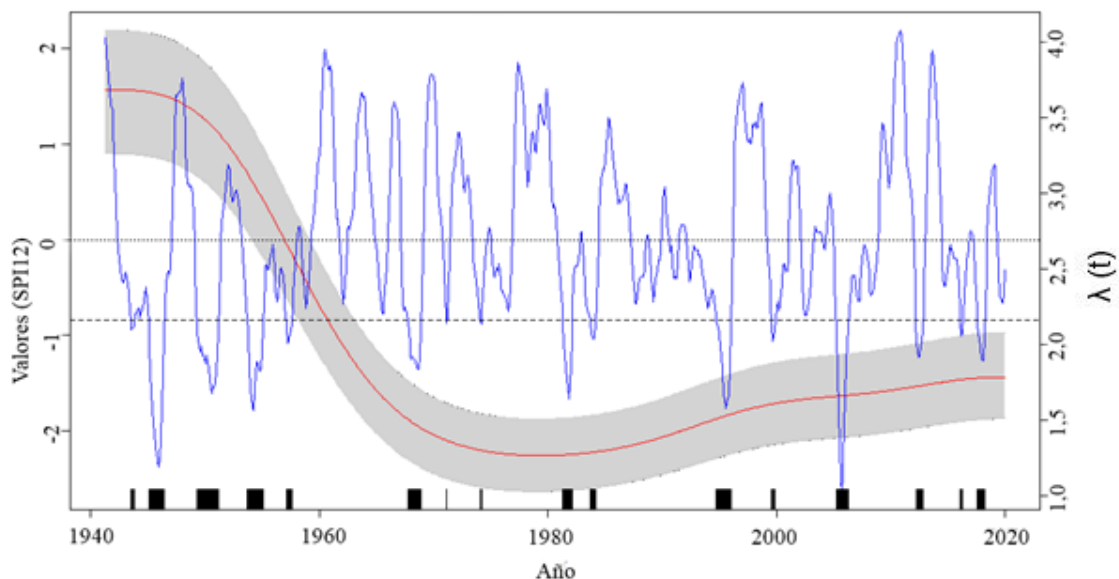


Figura 183. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie de Pontones (1940-2019) mediante análisis con el método KORE. Las marcas negras verticales indican los puntos en el periodo temporal analizado por debajo del umbral de sequía adoptado (-0,84), que aparece en línea discontinua. Fuente: Elaboración propia.

Como ya ha sido mencionado, las secuencias secas en la región de las cabeceras del Segura y Mundo tienen enormes repercusiones en la gestión y control de los recursos hídricos, y por tanto sus consecuencias territoriales trascienden al resto del área de estudio. Las reservas hídricas de los grandes embalses de la cabecera del Segura (Fuensanta y Cenajo) que presentan una capacidad conjunta de 647 hm<sup>3</sup>, se ven muy afectadas por los ciclos de sequía ibérica en dicha región. En la tabla 58 se expone la

evolución de las reservas conjuntas Fuensanta-Cenajo desde el año hidrológico 1967/1968 hasta la actualidad (mayo de 2020).

Año Hidrológico	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1967-68	68.1	73.2	71.9	66.6	81.2	95.8	95.9	73.3	64.5	15.9	19.9	24.4
1968-69	29	41.1	83.5	164.9	205.1	359.8	395.4	394.3	374.8	324.6	278.6	268.3
1969-70	290.4	307.7	321	434.2	461	466.5	453.7	428.2	396.1	332.7	276	250.1
1970-71	246.7	242.4	243.6	267.6	268.1	278	308.9	372.2	386.3	350.4	306.8	288.3
1971-72	292.6	305	328.6	360.1	437.7	507.4	519.8	525.6	513.3	471.2	436.9	430.6
1972-73	445.8	487.3	505.9	538.5	561	587.2	599.1	571.5	547.4	501.1	463.3	433.2
1973-74	443.5	453.2	460.5	475.2	491.7	511	537.4	539.2	514.8	477	445.3	425.2
1974-75	429.1	437	444.8	449.2	451.4	468.4	466.5	470.9	465.3	409.5	367.7	336.7
1975-76	323.8	321.6	329.3	336	347.9	348.4	353.1	347	311.7	257.5	215.4	192.7
1976-77	196.1	206.1	299.6	372.8	473.3	501.1	489.9	484.9	472	423.3	391.2	361.4
1977-78	364.2	371.7	392.5	415.1	468.1	527.9	543.6	564.7	551.5	509.4	471	435.5
1978-79	409.8	406.3	406.1	449.1	548.9	596.5	610.6	592.8	575.3	544.9	491.8	458.8
1979-80	450.5	449.7	452.4	467.9	491.7	511.2	493	512.1	495.6	434.3	370.4	324.9
1980-81	287.8	286.4	286.4	276	249	227.6	225.2	216.4	180.5	142.7	101.2	77.3
1981-82	64.8	64.1	82.8	121.5	140	153	167.4	158.6	158.4	89.1	58.7	54.4
1982-83	64.4	75.9	91.8	94.8	101.9	86.4	68.5	37.1	21.1	25.5	14.4	16
1983-84	20.5	30.1	49.1	61.4	72.5	84.7	65	115.6	106.7	54.1	24.5	13
1984-85	14.2	44	61.1	70.6	136.3	173.5	172.6	165.7	163.9	95.2	41.6	29.2
1985-86	23.7	34.4	44.1	64.3	144.7	177.5	188.1	157.7	157.9	124.4	72	41
1986-87	60	67	75.2	76.7	88.8	105.5	107.7	80.4	66.8	16.8	12.2	9.8
1987-88	19.8	35.9	57.3	77.4	100.3	111.5	122.3	129.6	119	79.7	49.5	31.5
1988-89	17.1	24.5	36	45.3	64.9	84.2	105	116	125.4	100.7	57.4	65.8
1989-90	74.1	84.7	120.8	143.7	157.1	169.4	185.5	194.2	191.9	163.8	130	108.8
1990-91	100.6	91.8	100.5	112.9	131.5	175.4	178.2	147.2	133.1	94.7	43.2	28.5
1991-92	34.6	44.9	57.4	67.6	80.2	97.9	110.3	91.1	95.1	63.6	34.1	21.3
1992-93	27.3	36.7	49.6	60.4	73.8	82.7	88.7	87.6	81.8	31.1	33.1	17.1
1993-94	21	27.9	35.7	44.1	54.5	65.4	86.1	48.5	25.7	28.5	11.5	11.8
1994-95	19.7	18.3	26.6	34	40.5	50.6	55.6	50.9	34.8	18.4	22.6	13.6
1995-96	14	20.3	33.9	97	145.7	158.2	138.4	165.2	140.6	87.3	42.1	39.1
1996-97	47.5	62	108.7	190.2	215	186.5	192.9	198.3	201.5	160.9	125.5	110.5
1997-98	119.3	176.9	232.8	267.8	296.6	297.5	301.7	322.9	323.5	268.1	202.6	127.9
1998-99	81.4	92.4	107.1	118.7	129.3	143.1	150	113.6	100.6	61.1	44	35.1
1999-00	48.1	57.9	73.2	85.1	92.6	98.9	116.8	115.7	115.7	78.2	63.4	61.3
2000-01	61.9	59	73.3	127	163.6	212.9	213.1	220.1	193.5	145.5	108.9	67
2001-02	62.2	60.8	72.7	84.6	89	100.5	112.6	91.6	58.8	46.9	36.2	31.4
2002-03	36.3	38.9	44.7	72.2	80.4	104.2	117.9	114.9	76.1	51.1	28.9	13.2
2003-04	21.9	30.8	46.3	60.5	73.1	93.8	127.2	164.1	166.5	136.7	105.7	96.4
2004-05	100.7	82.1	83.7	89.5	94.6	102.2	106.1	59.5	50.8	48.2	45.2	38.1
2005-06	37.4	41.4	49	53.4	60	78.3	80.2	76.3	74.2	62.9	48.4	32.9
2006-07	26.8	33.5	38.2	43.5	56.4	64.3	82.9	100.5	91.2	79.1	72.9	53.4
2007-08	46	50.1	53.3	58.1	63.4	67.8	80.9	91.9	94.8	92.4	75	50.3
2008-09	51.6	60.8	83.8	122.1	162.1	197.6	217.4	222.8	215.8	187.9	162	160.2
2009-10	155.4	149.1	194	273.2	373.3	454.5	481.2	494.1	482.3	431.4	417.5	409.6
2010-11	403.2	410.1	461.5	475.1	505.3	527.6	536.8	545.8	528.5	484.5	444.4	411.5
2011-12	376.6	376.8	385.3	392.4	396	393.7	399.8	377.5	354.5	346.8	317.1	294.3
2012-13	298.4	356.1	390.6	447.4	490.8	595.3	583.3	583.7	568.8	532.9	504.6	481.1
2013-14	465	444.4	444	464.1	525	566.4	568.5	554.9	547.2	502.2	440.7	404.1
2014-15	402	400	409.9	421.1	458.7	485.1	486.2	443.3	399.4	339.9	276.1	253.9
2015-16	244.1	243.9	240.6	243.1	248.6	264.6	263.1	247.3	223.6	189.8	150.7	121.9
2016-17	116.7	123.2	136.9	143.6	153.4	177.1	181.3	176.8	135.7	92.9	55.4	43.1
2017-18	37.3	40.5	45.4	52.4	60.8	152.3	194.8	209.5	216.2	166.4	128.4	112.1
2018-19	105.6	113.9	121.5	138	164.1	179.8	219.6	222.6	192.1	154.2	118.8	124.9
2019-20	127.9	145.4	211.8	243.6	254.8	272.3	301.7	320.8	-	-	-	-

Tabla 58. Evolución temporal de las reservas conjuntas (hm<sup>3</sup>) Fuensanta-Cenajo desde el año hidrológico 1967/68 hasta la actualidad. Fuente: CEDEX.

Los registros mensuales se toman el último día de cada mes. En la figura 184 se muestra en forma de gráfico dicha evolución temporal, con el objetivo de visualizar de un modo más sencillo los cambios observados en dichas reservas. El volumen mensual conjunto ( $\text{hm}^3$ ) se divide en cuatro categorías (cuartiles) en función del volumen porcentual acumulado: rojo (0-25%), naranja (25-50%), verde (50-75%) y azul (75-100%). Estas mismas categorías se aplican en la tabla 58. Se han seleccionado los datos desde el año 1967/68 debido a que este es el periodo elegido para la realización de la regionalización territorial de sequías.

Se observa como en la década de 1970 predominan los valores superiores al 50% de capacidad, superando durante bastante meses el umbral del 75% que se sitúa en  $485 \text{ hm}^3$ . Sin embargo, desde octubre de 1980 (en la antesala de la sequía ibérica 1981-1982) el volumen mensual conjunto sufre un periodo de treinta años con reservas inferiores al 50% (umbral de  $323,5 \text{ hm}^3$ ) predominando los meses con valores inferiores al 25% (umbral de  $168 \text{ hm}^3$ ). De este modo, en la cabecera del Segura se vislumbra perfectamente el denominado “efecto 80”, definido y analizado en numerosos estudios (Estevan et al., 2007; Lorenzo Lacruz et al., 2012; Pérez Martín et al., 2013; Hernández Bedolla et al., 2019, entre otros).

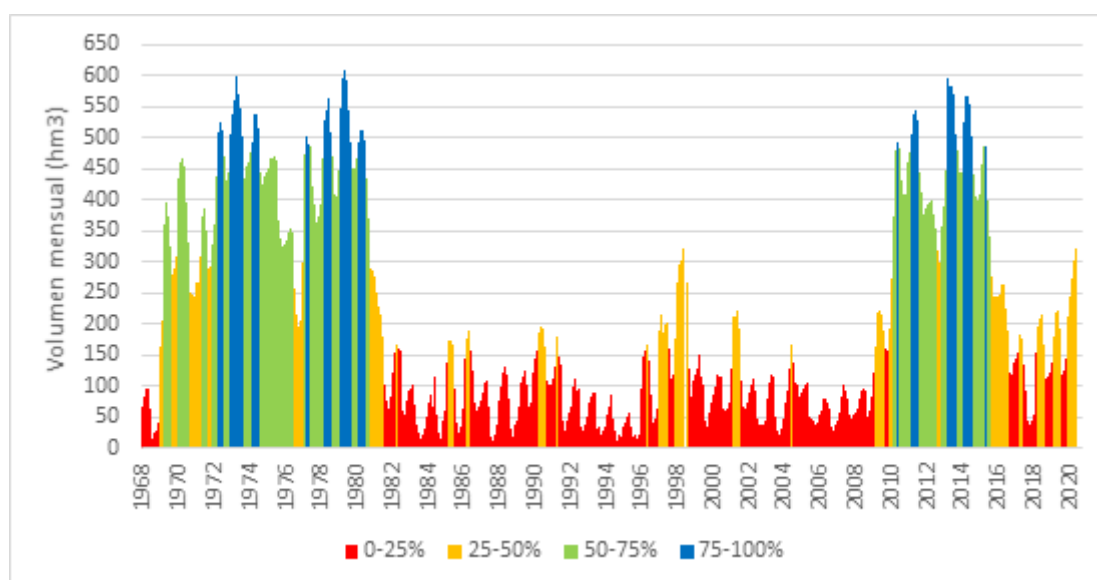


Figura 184. Evolución temporal del volumen mensual conjunto ( $\text{hm}^3$ ) Fuensanta-Cenajo desde el año hidrológico 1967/68 hasta la actualidad. Fuente: CEDEX.

Según Martínez Fernández y Esteve Selma (2000a), la previsión de recursos regulados anuales del embalse del Cenajo fue totalmente sobrevalorada. Este hecho propició que la superficie de nuevos regadíos creadas a expensas de estos nuevos recursos regulados por

el embalse del Cenajo (construido en 1960) crecieran muy por encima de las cifras previstas inicialmente. Además, lo hicieron al margen de toda cobertura legal, lo que provocó un incremento del déficit estructural de la DHS, saldado con la infradotación y, sobre todo, con el acceso a las aguas subterráneas, lo que incrementó la sobreexplotación de acuíferos (García Arostegui et al., 2014). Las sequías hidrológicas acontecidas entre 1980 y 2010 pusieron en relieve la sobredimensión de los recursos hídricos mencionada, y generaron importantes conflictos políticos y sociales.

De este modo, entre 1980 y 2010 se comprueba la enorme relación que hay entre las sequías a escala hidrológica (analizadas en este trabajo con el SPI12) y los recursos hídricos. Los efectos territoriales de las tres sequías extremas registradas en la cabecera del Segura son bastante duraderos y provocan numerosos problemas de abastecimiento de agua. Además, se debe tener en cuenta que las sequías hidrológicas en la cabecera del Segura suelen coincidir temporalmente con las de la cabecera del Tajo, por lo que las consecuencias territoriales se agravan. El lapso temporal de 30 años con las reservas conjuntas inferiores al 50% finalizó de forma brusca el invierno de 2009/10 (el más húmedo con diferencia en la serie de Pontones con más de 1000 mm). A partir de febrero de 2010, y hasta julio de 2016, prácticamente el volumen mensual estuvo por encima del 50%. En este periodo, se tuvieron que abrir las compuertas de ambos embalses en la primavera de 2013, tras un mes de marzo excepcionalmente húmedo. Las reservas alcanzaron un pico de 595,3 hm<sup>3</sup> en marzo de 2013 (92% de capacidad). El embalse de la Fuensanta durante este mes se encontraba con 206,9 hm<sup>3</sup> (98,5% de su capacidad) y el Cenajo con 388,4 hm<sup>3</sup> (88,9% de su capacidad).

Sin embargo, las reservas descendieron drásticamente a partir del verano de 2015, acelerándose este descenso con la sequía ibérica de 2017, que en la serie de Pontones se manifestó en forma de sequía moderada entre agosto de 2017 y marzo de 2018, provocando como ya ha sido mencionado que el nacimiento del Segura se secase durante este lapso temporal (figura 112). En octubre de 2017 se alcanzó el pico mínimo de este periodo, con un volumen conjunto de tan solo 37,3 hm<sup>3</sup> (5,7%). Es decir, en menos de cinco años (entre marzo de 2013 y octubre de 2017), el volumen conjunto descendió en más de 500 hm<sup>3</sup>. Este hecho pone de manifiesto, por una parte la enorme presión hídrica que sufren los embalses de la cabecera del Segura (sobre todo debido a la demanda de los cultivos de regadío), y por otra parte que en este territorio las sequías moderadas y severas también conllevan notables impactos sobre los recursos hídricos.

En las figuras 185 y 186, se analiza el impacto de la sequía ibérica de 2017 sobre los embalses de la Fuensanta y Cenajo. Para ello, se examina la variación del volumen almacenado por ambos embalses entre octubre de 2017 (momento en el que las reservas se sitúan en el pico mínimo de la sequía hidrológica de 2017) y mayo de 2020 (en este mes las reservas conjuntas se encontraban en 320 hm<sup>3</sup>, prácticamente en el 50% de su capacidad, gracias a un mes de diciembre excepcionalmente húmedo y una primavera húmeda).

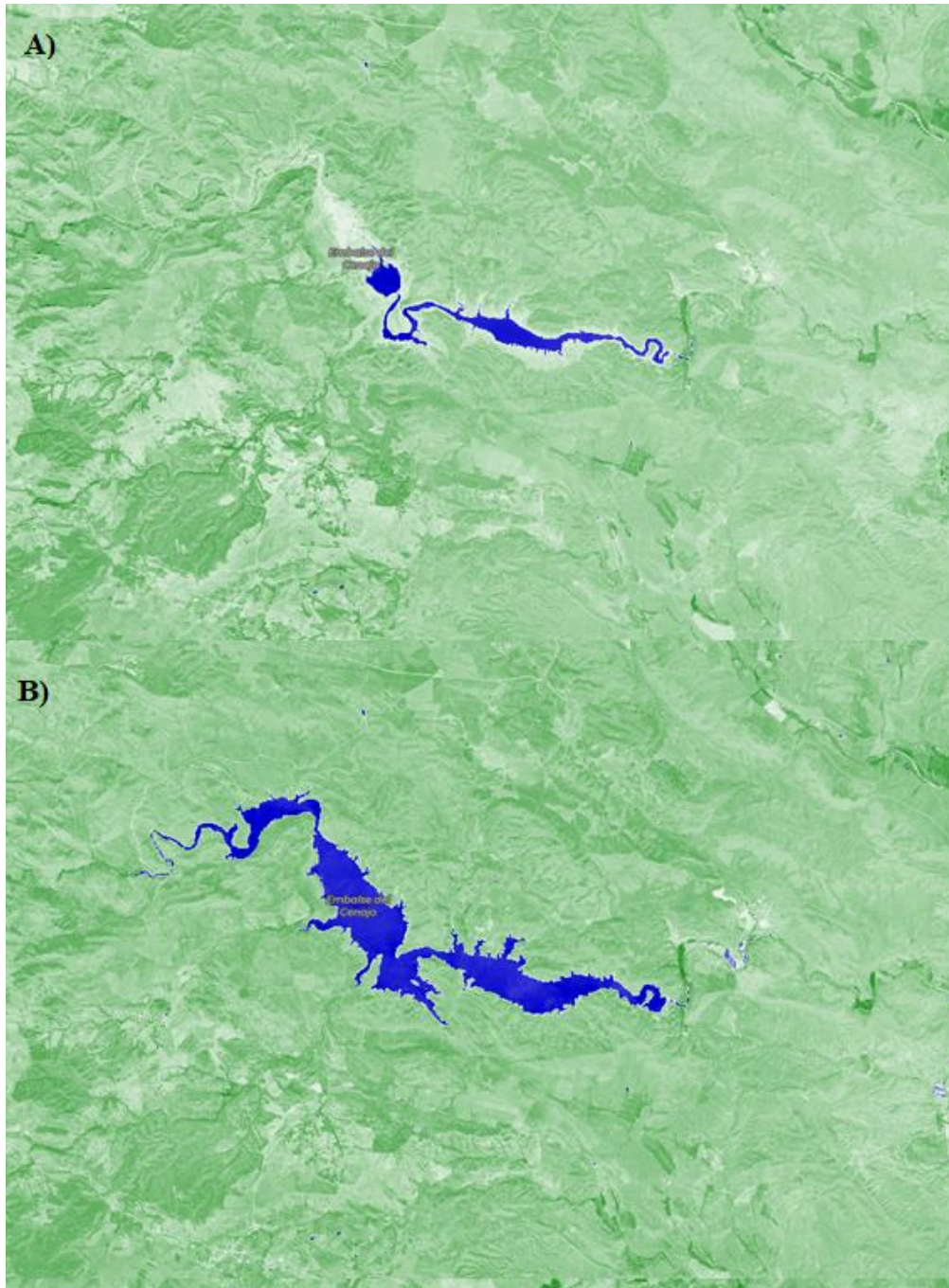


Figura 185. Evolución de las reservas hídricas del Embalse del Cenajo entre A) octubre 2017 y B) mayo 2020 mediante la aplicación del índice NDWI. Fuente: Eo Browser.



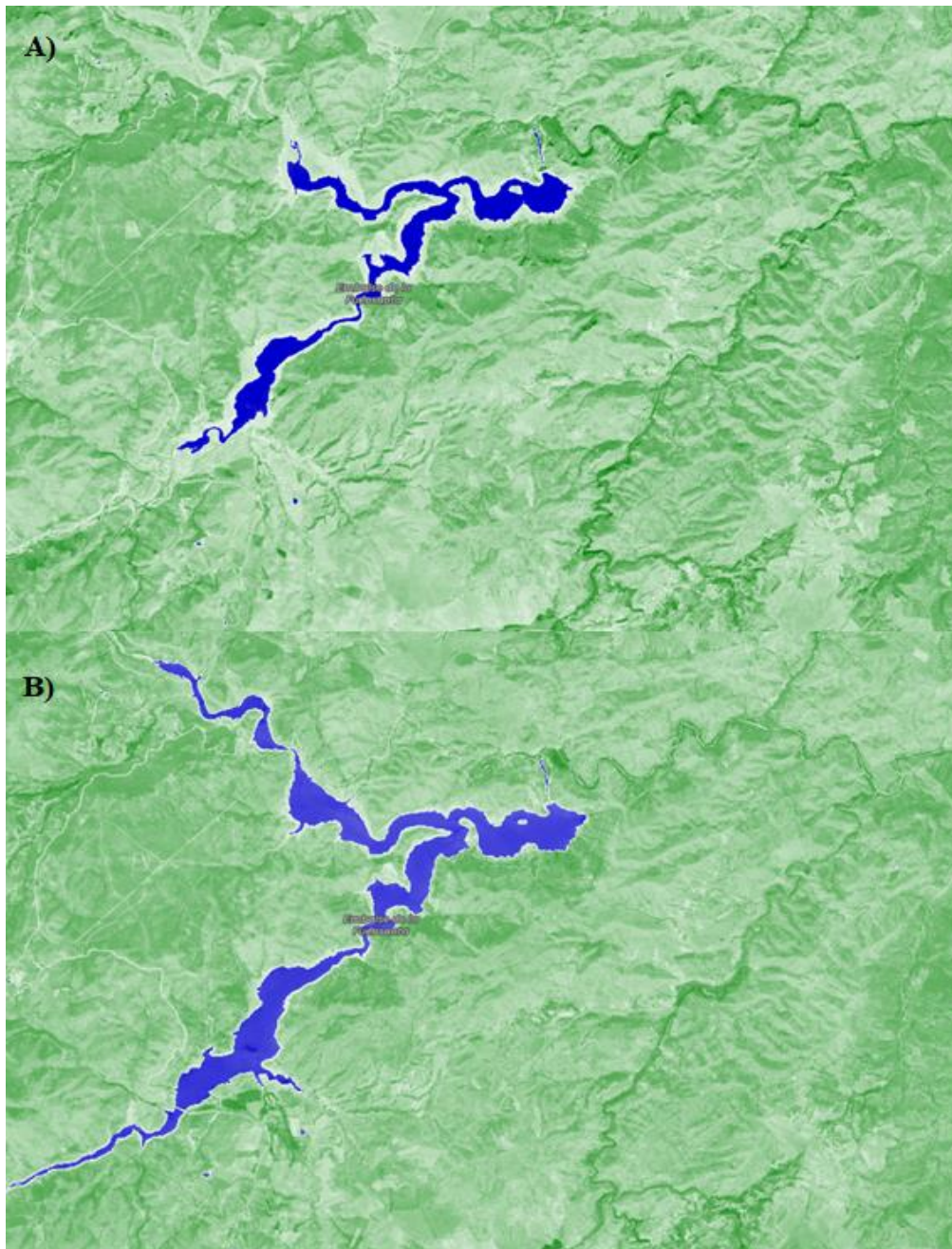


Figura 186. Evolución de las reservas hídricas del Embalse de la Fuensanta entre A) octubre 2017 y B) mayo 2020 mediante la aplicación del índice NDWI. Fuente: Eo Browser.

Las imágenes con las que se realiza el análisis pertenecen al satélite SENTINEL-2. Para una mejor visualización del volumen almacenado por los embalses, se ha aplicado el índice de teledetección NDWI (Normalized Difference Water Index). Este es el índice más apropiado para el mapeo de las masas de agua (Du et al., 2016). Este índice constituye una herramienta muy útil para la evaluación del impacto de las sequías hidrológicas en las reservas hídricas. En el ejemplo analizado se muestra como el impacto es

notablemente superior en el embalse del Cenajo que es el de mayor capacidad y donde se suelen almacenar la mayor parte de las reservas hídricas. En octubre de 2017, en plena sequía ibérica, el volumen almacenado era de tan solo 26,2 hm<sup>3</sup> (6% de capacidad). Sin embargo, gracias a la excepcionalidad pluviométrica sobre todo de marzo de 2018 y diciembre de 2019 en la cabecera del Segura, las reservas experimentan un notable ascenso hasta llegar a 261 hm<sup>3</sup> (60% de capacidad). Los cambios son menos destacados en el embalse de la Fuensanta, ya que la mayor parte de las reservas hídricas son derivadas desde la Fuensanta hasta el Cenajo. Se pasa de 11,1 hm<sup>3</sup> en octubre de 2017 (5,3% de capacidad) a 59,8 hm<sup>3</sup> en mayo de 2020 (28,5% de capacidad).

A continuación, y una vez analizadas las características de las sequías en las series de precipitación más largas, se lleva a cabo una pequeña descripción de las principales consecuencias territoriales y las actuaciones que se efectuaron en cada una de las secuencias secas extremas acontecidas en el área de estudio. Esta exposición sirve de preámbulo para el posterior análisis de las series regionalizadas del SPI12 efectuado en el apartado 5.2:

**1) Sequía 1912-1914:** Sequía surestina. Es una de las secuencias pluviométricas secas más intensas de los últimos 150 años. En la serie de Murcia (1864-2019) es la de mayor magnitud y mayor número de MSE. Fue el culmen de un acusado descenso de las precipitaciones iniciado a finales de la década de 1880 (que fue excepcionalmente húmeda). En CEDEX (2013b) se pone de manifiesto que las tierras del sureste de España fueron muy afectadas durante este lapso temporal. En este estudio se expone que se limitó el progreso de la actividad agraria, generándose enormes pérdidas en las tierras de cultivo. Además se explica que fue muy común el incumplimiento de las obligaciones tributarias. Asimismo, se pone en relieve la fuerte emigración hacia el norte de África, Centroeuropa y otras regiones de España entre 1908-1914 (Morales Gil et al., 1999; Martínez Carrión, 2005; CEDEX, 2013), como consecuencia de este periodo de indigencia pluviométrica.

La grave crisis agropecuaria desencadenada se vio agravada por las escasas infraestructuras hídricas existentes en esta época. Consecuentemente, se secaron numerosas fuentes y manantiales de las que se abastecía gran parte de la población. Por tanto, tras esta sequía se hizo más acuciante la necesidad de construir una infraestructura que permitiera el abastecimiento de gran parte de los municipios incluidos en el ámbito territorial de la DHS. Esta idea comenzó a materializarse en el año 1913, en el que se iniciaron los estudios que concluirán con la creación de la MCT en el año 1927.

**2) Sequía 1925-1927:** Sequía ibérica. En CEDEX (2013b) y Vicente Serrano (2006) se manifiesta que afectó con gran severidad a las cabeceras de los ríos de la vertientes mediterránea entre 1924-1928. Durante esta sequía la crisis agropecuaria fue menor que en la sequía de 1912-1914. En el transcurso de esta secuencia seca se creó la MCT en el año 1927, aunque debido a la fuerte inestabilidad política existente en esta época en España, no se le dio un verdadero impulso a esta infraestructura hasta después de la Guerra Civil. Asimismo, en 1926 se realizó la concesión de la construcción del embalse de la Fuensanta al Sindicato Central de Riegos del Segura (Martínez Fernández y Esteve Selma, 2000b). Esta obra estaba destinada a aumentar los recursos hídricos disponibles y, sobre todo, a garantizar su disponibilidad evitando el acusado déficit estival.

En López Bermúdez (1971) se expone que durante esta secuencia seca se sucedieron varios episodios de lluvias torrenciales como por ejemplo la “Riada de la Victoria” el 13 de noviembre de 1926. Estos episodios aliviaron sustancialmente el déficit hídrico originado. Además, en Ferreras Fernández (2004) se resalta que en los meses anteriores a esta sequía durante la primavera de 1924, tuvo lugar la conocida “Crecida de los Ochenta Días”, como consecuencia de grandes temporales que afectaron a la cabecera del Segura provocando el deshielo de las nieves acumuladas en las cuencas altas de los ríos Segura, Taibilla y Mundo.

**3) Sequía 1935-1938:** Sequía surestina. Esta secuencia seca afectó únicamente al sureste peninsular, mostrando especial virulencia en la franja costera y valles prelitorales. En las series de Murcia y Alicante es con diferencia el periodo seco de mayor duración, con 38 y 35 meses de duración respectivamente. En la serie de Murcia el lapso de mayor severidad se encuentra entre julio y octubre de 1936, y en Alicante entre septiembre de 1937 y junio de 1938 (diez meses consecutivos de sequía extrema). En Olcina Cantos (1994) y Vicente Serrano (2006) se pone de manifiesto esta intensa sequía surestina, comprendida según estos autores entre 1935 y 1939. En las series de Murcia y Alicante, tras un hiato de 5 meses (enero-mayo 1939), a finales de 1939 se observan algunos meses de sequía moderada.

La gran extensión temporal del déficit pluviométrico provocó graves consecuencias socioeconómicas. A los efectos causados por esta sequía sobre las actividades agropecuarias (sustento de vida de gran parte de la población), hay que sumarle los efectos devastadores de la Guerra Civil, transcurrida entre julio de 1936 y abril de 1939. Dicho conflicto bélico provocó desabastecimiento de recursos básicos en la población, sobre



todo de alimentos (acrecentado por esta sequía). Se generó una recia hambruna. En Olcina Cantos (1994) se señala que en el inicio de la posguerra, la cosecha del verano de 1939 en la zona republicana alcanzó solo el 41% del promedio producido entre 1931 y 1935.

Además, en este lapso temporal hubo importantes problemas de abastecimiento de agua en los núcleos urbanos y rurales, debido a que las infraestructuras de la MCT quedaron paralizadas por la Guerra Civil, y no se retomaron hasta la finalización de la misma. La suma de todos estos factores adversos originó grandes movimientos de población del sureste, sobre todo hacia el norte de África y Centroeuropa (Martínez Carrión, 2005). En menor medida, también se registraron flujos migratorios interiores desde las comarcas más afectadas por esta sequía surestina (Valle del Guadalentín, Huerta de Murcia, Campo de Cartagena, Vega Baja del Segura o Campo de Alicante), hacia comarcas interiores como por ejemplo Altiplano o Noroeste de Murcia, donde esta secuencia seca apenas tuvo incidencia (Ruiz Álvarez et al., 2016). La existencia de estos flujos migratorios interiores dentro de las provincias mediterráneas en la década de 1930 y 1940 es corroborada en algunos estudios (Capel Sáez, 1967; Recaño Valverde, 1996).

**4) Sequía 1945-1946:** Sequía ibérica. Esta sequía afectó con mayor severidad a las cabeceras de los ríos Segura y Mundo. En la serie de Pontones (1940-2019), es la sequía de mayor duración y magnitud con un total de 17 meses. Además, entre junio de 1945 y abril de 1946 se registraron 11 meses consecutivos de sequía extrema. En Benedicto (1953) se expone que el descenso de población observado en la comarca de la sierra del Segura en la década de 1940 se debió en gran parte a los años de sequía que provocaron una gran crisis agropecuaria, y la consecuente emigración hacia el norte de África, Centroeuropa y otras regiones de España. Este autor remarca que la precipitación media fue inferior a los 400 mm en los años 1941, 1943, 1944, 1945 y 1948, cuando en régimen normal la media es de 800 mm. Capel Sáez (1967), remarca que dentro del contexto de la posguerra se produjeron numerosos flujos migratorios desde la Región de Murcia hacia Cataluña.

Aunque se trata de una sequía ibérica, tuvo una enorme repercusión en toda el área de estudio. Por ejemplo, en Murcia el año 1945 es el más seco de los más de 150 años de su serie con tan solo 91,6 mm. Esta secuencia seca finalizó de forma brusca en abril de 1946, como consecuencia de un episodio de lluvias torrenciales conocido como “Riada de la Bendita”, que tuvo lugar el 21 de abril de 1946. Por otra parte, con respecto a las infraestructuras hidráulicas, cabe destacar que en plena secuencia pluviométrica seca se

consiguió un hito muy importante para el abastecimiento de agua potable en la DHS: la MCT logró en mayo de 1945 que la ciudad de Cartagena y su base naval quedaran abastecidas con las aguas del Taibilla, mediante la construcción de un canal de más de 200 km de longitud.

**5) Sequía 1953-1956.** Se trata de un sequía ibérica (1953-1955) que se prolongó en forma de sequía surestina hasta 1956. Olcina Cantos et al. (1995), resalta que a las consecuencias negativas acaecidas por esta secuencia seca hay que añadir los efectos catastróficos provocados en el sector agropecuario por las fuertes heladas de febrero de 1956, que generaron enormes pérdidas en los valles prelitorales (López Bermúdez, 1971). El déficit hídrico originado y los problemas de abastecimiento de agua en las áreas metropolitanas de Murcia y Alicante, fueron paliados en gran parte con la llegada de las aguas del Taibilla a las ciudades de Murcia en 1955 y Alicante en 1956.

**6) Sequía 1963-1967:** Sequía surestina. Durante este periodo se sucedieron varias secuencias pluviométricas secas en el área de estudio, intercaladas por episodios de lluvias torrenciales. Durante este lustro, por ejemplo la precipitación fue inferior todos los años a los 300 mm en la serie de Murcia. Dicho lapso temporal, supuso un punto de inflexión en la percepción social de las sequías por parte de la población, ya que se pasó de la adaptación al catastrofismo, lo cual aumenta considerablemente el nivel de vulnerabilidad frente a las sequías. Por tanto, esta secuencia seca de graves consecuencias económicas en el sureste ibérico, marca el cambio de la tradicional adaptación a la reducción de las precipitaciones, a su consideración como secuencia catastrófica, consolidándose esta percepción en sequías sucesivas (Morales Gil, 1999). El aumento de las demandas de agua, como consecuencia de la transformación de los cultivos de secano a regadío en la Región de Murcia y el inicio del auge de las actividades turísticas, junto a la poca eficaz planificación de los recursos hídricos, se encuentra en el origen de este modo de entender un hecho natural (Morales Gil et al., 1999).

**7) Sequía 1970-1971:** Sequía surestina. Esta secuencia seca es la que presenta una mayor IMAX en algunos puntos del interior, como en la serie de Caravaca. En dicho emplazamiento el año 1970 es el más seco de toda su serie con tan solo 133,5 mm. Su duración es inferior a los 12 meses en todas las series analizadas. Este periodo de indigencia pluviométrica, junto a la mencionada secuencia de 1963-1967, generó el primer gran periodo deficitario de la MCT. Debido a este hecho, este organismo se vio obligado a buscar nuevas fuentes de abastecimiento, a parte del río Taibilla. Esta fue una

de las principales causas, junto al aumento de la demanda de agua por parte de las actividades económicas de la Región de Murcia, y en general de todo el SE de España, por las que el gobierno de España a través del Ministerio de Obras Públicas aprobó el “Anteproyecto General del Aprovechamiento Conjunto de los Recursos Hidráulicos del Centro y Sureste de España, Complejo Tajo-Segura”. La aprobación se efectuó en el año 1966 cuando se dio lugar al comienzo de las obras del TTS, el cual entró en funcionamiento finalmente el 31 de marzo de 1979.

Además el notable aumento de la demanda de agua en esta década llevó consigo un incremento de la sobreexplotación de los acuíferos. La anunciada llegada de las aguas del TTS, junto al advenimiento de las aguas del MCT, a la mayor parte de los municipios de la DHS en la década de 1970, generó un importante sentimiento de falsa seguridad en la población, lo que hizo aumentar más si cabe su vulnerabilidad ante los periodos de sequía. En este sentido, gran parte de la población confunde la disponibilidad de los recursos hídricos (relacionado con la sequía hidrológica), con la disminución de las precipitaciones y el consecuente déficit pluviométrico (sequía meteorológica o pluviométrica) (Morales Gil y Rico Amorós, 1996).

**8) Sequía 1978-1979:** Sequía surestina. Tuvo una duración media alrededor de 15 meses. Esta secuencia es la antesala de las intensas sequías que afectaron al sureste de la península ibérica en la primera mitad de la década de 1980. Durante este periodo, cabe resaltar un hito muy importante en referencia a las infraestructuras hidráulicas, que fue la llegada de las primeras aguas procedentes del río Tajo al río Segura. Este hecho tuvo lugar el día 31 de marzo de 1979. En 1980, gracias a las obras del denominado postravase, el agua del TTS llegó al Valle del Guadalentín y gran parte de las Vegas del Segura. En este punto, es importante mencionar que durante el año hidrológico 1979/80 se produjeron desembalses desmesurados en la Cuenca Alta del Tajo hacia el río Segura, en un año hidrológico que se caracterizó por la normalidad pluviométrica. Este suceso, generó graves consecuencias en el sureste español, debido a que en los años venideros la cabecera del Tajo sufrió una importante sequía entre 1980 y 1985 (Morales Gil et al., 1999), reduciéndose de esta forma el volumen de agua trasvasado.

**9) Sequía 1981-1982:** Sequía ibérica. Se trata de una secuencia seca de corta duración que afectó en mayor medida a la cabecera de la DHS. Representa el inicio de una sucesión de sequías ibéricas que generó graves consecuencias en las reservas hídricas, sobre todo en los embalses de la Fuensanta y Cenajo. De hecho, como ya ha sido comentado, en el

año hidrológico 1980/81 comenzó un periodo de 30 años con las reservas conjuntas de ambos embalses por debajo del 50 % de su capacidad. Esta sequía finalizó en enero en 1982, que es uno de los eneros más húmedos en numerosos puntos del interior. Además en octubre de 1982 tuvo lugar uno de los episodios de lluvias torrenciales más intenso y catastrófico en la vertiente mediterránea (López Bermúdez y Gutiérrez Escudero, 1983), que dio lugar, por ejemplo a la rotura de la presa de Tous (Valencia).

**10) Sequía 1983-1986:** Esta secuencia seca se podría calificar como “sequía mixta”, ya que no posee las características propias ni de la sequía ibérica ni de la surestina. A diferencia de lo que ocurre normalmente, afectó con mucha más severidad en los territorios del interior (Caravaca y Embalse de Puentes), y con menos dureza a los situados en la cabecera de la DHS y Campo de Alicante (en dichos territorios apenas tuvo incidencia). En las series de Caravaca y Embalse de Puentes es con mucha diferencia la sequía de mayor duración y magnitud, siendo esta de 38 y 37 meses respectivamente. Caravaca registró 11 meses consecutivos de sequía extrema (agosto 1983- junio 1984) y el Embalse de Puentes 10 meses consecutivos (mayo 1983- febrero 1984).

En el año hidrológico 1983/84 la cabecera del Tajo atravesó su primer periodo deficitario como consecuencia de la sequía ibérica de 1981-1982. El año 1983 que también fue seco en gran parte de la península ibérica. Este hecho mermó de forma considerable el volumen de recursos hídricos enviados al sureste a través del TTS. Esto llevó consigo graves consecuencias al sector agropecuario sobre todo en las ZRT, ya que desde la llegada del TTS en 1979, se produjo un aumento exponencial de la superficie de regadío. García Marín (2008a) expone que en el valle del Guadalentín se originó un aumento de casi el 100% de la superficie de regadío, entre 1976 y 1981. Esto hizo aumentar la vulnerabilidad de los agricultores frente a las sequías y su dependencia respecto a los recursos hídricos procedentes de la cabecera del Tajo.

Por tanto, tras esta secuencia seca y los nuevos condicionantes introducidos con el TTS, se llegó a la determinación de que no siempre un periodo seco depende exclusivamente de los valores de precipitación acumulados en un territorio concreto. Es el caso por ejemplo de la comarca del Campo de Alicante, donde como ya ha sido comentado, esta sequía apenas tuvo incidencia desde un punto de vista pluviométrico. No obstante, las consecuencias económicas fueron cuantiosas debido a su elevada dependencia de recursos hídricos externos. Los desembalses desmesurados efectuados en la cuenca del Tajo durante el año hidrológico 1979/80, fueron claves para que en los años hidrológicos

1982/83 y 1983/84 las reservas hídricas entraran en el nivel 3 de las reglas de explotación del TTS.

De esta forma, de no haberse producido estos excesivos desembalses, las consecuencias económicas en el sector agropecuario habrían resultado probablemente menos gravosas. Esto indica la enorme dependencia que generó el TTS en los agricultores de las ZRT (Gil Olcina y Morales Gil, 2001). En definitiva, esta prolongada e intensa sequía provocó fuertes impactos sobre los ecosistemas hídricos de la DHS, como por ejemplo la sobreexplotación de los acuíferos, y generó numerosas perturbaciones socioeconómicas (Zapata Nicolás et al., 1990). Según estos autores, el endeudamiento del sector agropecuario en la Región de Murcia fue espectacular.

**11) Sequía 1993-1996:** Sequía ibérica y surestina. Esta secuencia comenzó en otoño de 1993 en forma de sequía ibérica. En la mayor parte de la península ibérica finalizó en diciembre de 1995 de forma brusca, como consecuencia de la entrada sucesiva de frentes atlánticos muy activos. Sin embargo, en la franja costera y valles prelitorales del sureste esta secuencia seca se prolongó en forma de sequía surestina hasta el otoño de 1996. Se trata de una de las secuencias pluviométricas secas más intensas registradas en el área de estudio, lo que conllevó importantes repercusiones territoriales, socioeconómicas y medioambientales. Además, cabe destacar que el TTS atravesó durante esta sequía ibérica su primer gran periodo deficitario. Por primera vez entró en el nivel 4 (existencias por debajo de  $240 \text{ hm}^3$ ), el cual impide los trasvases de agua. Este nivel permaneció durante 6 meses (entre julio y diciembre de 1995). Asimismo, durante 17 meses las reservas conjuntas Entrepeñas-Buendía fueron inferiores a  $400 \text{ hm}^3$ , por lo que si hubieran estado en vigencia las reglas de explotación actuales las consecuencias en el sector agrícola del sureste habrían sido notablemente superiores.

Durante este periodo seco se efectuaron numerosas medidas de actuación encaminadas a paliar los efectos negativos del mismo. Tras el verano de 1995, uno de los más secos de todo el S.XX, el gobierno de España, impulsó y aprobó, por vía de urgencia, el denominado “Plan Metasequía”, que incluía múltiples actuaciones de emergencia (perforación de pozos, abastecimientos con aguas depuradas, construcción de desaladoras, etc.), como consecuencia del desabastecimiento de agua en numerosas poblaciones del sureste peninsular (Morales Gil, 1999). Además, en el año 1996 se llevó a cabo la construcción de la conducción Rabasa-Fenollar-Amadorio, cuya finalidad es la conexión de los depósitos de la MCT en Rabasa (Alicante), con el Embalse de Amadorio.

Con respecto a las repercusiones medioambientales, es importante resaltar que las sequías conllevan también una serie de efectos negativos en los recursos naturales, como por ejemplo en las masas arbóreas por el notable incremento del riesgo de incendios forestales (Olcina Cantos y Rico Amorós, 1995). En plena secuencia seca, en julio de 1994, tuvo lugar el mayor incendio forestal acontecido en la Región de Murcia durante el S.XX. Se trata del incendio de Moratalla, que calcinó un total de 28.397 ha (según la información extraída de la Estadística General de Incendios Forestales). Este incendio se originó el día 4 de julio, por un cortocircuito en un línea eléctrica, y tuvo una rápida expansión debido a la extrema sequedad reinante en la vegetación durante este periodo, y a que justo en esa fecha se desencadenó la ola calor más intensa del S.XX sobre el sureste peninsular, superándose durante varios días los 45°C en varias estaciones meteorológicas del área de estudio (Garrido Abenza et al., 2014).

Precisamente, durante el verano de 1994 las reservas conjuntas de Fuensanta y Cenajo llegaron a su extremo más bajo, acumulando tan solo 11,5 hm<sup>3</sup> (1,8 % de su capacidad), por lo que el déficit hídrico fue muy acusado. Además, coincidió temporalmente con el periodo deficitario de la cabecera del Tajo. Tras una serie de inviernos húmedos o muy húmedos las reservas hídricas Fuensanta-Cenajo fueron recuperándose hasta alcanzar un nivel de 323,5 hm<sup>3</sup> en junio de 1998. Tras esta secuencia seca la MCT comenzó a plantearse la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento.

**12) Sequía 1998-2001:** Sequía surestina. Se trata de la secuencia seca surestina de mayor duración y magnitud desde la segunda mitad del S.XX. La misma se desencadenó apenas dos años después de la intensa sequía 1993-1996, y por tanto este territorio no se había recuperado de las consecuencias gravosas de dicho episodio. Afectó con gran severidad a la franja costera y valles prelitorales. En las series de Murcia y Alicante tuvo una duración de 30 y 28 meses respectivamente. Este episodio seco dio lugar a que a partir del año 2000 comenzara un segundo periodo deficitario en la MCT, debido a la insuficiencia de los caudales del río Taibilla y a la crisis deficitaria atravesada por la cabecera del Tajo en los años anteriores.

Por tanto, y debido a la creciente demanda de agua originada por el fuerte desarrollo económico (concentrado sobre todo en la actividades agropecuarias y turísticas) y el notable incremento demográfico de los municipios abastecidos por la MCT, se necesitaban nuevas fuentes de abastecimiento complementarias a las ya existentes. En un primer momento, para afrontar este déficit de recursos hídricos, y para que no existieran

problema de abastecimiento de agua a la población, se recurrió a un aumento en la extracción de los recursos hídricos subterráneos, como por ejemplo los existentes en el Sinclinal de Calasparra. Además dentro del Plan Hidrológico Nacional, el gobierno planteó la posibilidad de realizar un trasvase desde el río Ebro a las provincias del sureste peninsular, idea que quedó finalmente desestimada.

Tras la desestimación de la relación del trasvase del Ebro, el gobierno de España decidió dar un impulso a la desalinización, gracias a la construcción de una serie de desalinizadoras en el litoral mediterráneo español. En el año 2000, el gobierno concedió permiso para la construcción de dos desalinizadoras: San Pedro del Pinatar I y Canal de Alicante I, situadas respectivamente en los litorales de las provincias de Murcia y Alicante. La apuesta por la construcción de desalinizadoras como solución a los problemas de abastecimiento de agua de los municipios de la MCT fue respaldada por el gobierno de España, en el año 2004, con la puesta en marcha del programa AGUA (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua) (MCT,2019).

**13) Sequía 2005-2006:** Sequía ibérica. Afectó con gran severidad a la cabecera de la DHS. Es la sequía ibérica con valor de IMAX más bajo en la serie de Pontones, donde tuvo una duración de 13 meses. Esta secuencia tuvo importantes repercusiones en los recursos hídricos, descendiendo las reservas hídricas conjuntas Fuensanta-Cenajo a un nivel mínimo de  $26,8 \text{ hm}^3$  (4,1% de su capacidad). El nacimiento del Segura se secó durante varios meses y hubo numerosos problemas de abastecimiento de agua en los municipios de la cabecera del Segura. Además, la cabecera del Tajo atravesó su segundo gran periodo deficitario, que fue mucho más intenso que el de 1993-1996. En la cabecera del Tajo este episodio se extendió hasta el año 2008. De hecho, durante 51 meses estuvo establecido el nivel 3 de las reglas de explotación del TTS por lo que los recursos trasvasados se redujeron en gran medida. Además, dentro de estos 51 meses, en un total de 38 el volumen mensual se localizó por debajo de  $400 \text{ hm}^3$ , por lo que si llegan a estar vigentes las reglas de explotación que entraron en vigor en el año 2014, las pérdidas económicas en el sector agrícola dentro de las ZRT habrían sido enormes. Esta sequía se dio por finalizada en el invierno húmedo de 2008/2009, que permitió una notable recuperación de las reservas hídricas tanto en la cabecera del Tajo como en la del Segura. El invierno excepcionalmente húmedo de 2009/2010 permitió que las reservas conjuntas Entrepeñas-Buendía alcanzaran el nivel 2, y que las reservas conjuntas Fuensanta-Cenajo superaran por primera vez tras 30 años el 50 % de su capacidad.

**14) Sequía 2013-2016:** Sequía surestina. Afectó con gran virulencia a las comarcas costeras y valles prelitorales. Se trata de la sequía surestina de mayor IMAX en las series de Alicante, Murcia y Embalse de Puentes. En numerosos observatorios del interior esta secuencia seca finalizó en marzo de 2015, como consecuencia de un episodio de lluvias torrenciales (Núñez Móra, 2015). En cambio, en la mayor parte de las comarcas costeras dicho episodio seco se prolongó hasta diciembre de 2016, mes en que tuvo lugar entre los días 15 y 19 de diciembre uno de los episodios de lluvias torrenciales más intensos de los últimos 50 años (Espín Sánchez et al., 2017).

Durante este lapso temporal las pérdidas en los cultivos de secano fueron cuantiosas (Redondo Orts, 2018). Con respecto a los recursos hídricos, las reservas tanto de la cabecera del Tajo como de la cabecera del Segura se encontraban en un nivel bastante elevado al principio del periodo seco, año hidrológico 2013/14, como consecuencia de una primavera excepcionalmente húmeda. De hecho como ya ha sido mencionado, se tuvieron que producir desembalses en los pantanos de Fuensanta y Cenajo en la primavera de 2013. No obstante, el volumen descendió drásticamente debido a la enorme presión hídrica ejercida en ambos sistemas. La cabecera del Tajo volvió a entrar en nivel 3 a partir de julio de 2014, por lo que las comunidades de regantes de las ZRT tuvieron que buscar otras fuentes de abastecimiento complementarias al TTS, destacando el uso de pozos de sequía, cesiones de derechos y desalinización (Gil Meseguer et al., 2020). El uso del agua desalinizada propició que durante esta sequía no se produjera desabastecimiento de agua potable en la población, a diferencia de lo ocurrido en las sequías de 1993-1996 y 1998-2001.

En el transcurso de esta secuencia pluviométrica seca, el gobierno aprobó un Decreto de Sequía, mediante el Real Decreto 356/2015, de 8 de mayo, por el que se declaraba la situación de sequía en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Segura, al entrar en la fase de alerta el Índice de Estado Global. Este Decreto de Sequía, fue prolongándose año a año mediante Reales Decretos, hasta el 30 de septiembre de 2019, a pesar de que los años 2018 y 2019 fueron bastante húmedos. Este hecho hace replantear la utilidad de estos Decretos de Sequía, que solo deben ser aprobados en situaciones excepcionales, ya que de por sí el sureste de España es un territorio que posee un déficit hídrico estructural.

Mediante la aprobación del Real Decreto 356/2015 de 8 de mayo y sus sucesivas prórrogas, se adoptaron una serie de medidas extraordinarias que permitieron atender las



demandas de agua más urgentes, al poner a disposición de los usuarios más de 95 hm<sup>3</sup> de agua adicional. Concretamente, el MAGRAMA declaró la emergencia de un total de 21 actuaciones en la DHS por un importe total de 29,2 millones de euros. Entre estas actuaciones, destacan la apertura de pozos de sequía, entre los que resalta la apertura de los pozos del Sinclinal de Calasparra, permitiéndose la extracción de un volumen de 25 hm<sup>3</sup>. Además, se permitió la cesión de derechos entre comunidades de regantes (para que los regantes que tuvieran agua de sobra pudieran ceder sus recursos a los que la necesitaban); o la movilización de cualquier recurso de agua desalada que no se estuviera utilizando (García Marín et al., 2016).

Una de las obras de carácter excepcional más importante que se ejecutó fue la construcción de una tubería de 27 km (tubería del Valle del Guadalentín), que lleva las aguas desde la desaladora de Águilas a las comunidades de regantes de Lorca y Totana. Las obras, que comenzaron el 14 de octubre de 2015 contaron con una inversión estatal de 20 millones de euros y se concluyeron en marzo de 2016, por lo que en la actualidad se encuentra ya en pleno funcionamiento. Esta conducción, permitirá paliar los efectos negativos de sequías venideras en zonas de cultivos de los municipios de Lorca y Totana.

## **5.2. Regionalización de sequías (periodo 1968-2017)**

En el presente apartado se lleva a cabo una regionalización de sequías en el periodo 1968-2017. Se utiliza la misma metodología utilizada para la regionalización de las precipitaciones a escala mensual, realizada en el capítulo 4.4 (el enfoque metodológico utilizado se describe de forma detallada en el apartado 4.4.1). Por tanto, en este apartado tan solo van a ser descritos los aspectos concernientes al ACP. Posteriormente, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de las sequías en cada una de las regiones homogéneas obtenidas (4 en total).

Las sequías constituyen riesgos naturales regionales, lo cual implica que sea muy importante la identificación de áreas homogéneas donde el comportamiento de los patrones espacio-temporales de las sequías (frecuencia de ocurrencia, magnitud o duración) sean similares. En este trabajo, para la identificación de regiones homogéneas se ha aplicado la técnica de ACP a las series temporales suavizadas (media móvil de 5 meses) del SPI12. Este método ha sido utilizado por numerosos autores en ámbitos

climáticos muy diferentes con resultados satisfactorios (Vicente et al., 2004; Santos et al., 2010; Portela et al., 2015; Espinosa et al., 2019).

En el presente trabajo, el análisis de ACP ha consistido en el cálculo de la matriz de covarianza de los datos del SPI12 para los correspondientes valores propios ("eigenvalues") y vectores propios ("eigenvectors") (Richman, 1986). Los CP están dados por la proyección de los campos del SPI12 en las propias funciones ortonormales (Raziei et al., 2015). Por otra parte, cabe mencionar que la identificación de los patrones espaciales del SPI12 está basada en la carga de los CP, los cuales representan la correlación entre cada una de las series temporales de SPI12 (obtenidas a partir de las series de precipitación) y la correspondiente serie de componente principal. Estas series de componentes principales se configuran como series "regionalizadas" de SPI12. Por último, para llevar a cabo una mejor interpretación de los resultados obtenidos, los principales componentes han sido rotados, utilizando la técnica Varimax, que es ampliamente utilizada en el ámbito científico para realizar estas rotaciones (Richman, 1986). De este modo se consigue localizar con mayor precisión la variabilidad espacial de los patrones de sequía. Los patrones obtenidos a partir de este método se denominan componentes principales rotados (CPR en adelante).

Es muy importante destacar que la identificación de los grupos homogéneos es muy dependiente de la técnica de clúster utilizada. Por tanto, en este trabajo, aparte del ACP, se han implementado otras técnicas de clúster, para corroborar y dar estabilidad a los grupos obtenidos con el análisis de ACP. Las técnicas de clúster implementadas son el método jerárquico Ward's con la distancia Euclidiana, y el método no jerárquico K-Means, debido a que son dos de las técnicas que proporcionan mejores resultados (Hair et al., 1998). En definitiva, aunque el análisis por clúster se rige por un análisis discriminante para verificar la significancia estadística de los grupos obtenidos, no se garantiza que los grupos sean realmente significativos, de ahí la utilidad de recurrir a más de una técnica de clúster (Dillan y Goldstein, 1984).

La herramienta "Scree Plot", al igual que en la regionalización de las precipitaciones a escala mensual, ha sido el primer criterio utilizado para seleccionar el número de CP a retener (Hair et al., 1998). En la figura 187 se muestran los diez primeros valores propios resultantes del ACP. Se observa, como la primera componente es la que explica la mayor parte de la varianza con un 68% del total. En el gráfico, se contempla una línea negra que une los valores de varianza explicada por los diez primeros valores propios. Se vislumbra

que esta deja de descender y se estabiliza aproximadamente en la cuarta componente principal, lo que significa que entre tres o cuatro CP deben ser retenidos. El posterior mapeo de los valores de las correlaciones entre las series SPI12 y las CP (“factor loadings”) sugirió la selección de los cuatro primeros componentes, ya que cubren la práctica totalidad del área de estudio y no se superponen (figura 188).

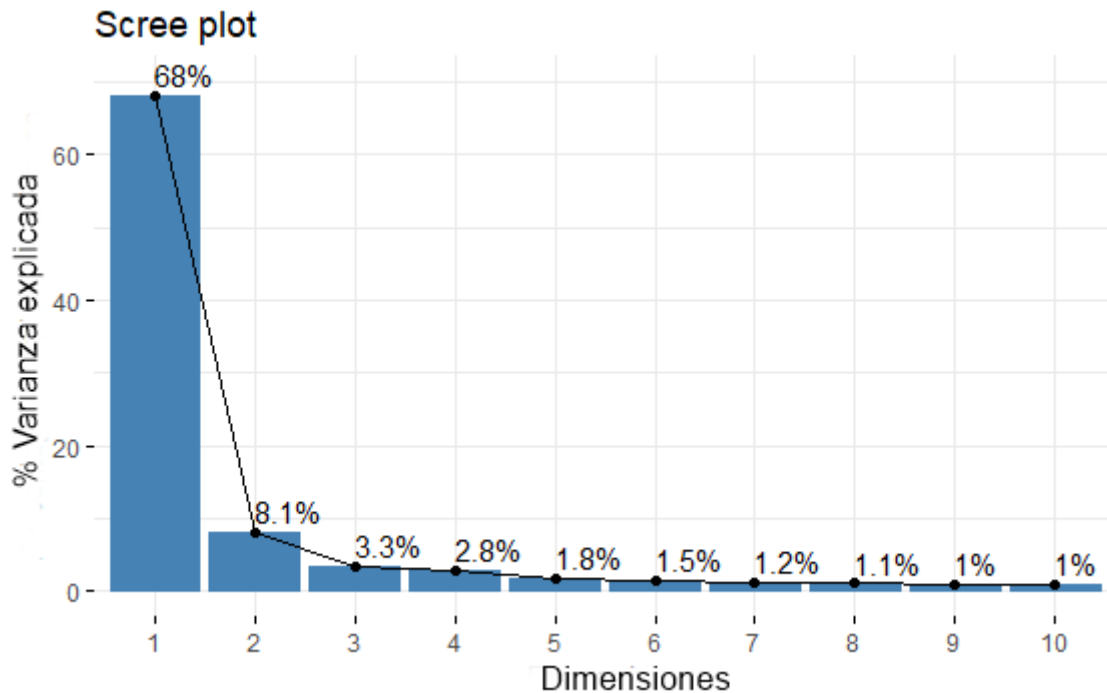


Figura 187. Varianza explicada por los diez primeros valores propios resultantes del ACP aplicado a las series de SPI12. Fuente: Elaboración propia a partir de R.

Por otra parte, como ya ha sido mencionado, mediante el uso de los valores propios puede ser extraída información del porcentaje de varianza por cada uno de los CP, tanto a nivel parcial como la varianza acumulada. En la tabla 59 se muestra la varianza explicada por los diez primeros CP (no rotados y rotados). El porcentaje de varianza acumulada total explicada por las cuatro primeras componentes es de un 82,2%, distribuyéndose de la siguiente forma: 68,0% (CP1), 8,1% (CP2), 3,3% (CP3) y 2,8% (CP4). A partir de la cuarta CP, la contribución de la varianza de cada nueva dimensión es insignificante, siendo todas las variables inferiores a un 2%. De este modo, solo las cuatro primeras CP son retenidas para la ejecución de la rotación por Varimax, con el objetivo de identificar cuatro regiones homogéneas. Una vez realizada la rotación se observa como desciende considerablemente la varianza explicada por la CP1 (31,2%). La CP3 es la segunda componente que representa una mayor varianza explicada (23,1%). Como se expone a continuación, ambas componentes representan la mayor parte de la superficie del área de

estudio. En cambio, la CP2 y CP4 representan ambas menos de un 15% de la varianza explicada.

ACP	Series SPI12			
	Varianza explicada parcial (%)		Varianza explicada acumulada (%)	
	No rotado	Rotado	No rotado	Rotado
CP1	68,0	31,2	68,0	31,2
CP2	8,1	14,7	76,1	45,9
CP3	3,3	23,1	79,4	69,0
CP4	2,8	13,2	82,2	82,2
CP5	1,8		84,0	
CP6	1,5		85,5	
CP7	1,2		86,7	
CP8	1,1		87,8	
CP9	1,0		88,8	
CP10	1,0		89,8	

Tabla 59. Porcentaje de varianza explicada parcial y acumulada de los diez primeros CP (CP1 a CP10) rotados y no rotados. Fuente: Elaboración propia a partir de R.

Los cuatro CPR extraídos son representados espacialmente a través de mapas de cargas factoriales (figura 188). Estos mapas representan la correlación existente ente capa CPR y cada una de las series regionalizadas del SPI12. El método de interpolación utilizado para la ejecución de los mapas ha sido el Inverse Distance Weighting (IDW), con un exponente de 2. De esta forma, el proceso de rotación ortogonal (Varimax) empleado para la identificación de patrones espaciales de sequía se muestra como una herramienta eficaz para realizar una delimitación bastante precisa de regiones con diferente variabilidad temporal de sequías. En los cuatro mapas mostrados en la figura 188 se han delimitado las regiones donde los valores del coeficiente de correlación entre cada CPR y las series de SPI12 son iguales o superiores a 0,6 (estás áreas han sido delimitadas en los mapas mediante una línea discontinúa para facilitar su identificación). Se ha seleccionado este coeficiente relativamente bajo como umbral para la delimitación de las regiones, debido a la elevada variabilidad espacial de las precipitaciones en el área de estudio.

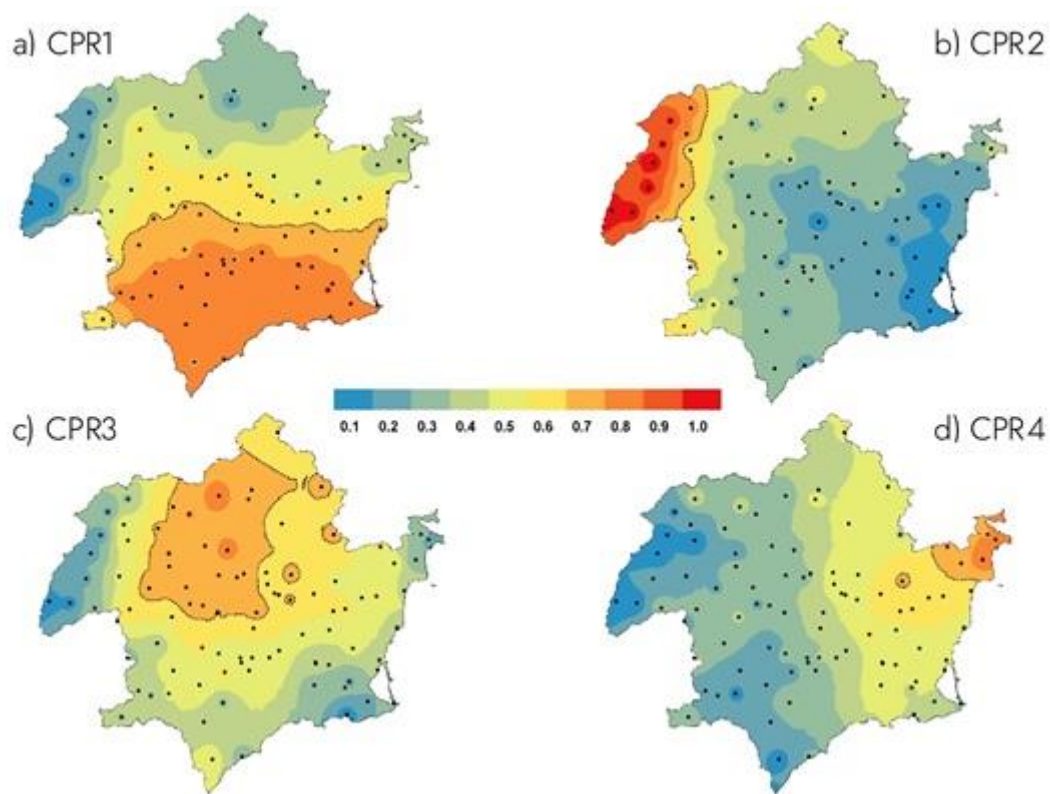


Figura 188. Mapa de correlación espacial entre cada CPR y las series del SPI12. Fuente: Elaboración propia.

Los cuatro mapas obtenidos en la figura 188, evidencian que se delimitan de una forma bastante eficaz cuatro regiones homogéneas (correlación por encima de 0,6). Se vislumbra como las CPR1 y CPR3 son las que representan una mayor superficie. La CPR1 se corresponde con una región ubicada en la mitad sur del área de estudio con correlaciones que oscilan entre 0,6 y 0,7. Por su parte, la CPR3 presenta correlaciones entre 0,6 y 0,7 con las estaciones ubicadas en la zona nororiental. Cabe destacar que en esta área hay numerosas estaciones con correlaciones muy próximas a 0,6. En cambio, las CPR2 y CPR4 presentan correlaciones elevadas con territorios bastante exiguos. La CPR2 muestra correlaciones muy elevadas en las cabeceras de los ríos Segura y Mundo, siendo la única CPR con correlaciones superiores a 0,9. Como ya ha sido mencionado, esta región presenta un patrón pluviométrico muy influenciado por las precipitaciones de origen atlántico, lo que genera que en esta zona las sequías ibéricas tengan una gran incidencia. Con el resto de las estaciones del área de estudio la correlación es muy baja. Por último, la CPR4 presenta correlaciones elevadas con las series de precipitación del extremo oriental del área de estudio que se corresponde en gran parte con el territorio de las comarcas del Medio y Bajo Vinalopó y el Campo de Alicante (correlaciones entre 0,6

y 0,7). Se observa como los valores de correlación van descendiendo conforme se avanza hacia las comarcas interiores.

En base a la delimitación realizada en la figura 188, se efectúa una zonificación por áreas homogéneas con una correlación igual o superior a 0,6 (figura 189). Con tal finalidad, se ha asignado un área determinada a cada serie SPI12 a partir del método de los polígonos de Thiessen (Thiessen, 1911). En la parte izquierda de la figura 189 se muestra como las regiones identificadas no se superponen y están espacialmente bien delimitadas cubriendo gran parte del territorio analizado (las series de precipitación aparecen representadas con puntos negros). Tan solo 15 de las 92 estaciones analizadas presentan una correlación inferior a 0,6 con las cuatro CPR (se reflejan en el mapa con un color gris). Esto se corresponde con un total de 3097,4 km<sup>2</sup> (15,7% de la superficie total). Las 15 series de precipitación son las siguientes: Moratalla Inazares, Moratalla Cañada de la Cruz, Jumilla, Abarán, Fortuna, Ricote, Cieza, Santomera, Bonete, Embalse de la Fuensanta, Chirivel, Callosa de Segura, Almoradí, Orihuela y la Marina de Elche. Como se observa, todas estas estaciones se encuentran en zonas de transición entre las distintas regiones. La Región 3, como se verá a continuación juega un papel fundamental, ya que la mayoría de estas estaciones pasan a formar parte de dicha región.

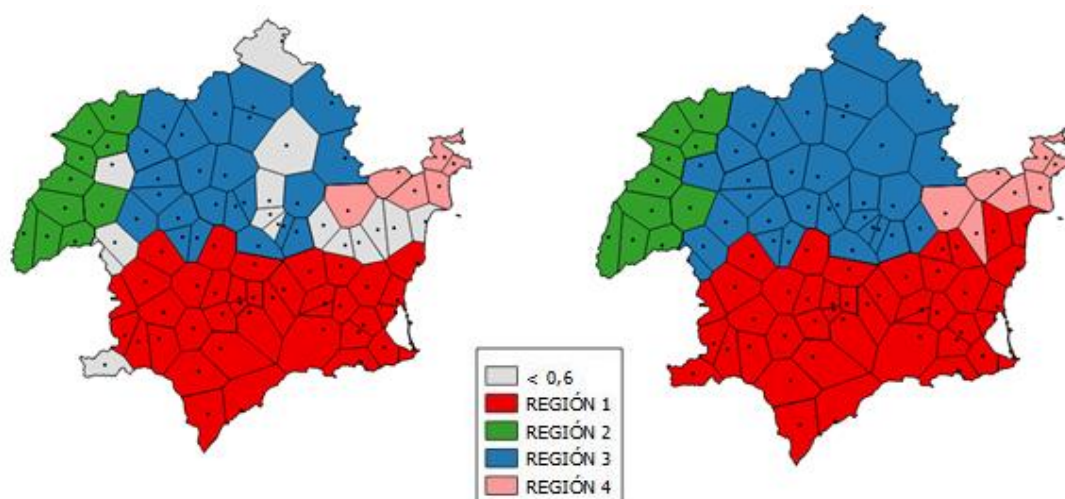


Figura 189. Áreas homogéneas con valores del coeficiente correlación superior a 0,6 entre capa CPR y las serie de precipitación mensual (parte izquierda) y regiones homogéneas definitivas (parte derecha). Fuente: Elaboración propia.

Con el objetivo de que toda el área de estudio forme parte de una de las cuatro regiones homogéneas, se han implementado como ya se ha mencionado otras técnicas de clúster

para ayudar a asignar las 15 series de precipitación por debajo de 0,6 de correlación en una de las regiones homogéneas obtenidas con el ACP. Las técnicas de clúster implementadas son el método jerárquico Ward's con la distancia Euclidiana, y el método no jerárquico K-Means, debido a que son dos de las técnicas que proporcionan mejores resultados (Hair et al., 1998). Con ambos métodos se obtienen resultados bastante homogéneos con la categorización obtenida a través del ACP. En la parte derecha de la figura 189 se muestra el mapa con todas las áreas de Thiessen incluidas en alguna de las cuatro regiones, es decir se muestra la propuesta de regionalización de sequías.

A continuación, se describen de forma precisa las regiones a las que han sido asignadas las 15 estaciones citadas. En primer lugar, cabe destacar que la mayoría de estas estaciones se asignan a la región 3 (un total de 9). Las series de Bonete, Jumilla, Cieza, Ricote y Abarán se encuentran encuadradas dentro de la región 3 y presentan una correlación muy cercana al 0,6 con la CPR3, por lo que son asignadas a dicha región. El Embalse de la Fuensanta se localiza en la zona de transición entre las regiones 2 y 3 (con ambas tiene una correlación de 0,55). La aplicación de las técnicas clúster sugiere su asignación a la región 3. Por su parte, las series de Moratalla Inazares y Moratalla Cañada de la Cruz se encuentran en la zona de transición entre las regiones 1, 2 y 3 (presentan una correlación superior a 0,4 con las tres regiones). Las técnicas clúster sugieren su asignación a la región 3. Por último, en la zona de contacto entre las regiones 1, 3 y 4 se localiza la serie de Fortuna, que presenta una correlación por encima del 0,5 con las regiones 3 y 4. Las dos técnicas clúster coinciden en atribuir esta estación a la región 3.

Por otra parte, las series de Chirivel, Santomera, La Marina de Elche, Almoradí y Orihuela son asignadas a la región 1. En el caso de Chirivel, la estación se encuentra rodeada por estaciones pertenecientes a la región 1, y las técnicas clúster sugieren también asignarla a dicha región. Por su parte, el resto de las estaciones se encuentran en la zona de transición entre las regiones 1 y 4 (con ambas poseen una correlación superior a 0,5). Las técnicas clúster implementadas determinan que deben ser asignadas a la región 1. Por último, la serie de Callosa de Segura, que también se sitúa en la zona de transición entre las regiones 1 y 4, es asignada a la región 4.

De esta modo, la distribución de las series de precipitación por regiones es la siguiente:

**Región 1 (RG1- Franja costera, valles y sierras prelitorales)** - 43 estaciones: Bullas, Totana Morti, Totana La Carrasca, Alhama Huerta Espuña, Alhama El Praico, Fuente

Álamo, San Javier, Puerto Lumbreras, Librilla, Lorca Embalse de Valdeinfierno, Lorca Zarcadilla de Totana, Lorca Avilés, Lorca Embalse de Puentes, Lorca, Lorca La Juncosa, Lorca Tirieza Alta, Cartagena Pozo Estrecho, Cartagena El Algar, Cartagena Salinas de Cabo de Palos, Cartagena Puerto, Murcia Alcantarilla, Pliego, San Pedro del Pinatar, Murcia Beniaján, Murcia Sucina, Murcia Corvera, Murcia San Magín, Murcia Los Martínez del Puerto, Alhama El Praico, Caravaca Barranda ,Caravaca Los Royos, Totana Alquerías, Torre Pacheco, María, Pulpí, Vélez Blanco, Chirivel, Vélez Blanco Topares, Torrevieja, Almoradí, Orihuela y La Marina de Elche.

**Región 2 (RG2 - Cabeceras de los ríos Segura y Mundo)** -10 estaciones: Molinicos, Cañadas de Nerpio, Bogarra, Salto de Miller, Arguellite, Cañada del Provencio, Yeste Hoya Parrilla, Santiago de la Espada, Pontones y Presa del Taibilla.

**Región 3 (RG3 - Ríos de la margen izquierda y zona septentrional de las subcuencas de la margen derecha del Segura)** -32 estaciones: Embalse de la Fuensanta, Moratalla Cañada de la Cruz, Moratalla Benizar, Moratalla Embalse del Cenajo, Moratalla Inazares, Moratalla Campo de San Juan, Moratalla, Cehegín, Caravaca, Calasparra Embalse Alfonso XIII, Calasparra, Mula Embalse de la Cierva, Jumilla, Abarán, Ricote, Yecla, Cieza, Cieza Los Almadenes, Archena, Blanca, Ulea, Fortuna, Albatana, Bonete, Elche de La Sierra, Embalse de Camarillas, Embalse del Talave, Liétor, Ontur, Socovos, Tobarra y Pinoso.

**- Región 4 (RG4 - Oriental)** - 7 estaciones: Abanilla, Aspe, Callosa de Segura, Alicante, Alicante El Altet, Elche, San Vicente del Raspeig.

En la tabla 60 se exponen las características principales de las cuatro regiones homogéneas obtenidas (número de series, superficie, altitud media y precipitación media). Las RG1 y RG3 son las que ostentan la mayor parte de la superficie, con 8481,4 km<sup>2</sup> (43,1%) y 7832 km<sup>2</sup> (39,8%), representado entre ambas más de un 80% del territorio. Por el contrario, la RG2 ocupa 2153 km<sup>2</sup> (10,9%) y la RG4 tiene 1230,7 km<sup>2</sup> (6,2%).

REGIÓN	N.º Series	Superficie (km <sup>2</sup> )	Altitud media (msnm)	Precipitación media (l/m <sup>2</sup> ) Periodo 1981-2010
1	43	8481,4	441,3	307,7
2	10	2153,0	1244,6	636,0
3	32	7832,5	658,3	348,5
4	7	1230,7	185,2	287,3

Tabla 60. Información básica de las cuatro regiones obtenidas en el proceso de regionalización de sequías. Fuente: Elaboración propia.



Por otra parte, en las figuras 190 y 191, se muestra la distribución espacial de las regiones en función de la altimetría y de la precipitación media (periodo 1981-2010). La RG2 ubicada en las cabeceras del Segura y Mundo es la que presenta con diferencia una mayor altitud (1244,6 msnm) y precipitación media (636 mm). En esta región los patrones pluviométricos de origen atlántico tienen una gran importancia. Debido a este hecho, las sequías ibéricas tienen una gran repercusión en este territorio, trascendiendo sus consecuencias territoriales al resto del área de estudio, debido a que en esta región se generan la mayor parte de los recursos hídricos. La RG3 es la segunda región de mayor altitud (658,3 msnm) y precipitación media (348,5 mm). Se produce una disminución gradual de la precipitación de oeste a este. En esta región las sequías ibéricas y surestinas suelen presentar una severidad menor que en la RG2 y RG4, debido sobre todo a que no tienen una gran dependencia de un único tipo de precipitación. Por su parte, la RG1 y RG4 presentan una precipitación media, alrededor de 300 mm. En cuanto, a su altitud media, la RG1 (441,4 msnm) presenta una altimetría superior a la RG4 (185,2 msnm) debido sobre todo a los sistemas montañosos de su mitad occidental, los cuales se constituyen como islas de humedad. Ambas se ven muy afectadas por las sequías surestinas, siendo especialmente intensas en la RG4.

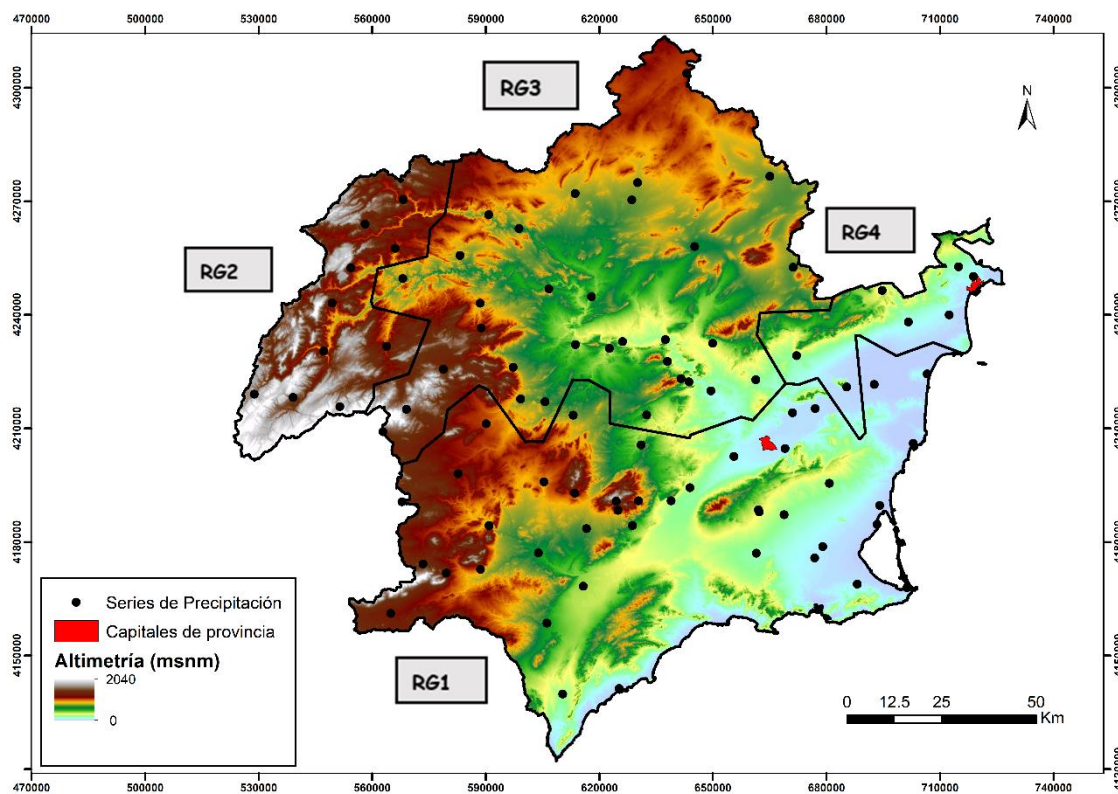


Figura 190. Distribución de la altimetría por regiones. Fuente: Elaboración propia.

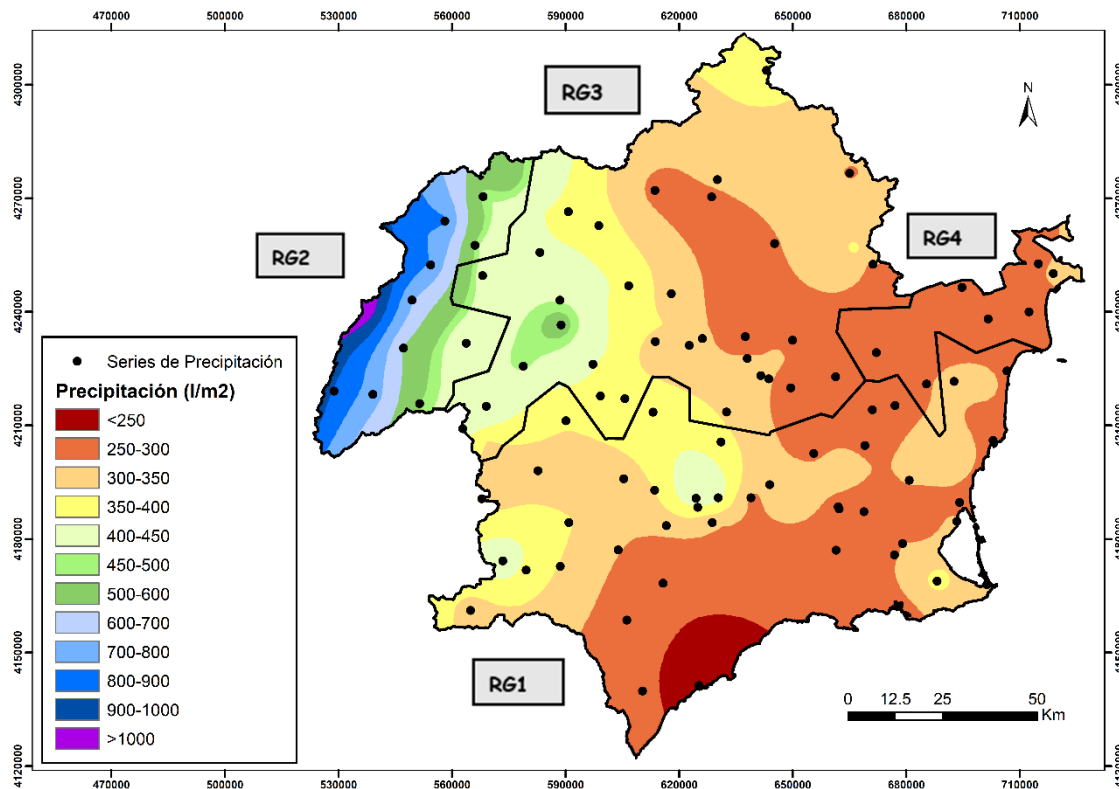


Figura 191. Distribución de la precipitación media anual (periodo de referencia 1981-2010) por regiones. Fuente: Elaboración propia.

Por último, si se realiza una comparativa con la regionalización de las precipitaciones a escala mensual obtenida, se observa como el territorio de la RG2 es prácticamente el mismo, ya que es una región con unos condicionantes geográficos que difieren del resto del área de estudio. La RG3 también se ajusta bastante en ambas regionalizaciones con la diferencia de que en la regionalización por sequías, la parte más septentrional de las subcuencas de la margen derecha forman parte de esta región. Por su parte, la franja costera ubicada en una única región en la regionalización de las precipitaciones a escala mensual queda dividida en dos regiones. En la presente regionalización de sequías, la franja costera del Campo de Alicante y Bajo Vinalopó queda integrada en otra región (RG4), debido a que su elevada dependencia de las precipitaciones de origen mediterráneo provoca que las sequías surestinas presenten una elevada severidad. El resto de la franja costera y valles prelitorales quedan integrados en la RG1. En esta región también se incluye la parte más occidental de la cuenca del Guadalentín, y porciones de las cuencas del Argos y Quípar, que sin embargo en la regionalización de las precipitaciones mensuales quedaban integradas en otra región. Este territorio se presenta como una zona de transición en ambas regionalizaciones.

### **5.2.1. Evolución temporal de las secuencias pluviométricas secas por regiones (periodo 1968-2017)**

En el proceso de obtención de los cuatro CPR se han obtenido como ya se mencionó, cuatro series regionalizadas del SPI12. En la construcción de dichas series regionalizadas presentan una mayor peso las series que tienen una correlación más elevada con cada una de las CPR. Por ejemplo, en el caso de la RG2, las estaciones de las cabeceras del Segura y Mundo presentan un peso dominante en la construcción de la serie regionalizada al presentar una correlación muy elevada con la CPR2.

En el presente apartado se analiza la evolución de las secuencias pluviométricas secas en cada una de las cuatro series regionalizadas obtenidas. Al igual que en las series largas de precipitación, se estudian los parámetros de duración, magnitud y frecuencia de sequías. Además, para cada una de las regiones obtenidas se examina la evolución temporal del porcentaje de área afectada por sequías con diferentes grados de severidad (moderada, severa y extrema). El área de cada región atribuida a las diferentes categorías de sequía ha sido asignada mediante la aplicación de áreas acumulativas a partir de los polígonos de Thiessen (Thiessen, 1911). Este proceso permite asignar un determinado peso a cada polígono en función de su superficie. El objetivo de este apartado es poder estudiar posibles patrones espaciales de sequías, y ver qué regiones han sido más afectadas por los diferentes ciclos secos. Además, la identificación del área afectada por sequías con diferentes grados de severidad puede ser de gran ayuda a la hora de evaluar los daños ocasionados por dicho evento natural.

#### **5.2.1.1. CPR1-RG1- Franja costera, valles y sierras prelitorales**

La CPR1 exhibe una elevada correlación (entre 0,6 y 0,8) con las series del SPI12 ubicadas en la franja costera, valles y sierras prelitorales. Dichas series tienen un elevado peso en la construcción de la serie regionalizada del SPI12 de la CPR1. En la figura 192 se expone la evolución temporal del SPI12 en dicha serie regionalizada. Además, en la tabla 61 se presentan las características básicas de los ciclos de sequía extrema (se registran un total de cinco sequías extremas). Destacan los periodos de sequía de 1981-1984 y 2013-2016, con 38 meses de duración y una magnitud cercana a - 50. En la figura 193, se vislumbra como ambas secuencias destacan por encima de las demás con respecto a su duración y magnitud. Como ya ha sido mencionado, el ámbito territorial de la RG1 se ve muy afectado por las sequías surestinas. La sequía de 1981-1984 ocasionó

importantes pérdidas económicas debido a que la llegada del TTS provocó un drástico aumento de la superficie de regadío, lo cual aumento notablemente la vulnerabilidad en las ZRT.

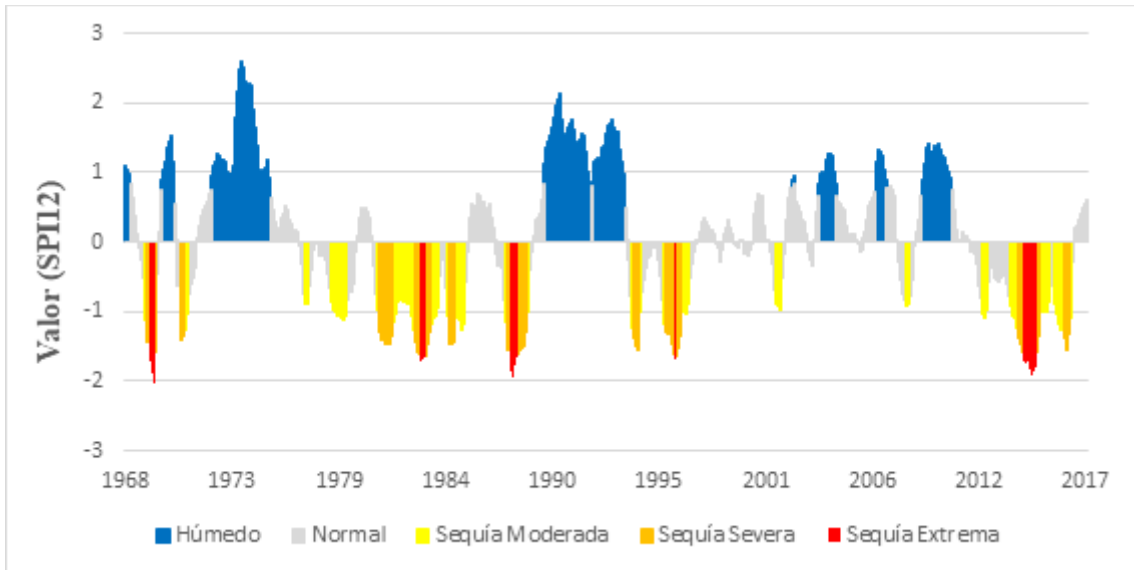


Figura 192. Evolución temporal del SPI12 en la serie regionalizada de la CPR1 (1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

Periodo	Duración	Magnitud	MSE	IMAX
may 1969- nov 1969	7	-10,8	3	<b>-2,02</b>
abr 1981- may 1984	38	-46,9	3	-1,69
dic 1987- ene 1989	14	-21,7	5	-1,94
ene 1996- abr 1997	16	-20,5	1	-1,67
dic 2013- ene 2017	<b>38</b>	<b>-48,0</b>	<b>8</b>	-1,91

Tabla 61. Características de los periodos de sequía extrema en la serie regionalizada de la CPR1 (1968-2017). En rojo se resaltan los valores más extremos. Fuente: Elaboración propia.

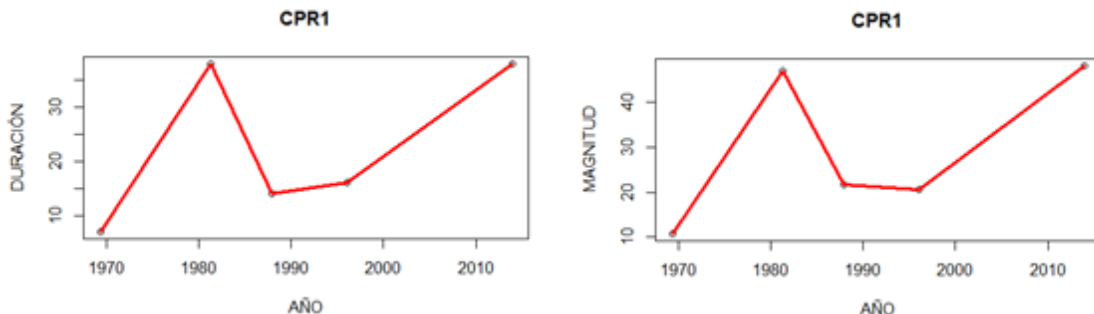


Figura 193. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie regionalizada de la CPR1 (1968-2017), mediante curva suavizada con el método LOWESS. Fuente Elaboración propia.

Por otra parte, con respecto a la evolución temporal del parámetro de la frecuencia de ocurrencia de meses con sequía (figura 194), el análisis con el método KORE revela que durante las sequías extremas de la década de 1980, y la sequía surestina 2013-2016, se concentran los picos máximos de ocurrencia de meses con sequía. Es decir, ambas secuencias pluviométricas secas presentan prácticamente la misma duración, magnitud y frecuencia de ocurrencia de meses con sequía. En este punto, cabe destacar, que en la sequía de 2013-2016 los problemas en el abastecimiento urbano de agua fueron prácticamente inexistentes, debido al aporte del agua desalada, a diferencia de lo ocurrido en la secuencia 1981-1984, donde los problemas de abastecimiento de agua fueron muy cuantiosos (Zapata et al., 1990). Sin embargo, durante el periodo 2013-2016 las pérdidas en los cultivos de secano de los valles prelitorales y zonas costeras fueron más cuantiosos que en el periodo 1981-1984 (Redondo Orts, 2018). Como se explica más adelante, el incremento de las temperaturas desde la segunda mitad de la década 1980 tiene un notable impacto en el aumento de las pérdidas en los cultivos de secano durante los periodos de sequía extrema.

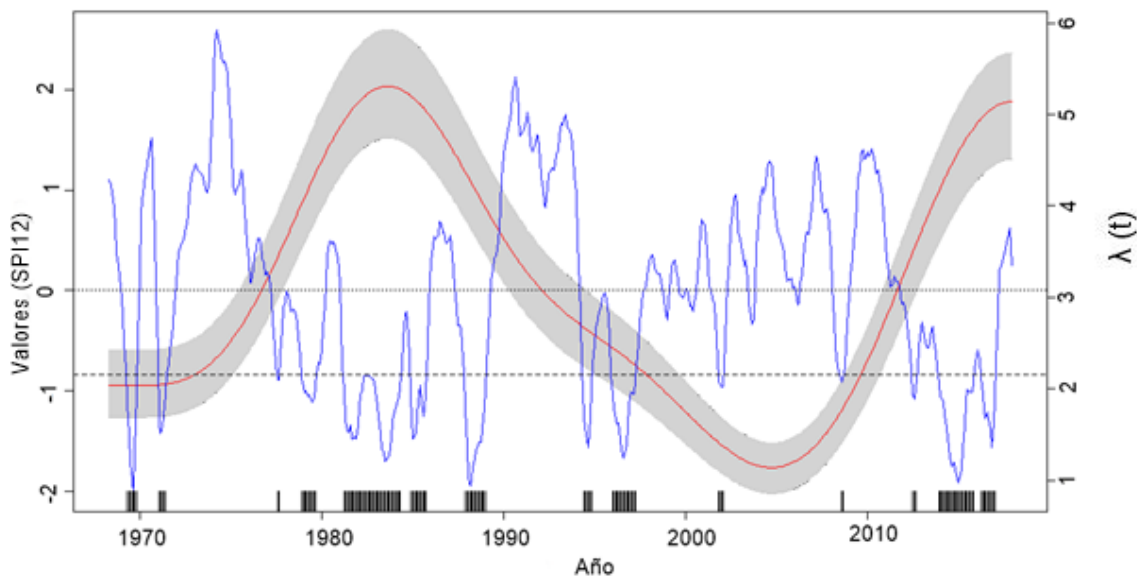


Figura 194. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie regionalizada de la CPR1 (1968-2017) mediante análisis con el método KORE. Las marcas negras verticales indican los puntos en el periodo temporal analizado por debajo del umbral de sequía adoptado (-0,84), que aparece en línea discontinua. Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la figura 195 se muestra la evolución temporal del porcentaje de área afectada por sequías con diferentes grados de severidad en las estaciones que conforman la RG1. La gráfica se divide en dos periodos temporales de 25 años (1968- 1992 y 1993-

2017). Se observa como durante el periodo 1981-1986, más del 60% de este territorio se vio afectado por meses secos, predominando las categorías moderada y severa. En la secuencia secas de 1993-1996 y 2013-2016, se vislumbra como el territorio afectado por sequía extrema es superior a los ciclos secos anteriores. También se puede destacar que en las sequías surestinas de 1970-1971 y 1978-1979 las áreas afectadas superan el 80%, resultando las categorías moderada y severa.

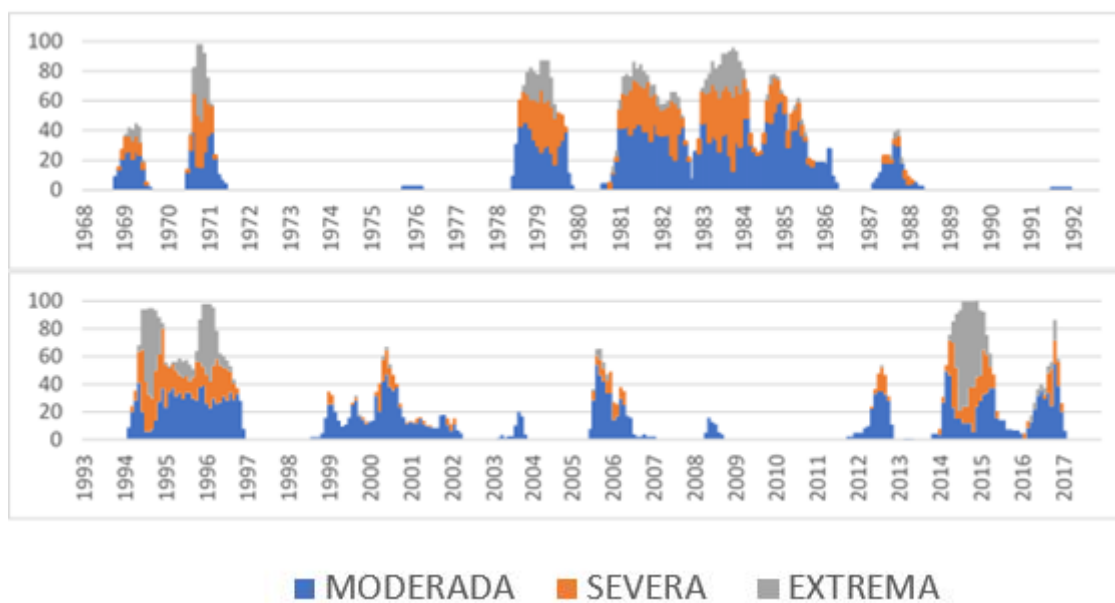


Figura 195. Evolución temporal del porcentaje de área afectada por sequías con diferentes grados de severidad en la RG1. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.1.2. CPR2-RG2 - Cabeceras de los ríos Segura y Mundo

La CPR2 exhibe una correlación muy elevada (superior a 0,9 en algunas estaciones) con las series del SPI12 ubicadas en las cabeceras del Segura y Mundo. Por tanto, dichas series tienen un elevado peso en la construcción de la serie regionalizada del SPI12 de la CPR2, la cual refleja de un modo muy preciso la evolución de las sequías en la RG2 (cabeceras del Segura y Mundo). En la figura 196 se expone la evolución temporal del SPI12 en dicha serie regionalizada. Además, en la tabla 62 se presentan las características básicas de los ciclos de sequía extrema (se registran cuatro sequías extremas). Estas secuencias secas se corresponden con periodos de sequías ibéricas: 1981-1982, 1993-1996, 2005-2006 y 2012. La sequía de 1993-1996 es, sin duda, la de mayor severidad, con una duración de 28 meses y una magnitud de -44,8 (figura 197). Durante la misma se registraron 16 meses consecutivos de sequía extrema (septiembre 1994-diciembre 1995), que provocaron impactos muy notables en la disponibilidad de recursos hídricos.

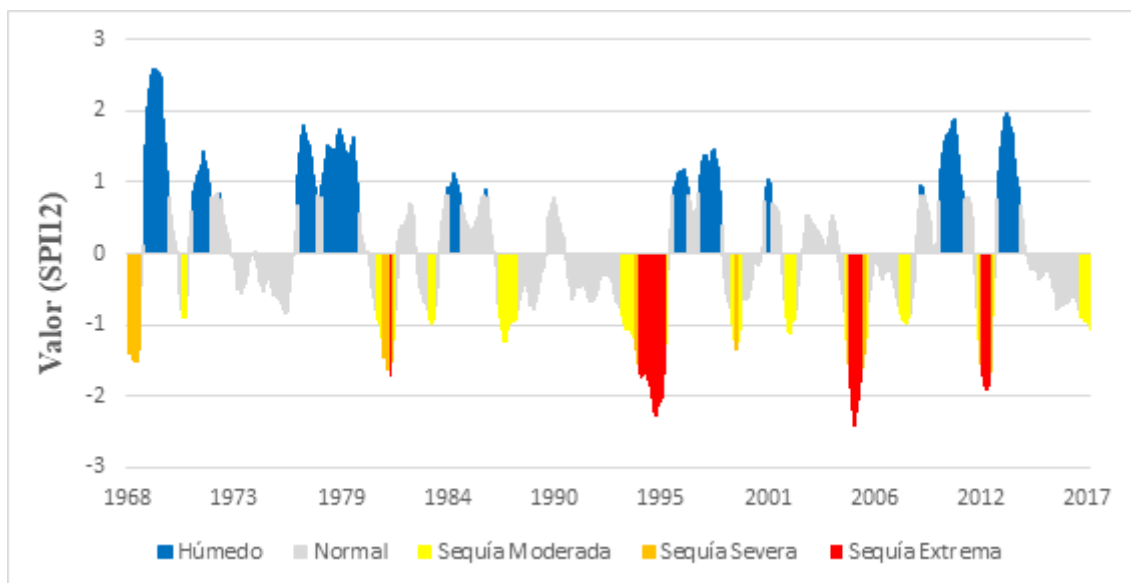


Figura 196. Evolución temporal del SPI12 en la serie regionalizada de la CPR2 (1968-2017). Fuente: Elaboración propia

Periodo	Duración	Magnitud	MSE	IMAX
mar 1981- ene 1982	11	-15,0	1	-1,73
oct 1993- ene 1996	<b>28</b>	<b>-44,8</b>	<b>16</b>	-2,28
may 2005- jun 2006	14	-25,2	8	<b>-2,43</b>
mar 2012- dic 2012	9	-15,8	5	-1,93

Tabla 62. Características de los periodos de sequía extrema en la serie regionalizada de la CPR2 (1968-2017). En rojo se resaltan los valores más extremos. Fuente: Elaboración propia.

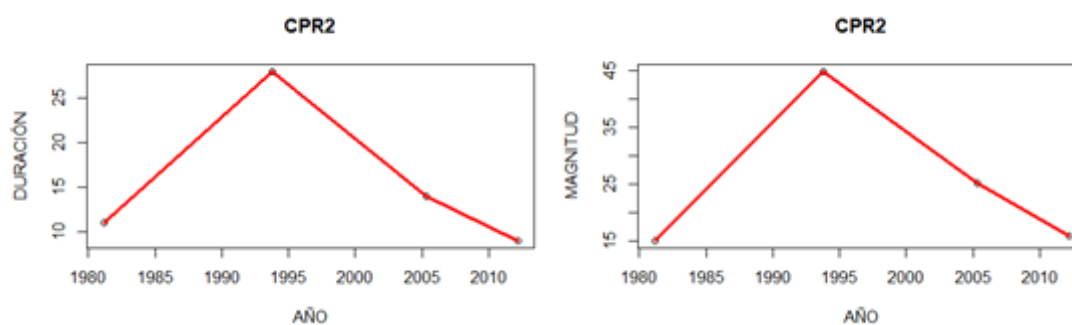


Figura 197. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie regionalizada de la CPR2 (1968-2017), mediante curva suavizada con el método LOWESS. Fuente Elaboración propia

Por otra parte, con respecto a la evolución temporal del parámetro de la frecuencia de ocurrencia de meses con sequía (figura 198), el análisis con el método KORE muestra un ascenso notable en la frecuencia de ocurrencia de sequías a partir de la década de 1980.



El pico máximo de ocurrencia de sequías se presenta en la sequía ibérica de 1993-1996. Este aumento, a partir de la década de 1980, tiene un claro reflejo en la evolución de las reservas hídricas conjuntas de Fuensanta-Cenajo, que como ya se dijo permanecieron entre 1980 y 2010 por debajo del 50% de su capacidad. En la última década se vislumbra un descenso en la ocurrencia de meses secos, debido a que apenas se han registrado meses con sequía (tan solo 9 meses en 2012 y 7 meses en 2017). Ambos periodos finalizaron de forma brusca, debido a la entrada sucesiva de frentes atlánticos muy activos, en marzo de 2013 y marzo de 2018.

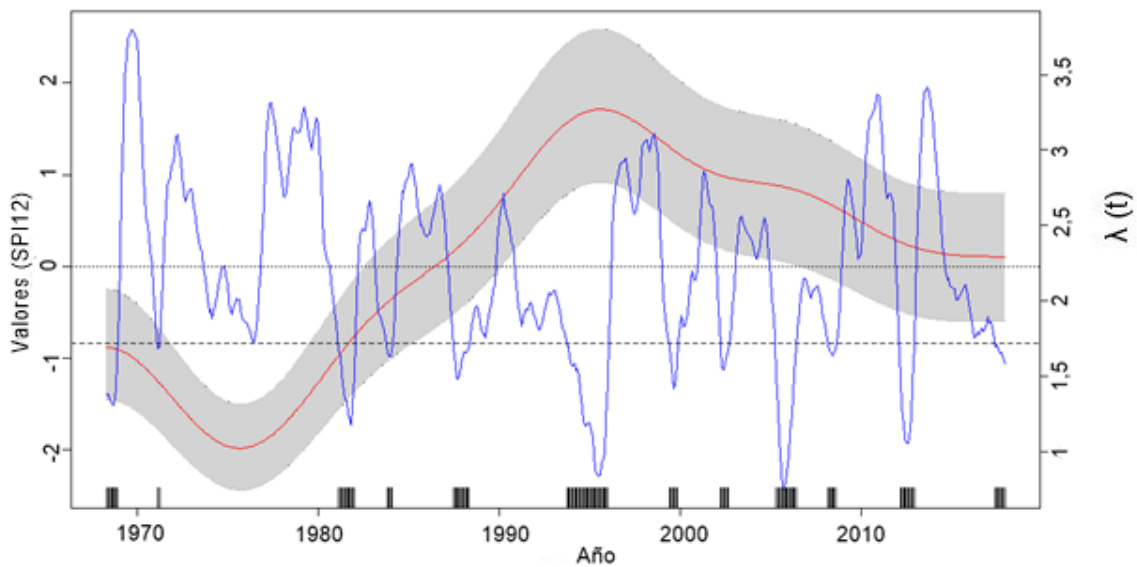


Figura 198. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie regionalizada de la CPR2 (1968-2017) mediante análisis con el método KORE. Las marcas negras verticales indican los puntos en el periodo temporal analizado por debajo del umbral de sequía adoptado (-0,84), que aparece en línea discontinua. Fuente: Elaboración propia.

Al ser un territorio con características homogéneas, las sequías suelen terminar a la misma vez en todo su espacio territorial. Como ha sido mencionado anteriormente las secuencias secas suelen finalizar con la entrada de frentes atlánticos muy activos, que dejan acumulados pluviométricos muy destacados. En la figura 199 se muestra la evolución temporal del porcentaje de área afectada por sequías con diferentes grados de severidad en la RG2. En este gráfico se observa como las secuencias secas finalizan de forma brusca, como ocurrió en la sequía de 1993-1996 que finalizó en diciembre de 1995 debido a la sucesiva entrada de frentes atlánticos. Durante dicha sequía este territorio se vio afectado por sequía extrema durante varios meses. Si se realiza una comparativa entre los dos periodos temporales de 25 años, se observa que en el periodo 1993-2017 las sequías



son más recurrentes. Además, cabe destacar que esta región apenas se ve afectada por las sequías surestinas, como se observa en los ejemplos de las secuencias de 1978-1979, 1998-2001 y 2013-2016.

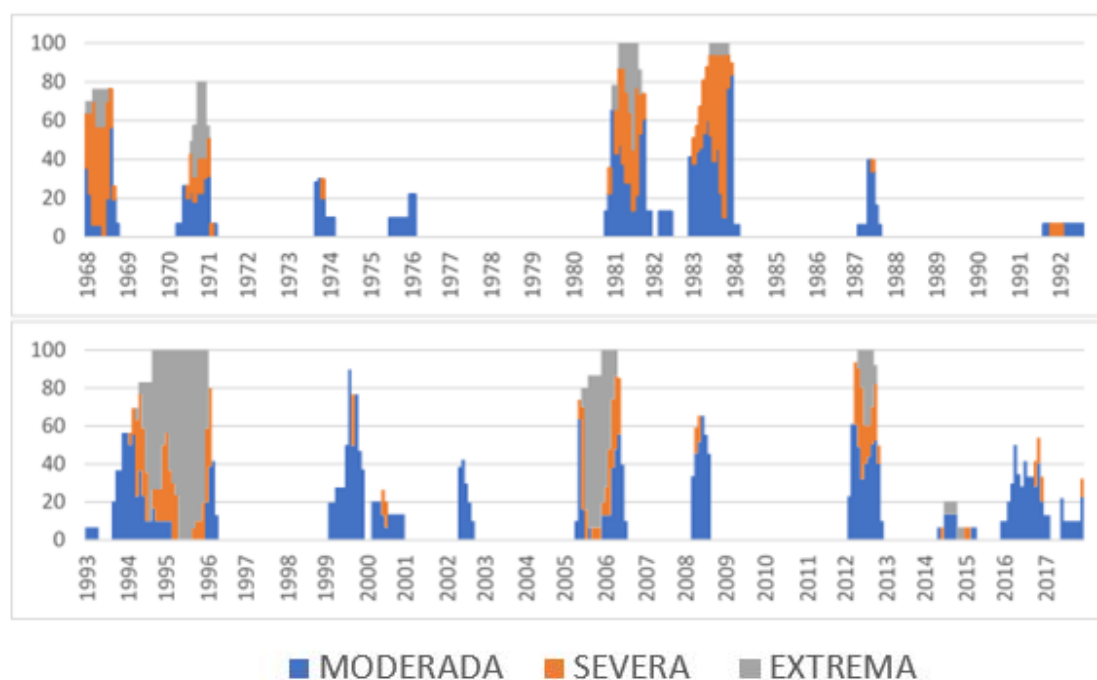


Figura 199. Evolución temporal del porcentaje de área afectada por sequías con diferentes grados de severidad en la RG2. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.1.3. CPR3-RG3 - Ríos de la margen izquierda y zona septentrional de las subcuencas de la margen derecha del Segura

La CPR3 muestra una correlación elevada (entre 0,6 y 0,7) con numerosas estaciones ubicaciones en las cuencas de los ríos de la margen izquierda y zona septentrional de las subcuencas de la margen derecha del Segura. Además con cuatro observatorios (Embalse de Camarillas, Embalse del Talave, Socovos y Tobarra) presenta una correlación superior a 0,7. Las series del SPI12 de dichos observatorios albaceteños tienen por tanto un elevado peso en la construcción de la serie regionalizada del SPI12 de la CPR3. En la figura 200 se expone la evolución temporal del SPI12 en dicha serie regionalizada. Asimismo, en la tabla 63 se presentan las características básicas de los ciclos de sequía extrema (se registran un total de tres sequías extremas). Esta serie regionalizada presenta una evolución temporal contraria al resto de series regionalizadas, ya que en las últimas tres décadas se produce un descenso acusado en la recurrencia de sequías. Las tres sequías extremas se localizan en las décadas de 1970 y 1980: 1970-1971, 1978-1980 y 1983-

1986. Esta última, es sin duda la de mayor duración y magnitud (figura 201), con un total de 42 meses secos y una magnitud de -56.

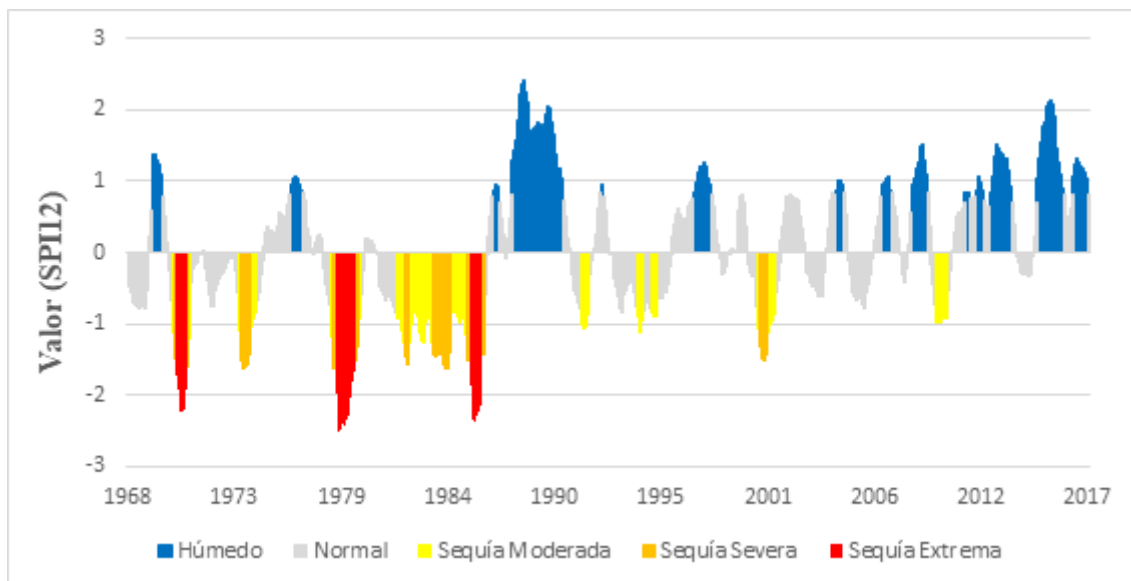


Figura 200. Evolución temporal del SPI12 en la serie regionalizada de la CPR3 (1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

Periodo	Duración	Magnitud	MSE	IMAX
ago 1970- jun 1971	11	-19,7	7	-2,23
oct 1978- abr 1980	19	-35,2	<b>12</b>	<b>-2,50</b>
abr 1983- sep 1986	<b>42</b>	<b>-56,0</b>	8	-2,38

Tabla 63. Características de los periodos de sequía extrema en la serie regionalizada de la CPR3 (1968-2017). En rojo se resaltan los valores más extremos. Fuente:

Elaboración propia

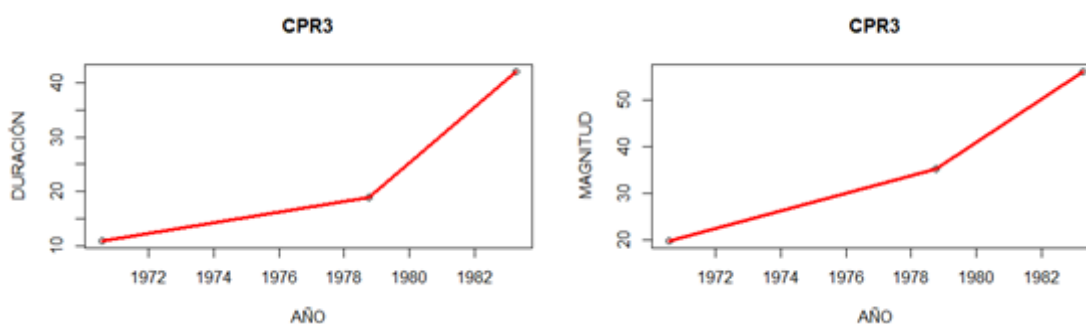


Figura 201. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie regionalizada de la CPR3 (1968-2017), mediante curva suavizada con el método LOWESS. Fuente: Elaboración propia.

El acusado descenso observado en la recurrencia de sequías a partir de la década de 1990 también se vislumbra en la severidad de las mismas. Las sequías de 1993-1996 y 1998-

2001 no alcanzan la categoría de sequía extrema. Además la secuencia seca surestina de 2013-2016 no se refleja en esta serie regionalizada. Esto no quiere decir, que en el territorio abarcado por la RG3 no se registrara dicha sequía, tal y como se explica a continuación. Este hecho ocurre debido a que en las series de Tobarra, Socovos, Embalse de Camarillas y Embalse del Talave (que son las que tienen un mayor peso en la serie regionalizada) no se alcanzó el umbral de sequía.

Por otra parte, con respecto a la evolución temporal del parámetro de la frecuencia de ocurrencia de meses con sequía (figura 202), el análisis con el método KORE revela un descenso muy acusado en la ocurrencia de meses con sequía desde la década de 1990, un hecho que difiere del comportamiento observado en el resto de las series regionalizadas. En las series de Caravaca y Yecla (RG3), se observa un comportamiento bastante parecido. El pico máximo de ocurrencia de meses con sequía se encuadra con diferencia entre las sequías de 1978-1980 y 1983-1986. La sequía de 1983-1986 se puede calificar, tal y como se ha mencionado anteriormente, como “sequía mixta”, ya que no tuvo las características propias que definen a las sequías ibéricas y surestinas. Durante esta secuencia seca predominaron las fases positivas de los índices de teleconexión WEMO y MO, lo que propició un descenso acusado de las precipitaciones convectivas y de origen mediterráneo. Además, la fase positiva del MO también lleva asociado una acusada reducción en la recurrencia de frentes atlánticos. Las consecuencias en los cultivos de secano durante este lapso temporal fueron muy cuantiosas (Zapata Nicolas et al., 1990).

Por último, en la figura 203 se expone la evolución temporal del porcentaje de área afectada por sequías con diferentes grados de severidad en la RG3. Se observa, como entre el lapso temporal transcurrido entre 1978 y 1986, la mayor parte del espacio territorial de esta región se vio afectado por la sequía. La excepción la encontramos en los años 1980 y 1981. El año 1984, se constituye como el periodo de mayor intensidad de esta secuencia seca con alrededor del 50% del territorio afectado por sequía extrema. Las sequías de 1970-1971 y 1993-1996 también afectaron con gran virulencia a gran parte de este territorio. A partir de la sequía de 1993-1996 se revela un descenso del área afectada por las sequías en este territorio. Durante las sequías de 1998-2001, 2005-2006 y 2013-2016, el territorio de la RG3 apenas se vio afectado por las sequías extremas. En el caso de la secuencia seca de 2013-2016, se observa como el espacio temporal afectado por esta sequía en este territorio es mucho más reducido que en las RG1 y RG4. Además, se vislumbra que el área afectada por la sequía extrema es muy reducida.

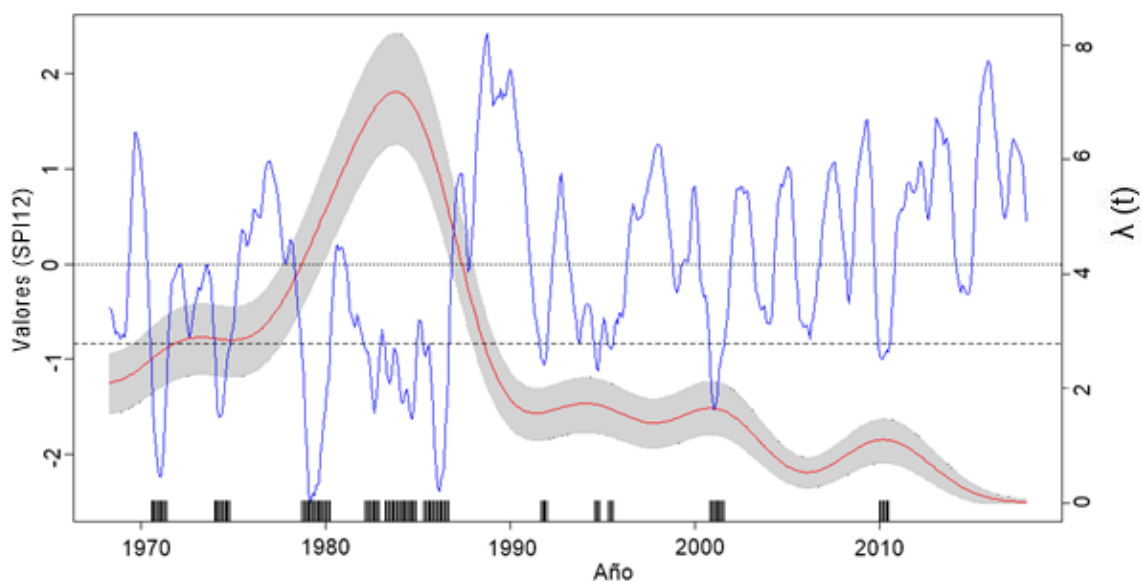


Figura 202. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie regionalizada de la CPR3 (1968-2017) mediante análisis con el método KORE. Las marcas negras verticales indican los puntos en el periodo temporal analizado por debajo del umbral de sequía adoptado (-0,84), que aparece en línea discontinua. Fuente: Elaboración propia.

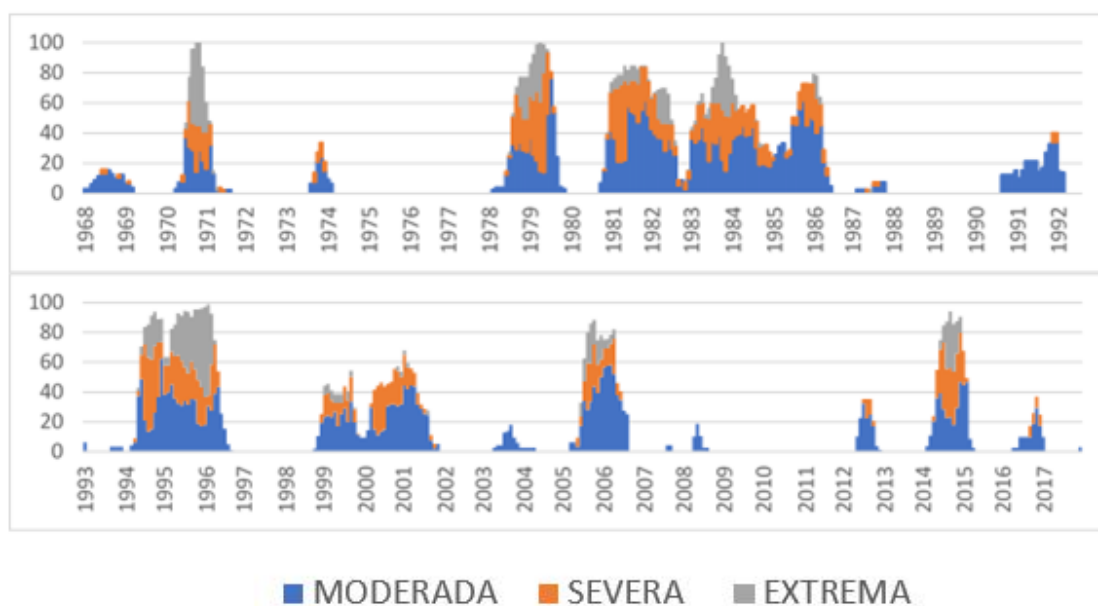


Figura 203. Evolución temporal del porcentaje de área afectada por sequías con diferentes grados de severidad en la RG3. Fuente: Elaboración propia.

#### 5.2.1.4. CPR4 - RG4-Oriental

La CPR4 muestra una correlación elevada (entre 0,6 y 0,8) con las estaciones situadas en el extremo oriental del área de estudio (Alicante, Alicante El Altet, San Vicente del

Raspeig, Elche, Aspe y Abanilla). Por tanto, abarca un espacio territorial bastante exiguo. Las series del SPI12 de Alicante, Alicante El Altet, Elche y San Vicente del Raspeig presentan una correlación superior a 0,7 y por tanto son las que tienen un peso más importante en la construcción de la serie regionalizada del SPI12 de la CPR4. Dicha serie regionalizada, refleja de un modo muy preciso la evolución de las sequías en la RG4. En esta región las sequías surestinas presentan una gran severidad. En la figura 204 se expone la evolución temporal del SPI12 en dicha serie regionalizada. Además, en la tabla 64 se presentan las características básicas de los ciclos de sequía extrema (se registran un total de cinco sequías extremas). En la figura 204 se observa la peculiaridad de que estas cinco sequías extremas se registran desde la década de 1990. Este hecho es corroborado en el análisis efectuado a la serie de Alicante (1864-2019). Por tanto, se produce una clara intensificación en la ocurrencia de sequías en las tres últimas décadas. Con respecto a la duración y magnitud, resaltan las sequías de 1998-2001 y 2013-2016 (figura 205).

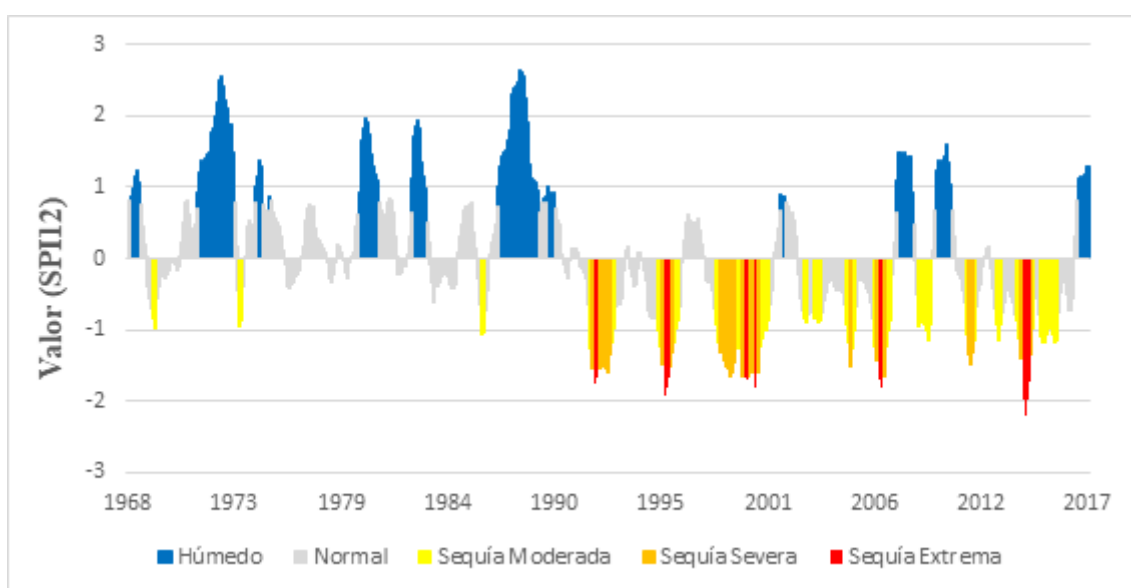


Figura 204. Evolución temporal del SPI12 en la serie regionalizada de la CPR4 (1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

Periodo	Duración	Magnitud	MSE	IMAX
feb 1992- may 1993	16	-23,0	2	-1,76
sep 1995- sep 1996	13	-17,8	4	-1,91
sep 1998- may 2001	<b>33</b>	<b>-45,9</b>	4	-1,82
oct 2006- ago 2007	11	-15,2	3	-1,80
mar 2014- abr 2016	26	-30,5	<b>5</b>	<b>-2,20</b>

Tabla 64. Características de los periodos de sequía extrema en la serie regionalizada de la CPR4 (1968-2017). En rojo se resaltan los valores más extremos. Fuente: Elaboración propia.

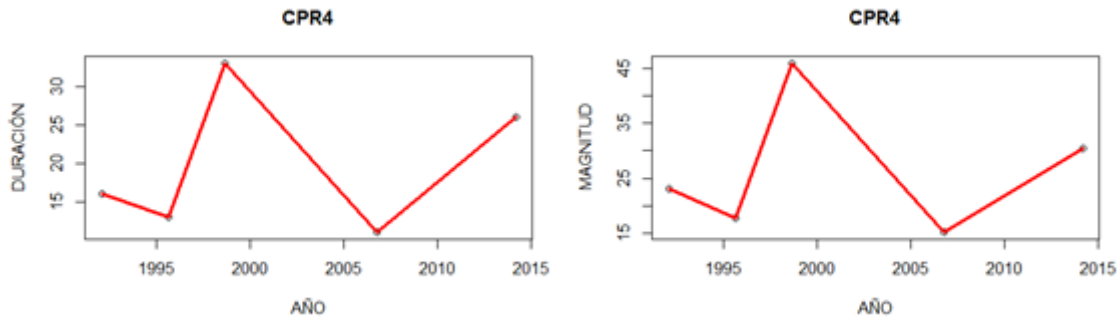


Figura 205. Evolución temporal de los parámetros de duración y magnitud de las sequías extremas en la serie regionalizada de la CPR4 (1968-2017), mediante curva suavizada con el método LOWESS. Fuente Elaboración propia.

Por otra parte, con respecto a la evolución temporal del parámetro de la frecuencia de ocurrencia de meses secos (figura 206), el análisis con el método KORE refleja un acusado incremento en la ocurrencia de meses con sequía desde la década de 1990. Se presenta un pico máximo en la sequía 1998-2001. La RG4, sobre todo en su zona litoral se encuentra densamente poblada. Además las actividades turísticas y agrícolas tienen una gran importancia, por lo que la demanda de agua es muy elevada. La intensificación de las secuencias pluviométricas secas infiere una mayor presión hídrica en este territorio, que cuenta con un déficit hídrico estructural muy acusado.

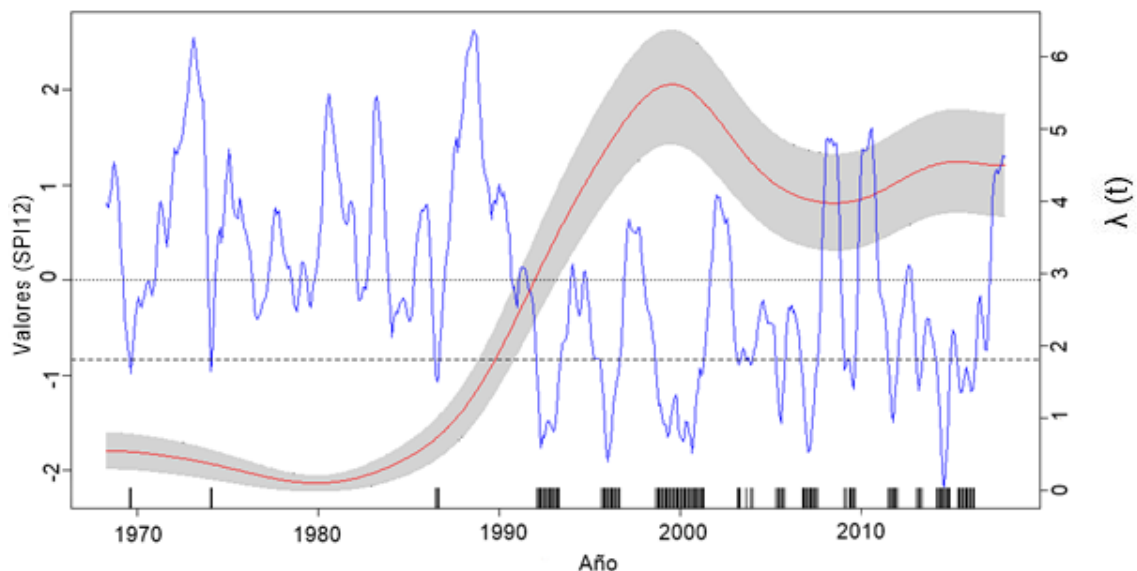


Figura 206. Evolución temporal de ocurrencia de sequías en la serie regionalizada de la CPR4 (1968-2017) mediante análisis con el método KORE. Las marcas negras verticales indican los puntos en el periodo temporal analizado por debajo del umbral de sequía adoptado (-0,84), que aparece en línea discontinua. Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la figura 207 se expone la evolución temporal del porcentaje de área afectada por sequías con diferentes grados de severidad en la RG4. Si se realiza una comparativa entre los periodos 1968-1992 y 1993-2017, se observa como los periodos de sequías afectan son mucho más duraderos y frecuentes en los últimos 25 años. Las sequías de 1970-1971, 1978-1979 y 1983-1986 no afectan a la totalidad de este territorio, manifestándose en su mayor parte como sequía moderada y severa. En cambio las secuencias secas de 1993-1996, 1998-2001 y 2013-2016 afectan a la totalidad del territorio. Se observa como la sequía 1993-1996 se prolonga hasta finales de este último año, a diferencia de otras zonas del interior donde finalizó en diciembre de 1995. Por su parte, la sequía de 2013-2016 es la que mayor área afectada por sequía extrema presenta, ya que durante varios meses concierne a la totalidad del territorio de la RG4.

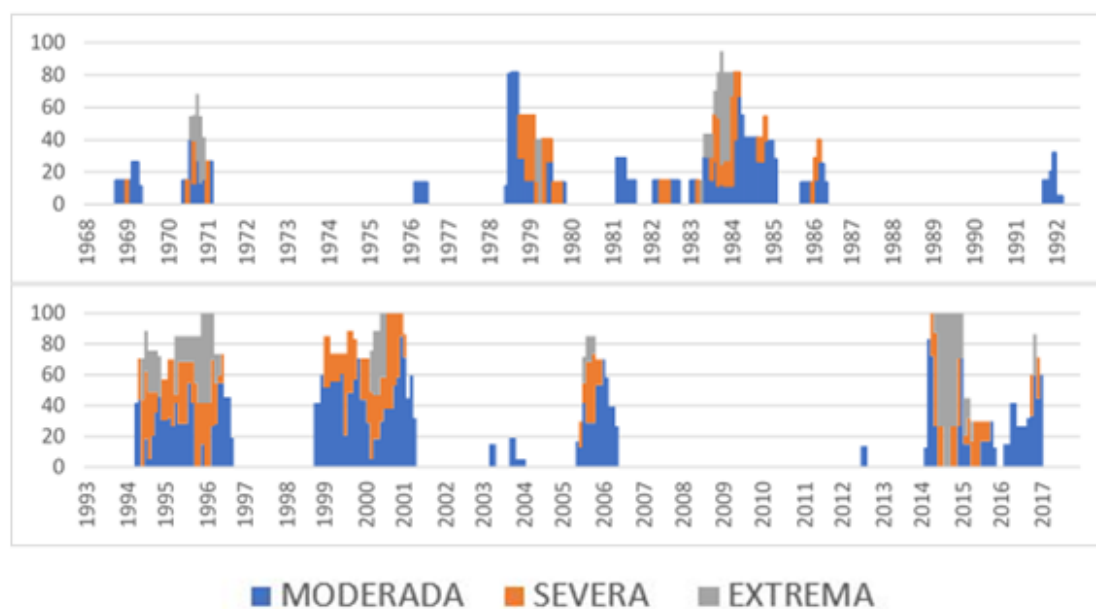


Figura 207. Evolución temporal del porcentaje de área afectada por sequías con diferentes grados de severidad en la RG4. Fuente: Elaboración propia.

### 5.3. Distribución espacio-temporal de las secuencias pluviométricas secas (periodo 1968-2017)

El estudio de la distribución espacio-temporal de las secuencias pluviométricas secas resulta primordial para analizar los patrones espaciales de sequía. En este apartado, se lleva a cabo una cartografía temática sobre la evolución espacio-temporal de los ocho grandes periodos de sequía que han afectado al área de estudio desde 1968: 1970-1971,

1978-1979, 1981-1982, 1983-1986, 1993-1996, 1998-2001, 2005-2006 y 2013-2016. La descripción de las características y las consecuencias territoriales de estas secuencias pluviométricas secas se realiza en el apartado 5.1.

Para cada una de las ocho sequías extremas acontecidas en los últimos 50 años se ha efectuado una imagen que contiene un total de ocho mapas. Los mismos han sido realizados a través de R, utilizando la técnica de interpolación espacial “Kriging Ordinario” con una resolución espacial de 200 metros. En las sequías de mayor duración se refleja la evolución de las secuencias secas cada 4-5 meses y en la menor duración cada 2-3 meses. De esta forma, esta cartografía constituye una herramienta muy eficaz para el análisis de los patrones espaciales de sequía.

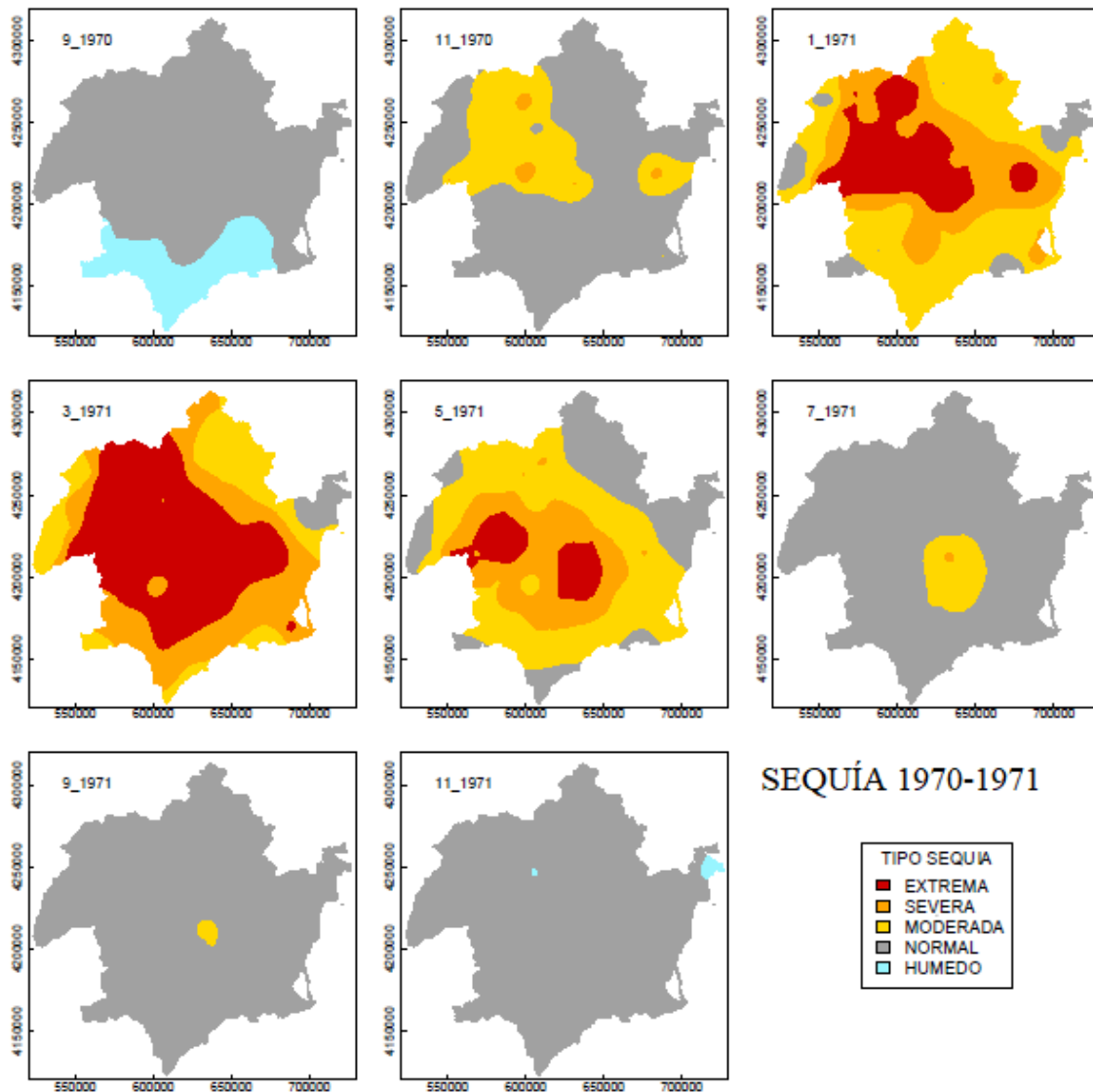


Figura 208. Evolución espacio-temporal de la sequía 1970-1971. Fuente: Elaboración propia.



En las figuras 208 y 209 se expone como las secuencias secas surestinas de 1970-1971 y 1978-1979 afectaron con gran intensidad a la práctica totalidad del territorio de la RG1 y RG3. En el caso del periodo 1970-1971, durante la primera mitad del año 1971, gran parte del territorio se vio concernido por la categoría de sequía extrema. Esta sequía finalizó de forma brusca en mayo de 1971, que fue un mes excepcionalmente húmedo en gran parte del territorio del área de estudio. Por su parte, la secuencia seca 1978-1979 afectó en forma de sequía extrema a numerosas áreas del interior de las RG1 y RG3, entre enero y septiembre de 1979. Esta secuencia es un claro ejemplo de como los patrones de sequía surestina no afectan a las cabeceras del Segura y Mundo (RG2), que permaneció durante todo este periodo en el umbral categorizado como húmedo.

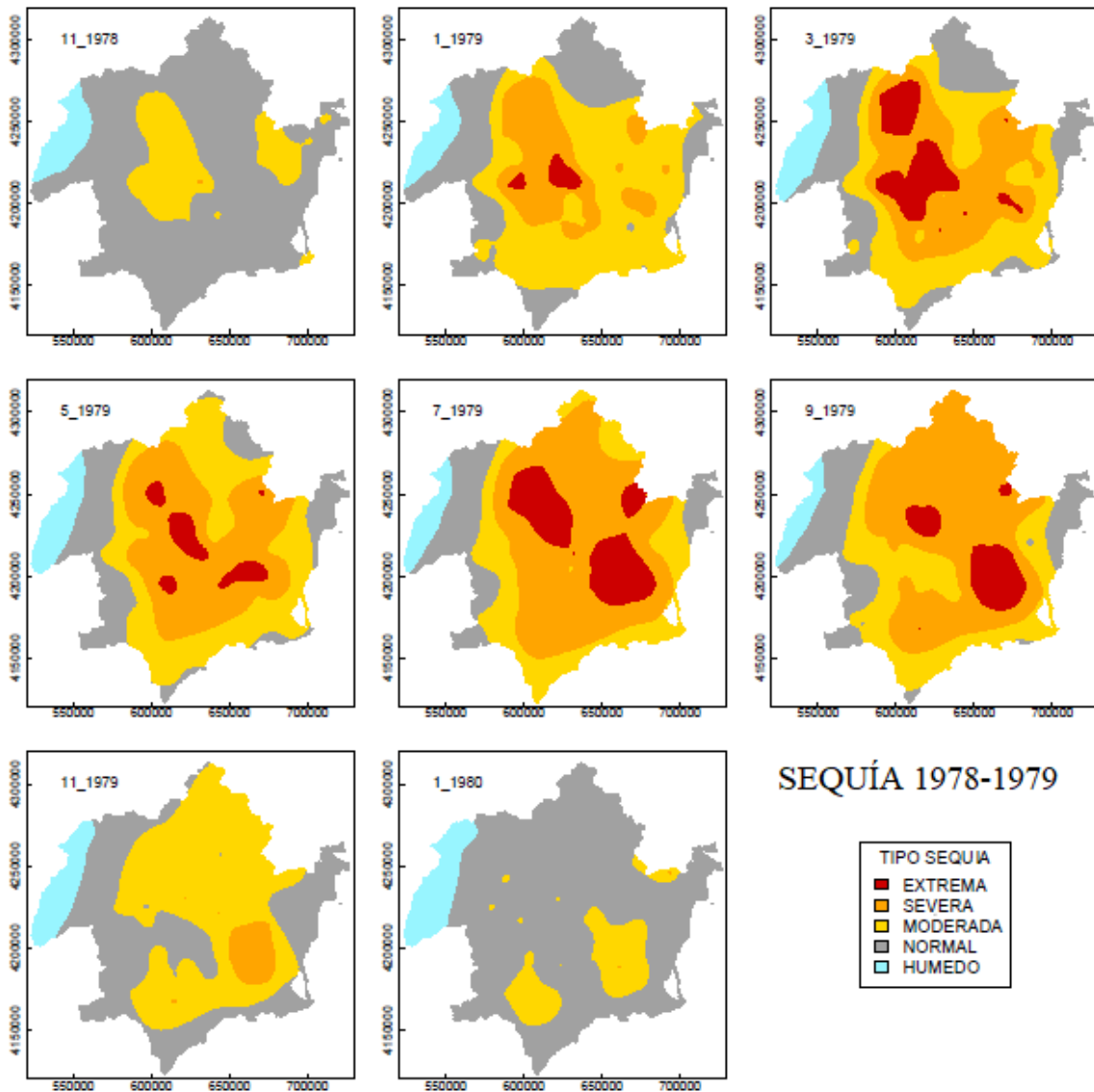


Figura 209. Evolución espacio-temporal de la sequía 1978-1979. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 210, se muestra la evolución espacio-temporal de la sequía 1981-1982. Se trata de una sequía ibérica que afectó durante sus primeros meses con mayor virulencia a la mitad occidental del área estudio, incidiendo de forma más intensa en la zona de transición entre la RG2 y RG3. En las cabeceras del Mundo y Segura esta secuencia seca finalizó en diciembre de 1981, que fue muy húmedo con la sucesiva entrada de frentes atlánticos. De este modo, el área afectada por sequía se fue trasladando hacia la mitad oriental del territorio analizado. Finalizó tras el episodio de lluvias torrenciales de octubre de 1982, que fue especialmente fuerte en el Campo de Alicante. En diciembre de 1982, solo pequeñas áreas de la RG1 y RG3 cercanas a la franja costera, permanecían afectadas por esta sequía.

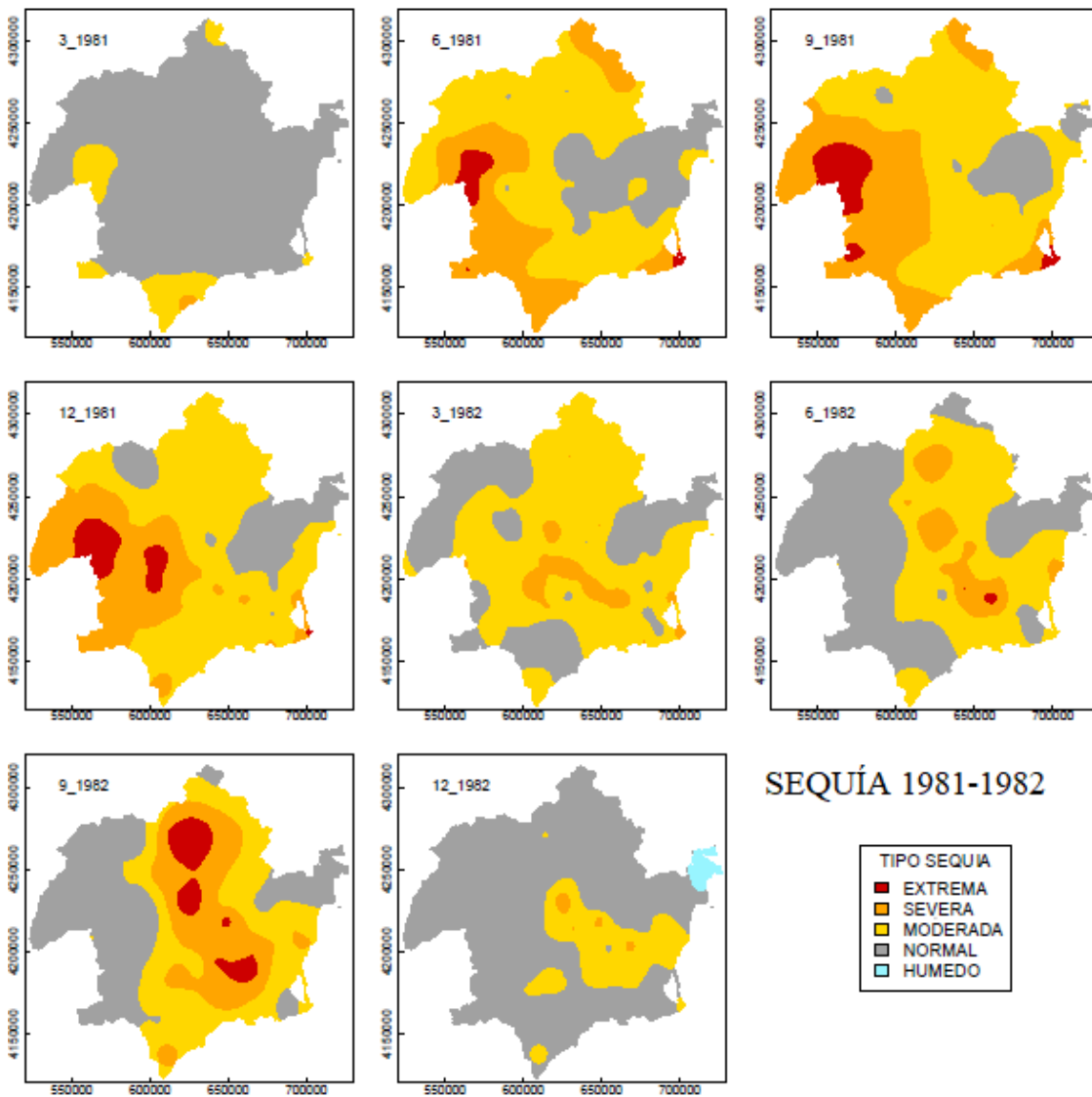


Figura 210. Evolución espacio-temporal de la sequía 1981-1982. Fuente: Elaboración propia .

El episodio de lluvias torrenciales de octubre de 1982 supuso un hiato entre la secuencia seca de 1981-1982 y 1983-1986. En la figura 211 se exhibe la evolución espacio-temporal de la secuencia seca de 1983-1986. Se observa como el lapso temporal de mayor intensidad transcurre entre el otoño de 1983 y la primavera de 1984. Las áreas más afectadas se localizan en los sistemas montañosos interiores orientados a levante y en la franja costera oriental de la RG1. Esta es, sin duda, la secuencia seca más ha afectado a los sistemas montañosos orientados a los vientos de levante (Cambrón, Espuña, Burete, Pedro Ponce o Gavilán). Dicha área montañosa, normalmente suele ser una de las zonas menos afectadas por las secuencias pluviométricas secas, por su disposición favorable a las lluvias orográficas de origen mediterráneo y las precipitaciones de origen convectivo.

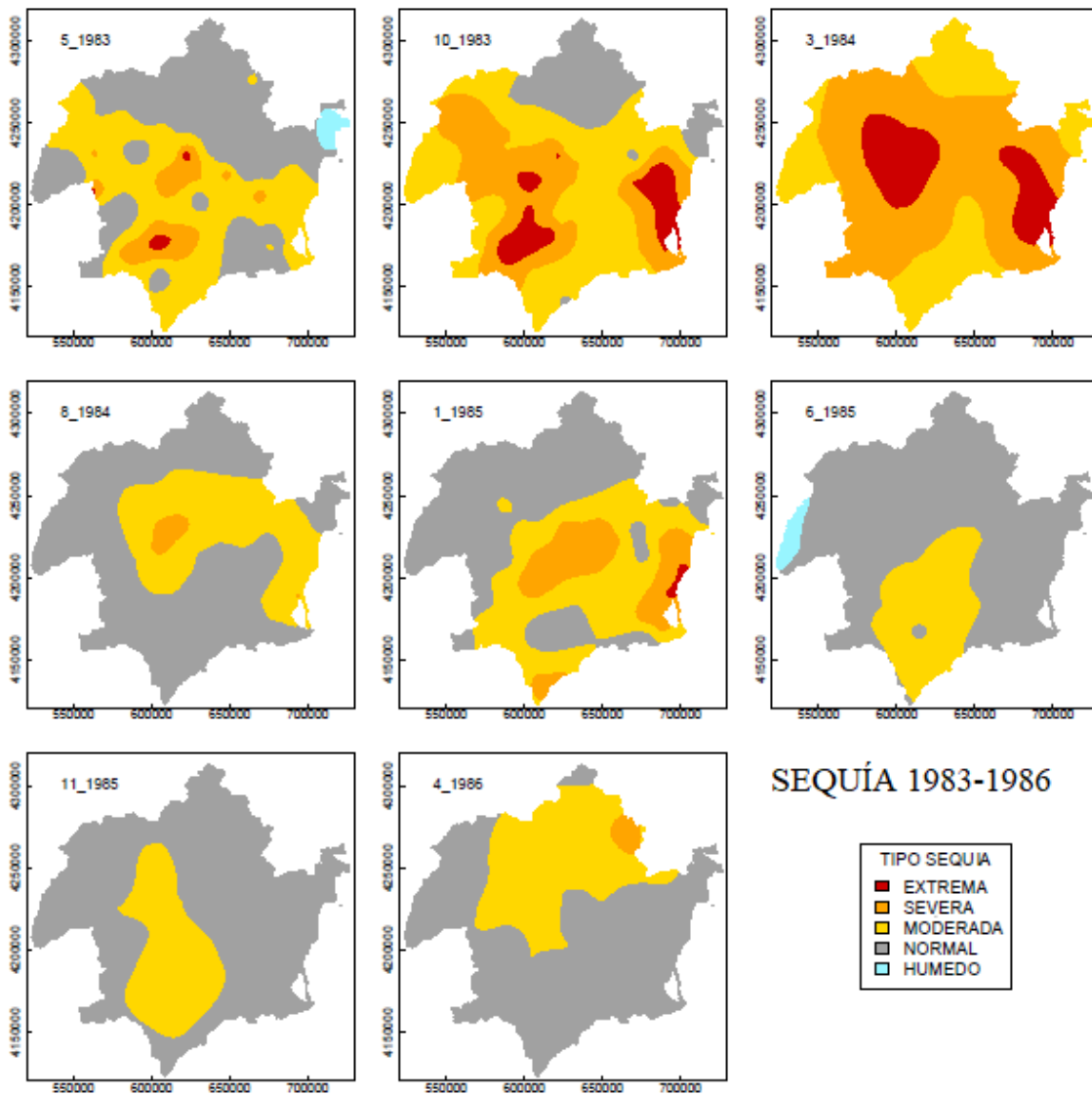


Figura 211. Evolución espacio-temporal de la sequía 1983-1986. Fuente: Elaboración propia.

La secuencia seca de 1993-1996 (figura 212) fue una de las sequías ibéricas más intensas del S.XX. Las cabeceras del Segura y Mundo se vieron especialmente afectadas entre agosto de 1994 y diciembre de 1995. Durante este periodo, gran parte del tercio occidental y extremo septentrional del área de estudio estuvieron concernidos por la categoría de sequía extrema, provocando importantes impactos negativos sobre las reservas hídricas. En diciembre de 1995, que fue un mes excepcionalmente húmedo en la cabecera de la DHS, se puso fin a la sequía en la RG2. Esta situación vino dada por la entrada de frentes atlánticos muy activos que apenas tuvieron incidencia en el resto del área de estudio debido al efecto Foehn. A partir de enero de 1996 se dio pasó a una sequía surestina, afectando especialmente al Campo de Cartagena hasta finales de dicho año.

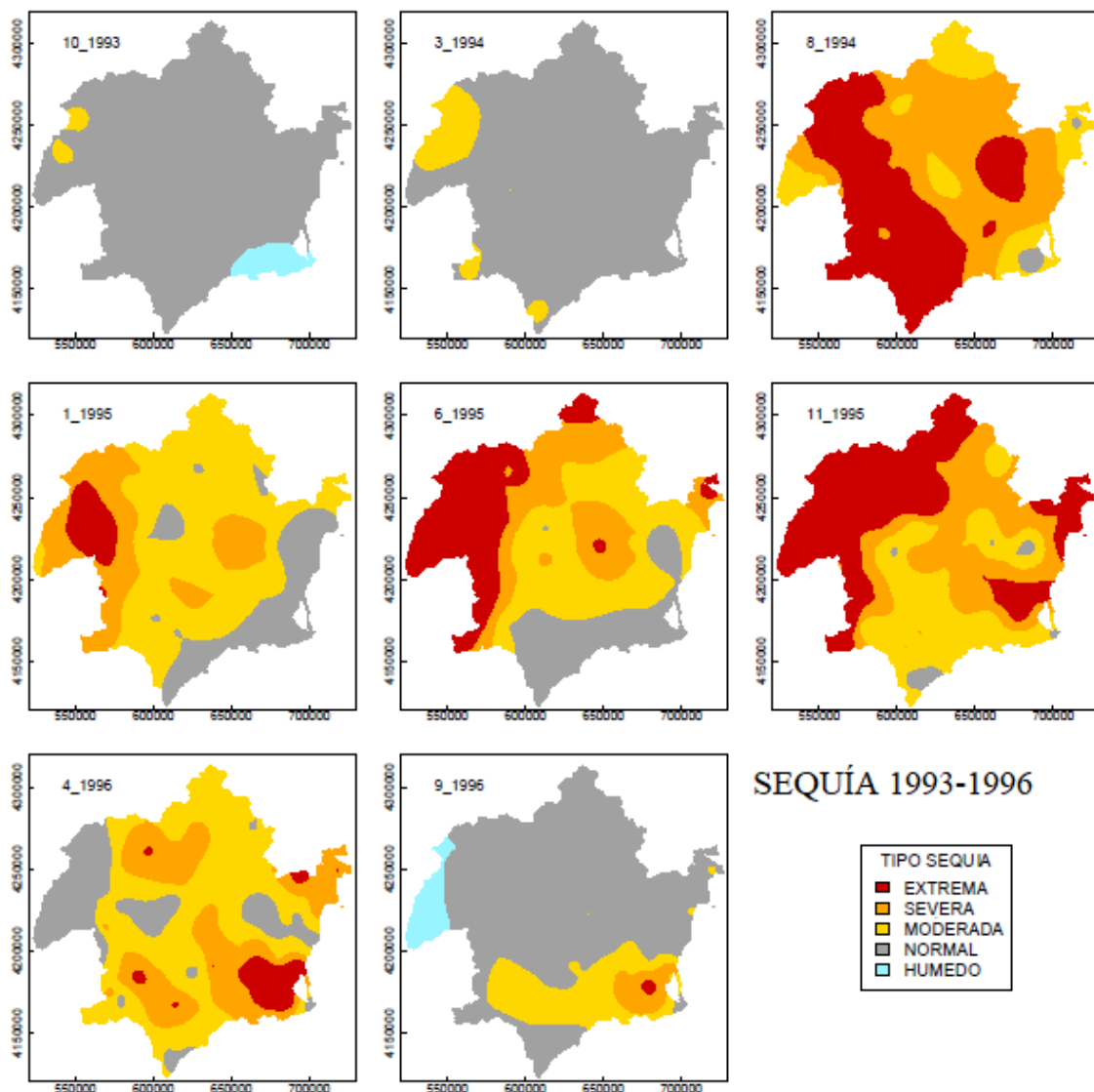


Figura 212. Evolución espacio-temporal de la sequía 1993-1996. Fuente: Elaboración propia.

La secuencia seca 1998-2001 (figura 213) afectó a la mayor parte de los territorios de la RG1 y RG4, aparte del extremo septentrional de la RG3. Por tanto, se trató de una sequía surestina que aconteció apenas dos años después de la intensa sequía de 1993-1996, que dejó las reservas hídricas en niveles muy exigüos. Debido a este hecho, durante este lapso temporal tuvo lugar como ya ha sido mencionado, el segundo gran periodo deficitario de la MCT. Cabe destacar que durante este periodo casi ningún área alcanzó la categoría de sequía extrema.

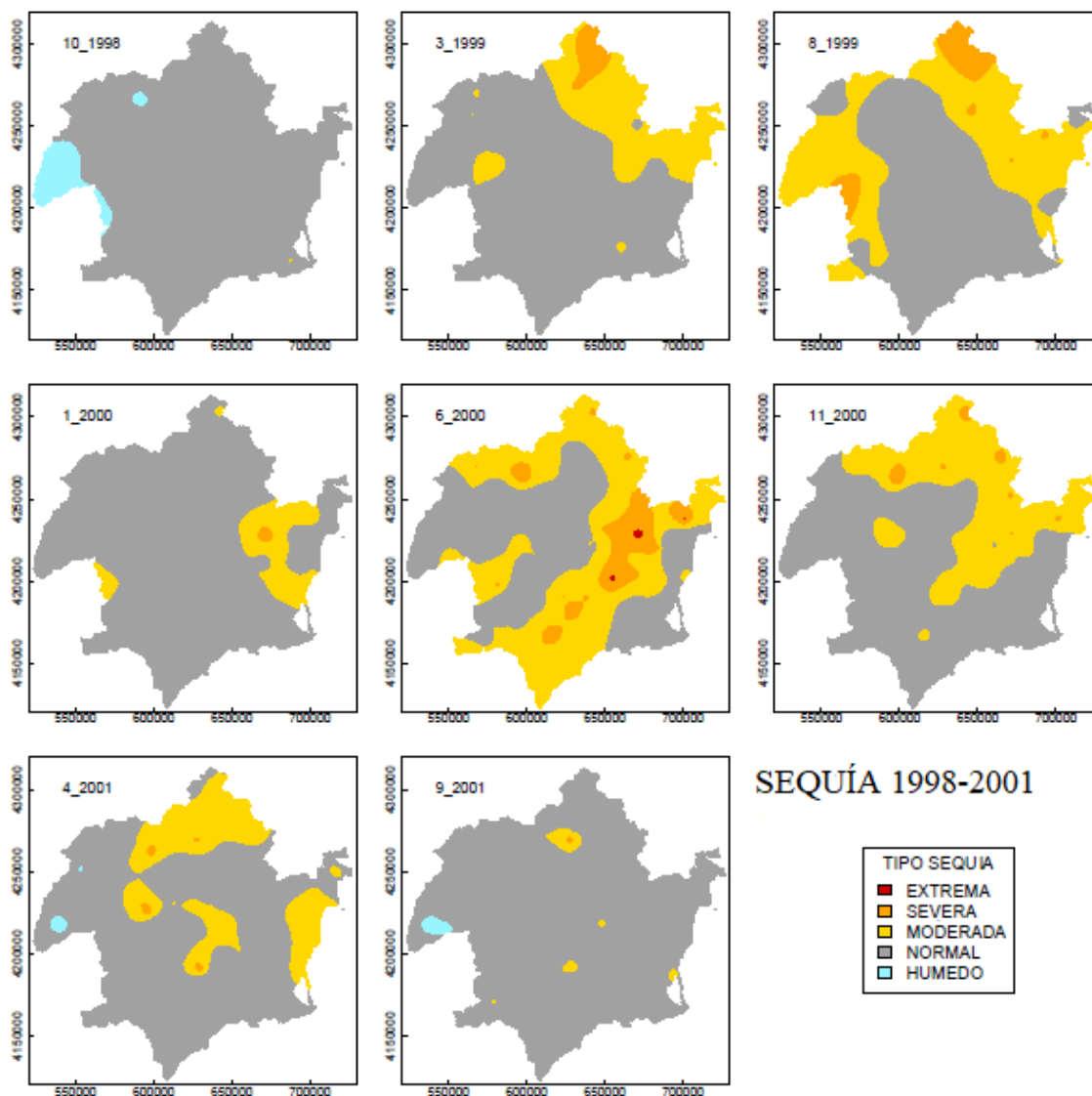


Figura 213. Evolución espacio-temporal de la sequía 1998-2001 Fuente: Elaboración propia.

Apenas diez años después de la finalización de la sequía ibérica de 1993-1996, tuvo lugar la sequía ibérica de 2005-2006, que generó importantes consecuencias territoriales negativas en casi toda la península ibérica. Provocó una reducción muy importante de las

reservas hídricas de todas las demarcaciones hidrográficas, incluidos los embalses de las cabeceras del Tajo y Segura. Como se observa en la figura 214, en el área de estudio se vieron especialmente afectadas la RG2 y la mitad septentrional de la RG3, que son las áreas más expuestas a las precipitaciones de origen atlántico, y que por tanto más sufren la reducción de las mismas. En la cabecera de la DHS se manifestaron notables problemas de abastecimiento de agua a la población.

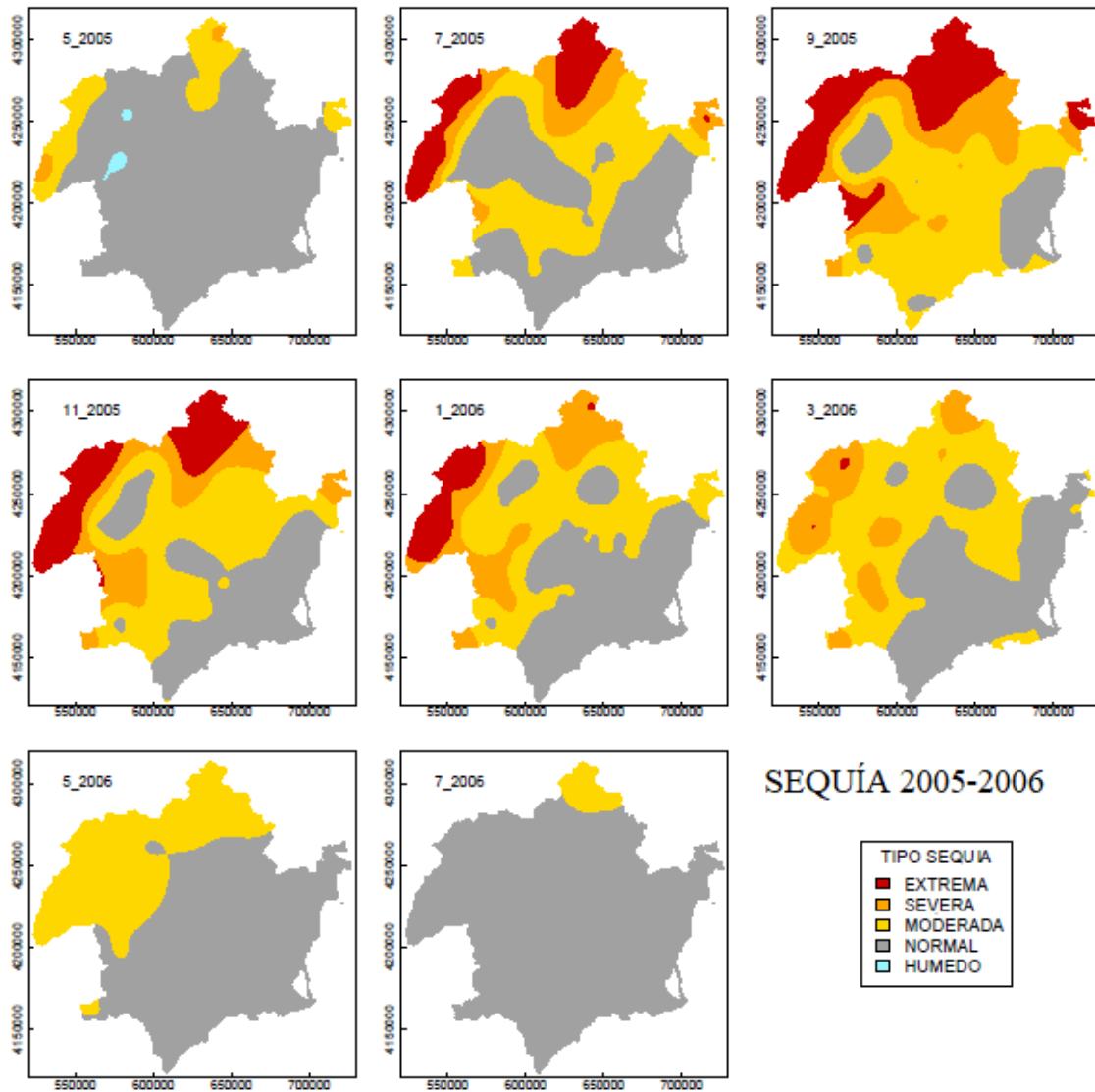


Figura 214. Evolución espacio-temporal de la sequía 2005-2006. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se expone la distribución espacio temporal de la sequía de 2013-2016 (figura 215) que es el último gran periodo de sequía que ha afectado al área de estudio. Se trata de una sequía surestina que apenas afectó a la cabecera de la DHS. La RG1 y RG4 son las áreas que se vieron más afligidas, rebasando durante varios meses el umbral de sequía

extrema. La comarca del valle del Guadalentín fue el territorio más afectado por la sequía, por lo que fue uno de los espacios territoriales donde más se invirtió en las obras de emergencia ejecutadas con el decreto de sequía aprobado en mayo de 2015. En marzo de 2015, como consecuencia de un episodio de lluvias torrenciales tuvo lugar un paréntesis temporal de unos 6-7 meses en la mayor parte del área de estudio, excepto en gran parte del litoral. Durante 2016, el área afectada por esta sequía volvió a concernir a gran parte del área de estudio, siendo especialmente intensa en la RG1. En diciembre de 2016, esta sequía finalizó de forma brusca debido al episodio de lluvias torrenciales del 15 al 19 de diciembre de 2016.

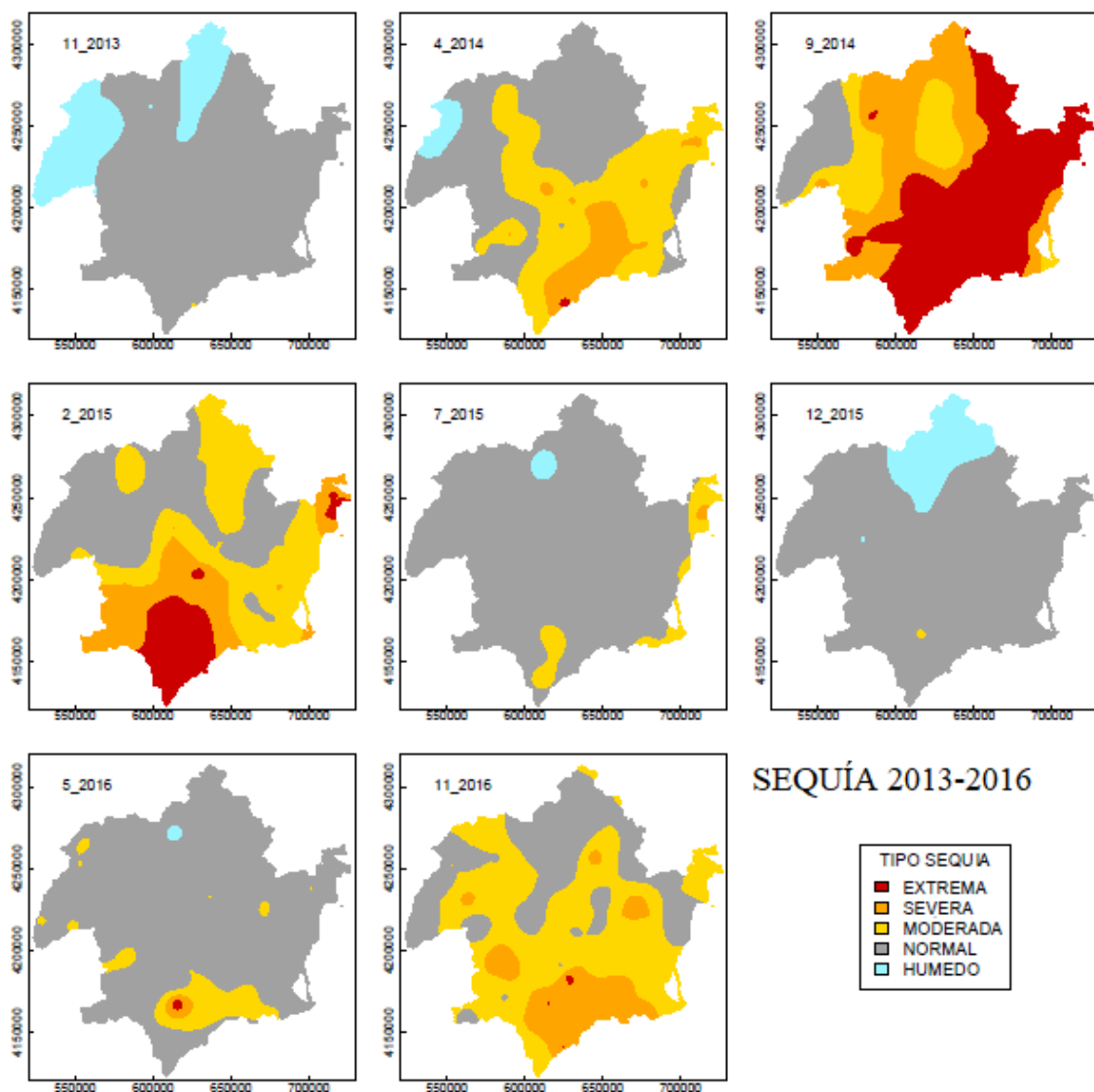


Figura 215. Evolución espacio-temporal de la sequía 2013-2016. Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4. Impacto del incremento de las temperaturas en las secuencias pluviométricas secas (1968-2017)

Según el AR5 (IPCC, 2013), la temperatura media global registró un incremento de  $0,85^{\circ}\text{C}$  durante el periodo 1880-2012, lo que equivale a  $0,06^{\circ}\text{C}/\text{década}$ . Durante la segunda mitad del S.XX, el ritmo de calentamiento es bastante superior, estimándose en  $0,72^{\circ}\text{C}$  en el periodo 1951-2012, lo que equivale a  $0,12^{\circ}\text{C}/\text{década}$ . Recientemente, en Chazarra Bernabé et al. (2020), se ha llevado a cabo un análisis de la evolución de las temperaturas en la España peninsular, Baleares, Ceuta y Melilla, durante el periodo 1961-2018. Estos autores ponen de manifiesto que el incremento de las temperaturas en la España peninsular es superior al promedio global, ya que se produce un incremento de  $0,21^{\circ}\text{C}/\text{década}$  (periodo 1961-2018). En la figura 216 se muestra la evolución de la temperatura anual media en la España peninsular, Baleares, Ceuta y Melilla, durante el citado periodo.

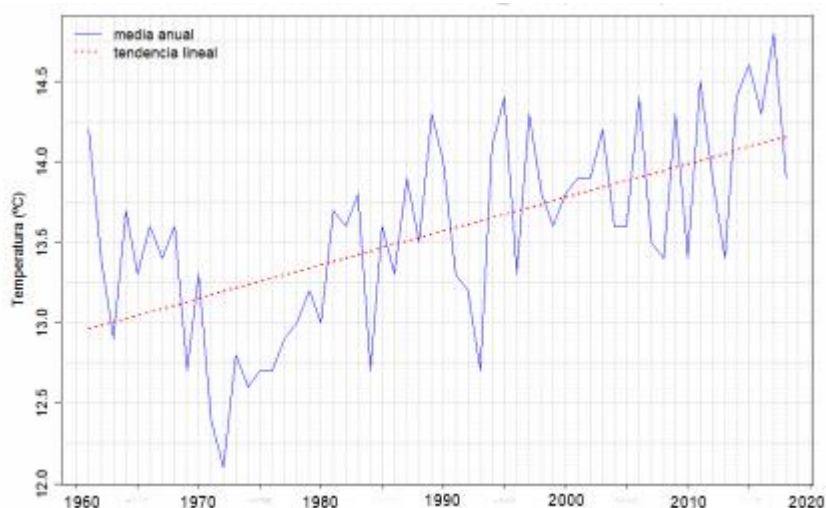


Figura 216. Evolución temporal de las temperaturas en la España peninsular, Baleares, Ceuta y Melilla, durante el periodo 1961-2018. Fuente: Chazarra Berbabé et al. (2020).

En el presente apartado se efectúa un análisis preliminar del impacto del incremento de las temperaturas en las secuencias pluviométricas secas en el periodo temporal 1968-2017. Para ello, se han seleccionado un total de seis observatorios termopluviométricos que disponen de serie de precipitación y temperatura de más de 50 años de registros. La distribución espacial de dichos observatorios se muestra en la figura 217. Además, las características básicas de los mismos se exponen en la tabla 65. Se ha seleccionado al menos un observatorio de cada una de las regiones obtenidas en el proceso de



regionalización de sequías. En las RG1 y RG3, debido a su mayor superficie, se ha optado por analizar el comportamiento de dos observatorios. En definitiva, se ha intentado escoger observatorios emplazados en localizaciones con condicionantes geográficos diferentes para llevar a cabo una evaluación preliminar de las zonas en las que el incremento de las temperaturas tiene un mayor impacto durante periodos secos.

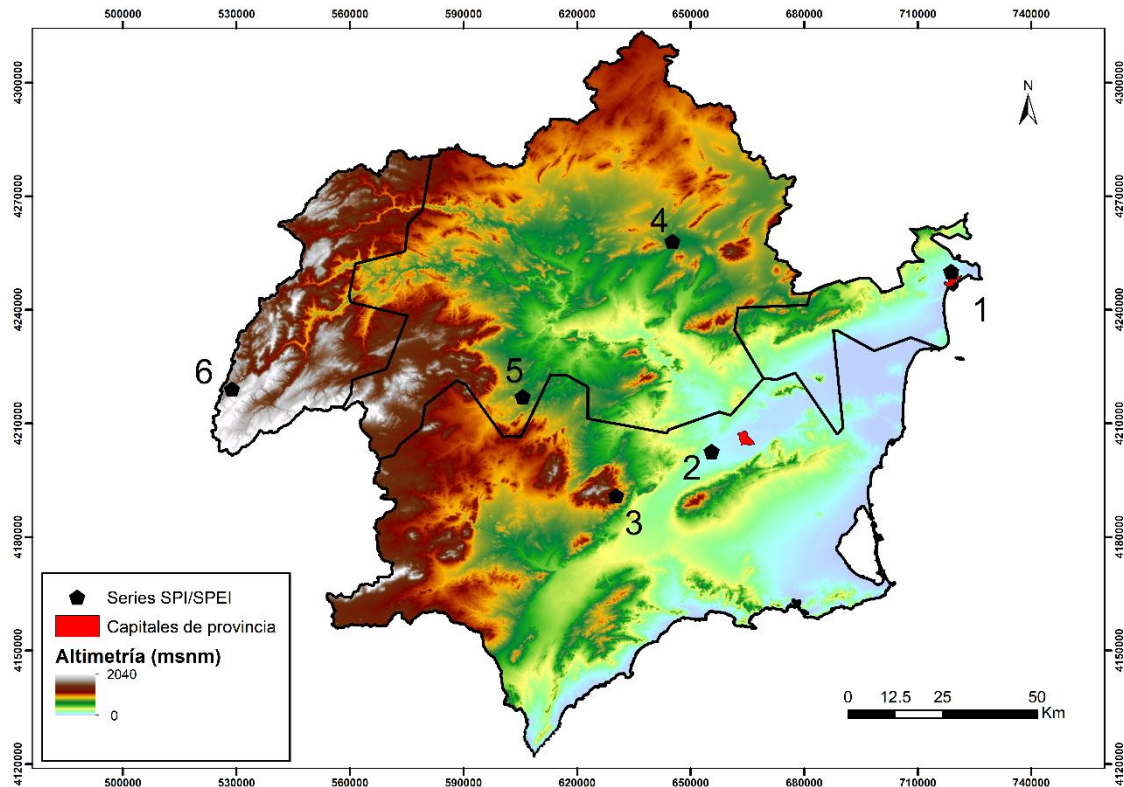


Figura 217. Distribución espacial de los seis observatorios utilizados. El ID de cada serie aparece referenciado en la tabla 65. Fuente: Elaboración propia.

ID	Nombre	UTMX-30N	UTMY-30N	Altitud (msnm)	P (l/m <sup>2</sup> )
1	Alicante	718904	4250120	81	311,1
2	Murcia/Alcantarilla	655618	4202611	75	289,5
3	Alhama Huerta España	630390	4190908	760	423,7
4	Jumilla	645247	4258045	485	297
5	Cehegín	605682	4217064	563	392,1
6	Pontones	528848	4219079	1333	871,7

Tabla 65. Información básica de los seis series observatorios utilizados. Fuente: Elaboración propia. \*P (l/m<sup>2</sup>) se refiere a la precipitación media del periodo de referencia 1981-2020

Las series de temperatura proceden de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Las mismas han sido reconstruidas y homogeneizadas mediante la utilización del paquete estadístico de R CLIMATOL (Guijarro, 2016). Para estudiar el impacto de las temperaturas sobre las sequías, ha sido aplicado el índice de sequía SPEI (Vicente Serrano

et al., 2010a). Este índice basa su cálculo en el SPI, pero añadiendo la variable de la evapotranspiración. El cálculo de la evapotranspiración ha sido obtenido mediante el método de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985). El uso de este índice ha sido ampliamente aceptado a nivel internacional, por su utilidad para evaluar el impacto de las temperaturas en las sequías (Wang et al., 2019; Spinoni et al., 2018). En este apartado, se realiza una comparativa en la evolución de los índices SPI y SPEI durante el periodo 1968-2017, para una escala temporal de 12 meses (escala hidrológica). El principal objetivo es examinar el impacto que ha tenido el mencionado incremento de las temperaturas en las sequías. Para la clasificación de las diferentes categorías de sequías se utiliza la clasificación modificada por Agnew (2000) ya utilizada para el SPI (tabla 50).

En primer lugar, entre las figuras 218 y 223 se presenta la evolución de la diferencia registrada en los valores del SPI y SPEI en los seis observatorios empleados. El principal objetivo es vislumbrar en qué momento el incremento de las temperaturas y, por ende, de la evapotranspiración, comienza a tener impacto en las secuencias secas. Para ello, en las gráficas se distinguen con colores las diferencias positivas y negativas:  $SPEI > SPI$  (azul) y  $SPEI < SPI$  (rojo). Los valores inferiores del SPEI con respecto al SPI indican que el incremento de la evapotranspiración provoca que los valores de intensidad de sequía sean inferiores. A continuación, se examina en qué espacios geográficos son más notables estas diferencias.

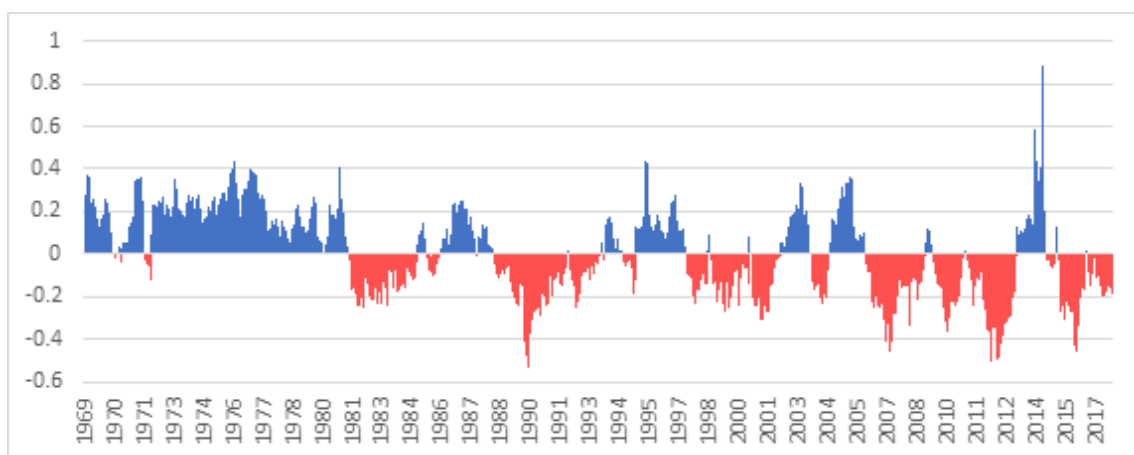


Figura 218. Diferencia registrada en los valores del SPI y SPEI en la serie de Alicante (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

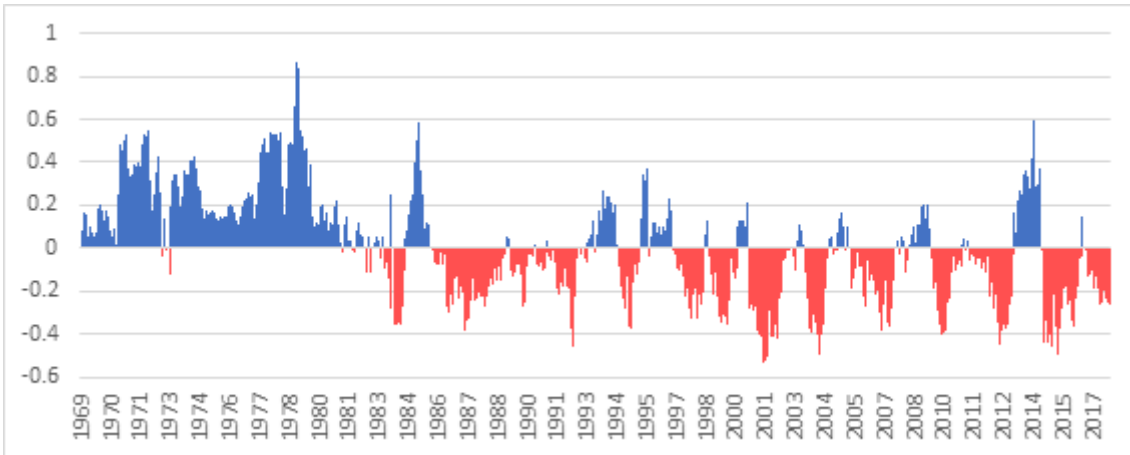


Figura 219. Diferencia registrada en los valores del SPI y SPEI en la serie de Murcia/Alcantarilla (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

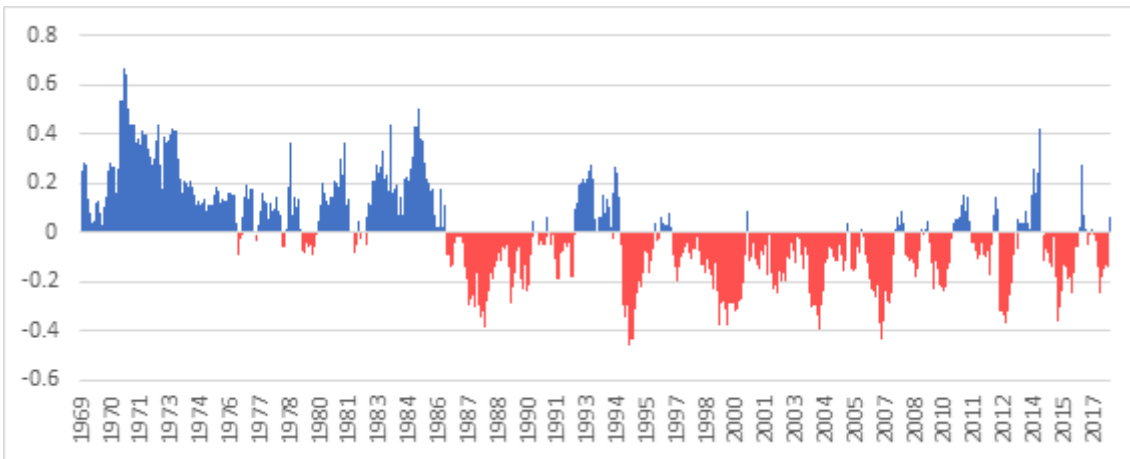


Figura 220. Diferencia registrada en los valores del SPI y SPEI en la serie de Alhama/Huerta España (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

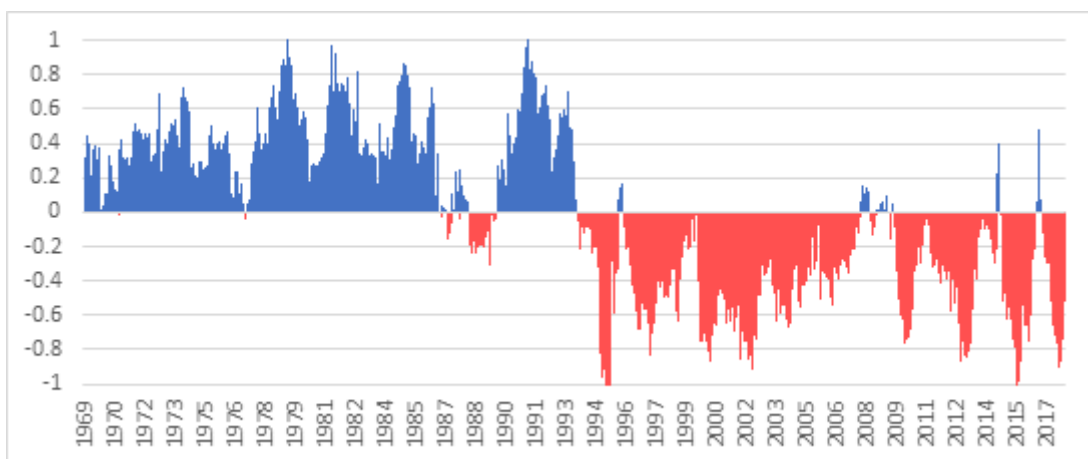


Figura 221. Diferencia registrada en los valores del SPI y SPEI en la serie de Jumilla (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

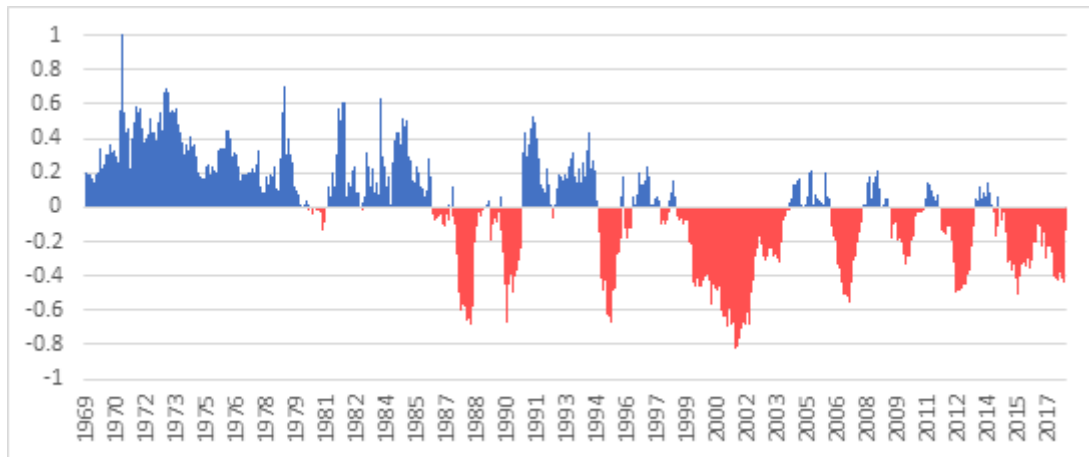


Figura 222. Diferencia registrada en los valores del SPI y SPEI en la serie de Cehegín (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

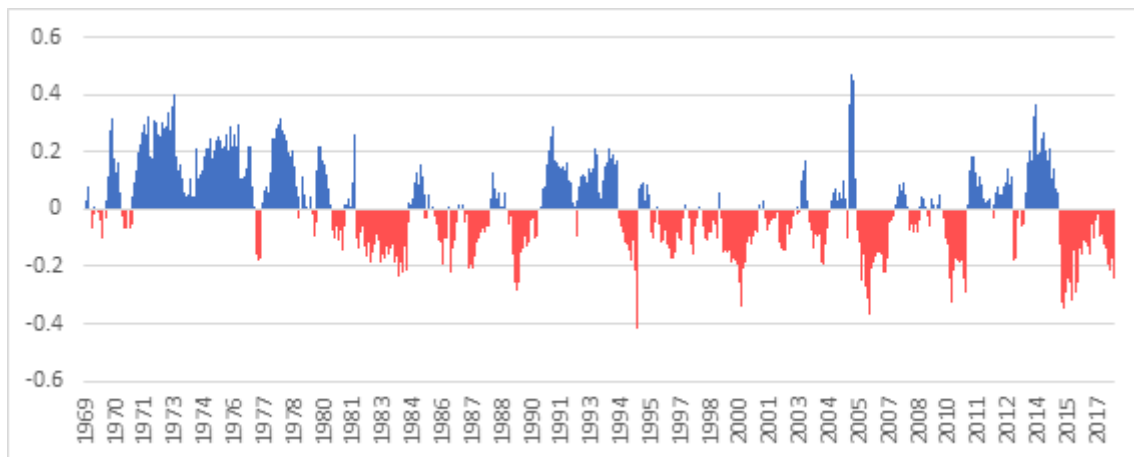


Figura 223. Diferencia registrada en los valores del SPI y SPEI en la serie de Pontones (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la evolución observada de las diferencias entre el SPI y SPEI, se puede destacar que, en general, pueden distinguirse dos periodos bastante diferenciados. En un primer periodo, transcurrido más o menos entre 1968 y 1985, la evapotranspiración apenas tiene influencia en los ciclos de sequía, y los valores de intensidad son superiores en el SPI. Por ejemplo, en las intensas sequías de principios de la década de 1980, el SPI vislumbra valores superiores al SPEI, siendo especialmente evidente en los valles interiores (Jumilla y Cehegín), donde estas secuencias secas tuvieron una gran virulencia. En cambio, en un segundo periodo (1985-2017), el comportamiento es radicalmente opuesto, y la intensidad de las sequías se ve notablemente acrecentada por la variable de la evapotranspiración. Este hecho está especialmente marcado en los observatorios de los valles interiores de la RG3, situados sobre los 500 msnm (Jumilla y Cehegín). Sin

embargo, en los observatorios de montaña (Pontones y Alhama Huerta Espuña), y en los valles prelitorales (Murcia/Alcantarilla) y litoral (Alicante), se observa que el impacto es más reducido.

Este cambio en el año 1985 no es fruto de la casualidad, ya que coincide con el comienzo del aumento progresivo de la evaporación en España hasta la actualidad (Sánchez Lorenzo et al., 2014). Estos autores exponen que la evolución de la evaporación en España presenta una tendencia descendente entre 1960 y 1985. El esperado aumento de la evapotranspiración hasta finales del S.XXI en la DHS (Ruiz Álvarez et al., 2018), puede influir negativamente en el aumento notable de la intensidad de los periodos de sequía. El incremento de los valores de intensidad de sequía, igualmente, puede llevar consigo el desarrollo de la peligrosidad de otros riesgos con origen natural como los incendios forestales.

Los parámetros de las sequías más afectados por el incremento de su intensidad a partir de 1985, son sin duda la duración y la magnitud. Es decir, si se tiene en cuenta las variables de la temperatura y evapotranspiración (SPEI), las sequías de 1993-1996, 1998-2001, 2005-2006 y 2013-2016, exhiben una duración y magnitud superiores a los observados únicamente teniendo en cuenta la variable de la precipitación (SPI). Estos cambios se vislumbran también en un reciente estudio realizado en el ámbito de la Región de Murcia (Ruiz Álvarez et al., 2019). Estos autores exponen, entre otros aspectos que los periodos de sequía están influenciados por otros riesgos de origen climático, como las olas de calor, que provocan un drástico aumento en la intensidad de las sequías (ejemplo de los veranos de 1994 y 2003).

Entre las figuras 224 y 229, se presenta la evolución temporal comparativa de los índices SPI y SPEI. En la tabla 50, se exponen los colores asignados a cada categoría de sequía. En las mismas se observa perfectamente la disyuntiva existente en el comportamiento de los periodos temporales mencionados: 1968-1985 y 1985-2017. Las sequías acontecidas a partir de 1985 sufren una intensificación de sus parámetros (intensidad, duración y magnitud) con la aplicación del SPEI. De este modo, sequías que con la aplicación del SPI tenían la categoría de moderada o severa pasan a la categoría de sequía extrema con el SPEI. El sector agrícola (especialmente la agricultura de secano) es el más afectado por estos cambios. Con las estimaciones futuras sobre el calentamiento global se deberán buscar cultivos adaptados a las condiciones de sequía esperadas.

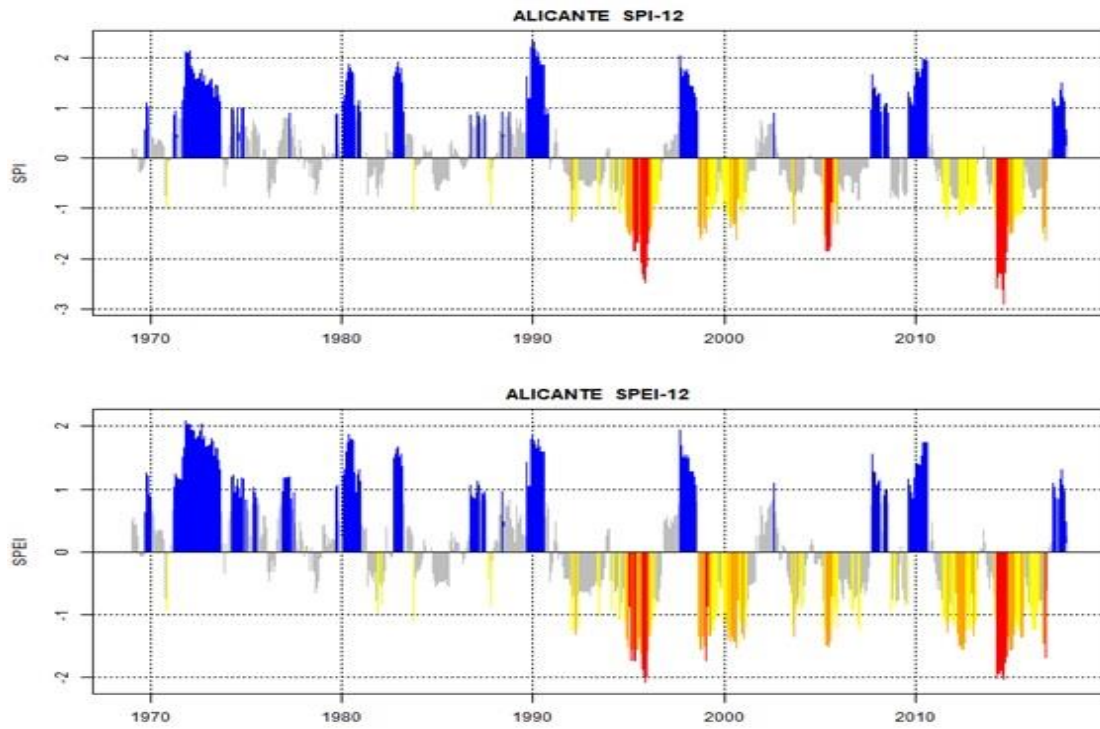


Figura 224. Evolución temporal comparativa de los valores del SPI/SPEI-12 en la serie de Alicante (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

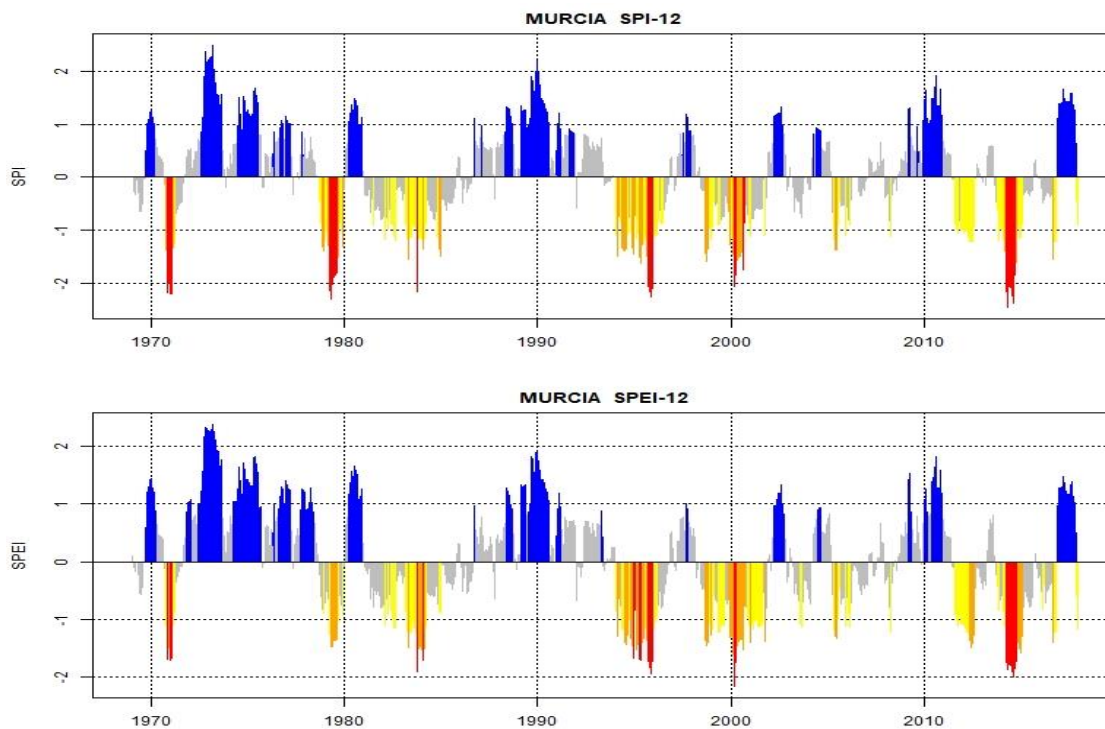


Figura 225. Evolución temporal comparativa de los valores del SPI/SPEI-12 en la serie de Murcia/Alcantarilla (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.



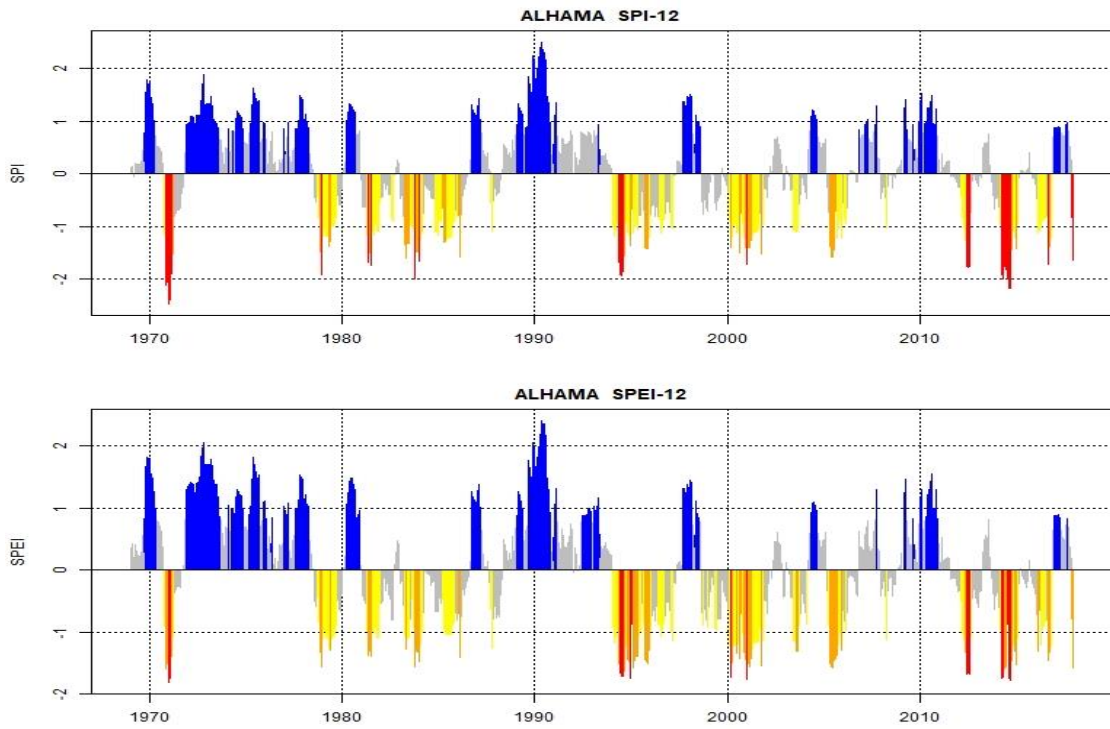


Figura 226. Evolución temporal comparativa de los valores del SPI/SPEI-12 en la serie de Alhama Huerta España (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

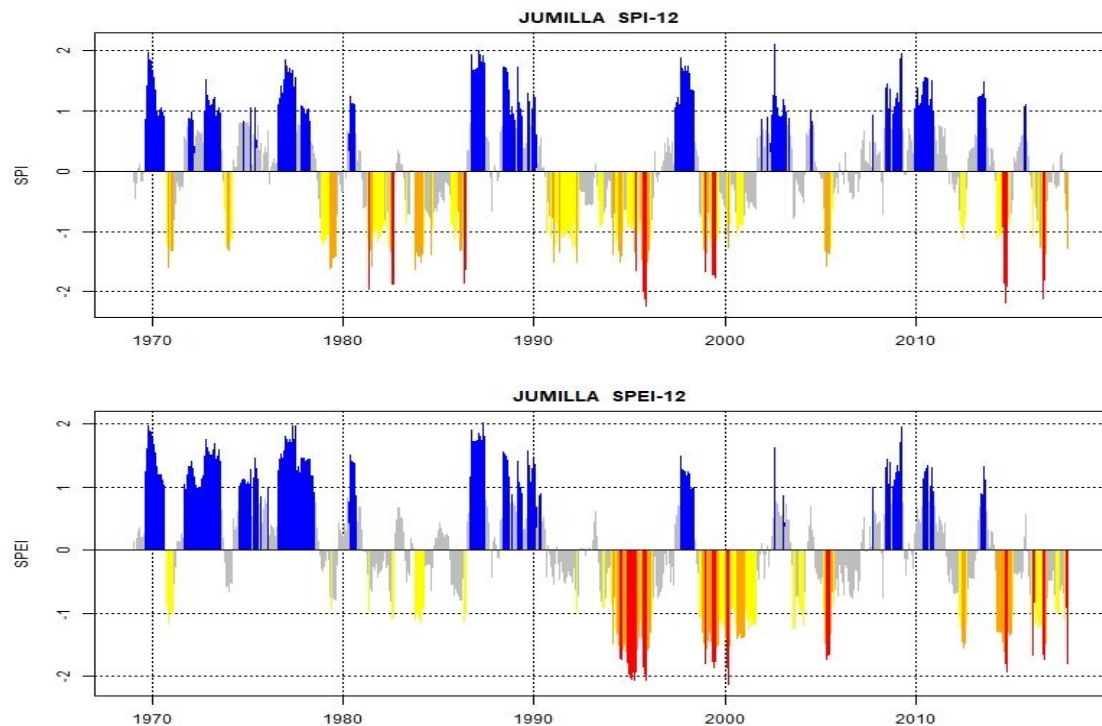


Figura 227. Evolución temporal comparativa de los valores del SPI/SPEI-12 en la serie de Jumilla (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

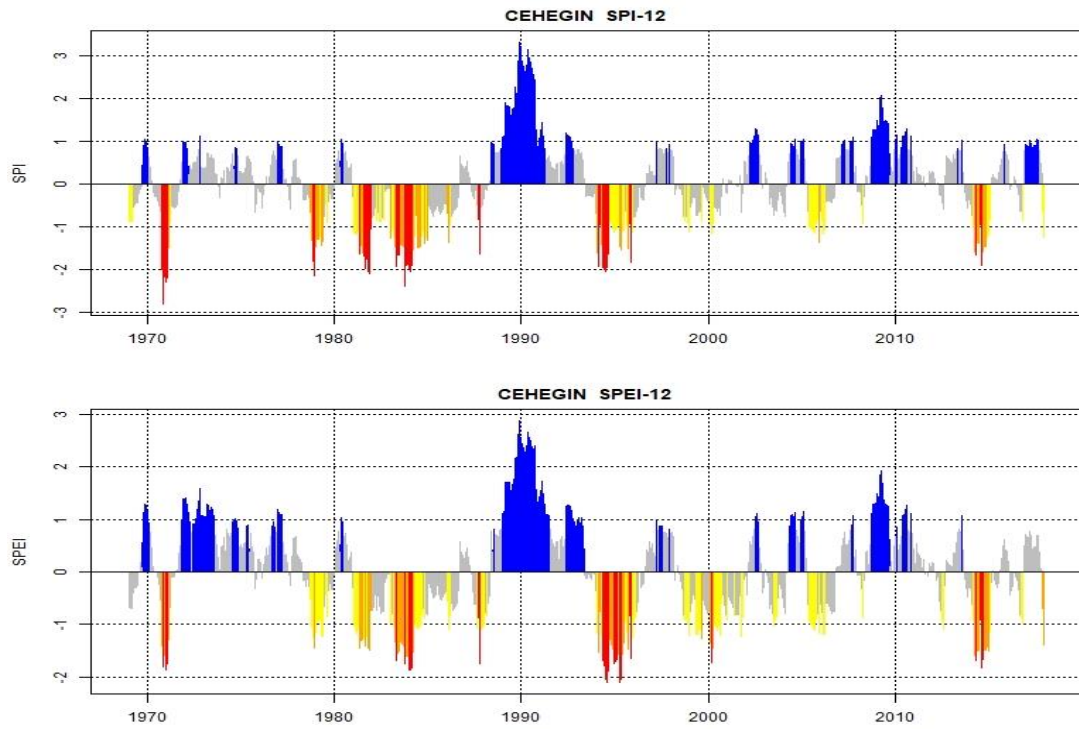


Figura 228. Evolución temporal comparativa de los valores del SPI/SPEI-12 en la serie de Cehegín (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.

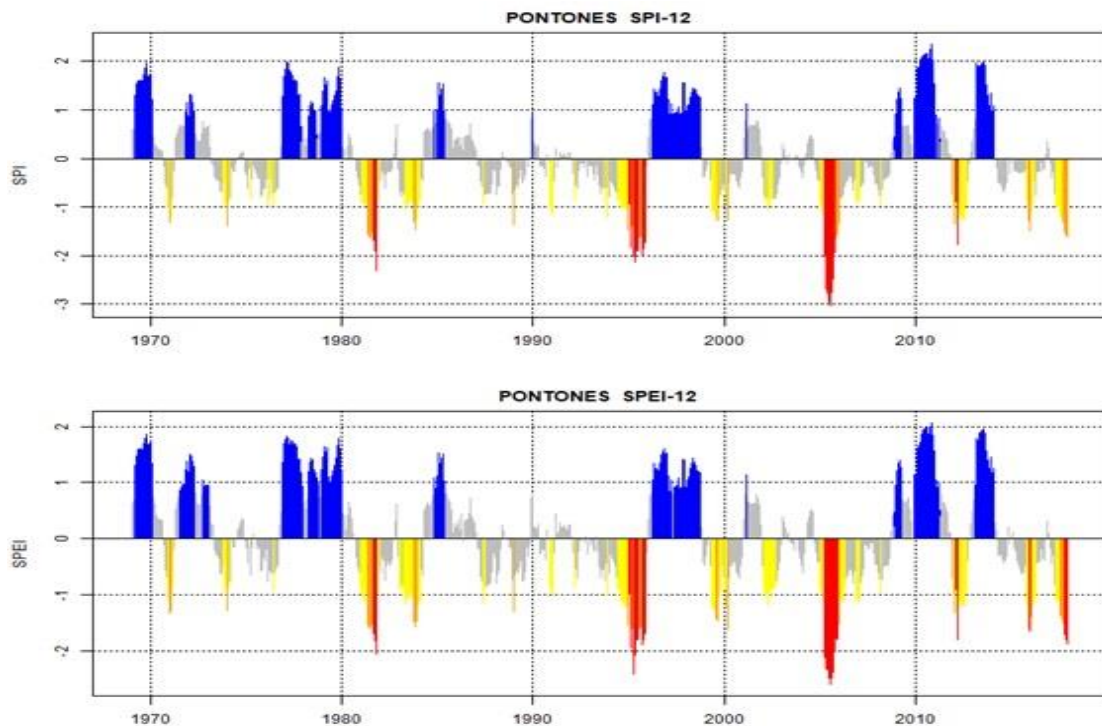


Figura 229. Evolución temporal comparativa de los valores del SPI/SPEI-12 en la serie de Pontones (periodo 1968-2017). Fuente: Elaboración propia.



## **5.5. Influencia de los patrones de teleconexión (NAO, WeMO y MO) en las secuencias pluviométricas secas**

El análisis de la influencia de los patrones de teleconexión en las sequías resulta de gran interés para estudiar este fenómeno natural, así como para avanzar en el desarrollo de nuevas metodologías de predictibilidad estacional. En este trabajo, se utilizan los tres patrones de teleconexión que presentan una mayor relación con el sureste peninsular: Oscilación del Atlántico Norte (en inglés North Atlantic Oscillation, NAO); Oscilación del Mediterráneo Occidental (en inglés Western Mediterranean Oscillation, WeMO); y Oscilación del Mediterráneo (Mediterranean Oscillation, MO). Los índices de teleconexión tienen escala mensual. Por tanto, y con el objetivo de poder correlacionar los patrones de teleconexión con el SPI-12, se ha aplicado una media móvil de 12 meses a cada uno de los índices de teleconexión utilizados. Los mapas resultantes se han obtenido mediante la utilización la técnica de interpolación espacial “Kriging Ordinario” con una resolución espacial de 200 metros. A continuación, se describen las principales características de cada uno de los tres patrones y los resultados obtenidos:

### **5.5.1. Oscilación del Atlántico Norte (NAO)**

Es un índice que fue implementado por Walker y Bliss (1932). Está basado en la diferencia de presión atmosférica existente entre la zona de altas presiones subtropicales (anticiclón de las Azores) y la baja polar situada en la cuenca del Atlántico Norte. De esta forma, se calcula mediante la diferencia de las anomalías estandarizadas (promediadas en 30 años) de presión atmosférica existente entre las ciudades de Lisboa y Reikiavik. Su influencia se extiende desde Norteamérica central hasta Europa, afectando también al norte de África y parte del norte de Asia. Fundamentalmente, determina la variabilidad del clima invernal en la región del Atlántico Norte. Los cambios en la NAO que dan lugar a sus dos fases, están asociados con oscilaciones de la corriente en chorro.

En la figura 230 se expone un esquema con la configuración atmosférica característica de las dos fases de la NAO. Durante su fase positiva, la baja subpolar y el anticiclón de las azores presentan una marcada zonalidad. Esto ocasiona que las borrascas circulen por el norte de Europa, provocando inviernos muy húmedos. Sin embargo, en el sur de Europa los inviernos suelen ser secos o muy secos debido al bloqueo anticiclónico. En Martín Vide y Fernández Belmonte (2001), se expone que los periodos prolongados de la fase positiva de la NAO provocan intensos periodos de sequía ibérica que afectan

especialmente a la vertiente atlántica de la península ibérica (en este territorio es el índice con mayor influencia en la variabilidad pluviométrica). El periodo de mayor influencia oscila entre octubre y mayo. Sin embargo, durante la fase negativa, los centros de acción varían totalmente su posición, como consecuencia del debilitamiento del anticiclón de las Azores y la baja subpolar. Con esta configuración se produce un bloque anticiclónico en las latitudes más septentrionales de Europa, favoreciendo la circulación de los frentes atlánticos por latitudes más meridionales. Por tanto, con esta situación atmosférica, las precipitaciones suelen ser muy abundantes en la vertiente atlántica de la península ibérica. Los frentes atlánticos con esta disposición suelen entrar por el noroeste peninsular.

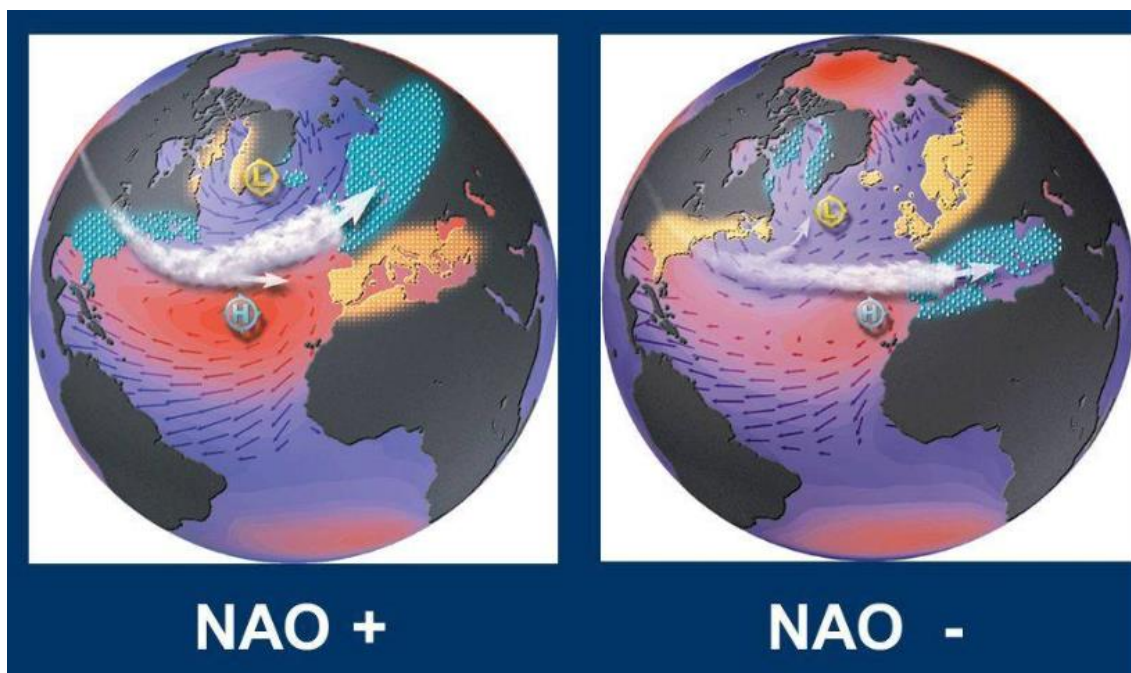


Figura 230. Configuración atmosférica característica de las fases positiva y negativa de la Oscilación del Atlántico Norte. Fuente: AEMET.

Con respecto a su influencia en el área de estudio, en la figura 231 se expone la correlación existente entre las series del SPI-12 y la serie promediada (media móvil de 12 meses) de la NAO. Se observa como la cabecera de la DHS es la que presenta una correlación más elevada con registros entre 0,3 y 0,5. Esta correlación es negativa lo que significa que con la fase positiva (NAO +) suelen predominar meses secos, debido a la drástica reducción de la entrada de frentes atlánticos. Sin embargo, durante la fase negativa (NAO-), suelen registrarse meses húmedos o muy húmedos en la cabecera del Segura, debido a que la circulación de los frentes atlánticos se produce por latitudes más meridionales. En la mitad septentrional la correlación oscila entre 0,3 y 0,2. En el resto del área de estudio, la

correlación presenta valores muy bajos (inferiores a 0,2), lo que implica que la influencia de este índice sobre las sequías en estas zonas es insignificante. Además, cabe destacar que en gran parte de la franja costera y sistemas montañosos interiores a sotavento del flujo atlántico la correlación es positiva. En la zona del Campo de Cartagena esta correlación positiva oscila entre 0,1 y 0,2. Como ya ha sido mencionado, en este espacio territorial suelen prolongarse las condiciones indigencia pluviométrica durante los periodos de sequía ibérica, debido al efecto Foehn provocado por los sistemas béticos que motivan que los frentes atlánticos lleguen muy debilitados a la franja costera.

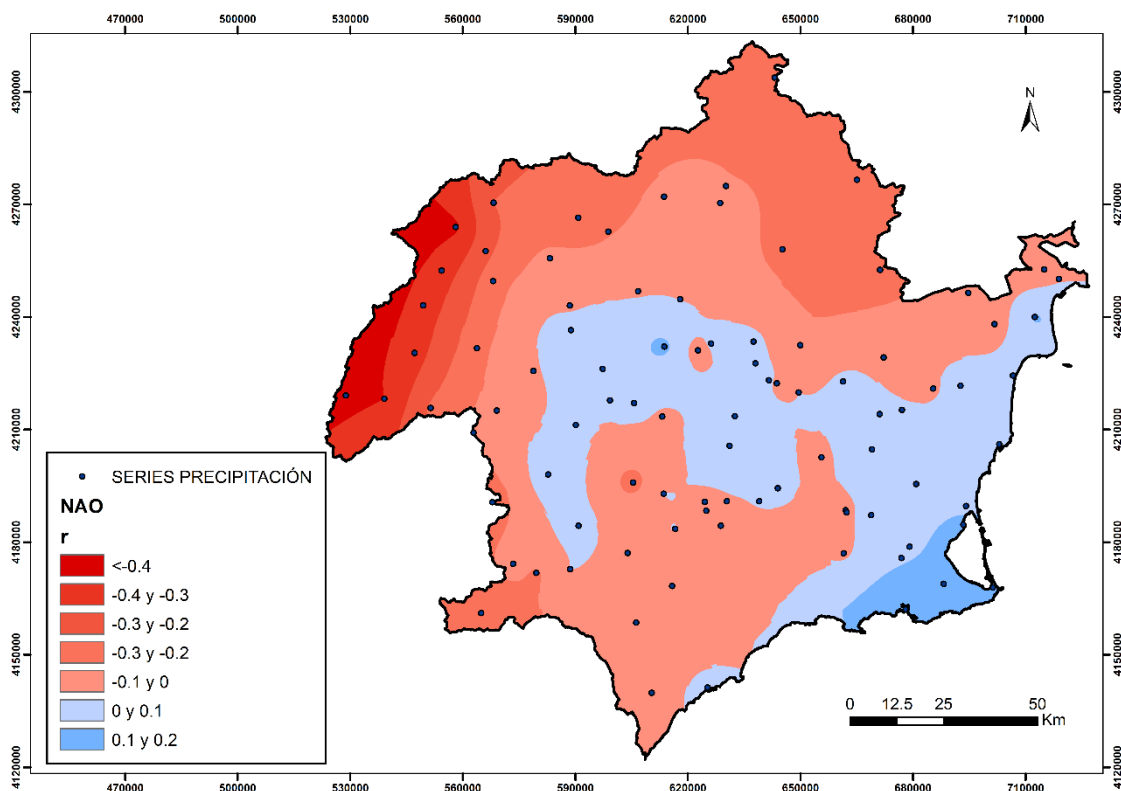


Figura 231. Correlación entre las series del SPI-12 y los valores del índice NAO promediado con una media móvil de 12 meses. Fuente: Elaboración propia.

### 5.5.2. Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO)

Se trata de un índice que fue implementado en el año 2006 (Martín Vide y López Bustins, 2006) por el grupo de climatología de la Universidad de Barcelona. Este modelo de teleconexión regional, se centra en el marco sinóptico de la cuenca mediterránea occidental. Este índice refleja los cambios de presión atmosférica entre el suroeste de España (observatorio de San Fernando) y el norte de Italia (observatorio de Padua). El golfo de Cádiz situado, en el suroeste de la península ibérica, está sujeto durante gran

parte del año por la influencia del anticiclón de las Azores, aunque episódicamente se ve afectado por las bajas circumpolares. Por su parte, el valle del Po, en el norte de Italia, presenta una elevada variabilidad barométrica por la influencia del anticiclón centroeuropeo y de la depresión del mar de Liguria (Martín Vide y López Bustins, 2006). Se aplica fundamentalmente al estudio de la variabilidad de la precipitación sobre la fachada oriental de la península ibérica, ya que existe una correlación bastante superior que con la NAO.

En la figura 232 se expone un esquema con la configuración atmosférica característica de las dos fases del WeMO. Durante su fase positiva (WeMO+) predominan las altas presiones sobre el golfo de Cádiz, mientras que Centroeuropa está dominada por centros de baja presión. Esto provoca una clara circulación zonal, con el predominio de los flujos húmedos procedentes del atlánticos que llegan muy debilitados a la fachada mediterránea. Durante esta fase suelen predominar los meses de sequía en la fachada mediterránea, pudiéndose desencadenar intensos periodos de sequía si esta fase se prolonga. Sin embargo, durante la fase negativa (WeMO-), Centroeuropa está dominada por la acción del anticiclón centroeuropeo y los centros de bajas presiones se sitúan sobre el golfo de Cádiz. Esta configuración atmosférica favorece la entrada de vientos de levante de gran recorrido marítimo. Esta situación puede desencadenar episodios de lluvias torrenciales en la fachada mediterránea.

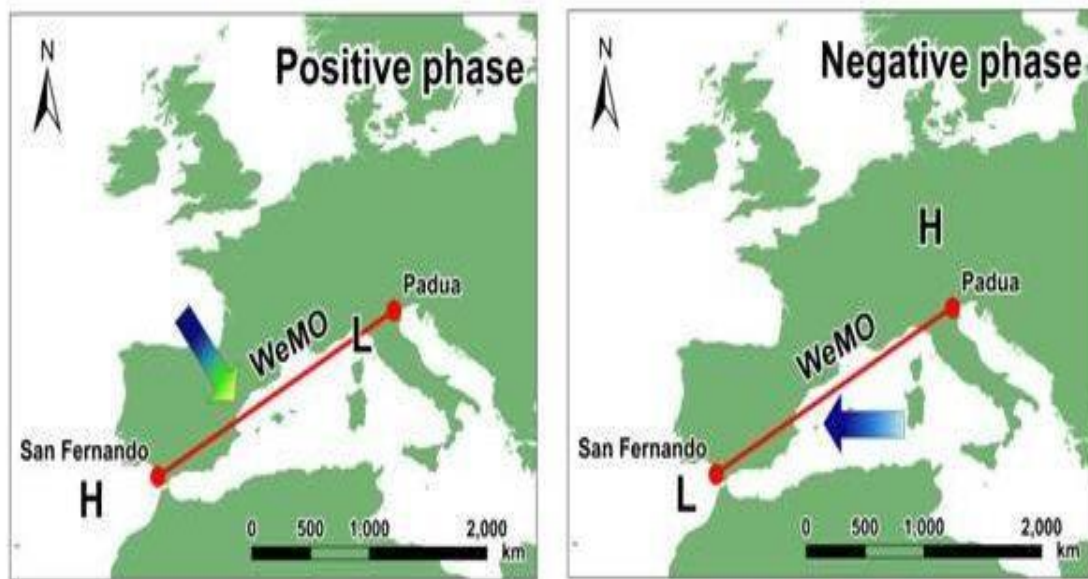


Figura 232. Configuración atmosférica característica de las fases positiva y negativa de la Oscilación del Mediterráneo Occidental. Fuente: Martín Vide y López Bustins (2006)

En referencia a la influencia de este patrón en el área de estudio, cabe destacar que es el índice mejor correlacionado con las series del SPI12 de los sistemas montañosos interiores, a barlovento de los vientos de levante, y de gran parte de la franja costera. En la figura 233, se exhibe la correlación existente entre las series del SPI-12 y la serie promediada (media móvil de 12 meses) del WeMO. Se observa como en todo el territorio la correlación es negativa, aunque en la cabecera de la DHS es prácticamente insignificante. Aunque la correlación no supera los 0,5 en ninguna serie, cabe destacar que en los sistemas montañosos del interior y en la zona del levante almeriense la correlación se aproxima a 0,4. En estas zonas, el predominio durante un periodo temporal prolongado de la fase positiva (WeMO+) puede dar lugar a episodios de intensa sequía. Por el contrario, durante la fase negativa (WeMO-) se favorecen las configuraciones atmosféricas desencadenadoras de episodios de lluvias torrenciales (Martin Vide, 2016).

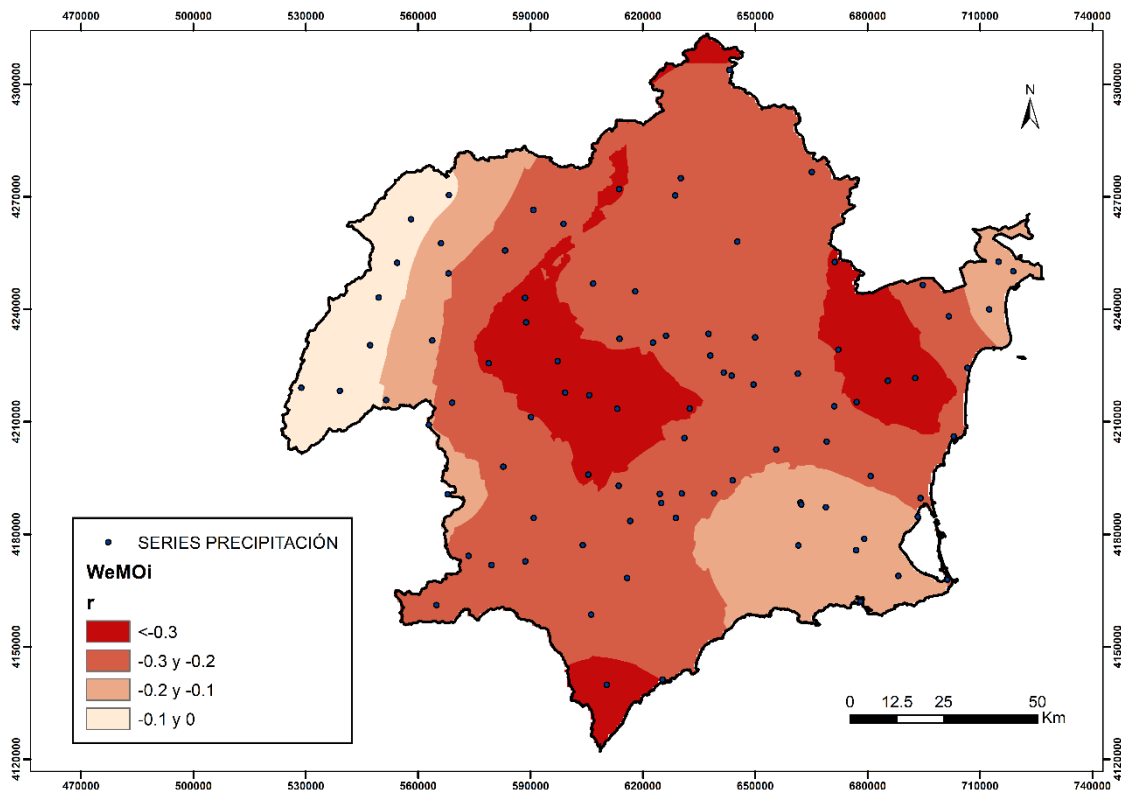


Figura 233. Correlación entre las series del SPI-12 y los valores del índice WeMO promediado con una media móvil de 12 meses. Fuente: Elaboración propia.

### 5.5.3. Oscilación del Mediterráneo (MO)

Es un índice que fue implementado por Palutikof et al. (1996) y Conte et al. (1989). Se trata de un patrón que afecta a toda la cuenca del mediterráneo. Los autores mencionados lo definieron en una primera versión como la diferencia de presión atmosférica existente

entre los observatorios de las ciudades de Argel y El Cairo. Posteriormente se realizó una segunda versión (Palutikof et al., 2003), variando ligeramente los observatorios a las ciudades de Gibraltar y Tel-Aviv. Esta segunda versión del índice ha sido la seleccionada en este trabajo. En la figura 234 se muestra un esquema con la configuración atmosférica característica de las dos fases del MO. Durante la fase positiva (MO+) predominan las altas presiones sobre el sur de Europa, por lo que durante periodos prolongados de esta fase positiva se pueden desencadenar intensos periodos de sequía sobre la península ibérica. En cambio, durante la fase negativa (MO-) predominan las bajas presiones sobre el sur de Europa. Precisamente, la fase negativa es el patrón de teleconexión mejor correlacionado con las precipitaciones de la zona divisoria de aguas de la fachada mediterránea (Martín Vide 2009; Redolat et al., 2019).

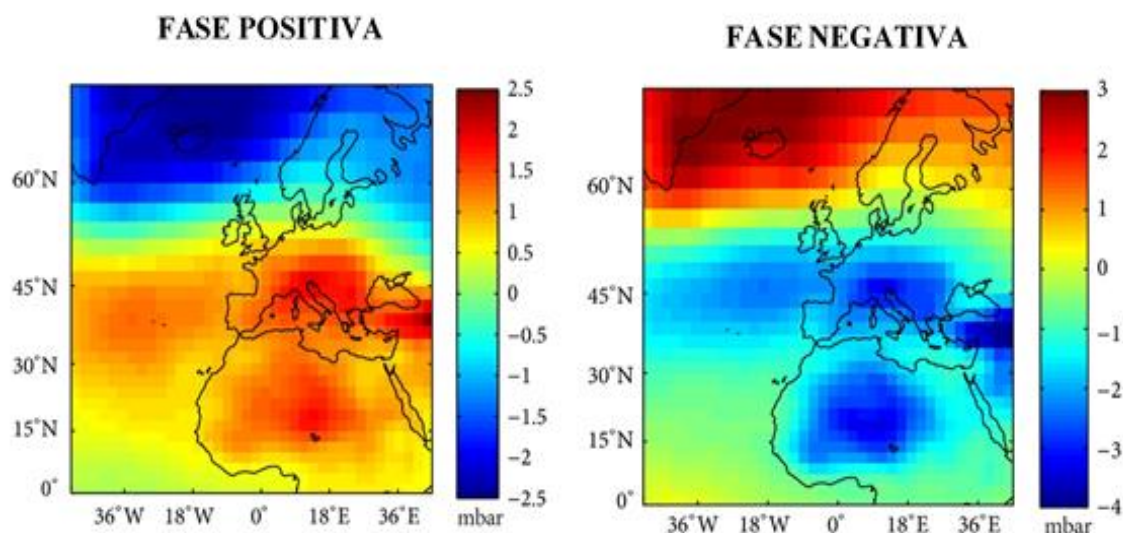


Figura 234. Configuración atmosférica característica de las fases positiva y negativa de la Oscilación del Mediterráneo. Fuente: Criado Aldeanueva y Soto Navarro (2013).

El MO es el patrón de teleconexión que presenta una correlación más elevada con las series del SPI12. En la figura 235 se muestra la correlación existente entre las series del SPI-12 y la serie promediada (media móvil de 12 meses) del MO. Toda el área de estudio presenta una correlación negativa con este índice. Se observa como la correlación es bastante elevada en la cabecera de la DHS (entre 0,6 y 0,7). Esto implica que durante la fase positiva (MO+) predominan meses con sequía. Periodos temporales prolongados de esta fase pueden desencadenar sequías muy intensas en la cabecera de la DHS. Por el contrario, los ciclos de fase negativa (MO-) suelen ser húmedos o muy húmedos en las cabeceras del Segura y Mundo, debido a que la configuración atmosférica



correspondiente a esta fase favorece la entrada de frentes atlánticos muy activos. Muchos de estos suelen entrar por el golfo de Cádiz. Además esta configuración atmosférica puede originar la entrada de vientos de levante de gran recorrido marítimo que aportan una gran humedad a estos frentes. Durante el MO- también son frecuentes los descuelgues de vaguadas que pueden desencadenar tormentas. El resto del tercio occidental y extremo septentrional del área de análisis también poseen una correlación por encima de 0,3. Por su parte, en el restante espacio territorial la correlación es inferior a 0,3, por lo que la influencia de este índice en los patrones de sequía es insignificante.

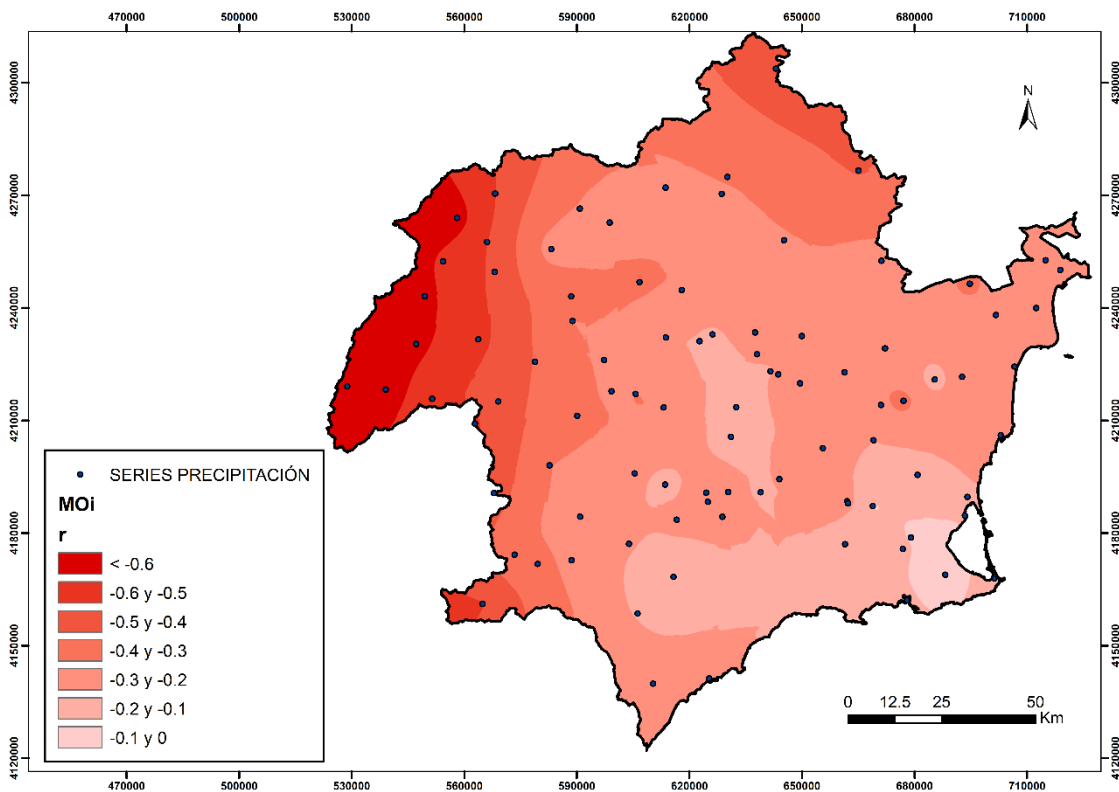


Figura 235. Correlación entre las series del SPI-12 y los valores del índice MO promediado con una media móvil de 12 meses. Fuente: Elaboración propia

Por último, y con el objetivo de contextualizar los resultados obtenidos, en la figura 236 se expone un mapa en el que se exhiben los patrones de teleconexión más correlacionados con la génesis de secuencias pluviométricas secas. La unidad espacial seleccionada son las 92 áreas de los polígonos del Thiessen generadas a partir de las series del SPI-12. Las fases positivas del WeMO y MO son sin duda los patrones más relacionados con la ocurrencia de sequías. Se ha puesto especial énfasis en aquellas áreas que poseen una correlación superior a 0,3, puesto que son las que presentan una mayor influencia con las secuencias pluviométricas secas.

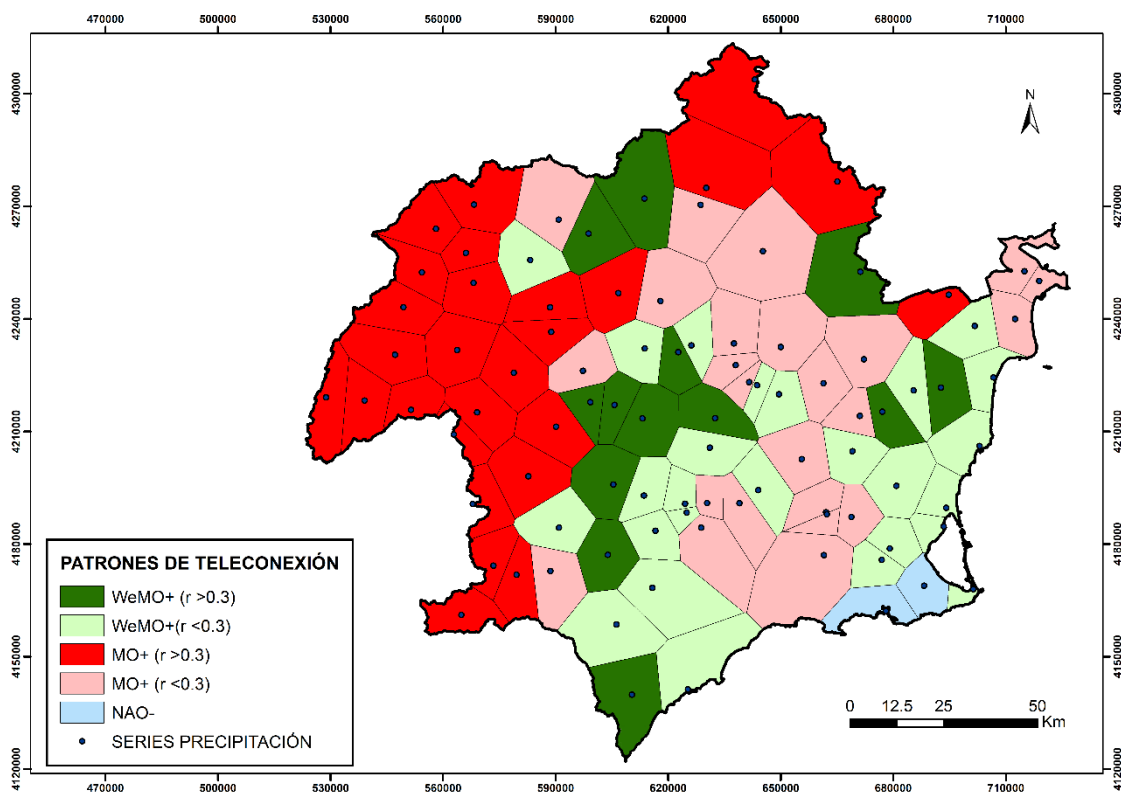


Figura 236. Fases de los patrones de teleconexión más correlaciones con la génesis de secuencias pluviométricas secas. Fuente: Elaboración propia

En función de los resultados obtenidos, las áreas de los polígonos de Thiessen se han agrupado en un total de cinco categorías, las cuales se describen a continuación:

**1) WeMO+ ( $r > 0,3$ ) – 13 estaciones:** Pinoso, Orihuela, Almoradí, Tobarra, Embalse del Talave, Lorca Avilés, Lorca Embalse de Puentes, Pulpí, Mula Embalse de la Cierva, Caravaca, Bullas, Cehegín, Calasparra Embalse de Alfonso XIII.

Se trata de áreas localizadas fundamentalmente en los sistemas montañosos interiores (Burete, Lavia, Espuña, Cambrón, Pedro Ponce, Gavilán), observatorios situados a barlovento de los vientos de levante. Estos sistemas montañosos actúan como islas de humedad en situaciones de entrada de vientos de levante de gran recorrido marítimo, que se producen durante la fase negativa (WeMO-). Durante la fase WeMO+, la circulación de vientos de levante se ve notablemente reducida, y si esta perdura en el tiempo puede dar comienzo un periodo de sequía.

**2) WeMO+ ( $r < 0,3$ ) – 26 estaciones:** Elche de la Sierra, Lorca Embalse de Valdeinfierno, Puerto Lumbreras, Águilas, Calasparra, Cieza Los Almadenes, Lorca La Juncosa, Lorca Zarzadilla de Totana, Lorca, Totana La Carrasca, Totana Alquerías, Pliego, Librilla,



Archena, Ulea, Murcia Beniaján, Murcia Sucina, Torre Pacheco, Cartagena Pozo Estrecho, Cartagena Salinas de Cabo, San Javier, San Pedro del Pinatar, Callosa de Segura, Torrevieja, La Marina de Elche y Elche.

En esta categoría se encuadran estaciones localizadas principalmente en la franja costera y valles prelitorales. Se trata de zonas también muy expuestas a los episodios pluviométricos de origen mediterráneo. Los episodios de lluvias torrenciales originados por DANAs suelen ocurrir durante la fase negativa (WeMO-). Estos episodios suponen gran parte del acumulado anual en estas áreas. Durante la fase positiva (WeMO+), estos episodios son muy poco frecuentes. Periodos temporales prolongados de esta fase pueden dar lugar al comienzo de una secuencia pluviométrica seca.

**3) MO+ ( $r > 0,3$ ) – 27 estaciones:** Molinicos, Cañadas de Nerpio, Bogarra, Salto de Miller, Arguellite, Cañada del Provencio, Yeste Hoya Parrilla, Santiago de la Espada, Pontones, Presa del Taibilla, Embalse de la Fuensanta, Bonete, Yecla, Ontur, Aspe, Socovos, Moratalla Embalse el Cenajo, Moratalla Benizar, Moratalla Campo de San Juan, Moratalla Cañada de La Cruz, Moratalla Inazares, Caravaca Barranda, Caravaca Los Royos, Vélez Blanco Topares, Vélez Blanco, María y Chirivel.

La mayor parte de las estaciones del tercio occidental del área de estudio se incluyen en esta categoría, así como aquellas situadas en el extremo septentrional. Todo este espacio territorial está expuesto a los flujos húmedos atlánticos. La zona de la cabecera de la DHS presenta una correlación negativa muy elevada con el MO. Durante la fase positiva (MO+), predominan las altas presiones sobre la península ibérica por lo que en este espacio territorial se produce un déficit pluviométrico muy destacado debido a la menor recurrencia de frentes atlánticos. Durante periodos prolongados de MO+ suelen desencadenarse periodos de sequía muy intensos, especialmente en la zona de la cabecera de la DHS que es la zona más expuesta al flujo atlántico.

**4) MO+ ( $r < 0,3$ ) – 24 estaciones:** Liétor, Moratalla, Lorca Tirieza Alta, Embalse de Camarillas, Albatana, Jumilla, Cieza, Abarán, Blanca, Ricote, Fortuna, Abanilla, Santomera, Murcia/Alcantarilla, Murcia San Magín, Murcia Sucina, Murcia Los Martínez del Puerto, Alhama El Praico, Alhama Huerta Espuña, Totana Morti, Fuente Álamo, Alicante, Alicante El Altet y San Vicente del Raspeig.

Son estaciones que se encuentran localizadas mayoritariamente en la mitad oriental del área de estudio. A diferencia de lo que ocurre en la categoría anterior, estas estaciones

apenas se encuentran expuestas al flujo húmedo atlántico. En este caso, la fase positiva (MO+) implica una reducción notable de las vaguadas (que dan lugar a la formación de tormentas) y de las DANAs que suponen una gran parte del acumulado anual pluviométrico en este espacio territorial. Situaciones prolongadas en el tiempo de esta fase pueden originar el inicio de una secuencia seca.

#### **5) NAO- ( $r < 0,3$ ) – 2 estaciones: Cartagena Puerto y Cartagena El Algar**

El Campo de Cartagena se configura como un caso particular, ya que es el espacio territorial que presenta la mejor correlación con la NAO (en este caso correlación positiva). Debido a su ubicación geográfica, durante la fase negativa de la NAO, en las series del SPI-12 se suelen registrar los valores más bajos de intensidad de sequía. Este hecho sucede durante el final de las sequías ibéricas, cuando tiene lugar la entrada de frentes atlánticos muy activos que llegan muy desgastados a este enclave territorial, provocando que las secuencias secas ibéricas se prolonguen en forma de sequía surestina. Estos episodios generan enormes pérdidas económicas.

En definitiva, el análisis de la influencia de los patrones de teleconexión sobre las secuencias pluviométricas secas constituye una herramienta bastante eficaz para identificar aquellas configuraciones atmosféricas más proclives a desencadenar periodos de sequías. Por su parte, en los últimos años, se ha avanzado en el estudio de la predicción estacional de estos índices de teleconexión (Wang et al., 2017; Arbiol Roca, 2020; Criado Aldeanueva y Soto Navarro, 2020), que puede ser de gran utilidad para el desarrollo de nuevas metodologías de predicción estacional de sequías (Clemente Salvador et al., 2018), y que permitirían minimizar los impactos de las mismas mediante estrategias de prevención y adaptación (Turco et al., 2017).

### **5.6. Índice Estandarizado de Vulnerabilidad de Sequía- SDVI**

El parámetro de vulnerabilidad de sequía determina el grado de sensibilidad de un determinado espacio geográfico a la escasez de precipitaciones. De este modo, la vulnerabilidad se halla estrechamente relacionada con la estructura social y el desarrollo económico, y está fuertemente sometida a las variaciones y cambios que experimenten el tejido social y la estructura económica (Marcos Valiente, 2001). Existen numerosos índices para la evaluación de la vulnerabilidad de sequía. En el presente trabajo, para la

evaluación de este parámetro, ha sido seleccionado el Índice Estandarizado de Vulnerabilidad de Sequía (en inglés Standardized Drought Vulnerability Index- SDVI en adelante). El SDVI fue implementado en el año 2014 (Karavitis et al., 2014), y su utilización tiene amplio reconocimiento internacional (Tuncok, 2016; Abdi et al., 2018; Azadi et al., 2018; Tsesmelis et al., 2019).

En este trabajo se ha seguido la metodología aplicada en Tsesmelis et al. (2019) para el cálculo del SDVI. Este índice es un indicador compuesto por varias componentes que tiene como objetivo integrar las diversas manifestaciones de las sequías (escalas meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica). El SDVI consta de un total de cinco componentes: SPI12, suministro, demanda, infraestructura e impactos. El valor del SPI12 se obtiene a nivel de las series meteorológicas, mientras que el resto de las componentes se calculan en escalas más amplias, dependiendo de los datos disponibles. La escala espacial seleccionada han sido las 36 subzonas hidráulicas del área de estudio (descritas en el apartado 3.1.3). En la figura 237, se exhibe la fórmula utilizada para la obtención del SDVI:

$$SDVI = \sum_{i=1}^N \frac{\text{Valores escalados de los componentes}}{\text{Número de componentes } (N = 5)}$$

Figura 237. Fórmula para la obtención del SDVI. Fuente: Adaptación a partir de Tsesmelis et al., 2019.

Los cinco componentes seleccionados se clasifican en cuatro categorías de vulnerabilidad (escala de 0 a 3: 0-menos vulnerable, 1-Vulnerable, 2-Vulnerabilidad Alta y 3-Vulnerabilidad Extrema) de acuerdo con los criterios que se describen en la tabla 66. El valor de vulnerabilidad final se obtiene mediante el registro promedio del sumatorio de los valores de los cinco componentes. En función del valor promedio se obtienen un total de seis categorías, organizadas de menor a mayor vulnerabilidad (tabla 67).

Nivel de vulnerabilidad	Valor	SPI	Suministro	Demanda	Infraestructura	Impactos
Menos vulnerable	0	≥ 1,50	Sin Déficit	Sin Déficit	Completa	Sin pérdidas
Vulnerable	1	0 a 1,49	15% Déficit	15% Déficit	15% Deficiente	15% Pérdidas
Vulnerabilidad alta	2	0 a -1,49	16-50% Déficit	16-50% Déficit	16-50% Deficiente	16-50% pérdidas
Vulnerabilidad extrema	3	≤ 1,50	>50% Déficit	>50% Déficit	>50% Deficiente	>50% pérdidas

Tabla 66. Criterios para la asignación de los valores de los cinco componentes del SDVI. Fuente: Adaptación a partir de Tsesmelis et al., 2019.

SDVI	Categoría
0 y 0,49	Sin Vulnerabilidad
0,50 y 0,99	Vulnerabilidad Baja
1 y 1,49	Vulnerabilidad Media
1,5 y 1,99	Vulnerabilidad Alta
2 y 2,49	Vulnerabilidad Muy Alta
2,5 y 3	Vulnerabilidad Extrema

Tabla 67. Categorías de vulnerabilidad obtenidas a partir del SDVI. Fuente: Adaptación a partir de Tsesmelis et al., 2019

El periodo temporal seleccionado para evaluar la vulnerabilidad de sequía es 1993-2017. Los valores asignados por componentes y el valor final de vulnerabilidad en cada una de las 36 zonas hidráulicas del área de estudio, se exhiben en la tabla 68. Se ha elegido este periodo debido a que en este lapso temporal de 25 años se ha producido un incremento poblacional muy notable, así como cambios drásticos en los usos del suelo (aumento considerable en los usos urbano y agrícola), que han originado variaciones al alza en los parámetros de vulnerabilidad de sequía. Además durante este periodo se han manifestado cuatro secuencias pluviométricas secas de gran severidad (1993-1996, 1998-2001, 2005-2006 y 2013-2016), lo que permite examinar los impactos producidos y evaluar si las infraestructuras hidráulicas fueron lo suficientemente sólidas para garantizar el abastecimiento de agua. Asimismo, se analiza la influencia de la evolución de la demanda de agua en la vulnerabilidad de sequía.

Con respecto al componente del SPI12, en todas las subzonas hidráulicas se ha seleccionado una serie SPI12 de referencia, excepto en las subzonas de Mazarrón y RLMI que no disponen de ninguna serie en su ámbito territorial y, por tanto, se seleccionan series contiguas. La mayor parte de la subzonas presentan un valor de vulnerabilidad alta en esta componente, ya que el valor promedio del SPI12 durante el periodo 1993-2017 es inferior a 0, en la mayoría de las series.

Subzona	SPI	Suministro	Demanda	Infraestructura	Impactos	SDVI
IA-Madera	2	1	0	1	0	0,8
IB-Alto Segura	2	1	0	1	0	0,8
IC-Fuensanta	1	1	0	0	1	0,6
ID-Taibilla	2	1	0	0	1	0,8
IE-Cenajo	2	1	0	0	1	0,8
IIA-Riopar	2	1	0	0	0	0,6
IIB-Talave	2	1	0	0	0	0,6
IIC-Tobarra	1	1	1	1	1	1
IID-Hellín	1	1	1	1	1	1
III-Corral Rubio	2	1	1	1	1	1,2
IVA-Moratalla	2	1	1	0	1	1
IVB-Argos	1	1	1	0	1	0,8
IVC-Quípar	1	1	1	0	1	0,8
VA- La Cierva	1	1	2	0	1	1

VB- Huerta de Mula	2	1	2	0	1	1,2
VIA- Calasparra	2	1	1	0	1	1
VIB- Cieza	2	1	1	0	1	1
VIC- Molina	2	1	2	0	1	1,2
VIIA- Judío	2	1	1	1	1	1,2
VIIB- Moro	2	1	1	1	1	1,2
VIIC- Santomera	2	1	1	1	1	1,2
VIID- Chícamo	2	1	1	1	1	1,2
VIII- Yecla	2	2	1	1	1	1,4
IXA- Valdeinfierno	2	1	1	0	0	0,8
IXB- Los Vélez	2	2	1	1	1	1,4
IXC-Valle de Lorca	2	1	2	1	2	1,6
X- Levante Almeriense	2	1	2	1	2	1,6
XIA- Mazarrón	2	1	2	1	1	1,4
XIB- Águilas	2	1	2	1	1	1,4
XII- Vega Media	2	1	2	1	2	1,6
XIIIA- Campo de Cartagena	2	1	2	1	2	1,6
XIIIB-Cartagena	2	1	2	1	2	1,6
XIVA- Vega Baja	2	1	2	1	2	1,6
XIVB-Torre Vieja	2	1	2	1	2	1,6
XIVC-RLMI	2	1	2	1	2	1,6
XV- Alacantí Vinalopó	2	1	2	1	2	1,6

Tabla 68. Valores asignados por componentes y valor final de vulnerabilidad en cada una de las 36 zonas hidráulicas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia

En referencia al resto de componentes, los valores del nivel de vulnerabilidad han sido asignados realizando una evaluación de los condicionantes que rigen cada subzona hidráulica. A continuación se describen los valores asignados a cada componente:

**1) Suministro:** Todas las subzonas han sido categorizadas con el nivel de vulnerable porque en los últimos 25 años han tenido pequeños problemas de abastecimiento durante las secuencias secas, excepto Yecla y Los Vélez que han sido calificados con vulnerabilidad alta debido a que son zonas que se abastecen con recursos propios (no son abastecidas por la MCT), y en los últimos años han tenido notables problemas de sobreexplotación de sus acuíferos que han puesto en jaque el abastecimiento urbano de agua. En los próximos años está prevista la incorporación de Yecla a la MCT. La agregación de Los Vélez también debería ser estudiada en un futuro, ya que supondría un gran avance en esta comarca para solucionar los problemas de abastecimiento durante lsequías.

**2) Demanda:** Se ha asignado un valor de vulnerabilidad alta en aquellas subzonas de la franja costera y valles prelitorales, donde la presión sobre los recursos hídricos ejercida por las actividades humanas es muy elevada. En valles del interior donde se ha producido un notable aumento de la superficie de regadío en los últimos 15 años se ha asignado el nivel de vulnerable. Por su parte, en las subzonas situadas en la cabecera de la DHS,

donde las demandas de agua son muy exiguas se ha asignado el nivel de 0 (menos vulnerable).

**3) Infraestructura:** En casi todas las subzonas se ha asignado un nivel de vulnerable, sobre todo en las localizadas en la franja costera y valles prelitorales, ya que son las que han sufrido un mayor crecimiento poblacional y de las actividades económicas. Durante los 25 años analizados, la MCT ha tenido que ir ejecutando nuevas infraestructuras, sobre todo a raíz de las secuencias secas acaecidas para asegurar el abastecimiento de agua. Entre estas infraestructuras destaca la construcción de las desaladoras y la consecuente ejecución de conexiones con las propias estructuras de distribución de los recursos hídricos de la MCT. También se incluyen las obras de emergencia llevadas a cabo mediante el Decreto de Sequía de 2015.

**4) Impactos:** Los impactos originados por las sequías han sido más cuantiosos en las subzonas situadas en la franja costera y valles prelitorales, que son aquellas que sufren una presión humana más elevada. Las mismas cuentan con actividades muy expuestas ante las secuencias pluviométricas secas, y por tanto se le ha asignado una vulnerabilidad alta en esta componente. En la mayor parte del resto de subzonas hidráulicas ha sido establecido el nivel de vulnerable. Tan solo en algunas subzonas del interior, donde la presión humana es menor se ha fijado el nivel 0.

Por último, en la figura 238 se expone la distribución espacial de las categorías de SDVI resultantes del promedio de todas las componentes. De las seis categorías posibles, se han obtenido un total de tres: Vulnerabilidad Baja, Vulnerabilidad Media y Vulnerabilidad Alta. Las subzonas con vulnerabilidad baja se localizan en la cabecera de la DHS, y en áreas pertenecientes a parte de las subcuencas de la margen derecha del río Segura. Por su parte, las subzonas con vulnerabilidad media se encuadran fundamentalmente en áreas pertenecientes a las subcuencas de la margen izquierda del río Segura. Estas subcuencas sufren una sobreexplotación de acuíferos muy superior a la registrada en la subcuencas de la margen derecha. Finalmente, las subzonas situadas en la franja costera y valles prelitorales poseen una vulnerabilidad alta. Estas zonas son las que presentan una mayor demanda de agua.

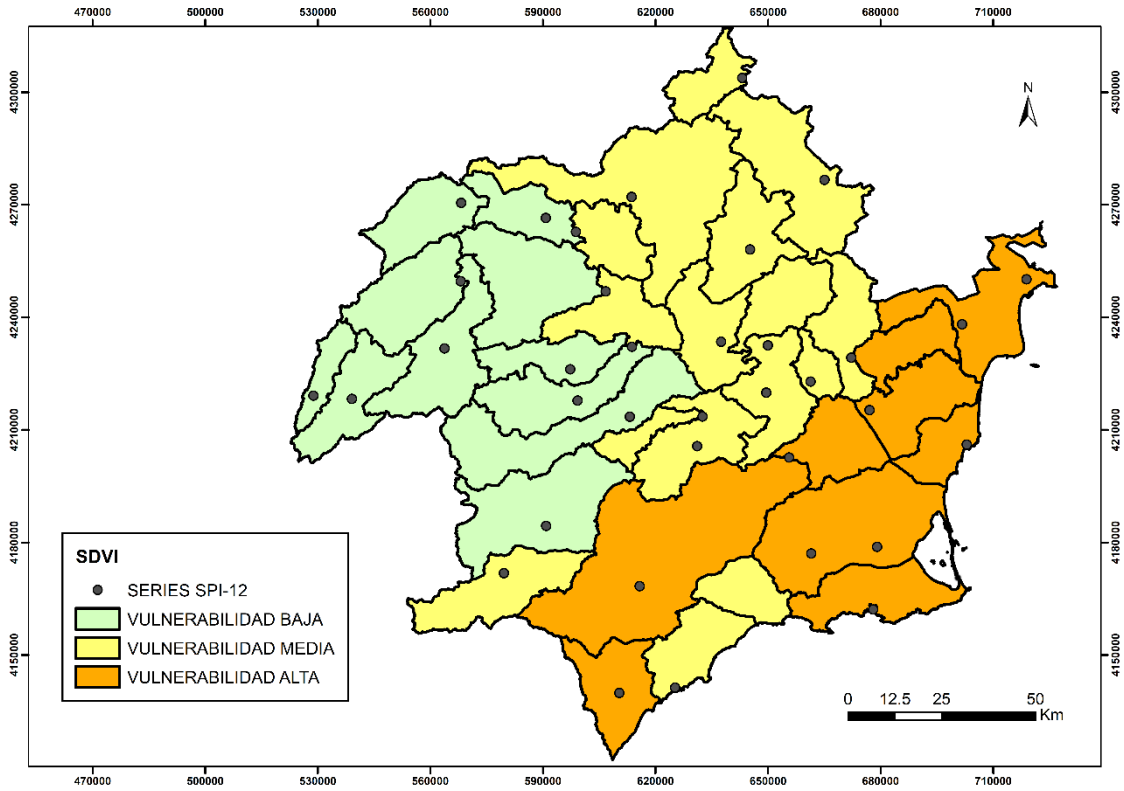


Figura 238. Mapa de vulnerabilidad de sequía por subzonas hidráulicas obtenido a partir de la aplicación del SDVI. Fuente: Elaboración propia.





# **CAPÍTULO VI**

# **CONCLUSIONES**

Las sequías son el riesgo de origen climático que mayor número de afectados y repercusiones económicas, sociales y territoriales en general generan en los espacios geográficos donde se desarrollan. Su análisis es bastante complejo debido a la diversidad de agentes que se localizan en su origen. Se trata de un hecho natural que se manifiesta, con regularidad y efectos diversos, en todas las regiones de la península ibérica. En este trabajo se realiza una caracterización exhaustiva de las sequías en el ámbito territorial de la DHS y MCT, ubicadas en el sureste de la península ibérica, que se constituye como el área más árida del continente europeo. La DHS es la única demarcación del continente europeo con una precipitación media inferior a 450 mm, lo cual genera un importante déficit pluviométrico estructural y un consecuente notable déficit hídrico que se ve acentuado por la implementación de usos del suelo cuya demanda de agua excede a la oferta de recursos endógenos.

A continuación, y a modo de reflexión final, se valoran los resultados obtenidos en cada uno de los objetivos planteados en esta tesis. Asimismo, se detallan diferentes propuestas de actuación y posibles líneas de trabajo futuras:

**1) Realizar una evaluación y análisis de las políticas y prácticas actuales de gestión hídrica, y ver las posibles deficiencias que estas presentan en la actualidad con respecto a la disponibilidad de recursos hídricos. Se pone especial énfasis en el análisis de la evolución del volumen total de recursos hídricos utilizados por la MCT y en la evolución de los recursos trasvasados a través del TTS.**

Esta investigación centra su análisis en los ámbitos territoriales de la DHS y MCT, que son los organismos responsables de la gestión y la planificación de los recursos hídricos, y del abastecimiento de agua potable, respectivamente, de gran parte del cuadrante sureste de España. La MCT abastece actualmente a un total de 80 municipios repartidos entre las provincias de Murcia, Alicante y Albacete. Estos términos municipales ocupan una superficie de 11.776,4 km<sup>2</sup>, de los cuales la amplia mayoría pertenecen al ámbito territorial de la DHS. Tan solo 672,6 km<sup>2</sup> de la MCT, pertenecientes a los municipios alicantinos de Hondón de las Nieves, Hondón de los Frailes, Aspe, Elche, Santa Pola, Alicante y San Vicente del Raspeig, forman parte del ámbito territorial de la DHS.

La evaluación conjunta de los espacios territoriales de ambos organismos resulta muy conveniente para efectuar una valoración de las políticas y prácticas actuales de gestión hídrica, y ver las posibles deficiencias que estas presentan en la actualidad con respecto

a la disponibilidad de recursos hídricos. Asimismo, englobar dicha área de estudio resulta de gran utilidad para analizar los cambios y tendencias observados en las precipitaciones y en las secuencias pluviométricas secas, ya que normalmente los trabajos de investigación analizan únicamente el territorio de la DHS, dejando a un lado los municipios de la MCT pertenecientes a la DHJ. Este territorio se encuentra densamente poblado, englobando una población de casi 675.000 habitantes (1.000 hab/km<sup>2</sup>) a 1 de enero de 2018, y por tanto, es primordial llevar un análisis conjunto con el territorio de la DHS. En este sentido, se considera que esta evaluación conjunta puede ayudar a mejorar la gestión y planificación de los recursos hídricos en el marco espacial analizado.

La MCT, desde su creación en el año 1927, fue ampliando paulatinamente el número de municipios abastecidos hasta llegar a los 80 actuales. La fuente primitiva de abastecimiento de este organismo es el embalse del río Taibilla (provincia de Albacete). A lo largo de su historia, la MCT ha tenido dos grandes periodos deficitarios de recursos hídricos, los cuales desencadenaron la puesta en marcha de otras grandes infraestructuras para el abastecimiento de agua en el SE de España. El primero de ellos tuvo lugar en el año 1966, tras la intensa sequía de 1963-1967. La solución adoptada por el gobierno de España para remediar los numerosos problemas de abastecimiento de agua fue una de las decisiones políticas de mayor alcance y repercusión para este territorio en el S.XX: el TTS. El “Anteproyecto General del Aprovechamiento Conjunto de los Recursos Hidráulicos del Centro y Sureste de España, Complejo Tajo-Segura”, redactado en el año 1967, dio lugar al comienzo de las obras del TTS, el cual entró en funcionamiento finalmente el 31 de marzo de 1979.

Posteriormente, a finales del S.XX y primeros años del S.XXI, tuvo lugar su segundo gran periodo deficitario, como consecuencia de la insuficiencia de los caudales del río Taibilla, y a que el TTS se situó por primera vez por debajo de la dotación máxima legal de aguas excedentarias (años hidrológicos 1994-1995 y 1995-1996). En este lapso temporal se registraron dos secuencias pluviométricas secas muy intensas (1993-1996 y 1998-2001). En esta ocasión, la solución dada por el gobierno fue el impulso de la desalinización mediante la construcción de una serie de desaladoras a lo largo de todo el litoral mediterráneo español. Este proyecto fue respaldado por el gobierno español mediante la puesta en marcha del programa AGUA. A partir del año 2003 la MCT empezó a abastecerse del agua desalinizada. Desde este año hasta la actualidad el aporte de la

desalación en la MCT ha ido creciendo paulatinamente, sustituyendo progresivamente a las aguas procedentes del TTS como fuente de abastecimiento principal.

En numerosos estudios (Olcina Cantos y Moltó Mantero, 2010; March et al., 2015; Morote Seguido y Rico Amorós, 2018; Ricart Casadevall et al., 2020) se analiza el papel fundamental que van a ejercer los recursos de agua no convencionales en el abastecimiento de agua potable en áreas de elevado estrés hídrico. Estos autores ponen de manifiesto que gracias a la impulsión de la desalinización se ha puesto fin a los problemas de abastecimiento urbano de agua sobre todo en la franja costera, que es la que presenta una mayor densidad de población. En Morote Seguido y Rico Amorós (2018) se expone la impulsión de la desalinización como recurso sustituto del TTS en la MCT, sobre todo teniendo en cuenta los escenarios regionalizados de cambio climático, que estiman un descenso acusado de las precipitaciones y de la escorrentía superficial en las cabeceras del Segura y Tajo hasta finales del S.XXI.

Con respecto a la cabecera del Segura, en Jódar Abellán et al. (2018) se analizan las repercusiones en la respuesta hidrológica del embalse del Taibilla ante los escenarios de cambio climático regionalizados. Estos autores exponen que la cuenca del Taibilla experimentará en las series simuladas (2021-2030 y 2041-2050) una reducción de la precipitación media de aproximadamente un 4% en el escenario RCP4.5, y de un 13% en el RCP8.5. Por su parte, en Senent et al. (2017) se analizan las implicaciones del cambio climático sobre los recursos hídricos en la cabecera del Segura. Estos autores manifiestan que se esperan cambios considerables como resultado de las variaciones en la temperatura y precipitación. En un mediano plazo (2041-2070), los caudales presentan una elevada variabilidad, presentando para el escenario RCP 8.5 un descenso entre un 9 y un 25% con respecto al periodo de referencia 1971-2020. Para el escenario RCP 4.5 la dispersión es mayor, presentando incluso algunos modelos ligeros incrementos. Las mayores alteraciones se esperan a largo plazo (periodo 2071-2100), cuando el caudal medio y las escorrentías descenderían entre un 33 y 54% en el modelo RCP 8.5, y entre un 11 y 28% para el modelo RCP 4.5.

En lo referido a la cabecera del Tajo, en Pellicer Martínez y Martínez Paz (2018) se lleva a cabo un exhaustivo análisis de las implicaciones del cambio climático en los recursos hídricos. Estos autores estiman un importante descenso de las precipitaciones y aumento de la temperatura en la cabecera del Tajo. Dichos cambios derivarían en una drástica reducción de los recursos hídricos en los embalses de Entrepeñas y Buendía. Esta

reducción se estima entre un 70 y 79% respectivamente para los escenarios de emisión RCP4.5 y RCP 8.5 para el periodo 2020-2090, frente a un escenario de no cambio climático, obtenido mediante la utilización de datos de precipitación y temperatura observados en la cabecera del Tajo en el periodo temporal 1940-2010. Por tanto, de cumplirse estos escenarios, el TTS permanecería cerrado durante largos periodos de tiempo, al no superarse el umbral de aguas excedentarias de 400 hm<sup>3</sup> (nivel 4).

De hecho, desde la puesta en funcionamiento del TTS se viene observando una tendencia negativa en la evolución de las reservas hídricas conjuntas Entrepeñas-Buendía. Esta tendencia se ha estimado en este trabajo en -39,5 hm<sup>3</sup>/década (obtenido con el test de Mann Kendal con un intervalo de confianza del 95%), aunque esta no es estadísticamente significativa. La cabecera del Tajo ha atravesado cuatro periodos deficitarios desde la puesta en funcionamiento del TTS: 1983-1984, 1992-1996, 2005-2009 y 2014-2018. Los cambios en las reglas de explotación del TTS introducidos en el año 2014 (subida del umbral de aguas excedentarias de 240 hm<sup>3</sup> a 400 hm<sup>3</sup>), junto al notable descenso de los recursos hídricos estimado por los escenarios regionalizados de cambio climático, hacen que sea muy difícil la viabilidad futura (a medio plazo) de esta infraestructura. Además, el MITECO ha propuesto recientemente rebajar el volumen máximo trasvasable del nivel 2 del TTS: de 38 hm<sup>3</sup> a 27 hm<sup>3</sup>.

Ante estos escenarios, en el territorio analizado la desalinización cada vez más se está convirtiendo en una fuente ordinaria y sustitutiva de las transferencias del TTS (Morote Seguido y Rico Amorós, 2018). De cara a los próximos años, desde las administraciones públicas se tiene que apostar por la impulsión definitiva de este recurso de agua no convencional. Las políticas deben orientarse hacia la reducción de los elevados costes energéticos de este recurso (Estevan y García, 2007), así como la minimización de los costes ambientales centrados sobre todo en los vertidos de salmueras y sus efectos en la posidonia oceánica (Fernández Torquemada y Sánchez Lizaso, 2005). Asimismo, es muy importante resaltar que el impulso de la desalinización debería centrarse en buscar alternativas orientadas a la gestión de la demanda en vez de buscar un aumento de la oferta (March et al., 2015), tal y como se ha llevado a cabo con recursos de agua convencionales, como las aguas procedentes del TTS. En definitiva, la desalinización debe convertirse en un recurso estratégico en el área de estudio, sobre todo durante las situaciones de sequía.

Por último, ante las nuevas condiciones climáticas, socioeconómicas y territoriales, se deben articular medidas de planificación y gestión de recursos hídricos. En este sentido, en este trabajo se plantea como propuesta de actuación la ampliación de la obligatoriedad de elaboración de los Planes de Emergencia por sequía en sistemas de abastecimiento urbano, al menos a aquellos municipios que superaran los 10.000 habitantes, para de esta forma poder afrontar con mayor seguridad los eventuales periodos de indigencia pluviométrica y minimizar sus impactos.

En la actualidad, en la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, dentro de su artículo 27 dedicado a la Gestión de Sequías, se establece lo siguiente en su apartado 3 (AEAS, 2019): “Las administraciones públicas responsables de sistemas de abastecimiento urbano que atiendan, singular o mancomunadamente, a una población igual o superior a 20.000 habitantes deberán disponer de un Plan de Emergencia, ante situaciones de sequía. Dichos planes, que serán informados por el Organismo de cuenca o Administración hidráulica deberán tener en cuenta las reglas y medidas previstas en los Planes Especiales de Sequía, y deberán encontrarse operativos en el plazo máximo de cuatro años”.

En el área de estudio, a fecha de 1 de enero de 2018, había un total de 28 municipios por encima de 20.000 habitantes. La propuesta efectuada englobaría a 18 municipios más, que cuentan con una población entre 10.000 y 20.000 habitantes. Estos planes deben incluir los siguientes apartados: escenarios de sequía considerados (definición de indicadores y umbrales de entrada y salida); actuaciones previstas para cada escenario (valoración de costes y afecciones); atribución de responsabilidades; identificación de zonas, actividades económicas y colectivos vulnerables para cada escenario; análisis económico del plan; revisión periódica del plan; coordinación con los planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía (PES) elaborados por las demarcaciones hidrográficas (AEAS, 2019; Villar Navascués y Rico Amorós, 2019). En definitiva, ante los escenarios de cambio climático estos planes serán de vital importancia para reducir al máximo el impacto de las sequías en las demandas de agua urbanas (Morote Seguido y Hernández, 2019).

**2) Valoración de los cambios acaecidos en los usos del suelo entre 1990 y 2018, mediante el uso de la base de datos del Corine Land Cover, con la finalidad de estudiar su impacto en el parámetro de vulnerabilidad de sequía.**

Con respecto a las transformaciones en los usos del suelo acaecidas desde el año 1990, cabe destacar que las categorías urbano y regadío son las que experimentan un mayor crecimiento. El uso urbano pasa de ocupar una superficie de 333,5 km<sup>2</sup> (1990) a 760,9 km<sup>2</sup> (2018). Por su parte, la superficie de regadío pasa de englobar una superficie de 1.198 km<sup>2</sup> (1990) a 1.606,3 km<sup>2</sup> (2018). Asimismo, resalta el notable aumento experimentado por la categoría de cultivos permanentes (arrozales, viñedos, frutales y olivares) que pasa de 2.677,4 km<sup>2</sup> (1990) a 3.598,4 km<sup>2</sup> (2018), concentrándose la mayor parte de este incremento en los frutales. Tal y como se revela en el análisis efectuado con la matriz de cambios de usos del suelo, la superficie adquirida por las categorías de usos urbano y regadío procede mayoritariamente de la categoría de uso agrícola. Dentro de la categoría agrícola los usos que pierden una mayor superficie son secano y agrícola heterogéneo.

La mayor parte del incremento de las superficies de los usos urbano y regadío se concentra en la franja costera y valles prelitorales, que han experimentado en las tres últimas décadas un crecimiento poblacional muy notable, y por ende, un fuerte desarrollo de las actividades económicas. Estos cambios llevan consigo un considerable aumento del parámetro de vulnerabilidad de sequía, sobre todo en los valles prelitorales y franja costera. El incremento de la superficie de regadío ha sido propiciado fundamentalmente por la llegada de las aguas del TTS, y su expansión se ha llevado a cabo en las ZRT. Este hecho conlleva un relevante aumento del déficit hídrico medio de la DHS, el cual se concentra mayoritariamente en la demandas agrarias. Asimismo, la expansión de los cultivos de regadío lleva asociados otros impactos ambientales, como la sobreexplotación y contaminación de los acuíferos, o el sellado de los suelos. En este sentido, resulta bastante complicado que pueda cumplirse el cese de la sobreexplotación de los acuíferos antes del año 2027, según lo establecido en la DMA, sobre todo en zonas como la UTE III - Sistema Ríos Margen Izquierda, que cuenta en la actualidad con un déficit por sobreexplotación de acuíferos de cerca de 100 hm<sup>3</sup>/año.

En definitiva, los estudios de los cambios de los usos del suelo, gracias a la múltiple información que ofrecen, pueden ser de gran ayuda en la toma de decisiones y propuestas de mejora en la planificación urbanística y ordenación del territorio. Desde las administraciones públicas se tiene que apostar por desarrollar una agricultura mucho más sostenible ante las nuevas condiciones climáticas y ambientales. Asimismo, se deben suprimir las miles de hectáreas de regadíos ilegales existentes en el área de estudio.

### **3) Creación de una base de datos de series de precipitación y temperatura a escala diaria, a partir de la reconstrucción y homogeneización de las series termopluviométricas procedentes de diferentes organismos.**

La reconstrucción y homogeneización de las series de precipitación diaria se ha efectuado mediante la utilización del paquete del R “reddPrec” (Serrano Notivoli et al., 2017). Para calcular los valores de referencia de las series se emplea la técnica de regresión logística multivariante (RLM) a partir de los registros de los diez observatorios más cercanos. Además, se utilizan como variables dependientes la altitud, latitud y longitud (Serrano Notivoli, 2017). La validación realizada muestra un buen ajuste entre las observaciones y las estimaciones de precipitación diaria, con valores de correlación muy elevados, tanto en medias diarias como por estaciones individuales. Con respecto al control de calidad de los datos, cabe destacar que se ha detectado y eliminado una ínfima fracción de los datos diarios originales. La detección de valores sospechosos presenta una mayor incidencia durante los primeros años de las series debido a la menor densidad de observatorios. De este modo, la mayor parte de los huecos existentes en las series conseguidas se corresponden con las propias lagunas presentes en las series originales.

Por otra parte, cabe resaltar que la principal limitación del paquete “reddPrec” reside en su baja aplicabilidad en zonas donde haya una baja densidad de observatorios, o que los mismos estén lejanos unos de otros. Asimismo, las dificultades para la construcción de una serie de referencia se incrementan exponencialmente con el aumento de la variabilidad espacial de las precipitaciones. En regiones como el sureste de España, que cuentan con una elevada variabilidad, aumentan de forma considerable los errores obtenidos en la construcción de la serie de referencia. Aunque el error obtenido con “reddPrec” en la construcción de las series de referencia ha sido mínimo, en futuros estudios se examinará la viabilidad de utilizar otras técnicas como “Random Forest” para intentar reducir al máximo el error obtenido. Esta es una técnica de aprendizaje automático basado en árboles de decisión.

Con respecto a la reconstrucción de las series de temperatura a escala diaria, ha sido utilizado el paquete de R “CLIMATOL” (Guijarro Pastor, 2016), que cuenta con un amplio reconocimiento internacional. La reconstrucción de las temperaturas máximas y mínimas ha resultado bastante más sencilla que la reconstrucción de la precipitación a escala diaria.



#### **4) Examinar las tendencias y variaciones de las precipitaciones en las series de precipitación más longevas.**

Se ha examinado el comportamiento de dos de las series más longevas de España (Murcia/Alcantarilla y Alicante), cuyos registros se remontan al año 1864. Es decir, ambas series cuentan con un total de 156 años de registros (periodo 1864-2019). Además, para el periodo 1940-2019 se lleva a cabo el análisis de cinco series más (Yecla, Embalse del Cenajo, Caravaca, Embalse de Puentes y Pontones). El objetivo es estudiar el comportamiento y la evolución de las precipitaciones en zonas con distintos patrones pluviométricos.

Se ha puesto de manifiesto en el análisis de las series de Murcia/Alcantarilla y Alicante que se ha producido un descenso muy acusado de las precipitaciones en los últimos 150 años, el cual está muy influenciado por el periodo excepcionalmente húmedo de finales del S.XIX. En la serie de Alicante el descenso es de -10 mm/década, y en Murcia/Alcantarilla de -4,9 mm/década. En ambas series, la tendencia negativa presenta significación estadística. El descenso se sigue observando en el período 1940-2019, aunque en el caso de Murcia ya no presenta significación estadística. La serie de Alicante es la que experimentará una mayor reducción de las precipitaciones en el nuevo periodo de referencia (1991-2020), pasando de 311,1 mm (período de referencia 1981-2010) a unos 280 mm. Esto va a aumentar más si cabe el estrés hídrico de esta zona.

Sin embargo, en los observatorios situados en las regiones interiores (Yecla, Embalse del Cenajo, Caravaca y Embalse de Puentes), la tendencia es ligeramente positiva en el periodo 1940-2019. Por ejemplo, en la serie de Caravaca se ha alcanzado su pico máximo en la media móvil de 30 años durante la última década. Estas series tienen la ventaja que por su disposición geográfica no presentan una elevada dependencia de un único tipo de precipitación, como ocurre en la cabecera de la DHS (precipitaciones de origen atlántico), y franja costera y valles prelitorales (precipitaciones de origen mediterráneo). Además, se encuentran muy expuestas a los vientos de levante de gran recorrido marítimo. Por su parte, la serie de Pontones, situada en la cabecera del Segura, experimenta un fuerte descenso de las precipitaciones desde la década de 1980, aunque en los últimos años parece que se ha atenuado.

Por último, cabe destacar que se está produciendo un incremento de la variabilidad interanual de las precipitaciones, así como un aumento de los extremos pluviométricos.

Este hecho es corroborado por el AR5. Un ejemplo se encuentra en la serie de Murcia, ya que en el último lustro se han registrado tanto el periodo interanual más seco de toda la serie (septiembre 2013-agosto 2014, con 86 mm), como el período interanual más húmedo desde 1884 (abril 2019-marzo 2020, con 682,9 mm). Ante esta disyuntiva, las ciudades de la fachada mediterránea española deben adaptarse a estos nuevos condicionantes climáticos, más si cabe con lo observado en los escenarios de cambio climático que evidencian un incremento en la frecuencia de los episodios pluviométricos extremos.

##### **5) Ejecución de una regionalización de precipitaciones (período 1968-2017) a escala mensual a partir del método de PCA.**

Para la obtención de una regionalización de precipitaciones a escala mensual ha sido utilizado el método de PCA. El mismo ha sido aplicado a una matriz de datos compuesta por las 92 series de precipitación mensual disponibles en la base de datos construida. El periodo temporal seleccionado es 1968-2017. Además, con el objetivo de obtener una mejor interpretación de los resultados obtenidos, los CP han sido rotados, utilizando la técnica Varimax, que es ampliamente utilizada en el ámbito científico para realizar estas rotaciones (Richman, 1986). De este modo, se consigue localizar con mayor precisión la variabilidad espacial de los patrones de precipitación.

Los análisis estadísticos efectuados sugieren la selección de las cuatro primeras CP. El posterior mapeo de los valores de las correlaciones entre las series de precipitación mensual y las CP (“factor loadings”) corrobora la selección de las cuatro primeras componentes, ya que cubren la práctica totalidad del área de estudio y no se superponen. De esta forma, el proceso de rotación ortogonal (Varimax) empleado para la identificación de patrones espaciales de precipitación se muestra como una herramienta eficaz para realizar una delimitación bastante precisa de regiones con diferente variabilidad pluviométrica. En los cuatro mapas efectuados se delimitan las regiones donde los valores del coeficiente de correlación entre cada CPR y las series de precipitación son iguales o superiores a 0,6, cubriéndose de este modo la mayor parte del territorio analizado. Con el objetivo de que toda el área de estudio forme parte de una de las regiones homogéneas obtenidas, se han implementado otras técnicas de análisis clúster (Ward’s con distancias Euclidiana y Manhattan y K-Means).

Las regiones obtenidas son las siguientes: RG1- Ríos de la margen derecha del Segura; RG2- Cabeceras de los ríos Segura y Mundo; RG3- Nororiental y Ríos de la margen izquierda del Segura; RG4- Franja costera y valles prelitorales. Las RG1, RG3 y RG4 engloban una superficie muy parecida, en torno al 30% cada una. Sin embargo, la RG2 engloba solo un 9,5% del territorio, ya que es la zona que posee un patrón pluviométrico más diferenciado por la marcada influencia de las precipitaciones de origen atlántico. Este hecho provoca que sea con diferencia la región con mayor precipitación media anual (668,6 mm en el periodo 1981-2010).

Con respecto a las tendencias y cambios observados, se evidencia que el descenso es bastante destacado en la RG2 (-22,4 mm/década) y la RG4 (-10 mm/década), aunque no presenta significancia estadística. De este modo, la reducción es más acusada en aquellas regiones que tienen un gran dependencia de un único tipo de precipitación en el cómputo total (RG2 precipitaciones de origen atlántico y RG4 precipitaciones de origen mediterráneo). El descenso de las precipitaciones en la RG2 tiene importantes implicaciones territoriales, debido a que esta zona es fundamental en la gestión de los recursos hídricos, ya que en ella se encuentran los nacimientos de los ríos Segura, Mundo y Taibilla, de los que dependen los grandes embalses de cabecera (Fuensanta y Cenajo en el caso del río Segura, y Talave y Camarillas en el río Mundo), así como la Presa del Taibilla, infraestructura de la que parte la MCT.

En definitiva, en zonas como el sureste de la península ibérica, que cuentan con una elevada variabilidad interanual de las precipitaciones y una compleja orografía, las técnicas de regionalización pluviométrica pueden ser de gran ayuda para mejorar la problemática asociada a la modelización de la precipitación y la verificación de los modelos climáticos (García Valero et al., 2008). Asimismo, son de gran utilidad para la delimitación de patrones pluviométricos homogéneos, y así poder detectar de una forma más efectiva las condiciones bajo las que se originan episodios hidrológicos extremos, como las sequías (Serra de Larrocha, 1995).

#### **6) Analizar la distribución espacial de las variaciones de precipitación mensual (periodo 1968-2017) a escala anual, estacional y mensual.**

La evaluación de la distribución espacial de las variaciones de la precipitación a escala anual, estacional y mensual, constituye una herramienta bastante eficaz para la identificación de patrones espaciales en los cambios acontecidos en las precipitaciones.

El periodo seleccionado para esta evaluación es 1968-2017. A escala anual se observa un descenso de las precipitaciones en la mayor parte del área de estudio, excepto en zonas de los sistemas montañosos interiores situados a barlovento de los vientos de levante (Burete, Cambrón, Pedro Ponce, Espuña o Gavilán). Los descensos más acusados se producen en la cabecera de la DHS y en la franja costera. No obstante, en casi ningún observatorio este descenso es estadísticamente significativo.

Por su parte, a escala estacional la primavera y el verano presentan una tendencia negativa. Este descenso es muy acusado durante el estío, sobre todo en los sistemas montañosos interiores, como consecuencia de la notable reducción de los fenómenos termoconvectivos. Este hecho también se refleja en el mes de mayo. En el periodo transcurrido entre mayo y julio, numerosos observatorios presentan significancia estadística en este descenso. Estas variaciones llevan consigo un aumento del estrés hídrico durante el periodo cálido. El descenso de las precipitaciones en los meses más cálidos (especialmente en mayo y junio) puede afectar gravemente a los cultivos de secano, ya que se pueden generar escasos rendimientos e incluso numerosas pérdidas en las cosechas al no poder desarrollarse el fruto por la falta de agua.

En cambio, el otoño presenta una tendencia prácticamente neutra en todo el territorio, resaltando que en la mitad septentrional la tendencia es ligeramente positiva, sobre todo debido al comportamiento de los meses de septiembre y noviembre. En septiembre la tendencia positiva es estadísticamente significativa en numerosos observatorios. De hecho, este mes ha sustituido a octubre como el mes más húmedo en gran parte del área de estudio. Por último, durante el invierno la tendencia es positiva en prácticamente todo el territorio analizado, excepto en la cabecera de la DHS (debido a su marcada influencia atlántica). El incremento de las precipitaciones está provocado por un aumento de las precipitaciones de origen mediterráneo durante esta estación debido al observado fortalecimiento del anticiclón centroeuropeo que favorece la entrada de vientos de levante de gran recorrido marítimo, sobre todo durante el mes de diciembre. De esta forma, el sureste peninsular constituye prácticamente la única zona de la península ibérica que experimenta una tendencia positiva durante el invierno y el mes de marzo.

### **7) Inspeccionar los cambios y tendencias en el número de días de lluvia.**

Para realizar el análisis de los cambios y tendencias en el número de días de lluvia (1968-2017), se han seleccionado los siguientes intervalos: día de lluvia (precipitación  $\geq 1$  mm);

días de precipitación  $\geq 10$  mm (DP10, número anual de días en que la precipitación es  $\geq 10$  mm); días de precipitación abundante (DP20, número anual de días en que la precipitación es  $\geq 20$  mm); días de precipitación muy abundante (DP50, número anual de días en que la precipitación es  $\geq 50$  mm).

La cartografía de la tendencia (días/década) del número de días de lluvia (precipitación  $\geq 1$  mm) a escala anual (periodo 1968-2017) pone de manifiesto el comportamiento diferencial entre los sistemas montañosos a barlovento de levante (tendencia positiva de 1-2 días/década) y los sistemas montañosos a barlovento de los flujos atlánticos (tendencia negativa muy destacada en la cabecera de la DHS). En el resto de los intervalos, se observa una tendencia negativa en la mayor parte de los observatorios, tanto a escala anual como estacional. El invierno representa una excepción a este patrón común, ya que la mayor parte de los observatorios presentan una tendencia positiva. Durante el verano, el descenso del número de días de lluvia es muy acusado, como consecuencia de la reducción del número de tormentas.

**8) Estudiar la evolución de las secuencias pluviométricas secas en las series de precipitación más longevas, mediante la utilización del índice de sequía SPI con una escala temporal de 12 meses (SPI12), para la evaluación de las sequías a escala hidrológica.**

El SPI ha sido el índice seleccionado para la delimitación de las características de los periodos de sequía. La elección del índice de sequía depende de múltiples factores, como las características del régimen hidrológico o las variables disponibles. En este estudio se ha seleccionado el SPI al ser el índice más utilizado en el ámbito científico. La principal utilidad de este índice radica en que facilita el análisis de los impactos de las sequías en distintas escalas temporales (1, 3, 6, 9, 12, 24 y 48 meses). Por lo tanto, permite la identificación de los distintos tipos de sequía (meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica). Un periodo inferior o igual a 3 meses permite la monitorización de las sequías meteorológicas, por encima de 6 meses se pueden evaluar las sequías agrícolas, y por último, el periodo de 12 meses es el ideal para evaluar las sequías hidrológicas.

De este modo, en este trabajo se ha seleccionado la escala temporal de 12 meses (SPI12), debido a las repercusiones territoriales que tienen las sequías hidrológicas en el sureste de la península ibérica, área que cuenta con un importante déficit hídrico estructural. Por otra parte, con la finalidad de agrupar sequías mutuamente dependientes y eliminar

sequías cortas con poca repercusión hidrológica se ha aplicado un filtro de paso bajo de 5 meses a los valores originales del SPI (López-Moreno et al., 2009). Además, esta aplicación resulta de gran utilidad para reducir el efecto de las precipitaciones intensas de corta duración, típicas del clima del sureste peninsular, sobre la intensidad de sequía. Para la clasificación de las diferentes categorías de sequías se emplea la categorización modificada por Agnew (2000), debido a que sus valores se ajustan a una clasificación más racional (Portela et al., 2015; Santos et al., 2010) que la propuesta original de Mckee et al. (1993). Se distinguen tres categorías de sequía en función de su severidad: moderada, severa y extrema.

Se ha estudiado la evolución de los principales parámetros que componen las secuencias pluviométricas secas (duración, magnitud y frecuencia) en las siete series largas de precipitación utilizadas para examinar las tendencias y variaciones de precipitaciones. En España pueden distinguirse cuatro tipos básicos de sequía (Olcina, 2001c): sequías cantábricas, ibéricas, surestinas y canarias. El área de estudio se ve afectado por las sequías ibéricas, que afectan con mayor severidad a la cabecera de la DHS, y por las sequías surestinas, que afectan con gran dureza especialmente a la franja costera y valles prelitorales. Las sequías ibéricas tienen carácter coyuntural, es decir, son secuencias secas sin intervalo fijo de aparición que afectan a la práctica totalidad de las tierras de la península ibérica. Por el contrario, las sequías surestinas, que afectan casi en exclusividad al ámbito del sureste ibérico, presentan un carácter estructural, ya que resulta difícil encontrar años húmedos en las series pluviométricas de los observatorios pertenecientes a dicha región.

En el análisis efectuado se observa una clara intensificación de las secuencias pluviométricas secas en las series de Alicante y Murcia (1864-2019). En estas series se observan fundamentalmente dos picos máximos en la frecuencia de ocurrencia de meses secos (1910-1940 y 1990-2019). Estos observatorios se ven muy afectados por las sequías surestinas. En la serie de Pontones se vislumbra que las sequías más intensas se localizan en la década de 1940 y 1950. No obstante a partir de la década de 1980 se exhibe una tendencia ascendente en la frecuencia de ocurrencia de meses secos. Las sequías ibéricas que afectan a la cabecera de la DHS conllevan importantes repercusiones territoriales en todo el área de estudio, puesto que en esta región se generan la mayor parte de los recursos hídricos. En cambio, en el resto de las series analizadas (Yecla, Embalse del Cenajo, Caravaca y Embalse de Puentes), no se vislumbra una intensificación de los períodos de

sequía. Además las secuencias secas suelen tener una duración y magnitud menor que en la cabecera de la DHS y en la franja costera.

**9) Llevar a cabo una regionalización por sequías (período 1968-2017) a partir del método de PCA, con la finalidad de estudiar las tendencias y cambios en los períodos secos en áreas con comportamiento homogéneo.**

Para efectuar la regionalización por sequías, también se ha utilizado el PCA al igual que en la regionalización de la precipitación mensual. En este trabajo, para la identificación de regiones homogéneas se ha aplicado la técnica de PCA a las series temporales suavizadas (media móvil de 5 meses) del SPI12. Este método ha sido utilizado por numerosos autores en ámbitos climáticos muy diferentes con resultados satisfactorios (Vicente et al., 2004; Santos et al., 2010; Portela et al., 2015; Espinosa et al., 2019). Las sequías constituyen riesgos naturales regionales, lo cual implica que sea muy importante la identificación de áreas homogéneas donde el comportamiento de los patrones espacio-temporales de las sequías (frecuencia de ocurrencia, magnitud o duración) sean similares.

El proceso de rotación ortogonal (Varimax) empleado para la identificación de patrones espaciales de sequía se muestra como una herramienta eficaz para realizar una delimitación bastante precisa de regiones con diferente variabilidad temporal de sequías. Al igual que en la regionalización de precipitaciones, se han obtenido cuatro: RG1 - Franja costera, valles y sierras prelitorales; RG2 - Cabeceras de los ríos Segura y Mundo; RG3 - Ríos de la margen izquierda y zona septentrional de las subcuencas de la margen derecha del Segura; RG4 - Oriental. La distribución espacial de las regiones en ambas regionalizaciones es bastante parecida, aunque en el caso de las sequías, la franja costera queda dividida en dos partes, ya que en la zona más oriental del área de estudio (zona pertenecientes a las comarcas alicantinas del Bajo Vinalopó, Medio Vinalopó y Campo de Alicante) las sequías surestinas presentan una gran severidad.

Además de analizar la evolución de los diferentes parámetros que definen las sequías, se ha examinado la evolución temporal del porcentaje de área afectada por sequías con diferentes grados de severidad (moderada, severa y extrema). Este proceso ha permitido poder estudiar posibles patrones espaciales de sequías, y ver qué regiones han sido más afectadas por los diferentes ciclos secos. Además, la identificación del área afectada por sequías con diferentes grados de severidad puede ser de gran ayuda a la hora de evaluar los daños ocasionados por dicho evento natural.

En todas las regiones analizadas, excepto en la RG3, se vislumbra una intensificación de las secuencias pluviométricas secas desde la década de 1980. En el caso de la RG4, esta intensificación se produce a partir de la década de 1990, ya que en las décadas de 1970 y 1980 apenas se contabilizan meses secos. Estos largos lapsos temporales sin meses secos pudieron provocar una falsa sensación de seguridad en la sociedad y las administraciones públicas, ya que en la sequía de 1993-1996 quedó ampliamente demostrado que las infraestructuras hidráulicas no eran lo suficientemente sólidas para garantizar el abastecimiento de agua a la población.

Por su parte, en la RG2 el incremento de la frecuencia de meses secos a partir de la década de 1980 trajo consigo importantes repercusiones en las reservas hídricas. Las reservas conjuntas de los grandes embalses de la cabecea del Segura (Fuensanta-Cenajo) permanecieron por debajo del 50% de su capacidad conjunta durante un lapso temporal de 30 años, el cuál finalizó en el invierno excepcionalmente húmedo de 2009/10. La teledetección constituye un instrumento de gran utilidad para evaluar el impacto de las sequías sobre las reservas hídricas. En este trabajo, se pone de manifiesto que el índice NDWI es una herramienta muy útil para la evaluación del impacto de las sequías hidrológicas en las reservas hídricas.

#### **10) Evaluación de la distribución espacio-temporal de las secuencias pluviométricas secas (período 1968-2017).**

El estudio de la distribución espacio-temporal de las secuencias pluviométricas secas resulta primordial para analizar los patrones espaciales de sequía. En este trabajo se ha realizado una cartografía temática de los ocho grandes períodos de sequía que han afectado al área de estudio desde 1968: 1970-1971, 1978-1979, 1981-1982, 1983-1986, 1993-1996, 1998-2001, 2005-2006 y 2013-2016. Esto ha permitido poner en relieve aspectos muy interesantes referidos a los patrones espaciales de sequía entre los que se pueden destacar los siguientes: 1) las sequías surestinas apenas afectan a la cabecera de la DHS; 2) las sequías ibéricas suelen finalizar de forma brusca debido a la llegada de frentes atlánticos muy activos que llegan muy debilitados a la franja costera, por lo que en esta zona se prolongan las secuencias pluviométricas secas en forma de sequía surestina; 3) periodos temporales prolongados de las fases positivas de los patrones de teleconexión WeMO y MO provocan sequías muy intensas en los valles interiores a barlovento de levante, que normalmente suelen ser las áreas menos afectadas por las sequías



Además, dicha cartografía espacial podría ser incluida en un hipotético plan especial de Protección Civil ante sequías (Aparicio, 2007). La realización de este plan es una de las propuestas de actuación que se realiza en este trabajo. Este plan podría ser complementario a los PES, y podrían llevarse a cabo tanto a escala autonómica como a escala interterritorial. Según Aparicio (2007), el plan de Protección Civil frente a las sequías debe incluir los siguientes apartados: información territorial, tipología y clasificación de las sequías, análisis y zonificación del riesgo mediante cartografía de riesgo, sistema de prevención y vigilancia, definición de fases y situaciones de emergencia, y la descripción de la estructura y organización del plan. Todos estos apartados han sido ampliamente detallados en este trabajo.

Asimismo, se debería realizar un seguimiento a tiempo real de la situación de sequía a diferentes escalas temporales. Aparte de los aspectos mencionados, se podría contar con la regionalización efectuada en esta tesis con la finalidad de evaluar el comportamiento de las sequías en áreas con una conducta homogénea. Además, se podría incluir la predicción estacional de los patrones de teleconexión que mayor influencia tienen sobre las secuencias pluviométricas secas (MO, WeMO y NAO). En definitiva, el objetivo principal de este plan sería la puesta en marcha de medidas (tanto estructurales, como no estructurales), encaminadas a la prevención y mitigación de los efectos adversos de las sequías, y siempre actuando de forma complementaria con el PES de la DHS y el protocolo ante situaciones de sequía de la MCT.

### **11) Indagar sobre el impacto del incremento de las temperaturas durante las últimas décadas en las secuencias pluviométricas secas.**

Se ha efectuado un análisis preliminar del impacto del incremento de las temperaturas en las secuencias pluviométricas secas en el periodo temporal 1968-2017. Para ello, se han seleccionado un total de seis observatorios termopluviométricos que disponen de serie de precipitación y temperatura de más de 50 años de registros, encuadrados en las diferentes regiones obtenidas. Para estudiar el impacto de las temperaturas sobre las sequías ha sido aplicado el índice de sequía SPEI (Vicente Serrano et al., 2010a), que basa su cálculo en el SPI, pero añadiendo la variable de la evapotranspiración. El periodo temporal seleccionado es 1968-2017.

En el análisis efectuado se distinguen dos periodos claramente: 1968-1985 y 1985-2017. En el primer periodo se ha demostrado que la influencia de la evapotranspiración en los

ciclos de sequía es prácticamente nula. En cambio, en un segundo periodo (1985-2017), el comportamiento es radicalmente opuesto, y la intensidad de las sequías se ve notablemente acrecentada por la variable de la evapotranspiración. Este cambio en el año 1985 coincide con el comienzo del aumento progresivo de la evaporación en España hasta la actualidad (Sánchez Lorenzo et al., 2014). Los parámetros de las sequías más afectados por el incremento de su intensidad a partir de 1985 son, sin duda, la duración y la magnitud. Asimismo, el incremento de los valores de intensidad de sequía puede llevar consigo un aumento del parámetro peligrosidad de otros riesgos con origen natural, como los incendios forestales.

## **12) Valoración de la influencia de los patrones de teleconexión (NAO, WeMO y MO) en los patrones espaciales de sequía.**

Para valorar la influencia de los patrones de teleconexión en los patrones espaciales de sequía, se han utilizado los tres patrones de teleconexión que presentan una mayor relación con el sureste peninsular: Oscilación del Atlántico Norte (en inglés North Atlantic Oscillation, NAO); Oscilación del Mediterráneo Occidental (en inglés Western Mediterranean Oscillation, WeMO); y Oscilación del Mediterráneo (Mediterranean Oscillation, MO). Se ha puesto de manifiesto que las fases positivas del WeMO y MO están más relacionadas con la ocurrencia de sequías.

La fase positiva del WeMO presenta una elevada correlación con las series del SPI12 de la cabecera del Segura. Esta fase conlleva el predominio de las altas presiones sobre la península ibérica y, por tanto, se produce una drástica reducción de la entrada de frentes atlánticos y de las vaguadas atmosféricas. Por su parte, la fase positiva del WeMO exhibe una mayor correlación con las series de los sistemas montañosos a barlovento de levante. Durante esta fase, la circulación de vientos de levante se ve notablemente reducida, por la disposición de los frentes de acción.

En definitiva, el análisis de la influencia de los patrones de teleconexión sobre las secuencias pluviométricas secas constituye una herramienta bastante eficiente para identificar aquellas configuraciones atmosféricas más proclives a desencadenar periodos de sequías. El desarrollo de metodologías que permitan la predicción estacional de estos patrones permitirá minimizar los impactos de las sequías mediante estrategias de prevención y adaptación.

### **13) Estimación del parámetro de vulnerabilidad de sequía utilizando como escala espacial las diferentes subzonas hidráulicas del área de estudio.**

Existen numerosos índices para la evaluación de la vulnerabilidad de sequía. En el presente trabajo, para la evaluación de este parámetro, ha sido seleccionado el Índice Estandarizado de Vulnerabilidad de Sequía (SDVI). Este índice es un indicador compuesto por varias componentes (SPI12, suministro, demanda, infraestructura e impactos), que tiene como objetivo integrar las diversas manifestaciones de las sequías (escalas meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica). La escala espacial seleccionada para la evaluación de la vulnerabilidad de sequía han sido las 36 subzonas hidráulicas.

Los cinco componentes seleccionados se clasifican en cuatro categorías de vulnerabilidad (escala de 0 a 3: 0-menos vulnerable, 1-Vulnerable, 2-Vulnerabilidad Alta y 3-Vulnerabilidad Extrema). El valor de vulnerabilidad final se obtiene mediante el registro promedio del sumatorio de los valores de los cinco componentes. Se han obtenido un total de tres categorías de vulnerabilidad: Vulnerabilidad Baja, Vulnerabilidad Media y Vulnerabilidad Alta. Las subzonas con vulnerabilidad alta se encuadran en la franja costera y valles prelitorales, que son las áreas que cuentan con una mayor presión humana, y por tanto son las que sufren un mayor impacto territorial durante las secuencias pluviométricas. En este territorio la vulnerabilidad a la sequía se ha incrementado de forma considerable durante las últimas décadas, debido a la creciente demanda de agua originada por el dinámico desarrollo económico (concentrado sobre todo en la actividades agropecuarias y turísticas).

Con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se plantean las siguientes líneas de investigación futuras:

- Implementación de una regionalización de sequías con la aplicación del SPEI (Vicente et al., 2010) para estudiar el impacto del incremento de las temperaturas.

- Aplicación de un análisis de alerta temprana y probabilidad de ocurrencia de sequías mediante el uso de cópulas (Pontes et al., 2019). Una cópula es una función de distribución multivariada de probabilidad cuyas distribuciones marginales para cada variable son distribuciones uniformes. El uso de las copulas en la evaluación del comportamiento de las sequías, es una herramienta innovadora y fácil de usar para

monitorear la precipitación y, en consecuencia, la probabilidad de sequía, permitiendo al usuario anticipar medidas de mitigación y adaptación, o incluso emitir alertas.

- Con la ayuda del programa SWAT se pretende llevar a cabo una simulación del impacto del cambio climático sobre el balance hídrico en las distintas subcuencas hidrográficas, así como una valoración del impacto de los cambios de los usos del suelo sobre los recursos hídricos.

- Examinar de forma más detallada las implicaciones futuras sobre las sequías de los escenarios de cambio climático regionalizados.

En definitiva, en esta tesis se plantean una serie de metodologías y herramientas encaminadas a la reducción de la vulnerabilidad y exposición frente a las sequías. Se ha demostrado que las prácticas y políticas actuales de gestión de los recursos hídricos no son lo suficientemente sólidas para neutralizar los efectos del cambio global en la manifestación de sequías, sobre todo debido a las demandas hídricas de los usos agrarios. Las medidas efectuadas deberían articularse siempre dentro de la ordenación del territorio, ya que es la herramienta más eficaz para la mitigación de las consecuencias y repercusiones socioeconómicas y territoriales de las sequías.

# **CHAPTER VI**

# **CONCLUSIONS**

Droughts are the risk of climatic origin that the greatest number of affected people and economic, social and territorial repercussions in general generate in the geographical areas where they develop. Its analysis is quite complex due to the diversity of agents that are located at its origin. It is a natural fact that manifests itself, with regularity and diverse effects, in all regions of the Iberian Peninsula. In this work, an exhaustive characterization of the droughts in the territorial scope of the DHS and MCT is carried out, located in the southeast of the Iberian Peninsula, which is constituted as the most arid area of the European continent. The DHS is the only demarcation of the European continent with an average rainfall of less than 450 mm, which generates an important structural pluviometric deficit and a consequent notable water deficit that is accentuated by the implementation of land uses whose demand for water exceeds the supply of endogenous resources.

Next, and as a final reflection, the results obtained in each of the objectives set out in this thesis are evaluated. Likewise, different action proposals and possible future lines of work are detailed:

**1) Carry out an evaluation and analysis of current water management policies and practices and see the possible deficiencies that these present today with respect to the availability of water resources. Special emphasis is placed on the analysis of the evolution of the total volume of water resources used by the MCT and on the evolution of the resources transferred through the TTS.**

This research focuses its analysis on the territorial areas of the DHS and MCT, which are the bodies responsible for the management and planning of water resources, and the supply of drinking water, respectively, of much of the southeast quadrant of Spain. The MCT currently supplies a total of 80 municipalities distributed between the provinces of Murcia, Alicante and Albacete. These municipalities cover an area of 11776.4 km<sup>2</sup>, of which the vast majority belongs to the territory of the DHS. Only 672.6 km<sup>2</sup> of the MCT, belonging to the Alicante municipalities of Hondón de las Nieves, Hondón de los Frailes, Aspe, Elche, Santa Pola, Alicante and San Vicente del Raspeig, are part of the territorial scope of the DHS.

The joint evaluation of the territorial spaces of both bodies is very convenient to carry out an assessment of the current water management policies and practices, and to see the possible deficiencies that these currently present regarding to the availability of water

resources. Likewise, encompassing this area of study is very useful for analyzing the changes and trends observed in rainfall and dry pluviometric sequences, as research normally only analyses the DHS territory, leaving aside the MCT municipalities belonging to the DHJ. This territory is densely populated, with a population of almost 675.000 inhabitants (1.000 hab/km<sup>2</sup>) on 1 January 2018, and it is therefore essential to carry out a joint analysis with the DHS territory. In this sense, it is considered that this joint assessment can help to improve water management and planning in the spatial framework analyzed.

The MCT, since its creation in 1927, gradually increased the number of municipalities supplied to reach the current 80. The original source of supply for this body is the Taibilla river reservoir (Albacete province). Throughout its history, the MCT has had two major periods of deficit in water resources, which triggered the start-up of other large infrastructures for water supply in SE Spain. The first of them took place in 1966, after the intense drought of 1963-1967. The solution adopted by the government of Spain to remedy the numerous problems of water supply was one of the political decisions with the greatest scope and repercussion for this territory in the 20th century: the TTS. The “General Preliminary Project for the Joint Use of the Hydraulic Resources of the Center and Southeast of Spain, Tajo-Segura Complex”, drawn up in 1967, gave rise to the beginning of the TTS works, which finally came into operation on 1979.

Later, at the end of the 20th century and the first years of the 21st century, its second great deficit period took place, as a consequence of the insufficiency of the Taibilla river flows, since the TTS was below the endowment for the first time legal maximum of surplus water (hydrological years 1994-1995 and 1995-1996). In this period, two very intense dry rainfall sequences were recorded (1993-1996 and 1998-2001). On this occasion, the solution given by the government was to promote desalination through the construction of a series of desalination plants along the entire Spanish Mediterranean coastline. This project was supported by the Spanish government through the implementation of the AGUA program. Starting in 2003, the MCT began to supply desalinated water. From this year to the present, the contribution of desalination in the MCT has been growing gradually, progressively replacing the waters from the TTS as the main source of supply.

In numerous studies (Olcina Cantos and Moltó Mantero, 2010; March et al., 2015; Morote Seguido and Rico Amorós, 2018; Ricart Casadevall et al., 2020) the fundamental role that water resources will play is analyzed unconventional in the drinking water supply in areas

of high-water stress. These authors show that thanks to desalination, the problems of urban water supply have been put to an end, especially in the coastal strip, which is the one with the highest population density. Morote Seguido and Rico Amorós (2018) discuss the promotion of desalination as a substitute resource for TTS in the MCT, above all taking into account the regionalized climate change scenarios, which estimate a marked decrease in rainfall and surface run-off in the headwaters of the Segura and Tagus until the end of the 21st century.

With respect to the Segura headwaters, Jódar Abellán et al. (2018) analyzed the impact on the hydrological response of the Taibilla reservoir to the regionalized climate change scenarios. These authors state that the Taibilla basin will experience in the simulated series (2021-2030 and 2041-2050) a reduction in average precipitation of approximately 4% in the RCP4.5 scenario, and of 13% in the RCP8.5 scenario. For their part, in Senent et al. (2017) analyze the implications of climate change on water resources in the headwaters of the Segura. These authors state that considerable changes are expected as a result of variations in temperature and precipitation. In the medium term (2041-2070), the flows present a high variability, presenting for the RCP 8.5 scenario a decrease between 9 and 25% with respect to the reference period 1971-2020. For the RCP 4.5 scenario, the dispersion is greater, with some models even showing slight increases. Major alterations expected long term (2071-2100 period), when the average flow rate and runoff descend from 33 to 54% in model RCP 8.5, and between one 11 and 28% for RCP 4.5.

Regarding the headwaters of the Tagus, an exhaustive analysis of the implications of climate change on water resources is carried out in Pellicer Martínez and Martínez Paz (2018). These authors estimate a significant decrease in rainfall and an increase in temperature in the headwaters of the Tagus. These changes would lead to a drastic reduction in water resources in the Entrepeñas and Buendía reservoirs. This reduction is estimated at between 70 and 79% respectively for the RCP4.5 and RCP 8.5 emission scenarios for the 2020-2090 period, compared to a scenario of no climate change, obtained using data on precipitation and temperature observed in the Tagus headwaters in the 1940-2010 period. Therefore, if these scenarios are fulfilled, the TTS would remain closed for long periods of time, as the threshold of excess water of 400 hm<sup>3</sup> (level 4) is not exceeded.



In fact, since the TTS was put into operation, a negative trend has been observed in the evolution of the joint Entrepeñas-Buendía water reserves. This trend has been estimated in this study at  $-39.5 \text{ hm}^3 / \text{decade}$  (obtained with the Mann Kendal test with a 95% confidence interval), although it is not statistically significant. The headwaters of the Tagus have gone through four deficit periods since the TTS was put into operation: 1983-1984, 1992-1996, 2005-2009 and 2014-2018. The changes in the TTS exploitation rules introduced in 2014 (raising the threshold of surplus water from  $240 \text{ hm}^3$  to  $400 \text{ hm}^3$ ), together with the notable decrease in water resources estimated by the regionalized climate change scenarios, mean that the future viability (in the medium term) of this infrastructure is very difficult. Furthermore, MITECO has recently proposed lowering the maximum transferrable volume of TTS level 2: from  $38 \text{ hm}^3$  to  $27 \text{ hm}^3$ .

Faced with these scenarios, in the analyzed territory, desalination is increasingly becoming an ordinary and substitute source for TTS transfers (Morote Seguido and Rico Amorós, 2018). Looking ahead to the next few years, public administrations must bet on the definitive promotion of this unconventional water resource. Policies should be geared towards reducing the high energy costs of this resource (Estevan and García, 2007), as well as minimizing environmental costs focused especially on brine dumping and its effects on *Posidonia oceanica* (Fernández Torquemada and Sánchez Lizaso, 2005). Likewise, it is very important to highlight that the drive for desalination should focus on seeking alternatives aimed at managing demand instead of seeking an increase in supply (March et al., 2015), as has been carried out with conventional water resources, such as the waters from the TTS. Ultimately, desalination must become a strategic resource in the study area, especially during drought situations.

Finally, given the new climatic, socio-economic and territorial conditions, planning and management measures for water resources must be articulated. In this sense, this work proposes as a proposal for action the extension of the obligation to prepare Emergency Plans due to drought in urban supply systems, at least to those municipalities that exceed 10,000 inhabitants, in order to be able to face with greater security the eventual periods of rainfall indigence and minimize their impacts.

At present, in Law 10/2001, of July 5, of the National Hydrological Plan, within its article 27 dedicated to Drought Management, the following is established in section 3 (AEAS, 2019): “The administrations Public authorities responsible for urban supply systems that serve, individually or jointly, a population equal to or greater than 20000 inhabitants must

have an Emergency Plan in place, in the event of drought situations. Said plans, which will be informed by the Basin Organization or Hydraulic Administration, must consider the rules and measures provided for in the Special Drought Plans, and must be operational within a maximum period of four years”.

In the study area, as of January 1, 2018, there were a total of 28 municipalities with over 20.000 inhabitants. The proposal made would encompass 18 more municipalities, which have a population between 10.000 and 20.000 inhabitants. These plans must include the following sections: drought scenarios considered (definition of entry and exit indicators and thresholds); actions planned for each scenario (assessment of costs and conditions); allocation of responsibilities; identification of areas, economic activities and vulnerable groups for each scenario ; economic analysis of the plan; periodic review of the plan; coordination with the special action plans in alert situations and eventual drought (PES) prepared by the hydrographic demarcations (AEAS, 2019; Villar Navascués and Rico Amorós, 2019). In short, in the face of climate change scenarios, these plans will be of vital importance in order to minimize the impact of droughts on urban water demands (Morote Seguido and Hernández, 2019).

## **2) Assessment of the changes that occurred in land use between 1990 and 2018, using the Corine Land Cover database, in order to study their impact on the drought vulnerability parameter.**

With respect to the transformations in land use that have occurred since 1990, it should be noted that the urban and irrigated categories are those that experience the greatest growth. Urban use passes occupy an area of 333.5 km<sup>2</sup> (1990) 760.9 km<sup>2</sup> (2018). For its part, the irrigated area goes from encompassing an area of 1198 km<sup>2</sup> (1990) to 1606.3 km<sup>2</sup> (2018). Likewise, the notable increase experienced by the category of permanent crops (rice fields, vineyards, fruit trees and olive groves), which exceeds 2677,4 km<sup>2</sup> (1990) to 3598,4 km<sup>2</sup> (2018), concentrating most of this increase in fruit trees. As revealed in the analysis carried out with the land use change matrix, the area acquired by the urban and irrigated use categories comes mainly from the agricultural use category. Within the agricultural category, the uses that lose a greater area are dry land and heterogeneous agriculture.

Most of the increase in urban and irrigated land use is concentrated in the coastal strip and pre-coastal valleys, which have experienced very significant population growth over

the last three decades, and therefore strong development of economic activities. These changes have led to a considerable increase in the parameter of vulnerability to drought, especially in the pre-coastal valleys and coastal strip. The increase in irrigated area has been mainly due to the arrival of water from the TTS, and its expansion has taken place in the ZRT. This has led to a significant increase in the average water deficit of the DHS, which is mainly concentrated in agricultural demands. Likewise, the expansion of irrigated crops has other environmental impacts associated with it, such as the overexploitation and contamination of aquifers, or the sealing of soils. In this sense, it is quite difficult to comply with the deadline for ceasing the overexploitation of aquifers before 2027, as established in the WFD, especially in areas such as the UTE III - Left Bank River System, which currently has an overexploitation deficit of around 100 hm<sup>3</sup>/year.

In short, studies of changes in land use, thanks to the multiple information they offer, can be of great help in decision-making and proposals for improvement in urban planning and spatial planning. Public administrations have to bet on developing a much more sustainable agriculture in the face of new climatic and environmental conditions. Likewise, the thousands of hectares of illegal irrigation existing in the study area must be eliminated.

### **3) Creation of a database of precipitation and temperature series on a daily scale, based on the reconstruction and homogenization of the thermo-pluviometric series from different bodies.**

The reconstruction and homogenization of the daily precipitation series has been carried out using the R package "reddPrec" (Serrano Notivoli et al., 2017). To calculate the reference values of the series, the multivariate logistic regression (RLM) technique is used from the records of the ten closest observatories. In addition, altitude, latitude and longitude are used as dependent variables (Serrano Notivoli, 2017). The validation carried out shows a good fit between the observations and the estimates of daily precipitation, with very high correlation values, both in daily means and by individual stations. Regarding data quality control, it should be noted that a tiny fraction of the original daily data has been detected and eliminated. The detection of suspicious values presents a higher incidence during the first years of the series due to the lower density of observatories. Thus, most of the gaps in the series obtained correspond to the gaps in the original series.

On the other hand, it should be noted that the main limitation of the "reddPrec" package lies in its low applicability in areas where there is a low density of observatories, or that they are far from each other. Likewise, the difficulties for the construction of a reference series increase exponentially with the increase in the spatial variability of rainfall. In regions such as the southeast of Spain, which have high variability, the errors obtained in the construction of the reference series increase considerably. Although the error obtained with "reddPrec" in the construction of the reference series has been minimal in future studies to examine the feasibility of using other techniques such as "Random Forest" to try to reduce to the maximum error obtained. This is a decision tree-based machine learning technique.

Regarding the reconstruction of the temperature series on a daily scale, the R package "CLIMATOL" (Guijarro Pastor, 2016) has been used, which has wide international recognition. Reconstruction of maximum and minimum temperatures has been much easier than reconstruction of precipitation on a daily scale.

#### **4) Examine the trends and variations in rainfall in the longest precipitation series.**

The behavior of two of the longest-lived series in Spain (Murcia / Alcantarilla and Alicante), whose records date back to the year 1864, has been examined. That is, both series have a total of 156 years of records (period 1864-2019). In addition, for the period 1940-2019, the analysis of five more series is carried out (Yecla, Embalse del Cenajo, Caravaca, Embalse de Puentes and Pontones). The objective is to study the behavior and evolution of rainfall in areas with different rainfall patterns.

It has been revealed in the analysis of the Murcia / Alcantarilla and Alicante series that there has been a very marked decrease in rainfall in the last 150 years, which is highly influenced by the exceptionally humid period at the end of the 19th century. In the Alicante series the decrease is -10 mm/decade, and in Murcia / Alcantarilla it is -4.9 mm/decade. In both series, the negative trend presents statistical significance. The decrease is still observed in the period 1940-2019, although in the case of Murcia it no longer presents statistical significance. The Alicante series will experience the largest reduction in precipitation in the new reference period (1991-2020), from 311.1 mm (reference period 1981-2010) to around 280 mm. This will further increase the water stress in this area.

However, in the observatories located in the interior regions (Yecla, Embalse del Cenajo, Caravaca and Embalse de Puentes), the trend is slightly positive in the period 1940-2019. For example, the Caravaca series has peaked at the 30-year moving average over the past decade. These series have the advantage that due to their geographical arrangement they do not have a high dependence on a single type of precipitation, as occurs in the headwaters of the DHS (rainfall of Atlantic origin) , and the coastal strip and pre-littoral valleys (rainfall of Mediterranean origin). In addition, they are very exposed to the east winds of long maritime routes. For its part, the Pontones series, located at the head of the Segura, has experienced a sharp drop in rainfall since the 1980s, although in recent years it seems to have lessened.

Finally, it is noteworthy that is to produce an increase of the interannual variability of rainfall and an increase in extreme rainfall. This fact is corroborated by the AR5. An example is found in the Murcia series, since in the last five years both the driest interannual period of the entire series (September 2013 - August 2014, with 86 mm), and the wettest interannual period since 1884 (April 2019-March 2020, with 682.9 mm). Faced with this dilemma, the cities on the Spanish Mediterranean coast must adapt to these new climatic conditions, especially in view of the climate change scenarios that show an increase in the frequency of extreme rainfall.

##### **5) Execution of a regionalization of rainfall (period 1968-2017) on a monthly scale based on the PCA method.**

The PCA (Principal Component Analysis) method has been used to obtain a regionalization of rainfall on a monthly scale. It has been applied to a data matrix composed of the 92 monthly precipitation series available in the constructed database. The selected time period is 1968-2017. In addition, in order to obtain a better interpretation of the results obtained, the CPs have been rotated, using the Varimax technique, which is widely used in the scientific field to carry out these rotations (Richman, 1986). In this way, it is possible to locate the spatial variability of the precipitation patterns with greater precision.

The statistical analyses carried out suggest the selection of the first four PCs (Principal Component). The subsequent mapping of the values of the correlations between the monthly precipitation series and the PCs ("factor loadings") corroborates the selection of the first four components, since they cover almost the entire study area and do not overlap.

In this way, the orthogonal rotation process (Varimax) used to identify spatial patterns of precipitation is shown to be an effective tool for carrying out a precise delimitation of regions with different rainfall variability. In the four maps made, the regions where the values of the correlation coefficient between each CPR and the rainfall series are equal to or greater than 0.6 are defined, thus covering most of the territory analyzed. In order to ensure that the entire study area forms part of one of the homogeneous regions obtained, other cluster analysis techniques have been implemented (Ward's with Euclidean and Manhattan and K-Means distances).

The regions obtained are the following: RG1- Rivers of the right bank of the Segura; RG2- Headwaters of the Segura and Mundo rivers; RG3- Northeast and Rivers on the left bank of the Segura; RG4- Coastal strip and pre-coastal valleys. The RG1, RG3 and RG4 cover a very similar surface, around 30% each. However, RG2 encompasses only 9.5% of the territory, since it is the area with a more differentiated rainfall pattern due to the marked influence of rainfall of Atlantic origin. This fact causes it to be by far the region with the highest average annual rainfall (668.6 mm in the period 1981-2010).

Regarding the trends and changes observed, it is evident that the decrease is quite prominent in RG2 (-22.4 mm/decade) and RG4 (-10 mm/decade), although it does not present statistical significance. In this way, the reduction is more pronounced in those regions that have a great dependence on a single type of precipitation in the total calculation (RG2 rainfall of Atlantic origin and RG4 rainfall of Mediterranean origin). The decrease in rainfall in RG2 has important regional implications, because this area is fundamental to the management of water resources, because in it are the sources of the Segura, Mundo and Taibilla rivers , they depend on the large headwater reservoirs (Fuensanta and Cenajo in the case of the Segura River , and Talave and Camarillas in the Mundo River), as well as the Taibilla Dam , the infrastructure from which the MCT starts.

In short, in areas such as the southeast of the Iberian Peninsula, which have a high interannual variability of rainfall and a complex orography, pluviometric regionalization techniques can be of great help to improve the problems associated with the modeling of precipitation and verification of climate models (García Valero et al., 2008). Likewise, they are very useful for the delimitation of homogeneous rainfall patterns, and thus to be able to more effectively detect the conditions under which extreme hydrological episodes originate, such as droughts (Serra de Larrocha, 1995).

**6) Analyze the spatial distribution of monthly precipitation variations (period 1968-2017) on an annual, seasonal and monthly scale.**

The evaluation of the spatial distribution of the variations in precipitation on an annual, seasonal and monthly scale constitutes an effective tool for the identification of spatial patterns in the changes that occur in precipitation. The period selected for this evaluation is 1968-2017. On an annual scale, a decrease in rainfall is observed in most of the study area, except in areas of the interior mountain systems located upwind of the easterly winds (Burete, Cambrón, Pedro Ponce, Espuña o Gavilán). The most pronounced declines occur in the head of the DHS and in the coastal strip. However, in almost no observatory this decrease is statistically significant.

For their part, on a seasonal scale, spring and summer show a negative trend. This decrease is very pronounced during the summer, especially in the interior mountain systems, because of the notable reduction in thermo-convective phenomena. This fact is also reflected in the month of May. In the period between May and July, numerous observatories show statistical significance in this decline. These variations carry with them an increase in water stress during the warm period. The decrease in rainfall in the warmest months (especially in May and June) can seriously affect rainfed crops, since low yields and even numerous losses in crops can be generated as the fruit cannot develop due to the lack of water.

On the other hand, autumn shows a practically neutral trend throughout the territory, highlighting that in the northern half the trend is slightly positive, mainly due to the behavior of September and November. In September the positive trend is statistically significant in many observatories. In fact, this month has replaced October as the wettest month in a large part of the study area. Finally, during the winter the trend is positive in practically all the territory analyzed, except in the headwaters of the DHS (due to its marked Atlantic influence). The increase in rainfall is caused by an increase in precipitation of Mediterranean origin during this season due to the observed strengthening of the Central European anticyclone which favors the entry of easterly winds of great maritime distance, especially during the month of December. Thus, the south-east of the Iberian Peninsula is practically the only area that experiences a positive trend during the winter and the month of March.

**7) Inspect the changes and trends in the number of rainy days.**

To perform the analysis of changes and trends in the number of rainy days (1968-2017), the following intervals have been selected: rainy day (precipitation  $\geq 1$  mm); days of precipitation  $\geq 10$  mm (DP10, annual number of days in which precipitation is  $\geq 10$  mm); days of abundant precipitation (DP20, annual number of days in which precipitation is  $\geq 20$  mm); days of very abundant precipitation (DP50, annual number of days in which precipitation is  $\geq 50$  mm).

The mapping of the trend (days/decade) of the number of rainy days (precipitation  $\geq 1$  mm) on an annual scale (period 1968-2017) shows the differential behavior between the mountain systems upwind of the east (positive trend of 1-2 days/decade) and the mountain systems upwind of the Atlantic flows (very remarkable negative trend at the head of the DHS). In the remaining intervals, a negative trend is observed in most of the observatories, both on an annual and seasonal scale. Winter represents an exception to this common pattern, as most of the observatories show a positive trend. During the summer, the decrease in the number of rainy days is very marked, as a result of the reduction in the number of storms

**8) Study the evolution of the dry pluviometric sequences in the longest precipitation series, using the SPI drought index with a 12-month time scale (SPI12), for the evaluation of droughts on a hydrological scale.**

The SPI has been the index selected for the delimitation of the characteristics of drought periods. The choice of the drought index depends on multiple factors, such as the characteristics of the hydrological regime or the available variables. In this study, the SPI has been selected as it is the most widely used index in the scientific field. The main utility of this index is that it facilitates the analysis of the impacts of droughts on different time scales (1, 3, 6, 9, 12, 24 and 48 months). Therefore, it allows the identification of the different types of drought (meteorological, agricultural, hydrological and socioeconomic). A period less than or equal to 3 months allows the monitoring of meteorological droughts, above 6 months agricultural droughts can be evaluated, and finally, the 12-month period is the ideal to evaluate hydrological droughts.

Thus, in this work the 12-month time scale (SPI12) has been selected, due to the territorial repercussions of hydrological droughts in the southeast of the Iberian Peninsula, an area with a significant structural water deficit. On the other hand, in order to group mutually dependent droughts and eliminate short droughts with little hydrological impact, a 5-



month low-pass filter has been applied to the original SPI values (López-Moreno et al., 2009). In addition, this application is very useful to reduce the effect of intense short-term rainfall, typical of the climate of the southeast of the peninsula, on the intensity of drought. For the classification of the different categories of droughts, the categorization modified by Agnew (2000) is used, since its values conform to a more rational classification (Portela et al., 2015; Santos et al., 2010) than the original proposal by McKee et al. (1993). Three categories of drought are distinguished based on their severity: moderate, severe and extreme.

The evolution of the main parameters that make up the dry rainfall sequences (duration, magnitude and frequency) has been studied in the seven-long series of rainfall used to examine the trends and variations of rainfall. Four basic types of drought can be distinguished in Spain (Olcina, 2001c): Cantabrian, Iberian, Southeast and Canary Island droughts. The study area is affected by Iberian droughts, which affect the DHS headwaters most severely, and by Southeast droughts, which affect the coastal strip and pre-coastal valleys most severely. Iberian droughts are cyclical, namely, they are dry sequences with no fixed occurrence interval which affect almost all the lands of the Iberian Peninsula. On the other hand, the south-eastern droughts, which affect almost exclusively the south-east of the Iberian Peninsula, are structural in nature, as it is difficult to find wet years in the rainfall series of the observatories belonging to this region.

The analysis carried out shows a clear intensification of the dry rainfall sequences in the series of Alicante and Murcia (1864-2019). In these series, two maximum peaks in the frequency of occurrence of dry months (1910-1940 and 1990-2019) are observed fundamentally. These observatories are highly affected by the southeastern droughts. In the series of Pontones, the most intense droughts are in the 1940s and 1950s. However, from the 1980s onwards there is an upward trend in the frequency of occurrence of dry months. The Iberian droughts that affect the DHS headwaters have important territorial repercussions throughout the area of study, since most of the water resources are generated in this region. On the other hand, in the rest of the series analyzed (Yecla, Cenajo Reservoir, Caravaca and Puentes Reservoir), there is no evidence of an intensification of the drought periods. In addition, the dry sequences tend to be shorter in duration and magnitude than in the headwaters of the DHS and the coastal strip.

**9) Carry out a regionalization by droughts (period 1968-2017) based on the PCA method, in order to study trends and changes in dry periods in areas with homogeneous behavior.**

To carry out the regionalization by droughts, the PCA has also been used as in the regionalization of monthly precipitation. In this work, to identify homogeneous regions, the PCA technique has been applied to the smoothed time series (5-month moving average) of the SPI12. This method has been used by numerous authors in very different climatic settings with satisfactory results (Vicente et al., 2004; Santos et al., 2010; Portela et al., 2015; Espinosa et al., 2019). Droughts constitute regional natural risks, which implies that it is very important to identify homogeneous areas where the behavior of the spatial-temporal patterns of droughts (frequency of occurrence, magnitude or duration) are similar.

The orthogonal rotation process (Varimax) used for the identification of spatial patterns of drought is shown as an effective tool to carry out a precise delimitation of regions with different temporal variability of droughts. As in the regionalization of rainfall, four have been obtained: RG1 - Coastal strip, valleys and pre-coastal mountains; RG2 - Headwaters of the Segura and Mundo rivers; RG3 - Rivers of the left bank and northern zone of the sub-basins of the right bank of the Segura; RG4 - Oriental. The spatial distribution of the regions in both regionalizations is quite similar, although in the case of droughts, the coastal strip is divided into two parts, since in the easternmost part of the study area (an area belonging to the Alicante regions of Bajo Vinalopó, Medio Vinalopó and Campo de Alicante) Southeast droughts are very severe.

In addition to analyzing the evolution of the different parameters which define droughts, the evolution over time of the percentage of the area affected by droughts with different degrees of severity (moderate, severe and extreme) has been examined. This process has made it possible to study possible spatial patterns of droughts, and to see which regions have been most affected by the different dry cycles. In addition, the identification of the area affected by droughts with different degrees of severity can be of great help in assessing the damage caused by this natural event.

In all the regions analyzed, except in RG3, an intensification of the dry rainfall sequences can be seen since the 1980s. In the case of RG4, this intensification occurred from the 1990s, since in the decades From 1970 to 1980, there are hardly any dry months. These

long periods of time without dry months could cause a false sense of security in society and public administrations, since in the 1993-1996 drought it was amply demonstrated that the hydraulic infrastructures were not sufficiently robust to guarantee the supply of water to the population.

For its part, in RG2 the increase in the frequency of dry months from the 1980s brought with it significant repercussions on water reserves. The joint reserves of the large reservoirs of the Segura head (Fuensanta-Cenajo) remained below 50% of their joint capacity during a temporary period of 30 years, which ended in the exceptionally wet winter of 2009/10. Remote sensing is a very useful tool to assess the impact of droughts on water reserves. In this work, it is shown that the NDWI index is a very useful tool for evaluating the impact of hydrological droughts on water reserves.

#### **10) Evaluation of the Spatio-temporal distribution of the dry rainfall sequences (period 1968-2017).**

The study of the spatial-temporal distribution of dry rainfall sequences is essential to analyze spatial patterns of drought. This paper has done a thematic mapping of the eight major droughts that have affected the study area since 1968: 1970-1971, 1978-1979, 1981-1982, 1983-1986, 1993-1996, 1998-2001, 2005-2006 and 2013-2016. This has made it possible to highlight very interesting aspects related to the spatial patterns of drought, among which the following can be highlighted : 1) Southeast droughts hardly affect the head of the DHS; 2) Iberian drought typically end abruptly due to the advent of highly active Atlantic fronts coming very debilitated coastal strip, so that in this area dry pluviometric extend sequences as southeast drought; 3) Long periods of time of the positive phases of the WeMO and MO teleconnection patterns cause very intense droughts in the interior valleys to the windward east, which are usually the areas least affected by droughts

Furthermore, said spatial mapping could be included in a hypothetical special plan for Civil Protection against droughts (Aparicio, 2007). Carrying out this plan is one of the action proposals carried out in this work. This plan could be complementary to the PES and could be carried out both at the regional level and at the inter-territorial level. According to Aparicio (2007), the Civil Protection plan against droughts must include the following sections: territorial information, typology and classification of droughts, risk analysis and zoning through risk mapping, prevention and surveillance system, definition

of phases and emergency situations, and the description of the structure and organization of the plan. All these sections have been extensively detailed in this work.

The drought situation should also be monitored in real time at different time scales. Apart from the aspects mentioned, the regionalization carried out in this thesis could be relied upon in order to evaluate the behavior of droughts in areas with homogeneous behavior. In addition, it could be included the seasonal prediction of the teleconnection patterns that have a greater influence on the dry pluviometric sequences (MO, WeMO and NAO). In short, the main objective of this plan would be the implementation of measures (both structural and non-structural) aimed at preventing and mitigating the adverse effects of droughts, and always acting in a complementary manner with the DHS's PES and the MCT's protocol for drought situations.

#### **11) Inquire about the impact of the increase in temperatures during the last decades in dry rainfall sequences.**

A preliminary analysis of the impact of the increase in temperatures on dry rainfall sequences in the 1968-2017 time period has been carried out. For this, a total of six thermo-pluviometric observatories have been selected that have a series of precipitation and temperature from more than 50 years of records, framed in the different regions obtained. To study the impact of temperatures on droughts, the SPEI drought index has been applied (Vicente Serrano et al., 2010a), which bases its calculation on the SPI, but adding the evapotranspiration variable. The selected time period is 1968-2017.

In the analysis carried out, two periods are clearly distinguished: 1968-1985 and 1985-2017. In the first period it has been shown that the influence of evapotranspiration on drought cycles is practically nil. In contrast, in a second period (1985-2017), the behavior is radically opposite, and the intensity of droughts is notably increased by the variable of evapotranspiration. This change in 1985 coincided with the beginning of the progressive increase in evaporation in Spain until the present day (Sánchez Lorenzo et al., 2014). The parameters of the droughts most affected by the increase in intensity from 1985 onwards are, without doubt, their duration and magnitude. Likewise, the increase in drought intensity values may lead to an increase in the dangerousness of other natural risks, such as forest fires.

#### **12) Assessment of the influence of teleconnection patterns (NAO, WeMO and MO) on spatial patterns of drought.**

To assess the influence of teleconnection patterns on spatial patterns of drought, the three teleconnection patterns that are most closely related to the southeast of the peninsula have been used: North Atlantic Oscillation (NAO); Western Mediterranean Oscillation (WeMO); and Mediterranean Oscillation (MO). It has become clear that the positive phases of the WeMO and MO are more related to the occurrence of droughts.

The positive phase of the WeMO has a high correlation with the Segura's SPI12 series. This phase involves the predominance of high pressures on the Iberian Peninsula and, therefore, there is a drastic reduction in the entry of Atlantic fronts and atmospheric watercourses. On the other hand, the positive phase of the WeMO shows a greater correlation with the series of the mountainous systems to windward of the east. During this phase, the circulation of easterly winds is significantly reduced by the arrangement of the action fronts.

In short, the analysis of the influence of teleconnection patterns on dry rainfall sequences is an efficient tool for identifying those atmospheric configurations most likely to trigger periods of drought. The development of methodologies that allow the seasonal prediction of these patterns will make it possible to minimize the impacts of droughts through prevention and adaptation strategies

### **13) Estimation of the drought vulnerability parameter using the different hydraulic subzones of the study area as spatial scale.**

There are numerous indices for evaluating drought vulnerability. In the present work, for the evaluation of this parameter, the Standardized Drought Vulnerability Index (SDVI) has been selected. This index is an indicator composed of several components (SPI12, supply, demand, infrastructure and impacts), which aims to integrate the various manifestations of droughts (meteorological, agricultural, hydrological and socioeconomic scales). The spatial scale selected for the evaluation of drought vulnerability has been the 36 hydraulic subzones.

The five selected components are classified into four vulnerability categories (scale from 0 to 3: 0-least vulnerable, 1-Vulnerable, 2-High Vulnerability and 3-Extreme Vulnerability). The final vulnerability value is obtained by recording the average sum of the values of the five components. A total of three vulnerability categories have been obtained: Low Vulnerability, Medium Vulnerability and High Vulnerability. The sub-zones with high vulnerability are framed in the coastal strip and pre-coastal valleys, which

are the areas that have the greatest human pressure, and therefore are those that suffer the greatest territorial impact during rainfall sequences. In this territory, vulnerability to drought has increased considerably in recent decades, due to the growing demand for water caused by dynamic economic development (mainly concentrated in agricultural and tourist activities).

With the results obtained in this work, the following lines of future research are proposed:

- Implementation of a regionalization of drought with the application SPEI (Vicente et al., 2010.) To study the impact of the increase of temperature.
- Application of an analysis of early warning and probability of occurrence of droughts using copula (Pontes et al., 2019). A copula is a multivariate probability distribution function whose marginal distributions for each variable are uniform distributions  $U(0,1)$ . The use of copulas in the evaluation of the behavior of droughts is an innovative and easy-to-use tool to monitor precipitation and, consequently, the probability of drought, allowing the user to anticipate mitigation and adaptation measures, or even issue alerts.
- With the help of the SWAT program, it is intended to carry out a simulation of the impact of climate change on the water balance in the different hydrographic sub-basins, as well as an assessment of the impact of changes in land use on water resources.
- Examine in more detail the future implications of regionalized climate change scenarios for droughts.

In short, this thesis proposes a series of methodologies and tools aimed at reducing vulnerability and exposure to droughts. It has been demonstrated that current water management practices and policies are not sufficiently sound to neutralize the effects of global change on the manifestation of droughts, particularly due to the water demands of agricultural uses. The measures implemented should always be articulated within Land Management, as this is the most effective tool for mitigating the socio-economic and territorial consequences and impact of droughts.







# **CAPÍTULO VII**

## **BIBLIOGRAFÍA**

Aalbers, M. (2009): The sociology and geography of mortgage markets: reflections on the financial crisis. *International Journal of Urban and Regional Research*, 33, 281-290.

Abdi, H. y Williams, L.J. (2010): Principal component analysis. *Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics*, 2(4), 433-459.

Abdi, O., Shirvani, Z., y Buchroithner, M. F. (2018): Spatiotemporal drought evaluation of Hyrcanian deciduous forests and semi-steppe rangelands using moderate resolution imaging spectroradiometer time series in Northeast Iran. *Land Degradation & Development*, 29(8), 2525-2541.

AEAS (2014): *Guía para la elaboración de planes de emergencia de sequías en poblaciones medianas*. Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, 71 pp.

AEAS (2019): *Guía para la elaboración de planes de emergencia ante situaciones de sequía en sistemas de abastecimiento urbano*. Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento y Ministerio de Transición Ecológica, 90 pp.

AEMET (2010): *Resumen estacional climatológico: invierno 2009/2010*. Área de climatología y aplicaciones operativa. Agencia Estatal de Meteorología.

AEMET (2018): *Informe Mensual Climatológico. Marzo de 2018*. Departamento de producción, Área de climatología y aplicaciones operativas. Agencia Estatal de Meteorología, Madrid, 10 pp.

AEMET (2019a): *Borrasca Elsa*. Borrascas con gran impacto de la temporada 2019-2020. Agencia Estatal de Meteorología. Extraído en: [http://www.aemet.es/es/conocerlas/borrascas/2019-2020/estudios\\_e\\_impactos/elsa](http://www.aemet.es/es/conocerlas/borrascas/2019-2020/estudios_e_impactos/elsa)

AEMET (2019b): *Borrasca Fabien*. Borrascas con gran impacto de la temporada 2019-2020. Agencia Estatal de Meteorología. Extraído en: [http://www.aemet.es/es/conocerlas/borrascas/2019-2020/estudios\\_e\\_impactos/fabien](http://www.aemet.es/es/conocerlas/borrascas/2019-2020/estudios_e_impactos/fabien)

Agnew, C.T. (2000): Using the SPI to identify drought. *Drought Network News*, 12, 6-12.

Aguilar Alba, M. (2007): Cambios y tendencias recientes en las precipitaciones de Andalucía. En *El Cambio Climático en Andalucía: evolución y consecuencias medioambientales* (pp. 99-116). Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

Aguilar Alba, M. y Del Moral Ituarte, L. (2010): Tendencias climáticas recientes y evolución de las aportaciones en embalses de cabecera del Guadalquivir: su incidencia en la planificación hidrológica. En Fernández García, F., Galán Gallego, E. y Cañada

Torrecilla, R. (Eds.). *Clima, ciudad y ecosistemas*. VII Congreso de la Asociación Española de Climatología. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Zaragoza, 317-326.

Aguilar Alba, M. (2015): *Regionalización pluviométrica de Andalucía. Análisis de su red de observación para la gestión medioambiental*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla, 581 pp.

Aguilar, E., Auer, I, Brunet, M., Peterson, T.C. y Wieringa, J. (2003): *Guidelines on climate metadata and homogenization*. World Climate Programme Data and Monitoring. World Meteorological Organization, Geneva, 53 (1186).

Alarcón Luque, J. (2017): Costes y viabilidad económica de la modernización de regadíos en España. En Berbel, J. y Gutiérrez Martín, C. (coords.). *Efectos de la modernización de regadíos en España* (pp.97-118). Almería, Cajamar.

Alexandridis, A.K. y Zapanis, A.D. (2013): Handling the data. *Weather Derivatives*. Springer, pp. 37–54.

Alfonso Torreño, A. y Schnabel, S. (2017): Variación espacial de las precipitaciones en una pequeña cuenca hidrográfica del suroeste de España. *Geographicalia*, 69, 65-91.

Álvarez Rodríguez, J. (2004): Regionalización y caracterización de sequías en Europa. *Revista Digital Del Cedex*, (137), 143.

Álvarez Rodríguez, J. (2011): *Estimación de la distribución espacial de la precipitación en zonas montañosas mediante métodos geoestadísticos*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 315 pp.

Alonso Sarría, F., Martínez Hernández, C., Belmonte Serrato, F. y Fernández Carillo, M.A. (2016): Consecuencias del abandono de cultivos en la Región de Murcia y recomendaciones de gestión. En Romero Díaz, A. (Coord.). *Principales causas del abandono de cultivos en la Región de Murcia* (pp.203-226). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia.

Alfieri, L., Burek, P., Feven, L. y Forzieri, G. (2015): Global warming increases the frequency of river floods in Europe. *Hydrology & Earth System Sciences Discussions*, 12 (1).

Allen, R.J., Sherwood, S.C., Norris, J.R. y Zender, C.S. (2012): Recent Northern Hemisphere tropical expansion primarily driven by black carbon and tropospheric ozone. *Nature*, 485, 350-354.

Almarza, C. (2002): La estructura de la precipitación como índice de detección de cambio climático. En *Actas de la 3ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 928-930.

Almarza, C., López Díaz, J.A., y Flores, C. (1996): *Homogeneidad y variabilidad de los registros históricos de precipitación de España*. Monografía Técnica. Instituto Nacional de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente, 318.

Amengual, A., Homar, V. y Jaume, O. (2015): Potential of a probabilistic hydrometeorological forecasting approach for the 28 september 2012 extreme flash flood in Murcia, Spain. *Atmospheric Research*, 166, 10-23.

Anderberg, M.R. (1973): *Cluster Analysis for Applications*. Academic Press, 376 pp.

Aneas de Castro, S. (2000): Riesgos y peligros: una visión desde la Geografía. *Scripta Nova*, 60.

Aparicio Florido, J.A. (2007): El riesgo de sequía y su inclusión en los planes de protección civil. *Boletín de la Asociación Geógrafos Españoles*, 44,95-116.

Arahetes Hidalgo, A., Hernández Hernández, M. y Rico Amorós, A.M. *Adaptation strategies of the hydrosocial cycles in the Mediterranean region*. Water 2018, 10, 790.

Arbiol-Roca, L. (2020): Torrential rainfall prediction: WeMOTool. In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 8549.

Archer, C.L.y Caldeira, K. (2008): Historical trends in the jet streams. *Geophysical Research Letters*, 35(8).

Argüeso, D., Hidalgo Muñoz, J.M., Gámiz Fortis, S.R., Esteban Parra, M.J., Dudhia, J. y Castro Díez, Y. (2011): Evaluation of WRF parameterizations for climate studies over Southern Spain using a multistep regionalization. *Journal of Climate*, 24, 5633-5651.

Azadi, H., Keramati, P., Taheri, F., Rafiaani, P., Teklemariam, D., Gebrehiwot, K., Hosseininia, G., Van Passel, S., Lebailly, P. y Witlox, F. (2018): Agricultural land conversion: Reviewing drought impacts and coping strategies. *International journal of disaster risk reduction*, 31, 184-195.

Azorín Molina, C. y López Bustins, J.A. (2004): Catálogo sinóptico manual y causas atmosféricas de la precipitación en la provincia de Alicante. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 38, 279-310.

Azorín Molina, C., Guijarro Pastor, J.A., McVivar, T.R., Vicente Serrano, S.M., Chen, D., Jerez, S. y Espirito Santo, F. (2016): Trends of daily peak wind gusts in Spain and Portugal, 1961-2014. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121 (3), 1059-1078.

Ball, S. (2011): Excepcional rainfall in Gibraltar during winter 2009/2010. *Weather*, 66, 22-25.

Barreira González, P., González Cascón, V. y Bosque Sendra, J. (2012): Detección de errores temáticos en el CORINE Land Cover a través del estudio de cambios: Comunidad de Madrid (2000-2006). *Estudios geográficos*, 272, 7-34.

Barriendos Vallvé, M. (2002): Los riesgos climáticos a través de la Historia: avances en el estudio de episodios atmosféricos extraordinarios. En Ayala Carcedo, F.J. y Olcina Cantos (coords.). *Riesgos Naturales* (pp. 549-560). Editorial Ariel, Barcelona.

Bartolomeu, S., Carvalho, M.J., Marta Almeida, M., Melo Gonçalves, P. y Rocha, A. (2016): Recent trends of extreme precipitation índices in the Iberian Península using observations and WRF models results. *Physics and Chemistry of the Earth*, 94, 10-21.

Beck, U. (2002): *La sociedad del riesgo global*. Editorial Siglo XXI, Madrid, 290 pp.

Beguiría, S., Vicente Serrano, S.M. y Angulo Martínez, M. (2010): A multiscale global drought dataset: the SPEIbase: a new gridded product for the analysis of drought variability and impacts. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(10), 1351-1356.

Beguiría, S., Vicente Serrano, S.M., Reig, F. y Latorre, B. (2014): Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, 34(10), 3001-3023.

Belmonte Serrato, F. y Romero Díaz, A. (2013): Experiencias de interceptación de la lluvia por la vegetación en la Región de Murcia. En Belmonte Serrato, F. y Romero Diaz, A. (Coords.). *Estudios de Interceptación de la lluvia por la vegetación en España* (pp. 123-146). Instituto Euromediterráneo del Agua, Murcia.

Benedicto, M. (1953): *Estudio biodemográfico sanitario de Jaén*. Jefatura provincial de Sanidad, Jaén.

Benhamrouche, A. y Martín-Vide, J. (2011): Distribución espacial de la concentración diaria de la precipitación en la provincia de Alicante. *Investigaciones Geográficas*, 56, 113-129.

Berbel Vecino, J. y Montilla López, N.M. (2019): Efectos de la modernización de riegos en España 2002-2015 y más allá. En Melgarejo Moreno, J. (ed.). *Congreso Nacional del Agua: Innovación y sostenibilidad*. Orihuela, Universidad de Alicante, 189-214.

Berbel Vecino, J., Gómez Limón, J.A. y Gutiérrez Martín, C. (2017): Modernización de regadíos y ahorro de agua. En Berbel, J. y Gutiérrez Martín, C. (coords.). *Efectos de la modernización de regadíos en España* (pp.185-217). Almería, Cajamar.

Bernabé, A.C., Barceló, A.M. y De Cara García, J.A. (2013): Resumen climático de la primavera 2013. *Revista Tiempo y Clima*, 5(41), 17-21.

Bernabé, A.C. y Barceló, A.M. (2014). Resumen climático del invierno 2013-2014. *Revista Tiempo y Clima*, 5(44), 14-17.

Beteta Avio, R. (2018): La población de la villa de Siles (Jaén) en el siglo XX. *Ería: Revista Cuatrimestral de Geografía*, 38, 225-244.

Bichet, A., Folini, D., Wild, M. y Schär, C. (2014): Enhanced Central European summer precipitation in the late 19<sup>th</sup> century: a link to the Tropics. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140, 111-123.

Bonadonna, C., Connor, C.B., Houghton, B.F., Connor, L., Byrne, M., Laing, A. y Hincks, T.K. (2005): Probabilistic modeling of tephra dispersal: Hazard assessment of a multiphase rhyolitic eruption at Tarawera, New Zealand. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 110 (B3).

Box Amorós, M. y Morales Gil, A. (1993): Barrancos y ramblas: su incorporación al entramado urbano en el sureste peninsular. *Investigaciones geográficas*, 11, 153-169.

Bozkurt, D., Rojas, M., Boisier, J. P., & Valdivieso, J. (2017). Climate change impacts on hydroclimatic regimes and extremes over Andean basins in central Chile, *Hydrology and Earth System Sciences*, 1-29.

Brunet, M., Sigró, J., Jones, P.D., Saladié, O, Aguilar, E., Molberg, A., Lister, D. y Walther, A. (2007): Long-term changes in extreme temperatures and precipitation in Spain. *Contributions to Science*, 3, 331-342.

Burgueño Ribero, J. y Guerrero Lladós, M. (2014): El mapa municipal de España. Una caracterización geográfica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 64, 11-36.

Burke, E. J., & Brown, S. J. (2008): Evaluating uncertainties in the projection of future drought. *Journal of Hydrometeorology*, 9(2), 292-299.

Burillo Cuadrado, M.P., Rubio Terrado, P. y Burillo Mozota, F. (2019): Estrategias frente a la despoblación de la Serranía Celtibérica en el marco de la política de cohesión europea 2021-2027. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 19, 83-97.

Burillo Cuadrado, M.P y Burillo Mozota, F. (2019): *Las regiones desfavorecidas de España ante la Política de Cohesión 2021-2027*. Asociación <<Instituto de Investigación y Desarrollo Rural. Serranía Celtibérica. Monografías Instituto Serranía Celtibérica, 2

Burriel De Orureta, E.L. (2008): La “década prodigiosa” del urbanismo español (1997-2006). *Scripta Nova*, 12 (270), 64.

Caballero De Frutos, I., Ruiz, J. y Navarro, G. (2019): Sentinel-2 Satellites Provide Near Real Time Evaluation of Catastrophic Floods in the West Mediterranean. *Water*, 11(12), 2499.

Caballero Pedraza, A., Romero Diaz, A. y Espinosa Soto, I. (2015): Cambios paisajísticos y efectos medioambientales debidos a la agricultura intensiva en la Comarca de Campo de Cartagena- Mar Menor (Murcia). *Estudios geográficos*, 76 (279), 473-498.

Cabezas Calvo-Rubio, F. (2000): *Tres casos de Planificación Hidrológica*. Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría de Estado de Aguas y Costas, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, 157 pp.

Cabezas Calvo-Rubio, F. (2013): *El sistema de cabecera del Tajo y el trasvase Tajo-Segura*. Ministerio para la Transición Ecológica, 190 pp.

Calatrava Leyva, J y Martínez Granados, D. (2012): El valor del uso del agua en el regadío de la cuenca del Segura y en las zonas regables del trasvase Tajo-Segura. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 12(1), 5-32.

Calatrava Leyva, J y Martínez Granados, D. (2016): La actividad de los mercados formales de agua en la Cuenca del Segura. En *XXXIV Congreso Nacional de Riegos*, Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica.

Calvo García-Tornel, F. (1969): La Huerta de Murcia y las inundaciones del Guadalentín. *Papeles de Geografía*, 111-138.

Calvo García-Tornel, F. (1984): La geografía de los riesgos. *Geocrítica*, 54, 39 pp.

Calvo García-Tornel, F. (2006): Sureste español: regadío, tecnologías hidráulicas y cambios territoriales. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, Vol. X, 218.

Calvo García Tornel, F., Conesa García, C., Álvarez Rogel, Y. y (2001): La inundación de octubre de 1879 en el Bajo Segura. *Estudios Geográficos*, 62 (242), 7-28.

Camero Iriarte, F., Egea Orengo, F., Gomariz Castillo, F. y Mena Selles, C. (2008): *Restauración de riberas. Manual para la restauración de riberas en la Cuenca del Río Segura. Capítulo 1. Características de la Cuenca del Segura*, pp. 19-74, Confederación Hidrográfica del Segura, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Murcia.

Cardona Arboleda, O.D. (1993): Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Elementos para el ordenamiento y la Planeación del Desarrollo. En Markrey, A. (Eds.). *Los Desastres No Son Naturales* (pp.45-65). Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina, La Red.

Capel Molina, J.J. (1983): Distribución de la lluvia en el Sureste español. Periodo 1951-1989. *Boletín del Instituto de Estudios Almerienses*, 3, 27-36.

Capel Molina, J.J. (1989): Las lluvias torrenciales de noviembre de 1987 en Levante y Murcia. *Estudios Románicos*, 6, 1551-1562.

Capel Molina, J.J. (1990): Ciclogénesis violenta en el Mediterráneo. La inundación de Málaga de noviembre de 1989. *Papeles de Geografía*, 16, 9-33.

Capel Molina, J.J. (1991): El clima murciano. Dinámica. En Morales Gil, A y Calvo García-Tornel, F. (Eds.). *Atlas de la Región de Murcia* (pp. 85-96). Presidencia de la Región de Murcia, La Opinión e Iberdrola, Murcia.

Capel Molina, J.J. (2000): Los sistemas convectivos de mesoescala y su influencia en la España Mediterránea. *Papeles de Geografía*, 32, 29-43.

Capel Sáez, H. (1967): Los estudios acerca de las migraciones interiores en España. *Revista de Geografía*, 1, 79-101.

Capel Sáez, H. (1973): Percepción del medio y comportamiento geográfico. *Revista de Geografía*, 7, 58-150.

Cassou, C., Terray, L., Hurrell, J.W. y Deser, C. (2004): North Atlantic winter climate regimes: Spatial asymmetry, stationarity with time and oceanic forcing. *Journal of Climate*, 17(5), 1055-1068.

Castejón Porcel, G., Espín Sánchez, D., Ruiz Álvarez, V., García Marín, R. y Moreno Muñoz, D. (2018): Runoff water as a resource in the Campo de Cartagena (Región de Murcia): current possibilities for use and benefits. *Water*, 10(4), 256.



Castells, F., Laguna, P., Sörnmo, L., Bollmann, A., & Roig, J. M. (2007). Principal component analysis in ECG signal processing. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2007(1), 074580.

CEDEX (2013a): *Caracterización Hidrológica de Sequías*. Secretaria de Estado de Medio Ambiente, Dirección General del Agua. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 161 pp.

CEDEX (2013b): *Catálogo y publicación de sequías históricas*. Secretaria de Estado de Medio Ambiente, Dirección General del Agua. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 154 pp.

CEDEX (2017): *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías*. Secretaria de Estado de Medio Ambiente, Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 346 pp.

Clemente Salvador, M.A., Martín Pérez, M.L., Valero, F., Luna Rico, M.Y., Morata Gasca, A., Manzano Hernández, A., Vicente Serrano, S.M., Beguería Portugués, S. y González Hidalgo, J.C. (2018): Análisis espacio-temporal de la sequía en España peninsular. Influencia de los principales patrones de teleconexión. En Montávez Gómez, J.P et al., (eds.). *El Clima: aire, agua, tierra y fuego*. Asociación Española de Climatología, Agencia Estatal de Meteorología, Madrid, 569-579.

Charre, J. (1977): A propos de la sécheresse. *Revue Geographique de Lyon*, 52,215-226.

Chazarra Bernabé, A., Lorenzo Mariño, B., Rodríguez Ballesteros, C. y Botey Fullat, R. (2020): *Análisis de las temperaturas en España en el período 1961-2018*. Nota técnica 31. Área de Climatología y Aplicaciones Operativas. Agencia Estatal de Meteorología, 524 pp.

CHS (2005): *Informe de los artículos 5,6 y 7 de la DMA*. Confederación Hidrográfica del Segura, Ministerio de Medio Ambiente.

CHS (2007): Plan de Actuación en situaciones de alerta y eventual sequía en la cuenca del Segura. Confederación Hidrográfica del Segura, Ministerio de Medio Ambiente, 298 pp.

CHS (2014): *Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura. Demarcación Hidrográfica del Segura 2009/15*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

CHS (2015): *Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura. Demarcación Hidrográfica del Segura 2015/21*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

CHS (2018): Revisión del Plan Especial de Sequía de la Demarcación Hidrográfica del Segura. Confederación Hidrográfica del Segura, Ministerio para la Transición Ecológica, 406 pp.

Cleveland, W. S. (1979): Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of the American statistical association*, 74(368), 829-836.

Colino Sueiras, J., Martínez-Carrasco Pleite, F. y Martínez Paz, J.M. (2014): *El impacto de la PAC renovada sobre el sector agrario de la Región de Murcia*. Murcia, Consejo Económico y Social de la Región de Murcia.

Conesa García, C. (2006): Las formas del relieve. En Conesa, C. (Ed.). *El medio físico de la Región de Murcia* (pp. 47-94). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia.

Conesa García, C. y Calvo García-Tornel, F. (2003): Los procesos de riesgo con origen natural: una constante en la relación entre hombre y medio. *Áreas*, 23, 5-16.

Conesa García, C. y Alonso Sarría, F. (2006): El clima de la Región de Murcia. En Conesa, C. (Ed.). *El medio físico de la Región de Murcia* (pp. 95-128). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia.

Conesa García, C., Pérez Cutillas, P. y Espín Sánchez, D. (2017): Inundaciones de origen fluvial en la Región de Murcia: áreas en riesgo y actuaciones de control y prevención. En Conesa García, C. y Pérez Cutillas, P. (Coords.). *Riesgos Ambientales en la Región de Murcia* (pp. 85-113). Ediciones de la Universidad de Murcia.

Congedo, L. (2016): Semi-automatic classification plugin documentation. *Release*, 4, 29.

Conrad, V. y Pollak, L.W. (1951): Methods in Climatology. *American Journal of Physics*, 19,65.

Conte M., Giuffrida A. y Tedesco S. (1989): The Mediterranean Oscillation, impact on precipitation and hydrology in Italy. *Proceedings of Conference on Climate, Water*. Publications of the Academy of Finland, Helsinki, 121–137.

Contreras, S. y Hunink, J.E. (2016): InfoSequía: the first operational remote sensing-based Drought Monitoring System of Spain. En *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 18.

Couchoud Sebastián, R. (1965): *Hidrología histórica del Segura. De los Anales del Segura*. Centro de Estudios Hidrográficos, 104 pp.

Creus, J., Génova, M., Fernández Cancio, A. y Pérez Antelo, A. (1992): New dendrochronologies for Spanish Mediterranean zone. *Lundqua Rep*, 34,76-78.

Criado Aldeanueva, F., Soto Navarro, F.J. (2013): The Mediterranean Oscillation Teleconnection Index: Station-Based versus Principal Component Paradigms. *Advances in Meteorology*, 10.

Criado-Aldeanueva, F. y Soto-Navarro, J. (2020): Climatic Indices over the Mediterranean Sea: A Review. *Applied Sciences*, 10(17), 5790.

Cuenca, C. , Melero, M. y Cortina, J. (2016): Análisis de las políticas de restauración forestal en España (1983-2013). *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 42, 61-74.

De Cara García, J.A. (2019): Resumen de la primavera de 2019. *Revista tiempo y clima*, 5(65).

De Luis, M. González Hidalgo, J.C., Longares, L.A. y Stepánek, P. (2009): Seasonal precipitation trends in the Mediterranean Iberian Peninsula in second half of 20<sup>th</sup> century. *International Journal of Climatology*, 29, 1312-1323.

Decuyper, M., Chávez, R.O., Cufar, K., Estay, S.A., Clvers, J.G.P.W., Prislán, P., Gricar, J., Crepinsek, Z., Marela, M., De Luis, M., Serrano Notivoli, R., Martínez del Castillo, E., Rozendaal, D.M.A., Bongers, F., Herold, M. and Sass Klassen, U.(2020): Spatio temporal assessment of beech growth in relation to climate extremes in Slovenia- An integrated approach using remote sensing and tree-ring data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 287, 107925.

Del Castillo, E.M., Longares, L.A., Serrano Notivoli, R. y De Luis, M. (2019). Modelling tree-growth: Assessing climate suitability of temperate forest growing in Moncayo Natural Park (Spain). *Forest ecology and management*, 435,128-137.

Del Moral Ituarte, L. y Pita López, M.F. (2002): El papel de los riesgos en las sociedades contemporáneas. En Ayala Carcedo, F.J. y Olcina Cantos (coords.). *Riesgos Naturales* (pp. 75-88). Editorial Ariel, Barcelona.

Del Moral Ituarte, L. y Silva Pérez, R. (2006): Grandes zonas regables y reparto del agua en España. El caso de la cuenca del Guadalquivir. *Mélanges de la Casa de Velázquez*, 36(2), 125-148.

Diez Sierra, J. y Del Jesús, M. (2017): A rainfall analysis and forecasting tool. *Environmental modelling & Software*, 97,243-258.

Diggle, P. (1985): A kernel method for smoothing point process data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 34 (2),138-147.

Dillan, W. y Goldstein, M. (1984). *Multivariate Analysis: Method and Applications*, New York. John Wiley and Sons, 587 pp.

Dracup, J.A., Lee, K.S, Paulson, J.R. y Edwin, G. (1980): On the statistical characteristics of drought events. *Water Resources Research*, 16, 289-296.

Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W. y Li, X. (2016): Water bodies mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. *Remote Sensing*, 8(4), 354.

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*. Imprenta del Ministerio de Comercio, Instrucción y Obras Públicas, 123 pp.

Eiras Barca, J., Brands, S. y Miguez Macho, G. (2016): Seasonal variations in North Atlantic atmospheric river activity and associations with anomalous precipitation over the Iberian Atlantic Margin. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(2), 931-948.

Espín Sánchez, D. (2014): Peligrosidad de heladas por inversión térmica en la Huerta de Murcia. *Papeles de Geografía*, 59-60, 57-69.

Espín Sánchez, D. (2015): Análisis espacial y temporal de las olas de frío en la Región de Murcia. Cartografía del riesgo de heladas en la Huerta de Murcia. En De la Riva, J. et al., (eds.). *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*. Asociación de Geógrafos Españoles, Universidad de Zaragoza, 1589-1597.

Espín Sánchez, D y Romero Díaz, A. (2014): Génesis de tormentas severas y su incidencia en la Región de Murcia. *Investigaciones Geográficas*, 62, 67-81.

Espín Sánchez, D., García Lorenzo, R., Ruiz Álvarez, V., Conesa García, C. (2017): The heavy rains and floods on 17 and 18 December 2016 in Region of Murcia, with particular focus on the Mar Menor Watershed. *Ingeniería del Agua*, 21 (4), 213-229.

Espín Sánchez, D., Ruiz Álvarez, V., Martí Talavera, J. y García Marín, R. (2018): Estudio preliminar de las inversiones térmicas en el sureste de la península ibérica: el caso de los Campos de Hernán Perea. *Pirineos. Revista de Ecología de Montaña*, 173, 25-42.

Espín Sánchez, D. y Conesa García, C. (2018): Estudio comparativo del calor extremo entre el Valle del Guadalquivir y las Vegas del Segura: tendencia y cartografía de alta resolución. *Revista de Estudios Andaluces*, 36, 1-25.

Espinosa, L.A., Portela, M.M., & Rodrigues, R. (2019): Spatio-temporal variability of droughts over past 80 years in Madeira Island. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 25, 100623.

Esteban Parra, M.J., Rodrigo, F.S. y Castro Díez, Y. (1998): Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992. *International Journal of Climatology*, 18, 1557- 1574.

Estevan, A. y García, M. (2007): El consumo de energía en la desalación de agua de mar por ósmosis inversa: situación actual y perspectivas. *Ingeniería Civil*, 148, 113-21.

Estevan, A., La Calle, A. y Naredo, J.M. (2007): Las series hidrológicas en la instrucción de Planificación Hidrológica. Fundación Nueva Cultura del Agua, 3 pp.

Estrela, T., Pérez Martín, M.A. y Vargas, E. (2012). Impacts of climate change on water resources in Spain. *Hydrological Sciences Journal*, 57(6), 1154-1167.

Estrela Navarro, M.J., Millán, M., Peñarrocha, D. y Pastor, F. (2002): *De la Gota Fría al Frente de Retroceso. Las precipitaciones intensas en la Comunidad Valenciana*. Colección Interciencias, UNED Alzira-Valencia, CEAM, 260 pp.

Estrela Navarro, M.J., Miró Pérez, J.J., Pastor, F. y Millán M. (2004): Precipitaciones por frentes atlánticos en la Comunidad Valenciana: cambios y tendencias en las últimas décadas. En *XXVIII Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española*. Asociación Meteorológica Española, 1-8.

Estrela Navarro, M.J. y Miró Pérez, J.J. (2006): Análisis de tendencia de la precipitación por situaciones convectivas en la Comunidad Valenciana (1959-2004). En Cuadrat Prats et al., (Eds.). *Clima Sociedad y Medio Ambiente*. V Congreso de la Asociación Española de Climatología. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Zaragoza, 1-12.

ESYRCE (2018): *Encuesta sobre superficies y rendimiento*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 41 pp.

FAO-ISRIC & ISSS (1998): *World Reference Base for Soil Resources*. FAO, Roma.

FAO & IUSS Working Group WRB (2015): *Base referencial mundial del recurso suelo. Actualización 2015. Sistema Internacional de clasificación de suelos para la*

*nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos.* FAO, Roma, 206 pp.

Fereres, E. y Soriano, M.A. (2007): Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 147-159.

Ferreras Fernández, C. (2004): *Inundaciones y sequías en la cuenca del río Segura*. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente, Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, 144 pp.

Fernández Chacón, F. (2009): *Contribución al conocimiento al conocimiento hidrometeorológico de una depresión interna en clima mediterráneo semiárido (cabecera del Guadiana Menor, Cordillera Bética)*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 410 pp.

Fernández Mills, G. (1995): Principal Component Analysis of Precipitation and Rainfall Regionalization in Spain. *Theoretical and Applied Climatology*, 50, 169-183.

Fernández Mills, G., Lana, X., Serra, C. (1994): Catalanian precipitation patterns: Principal component analysis and automated regionalization. *Theoretical and Applied Climatology*, 49,201-212.

Fernández Pinilla, R. (2018): The Nitrogen cycling in the water of the coastal lagoon of Mar Menor and its relationship with the eutrophication process. *Farmantra*, 5, 1-5.

Fernández Rodríguez, H. y Trapote Jaume, A. (2019): Sistemas urbanos de drenaje sostenible. Aplicación a una zona urbana de Alicante. En: Melgarejo Moreno, J. (Ed.). *Congreso Nacional del Agua. Innovación y Sostenibilidad*, 1619-1635.

Fernández Sánchez, E., Jiménez Hidalgo, S. y Salvador Bruna, J. (2006): La sequía en España: análisis del fenómeno a través del estudio de las noticias de prensa recogidas por Hispagua durante el año 2005. *Scire: representación y organización del conocimiento*, 12(2), 137-150.

Fernández Torquemada, Y. y Sánchez Lizaso, J. L. (2005). Effects of salinity on leaf growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 320(1), 57-63.

Feng, S., Hu, Q. y Qian, W. (2004): Quality control of daily meteorological data in china, 1951-2000, a new dataset. *International Journal of Climatology*, 24 (7), 853-870.

Feng, S. y Qu, F. (2013): Expansion of global drylands under a warming climate. *Atmospheric, Chemistry and Physics Discussions*, 13 (10), 081-10.

Fischer, E.M., Luterbacher, J., Zorita, E., Tett, S.F.B., Casty, C. y Wanner, H. (2007): European climate response to tropical volcanic eruptions over the last half millennium. *Geophysical Research Letters*, 34, (5).

Fleig, A. K., Tallaksen, L. M., Hisdal, H. y Demuth, S. (2006): A global evaluation of streamflow drought characteristics. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 10(4), 535-552.

Folland, C.K. y Karl, T.R. (2001): Observed climate variability and change. En Houghton, J.T. et al., (Eds.). *Climate Change 2001. The scientific basis* (pp. 99-128). Cambridge University Press, Cambridge.

Font Tullot, I. (1983): *Climatología de España y Portugal*. Instituto Nacional de Meteorología, 422 pp.

Font Tullot, I. (1988): La singular persistencia de situaciones anticiclónicas sobre la península ibérica durante el cuatrimestre noviembre 1988- febrero 1989. *Paralelo 37*, 11, 75-84

Fuentes López, B. (2014): La borrasca profunda “Stepanhie”. *Revista Tiempo y Clima*, 5(45), 34-37.

Fuster Casas, J.M. (2000): Vulcanismo y cambio climático. En *Las fronteras de la Ciencia* (pp. 115-129). Espasa Calpe, Madrid.

Galán Gallego, E. y Labajo Montero, J. (2016): Sequías climáticas en la Comunidad de Madrid y áreas circundantes. En Olcina Cantos, J. y Rico Amorós, A.M. (coords.). *Libro Jubilar en Homenaje al Profesor Antonio Gil Olcina* (pp.85-106). Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante.

Gallardo Beltrán, M. y Martínez Vega, J. (2012): Cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid: analizando el pasado y simulando el futuro. *Tecnologías de la Información Geográfica en el contexto del Cambio Global*. XV Congreso Nacional de Tecnologías de Información Geográfica, Madrid, AGE-CSIC, 305-314.

Gallardo Beltrán, M. (2014): *Cambios de usos del suelo y simulación de escenarios en la comunidad de Madrid. Análisis de tres décadas de transformación territorial y proyección futura*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, 480 pp.

Gallego, M.C., García, J.A y Vaquero, J.M. (2005): The NAO signal in daily rainfall series over the Iberian Peninsula. *Climate Research*, 29 (2), 103-109.

Gallego Herrezuelo, M.C., García García, J.A. y Vaquero, J.M. (2004): Distribución espacial de los índices de frecuencia de precipitación diaria en la península ibérica. *Física de la Tierra*, 16, 161-174.

Gallego Jiménez, F. (1996): *Situaciones de flujo mediterráneo y precipitaciones asociadas. Aplicación a la predicción cuantitativa en la cuenca del Segura*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, 412 pp.

Gao, Y, Lu, J., Leung, L.R. (2016): Uncertainties in projecting future changes in atmospheric rivers and their impacts on heavy precipitation over Europe. *Journal of Climate*, 29 (18), 6711-6726.

García Arostegui, J.L., Senent Alonso, M., Martínez Vicente, D. y Aragón Rueda, R. (2014): La sobreexplotación de acuíferos. En Senent Alonso, M. y García Arostegui, J.L. (eds.). *Sobreexplotación de acuíferos en la cuenca del Segura. Evaluación y perspectivas* (pp.63-112) Murcia, Instituto Euromediterráneo del Agua.

García Arostegui, J.L., Jiménez Martínez, J., Baudron, P., Hunink, J., Contreras, S. y Candela, L. (2016): Las aguas subterráneas en el Campo de Cartagena-Mar Menor. En León, V.M. y Bellido, J.M. (eds.). *Mar Menor: una laguna singular y sensible. Evaluación científica de su estado* (pp.231-249). Instituto Español de Oceanografía. Madrid, Ministerio de Economía y Competitividad.

García Ayllón, S. (2018): Long-Term GIS Analysis of Seaside Impacts Associated to Infrastructures and Urbanization and Spatial Correlation with Coastal Vulnerability in a Mediterranean Area. *Water*, 10, 1642.

García Bautista, A. y Martínez Fernández, J. (2016): Indicadores de sostenibilidad de las demarcaciones hidrográficas españolas. En *Sostenibilidad en España 2016: Cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas* (pp.219-240). Observatorio de la Sostenibilidad.

García Barrón, L. y Pita López, M.F. (2001): Propuesta metodológica para la determinación de inhomogeneidades relativas en las series de observaciones. En Perez Cueva, A.J., López Baeza, E. y Tamayo Carmona, J. (Eds.). *El tiempo del Clima*. II Congreso de la Asociación Española de Climatología. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Valencia, 87-94.

García De Pedraza, L. (1981): *Tiempo y clima en el SE español*. Agencia Estatal de Meteorología, Madrid, 12 pp.

García De Pedraza, L. (1988): *La sequía y el clima en España*. Agencia Estatal de Meteorología, Madrid, 11 pp.



García Galiano, S.G., Baille, A., González, M.M., Martínez, V., Urrea, M., Hernández, Z., Nortes, P. y Tanguy, M. (2007): Desarrollo y aplicación de indicadores de alerta temprana frente a sequías a escala regional desde MODIS. En *Teledetección: Hacia un entendimiento de la dinámica global y regional*. XII Congreso de la Asociación Española de Teledetección, 223-229.

García Galiano, S.G., Olmos Giménez, P. y Giraldo-Osorio, J.D. (2015): Assessing nonstationary spatial patterns of extreme droughts from long-term high-resolution observational dataset on a semiarid basin (Spain). *Water*, 7(10), 5458-5473.

García León, D., Contreras, S. y Hunink, J. (2019): Comparison of meteorological and drought indices as yield predictors of Spanish cereals. *Agricultural Water Management*, 213, 388-396.

García Marín, R. y Conesa García, C. (2006): Secuencias pluviométricas secas de larga duración en la cuenca del Guadalentín (Murcia- Almería). En: Cuadrat Prats et al. (Eds.). *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC) Serie A, nº5. Zaragoza, 371-382.

García Marín, R. y Calvo García-Tornel, F. (2008): Frecuencia y evolución de rachas secas en la Cuenca del Guadalentín (Sureste de España). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 48, 71-89.

García Marín, R. (2008a): *Riesgo de sequía y vulnerabilidad socioeconómica en la Cuenca del Guadalentín*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, 695 pp.

García Marín, R. (2008b): La sequía: de riesgo natural a inducido. El ejemplo de la Cuenca del Río Segura (sureste de España). *Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje*, 21-22, 109-120.

García Marín, R., Ruiz Álvarez, V. y Belmonte Serrato, F. (2016): Control y prevención de las sequías en la Región de Murcia: el papel de los organismos públicos. En García Marín, R. et al., (eds.). *XV Congreso Ibérico de Geografía. Retos y tendencias de la Geografía Ibérica*. Asociación de Geógrafos Españoles, Universidad de Murcia, 196-205.

García Moreno, P., Ibarra Marinas, A.D. y Sánchez Balibrea, J. (2018): *La burbuja del Regadío: El caso del Mar Menor. Evolución de los regadíos en el entorno del Mar-Menor-Campo de Cartagena*. WWF España y Asociación de Naturalistas del Sureste (ANSE), 79 pp.

García Pintado, J., Martínez Mena, M., González Barberá, G., Montoro Albaladejo, J., Castillo Sánchez, V.M. (2007): Anthropogenic nutrient sources and loads

from a Mediterranean catchment into a coastal lagoon: Mar Menor, Spain. *Science of the Total Environment*, 373 (1), 220-239.

García Ruiz, A. y Castro Guío, M.D. (2016): La ciclogénesis explosiva: Esa gran desconocida. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 85, 58-62.

García Valero, J.A. (2007): *Estudio de la variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones diarias en la Región de Murcia*. Tesis de máster, Universidad Politécnica de Cartagena.

García Valero, J.A., Montávez, J.P., Jerez, S. y Gómez Navarro, J.J. (2008): *Regionalización de las precipitaciones diarias en la Región de Murcia*. Agencia Estatal de Meteorología, 11 pp.

Garrido Abenza, R., Palenzuela Cruz, J.E. y Bañon Pelegrín, L.M. (2014): *Atlas climático de la Región de Murcia*. Agencia Estatal de Meteorología, 167 pp.

Garrido Abenza, R., Palenzuela Cruz, J.E. y Bañon Pelegrín, L.M. y García Valero, J.A. (2015): Clima y cambio climático global. En Victoria Jumilla (Coord.). *Cambio climático en la Región de Murcia. Evaluación basada en indicadores. Trabajo del Observatorio Regional de Cambio Climático* (pp. 17-34). Conserjería de agricultura, agua y medio ambiente. Región de Murcia.

Geerts, S. y Raes, D. (2009): Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural water management*, 96 (9), 1275-1284.

Gibbs, W.J. y Maher, J.V. (1967): Rainfall deciles as drought indicators. *Bureau of Meteorology Bulletin*, 48. Melbourne, Australia, 84 pp.

Gil Guirado(2013): Reconstrucción climática histórica y análisis evolutivo de la vulnerabilidad y adaptación a las sequías e inundaciones en la Cuenca del Segura (España) y en la Cuenca del Río Mendoza (Argentina). *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*, 52(2), 132-151.

Gil Guirado, S., Espín Sánchez, J.A. y Prieto, M.D.R. (2016): Can we learn from the past? Four hundred years of changes in adaptation to floods and droughts. Measuring the vulnerability in two Hispanic cities. *Climatic change*, 139 (2), 183-200.

Gil Guirado, S. y Pérez Morales, A. (2019): Variabilidad climática y patrones termoplumiométricos en Murcia (1863-2017). Técnicas de análisis climático en un contexto de cambio global. *Investigaciones Geográficas*, 71,27-54.

Gil Guirado, S., Gómez Navarro, J.J. y Montávez, J.P. (2019): The weather behind words- new methodologies for integrated hydrometeorological reconstruction through documentary sources. *Climate of the past*, 15, 1303-1325.

Gil Meseguer, E. y Gómez Espín, J.M. (2017): *El trasvase de aguas del embalse del Negratín (Granada) al embalse de Cuevas del Almanzora (Almería): la conexión Negratín-Almanzora (CNA)*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia.

Gil Meseguer, E, Bernabé Crespo, M.B. y Gómez Espín, J.M. (2019): Resiliencia ante las sequías en el sureste de España: respuesta de abastecimientos y regadíos. En actas del XXVI Congreso de la Asociación de Geografía Española. *Crisis y espacios de oportunidad. Retos para la Geografía*. Asociación de Geografía Española y Universitat de Valencia, 548-566.

Gil Meseguer, E, Bernabé Crespo, M.B. y Gómez Espín, J.M. (2020): Resiliencia en el consumo de agua por parte de abastecimientos y regadíos ante las sequías en el Sureste de España. *Cuadernos de geografía*, (104), 107-130.

Gil Olcina, A. (1968): El régimen del río Guadalentín. *Cuadernos de geografía*, 5,1-19.

Gil Olcina, A. (1988): Precipitaciones y regímenes fluviales en la vertiente mediterránea española. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 7, 1-12.

Gil Olcina, A. (2001): Secas históricas en la región climática del sureste ibérico. En Gil Olcina, A. y Morales Gil, A. (Eds.). *Causas y consecuencias de las sequías en España* (pp. 161-185). Caja de Ahorros del Mediterráneo e Instituto Interuniversitario de Geografía, Alicante.

Gil Olcina, A. (2004): Calendario y causas de las lluvias catastróficas en tierras alicantinas durante la segunda mitad del S. XX. En Gil Olcina, A et al., (eds.). *Aguaceros, aguaduchos e inundaciones en áreas urbanas alicantinas* (pp.85-112). Universidad de Alicante.

Gil Olcina, A. (2007): Mediterraneidad y subtropicalidad climáticas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*,44, 53-68.

Gil Olcina, A. (2009): Clima e hipótesis de cambio climático en la región geográfica del sureste ibérico. *Investigaciones geográficas*, 49, 5-22.

Gil Olcina, A. (2016a): Causas atmosféricas de dos descomunales llenas en la Rambla de Nogalte (Cuenca del Segura). En Vera, F., Olcina Cantos, J., Hernández Hernández, M. (Eds.). *Libro homenaje al profesor al profesor Alfredo Morales Gil* (pp.935-956). Publicaciones de la Universidad de Alicante.

Gil Olcina, A. (2016b): *Acondicionamiento, rectificación y regulación del Segura. Modificación de lechos, cuenca y régimen fluvial*. Publicaciones de la Universidad de Alicante, 328 pp.

Gil Olcina, A. y Olcina Cantos, J. (2017): *Tratado de Climatología*. Publicaciones de la Universidad de Alicante, 975 pp.

Giménez García, R., García Marín, R., Serrano Martínez, J.M. y Pulido Fernández, M. (2018): Peri-Urban Dynamics in Murcia Region (SE Spain): The Successful Case of the Altorreal Complex. *Urban Science*, 60, 1-11.

Gómez Espín, J.M. (2019): Modernización de regadíos en España: experiencias de control, ahorro y eficacia en el uso del agua para riego. *Agua y territorio*, 13, 69-76.

Gómez Zotano, J., Alcántara Manzanares, J., Martínez Ibarra, E. y Olmedo Cobo, J.A. (2015): La sistematización del clima mediterráneo: identificación, clasificación y caracterización climática de Andalucía (España). *Revista de Geografía Norte Grande*, 61, 161-180.

González Herrero, S. (2018): Un octubre de récord. *El Blog de la Agencia Estatal de Meteorología*, Madrid.

González Herrero, S. y Bech, J. (2017): Extreme point rainfall temporal scaling: a long term (1805-2014) regional and seasonal analysis in Spain. *International Journal of Climatology*, 37(15), 5068-5079.

González Hidalgo, J.C., Martín De Luis Arrigala, M., Stepánek, P., Raventós Bonhevi, J. y Cuadrat Prats, J.M. (2002): Reconstrucción, estabilidad y proceso de homogeneizado de series de precipitación en ambientes de elevada variabilidad pluvial. En: Cuadrat Prats, J.M., Vicente Serrano, S.M. y Saz Sánchez, M.A. (Eds.). *La información climática como herramienta de gestión ambiental, bases de datos y tratamiento de series climatológicas*. Reunión Nacional de Climatología, Albarraçín, 47-58.

González Hidalgo, J.C., De Luis, M., Raventos, J. y Sánchez, R. (2003): Daily rainfall trend in the Valencia Region of Spain. *Theoretical and Applied Climatology*, 75,117-130.

González-Hidalgo, J. C., Brunetti, M., & de Luis, M. (2011). A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945-November 2005). *International Journal of Climatology*, 31(5), 715–731.

González-Hidalgo, J. C., Vicente-Serrano, S. M., Peña-Angulo, D., Salinas, C., Tomas-Burguera, M., & Beguería, S. (2018): High-resolution spatio-temporal analyses of drought episodes in the western Mediterranean basin (Spanish mainland, Iberian Peninsula). *Acta Geophysica*, 66(3), 381-392.

González López, S. (2014): La avenida de Santa Teresa, 14-15 de octubre de 1879, en la ciudad y término de Lorca. *Alberca: Revista de la Asociación de Amigos del Museo Arqueológico de Lorca*, 12, 183-207.

González Rouco, J.F., Jiménez, J.L., Quesada, V., Valero, F. (2001): Quality control and homogeneity of precipitation data in the southwest of Europe. *Journal of Climate*, 14,964-978.

Gordon, A.D. (1999): *Classification*. Chapman & Hall/CRC Monographs on Statistics and Applied Probability, 268 pp.

Grimalt, M., Tomás, M., Alomar, G., Martín Vide, J. y Moreno García, M.D.C. (2013): Determination of the Jenkinson and Collison's weather types for the western Mediterranean basin over the 1948-2009 period. Temporal analysis. *Atmósfera*, 26(1), 75-94.

Grindlay, A., Zamorano, M., Rodríguez, M., Molero, E. y Urrea, M. (2011): Implementation of the European Water Framework Directive: Integration of hydrological and regional planning at the Segura River Basin, southeast Spain. *Land Use Policy*, 28, 242- 256.

Guijarro Pastor, J.A. (2002): Tendencias de la precipitación en el litoral mediterráneo español. En Guijarro Pastor, J.A. (Ed.). *III Congreso de la Asociación Española de Climatología "El agua y el Clima"*. Asociación Española de Climatología, Palma de Mallorca, 237-246.

Guijarro Pastor, J.A. (2004): CLIMATOL: Software libre para la depuración y homogeneización de datos climatológicos. En García Codron et al., (Eds.). *III Congreso de la Asociación Española de Climatología "El clima entre el mar y la montaña"*. Asociación Española de Climatología, Santander, 493-502.

Guijarro Pastor, J.A. (2016): *Homogeneización de series climáticas con climatol 3.0*. Reporte técnico, Agencia Estatal de Meteorología, 22 pp.

Guijarro Pastor, J.A. (2018): *Homogenization of climatic series with Climatol*. Reporte técnico de la Agencia Estatal de Meteorología, Mallorca, 22 pp.

Hair, J.F, Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E. y Tatham, R. L. (1998): *Multivariate data analysis*, vol 5, Prentice Hall.

Hargreaves, G. H., y Samani, Z. A. (1985): Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied engineering in agriculture*, 1(2), 96-99.

He, Y., Ye, J. y Yang, X. (2015): Analysis of the spatio-temporal patterns of dry and wet conditions in the Huai River Basin using the standardized precipitation index. *Atmospheric Research*, 166, 120-128.

Hernández Bedolla, J., Solera, A., Paredes Arquiola, J. y Roblero Escobar, C.X. (2019): Análisis del cambio en las aportaciones hidrológicas en la cuenca del río Júcar a partir de 1980 y sus causas. *Ingeniería del Agua*, 23 (2), 141-155.

Hernández Hernández, M. y Morales Gil, A. (2008): Transcendencia socio-económica del trasvase Tajo-Segura tras 30 años de su funcionamiento en la provincia de Alicante. *Investigaciones Geográficas*, 46, 31-48.

Hernández Hernández, M. y Morote Seguido, A.F. (2019): El consumo de agua urbano-turístico en el litoral de Alicante (2000-2017). Factores y tendencias recientes. En Melgarejo Moreno, J. (ed.). *Congreso Nacional del Agua: Innovación y sostenibilidad*. Orihuela, Universidad de Alicante, 1413-1437

Hoerling, M., Eischeid, J., Perlwitz, J., Quan, X.W., Zhang, T., Pegion, P. (2012): On the increased frequency of Mediterranean drought. *Journal of Climate*, 25, 2146-2161.

Homar, V., Romero, R., Ramis, C. y Alonso, S. (2002): Numerical study of the October 2000 torrential precipitation evento over eastern Spain: analysis of the synoptic-scale stationarity. *Annales Geophysicae*, 20, 2047-2066.

Hu, Y. y Fu, Q. (2007): Observed poleward expansion of the Hadley circulation since 1979. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 9367-9384.

Huang, J., Li, Y., Fu, C., Chen, F., Fu, Q., Dai, A., Shinoda, M., Ma, Z., Guo, W., Li, Z., Zhang, L., Liu, Y., Yu, H., He, Y., Xie, Y., Guan, X., Ji, M., Lin, L., Wang, S., Yan, H. y Wang G. (2017): Dryland climate change: Report progress and challenges. *Reviews of Geophysics*.

Ibarra Marinas, D., Belmonte Serrato, F. y Rubio Iborra, J. (2017): El impacto territorial del uso agrícola y turístico del litoral: Evolución de los cambios de uso del suelo en las cuencas litorales del sur de la Región de Murcia (1956-2013). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 73, 295-311.

IPCC (1995): *Climate change 1994: Radiative forcing of climate change and an evaluation of the emission scenarios*. In Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Bruce, J.P. Lee, H., Callander, B.A. & Haites, E.F. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 572 pp.

IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In Salomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. y Miller, H.L. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

IPCC (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. y Midgley, P.M (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPCC (2018): Resumen para responsables de políticas. En Masson Delmotte et al., (eds.). *Calentamiento global de 1,5°C. Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 32 pp.

Izquierdo Segovia, J.M. y Amor Jiménez, J.A. (2019): Reconstrucción y análisis de la serie climática 1988-2017 en la demarcación hidrográfica del Segura. *Crisis y espacios de oportunidad: retos para la Geografía*. Actas del XXVI Congreso de la Asociación Española de Geografía, Universitat de Valencia, 394-411.

Jain, A.K. (2010): Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern recognition letters*, 31(8), 651-666.

Jansá Clar, A. (2018): Temporal mediterráneo de lluvia, nieve y viento (Ene 2017). En Santos Burguete, C. (Ed.). *Física del caos en la predicción meteorológica* (pp.795-803). Agencia Estatal de Meteorología, Madrid.

Jansá Clar, A. García-Moya, J.A. y Rodríguez, E. (1990): Numerical Experiments about Mediterranean Heavy Rain and Algerian Cyclogenesis. *Informe Técnico Instituto Nacional de Meteorología*.

Jódar Abellán, A., Ruiz Álvarez, M. y Melgarejo Moreno, J. (2018): Evaluación del impacto del cambio climático sobre una cuenca hidrológica en régimen natural (SE, España) usando un modelo SWAT. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 35, 240-253.

Karavitis, C.A., Tsesmelis, D.E., Skondras, N.A., Stamatakos, D., Alexandris, S., Fassouli, V., Vasilakou, C.G., Oikonomou, P.D., Gregorić, G., Grigg, N.S. (2014): Linking drought characteristics to impacts on a spatial and temporal scale. *Water Policy* 16, 1172–1197.

Kendall. S. (1976): *Time Series*. Oxford University Press, New York, 198 pp.

Köppen, W. (1936): Das geographische System der Klimate. En Köppen, W and Geiger, G. (eds.). *Handbuch der Klimatologie* (pp.1-44). Gebr.Bortraeger, Stuttgart.

Kundzewicz, Z.W., Radziejewski, M. y Pinskiwar, I. (2006): Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Climate Research*, 31(1), 51-58.

Lavers, D.A., Allan, R.P., Villarini, G., Lloyd Hughes, B., Brayshaw, D.J. y Wade, A.J. (2013): Future changes in atmospheric rivers and their implications for winter flooding in Britain. *Environmental Research Letters*, 8 (3), 034010.

Lehner, B., Döll, P., Alcamo, J., Henrichs, T. y Kaspar, F. (2006): Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. *Climatic Change*, 75(3), 273-299.

Leroux, L., Congedo, L., Bellón, B., Gaetano, R. y Bégué, A. (2018): Land Cover Mapping Using Sentinel-2 Images and the Semi-Automatic Classification Plugin: A Northern Burkina Faso Study. *QGIS and Applications in Agriculture and Forest*, 2, 119-151.

Linsley, R.K., Kokler, M.A. y Paulhus, J.C.H. (1975): *Hidrology for engineers*. McGraw, New York, 422 pp.

Llasat Botija, M.C. (2009): High magnitude storms and floods. En Woodward, J.C (ed.). *The Physical Geography of the Mediterranean*, Oxford University Press, 513-540.

Llorens, P., Poch, R., Latron, J., Gallart, F. (1997): Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area. I Monitoring design and results down to the event scale. *Journal of Hidrology*, 199, 331-345.

López Bermúdez, F. (1971): Las precipitaciones en Murcia de 1872 a 1971. *Papeles de Geografía*, 3,171-187.

López Bermúdez, F. (1972): El agua en la cuenca del Segura. *Papeles de Geografía*, 4, 9-24.

López Bermúdez, F. (1978): Inundaciones catastróficas, precipitaciones torrenciales y erosión en la provincia de Murcia. *Papeles de Geografía*, 8.



López Bermúdez, F. (1985): Sequía, aridez y desertificación en Murcia. *Murgetana*, 67, 5-73.

López Bermúdez, F. y Gutiérrez Escudero, J.D. (1983): Descripción y experiencias de la avenida e inundaciones de octubre de 1982 en la Cuenca del Segura. *Estudios Geográficos*, 170-171, 87-120.

López Bermúdez, F. y Alonso Sarria, F. (2001): Aridez y sequías en la Cuenca del Segura. En: Gil Olcina, A. y Morales Gil, A. (eds.). *Causas y consecuencias de las sequías en España* (pp. 187-205). Universidad de Alicante y Caja de Ahorros del Mediterráneo.

López Bermúdez, F., Conesa García, C. y Alonso Sarria, F. (2002): Floods: Magnitude and frequency in ephemeral channels of the Spanish mediterranean region. En Bull, L.J. y Kirkby, M.J. (eds.). *Dryland rivers. Hidrology and Geomorphology of semi-arid channels* (pp-329-350). Wiley, Chichester.

López Bermúdez F., Quiñonero Rubio, J.M., García Marín, R., Martín de Valmaseda Guijarro, E., Sánchez Fuster, M.C., Chocano Vano, C. y Guerrero García, F. (2014): *Fuentes y Manantiales de la Cuenca del Segura*. Murcia, Instituto Euromediterráneo del Agua y Confederación Hidrográfica del Segura, 210 pp.

López Bustins, J.A., Sánchez Lorenzo, A., Azorín Molina, C. y Ordoñez López, A. (2008): Tendencias de la precipitación invernal en la fachada oriental de la Península Ibérica. En Sigró Rodríguez, J., Brunet India, M., Aguilar Anfrons, E. (Eds.). *Cambio climático regional y sus impactos*. Asociación Española de Climatología, Tarragona, 161-171.

López Limia, B. (1990): El karts de la Sierra de Segura: propuesta de un itinerario didáctico. *Espacio, tiempo y forma*, Serie VI, Geografía (2), 315-328.

López Limia, B. y López Bermúdez, F. (1999): Morfología Kárstica del sector oriental del Prebético Andaluz. En Durán Valsero, J.J. y López Martínez, J. (Eds.). *Karts en Andalucía* (pp. 145-153). Instituto Geológico y Minero de España. Ministerio de Medio Ambiente.

López Martínez, F., Gil Guirado, S. y Pérez Morales, A. (2017): Who can you trust? Implications of institutional vulnerability in flood exposure along the Spanish Mediterranean coast. *Environmental Science & Policy*, 76, 29-39.

López Moreno, J. I., Vicente Serrano, S. M., Beguería, S., García Ruiz, J. M., Portela, M. M. y Almeida, A. B. (2009): Dam effects on droughts magnitude and duration

in a transboundary basin: The Lower River Tagus, Spain and Portugal. *Water Resources Research*, 45(2).

Lorente Plazas, R., Montávez, J.P., Ramos, A.M., Jerez, S., Trigo, R.M., Jiménez Guerrero, P. (2020): Unusual Atmospheric-River-like structures coming from Africa induce extreme precipitation over western Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125 (2).

Lorenzo Lacruz, Vicente Serrano, S.M., López Moreno, J.I., Morán Tejada, E. y Zabalza, J. (2012): Recent Trends in Iberian Streamflows (1945-2005). *Journal of Hydrology*, 414-415, 463-475.

Lorenzo Lacruz, J., Vicente Serrano, S.M., González Hidalgo, J.C., López Moreno, J.I. y Cortesi, N. (2013): Hydrological drought response to meteorological drought at various time scales in the Iberian Peninsula. *Climate Research*, 58, 117-131.

Lozano Parra, J., Schnabel, S. y Ceballos Barbancho, A. (2015): The role of vegetation covers on soil wetting processes at rainfall event scale in scattered tree woodland of Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*, 529, 951-961.

Lozano Parra, J., Lozano Fondón, C., Pulido Fernández, M. y García Marín, R. (2018): El papel del agua sobre la biomasa vegetal en la zona semiárida con clima mediterráneo de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 71, 91-108.

Luna Rico, M.Y, Guijarro Pastor, J.A. y López Díaz, J.A. (2012): Reconstrucción, homogeneidad y tendencias de las series históricas de precipitación mensual acumulada en la España peninsular y las islas baleares. En Rodríguez Puebla et al., (eds.). *Cambio climático. Extremos e impactos*. Asociación Española de Climatología, Agencia Estatal de Meteorología, Madrid, 499-507.

Maderey Rascón, L.E. (2005): Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico. *Serie Textos Universitarios*, 1,67-85.

Madsen, H. Lawrence, D., Lang, M., Martinkova, M. y Kjeldsen, T.R. (2014): Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe. *Journal of Hydrology*, 519, 3634-3650.

Maestre Valero, J.F. Martínez Granados, D., Martínez Álvarez, V. y Calatrava, J. (2013): Socio-economic impact of evaporation losses from reservoirs under past, current and future water availability scenarios in the semi-arid Segura Basin. *Water Resources Management*, 27(5), 1411-1426.

MAPAMA (2017): *Instrucción técnica para la elaboración de los planes de sequía y la definición del sistema global de indicadores de sequía prolongada y de escasez*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 20 pp.

Marco Ortega, V., Estrela Navarro, M.J. y Miró Pérez, J.J. (2018): Precipitación intensa en la Región de Murcia. Distribución espacial y relación con la circulación sinóptica (1980-2000). En Montávez Gómez, J.P et al., (eds.). *El Clima: aire, agua, tierra y fuego*. Asociación Española de Climatología, Agencia Estatal de Meteorología, Madrid, 103-113.

March, H., Hernández Hernández, M. y Saurí Pujol, D. (2015). Percepción de recursos convencionales y no convencionales en áreas sujetas a estrés hídrico: el caso de Alicante. *Revista de Geografía Norte Grande*, 60, 153-172.

March, H y Saurí Pujol, D. (2017): When sustainable may not mean just: a critical interpretation of urban water consumption decline in Barcelona. *Local Environment*, 22 (5), 523-535.

Marcos Valiente, O. (2001): Sequía: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones geográficas*, 26, 59-80.

Mariotti, A., Pan, Y., Zeng, N. y Alessandri, A. (2015): Long-term climate change in the Mediterranean region in the midst of decadal variability. *Climate Dynamics*, 44(5-6), 1437-1456.

Martí Talavera, J., Amor Jiménez, J.A., Giménez García, R., Ruiz Álvarez, V. y Biener Camacho, S. (2020): Episodio de lluvias torrenciales del 11 al 15 de septiembre de 2019 en el sureste de la península ibérica: Análisis meteorológico y efectos de las transformaciones en los usos del suelo (1990-2018) en los impactos territoriales. *Finisterra*, 55.

Martín Chivelet, J. (1992): *Las plataformas carbonatadas del Cretácico Superior de la margen bética (altiplano de Jumilla-Yecla, Murcia)*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.

Martín León, F. (2003): Las gotas frías/DANAs. Ideas y conceptos básicos. *Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción, Instituto Nacional de Meteorología*, 14 pp.

Martín Vide, J. (1998): Cambios en el sistema climático: escalas, métodos y efectos (desertificación). En: *Anales del seminario internacional sobre inserción del semiárido Latinoamericano en el proceso de globalización de la economía mundial*. IPA-UNIFACS, Salvador de Bahía, 515-528.

Martín Vide, J. (2003): *El tiempo y el clima*. Barcelona, Editorial Rubes, 128 pp.

Martín-Vide, J. (2004): Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. *International Journal of Climatology*, 24(8), 959–971.

Martín Vide, J. (2009): Subtropicalidad e influencia del Mediterráneo en los patrones espaciales de la precipitación en la Península Ibérica”. En Fernández Estrella et al. (ed.). *Predicciones de cambio climático y vegetación*, Universitat de València, 167-186 pp.

Martín Vide, J. (2016): La Oscilación del Mediterráneo Occidental: un patrón de teleconexión ad hoc para el este de la Península Ibérica. En Olcina Cantos, J. y Rico Amorós, A.M. (coords.). *Libro Jubilar en Homenaje al Profesor Antonio Gil Olcina* (pp.145-157). Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante.

Martín Vide, J. y Barriendos Vallvé, M. (1995): The use of rogation ceremony records in climatic reconstruction: a case study from Catalonia (Spain). *Climatic Change*, 30, 201-221.

Martín Vide, J. y Fernández Belmonte, D. (2001): El índice NAO y la precipitación mensual en la España peninsular. *Investigaciones geográficas*, 26,41-58.

Martín-Vide, J. y López-Bustins, J.A. (2006): The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(11), 1455-1475.

Martínez Carrión, J.M. (2005): En busca del bienestar: las migraciones en la historia de la Región de Murcia. En Pedreño Cánovas, A., y Hernández Pedreño, M. (Coords.). *La condición inmigrante. Exploraciones e investigaciones desde la Región de Murcia* (pp. 33-60). Universidad de Murcia.

Martínez Cortés, F. y Bañón Pelegrín, L. (1990): Análisis de componentes principales de las precipitaciones diarias en la Cuenca del Segura. Método de regionalización. XVIII Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española, Madrid, 121-157.

Martínez Fernández, J. y Esteve Selma, M.A. (2000a): El regadío en la cuenca del Segura y sus efectos ambientales y sociales. En *Gestión Alternativa del agua en la cuenca del Segura* (pp.53-71). Ecologistas en Acción Región Murciana, Murcia.

Martínez Fernández, J. y Esteve Selma, M.A. (2000b): Sequía estructural y algunas externalidades ambientales en los regadíos de la cuenca del Segura. *Ingeniería del Agua*, 7(2), 165-172.

Martínez Fernández, J., Fitz, C., Esteve Selma, M.A., Guaita, N. y Martínez López, J. (2013): Modelización del efecto de los cambios de uso de suelo sobre los flujos

de nutrientes en cuencas agrícolas costeras: el caso del Mar Menor (Sudeste de España). *Revista Ecosistemas*, 22(3), 84-94.

Martínez Guirado, J.E. y Mazón Martínez, T. (2016): Consecuencias de la crisis en el turismo. Un estudio sobre la Vega Baja del Segura. *Gran Tour. Revista de investigaciones turísticas*, 13, 63-81.

Martínez Hernández, C. y Romero Díaz, A. (2015): Cartografía y análisis espacial de los factores naturales que favorecen el abandono de tierras agrícolas en la Región de Murcia. En De la Riva, J. et al., (eds.): *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*. Asociación de Geógrafos Españoles, Universidad de Zaragoza, 1745-1754.

Mazón Martínez, T. y Aledo Tur, A. (2005): El dilema del turismo residencial: ¿turismo o desarrollo inmobiliario? En Mazón Martínez, T. y Aledo Tur, A. (eds.). *Turismo residencial y cambio social. Nuevas perspectivas teóricas y empíricas* (pp.11-31). Alicante, Editorial Aguaclara.

Mckee, T.B.N., Doesken, J., Kleist, J. (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Ananheim, 179-184.

MCT (2006): *La gestión del servicio del año 2006*. Ministerio de Medio Ambiente, 24 pp.

MCT (2019): *Mancomunidad de los Canales del Taibilla. El Organismo y su evolución histórica*. Ministerio para la Transición Ecológica, 41 pp.

Melgarejo Moreno, J. (2000): Balance económico del trasvase Tajo-Segura. *Investigaciones geográficas*, 24, 69-95.

Melgarejo Moreno, J y Martínez Nicolas, J.J. (2009): Influencia económica del Traspase Tajo-Segura en la agricultura de las provincias de Murcia, Alicante y Almería. En Melgarejo Moreno, J. (Cord.). *El Traspase Tajo-Segura: repercusiones económicas, sociales y ambientales en la cuenca del Segura* (pp.343-411). Caja de Ahorros Mediterráneo.

Melgarejo Moreno, J y Montaña Sanz, B. (2009): La eficiencia energética del trasvase Tajo-Segura. *CUIDES, Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible*, 3, 173-195.

Melgarejo Moreno, J. y Molina Giménez, A. (2010): *Incidencia del Traspase Tajo-Segura en la Provincia de Alicante*. Confederación empresarial de la provincia de Alicante- COEPA, 116 pp.

Melgarejo Moreno, J., Molina Giménez, A., y López Ortiz, M.I. (2014): El Memorándum sobre el trasvase Tajo-Segura. Modelo de resolución de conflicto hídrico. *Revista Aranzadi de Derecho Ambiental*, 29, 1-16.

Melgarejo Moreno, J., Molina Giménez, A. y López Ortiz, M.I. (2015): La Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT). Garantía del abastecimiento en el sureste de España. En Ortuño Padilla, A. (Eds.). *Como se gestiona una ciudad* (pp.165-189). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alicante.

Melgarejo Molina, J. y Molina Giménez, A. (2017): *La Mancomunidad de los Canales del Taibilla en la provincia de Alicante. Análisis de la implantación y evolución de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla en la provincia de Alicante y sus repercusiones*. Mancomunidad de los Canales del Taibilla y Universidad de Alicante, 288 pp.

Menéndez, M., Espejo, A., Pérez García, J., Méndez Incera, F.J. y Losada, I.J. (2014): Análisis climatológico de los temporales marítimos en la cornisa atlántica durante el invierno 2013-2014. En Fernández Montes, S. y Sánchez Rodrigo, F. (Eds.). *Cambio climático y cambio global*. Asociación Española de Climatología, Almería, 489-498.

Meseguer Ruiz, O. y Sarricolea, P. (2017): Detección de inhomogeneidades en series de precipitación diaria en la región centro-sur de Chile. *Interciencia*, 42, 242-249.

Mestre, O, Domonkos, P., Picard, F., Auer, I., Robin, S., Lebarbier, E., Böhm, R., Aguilar, E., Guijarro, J.A., Vertachnik, G., Klancar, M., Dubuisson, B. y Štěpánek, P. (2013): Homer: a homogenization software- methods and applications. *Időjárás, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 117,47-67.

Millán, M., Estrela Navarro, M.J. y Miró Pérez, J.J. (2005): Rainfall components: variability and spatial distribution in a Mediterranean Area (Valencia Region). *Journal of Climate*, 18(14), 2682-2705.

Ministerio de Medio Ambiente (2005): *Guía para la redacción de Planes Especiales de actuación en situación de alerta y eventual sequía*. Secretaría general para el territorio y la biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente, 80 pp.

Ministerio de Medio Ambiente (2007): *La sequía en España: Directrices para minimizar su impacto*, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 314 pp.

Miró Pérez, J.J. (2014): *Downscaling estadístico de series climáticas mediante redes neuronales: Reconstrucción en alta resolución de la temperatura diaria para la Comunidad Valenciana. Interpolación espacial y análisis de tendencias (1948-2011)*. Tesis Doctoral. Instituto Interuniversitario de Geografía de la Universidad de Alicante,

Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, y Departamento de Geografía de la Universidad de Valencia, 523 pp.

Miró Pérez, J.J., Estrela Navarro, M.J., Pastor, F. y Millán, M. (2009): Análisis comparativo de tendencias en la precipitación por distintos inputs, entre los dominios hidrológicos del Segura y del Júcar (1958-2008). *Investigaciones Geográficas*, 49, 129-157.

Miró Pérez, J.J., Olcina Cantos, J., Estrela Navarro, M.J., Caselles, V. (2016): Confort climático, cambio climático y actividad turística en Alicante. En Olcina Cantos, J. et al., (eds.). *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. Asociación Española de Climatología, Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante, 667-678.

Miró Pérez, J.J., Estrela Navarro, M.J., Caselles Miralles, V. y Gómez Doménech, I. (2018): Spatial and temporal rainfall changes in the Júcar and Segura basins (1955-2016): Fine-scale trends. *International Journal of Climatology*, 38(3), 4699-4722.

Miró Pérez, J.J., Estrela Navarro, M.J., Caselles Miralles, V. y Gómez Doménech, I. (2018a): Cambios estacionales en la distribución de tormentas de verano en las cuencas hidrográficas del Júcar y Segura. En Montávez Gómez, J.P. et al., (eds.). *El clima: aire, agua, tierra y fuego*. Asociación Española de Climatología, Cartagena, 469-482.

Mishra, A. K. y Singh, V. P. (2011): Drought modeling - A review. *Journal of Hydrology*, Vol. 403, pp. 157-175.

Mitchell, J.M., Dzeerdzevsky, B., Flohn, H., Hofmeyer, W.L., Lamb, H.H., Rao, K.N. y Wallen, C.C. (1966): *Climate change*, Technical Report, WMO, Geneva, 79 pp.

MITECO (2018): *Perfil ambiental de España 2018*. Ministerio para la Transición Ecológica, Madrid, 207 pp.

Myhre, G., Alterskjaer, K., Stjern, C.W., Hodnebrog, O., Marelle, L., Samset, B.H., Sillmann, J., Schaller, N., Fischer, E., Schulz, M. & Stohl, A. (2019): Frequency of extreme precipitation increases extensively with event rareness under global warming. *Scientific reports*, 9(1), 1-10.

Montaño Sanz, B. (2013): *Análisis económico de la desalinización*. Tesis Doctoral, Universidad de Alicante, 344 pp.

Montesinos, S., Erena, M., Fernández, L. y López, J.A. (2017): Desarrollo de metodologías para la caracterización y evaluación de daños por sequía en cereales y almendro. En Ruiz, L.A., Estornell, J y Erena, M. (Eds.). *Nuevas plataformas y sensores*.

*Aplicados a la gestión del agua, la agricultura y el medio ambiente*. XVII Congreso de la Asociación Española de Teledetección, Murcia, 93-96.

MOP (1968): *Estudio económico del trasvase Tajo-Segura*. Memoria, Dirección General de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas, Madrid.

Morales Gil, A. (1972): *El Altiplano de Jumilla- Yecla*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.

Morales Gil, A. (1999): El consumo agrícola de agua. Sus modalidades y trascendencia socioeconómica actual. En: Gil Olcina, A. y Morales Gil, A. (Eds.). *Los usos del agua en España* (pp.49-77). Instituto de Geografía y Caja de Ahorros del Mediterráneo, Alicante.

Morales Gil, A. y Rico Amorós, A.M. (1996): Sequías en el sureste de la península ibérica: Cambios en la percepción de un fenómeno natural. *Investigaciones Geográficas*, 15, 127-143.

Morales Gil, A., Olcina Cantos, J. y Rico Amorós, A.M. (1999): Diferentes percepciones de la sequía en España: adaptación, catastrofismo e intentos de corrección. *Investigaciones Geográficas*, 22, 5-46.

Morales, Gil, A., Rico Amorós, A.M. y Hernández Hernández, M. (2005): El trasvase Tajo-Segura. *Observatorio Medioambiental*, 8, 73-110.

Morales Yago, F.J. (2004): Efectos del abastecimiento de agua en el paisaje urbano de Yecla (Murcia). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 37, 299-315.

Morote Seguido, A.F., Rico Amorós, A.M., Moltó Mantero, E. (2017): La producción de agua desalinizada en las regiones de Murcia y Valencia. Balance de un recurso alternativo con luces y sombras. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 63, 473-502.

Morote Seguido, A.F. (2018): La desalinización. De recurso cuestionado a recurso necesario y estratégico durante situaciones de sequía para los abastecimientos en el Demarcación Hidrográfica del Segura. *Investigaciones Geográficas*, 70,47-69.

Morote Seguido, A.F., Olcina Cantos, J. y Rico Amorós, A.M. (2018): Un trasvase cuestionado: El Tajo-Segura. Repercusiones socio-económicas en el sureste español e incertidumbre ante el cambio climático. *Revista de estudios regionales*, 113, 29-70.

Morote Seguido, A.F. y Rico Amorós, A.M. (2018): Perspectivas de funcionamiento del Trasvase Tajo-Segura (España): efectos de las nuevas reglas de explotación e impulso de la desalinización como recurso sustitutivo. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 79, 1-43.



Morote Seguido, A.F. y Hernández Hernández M. (2019): La urbanización del litoral alicantino: un modelo urbano insostenible, vulnerable a la sequía y a los efectos del cambio climático. *Ciudad y Territorio. Estudios territoriales*, 51 (201), 491-510.

Mudelsee, M. (2011). The bootstrap in climate risk analysis. In *Extremis: Disruptive Events and Trends in Climate and Hydrology* (pp. 44–58). Springer, Berlin, Heidelberg.

Mudelsee, M., Börngen, M., Tetzlaff, G., & Grünewald, U. (2003): No upward trends in the occurrence of extreme floods in central Europe. *Nature*, 425(6954), 166-169.

Muñoz, C., Schultz, D. y Vaughnan, G., (2020): A midlatitude climatology and interannual variability of 200-and 500 hPa cut-off lows. *Journal of Climate*, 33(6), 2201-2222.

Nalbantis, I. y Tsakiris, G. (2009): Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5); 881-897.

NDMC (1995); Understanding and Defining Drought. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska.

Norran, C. y Douguédroit, A. (2006): Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950-2000). *Theoretical and Applied Climatology*, 83 (1-4), 89-106.

Nunes, A. N., & Lourenço, L. (2015). Precipitation variability in Portugal from 1960 to 2011. *Journal of Geographical Sciences*, 25(7), 784-800

Núñez Mora, J.A. (2015): *Temporal de marzo de 2015 en la Comunidad Valenciana*. Estudio de la Delegación Territorial de AEMET en la Comunidad Valenciana, 15 pp.

Núñez Mora, J.A. (2019): *Análisis meteorológico y climático del temporal de precipitaciones torrenciales de septiembre de 2019 en la Comunidad Valenciana. Primera parte*. Agencia Estatal de Meteorología.

Olcina Cantos, J. (1994): *Riesgos climáticos en la península ibérica*. Libros Pentalón, Madrid, 415 pp.

Olcina Cantos, J. (2001a): Situaciones atmosféricas y tipos de tiempo. En Martín Vide, J y Olcina Cantos, J. (eds.). *Clima y tiempos en España* (pp.81-102). Alianza Editorial, Madrid.

Olcina Cantos, J. (2001b): Tipología de sequías en España. *Ería: Revista cuatrimestral de geografía*, 56, 201-227.

Olcina Cantos, J. (2001c): Causas de las sequías en España. Aspectos climáticos y geográficos de un fenómeno natural. En Gil Olcina, A. y Morales Gil, A. (Eds.). *Causas y consecuencias de las sequías en España* (pp.49-109). Caja de Ahorros del Mediterráneo e Instituto Interuniversitario de Geografía, Alicante.

Olcina Cantos, J. (2002): Nuevos retos en depuración y desalación de aguas en España. *Investigaciones geográficas*, 27, 5-34.

Olcina Cantos, J. (2003): Riesgos de origen climático: causas, efectos y medidas de mitigación. *Áreas, revista de Ciencias Sociales*, 23, 67-98.

Olcina Cantos, J. (2006): *¿Riesgos Naturales? I. Sequías e inundaciones*. Editorial DaVinci Continental. Colección Geoambiente XXI, Barcelona, 220 pp.

Olcina Cantos, J. (2008): Cambios en la consideración territorial, conceptual y de método de los riesgos naturales. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 12.

Olcina Cantos, J. (2009): España, territorio de riesgo. *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*, 17, 242-253.

Olcina Cantos, J. (2010): El tratamiento de los riesgos naturales en la planificación territorial de escala regional. *Papeles de Geografía*, 51-52, 223-234.

Olcina Cantos, J. (2012a): Turismo y cambio climático: una actividad vulnerable que debe adaptarse. *Investigaciones Turísticas*, 4, 1-34.

Olcina Cantos, J. (2012b): De los mapas de zonas afectadas a las cartografías de riesgo de inundación en España. *Anales de Geografía*, 32 (1), 91-131.

Olcina Cantos, J. (2017): Incremento de episodios de inundación por lluvias de intensidad horaria en el sector central del litoral mediterráneo español: análisis de tendencias en Alicante. *Sémata, Ciencias Sociais e Humanidades*, 29, 143-163.

Olcina Cantos, J. y Rico Amorós, A. M. (1995): Sequías y golpes de calor en el sureste ibérico: efectos territoriales y económicos. *Investigaciones Geográficas*, 13, 47-79.

Olcina Cantos, J. y Miró Pérez, J. (1998): Influencia de las circulaciones estivales de brisa en el desarrollo de tormentas convectivas. *Papeles de Geografía*, 28, 109-132.

Olcina Cantos, J. y Ayala Carcedo, F.J. (2002): Riesgos naturales. Conceptos fundamentales y clasificación. En Ayala Carcedo, F.J. y Olcina Cantos (coords.). *Riesgos Naturales* (pp. 41-74). Editorial Ariel, Barcelona.

Olcina Cantos, J. y Soriano Andreu, F.J. (2002): Episodios térmicos extremos. Olas de frío, temporales de nieve y secuencias de helada. Olas de Calor. En Ayala

Carcedo, F.J. y Olcina Cantos (coords.). *Riesgos Naturales* (pp. 619-636). Editorial Ariel, Barcelona.

Olcina Cantos, J. y Azorín Molina, C. (2004): Frentes de brisa en el Levante español. *Estudios Geográficos*, 254, 61-100.

Olcina Cantos, J. y Giménez Ferrer, J.M. (2004): Riesgo de inundación en tierras alicantinas. En Gil Olcina, A et al., (eds.). *Aguaceros, aguaduchos e inundaciones en áreas urbanas alicantinas* (pp. 21-36). Universidad de Alicante.

Olcina Cantos, J. y Moltó Mantero (2010): Recursos de agua no convencionales en España: Estado de la cuestión, 2010. *Investigaciones Geográficas*, 51,131-163

Olcina Cantos J., Hernández Hernández, M., Rico Amorós, A.M. y Martínez Ibarra, E. (2010): Increased risk of flooding on the coast of Alicante (Region of Valencia, Spain). *Natural Hazards*, 10 (11), 2229-2234.

Olcina Cantos, J. y Vera Rebollo, J.F. (2016): Adaptación del sector turístico al cambio climático en España. La importancia de las acciones a escala local y en empresas turísticas. *Anales de Geografía*, 36, 321-352.

Olcina Cantos, J., Morote Seguido, A.F. y Hernández Hernández, M. (2018): Evaluación de los riesgos naturales en las políticas de ordenación urbana de los municipios de la provincia de Alicante. Legislación y cartografía de riesgo. *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*, 57 (3),152-176.

OMM (1990): Vocabulario Meteorológico Internacional. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, nº182.

ONU (2002): *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. Informe GEO-3*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairoibi, 426 pp.

Oria Iriarte (2019): Extremo climáticos relacionados con la precipitación durante los últimos 50 años en España: Evolución de las distribuciones y tendencias. *Blog de la Agencia Estatal de Meteorología*, Madrid.

Oria Iriarte (2020): ¿Ha sido Gloria la mayor borrasca mediterránea de los últimos tiempos? *Blog de la Agencia Estatal de Meteorología*, Madrid.

Palmer, W.C. (1965): Meteorological drought. *Research Paper*, 45. US Department of Commerce Weather Bureau, Washington DC, 58 pp.

Palmer, W.C. (1968): Keeping track of crop moisture conditions nationwide: the new Crop Moisture Index. *Weatherwise*, 21, 156-161.

Palomares Calderón de la Barca, M. (2015): *Breve historia de la Agencia Estatal de Meteorología, AEMET: el servicio meteorológico español*. Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 22 pp.

Pastor Guzmán, F., Valiente Pardo, J.A. y Estrela Navarro, M.J. (2015): Sea surface temperature and torrential rains in the Valencia region: modelling the role of recharge áreas. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15 (7), 1677-1693.

Palutikof, J.P. (2003): Analysis of Mediterranean climate data: measured and modelled. In: Bolle HJ (ed). *Mediterranean Climate: Variability and Trends*. Springer, Berlin.

Palutikof, J.P, Conte M., Casimiro Mendes, J., Goodess C.M. y Espirito Santo, F. (1996): Climate and climate change. In: Brandt CJ, Thornes JB (eds) *Mediterranean desertification and land use*. John Wiley and Sons, London.

Pauling, A. y Paeth, H. (2007): On the variability of return periods of European Winter precipitation extremes over the last three centuries. *Climate of the Past*, 3,65-76.

Pell, M.C., Finlayson, B.L. y McMahon, T.A. (2007): Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and earth system sciences discussions*, 4(2), 439-473.

Pellicer Martínez, F. y Martínez Paz, J.M. (2018): Climate change effects on the hydrology of the headwaters of the Tagus River: Implications for the management of the Tagus-Segura transfer. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22 (12), 6473-6491.

Pena Ortiz, C., Gallego, D., Ribera, P., Ordonez, P. y Alvarez Castro, M.D.C. (2013): Observed trends in the global jet stream characteristics during the second half of the 20<sup>th</sup> century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118 (7), 2702-2713.

Peña Gallardo, M., Gámiz Fortis, S.R., Castro Díez, Y. y Esteban Parra, M.J. (2016): Análisis comparativo de índices de sequía en Andalucía para el periodo 1901-2012. *Cuadernos de Investigación geográfica*, 42, 67-88.

Pereira, L.F. y Guimarães, R.M.F. (2019): Mapping land uses/covers with Semi-automatic Classification Plugin: which data set, classifier and sampling design? *Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais*, 7(1), 70-76.

Pérez Cueva, A.J. (1983): La sequía de 1978-1982 ¿Excepcionalidad o inadaptación? *Agricultura y sociedad*, 27, 225-244.

Pérez Martín, M.A., Thurston, W., Estrella, T. y Del Amo, P. (2013): Cambio en las series hidrológicas de los últimos 30 años y sus causas. El efecto 80. *III Jornadas de*

*Ingeniería del Agua. La protección contra los recursos hídricos*. Universidad Politécnica Valencia, 527-534.

Pérez Morales, A. (2008): Aumento del riesgo de inundación por ocupación indebida de las áreas de convergencia de aguas en el Sur de la Región de Murcia. *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 12.

Pérez Morales, A., Gil Guirado, S. y Olcina Cantos, J. (2018): Housing bubbles and the increase of flood exposure. Failures in flood risk management on the Spanish south-eastern coast (1975-2013). *Journal of Flood Risk Management*, 11, 302-313.

Pérez Sánchez, J y Senent Aparicio, J. (2018): Analysis of meteorological droughts and dry spells in semiarid regions: a comparative analysis of probability distribution functions in the Segura Basin (SE Spain). *Theoretical and applied climatology*, 133(3-4), 1061-1074.

Perry, C., Steduto, P., Allen, R.G. y Burt, C.M. (2009): Increasing productivity in irrigated agriculture. Agronomic constraints and hydrological realities. *Agricultural Water Management*, 96 (11), 1517-1524.

Peterson, T. y Easterling, D. (1994): Creation of homogenous composite climatological reference series. *International Journal of Climatology*, 14, 671-679.

Petit, C.C. y Lambin, E.F. (2002): Impact of data integration technique on historical land-use/land-cover change: comparing historical maps with remote sensing data in the Belgian Ardennes. *Landscape Ecology*, 17, 117-132.

Philandras, C.M., Nastos, P.T., Kapsomenakis, J., Douvis, K.C. Tselioudis, G. y Zeferos, C.S. (2011): Long term precipitation trends and variability within the Mediterranean region. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 11, 3235-3250.

Pita López, M.F. (1989): La sequía como desastre natural. Su incidencia en el ámbito español. *Norba: revista de geografía*, 6, 31-62.

Pita López, M.F. (1995): *Las sequías: análisis y tratamiento*. Junta de Andalucía, Sevilla, 56 pp.

Pita López, M.F. (2000): Un nouvel indice pour les domaines méditerranéens. Application au bassin du Guadalquivir (sud-ouest de l'Espagne). *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 13, 225-233.

Pitarch Garrido, M.D. y Membrado Tena, J.C. (2014): Análisis de la evolución de los usos del suelo urbano durante la burbuja inmobiliaria (1996-2006) en las principales ciudades valencianas. *Cuadernos de Geografía*, 95-96, 149-173.

Polade, S. D., Gershunov, A., Cayan, D. R., Dettinger, M. D., & Pierce, D. W. (2017): Precipitation in a warming world: Assessing projected hydro-climate changes in California and other Mediterranean climate regions. *Scientific reports*, 7(1), 1-10.

Pontes Filho, J. D., Portela, M. M., Marinho de Carvalho Studart, T., & Souza Filho, F. de A. (2019). A Continuous Drought Probability Monitoring System, CDPMS, Based on Copulas. *Water*, 11(9), 1925.

Pontius Jr, R.G. y Lippit, C. (2004): A method to distinguish real landscape change from map error during map comparison. In *Conference proceedings of the joint meeting of The Fifteenth Annual Conference of The International Environmetrics Society and The Sixth Annual Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*. Portland ME, 9p.

Pontius Jr, R.G., Shusas, E. y McEachern, M. (2004): Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 101 (2-3), 251-268.

Poquet, D., Belda, F., & García-Haro, F. J. (2008). Seguimiento y regionalización de la sequía en la Península Ibérica mediante SPI y técnicas de teledetección. En *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC: Las Palmas de Gran Canaria, 707-713.

Portela, M.M., Zeleleñáková, M., Santos, J.F., Purcz, P., Silva, A.T. y Hlavatá, H. (2015): A comprehensive drought analysis in Slovakia using SPI. *European Water*, 51,15-31.

Pulido Fernández, M., García Marín, R. Schanabel, S., Lavado Contador, J., Miralles Mellado, I., Barrera González, J. (2019): La construcción de infraestructuras de abastecimiento de agua como respuesta de supervivencia y modernización del sector agrario español. *Finisterra*, 54 (111), 81-100.

Pulido Velázquez, D., García Arostegui, J.L., Molina, J.L., y Pulido Velázquez, M. (2015): Assessment of future groundwater recharge in semi-arid regions under climate change scenarios (Serral-Salinas, acuífero, SE Spain). Could increased rainfall variability increase the recharge rate? *Hydrological processes*, 29(6), 828-844.

Quereda Sala, J. y Montón Chiva, E. (1997): Temporales de Levante en la fachada mediterránea española: ¿sucesos imprevisibles? *Investigaciones geográficas*, 18, 5-17.

Quereda Sala, J., Montón Chiva, E., Escrig Barberá, J., Gil Olcina, A., Olcina Cantos, J. y Rico Amorós, A.M. (2001): *Nuestro porvenir climático: ¿Un escenario de aridez?* Atenea, Castellón de la Plana, Publicaciones de la Universidad Jaume I, 223 pp.

Quereda Sala, J., Montón Chiva, E., Escrig Barbera, J., Ruescas Orient, A.B. y Molla Cantavella, B. (2006): La temperatura superficial del mar como señal de alerta en las grandes ciclogénesis mediterráneas. En Chastagnaret, G. y Gil Olcina, A. (eds.). *Riesgo de inundaciones en el mediterráneo occidental* (91-114 pp.). Colección de la Casa de Velázquez, Universidad de Alicante.

Quereda Sala, J. y Montón Chiva, E. (2019): Los elementos del clima: Distribución territorial de temperaturas y precipitaciones. En Olcina Cantos, J. y Moltó Mantero, E. (coords.). *Clima y tiempos del país valenciano* (72-77 pp.). Publicacions Universitat D'Alacant, Alicante.

Quintas Ripoll, L. (2013): El papel del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX en la difusión de los datos hidrológicos. *Ingeniería Civil*, 170, 53-65.

Rajczak, J., Pall, P. y Schär, C. (2013): Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 118, 3610-3626.

Rampino, M.R. y Self, S. (1982): Historie Eruptions of Tambora (1815), Krakatoa (1883) and Agung (1963), their Stratospheric Aerosols and Climatic Impact. *Quaternary Research*, 18, 127-143.

Rasilla Álvarez, D.F. (1994): Aplicación de un método de análisis climático a la estimación de las precipitaciones y su régimen en la Cuenca del Duero. *Serie Geográfica*, 4, 57-80.

Raziei, T., Martins, D. S., Bordi, I., Santos, J. F., Portela, M. M., Pereira, L. S., y Sutura, A. (2015): SPI Modes of Drought Spatial and Temporal Variability in Portugal: Comparing Observations, PT02 and GPCP Gridded Datasets. *Water Resources Management*, 29(2), 487-504.

Rebora, N., Molini, L., Casella, E., Comellas, A., Fiori, E., Pignone, F., Siccardi, F., Sivestro, F., Tanelli, S. y Parodi, A. (2013): Extreme rainfall in the Mediterranean: What Can We Learn from Observations? *Journal of Hydrometeorology*, 14, 906-922.

Recaño, J. (1996): Las migraciones interiores en el área mediterránea (1860-1960). *Centre d'Estudis Demografics*, 120, 1-30.

Redolat, D., Monjo, R., Lopez-Bustins, J. A. y Martin-Vide, J. (2019): Upper-Level Mediterranean Oscillation index and seasonal variability of rainfall and temperature. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(3-4), 1059-1077.

Redondo Orts, J.A. (2018): *Repercusiones Económicas de la Sequía 2015-2018 en el Regadío de la Demarcación Hidrográfica del Segura*. Trabajo fin de máster. Universidad de Alicante, 219 pp.

Reek, T, Doty, S.R. y Owen, T.W. (1992): A deterministic approach to the validation of historical daily temperature and precipitation data from the cooperative network. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 73(6), 753-765.

Rey Benayas, J.M., Martins, A., Nicolau, J.M. y Schulz, J.J. (2007): Abandonment of agricultural land: an overview of drivers and consequences. *CAB reviews: Perspectives in agriculture, veterinary science, nutrition and natural resources*, 2(57), 1-14.

Ricard, D., Ducrocq, V. y Auger, L. (2012): A climatology of the mesoscale environment associated with heavily precipitating events over a northwestern Mediterranean area. *Journal of applied meteorology and climatology*, 51(3), 468-488.

Ricart Casadevall, S. y Rico Amorós, A. M. (2019): Assessing technical and social driving factors of water reuse in agriculture: A review on risks, regulation and the yuck factor. *Agricultural Water Management*, 217, 426-439.

Ricart Casadevall, S., Villar Navascués, R., Gil Guirado, S., Rico Amorós, A. M. y Arahuetes, A. (2020): How to Close the Gap of Desalinated Seawater for Agricultural Irrigation? Confronting Attitudes between Managers and Farmers in Alicante and Murcia (Spain). *Water*, 12(4), 1132.

Richman, M.B. (1996): Rotation of principal components. *Journal of climatology*, 6(3), 293-335.

Rico Amorós, A.M. (2004): Sequías y abastecimiento de agua potable en España. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 37, 137-181.

Rico Amorós, A. M. (2010): Plan Hidrológico Nacional y Programa AGUA: Repercusión en las regiones de Murcia y Valencia. *Investigaciones Geográficas*, 51, 235-267.

Rico Amorós, A.M. (2016): La Mancomunidad de los Canales del Taibilla: Un modelo de aprovechamiento conjunto de fuentes convencionales y desalinización de agua marina. En Olcina Cantos, J. y Rico Amorós, A.M. (coords.). *Libro Jubilar en Homenaje al Profesor Antonio Gil Olcina* (pp.367-394). Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante.

Rico Amorós, A.M., Hernández Hernández, M., Olcina Cantos, J., Martínez Ibarra, E. (2010): Percepción del riesgo de inundaciones en municipios litorales alicantinos: ¿Aumento de la vulnerabilidad? *Papeles de Geografía*, 52, 245-256.



Ríos Cornejo, D. Penas, A. y Del Río, S. (2013): Comparative analysis of precipitation trends in continental Spain over the period 1961-2010. *International Journal of Geobotanical Research*, 3, 1-18.

Rivera Pérez, A. (1990): Las situaciones de lluvias torrenciales en el área mediterránea española y el plan PREVIMET. En, *La Meteorología en el mundo Iberoamericano*, 2, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.

Riviére, G. (2011): A dynamical interpretation of the poleward shift of the jet streams in global warming scenarios. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 68(6), 1352-1272.

Robledano Aymerich, F., Romero Díaz, A., Belmonte Serrato, F., Fernández Carillo, M.A., Martínez Hernández, C., Sánchez Martín, M. y Zapata Pérez, V.M. (2016): Consecuencias del abandono de cultivos en la Región de Murcia y recomendaciones de gestión. En Romero Díaz, A. (Coord.). *Abandono de cultivos en la Región de Murcia. Consecuencias Ecogeomorfológicas* (pp.227-263).Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia.

Robock, A. (2000): Volcanic eruptions and climate. *Reviews of geophysics*, 38 (2), 191-219.

Rodríguez Ballesteros, C. (2012): Olas de Calor y de Frío en España desde 1975. *Repositorio de la Agencia Estatal de Meteorología*, 21 pp.

Rodríguez Barrera, R., Llasat, M.C. y Wheeler, D. (1999): Analysis of the Barcelona precipitation series 1850-1991. *International Journal of Climatology*, 19, 787-801.

Rodríguez Casado, R., Garrido Colmenero, A., Llamas, M. R. y Varela Ortega, C. (2009): La huella hidrológica de la agricultura española. *Ingeniería del agua*, 16(1), 27-40.

Rodríguez Estrella, T. (2006): Geología de la Región de Murcia. En Conesa, C. (Ed.). *El medio físico de la Región de Murcia* (pp. 11-46). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia.

Rodríguez Estrella, T. y Conesa García, C. (1991): La cartografía geológica de la Región de Murcia. *Atlas de la Región de Murcia* (pp. 49-60). Murcia, Diario La Opinión.

Rodríguez López, J. (2009): El mercado de vivienda y la crisis financiera en 2009. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales (CyTET)*, 41 (159), 141-160.

Rodríguez Valero, M.I. y Alonso Sarría, F. (2019): Clasificación de imágenes Landsat 8 en la Demarcación Hidrográfica del Segura. *Revista de Teledetección*, 53, 33-44.

Rojas Vilches, O. y Martínez Reyes, C. (2011): Riesgos naturales: evolución y modelos conceptuales. *Revista Universitaria de Geografía*, 20, 83-116.

Romero Díaz, A. y López Bermúdez, F. (2009): *Erosión y desertificación en cuencas neógeno-cuaternarias de la Región de Murcia*. Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua, Murcia, 153 pp.

Romero Díaz, A., Belmonte Serrato, F., Ruiz Sinoga, J.D. y Pérez Correas, J.D. (2010): Episodio de lluvias torrenciales del 27-28 septiembre de 2009. Las inundaciones del Campo de Cartagena (Murcia). En *II Jornades de Meteorologia i Climatologia de la Mediterrània Occidental*, Valencia.

Romero Díaz, A., Belmonte Serrato, F., Docampo Calvo, A.M. y Ruiz Sinoga, J.D. (2011): Consecuencias del sellado de los suelos en el Campo de Cartagena (Murcia). En Gozávez, V. y Marco, J.A. (eds.). *Urbanismo expansivo: de la utopía a la realidad*. XXII Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles, Universidad de Alicante, 605-616.

Romero Díaz, A., Belmonte Serrato, F. y Ruiz Sinoga, J.D. (2011): Tasas de erosión hídrica en la Región de Murcia. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 56, 129-153.

Romero Díaz, A., Robledano Aymerich, F., Belmonte Serrato, F., Zapata, V.M. y Ruiz Sinoga, J.D. (2012): Influencia del abandono de cultivos en los procesos de degradación de suelos en la Región de Murcia. En González, E. (Coord.). *Avances de la Geomorfología en España 2010-2012*. Universidad de Cantabria, 587-590.

Romero Díaz, A., Caballero Pedraza, A. y Pérez Morales, A. (2017): Expansión urbana y turismo en la Comarca del Campo de Cartagena-Mar Menor (Murcia): Impacto en el sellado del suelo. *Cuadernos de turismo*, 39, 521-546.

Romero Fresneda, R., Moreno García, J.V., Martínez Núñez, L., Huarte Ituláin, M.T., Rodríguez Ballesteros, C. y Botey Fullat, M.R. (2020): *Comportamiento de las precipitaciones en España y periodos de sequía (periodo 1961-2018)*. Nota técnica 32. Agencia Estatal de Meteorología, Madrid, 363 pp.

Romero March, R., Ramis, C. y Guijarro Pastor, J.A. (1999): Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: an objective classification. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 19(1), 95-112.

Romera Franco, J.D. y Romera Sánchez, J. (2016): *La riada de San Wenceslao en Lorca y Puerto Lumbreras. Riesgo de inundación y gestión del territorio*. Ayuntamiento de Lorca, 216 pp.

Royé, D. y Martí Ezpeleta, A. (2016): Análisis espacio-temporal de las noches cálidas en el litoral mediterráneo de España. En Olcina Cantos, J. et al., (eds.). *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. Asociación Española de Climatología, Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante, 689-700.

Ruiz Álvarez, M., Castillo Gomariz, F. y Alonso Sarría, F. (2018): Análisis espacio-temporal de los cambios previstos en la evapotranspiración de referencia durante el siglo XXI en la Demarcación Hidrográfica del Segura (España) a partir de los modelos climáticos globales MPEH5 y MPEH5C. *Revista de Geografía Norte Grande*, 71, 35-58

Ruiz Álvarez, V., Sánchez Lorenzo, A. y García Marín, R. (2014): Creación de una base de datos con series largas de precipitación en la Región de Murcia y análisis temporal de la serie media anual, 1914-2013. *Revista de Climatología*, 14, 81-97.

Ruiz Álvarez, V. y Jódar Abellán, A. (2016): Riesgo de sequía en la Región de Murcia: actuaciones y propuestas de mitigación. En García Marín, R. et al., (eds.). *XV Congreso Ibérico de Geografía. Retos y tendencias de la Geografía Ibérica*. Asociación de Geógrafos Españoles, Universidad de Murcia, 367-375.

Ruiz Álvarez, V., Belmonte Serrato, F., García Marín, R. y Ruiz Álvarez, M. (2016): Análisis y evolución temporal de las secuencias pluviométricas secas de larga duración en la Región de Murcia (1864-2015). En Olcina Cantos, J. et al., (eds.). *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. Asociación Española de Climatología, Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante, 335-344.

Ruiz Álvarez, V., Belmonte Serrato, F. y García Marín, R. (2018): Cambios y tendencias en el número de días de lluvia en la Región de Murcia (1947-2016). En *XXXV Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española*. Asociación Meteorológica Española, León, 420-431.

Ruiz Álvarez, V., Belmonte Serrato, F., García Marín, R. y Ruiz Álvarez, M. (2019): Análisis comparativo de dos índices de sequía (SPI y SPEI) en la Región de Murcia (SE de España): evaluación del impacto del incremento de las temperaturas en las sequías. En *Crisis y espacios de oportunidad: retos para la Geografía: Libro de Actas Asociación Española de Geografía*, Valencia, 475-493.

Rupérez Moreno, C., Senent Aparicio, J., Martínez Vicente, D., García Aróstegui, J.L., Calvo-Rubio, F.C., y Pérez-Sánchez, J. (2017) :Sustainability of irrigated agriculture

with overexploited aquifers: The case of Segura basin (SE, Spain). *Agricultural Water Management*, 182, 67-76.

Sahuquillo, A. (2016): La explotación intensa de los acuíferos en la cuenca baja del Segura y en la cuenca del Vinalopó. *Ingeniería del Agua*, 20(1), 13-27.

San Martín González, E. (2011): *Un análisis económico de los trasvases de agua intercuencas: el trasvase Tajo-Segura*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Educación a Distancia, 525 pp.

Sánchez Laulhé, J.M. (2017): La corriente en chorro sobre el Atlántico Norte en el invierno 2009-2010. *Revista Tiempo y Clima*, 58, 24-27.

Sánchez Lorenzo, A., Vicente Serrano, S.M., Wild, M., Calbó, J., Azorín Molina, C. y Peñuelas, J. (2014): Evaporation trends in Spain: a comparison of Class A pan and Piché atmometer measurements. *Climate Research*, 61,269-280.

Sánchez Toribio, M.I., García Marín, R., Conesa García, C. y López Bermudéz, F. (2010): Evaporite demand and wáter requirements of the principal crops of the Guadalentín valley (SE Spain) in drought periods. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8, 66-75.

Santos, J.F., Pulido Calvo, I. y Portela, M.M. (2010): Spatial and temporal variability of droughts in Portugal. *Water Resources Research*, 46(3).

Santos, J.F., Portela, M.M. y Pulido Calvo, I. (2011): Regional frequency analysis of droughts in Portugal. *Water Resources Management*, 25(14),3537.

Sarricolea, P., Meseguer Ruiz, O, Serrano Notivoli, R., Soto, M.V. y Martín Vide, J. (2019): Trends of daily precipitation concentration in Central-Southern Chile. *Atmospheric Research*, 215, 85-98.

Saura Martínez, J. (2010): El fenómeno de las inundaciones: la riada del Guadalquivir en el pasado invierno 2009-2010. *Revista de Obras Públicas*, 157 (3512).

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.

Schönwiese, C.D., Rapp, J. (1997): *Climate trend atlas of Europe based on observations 1891-1990*. Kluwer Academic Publishers, 224 pp.

SCRATS (2017): *Análisis de soluciones para el aporte de recursos complementarios a las zonas abastecidas por el ATS. Actuaciones viables a corto, medio y largo plazo*. Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura, 9 pp.

Seidel, D.J., Fu, Q., Randel, W.J. y Reichler, T.J. (2008): Widening of the tropical belt in a changing climate. *Nature Geoscience*, 1, 21-24.

Senent Aparicio, J., Pérez Sánchez, J. y Bielsa Artero, A.M. (2016): Assessment of Sustainability in Semiarid Mediterranean Basins: Case Study of the Segura Basin, Spain. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(2), 67-84.

Senent Aparicio, J., Pérez Sánchez, J., Carrillo García, J. y Soto, J. (2017): Using SWAT and Fuzzy TOPSIS to assess the impact of climate change in the headwaters of Segura River Basin (SE Spain). *Water*, 9(2), 149.

Serra de Larrocha, C. (1995): *Análisis en componentes principales y algoritmos de clasificación automática : aplicación al estudio del comportamiento de la precipitación en Catalunya y a la obtención local de tipos de tiempo*. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 447 pp.

Serrano Martínez, J.M. (2007): El turismo residencial en la Región de Murcia frente a los nuevos retos. *Cuadernos de Turismo*, 19,189-216.

Serrano Martínez, J.M. (2011): La vivienda en España dentro de un nuevo modelo económico. El papel y los límites del sector turístico ¿hacia el declinar de un ciclo? *Cuadernos de Turismo*, 27, 85-874.

Serrano Notivoli, R. (2017): *Reconstrucción climática instrumental de la precipitación diaria en España: ensayo metodológico y aplicaciones*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, 234 pp.

Serrano Notivoli, R., De Luis, M., & Beguería, S. (2017): An R package for daily precipitation climate series reconstruction. *Environmental Modelling & Software*, 89, 190-195.

Serrano Notivoli, R., Martín Vide, J., Saz, M.A., Longares, L.A, Beguería, S., Sarricolea, P., Meseguer Ruiz, O. y De Luis, M. (2018a): Spatio-temporal variability of daily precipitation concentration in Spain based on a high-resolution gridded data set. *International Journal of Climatology*, 38, 518-530.

Serrano-Notivoli, R., Beguería, S., Saz, M. Á. y De Luis, M. (2018b): Recent trends reveal decreasing intensity of daily precipitation in Spain. *International Journal of Climatology*, 38(11), 4211–4224.

Serrano Pérez, A., Mateos, V.L. y García, J.A. (1999): Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian peninsula for the period 1921-1995. *Physics and Chemistry of the Earth Part*, 24 (1-2). 85-90.

Shafer, B.A. y Dezman, L.E. (1982): Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. *Proceedings of the Western Snow Conference*, 164-175.

Shaltout, M. y Anders, O. (2014): Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea. *Oceanologia*, 56(3), 411-443.

Shammout, M. Qtaishat, T., Rawabdeh, H. y Shatanawi, M. (2018): Improving water use efficiency under deficit irrigation in the Jordan Valley. *Sustainability*, 10(11), 4317.

Shrestha, M. K., Recknagel, F., Frizenschaf, J., & Meyer, W. (2017). Future climate and land uses effects on flow and nutrient loads of a Mediterranean catchment in South Australia. *Science of The Total Environment*, 590, 186-193.

Silva, A. T., Portela, M. M., & Naghettini, M. (2012): Hydrology and Earth System Sciences Nonstationarities in the occurrence rates of flood events in Portuguese watersheds. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 241–254.

Silverman, B.W. (1986): *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. CRC Press, 26.

Skirris, N., Sofianos, S., Gkanasos, A., Mantziafou, A., Vervatis, V., Axaopoulos, P., Lascaratos, A. (2012): Decadal scale variability of sea surface temperature in the Mediterranean Sea in relation to atmospheric variability. *Ocean Dynamics*, 62 (1), 13-30.

Sousa, P.M., Trigo, R.M., Aizpurua P., Nieto R, Gimeno L. y Garcia-Herrera, R. (2011): Trends and extremes of drought indices throughout the 20th century in the Mediterranean. *Natural Hazards Earth System Sciences*, vol.11, pp. 11-33. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-11-33-2011>

Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J.V. y Barbosa, P. (2015): The biggest drought events in Europe from 1950 to 2012. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3,509-524.

Spinoni, J., Vogt, J.V., Naumann, G., Barbosa, P. y Dosio, A. (2018): Will drought events more frequent and severe in Europe? *International Journal of Climatology*, 38(4), 1718-1736.

Spinoni, J., Barbosa, P., De Jager, A., McCormick, N., Naumann, G., Vogt, J.V., Magni, D., Masante, D. y Mazzeschi, M. (2019): A new global database of meteorological drought events from 1951 to 2016. *Journal of Hidrology: Regional Studies*, 22, 100593.

Stagge, J.L., Tallaksen, L. y Rizzi, J. (2015): Future meteorological drought: projections of regional climate models for Europe. In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, Viena, 17.

Štěpánek, P. (2008): *AnClim-software for time series analysis*. Department of Geography, Faculty of Natural Sciences, Brno, 1.

Szalai, A., Szentimrey, T. y Szinell, C. (1999): *Proceedings of the second seminar for homogenization on surface of climatological data*. World Meteorological Organization, 962.

Szalai, S. y Szinell, C. (2000): Comparison of Two Drought Indices for Drought Monitoring in Hungary — A Case Study. In Vogt, J. y Somma, F. (eds.). *Drought and drought mitigation in Europe* (pp.161-166). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Tallaksen, L. M. y Lanen, H. A. J. van. (2004): *Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater*, vol 48, Elsevier Science Limited.

Tejedor, E., De Luis, M., Cuadrat, J.M., Esper, J. y Saz, M.A. (2016): Tree-ring-based drought reconstruction in the Iberian Range (east of Spain) since 1994. *International Journal of Biometeorology*, 60(3), 361-372.

Thiessen, A.H. (1911): Precipitation averages for large areas. *Monthly weather review*, 39(7), 1082-1089.

Thorncroft, C.D., Hoskins, B.J. y McIntyre, M.E. (1993): Two paradigms of baroclinic-wave life-cycle behavior. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 119 (509), 17-55.

Tomas Burguera, M., Jiménez Castañeda, A., Luna Rico, M.Y., Morata, A., Vicente Serrano, S., González Hidalgo, J.C. y Beguería, S. (2016): Control de calidad de siete variables del banco nacional de datos de AEMET. En Olcina Cantos, J. et al., (eds.). *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. Asociación Española de Climatología, Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante, 407-415.

Tsesmelis, D. E., Karavitis, C. A., Oikonomou, P. D., Alexandris, S., y Kosmas, C. (2019): Assessment of the vulnerability to drought and desertification characteristics using the standardized drought vulnerability index (SDVI) and the environmentally sensitive areas index (ESAI). *Resources*, 8(1), 6.

Tuncok, I. K. (2016): Drought planning and management: experience in the Seyhan River Basin, Turkey. *Water Policy*, 18(2), 177-209.

Turco, M., Ceglar, A., Prodhomme, C., Soret, A., Toreti, A., & Doblaz-Reyes F. J. (2017). Summer drought predictability over Europe: Empirical versus dynamical forecasts. *Environmental Research Letters*, 12(8). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7859>.

Ukkola, A. M., De Kauwe, M. G., Roderick, M. L., Abramowitz, G., & Pitman, A. J. (2020): Robust future changes in meteorological drought in CMIP6 projections despite uncertainty in precipitation. *Geophysical Research Letters*, 1-14.

Urrea Mallebrera, M.A., Mérida Abril, A.; García Galiano, S.G. (2011): Segura River Basin: Spanish pilot river basin regarding water scarcity and droughts. In Mannava et al. (Eds.). *Agricultural Drought Indices. Proceedings of the WMO/UNISDR Expert Group Meeting on Agricultural Drought Indices*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2-12.

Valdes Abellán, J., Pardo, M.A. y Tenza Abril, A.J. (2017): Observed precipitation trend changes in the western Mediterranean region. *International Journal of Climatology*, 37, 1285-1296.

Van den Besselaar, E.J.M., Klein Tank, A.M.G. y Buishand, T.A. (2013): Trends in European precipitation extremes over 1951-2010. *International Journal of Climatology*, 33 (12), 2682-2689.

Van Haren, R., Van Oldenborgh, G.J., Lenderink, G., Collins, M. y Hazeleger, W. (2013): SST and circulation trend biases cause an underestimation of European precipitation trends. *Climate Dynamics*, 40 (1-2), 1-20.

Van Loon, A.F. y Laaha, G. (2015): Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *Journal of Hydrology*, 526, 3-14.

Vargas Amelin, E. y Pintado, P. (2014): The challenge of climate change in Spain. *Water resources, agriculture and land. Journal of Hidrology*, 518, 243-249.

Vargas Molina, J. y Paneque Salgado, P. (2017): Metodología para el análisis de las causas de la vulnerabilidad al riesgo de sequía a escala de Demarcación Hidrográfica. *Natural Hazards*, 89(2), 609-621.

Vargas Molina, J., & Paneque Salgado, P. (2019): Challenges for the integration of water resource and drought risk management in Spain. *Sustainability*, 11(2), 308.

Vázquez López, L.A. (1999): Variabilidad interanual de la circulación atmosférica y escasez de precipitaciones en la península ibérica durante el invierno. En Raso Nadal, J.M. y Martín Vide, J. (Eds.). *La climatología española en los albores del siglo XXI*, Asociación Española de Climatología, 557-562.

Vicente Serrano, S.M., González-Hidalgo, J.C, De Luis, M. y Reventós, J. (2004): Drought patterns in the Mediterranean area: The Valencia region (eastern Spain). *Climate Research*, 26, 5-15.



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 Prats, J.M. (2007): North Atlantic oscillation control of drought in north-east Spain: evaluation since 1600 A.D. *Climatic Change*, 85, 357-379.

Vicente Serrano, S.M., Beguería Portugués, S. y López Moreno, J.I. (2010a): A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7), 1696-1718.

Vicente Serrano, S.M., Beguería, S., López Moreno, J.I., Angulo, M. y El Kenawy, A. (2010b): A new global 0.5 gridded dataset (1901-2006) of a multiscalar drought index: comparison with current drought index datasets based on the Palmer Drought Severity Index. *Journal of Hydrometeorology*, 11(4), 1033-1043.

Vicente Serrano, S.M., Beguería Portugués, S., Lorenzo Lacruz, J., Camarero, J., López Moreno, J.I., Azorín Molina, C., Revuelto, J., Morán Tejada, E. y Sánchez Lorenzo, A. (2012a): Performance of drought índices for ecological, agricultural and hydrological applications. *Earth Interactions*, 16 (10), 1-27.

Vicente Serrano, S.M., López Moreno, J.I., Beguería, S., Lorenzo Lacruz, J., Azorín Molina, C y Morán Tejada, E. (2012b): Accurate computation of a streamflow drought index. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17 (2), 318-332.

Vicente Serrano, S.M., Beguería Portugués, S., Lorenzo Lacruz, J., Camarero, J., López Moreno, J.I., Azorín Molina, C., Revuelto, J., Morán Tejada, E. y Sánchez Lorenzo, A. (2012c): Análisis comparativo de diferentes índices de sequía para aplicaciones ecológicas, agrícolas e hidrológicas. En Rodríguez et al., (Eds.). *Cambio climático. Extremos e impactos*. VIII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología, Universidad de Salamanca, 679-689.

Vicente Serrano, S.M., Tomas Burguera, M., Beguería, S., Reig, F., Latorre, B., Peña Gallardo, M., Luna Rico, M.Y., Morata, A. y González Hidalgo, J.C. (2017): A high resolution dataset of drought índices for Spain. *Data*, 2(3),22.

Villar Navascués, R.A. (2019): Evolución reciente del consumo urbano de agua en el litoral mediterráneo (2007-2016). En Melgarejo Moreno, J. (ed.). *Congreso Nacional del Agua: Innovación y sostenibilidad*. Orihuela, Universidad de Alicante, 1593-1605.

Villar Navascués, R. y Rico Amorós, A.M. (2020): Los planes de emergencia ante situaciones de sequía en los municipios de la Costa Blanca (Alicante). En Farinós Dasí,

J. (Coord.). *Desafíos y oportunidades de un mundo en transición. Una interpretación desde la Geografía* (pp. 239-249). Tirant humanidades, Universitat de Valencia, 239-249.

Villarroya Gil, F. (2006): Los conflictos sobre el trasvase del Ebro y del Tajo. *Revista Electrónica de Medio Ambiente*, 2, 56-72.

Walker, G. T. y Bliss, E. W. (1932): *World Weather*. Memoirs of the Royal Meteorological Society, 36 (4).

Wang, H., Chen, Y., Pan, Y., Chen, Z. y Ren, Z. (2019): Assessment of candidate distributions for SPI/SPEI and sensitivity of drought to climatic variables in China, *International Journal of Climatology*, 39,1-21.

Wang, L., Ting, M. y Kushner, P. J. (2017): A robust empirical seasonal prediction of winter NAO and surface climate. *Scientific reports*, 7(1), 1-9

Watt, S.F., Pyle, D.M., Naranjo, J.A., Rosqvist, G., Mella, M., Mather, T.A. y Moreno, H. (2011): Holocene temphrochronology of the Hualaihue region (Andean southern volcanic zone- 42 S), southern Chile. *Quaternary International*, 246 (1-2), 324-343.

Wilches Chaux, G. (1993): La vulnerabilidad global. En Markrey, A. (Eds.). *Los Desastres No Son Naturales*. Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina, La Red.

Wilhite, D.A y Glantz, M.H. (1985): Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10, 111-120.

WWAP (2015): The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World; UNESCO: Paris, France, 122 pp.

Yagüe, C., Martija, M., Torres, J., Maldonado, A.I. y Zurita, E. (2006): Análisis estadístico de las olas de calor y frío en España. *XXIX Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española*, Pamplona.

Zapata Nicolás, M., Corina, J., Capel Molina, J.J. y Gris, J. (1990): *Repercusiones económicas de la sequía 1980-1983 en el sector agrario de la Cuenca del Segura*. CEBAS-CSIC, Murcia, 237 pp.