

**PLAN DE ADAPTACIÓN AL  
CAMBIO CLIMÁTICO  
DE EXTREMADURA**

**Recursos hídricos**

**GOBIERNO DE EXTREMADURA**

**EDITA:** Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía. Gobierno de Extremadura

**EQUIPO REDACTOR:** Feliciano Corzo Pantoja. Técnico Cambio Climático. Gpex  
Martín Bastos Martín. Jefe de Sección Sostenibilidad Ambiental  
Jose Alberto Domínguez. Jefe Servicio Protección Ambiental  
Francisco Gonzalez Iglesias. Técnico Cambio Climático. Gpex

**COLABORADORES:**

- Jose Ignacio Sánchez Sánchez-Mora. Ingeniero Agrónomo. Servicio de Regadíos. *Dirección General de Desarrollo Rural.*
- José Angel Rodríguez Cabello. Ingeniero de Caminos. Jefe de la Oficina de Planificación Hidrológica. *Confederación Hidrográfica del Guadiana*
- *Confederación Hidrográfica del Tajo*

**PORTADA:**

- Fotografía de Pedro Muñoz Barco

**CONTRAPORTADA:**

- Fotografía de Susana Burgos

**CREDITOS FOTOGRÁFICOS:**

- Miguel Angel Romo
- Pedro Muñoz Barco
- Martín Bastos Martín

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO, ALCANCE Y LIMITACIONES</b>	<b>6</b>
2.1. Objetivo	6
2.2. Alcance y limitaciones	7
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>12</b>
3.1. Introducción	12
3.2. Estructura y descripción de los trabajos	12
<b>4. ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS REGIONALIZADOS DE CAMBIO CLIMÁTICO</b>	<b>16</b>
4.1. Datos empleados	16
4.2. Temperaturas medias de las máximas y mínimas anuales y precipitación anual	18
4.3. Análisis del aumento de temperaturas y variación de la precipitación en los periodos 2011-2040 y 2041-2070 respecto del periodo 1961-1990	35
<b>5. CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EXTREMADURA</b>	<b>42</b>
5.1. Características generales	42
5.2. Demarcaciones hidrográficas	49
5.3. Ciclo del agua	64
<b>6. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS</b>	<b>70</b>
6.1. Introducción	70
6.2. Identificación de impactos	70
<b>7. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD</b>	<b>82</b>
7.1. INTRODUCCIÓN	82
7.2. Variación de la disponibilidad de recurso a partir del cómputo de balance hídrico por el método de estimación directa. efecto del cambio en el régimen de temperaturas y precipitaciones	83
7.3. Eventos meteorológicos extremos y vulnerabilidad de los recursos hídricos	134
7.4. Principales conclusiones de la evaluación de la vulnerabilidad	142
<b>8. MEDIDAS Y OPCIONES DE ADAPTACIÓN</b>	<b>144</b>
8.1. Programas de adaptación	146
8.2. Necesidades de investigación y detección del cambio	168

<b>9. ANÁLISIS INTEGRADO DE LA VULNERABILIDAD Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES SECTORES DEL PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EXTREMADURA EN RELACIÓN CON LOS RECURSOS HÍDRICOS</b>	<b>171</b>
9.1. Implicaciones del cambio climático sobre el abastecimiento de agua a los sectores agrícola y ganadero	171
9.2. Implicaciones del cambio climático sobre el abastecimiento de agua al sector urbano y al turismo	173
9.3. Implicaciones del cambio climático sobre el abastecimiento de agua al sector industrial y energético	174
9.4. Implicaciones del cambio climático sobre el sector del seguro y la salud humana	176
9.5. Implicaciones del cambio climático sobre los ecosistemas. sector biodiversidad y forestal	177
<b>10. CONCLUSIONES</b>	<b>178</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>180</b>
<b>ANEJO I. Escenarios regionalizados de cambio climático:conceptos</b>	<b>190</b>
<b>ANEJO II. Evolución de la precipitación acumulada mensual y la temperatura media de las mínimas y máximas en Extremadura</b>	<b>193</b>
<b>ANEJO III. Resultados de la evaluación del balance hídrico en extremadura</b>	<b>194</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del consumo de agua de las explotaciones agrícolas de extremadura por tipo de cultivos en el año 2009, expresado en millones de metros cúbicos y porcentajes	45
Figura 2. Distribución porcentual de las estaciones de calidad del agua, según el valor del índice de calidad del agua anual en el periodo 1999-2008 en la Demarcación Hidrográfica del Tajo	46
Figura 3. Distribución porcentual de las estaciones de calidad del agua, según el índice de calidad del agua anual en el periodo 1999-2007 en la Demarcación Hidrográfica del Guadiana	46
Figura 4. Distribución porcentual de la superficie forestal en Extremadura	58
Figura 5. Distribución de la superficie forestal arbolada de Extremadura por especies principales	59
Figura 6. Distribución porcentual de la población por Demarcación Hidrográfica en Extremadura	61
Figura 7. Esquema simplificado del ciclo hidrológico en régimen naural	64
Figura 8. Diagrama ombrotérmico de la D. H Guadiana (promedio 1940-2010)	65
Figura 9. Evolución mensual de la reserva de agua embalsada en la Demarcación Hidrográfica del Guadiana entre marzo de 2011 y febrero de 2012	66
Figura 10. Diagrama ombrotérmico de la D. H del Tajo (promedio 1940-2010)	66
Figura 11. Evolución mensual de la reserva de agua embalsada en la Demarcación Hidrográfica del Tajo entre marzo de 2011 y febrero de 2012	67
Figura 12. Diagrama ombrotérmico de la D. H del Guadalquivir (promedio 1940-2010)	68
Figura 13. Evolución mensual de la reserva de agua embalsada en la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir entre marzo de 2011 y febrero de 2012	69
Figura 14. Reducción de caudales en las cuencas nacionales para el año 2060	73
Figura 15. Porcentajes de disminución de la aportación total, para los escenarios climáticos considerados, en el largo plazo de la planificación hidrológica	73
Figura 16. Evolución mensual de la reserva de agua en el suelo, por zonas rurales y por escenarios	106
Figura 17. Evolución mensual de la evapotranspiración real, por zonas rurales y escenarios	114
Figura 18. Distribución porcentual del territorio de Extremadura que forma parte de la D.H del Guadalquivir (ZR XII) según el valor de la ETR anual en los distintos periodos analizados	122
Figura 19. Distribución porcentual del territorio de Extremadura que forma parte de la D. H del Guadiana (ZR VII a XI) según valor de la ETR anual en los distintos periodos analizados	123

Figura 20. Distribución porcentual del territorio de Extremadura que forma parte de la D.H del Tajo (ZR I a VI) según valor de la ETR anual en los distintos periodos analizados	123
Figura 21. Evolución mensual del volumen de agua que sufre escorrentía o infiltración por zonas rurales y escenarios	126
Figura 22. Evolución temporal del exceso de agua promedio para los territorios extremeños de las demarcaciones hidrográficas presentes en Extremadura en los distintos periodos analizados, bajo el escenario de emisiones A2	132
Figura 23. Evolución temporal del exceso de agua promedio para los territorios extremeños de las demarcaciones hidrográficas presentes en Extremadura en los distintos periodos analizados, bajo el escenario de emisiones B2	133
Figura 24. Evolución del índice del estado de la sequía en la cuenca del Guadiana en la segunda mitad del siglo XX	163

## ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1.	Comarcas extremeñas y zonas rurales de acuerdo a la agregación del programa de desarrollo rural sostenible 2010-2014 de extremadura	17
Mapa 2.	Temperaturas medias de las máximas anuales en el periodo 1961-1990	18
Mapa 3.	Temperaturas medias de las máximas anuales en los periodo 2011-2040 y 2041-2070 (A2 y B2)	20
Mapa 4.	Temperaturas medias de las mínimas anuales en el periodo 1961-1990	24
Mapa 5.	Temperaturas medias de las mínimas anuales en los periodos 2011-2040 y 2041-2070 (A2 y B2)	28
Mapa 6.	Precipitación anual en el periodo 1961-1990	29
Mapa 7.	Precipitación anual media de los periodos 2011-2040 y 2041-2070 (A2 y B2)	34
Mapa 8.	Aumento de las temperaturas medias de las máximas anuales en 2011-2040 y 2041-2070 respecto a 1961-1990, bajo los escenarios de emisiones A2 y B2	36
Mapa 9.	Aumento de las temperaturas medias de las mínimas anuales en 2011-2040 y 2041-2070 respecto a 1961-1990, bajo los escenarios de emisiones A2 y B2	38
Mapa 10.	Variación de la precipitación anual en 2011-2040 y 2041-2070 respecto a 1961-1990, bajo los escenarios de emisiones A2 y B2	41
Mapa 11.	Localización de las estaciones depuradoras de aguas residuales en Extremadura por demarcación hidrográfica	47
Mapa 12.	Delimitación de las Demarcaciones Hidrográficas de Extremadura	51
Mapa 13.	Modelo digital de elevaciones de Extremadura	53
Mapa 14.	Mapa litológico de Extremadura (izquierda); Aguas subterráneas en Extremadura. Localización de acuíferos (derecha)	54
Mapa 15.	Usos del suelo en Extremadura. Nivel general de agregación del Corine Land Cover 2006	60
Mapa 16.	Localización de los embalses de Extremadura por demarcación hidrprgráfica	62
Mapa 17a.	Variación del valor del balance hídrico mensual promedio del periodo 2011-2040 (A2) respecto del promedio del periodo 1961-1990, en mm/mes. Primer semestre del año	94
Mapa 17b.	Variación del valor del balance hídrico mensual promedio del periodo 2011-2040 (A2) respecto del promedio del periodo 1961-1990, en mm/mes. Segundo semestre del año	95
Mapa 18a.	Variación del valor del balance hídrico mensual promedio del periodo 2011-2040 (B2) respecto del promedio del periodo 1961-1990, en mm/mes. Primer semestre del año	96

Mapa 18b.	Variación del valor del balance hídrico mensual promedio del periodo 2011-2040 (B2) respecto del promedio del periodo 1961-1990, en mm/mes. Segundo semestre del año	97
Mapa 19a.	Variación del balance hídrico mensual promedio del periodo 2041-2070 (A2) respecto del promedio del periodo 1961-1990, en mm/mes. Primer semestre del año	99
Mapa 19b.	Variación del valor del balance hídrico mensual promedio del periodo 2041-2070 (A2) respecto del promedio del periodo 1961-1990, en mm/mes. Segundo semestre del año	100
Mapa 20a.	Variación del valor del balance hídrico mensual promedio del periodo 2041-2070 (B2) respecto del promedio del periodo 1961-1990, en mm/mes. Primer semestre del año	101
Mapa 20b.	Variación del valor del balance hídrico mensual promedio del periodo 2041-2070 (B2) respecto del promedio del periodo 1961-1990, en mm/mes. Segundo semestre del año	102
Mapa 21.	Variación del valor del balance hídrico anual promedio (P-ETP) de los periodos 2011-2040 y 2041-2070 (A2 y B2) respecto del promedio del periodo 1961-1990, en mm/año	104
Mapa 22.	Evolución espacio temporal de la evapotranspiración real anual en Extremadura en los distintos periodos y escenarios considerados	121
Mapa 23.	Evolución espacio temporal de la precipitación (mm) que se registra al menos una vez al año, en cada estación, de acuerdo a la distribución de frecuencias de lluvias extremas en Extremadura	139
Mapa 24.	Comparativa cartográfica de la evaluación de la sequía en Extremadura	141

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Correspondencias entre comarcas extremeñas y zonas rurales de acuerdo a la agregación del programa de desarrollo rural sostenible 2010-2014 de Extremadura	17
Tabla 2.	Estimación de las demandas de agua en Extremadura por usos	44
Tabla 3.	Situación de abastecimiento y saneamiento de la población Extremeña (número de habitantes) integrada en la cuenca del Guadiana en 1998	48
Tabla 4.	Características de las aguas residuales antes y después del tratamiento en España y Extremadura para los principales indicadores de calidad del agua (mg/l)	48
Tabla 5.	Características territoriales de las Demarcaciones Hidrográficas presentes en Extremadura	52
Tabla 6.	Distribución sectorial de la demanda en la D. H del Tajo en el año 2005	55
Tabla 7.	Distribución sectorial de la demanda en la D.H del Guadiana	56
Tabla 8.	Distribución sectorial de la demanda en la D.H del Guadalquivir (año 2007)	56
Tabla 9.	Distribución de usos del suelo en Extremadura	57
Tabla 10.	Características territoriales de Extremadura y su provincia	61
Tabla 11.	Listado de las principales infraestructuras de embalses con indicación de su capacidad y volumen de llenado real el 12 de marzo de 2012 por demarcaciones hidrográficas, provincias y zonas rurales	63
Tabla 12.	Características climáticas y relevancia agrícola en las demarcaciones hidrográficas de Extremadura	69
Tabla 13.	Impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos	81
Tabla 14.	Impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos y sus repercusiones sobre otros sectores socioeconómicos	81
Tabla 15.	Reparto porcentual mensual de las 139 estaciones termopluviométricas de acuerdo con el valor de su balance entre precipitación y avapotranspiración potencial mensual (%)	93
Tabla 16.	Evolución temporal de la ocurrencia de episodios de lluvias torrenciales a través de seis indicadores de caracterización de precipitación	136
Tabla 17.	Método de los quintiles para calcular la sequía	138
Tabla 18.	Programa 1. Medida 1.1. Actuaciones encaminadas a garantizar la integridad ecológica de los ecosistemas para incrementar la oferta de agua disponible	149
Tabla 19.	Programa 1. Medida 1.2. Implantación de sistemas de recolección del agua de lluvia	150
Tabla 20.	Programa 1. Medida 1.3. Reutilización del agua	151
Tabla 21.	Programa 2. Medida 2.1. Mejora y modernización de las redes de control y seguimiento de usos del agua	154

---

Tabla 22.	Programa 2. Medida 2.2. Mejora del mantenimiento de las infraestructuras de distribución y abastecimiento de agua con objeto de reducir las pérdidas de recurso asociadas al mal estado y mal funcionamiento de las mismas	155
Tabla 23.	Programa 2. Medida 2.3. Dragado de embalses y mejora de la capacidad de almacenamiento de agua	155
Tabla 24.	Programa 2. Medida 2.4. Control de explotaciones de recursos subterráneos y vigilancia para evitar la aparición de “ilegales”	156
Tabla 25.	Programa 2. Medida 2.5. Implantación de sistemas que permitan aumentar la eficiencia en el uso del agua de distintos sectores	156
Tabla 26.	Programa 3. Medida 3.1. Establecimiento de políticas tarifarias	159
Tabla 27.	Programa 3. Medida 3.2. Acciones destinadas a la reducción del consumo de agua en el sector de la agricultura	159
Tabla 28.	Programa 4. Medida 4.1. Desarrollo de planes de reacción y resolución ante posibles eventos hidrológicos extremos	162
Tabla 29.	Programa 4. Medida 4.2. Detección temprana de la sequía	163
Tabla 30.	Programa 4. Medida 4.3. Protección frente a inundaciones	165
Tabla 31.	Programa 5. Medida 5.1. Protección frente al crecimiento desproporcionado de algas en embalses, ríos y otras infraestructuras de almacenamiento de agua, así como la llegada de especies invasoras.	167
Tabla 32.	Programa 5. Medida 5.2. Mejorar el sistema de vigilancia de calidad del agua	168

## PRÓLOGO

<< El agua no es un bien comercial como los demás, sino un patrimonio que hay que proteger, defender y tratar como tal >> (Directiva Marco del Agua).

El agua es indispensable para la supervivencia y el desarrollo del ser humano; es esencial para la vida e imprescindible para un gran número de actividades, en el consumo humano, en la agricultura y en procesos industriales. Por ello, son necesarias cantidades adecuadas de agua con calidad suficiente en la naturaleza para que puedan subsistir fauna y flora, plantas y ecosistemas únicos.

Los recursos hídricos, entendidos como los volúmenes de agua capaces de dejar satisfecha las necesidades hídricas en cantidad y calidad, en tiempo y en espacio, están a su vez condicionados por la explotación, la estructura temporal de la demanda, el sistema de recursos hidráulicos disponibles y las reglas operativas definidas de gestión del sistema.

Por este motivo, la Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía, en su afán por afrontar del mejor modo posible el cambio climático, proporciona mediante los Planes de Adaptación una serie de medidas tendentes tanto a mitigar sus efectos como para adaptarse al nuevo marco de condiciones climáticas esperables.

En el desarrollo sostenible así como en la lucha contra el cambio climático, el sector de los recursos hídricos es un elemento clave. Por ello, disponer de un mejor conocimiento de los impactos del cambio climático nos permitirá organizar y aplicar medidas de adaptación para afrontar nuevas situaciones sociales y económicas.

En nuestra Comunidad Autónoma el agua es un elemento imprescindible para la economía, por su valor en la agricultura regional, con importantes producciones agrarias y ganaderas de superficies de regadío, por las previsiones de incremento de la superficie de regadío, y por su importancia en los procesos agroindustriales y en las energías limpias, hidráulicas y renovables. Bajo ese prisma, hay que encaminar nuestras políticas hacia un uso racional de los recursos hídricos.

Por ello, la adaptación para el sector de los recursos hídricos en la región necesita una estrategia a largo plazo, de forma sostenida y específica, lo que requiere enfocar las políticas y medidas de adaptación en un horizonte temporal adecuado, así como dotarlas de suficiente flexibilidad como para incorporar los avances logrados en materia de proyecciones climáticas. Y todo encaminado hacia un modelo de desarrollo sostenible, que armonice, de forma integrada, los aspectos ambientales, económicos y sociales.

**José Antonio Echavarri Lomo**

**Consejero de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía**

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es indispensable para la supervivencia y el desarrollo del ser humano, es esencial para la vida e imprescindible para un gran número de actividades y procesos industriales, por lo que son necesarias cantidades adecuadas de agua con calidad suficiente en la naturaleza para que puedan subsistir fauna y flora, plantas y ecosistemas únicos (COM (2007) 128 final).

Los recursos hídricos presentes en un territorio están determinados por las características climáticas de la zona, dado que la precipitación repercute en el volumen y en la distribución espacial y temporal del agua que se deposita, en tanto que el régimen de temperaturas influye en los procesos de evaporación y transpiración. En términos generales, el cambio climático tendrá una influencia directa sobre la cantidad y la calidad de los recursos hídricos, puesto que alteraciones en las variables de precipitación y temperatura modificarán los procesos del ciclo hidrológico, las características de la cubierta vegetal, las demandas de agua de otros sectores, etc.

En este sentido, los recursos hídricos entendidos como los volúmenes de agua capaces de dejar satisfecha las necesidades hídricas en cantidad y calidad, en tiempo y en espacio están a su vez condicionados por la explotación, la estructura temporal de la demanda, el sistema de recursos hidráulicos (superficial y subterráneos) disponible y las reglas operativas definidas de gestión del sistema (Moreno *et al.*, 2005).

Los efectos previsibles del cambio climático, en relación con los recursos hídricos, provocarán cambios importantes en la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos en los que el agua desempeña un papel fundamental.

El agua cumple importantes y diversas funciones tanto a nivel ecosistémico como socioeconómico, siendo fundamental su cantidad y calidad en el abastecimiento humano, en la producción agropecuaria, en el mantenimiento de la biodiversidad, en la generación eléctrica, en el crecimiento vegetal, en la calidad paisajística, etc. El agua es, por tanto, un elemento imprescindible tanto en la naturaleza como en la estructuración de la sociedad, teniendo un rol transversal por su fuerte relación con otros sectores y otras políticas (MARM, 2009). Es por ello que la *Directiva Marco del Agua* 2000/60/CE (DOCE n°327/1, de 22 de diciembre de 2000) establece que el agua no pueda ser considerada, simplemente como un bien comercial, sino un patrimonio que hay que proteger, defender y tratar como tal.

A pesar de las incertidumbres aún existentes, las investigaciones apuntan a que asociado al cambio climático se están produciendo ciertos cambios notables en relación con el agua y el ciclo hidrológico. Así, el calentamiento climático observado en los últimos decenios está coherentemente

asociado a cambios en las pautas, intensidades y valores extremos de precipitación; fusión generalizada de la nieve y del hielo; aumento del vapor de agua atmosférico; aumento de la evaporación y variaciones de la humedad del suelo y de la escorrentía (Bates *et al.*, 2008).

Considerando que la escasez de agua y la disminución del acceso al agua potable es un problema de importancia mundial que da lugar a reducciones en la producción de alimentos, salud y desarrollo socioeconómico, y que en la actualidad afecta a entre uno y dos millones de personas en el mundo (EME, 2005), resulta fundamental analizar la posible variación en su disponibilidad en el marco del cambio climático.

Ante el panorama futuro de cambio que se prevé, el *Cuarto Informe de Evaluación* (CIE) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2007) agrupa las principales conclusiones científicas y técnicas referidas al proceso del cambio climático. El CIE es el documento de referencia sobre el cambio climático a nivel internacional y constituye un avance muy notable en la comprensión de la complejidad del sistema climático global, confirmando que el cambio climático es ya una realidad, fundamentalmente por efecto de las actividades humanas. Así, la relación entre modelos de desarrollo socioeconómico, emisiones de gases de efecto invernadero, aumento del forzamiento radiactivo y alteraciones en la dinámica atmosférica son cada vez más evidentes.

De este modo, los principales impactos detectados a nivel mundial (IPCC, 2007) y europeo (EEA, 2008) están provocados directa o indirectamente por el aumento progresivo de las temperaturas, el incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos y en el desajuste en el régimen de precipitaciones.

Por ello el cambio climático se describe como un fenómeno multiescalar, que requiere la combinación integrada de estrategias inmediatas de mitigación globales junto con medidas adaptativas regionales y locales a medio y largo plazo para minimizar sus efectos sobre las sociedades humanas (Comisión de las Comunidades Europeas, 2009). En este sentido, el *Protocolo de Kioto* (ONU, 1998), que es el principal acuerdo de mitigación aúna los esfuerzos de 184 naciones para reducir la concentración de gases de efecto invernadero a nivel global.

La adaptación es el conjunto de iniciativas y medidas llevadas a cabo para reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados del cambio climático (IPCC, 2007). La eficacia del proceso de adaptación se incrementa cuanto más específica es la identificación de impactos y la propuesta de medidas a implementar, por lo que la escala de trabajo recomendable es nacional y regional.

A nivel estatal, el documento de base es el *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático* que se desarrolla sectorialmente (OECC, 2006). Se trata de un documento que establece el marco de

actuación para la coordinación entre administraciones públicas para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en España. El objetivo que persigue es la integración de la adaptación al cambio climático en la planificación de distintos sectores socioeconómicos y sistemas naturales del país.

A nivel regional, la *Estrategia de Cambio Climático para Extremadura 2009-2012* se complementa con el Plan Nacional coordinando las acciones de lucha contra el cambio climático a nivel regional. Dicha Estrategia establece el marco conceptual de la lucha contra el cambio climático a nivel autonómico y aglutina las políticas de mitigación y de adaptación, enmarcándose en la misma los planes de adaptación frente al cambio climático.

Por todo ello y dada la preocupación existente en relación al cambio climático y los recursos hídricos, se plantean en este trabajo, la evaluación de análisis empíricos de vulnerabilidad basados en conocimiento científico validado. Los estudios de vulnerabilidad proporcionan una idea de la susceptibilidad o predisposición intrínseca a sufrir un daño o una pérdida, de los elementos expuestos a un peligro, en este caso, la disponibilidad hídrica (IPCC, 2007). Además de la vulnerabilidad, se identifican impactos, se acotan incertidumbres y se proponen actuaciones que favorezcan una gestión eficaz del recurso así como medidas tendentes a la reducción de los impactos negativos del cambio climático sobre los ecosistemas, los servicios ambientales que proveen, así como, sobre la sociedad extremeña y sus intereses socioeconómicos.

Para que el Plan de Adaptación al Cambio Climático de los Recursos Hídricos presentado sea lo más útil posible, es necesario adecuarlo dentro del marco normativo nacional y regional a las competencias del Gobierno de Extremadura. En este sentido, es necesario recordar que las Demarcaciones Hidrográficas (D.H.) intercomunitarias están sujetas a su propia regulación marcada en sus respectivos planes hidrológicos de cuenca y, que su gestión es compartida por las distintas Comunidades Autónomas de las que forman parte.

En Extremadura, las principales Demarcaciones Hidrográficas son la del Tajo, la del Guadiana, la del Guadalquivir y la del Duero. El uso y distribución del agua de estas demarcaciones viene regulado a nivel nacional fundamentalmente por la política del agua que se basa en,

- el *Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas* (BOE nº176, del 24 de julio de 2001) que regula el dominio público hidráulico, el uso del agua y el ejercicio de las competencias atribuidas al Estado en las materias relacionadas con dicho dominio en el marco de las competencias delimitadas en el artículo 149 de la Constitución.

- el *Plan Hidrológico Nacional*, aprobado por la *Ley 10/2001*, de 5 de julio (BOE nº161, 6 de julio de 2001), modificado por la *Ley 11/2005* de 22 de junio (BOE nº149, 23 de junio de 2005), que fija los

elementos básicos de coordinación de los Planes Hidrológicos de cuenca, la solución para las posibles alternativas que aquéllos ofrezcan, la previsión y las condiciones de las transferencias de recursos hidráulicos entre ámbitos territoriales de distintos Planes Hidrológicos de cuenca y las modificaciones que se prevean en la planificación del uso del recurso y que afecten a aprovechamientos existentes para abastecimiento de poblaciones y regadíos.

Del mismo modo, a nivel regional, la normativa que regula la administración del agua es, la *Ley 5/2010, de 23 de junio, de prevención y calidad ambiental de la Comunidad Autónoma de Extremadura* (DOE nº120, 24 de junio de 2010), que detalla las competencias de la Comunidad Autónoma de Extremadura para desarrollar programas de seguimiento del estado de las aguas continentales en cuanto puedan afectar a los ecosistemas acuáticos, ecosistemas terrestres o humedales, sobre los que la Comunidad Autónoma es competente y para la adopción de medidas de protección.



**Fotografía 1. Embalse Gabriel y Galán**

A nivel de cuenca, cada una de ellas tiene establecida sus propios planes por los que se rige, como son:

-*Plan Hidrológico de Cuenca de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir*, aprobado mediante el *Real Decreto 1664/1998*, de 24 de julio (BOE nº191, de 11 de agosto de 1998), modificado por la *Orden* del 13 de agosto de 1999 (BOE nº205, del 27 de agosto de 1999).

- *Plan Hidrológico del Duero*, aprobado por el *Real Decreto 1664/1998*, de 24 de julio, (BOE nº191, de 11 de agosto de 1998), y modificado por la *Orden* del 13 de agosto de 1999 (BOE nº206, de 29 de agosto de 1999) por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo de los Plan Hidrológico de cuenca del Duero, aprobados por el *Real Decreto 1664/1998 de 24 de julio*.

- *Plan Hidrológico de la Cuenca del Tajo* aprobado por el *Real Decreto 1664/1998*, de 24 de julio, (BOE nº191 de 11 de agosto de 1998), y modificado por la *Orden* del 13 de agosto de 1999 (BOE nº207, del 13 de agosto de 1999) por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de cuenca del Tajo, aprobado por el *Real Decreto 1668/1998 de 24 de julio*.

- *Plan Hidrológico del Guadiana*, aprobado por el *Real Decreto 1664/1998*, de 24 de julio, (BOE nº191, de 11 de agosto de 1998), y la *Orden* del 13 de agosto de 1999 (BOE nº208, de 31 de agosto de 1999) por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo de los Planes Hidrológicos de cuenca del Guadiana I y Guadiana II, aprobados por el *Real Decreto 1664/1998 de 24 de julio*.

## 2. OBJETIVO, ALCANCE Y LIMITACIONES

### 2.1. Objetivo

El presente estudio, que se enmarca en las políticas de adaptación al cambio climático en Extremadura, analiza los efectos potenciales del cambio climático sobre los recursos hídricos en la región. Esto es, evalúa en qué medida los cambios en el patrón climático actual pueden afectar a los distintos procesos del ciclo hidrológico en régimen natural (precipitación, evapotranspiración, escorrentía, etc.) e influir sobre la disponibilidad y calidad de agua en la región. En definitiva, se trata de conocer de qué manera se verán afectados en el futuro los recursos hídricos regionales y determinar cuáles serán sus consecuencias sobre el territorio y la sociedad extremeña. El establecimiento de una perspectiva global e integrada sobre el efecto del cambio climático en el ciclo hidrológico a escala regional ha permitido diseñar una planificación específica de medidas para la adaptación en dicho sector.

El **objetivo general** que persigue el Plan es la creación de medidas que permitan la adaptación del sector de los recursos hídricos a los cambios previstos y, de este modo, que se reduzcan las afecciones sobre los ecosistemas, las personas y sus intereses económicos en Extremadura. Para la elaboración de dichas medidas es preciso identificar previamente cuales son los impactos previsibles en el marco del cambio climático y realizar un análisis de la vulnerabilidad del sector. Dicho análisis se fundamenta en la caracterización de la posible evolución de las distintas etapas del ciclo hidrológico en el contexto general de cambio climático.

En este sentido, las etapas para la consecución del objetivo del Plan son las siguientes:

- Describir los principales cambios espaciotemporales de las variables climáticas de temperatura y precipitación aportación en los dos periodos temporales futuros 2011-2040 y 2041-2070, respecto de un periodo de referencia 1961-1990.
- Caracterizar el estado actual de los recursos hídricos en el territorio de Extremadura.
- Identificar las principales modificaciones en el ciclo hídrico derivado del cambio en el régimen de temperatura y precipitación.
- Evaluar cambios en la disponibilidad y calidad del recurso en Extremadura.
- Describir los impactos potenciales del cambio climático en los recursos hídricos sobre la sociedad, el medio ambiente y ciertos sectores económicos de Extremadura.
- Proponer medidas y opciones de adaptación frente a los impactos negativos identificados.

## 2.2. Alcance y limitaciones

El agua constituye un elemento esencial para la vida y para las actividades económicas y, por tanto, un bien que ha de ser preservado. Hay que remarcar que la interacción entre el sistema climático, los recursos hídricos y el sistema socioeconómico es compleja y en su evolución intervienen tanto factores ambientales como de orden social, administrativo y económico. La gestión del agua en las distintas demarcaciones hidrográficas se adaptará en cada momento a su realidad, por lo que es difícil prever de qué manera se tomarán las decisiones en el futuro en relación con los usos del agua, el nivel de explotación de recursos o la priorización de los usos. Sin embargo, conocer con la mayor precisión posible la disponibilidad de agua es un criterio elemental para cualquier gestión futura de los recursos hídricos. El Plan de Adaptación se centra sobre todo en este aspecto dado que, a pesar de que se reconoce que la gestión del recurso es clave para evaluar la posibilidad de satisfacer la demanda, ésta es muy variable y difícil de predecir.

En este trabajo, se han caracterizado sectorialmente las demandas de agua en la actualidad de modo que se facilite conocer si en un marco de clima cambiante, será más o menos difícil que se sigan satisfaciendo. La manera en la que las demandas variarán o no en el tiempo, resulta sin embargo difícil de abordar, si bien los escenarios de emisiones considerados realizan postulados sobre el devenir de las políticas ambientales y económicas que influyen notablemente en su evolución.

Se ha evaluado el ciclo hidrológico en régimen natural en su integridad y se ha tratado de determinar de qué forma afecta el cambio climático a la disponibilidad del recurso tratando de conocer el nivel de satisfacción de la demanda por sectores (agrícola, abastecimiento, energético e industrial, salud humana, riesgos naturales de origen climático, etc.).

De este modo, se analizan los valores mensuales de la temperatura y la precipitación con objeto de tener un conocimiento preciso de la evolución espacio-temporal de las distintas etapas del ciclo del agua en Extremadura. Considerar datos mensuales respecto de medias anuales, favorece tener una descripción más realista de los procesos hidrológicos (Fernández, 2006) si bien, se genera una gran cantidad de datos que, por claridad de exposición, no son siempre posibles de incorporar en la memoria. Por otro lado, los datos anuales son más sintéticos y son una referencia respecto de las conclusiones de otros Planes de Adaptación al Cambio Climático elaborados en Extremadura con anterioridad, por lo que también se describe la evolución de las variables climáticas a escala anual. Para poder consultar las series de datos analizadas, se ha elaborado un anejo de resultados en el que se presentan todos los cálculos realizados en este trabajo (Anejo III).

A pesar del esfuerzo por describir toda la variabilidad existente en los procesos hidrológicos estimados, al considerarse periodos de treinta años como son 1961-1990, 2011-2040 y 2041-2070,

hay análisis, como el de esorrentía, en los que se ha tomado el promedio del periodo lo que puede ocultar ciertas tendencias.

En este sentido en el Plan se recogen los principales resultados en relación con las sequías y las inundaciones, y que han sido evaluados en otros Planes de Adaptación como son los relativos al Sector Agrícola, y Seguros y Riesgos Naturales. Adicionalmente, las medidas de adaptación en relación con el agua propuestas en otros trabajos, se analizan de manera integrada para favorecer el establecimiento de un compendio de actuaciones para la adaptación al cambio climático a nivel autonómico.

Asimismo, en el presente documento, se evalúan las variaciones del régimen natural, que podría afectar a la disponibilidad de los recursos hídricos, a través del análisis de los efectos del cambio climático sobre la precipitación, la temperatura, la evapotranspiración y otros procesos del ciclo hidrológico como la esorrentía y la infiltración.

Se considera en el informe, la influencia del clima sobre el ciclo hidrológico en régimen natural. Sin embargo, dada la importancia de las infraestructuras hidráulicas en la gestión del recurso, se recogen posibles impactos del cambio climático sobre las mismas y se evalúa la vulnerabilidad. En concreto, se recogen propuestas de actuación para la reducción del impacto sobre instalaciones de almacenamiento de agua, embalses fundamentalmente.

Adicionalmente se han encontrado una serie de **limitaciones**, de orden metodológico y conceptual para el desarrollo del Plan. Desde el punto de vista conceptual, cabe mencionar como limitación, el hecho de que los estudios de adaptación al cambio climático son recientes tanto a escala internacional como nacional, por lo que no siempre es posible encontrar respaldo documental a las ideas que se plantean. Además, dado que la adaptación es un proceso que mejora su eficacia cuanto más local es la escala de trabajo, hemos encontrado la limitación de que en muchos casos no es factible trasladar conceptos de una escala de trabajo nacional o supranacional a una escala de demarcación hidrográfica debido a sus diferencias ambientales o socioeconómicas. Por otro lado, el estudio de los recursos hídricos puede abordarse desde diferentes perspectivas como son el análisis de la disponibilidad hídrica, de la gestión del agua, de la demanda de recurso, de los usos del suelo, de las repercusiones ambientales, etc. El plan de adaptación centra sus esfuerzos en la estimación objetiva de los cambios sobre procesos del ciclo hidrológico (precipitación, evaporación, infiltración, etc.) a nivel regional. La falta de modelos empíricos para la evaluación de otros aspectos como la calidad del agua o la satisfacción de la demanda por sector no permite obtener resultados específicos para Extremadura.

De manera sintética, los principales elementos condicionantes del trabajo son los siguientes,

- **La escala de trabajo.** El ámbito espacial abarcado es el conjunto de las demarcaciones hidrográficas presentes en el territorio de Extremadura como son la D.H. del Guadiana, D.H. del Guadalquivir y D.H. del Tajo, y aunque en el territorio de Extremadura hay una parte de la Demarcación Hidrográfica del Duero, ésta no ha sido considerada en el trabajo, debido a la pequeña superficie que representa respecto del total autonómico ( $< 0,1\%$ ). Sin embargo, la incidencia del clima sobre el recurso hídrico ha de realizarse en el ámbito territorial adecuado, que es la demarcación hidrográfica completa, pues lo que suceda aguas arriba y abajo de las cuencas afecta claramente a la cantidad y calidad de las aguas disponibles.
  
- **La información disponible.** En ocasiones, la ausencia parcial de datos no permite emplear modelos analíticos específicos, como por ejemplo, ciertos modelos hidrológicos que requieren información espacial explícita relativa de la granulometría o capacidad de infiltración de los suelos.  
En el caso del modelo de estimación del balance hidrológico directo, empleado en este trabajo, se carece de datos de evapotranspiración y de potencia de suelos, por lo que ha sido necesario recurrir a cálculos indirectos o a la toma de valores estándar, para su adecuada implementación.
  
- **La incertidumbre acerca de la evolución de los usos del suelo.** Si bien, en función del tipo de cubierta vegetal van a variar la interceptación, la tasa de retención de agua en el suelo, la infiltración y la escorrentía superficial y sub-superficial, en el presente estudio no se han tenido en cuenta estos factores.
  
- **La complejidad de las interacciones entre recurso hídrico y sectores socioeconómicos.** Los recursos hídricos tienen un papel clave respecto de los distintos sectores de actividad. A la hora de identificar los impactos en dichos sectores, se ha hecho un esfuerzo por identificar los más importantes, sin embargo, hay procesos ambientales que de manera indirecta terminan afectando a determinadas actividades económicas y que resultan difícilmente evaluables. Así por ejemplo, un caudal de los ríos adecuado, en términos de volumen y constancia temporal es clave para la producción hidroeléctrica. Otro proceso está ligado a la falta o exceso de precipitación, que puede afectar a la dilución en los ríos, de ciertos contaminantes presentes en los suelos, pudiendo generar problemas de la calidad del agua que a su vez afecten al abastecimiento.

Considerando el alcance y las limitaciones técnicas y conceptuales expuestas, este plan de adaptación ha de ser entendido como una evaluación inicial que, mediante el uso de los conocimientos actuales y la información bibliográfica disponible, ofrece resultados tendenciales sobre los recursos hídricos en Extremadura en el marco del cambio climático. Las opciones adaptativas propuestas son acordes a dicho estado inicial del proceso de adaptación, presentando medidas de carácter general con objeto de reducir la vulnerabilidad del sistema y los impactos derivados de los cambios proyectados. A medida que se vayan acumulando conocimientos y se puedan implementar modelos hidrológicos más complejos que faciliten la reducción de algunas incertidumbres, se podrán elaborar evaluaciones y determinar la magnitud de los impactos con mayor precisión y exactitud; por este motivo, el plan de adaptación presentado ha de entenderse como la primera parte de un proceso duradero en el tiempo y en permanente actualización.

Otras limitaciones vienen derivadas de que a pesar de que se puedan prever modificaciones como consecuencia de la alteración de la cubierta vegetal, de la explotación intensiva de recursos profundos, etc. que puedan afectar a la calidad del agua, es complicado establecer relaciones de causalidad con un cierto nivel de significación o validez técnica. Por este motivo no se plantean análisis empíricos en relación al cambio climático y la calidad de las aguas, sino que se recoge el estado actual del conocimiento en este campo.

Así, aunque los recursos hídricos disponibles en régimen natural están supeditados únicamente a las características del medio físico en un lugar como pueden ser la precipitación anual, temperaturas, propiedades edafológicas y usos del suelo, la capacidad de satisfacer la demanda de los recursos está subordinada también a factores humanos y de gestión. Por lo tanto, elementos como la explotación, las demandas y su distribución temporal, la gestión de los sistemas de explotación hídrica, el manejo de la regulación, suministro, transporte y distribución, etc., constituyen otro conjunto de factores, en este caso antrópicos, que condicionan los recursos hídricos que son realmente aprovechables en cada momento.

La política ambiental futura, determinará si los usos hidrológicos y agrícola permitirá determinadas prácticas extensivas del uso del agua como el riego a manta, el baldeo de calles y, el riego de jardines o campos de golf con agua potable, etc. En este sentido, es probable que las normativas referidas al aumento de la eficacia del uso consuntivo del agua en la agricultura, el abastecimiento o la industria sean más exigentes en el futuro que en la actualidad, pudiendo generar una menor demanda.

Se desconoce, cuál será el nivel de aplicación de las regulaciones existentes relativas a la extracción de agua subterránea, y si se realizarán controles más severos que en la actualidad para evitar un uso ilícito.

La falta de información relativa a la calidad de los materiales empleados en infraestructuras hidráulicas presentes y futuras del que depende su sensibilidad a los cambios de clima, no permite realizar análisis técnicos con el suficiente rigor como para incluirlos en este trabajo.

Los Escenarios Regionalizados de Cambio Climático en Extremadura (DGECA, 2011), basados en los elaborados por la Agencia Estatal de Meteorología (Brunet *et al.*, 2007), ofrecen proyecciones de temperatura máxima y mínima, y de precipitación diaria en varios centenares de estaciones meteorológicas repartidas por todo el territorio autonómico. Esta fuente documental no da información sobre otras variables de interés como la evapotranspiración, por lo que los análisis elaborados se han ceñido a dicha base de datos. Cuando ha sido necesario, se han propuesto metodologías basadas en cálculos *ad-hoc*, como los correspondientes al cálculo de la evapotranspiración potencial, evapotranspiración real, infiltración o escorrentía.



Fotografía 2. Parque Natural de Cornalvo

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Introducción**

El presente trabajo se inscribe dentro de los denominados planes sectoriales de adaptación recogidos en la *Estrategia de Cambio Climático de Extremadura 2009-2012*. Para dar respuesta al objetivo planteado se ha desarrollado un estudio por etapas que pretende poner de manifiesto,

- i) las variaciones climáticas proyectadas,
- ii) las características generales del sector de los recursos hídricos en el territorio extremeño,
- iii) los impactos esperados sobre las actividades socioeconómicas y los ecosistemas,
- iv) los cambios previstos en distintos procesos del ciclo hidrológico en relación con los cambios proyectados en el clima,
- v) las herramientas propuestas para reducir la vulnerabilidad y hacer frente a los impactos detectados.

Con objeto de detectar cambios en la disponibilidad de los recursos hídricos se han analizado mediante una metodología contrastada, las variaciones en los procesos fundamentales del ciclo del agua en Extremadura, relativos a precipitación, evapotranspiración, reserva, infiltración y escorrentía. Adicionalmente, se ha comparado la situación actual usando los datos del periodo de referencia 1961-1990 con las proyecciones climáticas elaboradas para los periodos 2011-2040 y 2041-2070. Por consiguiente y de acuerdo con la propuesta metodológica de ciertos autores (Fernández, 2006), la evaluación de los recursos hídricos futuros, se sustenta en aplicar los resultados de los modelos climáticos regionales a un modelo hidrológico sencillo para el siglo XXI en Extremadura. Dicha estimación del ciclo hidrológico se acompaña de consideraciones relativas a la satisfacción sectorial de la demanda, al papel de las infraestructuras de almacenamiento de agua en la gestión hidrológica y a la variación de la calidad del agua en un marco de clima cambiante.

#### **3.2. Estructura y descripción de los trabajos**

##### **3.2.1. Análisis de los datos de los Escenarios Regionalizados de Cambio Climático**

Con objeto de poner de manifiesto las principales características del cambio climático en Extremadura, se ha realizado una cartografía climática que expresa los principales cambios proyectados de las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima para los periodos 1961-1990, considerado como el periodo de referencia, y los periodos 2011-2040 y 2041-2070, bajo los escenarios de emisiones A2 y B2 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), tanto en términos absolutos como en términos comparativos.

Los resultados se presentan considerando la división territorial de zonas rurales que se establece en el *Programa de Desarrollo Rural Sostenible 2010-2014 de Extremadura* (Decreto 115/2010, del 14 de mayo; DOE nº 95, 20 de mayo de 2010).

Los escenarios de emisiones son una representación admisible de la evolución futura de las emisiones de sustancias responsables del efecto invernadero atmosférico (IPCC, 2000), basada en una serie coherente de suposiciones sobre el potencial desarrollo socioeconómico o tecnológico futuro. Existen cuatro familias principales de escenarios de emisiones, que se utilizan en los modelos climáticos para realizar las proyecciones de cambio climático (A1, A2, B1 y B2). En este trabajo se emplean las proyecciones del clima realizadas bajo los escenarios de emisiones A2 y B2. Así, el escenario A2 está basado en un crecimiento y desarrollo económico alto con elevadas emisiones y, el escenario B2 recrea un desarrollo orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social en el que predominan las soluciones locales para la sostenibilidad económica, social y medioambiental, y en el que las emisiones de gases de efecto invernadero aumentan progresivamente a un ritmo menor que en A2 (Anejo I).

Dado que los escenarios consideran la aplicación o no de políticas ambientales, se puede considerar que el uso de ambos escenarios permite discernir entre la existencia (B2) o ausencia (A2) de políticas ambientales y los resultados de las mismas. A nivel estatal, se emplean estos dos escenarios, por lo que su elección permite integrar los resultados de ambos trabajos.

La serie de valores climáticos 1961-1990 se analiza y representa cartográficamente mediante técnicas geoestadísticas (kriging) para interpretar el clima actual de Extremadura. Los resultados cartográficos representan las variables climáticas de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima bajo los escenarios A2 y B2, y han sido regionalizados a partir de los resultados del Modelo de Circulación General ECHAM4. Los modelos de circulación general (MCG's) son sofisticadas herramientas utilizadas para generar las proyecciones climáticas mediante la resolución de complejas ecuaciones de física de fluidos en centros de investigación del clima.

La base cartográfica del periodo 1961-1990 se considera en este trabajo como el clima de referencia en la región, y permite establecer una base sobre la que cuantificar variaciones futuras relacionadas con el cambio climático (Brunet *et al.*, 2007). Los datos climáticos modelizados para los periodos 2011-2040 y 2041-2070, bajo los escenarios de emisiones A2 y B2, son analizados del mismo modo que los valores climatológicos de la serie de referencia 1961-1990, es decir, realizando el mismo tipo de análisis estadístico y cartografiado que el empleado para la serie de referencia.

### **3.2.2. Caracterización de los recursos hídricos en Extremadura**

El objetivo de este apartado es ofrecer una visión general sobre las principales características hidrológicas de las distintas demarcaciones hidrográficas presentes en Extremadura y su relación con el clima actual.

La información obtenida principalmente de la planificación de cada una de las cuencas, está orientada a poner de manifiesto cuales son los elementos más relevantes desde el punto de vista territorial, poblacional y de usos del agua. Se informa asimismo de la magnitud de las distintas etapas del ciclo hidrológico (precipitación, evapotranspiración, escorrentía) que pueden verse afectados por el cambio climático en cada demarcación hidrográfica. En este sentido, las características de las D.H. son el punto de referencia de los posteriores análisis de vulnerabilidad e impactos. Adicionalmente, la caracterización incluye información relativa a las infraestructuras de almacenamiento de agua, por ser considerado como un elemento clave de la gestión hidrológica.

### **3.2.3. Identificación y valoración de impactos**

Considerando la información incluida en el apartado de caracterización, los impactos se identifican a partir de una revisión bibliográfica específica. Para ello, se lleva a cabo una valoración y calificación de los mismos, en la cual se contemplan diversas cuestiones de interés, tales como el signo del impacto (positivo-negativo), las causas y el efecto (directo-indirecto).

### **3.2.4. Evaluación de la vulnerabilidad**

La metodología de análisis de la vulnerabilidad ha consistido en determinar de qué manera procesos claves del ciclo hidrológico como la precipitación, evaporación, transpiración vegetal, infiltración y escorrentía superficial variarán en el futuro como consecuencia de las modificaciones de las condiciones de temperatura y precipitación proyectadas para Extremadura.

Mediante la comparación de las magnitudes de dichos procesos entre los valores registrados en el periodo de referencia 1961-1990 y, los obtenidos para 2011-2040 y 2041-2070 bajo los escenarios de emisiones A2 y B2, se evalúa la variación en la disponibilidad hídrica en distintos momentos del año y para las diferentes demarcaciones hidrográficas presentes en la región. Además del estudio de la variación de disponibilidad hídrica, se analiza la vulnerabilidad de las aportaciones a los embalses frente al cambio de clima y, finalmente, se realiza un diagnóstico de los efectos del cambio climático sobre la calidad del agua en Extremadura.

Todos estos análisis se realizan en relación con los impactos detectados en el apartado anterior. De acuerdo con las características territoriales de cada demarcación hidrográfica y la variación en el

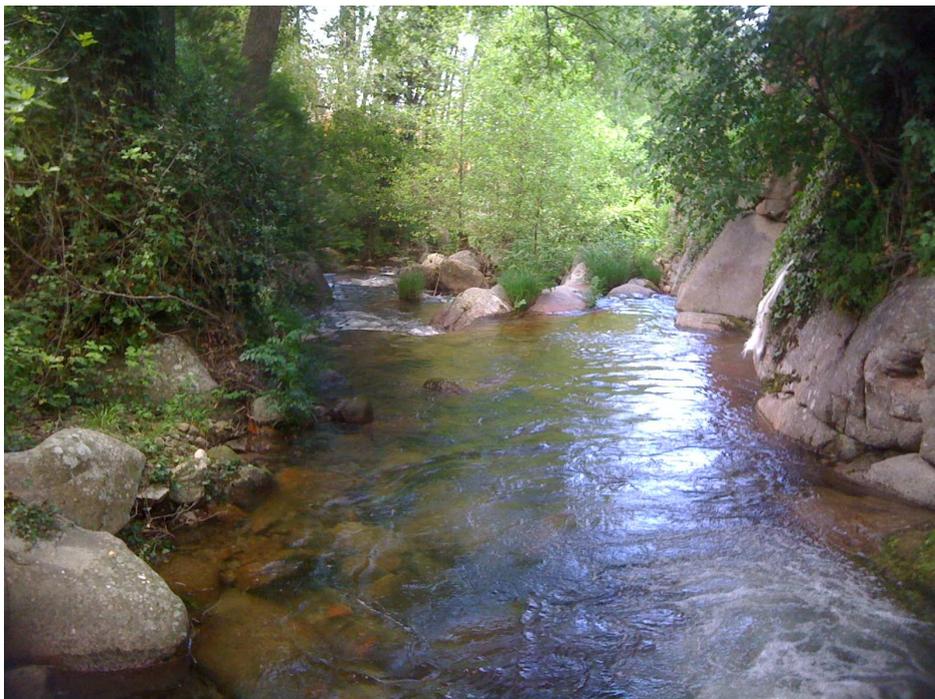
recurso natural futuro, se identifican aquellos sectores socioeconómicos, localizaciones espaciales y momentos temporales en los que se van a generar impactos.

### **3.2.5. Medidas de adaptación**

Por último, se describen las medidas de adaptación organizadas en programas temáticos en función de los impactos detectados y de los análisis de vulnerabilidad efectuados previamente, con el objetivo de no solo llevar a cabo una planificación que garantice la sostenibilidad de los recursos hídricos y la adecuación del sector a los cambios del clima, sino también establecer una planificación basada en la prevención. En definitiva, los programas de medidas propuestos son herramientas orientadas a una correcta y temprana adaptación del sector en función de los impactos reconocidos para el conjunto de Extremadura.

En este sentido, las medidas de adaptación contempladas en este trabajo presentan un carácter general para las demarcaciones hidrográficas presentes en el territorio de Extremadura, y pretenden servir de referencia al conjunto de agentes locales y regionales que han de llevar a cabo y poner en marcha los programas de adaptación.

En la elaboración de los mismos, ha predominado como metodología principal la revisión bibliográfica de los documentos de adaptación con un mayor peso a nivel internacional y nacional, así como diversos estudios relacionados con el campo y líneas de actuación establecidas por documentos cuyas directrices están marcadas por el IPCC, la Unión Europea, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) o el Gobierno de Extremadura.



**Fotografía 3. Garganta en el Valle del Ambroz**

## 4. ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS REGIONALIZADOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

### 4.1. Datos empleados

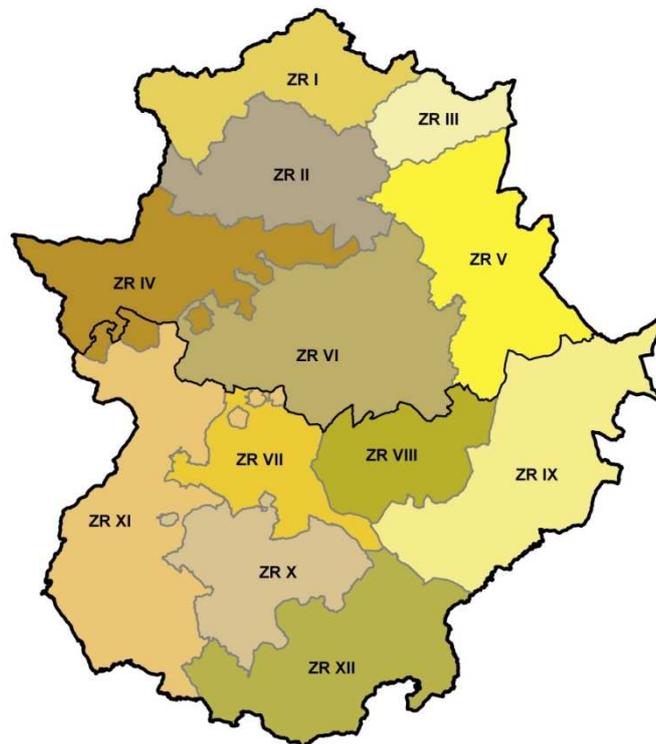
Los datos climáticos modelizados han sido obtenidos mediante el método estadístico de análogos desarrollado por la Fundación para la Investigación del Clima (FIC) (Brunet *et al.*, 2007). Este sistema de regionalización estadística permite inferir el comportamiento futuro de determinadas variables a escala regional (predictandos), a partir de las predicciones realizadas por los modelos de circulación general (MCG's) de ciertas variables a escala sinóptica (predictores), mediante la comparación sistemática de situaciones pasadas a escala sinóptica y a escala regional. Los resultados de esta regionalización son ficheros informáticos (uno por cada estación meteorológica) que contienen los datos de un determinado predictando, que puede ser temperatura máxima, mínima o precipitación acumulada en veinticuatro horas, para un periodo temporal, un escenario de emisiones y un modelo de circulación general dado. El modelo de circulación general con el que se han rodado los datos empleados para este estudio es el ECHAM4 desarrollado en el Instituto Max Planck de Investigación Meteorológica de Hamburgo. Los MCG's son herramientas elaboradas por científicos del clima que simulan flujos de energía, masa y movimiento en una retícula tridimensional que forma la atmósfera, los océanos y las capas superiores de la litosfera y la criosfera, y que permiten predecir valores promedios y máximos de las variables de temperatura media, máxima y mínima, de la precipitación, de la presión media a nivel del mar, de la radiación solar incidente y de la velocidad del viento.

Los periodos temporales están fijados en periodos de 30 años (1961-1990, 2011-2040 y 2041-2070), siendo el periodo 1961-1990 el periodo de referencia que representa el clima actual, y los periodos 2011-2040 y 2041-2070, se corresponden con los periodos temporales proyectados para un horizonte a corto y medio plazo. Asimismo, los escenarios de emisiones considerados son el escenario A2, donde se produciría un incremento de las emisiones de GEI, y el escenario B2, donde las emisiones de GEI aumentan pero a un ritmo menor que en el escenario A2.

Como se ha comentado con anterioridad, con objeto de facilitar la descripción de los resultados de la regionalización climática en Extremadura y los posteriores análisis de riesgo, se han empleado como clasificaciones espaciales del territorio la agregación en zonas rurales del *Programa de Desarrollo Rural Sostenible 2010-2014 de Extremadura* (Decreto 115/2010 del 14 de mayo; DOE nº 95, 20 de mayo de 2010) y las comarcas tradicionales (Tabla 1 y Mapa 1).

**Tabla 1. Correspondencias entre comarcas extremeñas y zonas rurales de acuerdo a la agregación del Programa de Desarrollo Rural Sostenible 2010-2014 de Extremadura (DOE nº 95, del 20 de mayo de 2010).**

Zona rural	Comarcas
I	Las Hurdes, Sierra de Gata, Trasierra-Tierras de Granadilla y Valle del Ambroz
II	Valle del Alagón, Rivera de Fresnedosa y Riberos del Tajo
III	La Vera y Valle del Jerte
IV	Tajo-Salor y Sierra de San Pedro
V	Las Villuercas-Ibores-Jara y Campo Arañuelo
VI	Comarca de Trujillo, Sierra de Montánchez y Zona Centro
VII	Lácara Sur y Municipios Centro
VIII	La Serena, Vegas Altas y Gadiana
IX	La Serena y Siberia
X	Río Bodión, Tierra de Barros-Matachel y Tierra de Barros
XI	Lácara-Los Baldíos, Comarca de Olivenza y Sierra Suroeste
XII	Tentudía y Comarca de Llerena

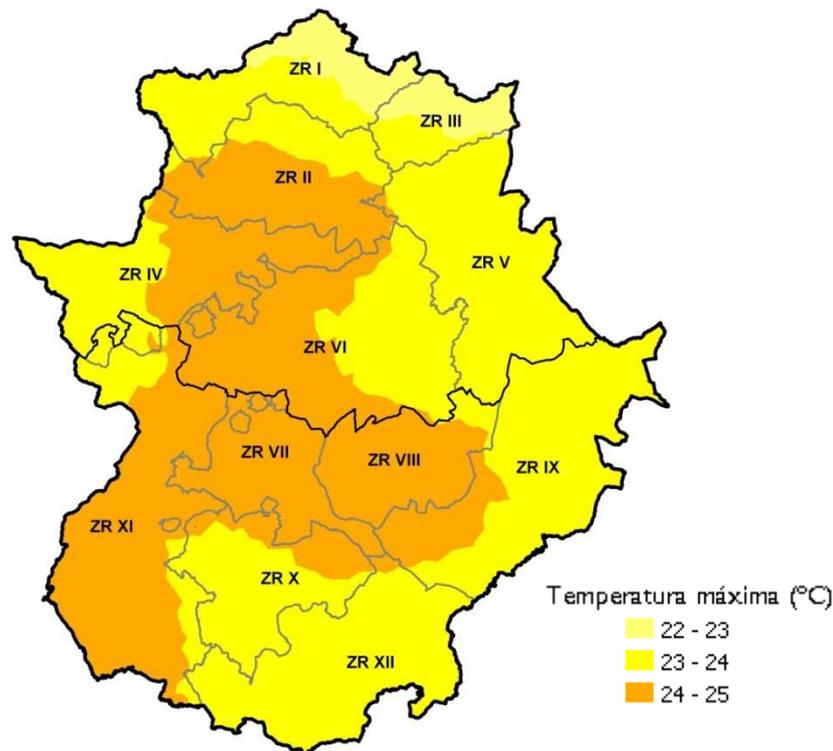


**Mapa 1. Comarcas extremeñas y zonas rurales de acuerdo a la agregación del Programa de Desarrollo Rural Sostenible 2010-2014 de Extremadura (DOE nº 95, del 20 de mayo de 2010).**

## 4.2. Temperaturas medias de las máximas y mínimas anuales y, precipitación anual

### 4.2.1. Temperaturas medias de las máximas anuales

Las temperaturas medias de las máximas anuales correspondientes al periodo 1961-1990 oscilan entre los 23 °C en la zona norte de la provincia de Cáceres, y los 25 °C en la mitad suroccidental de Cáceres y, en el norte y oeste de la provincia de Badajoz (Mapa 2).



Mapa 2. Temperaturas medias máximas anuales en el periodo 1961-1990 (DGECA, 2011).

Estas isotermas se distribuyen conforme a la disposición del relieve en franjas que se mueven, de menor a mayor temperatura, desde el norte montañoso, en las Sierras de Gata, Hervás y Tormantos (ZR I y III) donde se alcanzan las temperaturas máximas más bajas, a las zonas serranas situadas más al sur y con altitudes inferiores a las mencionadas, donde las máximas anuales son un grado más elevadas, como en la Sierra de Guadalupe, situada en el este de la provincia de Cáceres (ZR V) y Sierras de Salvatierra (límite entre las ZR X y XII), así como en Fregenal en el sureste de la provincia de Badajoz (ZR XII). Finalmente, las medias de las máximas más elevadas se dan en el entorno de Badajoz (ZR XI), Mérida (ZR VIII) y Cáceres (ZR VI), o en las zonas de altitudes más bajas, asociadas a los cursos del Tajo y el Guadiana (ZR II y VIII).

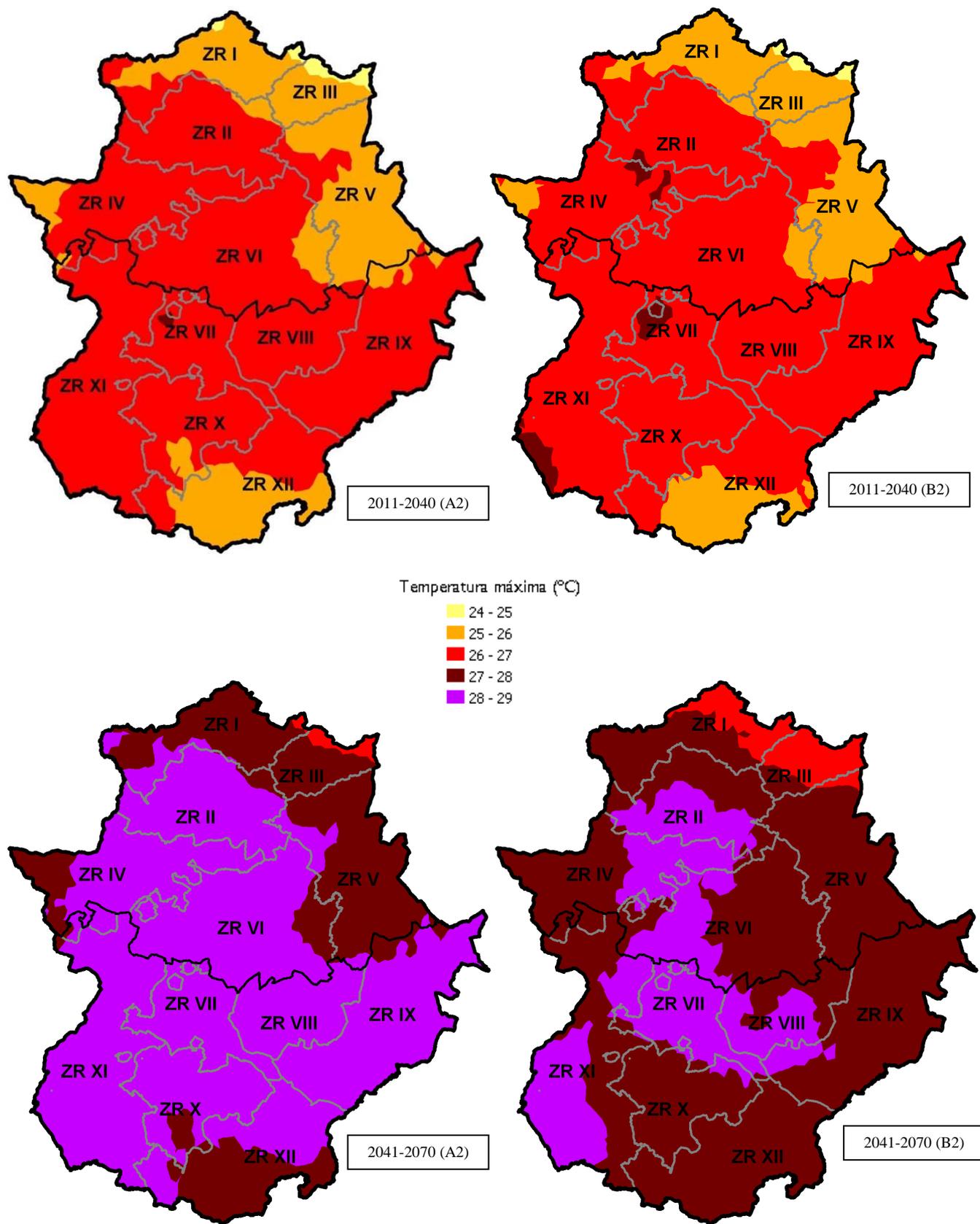
Las temperaturas medias de las máximas anuales modelizadas para los periodos 2011-2040 y 2041-2070 bajo el escenario de emisiones A2 oscilan entre los 25 °C y 27 °C en los primeros 30 años, y entre los 27 °C y los 29 °C en el segundo periodo (Mapa 3).

La isoterma más baja, correspondiente a 25 °C en el primer escenario y a 27 °C en el segundo, se localizan en las zonas más elevadas, a partir de los 1.600 metros, ubicadas en las ZR I y III.

La isoterma de 26 °C, en el periodo 2011-2040 y, de 28 °C para 2041-2070 se localiza en la ZR I, correspondiente a Las Hurdes, Trasierra-Tierras de Granadilla, Valle del Ambroz, y Sierra de Gata, así como en la ZR III (La Vera y Valle del Jerte) y en la ZR V (Las Villuercas-Jara-Ibores y Campo Arañuelo), así como en Monesterio que pertenece a la ZR XII.

Por último, la isoterma más elevada, que corresponde a 29 °C, se ha modelizado únicamente para el periodo 2041-2070, en ambos escenarios de emisiones. Así, bajo el escenario de emisiones A2, ocupa amplias extensiones del centro de la provincia de Cáceres (ZR II, IV y VI) y la mayor parte de Badajoz (ZR VII, VIII, IX, X, XI y norte de la ZR XII) y, bajo el escenario B2 se concentra en zonas más reducidas del centro y suroeste de la Comunidad (sur de la ZR II, este de la ZR IV, ZR VII y VIII y, suroeste de la ZR XI). Se trata de zonas correspondientes al sur de las Mancomunidades Riberos del Tajo y Rivera de Fresnedosa, pertenecientes a las ZR II y IV. También en la zona de Mérida, y la ZR XI, en la comarca de Olivenza (Mapa 3).

Bajo el escenario B2, los resultados son bastante similares a los mostrados bajo el escenario A2, aunque en este caso las temperaturas máximas son algo más bajas. La superficie de las zonas con temperaturas más elevadas, entre 28 °C y 29 °C, es mayor bajo el escenario A2 que bajo el B2. A la inversa, las áreas que registran una temperatura máxima más baja, entre 26 °C y 27 °C, son más amplias bajo el escenario B2 que bajo el A2.



Mapa 3. Temperaturas medias máximas anuales en los periodos 2011-2040 y 2041-2070 (A2 y B2) (DGECA, 2011).

El clima está definido en base al tiempo meteorológico promedio a lo largo de un periodo de treinta años, por lo que es habitual caracterizar el clima de una determinada región en base a sus valores anuales de precipitación y temperatura promedios. Así, el análisis de Escenarios Regionalizados elaborado en el presente plan de adaptación, se establece sobre la base de los datos anuales de distintos periodos temporales. El objetivo es evidenciar cambios espaciotemporales en la distribución de los valores de temperatura y precipitación en relación con el cambio climático. Este análisis anual permite poner de manifiesto las principales diferencias existentes entre los distintos escenarios de emisiones considerados en este estudio (A2 y B2) y, los dos periodos temporales 2011-2040 y 2041-2070, respecto del periodo climático de referencia 1961-1990.

Lógicamente, los datos anuales esconden una variabilidad a lo largo del año que no puede ser obviada en un estudio específico de los recursos hídricos, dada la importancia capital de la variabilidad mensual de la precipitación y la temperatura sobre la disponibilidad hídrica. Por este motivo, se han elaborado mapas mensuales de temperatura máxima ( $T_{máx}$ ), temperatura mínima ( $T_{mín}$ ) y precipitación en 24 horas ( $P_{24}$ ), promedios de los periodos de treinta años considerados en el trabajo (Anejo II).

A partir de los datos de los Escenarios Regionalizados de Cambio Climático para Extremadura (DGECA, 2011), se han calculado los valores promedios mensuales de temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria y precipitación acumulada en 24 horas, en las distintas estaciones meteorológicas de las que se tiene información. Para cada mes del año, se han calculado las medias de los valores de estas tres variables de cada periodo, obteniéndose como resultado un valor mensual de  $T_{máx}$ ,  $T_{mín}$  y  $P_{24}$  de los periodos 1961-1990, 2011-2040 y 2041-2070, bajo los escenarios de emisiones A2 y B2. Adicionalmente, se presentan a continuación las principales observaciones en relación a los cambios espaciotemporales proyectados para el territorio de Extremadura con indicación de las zonas rurales afectadas.

### Temperaturas mensuales

En Extremadura, el patrón espacial de temperaturas, tanto máximas como mínimas, es paralelo al de las precipitaciones. Así, en los entornos montañosos de las ZR I, III y V es donde se registran los valores más bajos. Adicionalmente, en las zonas limítrofes con las citadas anteriormente, que se corresponden con las ZR II, VI y IX, la temperatura es mayor mientras que las áreas más cálidas están concentradas en los territorios del sur de la provincia de Cáceres, en las ZR IV y VI, y en la provincia de Badajoz en las ZR VII, VIII y X. Las temperaturas más elevadas se suelen dar en la parte sur de la ZR XI, en el límite sudoccidental de Extremadura. En términos generales, el vector de temperatura de dirección sureste-noroeste, se acopla con el de precipitación comentado anteriormente, determinando zonas de elevada temperatura y reducidas precipitaciones en las ZR X, XI, XII, y zonas con mayores

lluvias y temperaturas más frías, correspondientes a las ZR I, III y V, existiendo en el centro del territorio autonómico una región en la que se dan valores intermedios a las temperaturas indicadas.

Si analizamos los datos obtenidos por meses se establece que en **enero**, para el periodo de referencia, la temperatura máxima oscila entre los 13 °C de las ZR I, III y V, y los 16°C-17 °C del sur de la zona rural XI, quedando la mayor parte del territorio autonómico con un temperatura máxima cercana a los 15 °C. Durante el periodo 2011-2040, el valor promedio de temperaturas máximas es de 16 °C, bajo ambos escenarios, y todas las regiones sufren la misma intensidad de calentamiento. En el periodo siguiente 2041-2070, las temperaturas ascienden otro grado en promedio, presentando la mayor parte de las zonas rurales una temperatura máxima, en promedio, de 17 °C, cifra que supone un incremento de dos grados respecto de la temperatura estimada en el periodo de referencia.

En **febrero**, se pasa del rango de temperaturas máximas de 16 °C-17 °C en las zonas más frescas, y de 17 °C-19 °C en el resto del territorio en el periodo de referencia, a valores comprendidos entre 19 °C-20 °C para el periodo 2011-2040 y, al rango de temperaturas de 20 °C-21 °C para el periodo 2041-2070, siendo mayor el incremento de las superficies afectadas por los rangos de temperaturas bajo el escenario de emisiones A2, que bajo el escenario B2. Así por ejemplo, amplias áreas de las ZR VI, VIII, X y XI tienen una temperatura máxima de 21 °C bajo el escenario A2 en el periodo 2041-2070, mientras que sólo la mitad sur de la zona rural XI alcanza dicha temperatura bajo el escenario B2.

El proceso de calentamiento descrito para los dos primeros meses del año, se repite en los meses de final del invierno e inicio de la primavera, es decir, en los meses de **marzo y abril**, así como al inicio del invierno, en los meses de noviembre y diciembre. En el resto de meses, conforme se va aproximando el verano, el incremento térmico se va haciendo más intenso. Así, en los meses de **marzo y abril** las temperaturas máximas aumentan del orden de dos a tres grados, en todas las zonas rurales para el periodo 2011-2040, y hasta un grado más en el periodo 2041-2070.

En los meses de **mayo y junio**, se observa un comportamiento diferente al descrito en los meses precedentes, ya que se prevé una ligera reducción de las temperaturas máximas en torno a 2 °C en el conjunto regional respecto de la temperatura del periodo 1961-1990. Así, para el periodo 2041-2070, se registran valores de temperatura similares a los del periodo de referencia en las zonas rurales II y IV, mientras que en el resto del territorio las temperaturas serán un grado centígrado menor que las actuales. Adicionalmente, se observa que el calentamiento registrado en este periodo respecto al periodo de referencia será más notable bajo el escenario A2 que bajo el B2.

En el mes de **julio** se proyecta un ascenso importante y generalizado de las temperaturas máximas en toda Extremadura, pasando de los 34 °C-36 °C del periodo de referencia a una temperatura bastante homogénea y cercana a los 38 °C-39 °C en la mayor parte de zonas rurales, para el periodo 2011-2040

y bajo el escenario de emisiones A2. Para el mismo periodo y bajo el escenario de emisiones B2, hay un área al oeste de la zona rural IV donde se superan los 40 °C. Para el periodo 2041-2070, prosigue el proceso de calentamiento, y se alcanzan temperaturas máximas del orden de 5 °C mayores que las actuales, especialmente bajo el escenario A2.

El mes de **agosto**, que es tradicionalmente más fresco que julio en Extremadura, será el mes en el que más se incrementen las temperaturas máximas, pasando de valores situados en torno a los 32 °C a cerca de los 38 °C en todas las zonas rurales. Este incremento de hasta seis grados centígrados prosigue hasta los 8 °C en las ZR II y IV en el periodo 2041-2070 bajo ambos escenarios. Adicionalmente, hay localizaciones en las que se predicen medias mensuales de las temperaturas máximas que pueden alcanzar hasta 44 °C.

En los meses de **septiembre y octubre**, se repite el patrón de calentamiento descrito en los meses de verano, si bien, los resultados ofrecidos por ambos escenarios de emisiones son muy similares, tanto en el incremento térmico como en la distribución espacial de las temperaturas. Así, en el periodo 1961-1990, el promedio de las temperaturas máximas en septiembre es de 24 °C-25 °C, salvo en las ZR I y III, donde las temperaturas son más frescas, y el sur de la ZR XI más cálida. El calentamiento registrado en 2011-2040 alcanza los 6 °C en promedio y, de hasta 8 °C- 9 °C en 2041-2070, afectando principalmente a las ZR II y IV. Así en octubre, el promedio de las máximas es de 19 °C-20 °C mientras que en 2011-2040 es de 25 °C, alcanzando los valores de 27 °C-28° C en 2041-2070.

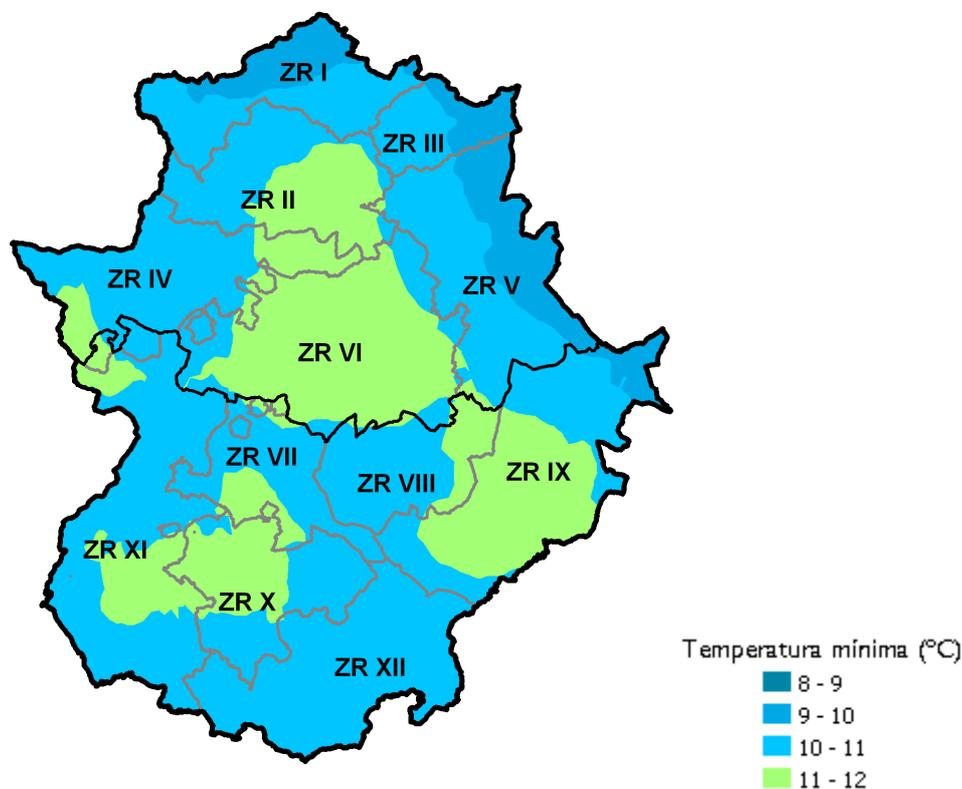
#### **4.2.2 Temperaturas medias de las mínimas anuales**

Las isotermas de las mínimas anuales durante el periodo 1961-1990 presentan unos rangos de temperatura comprendido entre 9 °C y 12 °C (Mapa 4), observándose la temperatura mínima media anual de 9 °C sólo en el extremo norte del municipio de Madrigal de la Vera, en la provincia de Cáceres (ZR III).

El siguiente rango de temperaturas mínimas más bajas, correspondiente a 10 °C, se concentra en el norte de la ZR I, en la Sierra de Gata, así como en el oeste de las ZR III y V, es decir, en las zonas orientales de la Vera y Valle del Jerte y, en el oeste de las mancomunidades de Campo Arañuelo y Villuercas-Ibores-Jara.

La isoterma de 12 °C, que es la media de las temperaturas mínimas más elevada, se distribuye por los Riberos del Tajo (ZR II), oeste de la Mancomunidad Tajo-Salor (ZR IV), la comarca de Trujillo, la Sierra de Montánchez, los municipios de la zona centro de Cáceres y la zona urbana de Cáceres (ZR VI), así como en las áreas pacenses de La Serena-Vegas Altas (ZR VIII), Tierra de Barros, Río Bodión y las áreas urbanas del centro (ZR X). En el resto del territorio se alcanzan temperaturas

mínimas de 11 °C (ZR II y VI en la provincia de Cáceres, y partes de las ZR IX, X y XI en la provincia de Badajoz).



Mapa 4. Temperaturas medias mínimas anuales en 1961-1990 (DGECA, 2011).

Las temperaturas mínimas anuales para los periodos 2011-2040 y 2041-2070 presentan un aumento respecto a 1961-1990 de 1,68 °C y 3,11 °C, respectivamente, de promedio bajo el escenario A2; y un incremento correspondiente a 1,78 °C y 2,80 °C, con respecto al año de referencia bajo el escenario de emisiones B2, aunque el patrón espacial es muy similar al descrito para el periodo de referencia (Mapa 5).

En el periodo 2011-2040, bajo ambos escenarios, las temperaturas anuales de las mínimas más bajas, entre 10 °C y 11 °C, se concentran en el norte y noreste de la Comunidad (ZR III), mientras que las más elevadas, entre 13 °C y 14 °C, se distribuyen entre la zona centro de la provincia de Cáceres (ZR VI) y el noreste de Badajoz (ZR IX). En general, durante el periodo 2011-2040, la mayor parte del territorio (ZR II, IV, VII, VIII, X, XI, XII y oeste de la ZR V) presenta una temperatura media anual de las mínimas comprendida entre los 12 °C y 13 °C.

En el periodo 2041-2070, bajo ambos escenarios, las temperaturas anuales de las mínimas más bajas, entre 12 °C y 13 °C, se concentran en el norte y noreste de la Comunidad (ZR I, III y oeste de la ZR V), mientras que las más elevadas, entre 14 °C y 15 °C, se distribuyen entre la zona centro de la

provincia de Cáceres (ZR II y VI) y el centro (ZR X) y este de Badajoz (ZR IX). El resto del territorio presenta una temperatura media de las mínimas de entre 13 °C y 14 °C, que es de mayor superficie bajo el escenario de emisiones B2 que bajo el A2.

### Temperaturas mensuales

La evolución de las temperaturas mensuales reflejan que en **enero**, las temperaturas mínimas más bajas se registran, para el periodo de referencia en las ZR I y III, con valores comprendidos entre 2 °C-3 °C. Desde estas regiones y hacia el sureste, las mínimas son más cálidas, resultando, en promedio para Extremadura, unas temperaturas mínimas de 4 °C-6 °C. Para el periodo 2011-2040, se produce un aumento de 2 °C en promedio respecto al periodo de referencia. En las ZR I y III se registran mínimas de 4 °C-5 °C mientras que en el resto del territorio, los valores de  $T_{\min}$  son de entre 6 °C y 8 °C, resultando de modo generalizado el calentamiento proyectado más intenso bajo el escenario de emisiones B2 que bajo el A2. Ocurre lo contrario, sin embargo, en el periodo 2041-2070, en el que hay zonas en las que el incremento de las temperaturas es de hasta tres grados respecto del periodo de referencia, llegando a alcanzar los 8 °C-9 °C, y que ocupan más superficie bajo el escenario de emisiones A2 que bajo B2 (ZR VI, IX, X).

En **febrero**, el incremento de la temperatura para el periodo 2011-2040, y bajo el escenario B2, respecto de 1961-1990 es mínimo salvo en la zona rural X, en el que se incrementa 1 °C, pasando de 8 °C a 9 °C, aproximadamente. Esta variación en los valores de temperatura se consolida por igual en el periodo 2041-2070, y bajo ambos escenarios.

En el mes de **marzo** se proyecta un cambio de similares características a las descritas para el mes de febrero, siendo el incremento del orden de 1 °C. El rango de las temperaturas mínimas correspondientes a 8 °C-9 °C en el periodo de referencia, que está presente en las ZR II, IV, VI, VIII, IX y XI, se reduce considerablemente para 2011-2040 y, desaparece prácticamente en el periodo 2041-2070.

En el mes de **abril**, para el periodo 2011-2040, el incremento térmico de las mínimas es de 1 °C, pasando desde los 9°C-10 °C en las zonas más frías correspondientes a las ZR I, III y V hasta los 10 °C-11 °C y, desde los 10 °C-11 °C en el resto de zonas rurales a los 11 °C-12 °C. Sin embargo, en el periodo siguiente, 2041-2070, se registra un calentamiento de hasta 2 °C en el sur de la provincia de Cáceres y provincia de Badajoz, alcanzándose valores de 13 °C-14 °C en buena parte de las ZR II, VI y IX, bajo el escenario A2, y en menor medida bajo B2.

En el mes de **mayo**, no se prevé aumento de los valores de temperatura mínima para el periodo 2011-2040 respecto de 1961-1990. De hecho, las mínimas disminuirán del orden de 1 °C pasando de los 14 °C de referencia a 13 °C bajo ambos escenarios de emisiones. Esta tendencia se invierte en 2041-2070

puesto que se vuelve a incrementar la temperatura mínima hasta los 15 °C-16 °C en la mayor parte del territorio autonómico. No se aprecian diferencias sustanciales entre ambos escenarios de emisiones. La zona menos fría se ubica en la zona rural II. En ella, el calentamiento previsto es de hasta 2 °C respecto del periodo de referencia.

A partir del mes de **junio**, los meses de verano registran un incremento progresivo de la temperatura tanto en 2011-2040 como en 2041-2070 bajo ambos escenarios. El incremento térmico que se prevé es de 2 °C-3 °C para el mes de junio; aumentos de 3 °C-4 °C en **julio** y de hasta 4 °C-5 °C para el mes de **agosto**, mostrándose el calentamiento en las zonas del este de Extremadura, en particular, las ZR IV, VI y XI.

Para el mes de **septiembre**, y siguiendo con la línea de ascensos generalizados, se produce un intenso incremento térmico en el periodo 2011-2040 respecto del periodo de referencia. Este calentamiento de 5 °C-6 °C, hace pasar de temperaturas mínimas mensuales de 12 °C a temperaturas situadas en torno a los 17 °C-18 °C. Entre 2041-2070 y el periodo anterior, el calentamiento es menos importante pues el aumento de las temperaturas es de 1°C a 2 °C adicionales. Para estos periodos las mínimas más altas se registran en el centro de la provincia de Cáceres y llegan a alcanzar la temperatura de 20 °C (ZR II y IV).

El mes de **octubre** también registra un calentamiento notable, alrededor de 4 °C en promedio para el conjunto autonómico respecto del periodo de referencia. De los 8 °C-10 °C registrados en el periodo 1961-1990, se pasa a los 12 °C-13 °C en 2011-2040 y, a 14 °C-15 °C en 2041-2070, resultando en variaciones similares de la temperatura mínima para los dos escenarios de emisiones. Asimismo, en el interior de las ZR VI, IX y XI se alcanzan temperaturas mínimas de 15 °C-16 °C lo que representa un aumento de la temperatura de hasta 8-9 °C, con respecto al periodo de referencia.

El calentamiento previsto en **noviembre**, para 2011-2040, respecto del periodo de referencia será homogéneo y de 3 °C de magnitud. De este modo, aumentará ligeramente la temperatura más bajo el escenario B2 que bajo el A2. En el periodo 2041-2070, el incremento térmico proseguirá, si bien afectará especialmente a las ZR I, III y V. Así, las temperaturas mínimas serán equivalentes en toda Extremadura, independientemente de las características propias de cada zona rural.

En **diciembre**, la temperatura en las ZR I, III y V es de 3 °C-4 °C en el periodo de referencia. Las ZR II, IV y VIII tienen unas mínimas de entre 4 °C y 5 °C en promedio durante el mes, mientras que en el resto del territorio extremeño las temperaturas mínimas oscilan entre los 5 °C y 6 °C. En 2011-2040, en todas las zonas rurales, la  $T_{\min}$  se incrementará en dos grados, manteniendo la misma estructura térmica regional. En el periodo 2041-2070, la temperatura mínima ascenderá entre uno y dos grados más, lo que supondrá un incremento térmico de 4 °C, en promedio, respecto del periodo 1961-1990.

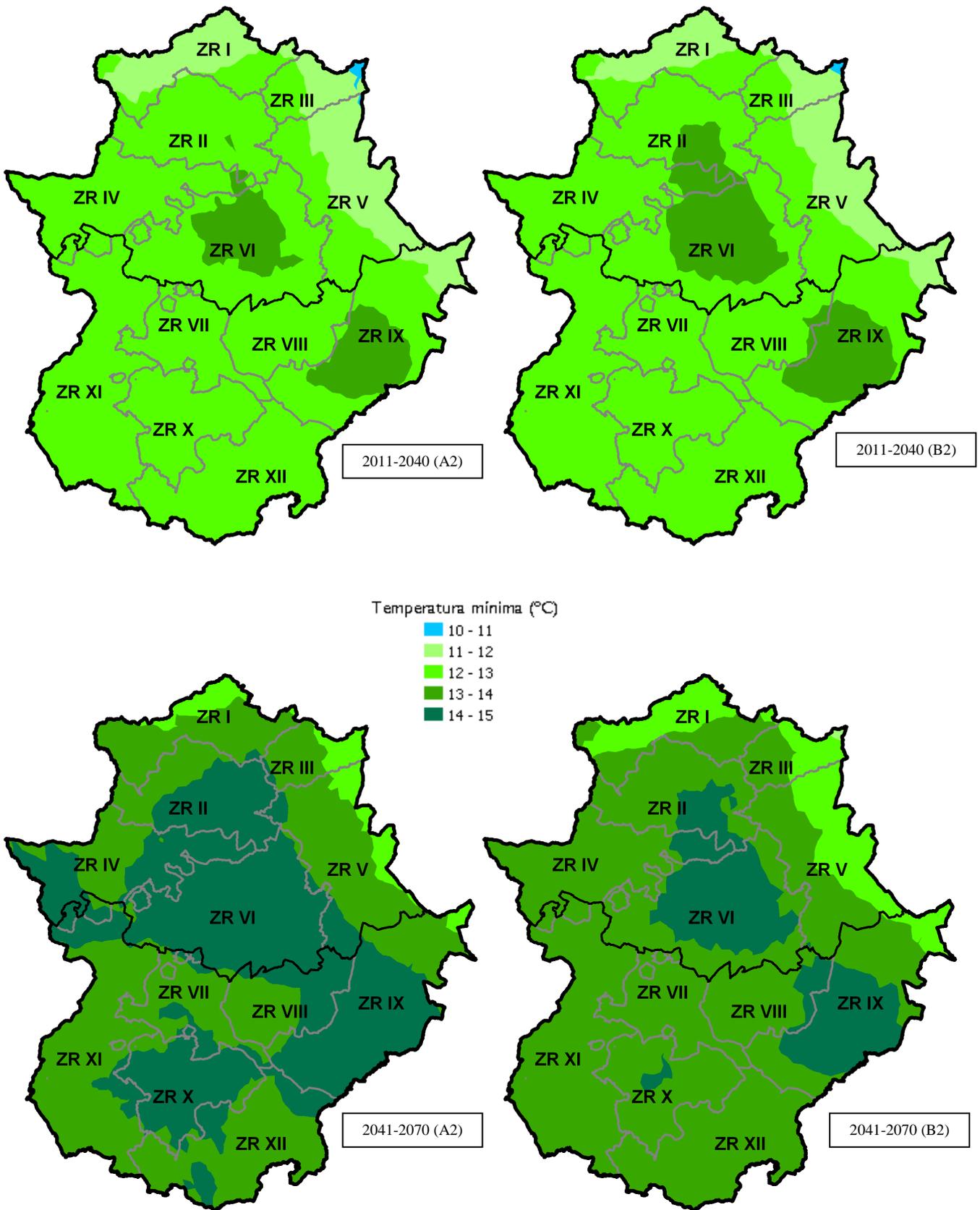
Dicho incremento será más importante bajo el escenario A2 que bajo el B2, aunque las diferencias no son demasiado importantes.

La observación de la cartografía presentada permite inferir que Extremadura sufrirá un calentamiento generalizado a lo largo del siglo XXI, siendo los valores de temperatura mayores para el periodo 2011-2040 respecto del periodo de referencia, y los del periodo 2041-2070, mayores que los del periodo precedente.

Del mismo modo, bajo el escenario de emisiones A2, las temperaturas, tanto máximas como mínimas, se incrementarán en mayor medida que bajo el escenario B2, si bien, este comportamiento no será evidente en algunos meses en los que el incremento térmico será similar bajo ambos escenarios. En los meses de verano y primera, y parte del otoño (julio-octubre), son las épocas donde mayor será el incremento de la temperatura máxima, alcanzando valores de hasta 6 °C en el periodo 2011-2040 y de hasta 9 °C en 2041-2070, respecto del periodo de referencia. Por otro lado, el valor de las mínimas se incrementará especialmente en los meses de otoño, pudiendo resaltar que el aumento de los valores de temperatura máximo será mayor que el de temperatura mínima, hecho que determina un incremento de la amplitud térmica.



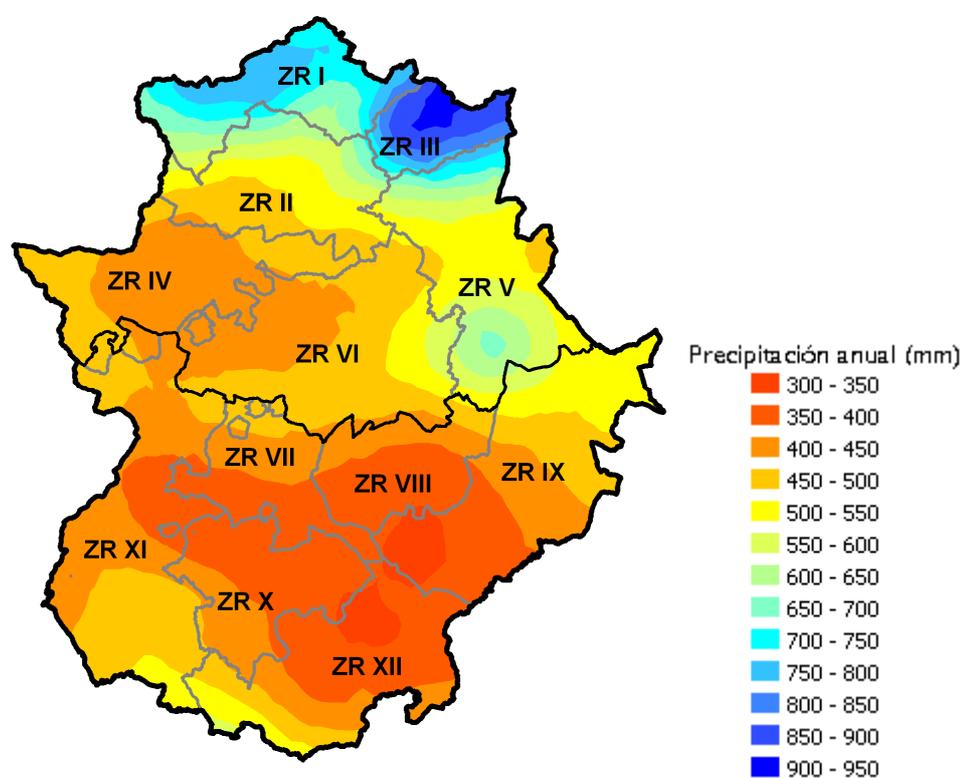
**Fotografía 4. Embalse de Valdecañas y Gredos**



Mapa 5. Temperaturas medias mínimas anuales en los periodos 2011-2040 y 2041-2070 (A2 y B2) (DGECA, 2011).

### 4.2.3. Precipitación anual

La precipitación anual media para el periodo 1961-1990 presenta una distribución espacial influenciada, por la disposición del relieve en esta comunidad al igual que ocurre con las temperaturas (Mapa 6). Los valores más elevados de precipitación se localizan en las zonas montañosas, así, en la ZR III, coincidente con las Sierras de Tormantos y Hervás, se alcanzan valores de precipitación anual superiores a 900 mm; por su parte, la ZR I, en la Sierra de Gata, se superan los 750 mm anuales. En el resto de la ZR I y en la Sierra de Guadalupe (ZR V) los valores de precipitación anual son elevados, aunque algo más bajas que en la ZR III, situándose entre 650 y 750 mm. Por último, en la Sierra de Tentudía, al sur de la ZR XII, los valores anuales de precipitación se sitúan en torno a 550 mm anuales.



Mapa 6. Precipitación anual en el periodo 1961-1990 (DGECA, 2011).

Los valores más bajos de precipitación anual, comprendidos entre 300 y 350 mm, se dan en la comarca de La Serena, en la ZR IX, y en la comarca de Campiña Sur en la ZR XII. Adicionalmente, amplias zonas de la provincia de Badajoz registran una precipitación anual de entre 350 y 400 mm, concretamente la zona centro y sur de la ZR VIII, el sur de las ZR VII y IX, el norte y centro de la ZR X, así como en la zona central de la comarca de Tierra de Badajoz perteneciente a la ZR XI. En Cáceres, la comarca de Tajo-Salor (ZR IV) y el municipio de Cáceres (ZR VI) son los territorios de menor precipitación anual, con unos registros de entre 400 y 450 mm, mostrando en el resto del territorio extremeño unos valores comprendidos entre 450 y 600 mm anuales.

Durante los distintos periodos modelizados se observa, en líneas generales, una disminución de la precipitación respecto al periodo 1961-1990 (Mapa 7). De forma general, la precipitación anual en el periodo 2011-2040 es prácticamente similar bajo ambos escenarios de emisiones, tanto en volumen total de lluvia como en la distribución espacial de la misma. Los valores más elevados se concentran en las áreas serranas del norte de Cáceres, oscilando entre 700 y 750 mm en la ZR III y entre 600 - 650 mm en la ZR I. Por el contrario, los valores más bajos de precipitación anual se encuentran en las zonas centrales de Badajoz (comarca de La Serena, ZR IX, Campiña Sur, ZR XII, y en Tierra de Barros en la ZR X), con una precipitación entre 250 y 300 mm. Bajo el escenario B2, la comarca de Vegas Altas en el sur de la ZR VIII, también tiene una precipitación anual de entre 250 y 300 mm.

Durante el periodo 2041-2070, se observa una diferencia entre ambos escenarios de emisiones, habiéndose modelizado precipitaciones anuales más bajas en el escenario A2 respecto del B2. Así, bajo el escenario A2, la mayor parte del territorio extremeño se encuentra entre las isoyetas de 300 y 450 mm anuales, superándose estas cifras únicamente en las zonas montañosas del norte de Cáceres (ZR I y III) y en la Sierra de Guadalupe, en la ZR V. El máximo valor de precipitación para este periodo, se alcanza en la Sierra de Tormantos, oscilando los valores anuales entre 600 y 650 mm.

Bajo el escenario B2, los umbrales de 300 a 450 mm anuales son los más extendidos por amplias áreas de la provincia de Badajoz y del sur de la provincia de Cáceres, a excepción, de nuevo, del norte montañoso (ZR I y III), en donde se alcanzan precipitaciones anuales modelizadas algo superiores a las mostradas para el escenario A2 para el mismo periodo, situándose entre 600 y 750 mm anuales.

### Precipitación mensual

En Extremadura, existe un vector de precipitación con una dirección noroeste-sudeste, que determina la distribución del régimen de precipitaciones. Así, en la ZR III, el norte de la ZR V y el oeste de la ZR I, las lluvias son más abundantes a lo largo del año, que en la zona interior del territorio autonómico (ZR II, IV, VI, VII y VIII). A su vez, en estas zonas se registra mayor pluviometría que en las zonas rurales del sur y sureste de la región (ZR X, XI y XII). En términos generales, este vector de precipitación se mantendrá en el futuro, tanto en el periodo 2011-2040 como en el 2041-2070, bajo ambos escenarios de emisiones.

En **enero**, en el periodo de referencia, las lluvias alcanzan los 80 mm en las zonas rurales más lluviosas (ZR I y III), mientras que los valores más bajos están entre los 20 y los 40 mm (ZR IX, X, XI, XII). En el periodo 2011-2040, de acuerdo con las proyecciones climáticas, el valor total de las precipitaciones de enero aumentará bajo ambos escenarios, aunque en mayor medida bajo el escenario B2, alcanzando los 140 mm mensuales en el noroeste de Extremadura. Para el periodo 2041-2070, estas condiciones se mantendrán similares a las del periodo anterior.

En **febrero**, las lluvias son menos abundantes en la actualidad que las reflejadas para el mes enero. El volumen de precipitación se reducirá ligeramente en 2011-2040, bajo ambos escenarios, aunque volverá a valores próximos a los registrados en la actualidad en el periodo 2041-2070.

En **marzo** por el contrario, bajo el escenario A2, se observa un patrón inverso, siendo las lluvias más abundantes en 2011-2040 que en el periodo de referencia, y reduciéndose en 2041-2070. Asimismo, bajo el escenario B2, no se aprecian cambios en la distribución y abundancia de precipitaciones mensuales.

Durante el mes de **abril**, las proyecciones climáticas no prevén una ligera reducción de la lluvia en la ZR III en el periodo 2011-2040, si bien no se esperan cambios reseñables en el resto del territorio autonómico, manteniéndose los valores entre 40 y 60 mm mensuales en las ZR I, III y V (áreas montañosas) y, entre 20 y 40 mm en las demás zonas rurales.

Durante el mes de **mayo**, las precipitaciones son escasas en términos generales, así, la mitad nororiental de Extremadura (ZR I, II, III, y parte de la ZR IV y IX) recibe en promedio, entre 20 y 40 mm mientras que en el resto de Extremadura no se superan los 20 mm mensuales. Este patrón espacial se mantendrá en 2011-2040 bajo ambos escenarios. En el periodo 2041-2070, se observa un comportamiento diferencial según el escenario considerado, resultando que bajo el escenario A2, las zonas con precipitación entre 20 y 40 mm aumentarán su importancia mientras que bajo B2, se verán reducidas a las áreas más montañosas (ZR I, III y V).

En los meses de **junio** y **julio**, en los que la precipitación en Extremadura es escasa, en torno a 20 mm al mes en promedio para el conjunto de la región, el volumen de lluvias recogidas no variará sustancialmente con respecto al periodo de referencia, aunque sí que aumentará ligeramente el valor de precipitación en 2011-2040 en la provincia de Cáceres, bajo ambos escenarios de emisiones. Este incremento se mantendrá para el periodo 2041-2070.

Así, durante la primera mitad del año, los datos de las proyecciones de la variable precipitación no muestran grandes diferencias entre los dos escenarios analizados. El patrón de distribución de la precipitación se mantiene similar al actual, siendo las lluvias mayores en las ZR I, III y V, y menores en la provincia de Badajoz. El aumento previsto en el mes de enero, se compensa con las reducciones del volumen registrado en febrero, y los meses de marzo a julio tendrán un comportamiento de precipitaciones similar al actual tanto en la cantidad como en la distribución de las lluvias. Sin embargo, a partir del mes de agosto, se observan cambios importantes que afectarán a la disponibilidad del recurso hídrico en la región.

En **agosto**, disminuirá la precipitación mensual en toda Extremadura, especialmente en las ZR I y III, pasando de valores de entre 40 y 60 mm a valores próximos a 20 mm, mientras que en el resto se reducirá la lluvia a la mitad, pasando de entre 20 y 40 mm a menos de 20 mm, para los dos periodos.

En **septiembre**, esta tendencia a la reducción de las precipitaciones se acentúa, dado que los valores actuales son mayores. La disminución para el periodo 2011-2040 es muy acusada en la zona rural III, donde se pasará de los más de 80 mm al mes actuales a menos de 40 mm bajo el escenario de emisiones A2 y, a unos valores de precipitación cercanos a 20 mm bajo el escenario B2. Del mismo modo para el periodo 2041-2070 se espera que las precipitaciones en esta zona sean de menos de 20 mm bajo ambos escenarios. Así, considerando los datos de precipitación proyectados, durante el mes de septiembre se prolongará la sequía estival pudiendo ser origen de problemas de abastecimiento para distintos sectores de actividad.

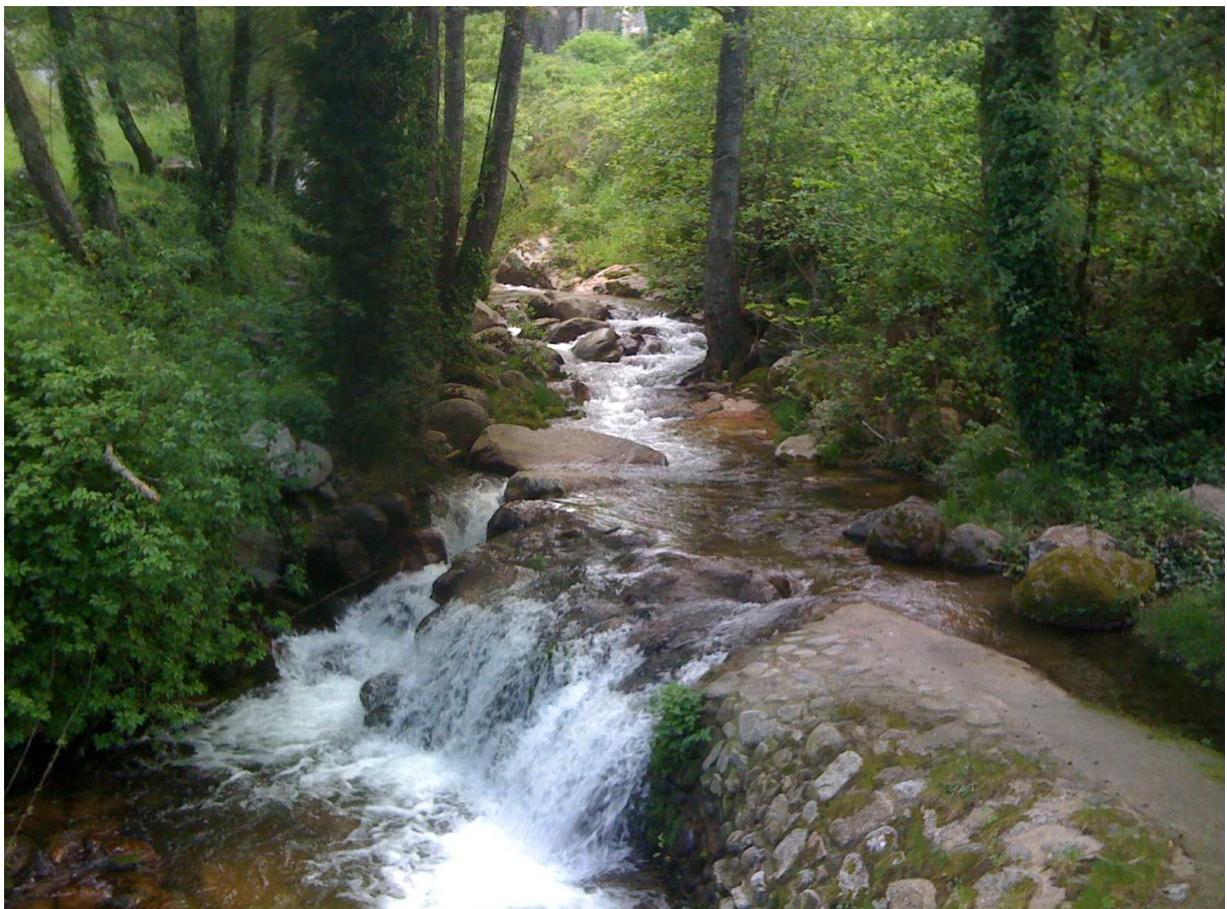
El mes de **octubre** presenta el mismo comportamiento que septiembre, observándose una reducción importante de las lluvias registradas en toda Extremadura. En las zonas, que actualmente son las más lluviosas (ZR I y III) se produce una reducción en el valor de precipitación en más de 40 mm al mes pasando de los actuales 100 mm a 60 mm. En la mitad sur de la provincia de Cáceres y en la provincia de Badajoz, se registrará del orden de 50% menos de lluvias que en la actualidad para el periodo 2011-2040, bajo ambos escenarios de emisiones. Asimismo, el periodo 2041-2070 será a su vez más seco que el 2011-2040, resultando con más intensidad bajo el escenario A2 que bajo B2.

Por su parte, los meses de **noviembre y diciembre** son los meses más lluviosos en el periodo de referencia, ya que prácticamente toda Extremadura recibe más de 60 mm al mes durante este periodo, con la excepción de algunos puntos de las ZR VIII, X y XII. Las precipitaciones son especialmente abundantes en la región nororiental del territorio autonómico, con valores superiores a 140 mm al mes en la zona rural III.

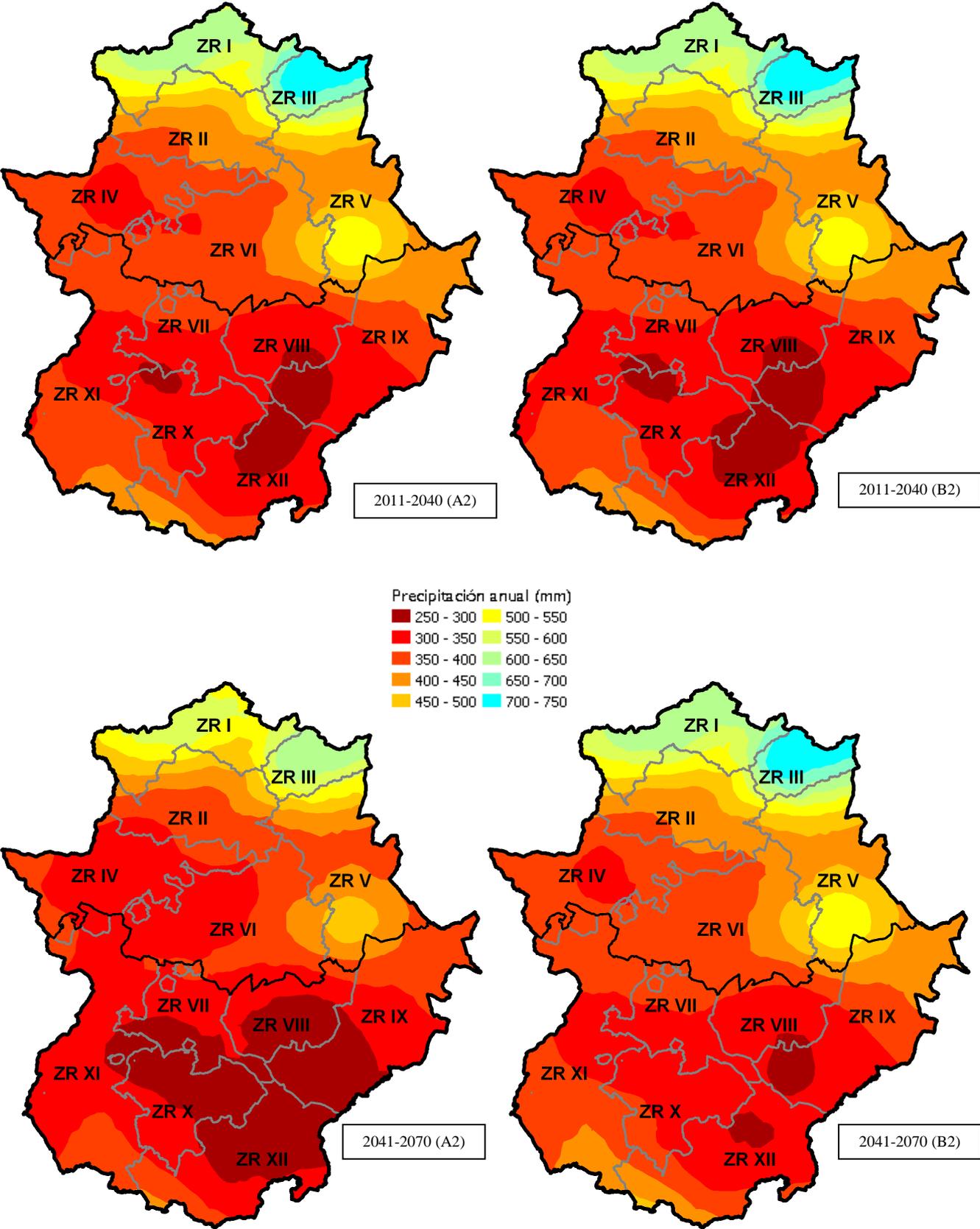
Al igual que en los meses anteriores, las predicciones realizadas sobre esta variable indican una reducción en el volumen de lluvias mensuales en noviembre, sin embargo, a diferencia de septiembre y octubre, para el periodo 2011-2040 se registrarán menos lluvias que en 1961-1990, pero a partir de 2041-2070, se volverán a recoger volúmenes cercanos a los actuales en buena parte del territorio de Extremadura. Adicionalmente, bajo el escenario A2, se prevén mayores reducciones que bajo B2 en 2011-2040, no así en 2041-2070. Por otra parte, en el mes de diciembre, la reducción en el volumen de precipitación es similar en el periodo 2011-2040 bajo los dos escenarios respecto del periodo de referencia, mientras que en 2041-2070 se registra una bajada más acusada de las lluvias bajo A2 y, no es tan significativa bajo B2. De este modo, las zonas rurales I, II, III y V reciben en el periodo de referencia, más de 80 mm al mes. En cualquier caso, las áreas donde se registrarán más de estos 80

mm al mes en los periodos futuros se reducen considerablemente a ubicaciones de las zonas rurales I y III.

En conclusión, mientras que en los siete primeros meses del año, el volumen y distribución de lluvias se mantendrán similares a los actuales; en los meses de otoño, se prevé una reducción severa de las precipitaciones. Este descenso en el volumen de lluvia, determinará una disminución de los recursos hídricos disponibles a nivel regional y podrá resultar en una merma en la posibilidad de satisfacer las demandas futuras de agua en Extremadura.



Fotografía 5. Garganta Ancha, Casas del Monte.



Mapa 7. Precipitación anual media de los periodos 2011-2040 y 2041-2070 (A2 y B2) (DGECA, 2011).

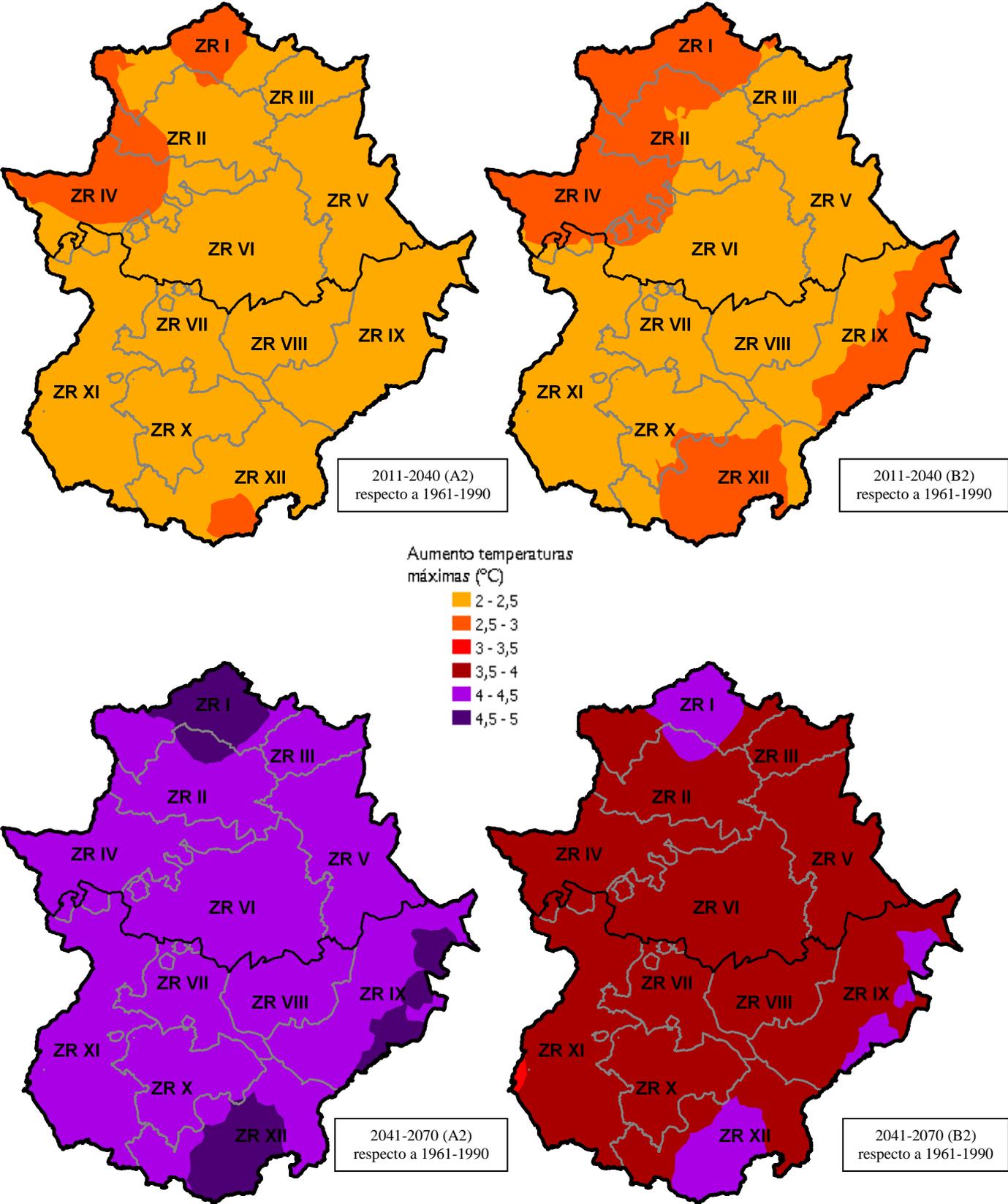
### **4.3. Análisis del aumento de temperaturas y variación de la precipitación en los periodos 2011-2040 y 2041-2070 respecto al periodo 1961-1990**

#### **4.3.1. Temperaturas medias de las máximas anuales**

Partiendo de los modelos utilizados, se observa que la temperatura media máxima anual irá incrementándose a lo largo del siglo. Mientras que en el periodo 2011-2040, el incremento es similar bajo ambos escenarios de emisiones, durante el periodo 2041-2070 los mayores incrementos tienen lugar bajo el escenario A2 (Mapa 8).

En el periodo 2011-2040 las medias de las temperaturas máximas anuales presentan un aumento comprendido entre 2 °C y 3 °C tanto para el escenario A2 como para el B2. Bajo el escenario A2, los incrementos más importantes, comprendidos entre 2,5 °C y 3 °C, se dan en las zonas montañosas, tanto del norte de la región en la ZR I (Sierra de la Peña de Francia, Sierra de Gata y Sierra de Santa Olalla) como del sur en la ZR XII (Sierra de Tentudía), además de en las comarcas de Sierra de San Pedro y Tajo-Salor, pertenecientes a la ZR IV, y Vegas del Alagón en la ZR II. Adicionalmente, para el escenario B2, la superficie en la que se registra un incremento de entre 2,5 °C y 3 °C es mayor que para el escenario A2. Además de las zonas comentadas, se observa que el incremento térmico de las máximas también es de entre 2,5 °C y 3 °C en la comarca de Campiña Sur (ZR XII) y en la parte oriental de las comarcas de La Siberia y La Serena (ZR IX).

En el periodo 2041-2070 los aumentos de temperatura respecto del periodo de referencia 1961-1990 son bastante significativos, y oscilan entre los 4 °C y 5 °C en el escenario A2, y los 3,5 °C y 4,5 °C bajo el escenario de emisiones B2. En ambos casos, los mayores aumentos se localizan en las zonas montañosas del norte, en la Sierra de la Peña de Francia y resto de la comarca de Las Hurdes (ZR I), en el sur de la provincia de Badajoz, en la Sierra de Tentudía y comarca de Campiña Sur (ZR XII) y sureste de la comunidad en el límite con las provincias de Ciudad Real y Córdoba (ZR IX).



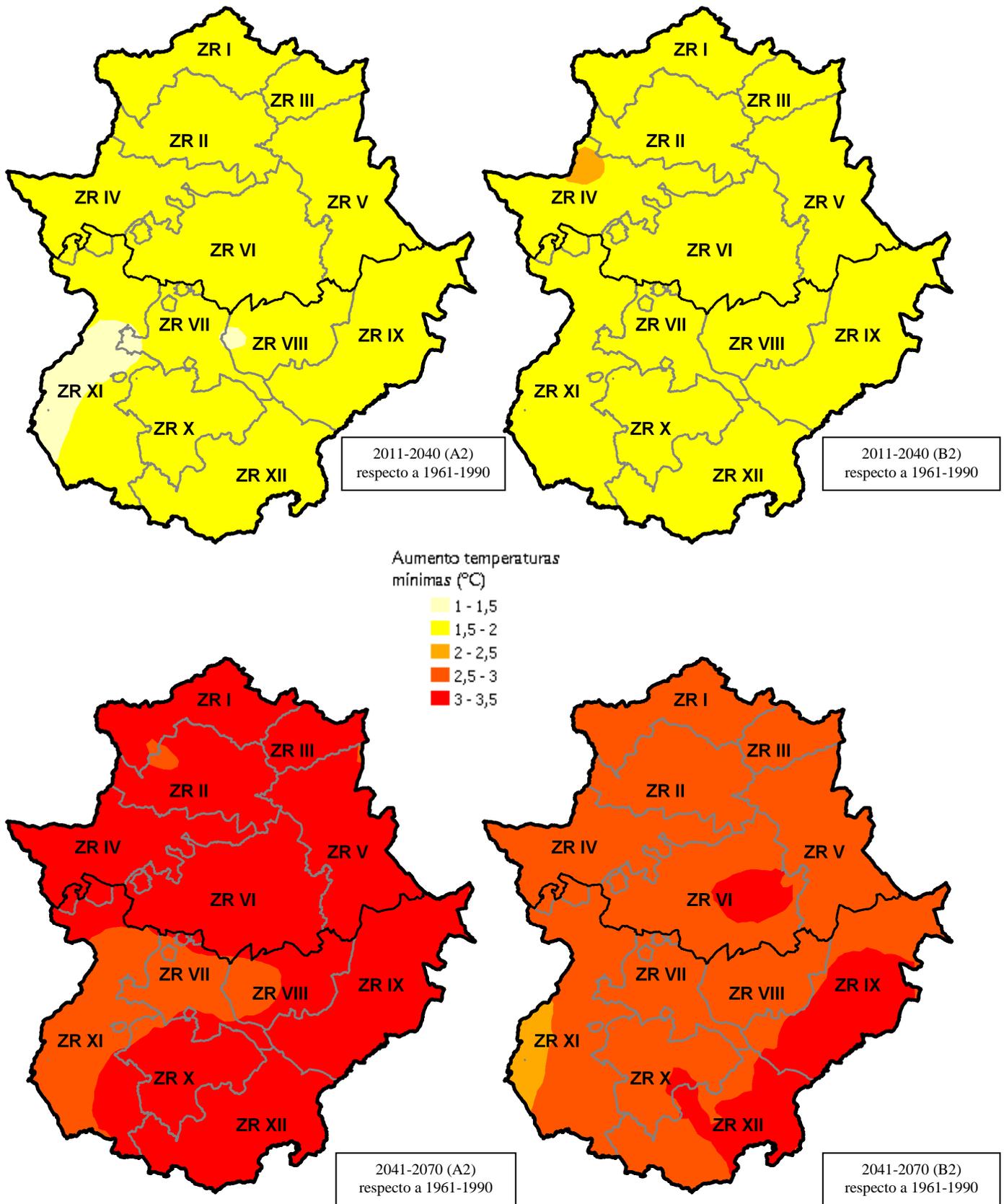
Mapa 8. Aumento de las temperaturas medias de las máximas anuales en 2011-2040 y 2041-2070 respecto a 1961-1990, bajo los escenarios de emisiones A2 y B2 (DGECA, 2011).

### 4.3.2. Temperaturas medias de las mínimas anuales

Los aumentos de las temperaturas mínimas anuales para los periodos 2011-2040 y 2041-2070 respecto a los valores promedio del periodo 1961-1990, a diferencia de las temperaturas máximas, son bastante más reducidos, oscilando los incrementos entre 1 °C y 3,5 °C (Mapa 9).

Así, en el periodo 2011-2040 los aumentos previstos para la temperatura mínima no son tan importantes como en el caso de las máximas, siendo éstos algo más elevados en el escenario B2 que en el A2. Se observa que en la mayor parte de la región, bajo el escenario A2, se producen unos aumentos modelizados de entre 1,5 °C y 2 °C, a excepción del extremo suroeste en el que el aumento es de entre 1 °C y 1,5 °C (oeste de la zona rural XI). Bajo el escenario B2, toda la comunidad presenta un aumento de entre 1,5 °C y 2 °C, excepto una pequeña zona en el oeste de Cáceres, en la zona rural IV, donde el incremento es mayor situándose entre 2 °C y 2,5 °C.

Adicionalmente, en el periodo 2041-2070, el incremento de las medias de las mínimas es más elevado, siendo más notable en el escenario A2 que en el B2. Así, en el escenario A2, para toda la franja occidental de Badajoz y su sección centro-norte (ZR VII, XI y oeste de la ZR VIII), se ha modelizado un incremento de entre 2,5 °C y 3 °C, mientras que en el resto de la comunidad es algo más pronunciado ascendiendo a entre 3 °C y 3,5 °C. Bajo el escenario B2, la mayor parte de la región presenta un ascenso de entre 2,5 °C y 3 °C, excepto las tierras más occidentales de la zona rural XI en el que el aumento es de entre 2 °C y 2,5 °C y el sureste de Badajoz donde los valores son de entre 3 °C y 3,5 °C (comarca de la Campiña Sur en la ZR XII y, comarca de La Serena y sur de La Siberia en la ZR IX).



Mapa 9. Aumento de las temperaturas medias de las mínimas anuales en 2011-2040 y 2041-2070 respecto a 1961-1990, bajo los escenarios de emisiones A2 y B2 (DGECA, 2011).

### 4.3.3. Precipitación anual

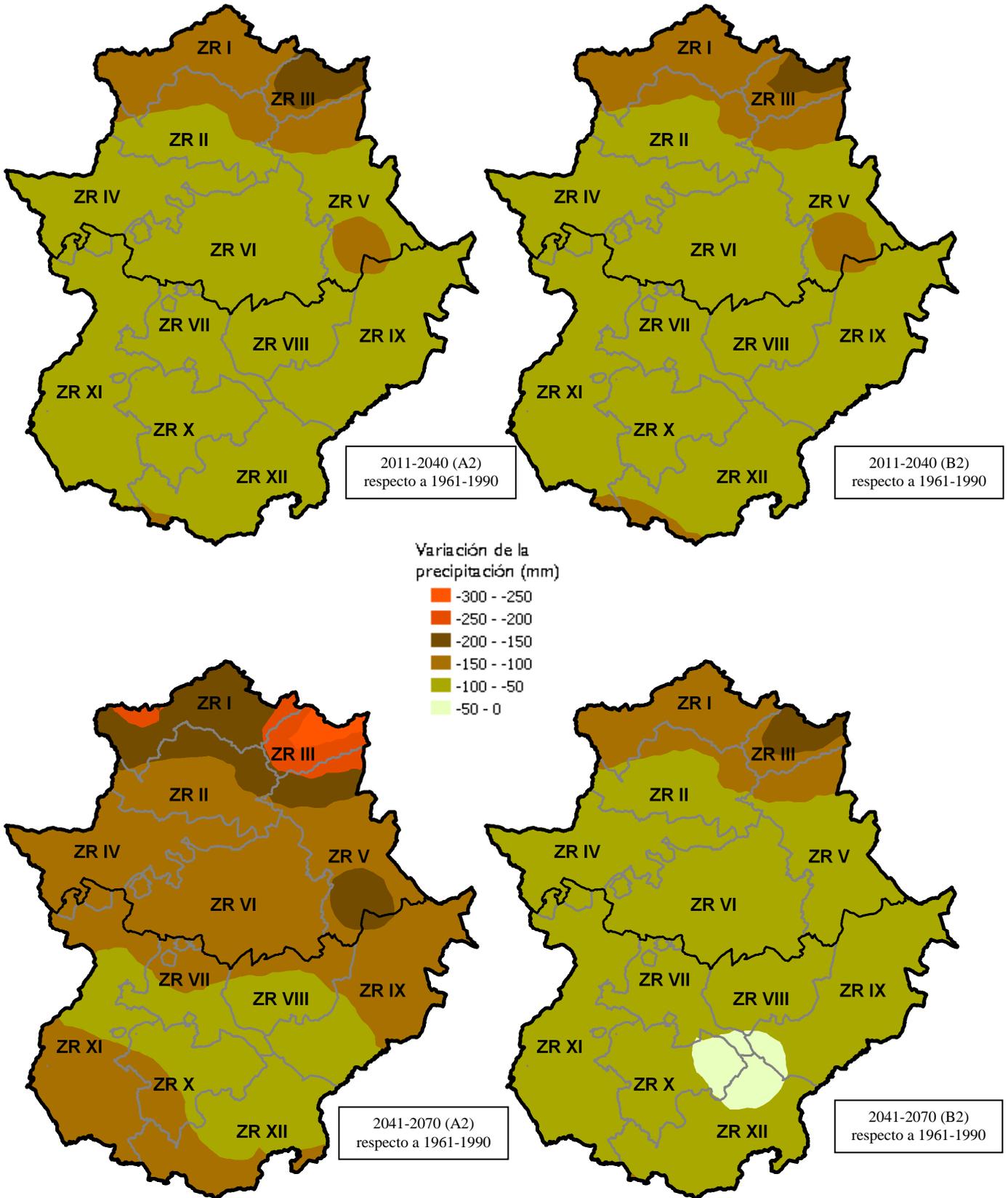
Respecto a la variación de la precipitación media anual proyectada en relación al periodo de referencia, los resultados son bastante dispares entre los distintos escenarios de emisiones y periodos (Mapa 10). Así, bajo ambos escenarios de emisiones en el periodo 2011-2040, los resultados apenas presentan diferencias, estando ambos en un contexto general de descenso de las precipitaciones, aunque no muy acusado. La mayor parte del territorio se ve sometida a una reducción cuyos valores oscilan entre -50 y -100 mm anuales. Cabe resaltar el norte de Cáceres (ZR I, norte de la ZR II y partes de la ZR V), donde la disminución es más intensa, oscilando entre -100 y -150 mm al año. Por su parte, la zona rural III, que es la de mayor precipitación anual en el periodo de referencia con un registro de 800 mm anuales, es el lugar en el que las reducciones adquieren más importancia ya que oscilan en valores desde -150 a -200 mm anuales en promedio.

Por el contrario, durante el periodo 2041-2070 existen diferencias notables según el escenario de emisiones considerado. De este modo, bajo el escenario A2, los resultados indican una disminución importante de la precipitación anual, especialmente en el norte de la provincia de Cáceres que va desde -150 mm a -300 mm (ZR I y III y norte de las ZR II y V). Por otro lado, en el centro de Badajoz (sur de las ZR VII y VIII, sur de la ZR IX, ZR X, parte central de la ZR XI y norte de la ZR XII), el descenso es poco significativo, situándose los valores entre -50 y -100 mm anuales, y en el norte y sur de la misma provincia es algo más elevado, entre -100 y -150 mm anuales (norte de las ZR XI, VI, VII y IX y sur de la ZR X, XI y XII). Adicionalmente, bajo el escenario de emisiones B2, también se observa una disminución de la precipitación, aunque en este caso es más leve, entre -50 y -100 mm, llegando a ser incluso nula en el oeste de la ZR X y el norte de la ZR XII, ya que los valores de descenso oscilan entre 0 y -50 mm al año, mientras que en el resto de la región los valores son prácticamente iguales que los modelizados para el periodo 2011-2040.

La distribución temporal de las precipitaciones a lo largo del año es un factor fundamental, desde el punto de vista del balance hídrico y de la disponibilidad del recurso en distintos momentos, considerando que en clima mediterráneo, las lluvias se distribuyen desigualmente a lo largo del año. Por este motivo, se ha considerado interesante analizar la evolución del reparto temporal de las precipitaciones mensualmente. Para ello, se ha caracterizado la distribución de la precipitación acumulada mensual promedio de cada uno de los distintos periodos considerados en este trabajo (1961-1990, 2011-2040 y 2041-2070) bajo los escenarios de emisiones A2 y B2, representando de manera cartográfica los resultados (Anejo II).

En resumen, los Escenarios Regionalizados de cambio climático para Extremadura permiten inferir un comportamiento desigual del volumen de precipitación mensual en función del mes y el escenario de emisiones considerado. Así, se prevé una reducción de las lluvias entre los meses de agosto y octubre, siendo más severa bajo el escenario de emisiones A2 que bajo el B2. Durante el periodo comprendido entre los meses de febrero a julio, el volumen mensual de precipitación será más o menos estable en 2011-2040 y algo menor que el actual en 2041-2070. Finalmente, en los meses de invierno, se registrará una reducción ligera de las precipitaciones en diciembre bajo el escenario A2, que se verá compensada por un aumento generalizado de las lluvias en enero. Asimismo, bajo el escenario B2, el invierno será más lluvioso que en la actualidad.

Desde el punto de vista hidrológico, una mayor irregularidad temporal de las precipitaciones repercutirá de forma negativa en el régimen de las crecidas y en la regulación de los ríos, modificando la estacionalidad de los flujos. El comportamiento de la precipitación descrito no es especialmente favorable pues el incremento invernal de las precipitaciones se acompañará de episodios de elevadas lluvias en cortos periodos de tiempo, favoreciendo probablemente el desbordamiento de ríos, las grandes nevadas y tormentas, lo que influirá negativamente en las infraestructuras de almacenamiento pudiendo provocar afecciones a las mismas. Además, la reducción de la precipitación estival favorecerá condiciones de escasez del recurso lo que puede afectar negativamente tanto a los usos consuntivos como a los no consuntivos, a los ecosistemas fluviales y a las actividades económicas extremeñas. La tendencia registrada en la reducción de la precipitación en el futuro en los meses de primavera y verano unida al incremento de la temperatura máxima en verano conformará un escenario negativo para el balance hídrico en esa época reduciendo, con probabilidad, la recarga y la escorrentía y afectando a la disponibilidad hídrica estival y otoñal.



Mapa 10. Variación de la precipitación anual en 2011-2040 y 2041-2070 respecto a 1961-1990, bajo los escenarios de emisiones A2 y B2 (DGECA, 2011).

## **5. CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EXTREMADURA**

Una vez analizadas las características climáticas y las proyecciones para el siglo XXI, en este apartado se describen las principales particularidades territoriales de Extremadura en relación con los recursos hídricos, con el fin de evaluar cómo modificaciones futuras en la disponibilidad hídrica en relación con el cambio climático, pueden provocar impactos sobre los ecosistemas, la sociedad y la estructura económica regional. Para ello es preciso caracterizar el territorio describiendo los usos del suelo, su demanda hídrica, sus características demográficas, su relieve, etc. Esta caracterización de los recursos hídricos en Extremadura trata de poner de manifiesto las características territoriales claves en el marco de la evaluación de los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos.

### **5.1. Características generales de abastecimiento urbano**

En España, en el año 2009, el volumen captado para abastecimiento urbano fue de 3.739 hm<sup>3</sup> resultando el porcentaje de captación de agua procedente de recursos superficiales en torno al 67%, de acuíferos subterráneos el 20,9%, y el resto procede de agua desalada y otras fuentes (INE, 2011).

La captación de agua en Extremadura en el 2009 para abastecimiento urbano, fue de 99,2 hm<sup>3</sup>, cantidad que supone una reducción respecto del año 2008 de aproximadamente un 30%. Del total de agua captada, el 98,2% procede de aguas superficiales, y sólo el 1,8% de aguas subterráneas, además cabe resaltar que, en la región, a diferencia de lo que ocurre a nivel nacional, no se obtiene agua mediante procesos de desalación, regeneración u otros tipos de alternativas (INE, 2011).

Como ya se ha comentado, el año 2009 fue un año en el que las captaciones totales en Extremadura fueron bastante inferiores a las de años anteriores, tal y como queda reflejado, si observamos los valores disponibles en el periodo abarcado desde 2005-2008, en el que éstas oscilaron en torno a 150 hm<sup>3</sup>. Este hecho se debe probablemente a las reducidas precipitaciones de aquel año. En cuanto a la procedencia de las captaciones en el reparto entre fuentes superficiales y subterráneas, no existe diferencia entre el año 2009 y los anteriores (INE, 2011).

Este hecho pone de manifiesto, la gran dependencia de Extremadura de las fuentes de agua superficial para la captación, ya que es un factor relevante en relación con la vulnerabilidad del territorio frente a cambios en el régimen de precipitaciones dado que no cuenta con otras fuentes de respaldo de captación de agua como acuíferos o trasvases. Para ello, los sistemas de embalsado permiten manejar los recursos hídricos y modular el volumen de agua disponible en un determinado periodo.

Así, en el año 2009, el volumen de agua para uso urbano disponible en Extremadura fue de 331 hm<sup>3</sup>, cantidad que supone un 3,5% del total nacional (INE, 2011). Este volumen de agua se distribuye prácticamente en partes iguales entre agua disponible potabilizada (167 hm<sup>3</sup>) y no potabilizada (164 hm<sup>3</sup>). Cabe citar que el valor de agua disponible para ese mismo año es del orden de 20 hm<sup>3</sup> menor que el promedio del volumen disponible en la región en el periodo 2005-2009 (INE, 2011).

Adicionalmente, el volumen de agua suministrada a la red de abastecimiento público en Extremadura, en 2009, fue de 113 hm<sup>3</sup>, cifra que supone un 2,4% del total nacional (INE, 2011). Cerca del 30% de dicho volumen es agua no registrada, es decir, que no es contabilizada por los sistemas de contadores o aforos y que puede considerarse como agua que pierde el sistema. A nivel nacional, la cifra de pérdidas es algo menor, alcanzando el 25,6% del volumen de agua suministrada. En Extremadura, las pérdidas reales o debidas a fugas, averías y roturas, fueron, en 2009 de 20 hm<sup>3</sup> (59% del total de pérdidas del sistema de suministro y 18% del volumen de agua suministrado), mientras que las pérdidas aparentes, es decir, las debidas a fraudes, errores en el sistema de medidas y otras causas no físicas, fueron de 13,9 hm<sup>3</sup> (el 42% del total del agua no registrada).

Por tanto, el volumen total de agua suministrada y registrada, en Extremadura en 2009, fue de 79,6 hm<sup>3</sup>, y al igual que en el caso del volumen disponible en la región, el volumen de agua suministrada en el mismo año fue ligeramente inferior al promedio de los años anteriores (del orden de 10 hm<sup>3</sup>). La distribución entre agua registrada y no registrada es constante a pesar de la variación en volumen total de agua suministrada.

La distribución del agua por tipos de usuario en España es desigual, preponderando el consumo doméstico con algo más del 71% del agua suministrada y registrada. Por su parte, en Extremadura, el volumen de agua consumido en los hogares supuso en 2009, el 80,8% del total de agua distribuida y registrada (sin contar pérdidas del sistema de suministro), el 10,4% corresponde a consumos de agua municipales y otros, mientras que el 8,7% restante es usado por sectores económicos (INE, 2011).

Adicionalmente, considerando que la población extremeña es de 1,11 millones de habitantes, el consumo de agua promedio establecido por habitante y año es de 158 litros, con lo que el importe facturado por dicho suministro alcanzó los 61,9 millones de euros en la región para el año 2009 (INE, 2011).

Otro factor a tener en cuenta debido a su importancia, es la demanda agrícola ya que supone de manera global en España un 80% de la demanda total, seguida de la urbana un 15% y la industrial con un 5% (MARM, 2012). Estos datos varían por demarcaciones hidrográficas, dependiendo de las características propias de cada una, así, en la D.H. del Guadiana, la demanda agraria está en torno al 90% mientras que en la D.H. Tajo es del 70%, siendo la demanda urbana del 28% aproximadamente (MARM, 2012).

Existen estimaciones recientes de la demanda total de agua por usos (Sánchez Sánchez-Mora, 2011), que indican que para el conjunto de Extremadura, el regadío es responsable del 88% del consumo, seguido del abastecimiento urbano (8%) y los usos industriales (2%) (Tabla 2).

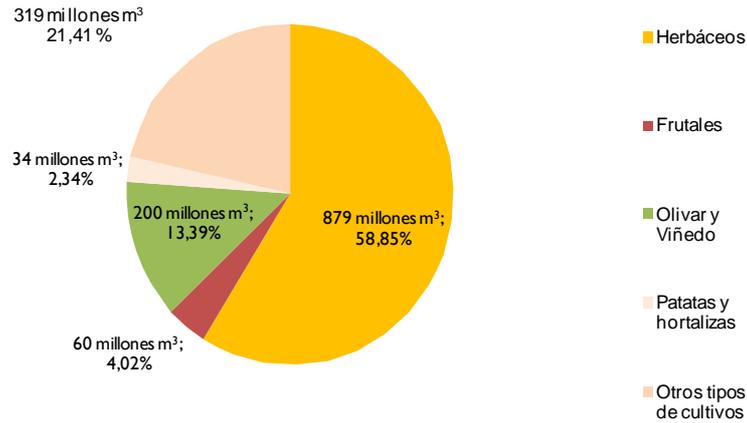
Tabla 2. Estimación de las demandas de agua en Extremadura por usos (Sánchez Sánchez-Mora, 2011).

Usos	Unidades	Demanda unitaria	Demanda total	
			hm <sup>3</sup>	%
Abastecimiento urbano	1.107.000 habitantes	300 l/hab.día	120,45 hm <sup>3</sup>	8,43%
Uso industrial	-	Un tercio del abastecimiento urbano	40,15 hm <sup>3</sup>	2,81%
Uso agrario (regadíos)	244.000 ha	5.200 m <sup>3</sup> /ha (con un 20% de retorno)	1.268,00 hm <sup>3</sup>	88,76%
<b>Total</b>	-	-	<b>1.428,60 hm<sup>3</sup></b>	<b>100,00%</b>

En Extremadura, en el año 2009, hubo una disponibilidad de 2.242 hm<sup>3</sup> de agua para el sector agrario, de los que el 90% provenían fundamentalmente de aguas superficiales, siendo el 10% restante procedente de origen subterráneo. Esta cifra supuso algo menos del 12% del agua disponible para agricultura a nivel nacional. Adicionalmente, en el año 2009 se dispuso de 659 hm<sup>3</sup> más de recurso hídrico que en el promedio de los años anteriores (2005-2008) (INE, 2011), resultando este incremento tanto a un aumento en la disponibilidad de aguas superficiales como de aguas subterráneas.

Por otra parte hemos de tener en cuenta que el consumo de agua en áreas de regadíos se compone del agua suministrada en cabecera de área, es decir, el suministro bruto, menos los retornos de agua originados por el riego. De acuerdo con el *Plan Nacional de Regadíos - Horizonte 2008* (MAPA, 2002) el consumo de agua total de riego en Extremadura es de 1.420 hm<sup>3</sup>/año, para una superficie regada de 210.488 ha, es decir, representa el 6,2% de la superficie regada en España (*Real Decreto 329/2002*, de 5 de abril, BOE nº 101, de 27 de abril de 2002). Asimismo, la demanda neta de agua, estimada a partir del tipo de cultivos y la eficiencia del riego, para el conjunto autonómico es de 2.021 hm<sup>3</sup>/año. El citado PNR 2008, establece que cuando el suministro de agua es inferior al 75% de la demanda para riego, los cultivos se encuentran infradotados. De este hecho se deriva que en el conjunto de Extremadura, cerca del 20% de los regadíos están infradotados, y para satisfacer las demandas de agua para agricultura en dichos cultivos, son necesarios 360 hm<sup>3</sup>/año suplementarios (*Real Decreto 329/2002*, de 5 de abril; BOE nº101, de 27 de abril de 2002).

Adicionalmente podemos establecer otra comparativa por tipo de cultivo. Así, en Extremadura, las herbáceas son las que mayor cuota de consumo tienen, con un valor cercano al 59% del consumo total de agua en explotaciones agrícolas, seguido del olivar y el viñedo con el 13% (INE, 2011). El porcentaje de la superficie extremeña ocupada por cultivos con elevadas necesidades hídricas, como el arroz, maíz y sorgo, los llamados cultivos intensivos, es del 2% en promedio para el periodo 1997-2009 (MARM, 2012) (Figura 1).



**Figura 1. Distribución del consumo de agua de las explotaciones agrícolas de Extremadura por tipo de cultivo en el año 2009, expresado en millones de metros cúbicos y porcentajes (INE, 2011).**

Por otro lado atendiendo al tipo de riego, en Extremadura, aproximadamente el 53% se realiza por gravedad, y el riego por aspersión y el riego por goteo se distribuyen a partes iguales con un 22% y 24% del consumo agrícola, respectivamente.

### Calidad del agua

De acuerdo con los datos de la Red Integral de Calidad del Agua (red ICA) del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, en los últimos años de los que se dispone de datos, la calidad del agua en las principales demarcaciones hidrográficas presentes en Extremadura, tales con la D.H. del Tajo y la D.H. Guadiana, la calidad del agua superficial es relativamente buena, y el índice de calidad del agua se mide en estaciones de muestreo manual de manera periódica.

En la D.H. Tajo, hay datos de unas 150 estaciones en el periodo 1999-2008 (el número total varía de año en año), mientras que en la D.H. Guadiana, el número está cercano a las 40, y el porcentaje de estaciones de medida en las que la calidad del agua está por debajo de los estándares es de entre 0 y 6% en la D.H. Tajo (Figura 2) y de entre 0 y 19% en la D.H. Guadiana (Figura 3). En ambas, el porcentaje de estaciones en las que se registra una buena o excelente calidad, siempre excede a las de mala calidad. No se observa, en el periodo en el que hay datos una tendencia clara, existiendo una elevada variabilidad entre los diferentes valores del índice de calidad del agua, a lo largo de los años considerados.

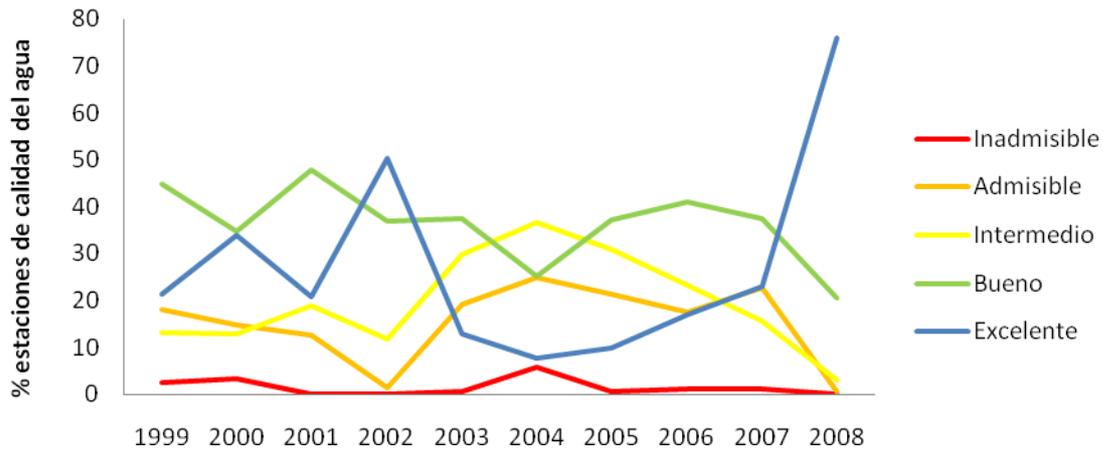


Figura 2. Distribución porcentual de las estaciones de calidad del agua, según el valor del índice de calidad del agua anual en el periodo 1999-2008 en la demarcación hidrográfica del Tajo (MARM, 2012).

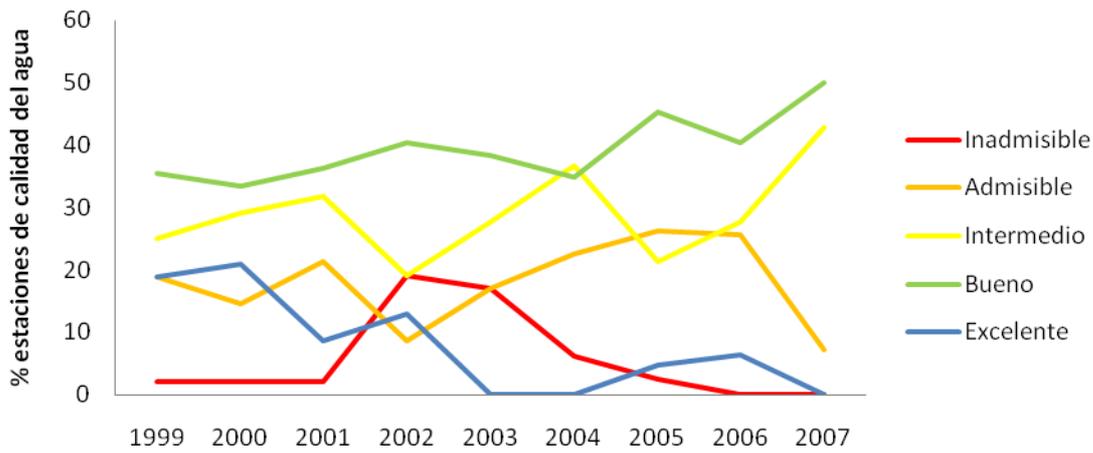


Figura 3. Distribución porcentual de las estaciones de calidad del agua, según el valor del índice de calidad del agua anual en el periodo 1999-2007 en la demarcación hidrográfica del Guadiana (MARM, 2012).

Para poder hacer uso del agua en condiciones normales de consumo, Extremadura tiene estaciones depuradoras de aguas residuales en todos los núcleos con más de cinco mil habitantes. En total, existen 113 estaciones depuradoras de aguas residuales en el territorio autonómico (Hispagua) (Mapa 11).



**Mapa 11. Localización de las estaciones depuradoras de aguas residuales de Extremadura por demarcación hidrográfica (Hispagua, Sistema Integrado de Información del agua).**

De acuerdo con el *Plan de Infraestructuras de Depuración de Aguas Residuales de Extremadura (2008-2015)* (Consejería de Fomento, 2009) al final del periodo de vigencia, en 2015, todos los núcleos de población deben contar con infraestructuras de depuración. De hecho, puede indicarse como dato de interés que a final de 2010 todas las poblaciones de más de 2000 habitantes de la Comunidad Autónoma disponen de procesos de depuración en marcha, y son sólo unas pocas las que se encuentra en fase de proyecto o de licitación.

Conforme al Plan Hidrológico de cuenca, en la D.H. Guadiana, la situación del abastecimiento a la población era relativamente satisfactoria, en 1998, con un nivel suficiente para el 86% de la población de la demarcación, sin embargo, la existencia de numerosos municipios pequeños donde no se depuraban las aguas determinaba un porcentaje de saneamiento del 52% (DH Guadiana, 1998) (Tabla 3).

**Tabla 3. Situación de abastecimiento y saneamiento de la población extremeña (número de habitantes) integrada en la cuenca del Guadiana en 1998 (DH Guadiana, 1998).**

Provincia	Abastecimiento			Saneamiento	
	Suficiente	Insuficiente todo el año	Insuficiente en verano	Suficiente	Insuficiente
Badajoz	539.188 (129)	48.155 (11)	38.583 (15)	330.071 (125)	295.855 (30)
Cáceres	30.644 (18)	429 (1)	2.447 (1)	15.513 (12)	18.027 (8)
<b>Total</b>	<b>569.832 (147)</b>	<b>48.584 (12)</b>	<b>41.030 (16)</b>	<b>345.584 (137)</b>	<b>313.882 (38)</b>

(Entre paréntesis se indica el número de municipios correspondientes a cada categoría).

En cuanto al volumen de tratamiento de las aguas residuales, en 2009, se trataron 347.812 m<sup>3</sup> al día, cantidad que supone un 2,7% del total de tratamientos de agua residuales a nivel nacional (INE, 2011). El dato de 2009 es ligeramente inferior al volumen anual tratado en promedio en el periodo 2005-2009, que asciende a 355.252 m<sup>3</sup> al día.

Los indicadores que miden el grado de contaminación que presenta el agua residual son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y la demanda química de oxígeno (DQO) que miden respectivamente la cantidad de oxígeno disuelto consumido bajo condiciones específicas para la oxidación bioquímica o química de toda la materia orgánica e inorgánica presente en el agua. También se mide la contaminación con los valores de sólidos en suspensión, nitrógeno, fósforo o metales pesados. Los valores de dichos contaminantes se reducen drásticamente durante el proceso de depuración (Tabla 4). En términos generales, el agua que entra en las depuradoras extremeñas tiene mayor carga contaminante que la del conjunto de España y sin embargo, cuando sale tratada, los valores son inferiores a los promedios nacionales. Esto indica el buen funcionamiento de las estaciones depuradoras de aguas residuales de la región.

**Tabla 4. Características de las aguas residuales antes y después del tratamiento en España y Extremadura para los principales indicadores de calidad del agua (miligramo/litro) (INE, 2011).**

		DQO	DBO5	Sólidos en suspensión	Nitrógeno total	Fósforo total	Metales
España	Antes	586,8	281,4	307,7	40,2	6,5	1,0
	Después	67,3	21,5	24,1	15,5	1,9	0,4
Extremadura	Antes	593,8	298,9	386,9	51,9	1,0	0,0
	Después	53,8	14,8	14,1	17,1	0,1	0,0

Por otro lado, el Servicio de Regadíos de la Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía realiza desde el año 1998 a través de su programa Recarex, un control exhaustivo de las aguas de riego. Mediante estos controles podemos establecer que existen 242 puntos de control

en las zonas regables de los cuales 113 están en la D.H. Guadiana y 129 en la D.H. Tajo. Además se realizan análisis de la calidad del agua subterránea en 14 puntos en el acuífero de Tierra de Barros (ZR X).

Tradicionalmente, los problemas fundamentales que afectan a la calidad del agua en Extremadura son por un lado la salinidad y, por otro, la contaminación por nitratos. Así, de acuerdo con los resultados del año 2009, no se detectaron en ningún punto de control, localizaciones con una salinidad que suponga una restricción al uso del agua para agricultura (conductividad del agua de riego a 25 °C < 0,07 S/m) (Servicio de Regadíos, 2011).

En cuanto a la contaminación por nitratos, se consideran aguas afectadas aquellas que presenten una concentración superior a 50mg/l. Para el año 2009, en la región, se identificaron situaciones de contaminación por nitratos en pozos de las zonas regables de Lobón (ZR VII), Montijo (ZR VII) y Valdecañas (ZR V) (Servicio de Regadíos, 2011).

Referente al agua de consumo, ésta tiene diversos grados de calidad dependiendo de su composición y del proceso de tratamiento de potabilización a la que es sometida, y así, mediante controles encaminados a la protección de la salud humana es posible calificar dicha agua desde el punto de vista sanitario (*Real Decreto 140/2003*, de 7 de febrero por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE nº 45, de 21 de febrero de 2003).

En el año 2010, para el conjunto nacional, el 99,5% de los análisis sanitarios hechos han dado como resultado la calificación de aptos para el consumo (MSPSI, 2011), un dato similar al de años anteriores. Los parámetros que más frecuentemente suponen un problema para la calificación del agua como apta para el consumo son la actividad alfa total, la concentración de sulfato, sodio, cloruros, nitratos y fluoruro, así como el recuento de colonias a 22°C, el aluminio y el cloro libre residual (MSPSI, 2011). En el caso de Extremadura, el parámetro más determinado y que puede ser de relevancia para la calificación del agua son las microcistinas (toxinas producidas por cianobacterias) que representan el 10% de todos los casos registrados en España.

## **5.2. Demarcaciones hidrográficas**

Previo a la identificación de impactos y a la evaluación de la vulnerabilidad de los recursos hídricos frente al cambio climático, se describen las características actuales de las demarcaciones hidrográficas presentes en la región, de este modo, serán detectados los sectores en los que tendrán mayor incidencia las alteraciones en la disponibilidad de recursos hídricos por efecto del cambio climático.

En España, la dirección superior de la política de aguas en la Administración General del Estado corresponde a la actual Dirección General del Agua, perteneciente al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Se entiende por demarcación hidrográfica la zona terrestre y marina compuesta por una o varias cuencas hidrográficas vecinas y las aguas de transición, subterráneas y costeras asociadas a dichas cuencas, de acuerdo con el artículo 16 bis.1 del *Texto Refundido de la Ley de Aguas* aprobado por el *Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio* (BOE nº 176, de 24 de julio de 2001). Conforme a esta Ley, en cada demarcación hidrográfica (D.H.) se consideran incluidas todas las aguas subterráneas situadas bajo los límites definidos por las divisorias de las cuencas hidrográficas de la correspondiente demarcación.

Así, en el territorio de Extremadura hay cuatro demarcaciones hidrográficas que de norte a sur son la D.H. Duero, D.H. Tajo, D.H. Guadiana y D.H. Guadalquivir (Tabla 5, Mapa 12).

El *Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio* (BOE nº 191, de 11 de agosto de 1998), aprueba el *Plan Hidrológico del Tajo* al que había dado su conformidad el Consejo del Agua de la cuenca el 18 de abril de 1997. Los usos del agua contemplados en el Plan y siguiendo el orden de prioridad de uso son el abastecimiento de poblaciones en primer lugar, los regadíos y usos agrarios en segundo, los usos industriales para producción de energía en tercero, los usos industriales no incluidos en los apartados anteriores en cuarto lugar, la acuicultura en quinto seguida de los usos recreativos y, finalmente, otros aprovechamientos.

La Demarcación Hidrográfica del Guadiana está regida actualmente por el *Plan Hidrológico Guadiana I y Guadiana II*, que fueron informados favorablemente por el Consejo del Agua de la cuenca el 11 de abril de 1995 (DH Guadiana, 1998); adicionalmente, el *Plan Hidrológico de Cuenca, en la demarcación Hidrográfica del Guadiana (parte española)*. Este Plan fue informado por el Consejo del Agua de la Demarcación el 22 de noviembre de 2012 y por el Consejo Nacional del Agua el 13 de diciembre de 2012, estando tan solo pendiente de aprobación RD y de su publicación en el BOE.

El *Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir* se aprobó mediante el *Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio* (BOE nº 191, de 11 de agosto de 1998). Previamente, los días 5 de abril y 14 de julio de 1995, dicho Plan Hidrológico fue informado favorablemente por el Consejo del Agua de la Cuenca. El nuevo Plan Hidrológico de Cuenca de la demarcación hidrográfica del Guadalquivir fue informado igualmente por el Consejo Nacional del Agua el 13 de diciembre de 2012, estando tan solo pendiente de aprobación RD y de su publicación en el BOE.



**Mapa 12. Delimitación de las Demarcaciones Hidrográficas de Extremadura (cartografía disponible en las páginas web de las distintas demarcaciones hidrográficas).**

### Territorio ocupado por las cuencas

La extensión superficial de la cuenca del Tajo en España es de 55.645 km<sup>2</sup>, de los que 16.738 km<sup>2</sup>, es decir, el 30,1% pertenecen al territorio de Extremadura. Así, la D.H. del Tajo forma parte de las ZR I, II, III, IV, V y VI, todas ellas en la provincia de Cáceres (Mapa 12). En Castilla La Mancha, aguas arriba de la cuenca, está el 48% de la superficie mientras el resto está repartido por la Comunidad de Madrid (14,4%), Castilla y León (7,2%) y Aragón (0,4%). Adicionalmente, la cuenca del río Tajo es de ámbito internacional compartido con Portugal, siendo la superficie en dicho país del orden de 25.000 km<sup>2</sup>.

Continuando con el análisis territorial, la extensión superficial de la cuenca del Guadiana en España es de 55.527 km<sup>2</sup>, de los que 23.447 km<sup>2</sup>, es decir el 42,2%, pertenecen a territorio de Extremadura. El 47,6% de la demarcación se ubica, aguas arriba, en Castilla La Mancha y el 10,1% restante, aguas abajo, en Andalucía. La D.H. Guadiana está ubicada en partes de las ZR V y VI en la provincia de Cáceres, y en las ZR VII, VIII, IX, X, XI y XII en la provincia de Badajoz (Mapa 12). Igualmente la cuenca del río Guadiana es de ámbito internacional compartido con Portugal, siendo la superficie en dicho país del orden de 11.600 km<sup>2</sup>.

La extensión superficial de la cuenca del Guadalquivir es de 57.527 km<sup>2</sup>, de los que 1.514 km<sup>2</sup>, apenas el 2,6%, pertenecen a Extremadura, y más concretamente formando parte de la ZR XII en la provincia de Badajoz. La D.H. del Guadalquivir se ubica fundamentalmente en Andalucía, donde la ocupación es del 90,2%. Adicionalmente, el territorio de la demarcación en Castilla La Mancha es de 79.230 km<sup>2</sup> (7,1% del total), mientras que la Región de Murcia participa con un 0,2% del total de la extensión.

Por último, indicar que la Cuenca Hidrográfica del Duero tiene una pequeña presencia en Extremadura con un área ocupada muy baja de 39 km<sup>2</sup> al Noroeste de la provincia de Cáceres.

Así, si analizamos la superficie ocupada en la región por cada una de ellas, la D.H. Guadiana es la que más territorio extremeño ocupa con más de 23.440 km<sup>2</sup> y el 56,2% de la superficie autonómica. Siguiendo en orden de ocupación, le sigue la D.H. Tajo con 16.682 km<sup>2</sup> y el 40%. Finalmente, la D.H. Guadalquivir, ubicada en el extremo sur oriental de Extremadura, tiene una extensión en Extremadura de 1.514 km<sup>2</sup>, menos del 4% del total mientras que la D.H. Duero es prácticamente testimonial pues supone menos del 0,1% del total del territorio de Extremadura correspondientes a 39 km<sup>2</sup> en la zona rural I (Tabla 5).

**Tabla 5. Características territoriales de las Demarcaciones Hidrográficas presentes en Extremadura.**

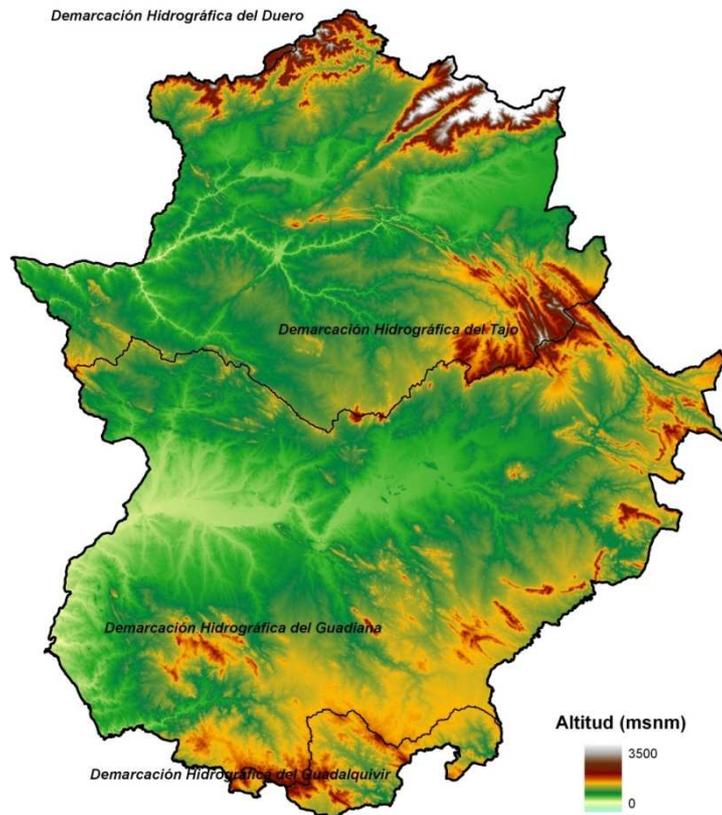
Demarcación Hidrográfica	Superficie de la D.H. en Extremadura (km <sup>2</sup> )	Superficie de la D.H. en Extremadura (%)	Zonas rurales enmarcadas en la D.H.
Duero	39 km <sup>2</sup>	0,09%	Norte de la I
Tajo	16.682 km <sup>2</sup>	40,03%	I, II, III, IV y norte de la V y la VI
Guadiana	23.440 km <sup>2</sup>	56,24%	Sur de la V y la VI; VII, VIII, IX, X, XI y norte de la XII
Guadalquivir	1.514 km <sup>2</sup>	3,63%	Sur de la XII

### Geomorfología

Extremadura se encuentra situada en la submeseta meridional castellana, limitada al norte por el macizo central de la Sierra de Gredos, y dividida de este a oeste por los Montes de Toledo, que separan las cuencas fluviales del Tajo y el Guadiana. Desde el punto de vista geomorfológico, el territorio de Extremadura se organiza en torno a dos grandes cuencas fluviales, como son el Tajo, en la provincia de Cáceres y el Guadiana en la provincia de Badajoz.

El Valle de Alagón, perteneciente a la ZR II, es uno de los más relevantes de la región, y marca el límite entre la Sierra de Gredos y la de Gata, en la frontera con Portugal. Al sur, las estribaciones de Sierra Morena establecen la linde natural con Andalucía, mediante las Sierras de Cazalla y Aracena (ZR XII) (PLATERCAEX, 2002). Las Sierras Centrales extremeñas son en realidad, las estribaciones

más occidentales de los Montes de Toledo, y hacen de divisoria entre el Tajo y el Guadiana. Existen diferencias entre las cuencas del Tajo y el Guadiana que se reflejan en el paisaje extremeño. Mientras que la cuenca del Tajo presenta relieves accidentados con una sucesión de sierras de escasa altura separadas por cursos fluviales profundamente encajados, el valle del Guadiana se caracteriza por una acentuada horizontalidad y una homogeneidad topográfica (Mapa 13).



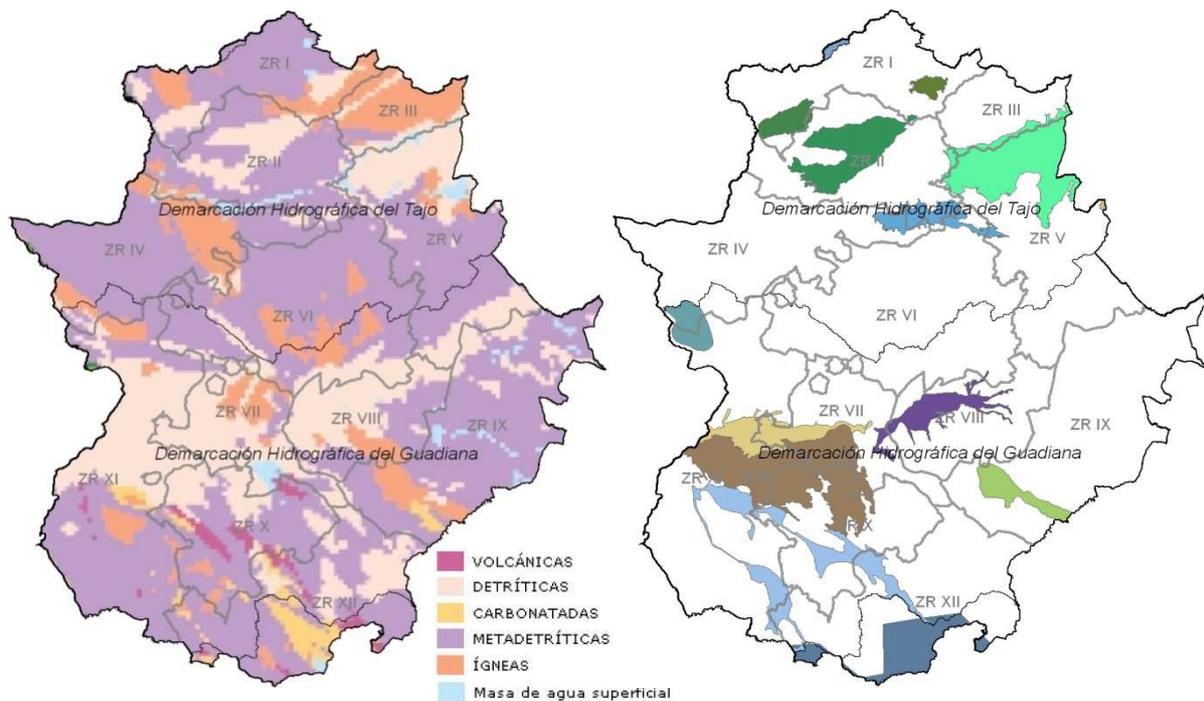
Mapa 13. Modelo digital de elevaciones de Extremadura. Altitud expresada en metros sobre el nivel del mar (Modelo digital del terreno MDT200).

### Litología e hidrología

La litología extremeña es bastante diversa, existiendo rocas de prácticamente todos los orígenes. Hay rocas magmáticas o ígneas en las ZR I, III, IV, VII, VIII y IX fundamentalmente, resultando el granito, la roca más representativa de entre las ígneas en Extremadura; por otra parte, en las áreas fluviales de los ríos Tajo y Guadiana las rocas son de origen sedimentario, y en el resto del territorio extremeño aflora el llamado zócalo paleozoico metadetritico, que es el resultado de la erosión de formaciones silíceas de la era primaria.

Finalmente, en la D.H. del Guadiana hay pequeñas áreas, en las ZR X y XII, en las que las rocas son de origen volcánico. Esta composición litológica determina que la mayor parte del territorio extremeño esté formado por rocas que no permiten fácilmente la filtración del agua, hecho que

determina que, la existencia de acuíferos y la cantidad de agua subterránea que acumulan, sean reducidas en comparación con otras regiones españolas. Las aguas subterráneas se sitúan en la profundidad de las principales zonas sedimentarias como son el cauce del río Guadiana y, en menor medida, el del río Tajo (Mapa 14).



**Mapa 14. Izquierda: mapa litológico de Extremadura (SIA, 2012a). Derecha: aguas subterráneas en Extremadura. Localización de los acuíferos (SIA, 2012b).**

Todos los ríos extremeños son de tipo mediterráneo, con un fuerte estiaje en verano, un máximo en primavera, un máximo secundario en otoño y un mínimo secundario en invierno, y son ríos de alimentación pluvionival; pertenecen todos a la vertiente atlántica y están regulados por embalses y pantanos. Además de los ríos Tajo y Guadiana que son los principales cursos fluviales de Extremadura, los ríos más importantes son el Tiétar y el Alagón, en la provincia de Cáceres, y el Guadarranque, el Estena, el Guadámex y el Zújar, en la provincia de Badajoz.

### Usos del agua

Los usos principales a los que actualmente se destinan los recursos hídricos en la Demarcación Hidrográfica del Tajo son el agrario seguido, de lejos, por el abastecimiento de poblaciones, el industrial y el energético (Tabla 6).

Tabla 6. Distribución sectorial de la demanda en la D.H. Tajo en el año 2005 (DH Tajo, 2011b).

DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DE LA DEMANDA		
SECTOR	hm <sup>3</sup> /año	Porcentaje
Agrario (agrícola y ganadero)	1.712	66%
Abastecimiento	787	30%
Industrial y energético	96	4%
<b>Total demanda</b>	<b>2.595</b>	<b>100%</b>

Los recursos disponibles en la D.H. del Tajo, en promedio, del periodo 1941-2009, alcanzan 9.697 hm<sup>3</sup>/año, situándose el mínimo del periodo en 2.499 hm<sup>3</sup>/año, siendo la demanda neta en la Demarcación de 2.595 hm<sup>3</sup>/año.

El balance de agua en el conjunto de la Demarcación, en promedio, es excedentario, sin embargo, en años de escasa pluviometría, el balance puede resultar en un déficit global para el conjunto de la Demarcación Hidrográfica del Tajo, ya que a los consumos habituales, hay que añadir los 300 hm<sup>3</sup> que se destinan al Segura a través del trasvase Tajo-Segura (MMA, 2000).

Cuando la diferencia entre recurso disponible y demanda excede del 20%, se considera que se está por debajo del límite de sobreexplotación de los recursos (Falkenmark y Lindh, 1976). Sin embargo, la capacidad de embalse de la D.H. Tajo es de 11.012 hm<sup>3</sup> por lo que, cuando la recarga es suficiente, es posible utilizar este agua embalsada para cubrir las demandas.

Referente a la cuenca del Guadiana, según el Real Decreto 125/2007, del 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las Demarcaciones Hidrográficas (BOE nº 30, del 3 de febrero de 2007), éste establece que la cuenca del Guadiana, a efectos de planificación, comprende el territorio español de la cuenca hidrográfica del río Guadiana, así como la parte española de sus aguas de transición. Las aguas costeras tienen como límite oeste el límite entre el mar territorial de Portugal y España, y como límite este la línea con orientación 177.0 que pasa por el límite costero entre los términos municipales de Isla Cristina y Lepe.

La Cuenca del Guadiana tiene una demanda hídrica identificada actual, de 2.239 hm<sup>3</sup>/año; de los que el 88% se destina al regadío, el 9% al abastecimiento urbano, un 2% la industrial y un 1% la ganadería (Tabla 7).

Adicionalmente, según el proyecto de Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadiana, los aportes medios totales a la Cuenca del Guadiana para el periodo 1980/81–2005/06 son de 4.187 hm<sup>3</sup>, mientras que la demanda hídrica actual, según el proyecto de Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadiana,

condicionada a la total implantación del programa de medidas en el periodo 2010-2015-DHGn, es de 2.217 hm<sup>3</sup>.

**Tabla 7. Distribución sectorial de la demanda h, según el proyecto de Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadiana.**

<b>DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DE LA DEMANDA</b>		
<b>SECTOR</b>	<b>hm<sup>3</sup>/año</b>	<b>Porcentaje</b>
Agrario (agrícola y ganadero)	1992,03	89%
Abastecimiento	199,65	9%
Industrial	43,96	2%
Ambiental	0,02	0,00%
<b>Total demanda</b>	<b>2.238,66</b>	<b>100%</b>

No están incluidas las demandas portuguesas, ni las transferencias.

En el caso de las zonas regidas por el nuevo Plan Hidrológico las limitaciones de uso vienen marcadas por los caudales ecológicos, el Convenio de Albufeira y otras restricciones como limitaciones uso de aguas de masas de agua subterráneas en relación con unidades hidrogeológicas con declaraciones de sobreexplotación y restricciones debidas a interrelaciones con otras cuencas bien por la existencia de unidades hidrogeológicas compartidas o por la existencia de autorizaciones de transferencias con otras cuencas. Además, la capacidad de embalse de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana es de 9.435 hm<sup>3</sup>, por lo que, cuando la recarga es suficiente, es posible utilizar este agua embalsada para cubrir las demandas.

Por otro lado, los usos principales a los que actualmente se destinan los recursos hídricos en la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir son el agrario, seguido de lejos por el abastecimiento de poblaciones, el industrial y el energético (Tabla 8). Los usos agrícolas son los que más cantidad de agua demandan, superando el 87%, mientras que el resto es casi exclusivo del sector urbano (10%), siendo el industrial (2%) y el energético (1%) apenas perceptible en volumen anual de consumo.

**Tabla 8. Distribución sectorial de la demanda en la D.H. Guadalquivir en el año 2007 (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, 2011).**

<b>DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DE LA DEMANDA</b>		
<b>SECTOR</b>	<b>hm<sup>3</sup>/año</b>	<b>Porcentaje</b>
Agrario (agrícola y ganadero)	3.509	87%
Abastecimiento	444	11%
Industrial y energético	67	2%
<b>Total demanda</b>	<b>4.020</b>	<b>100%</b>

Los recursos disponibles en la Demarcación, en promedio del periodo 1941-2009 alcanzaron 8.077 hm<sup>3</sup>/año, siendo el mínimo del periodo de 1.135 hm<sup>3</sup>/año, en tanto, que la demanda neta se elevó a 4.014 hm<sup>3</sup>/año. En promedio, el balance de agua en el conjunto de la demarcación es excedentario

para el periodo considerado, sin embargo, en años de escasa pluviometría, dicho balance puede resultar en un déficit global para la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Cabe citar que la capacidad de embalse de la D.H. Guadalquivir es, sin embargo, de 7.377 hm<sup>3</sup> por lo que, cuando la recarga es suficiente, es posible utilizar este agua embalsada para cubrir las demandas.

### Usos del suelo

La Comunidad Autónoma de Extremadura, representa el 8% de la superficie total española, y contribuye con un 10% al total de la superficie forestal, de modo que constituye una de las seis primeras autonomías con más superficie forestal relativa de España (Dirección General de Medio Natural, 2010). Por tanto dos terceras partes del territorio extremeño son de carácter forestal pues constituyen terrenos forestales o agroforestales que responden a la definición legal de monte. Así en la región el 65,5% del territorio regional tiene adquirida esta consideración (Dirección General de Medio Natural, 2010) (Tabla 9).

**Tabla 9. Distribución de usos del suelo en Extremadura (Dirección General de Medio Natural, 2010).**

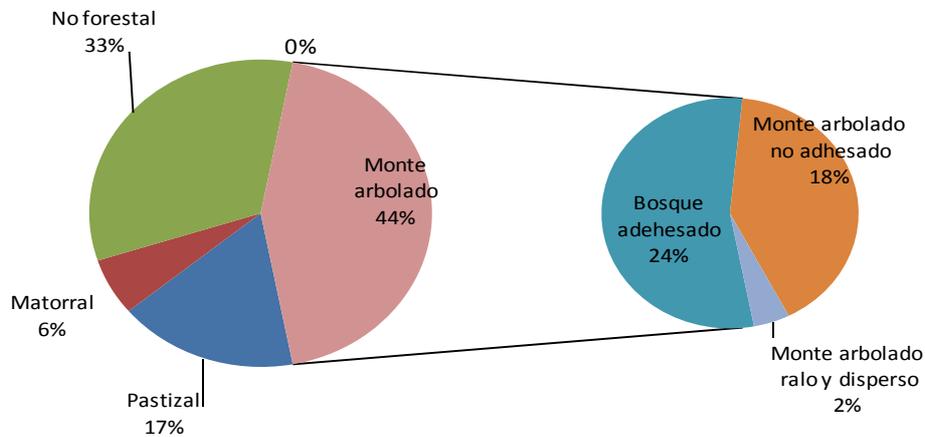
	Superficie Forestal (ha)	Superficie no Forestal (ha)	Porcentaje forestal	Total (ha)
Badajoz	1.176.244,84	1.000.385,21	54,0 %	2.176.630,05
Cáceres	1.550.987,50	435.835,65	78,1 %	1.986.823,15
<b>Extremadura</b>	<b>2.727.232,34</b>	<b>1.436.220,86</b>	<b>65,5 %</b>	<b>4.163.453,20</b>

Atendiendo a la distribución por provincias, podemos establecer que la de Cáceres contribuye con mayor superficie forestal que Badajoz. Así la zona sur de la provincia de Cáceres tiene más del 91% de su territorio con superficie forestal, seguida del noreste con aproximadamente el 76%, destacando también la comarca de la Siberia con más de dos tercios de territorio forestal (Dirección General de Medio Natural, 2010).

La superficie forestal está mayoritariamente ocupada por monte arbolado (70%), siendo la mayor parte de este correspondiente a monte claro o adhesionado, por lo que el bosque es más o menos denso, considerando el monte arbolado no adhesionado con más del 20% de la superficie forestal arbolada; se puede decir, por tanto, que el bosque ocupa menos de la quinta parte del territorio extremeño (Figura 4).

El monte desarbolado apenas ocupa menos de la tercera parte de la superficie forestal, y está formado por pastizales, que ocupan más de dos terceras partes de la forestal desarbolada. Los matorrales apenas ocupan el 10,25% de la superficie forestal regional y poco más del 35% de la superficie forestal desarbolada, si bien los matorrales abundan en casi 132 mil hectáreas caracterizadas como

arbolado ralo o disperso donde son formaciones predominantes (Dirección General de Medio Natural, 2010).



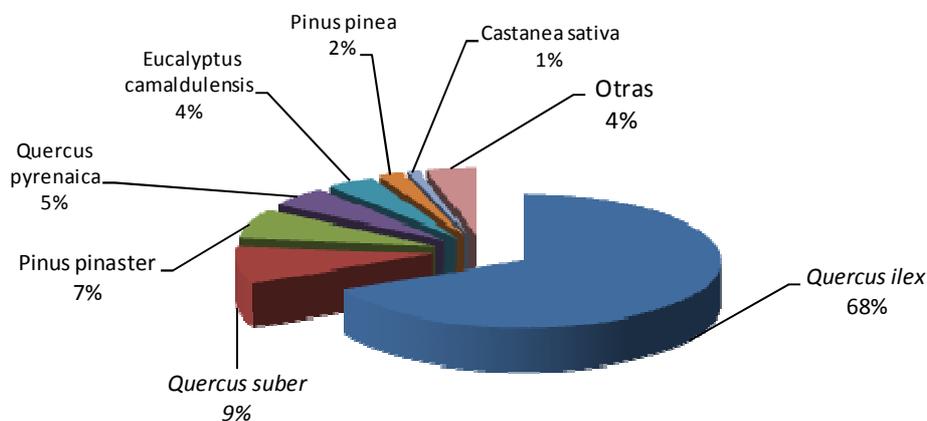
**Figura 4. Distribución porcentual de la superficie forestal en Extremadura (Dirección General de Medio Natural, 2010).**

Por otra parte, la dehesa es el paisaje forestal más emblemático y representativo de Extremadura, y a pesar de la aparente abundancia de superficie forestal arbolada, la mayor parte de su extensión se corresponde con arbolado claro, ya sea en forma de pies aislados o restos de bosques inmersos en matorrales, pastizales, cultivos, o bien conformando grandes dehesas que representan de forma paradigmática el paisaje agroforestal de la región (Dirección General de Medio Natural, 2010).

Ahora bien, se observa que dentro del monte arbolado las regiones del centro-oeste, y del sur de la provincia de Badajoz, son las que mayor parte de su superficie forestal, un 45% y 44% respectivamente, tienen dehesas; mientras que es en la Siberia, con un 38% de su superficie forestal, la que alcanza mayores zonas de monte no adhesado, seguida con un 36% del noroeste de la provincia de Cáceres. Asimismo, es también el noroeste de Cáceres la que tiene mayor porcentaje de monte ralo o disperso con un 6% (Dirección General de Medio Natural, 2010).

Respecto a las áreas forestales no arboladas, se distinguen las mayores zonas de matorral al respecto de su superficie forestal en las zonas del norte de Cáceres, 17% en el noreste y 16% en el noroeste, o las de matorral en el sur de la provincia de Cáceres, con un cuarto de su superficie forestal cubierta de esta formación (Dirección General de Medio Natural, 2010).

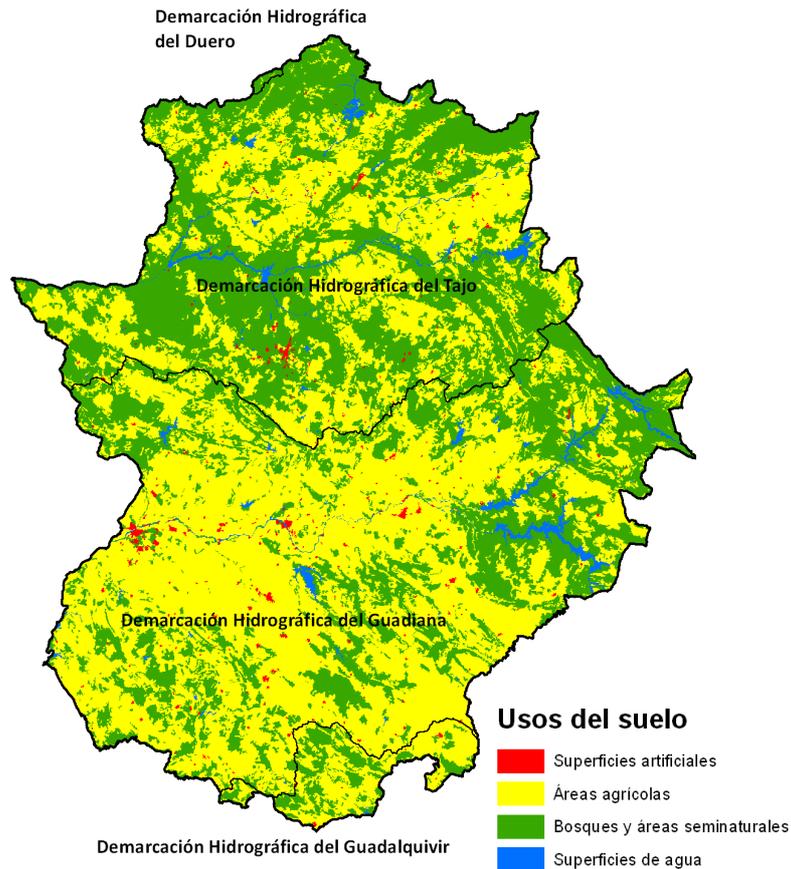
Adicionalmente, las formaciones de bosques arbolados se pueden caracterizar mediante sus especies principales o dominantes. Así, la distribución de las principales especies forestales presentes en Extremadura cabe destacar la encina (*Quercus ilex*), que es la especie más representada ocupando el 69% del monte arbolado, estando un 70% de las mismas formando dehesas y el resto en bosques más o menos densos, tanto en el monte alto como en el bajo, si bien es cierto, que la mayor parte de los encinares se encuentran formando dehesas. Otras especies que se encuentran en la región son el alcornoque (*Quercus suber*) que ocupa el 10% del arbolado, el pino rodeno (*Pinus pinaster*) con el 7%, el rebollo o melojo (*Quercus pyrenaica*) con un porcentaje del 5%, el eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) con un 4,6%, el pino piñonero (*Pinus pinea*) con 2% y el castaño (*Castanea sativa*) que alcanza el 1% (Dirección General de Medio Natural, 2010) (Figura 5).



**Figura 5. Distribución de la superficie forestal arbolada de Extremadura por especies principales (Dirección General de Medio Natural, 2010).**

Por último, comparando la distribución de los usos del suelo y el consumo sectorial de agua, se puede concluir que tanto los regadíos como las ciudades son grandes consumidores de agua por unidad de terreno (Sánchez Sánchez-Mora, 2011).

Otro elemento importante en la comunidad es el elevado porcentaje de superficies de agua, de las cuales más del 91% corresponden a embalses. La regulación de los recursos hídricos orientados a regadío y producción de energía se ha visto favorecida en los últimos años a través de la construcción de embalses e infraestructuras hidráulicas (OSE, 2006).



Mapa 15. Usos del suelo en Extremadura. Nivel general de agregación del CorineLandCover 2006 (EEA, 2011).

### Población

Extremadura posee una extensión de 41.634 km<sup>2</sup> (21.766 km<sup>2</sup> corresponden a la provincia de Badajoz y 19.868 km<sup>2</sup> la de Cáceres) (Tabla 10). El número total de municipios es de 386 (164 en Badajoz y 222 en Cáceres). La provincia de Cáceres tiene 415.446 habitantes y la de Badajoz 693.921 (INE, 2011). La densidad poblacional autonómica es de 26,6 hab/km<sup>2</sup> bastante inferior al dato nacional 91,4 hab/km<sup>2</sup>. En la provincia de Cáceres, la densidad es menor que en Badajoz siendo de 20,9 hab/km<sup>2</sup> y 31,8 hab/km<sup>2</sup> respectivamente. En los últimos años, la población extremeña se ha mantenido relativamente estable, siendo la densidad poblacional constante, a diferencia de lo ocurrido en el conjunto del estado. Los municipios más poblados son las capitales provinciales de Badajoz (151.565 habitantes) y Cáceres (95.026 habitantes) y la capital autonómica, Mérida con 57.797 habitantes. Otras ciudades de importancia poblacional a escala regional son Plasencia (41.447 habitantes), Almendralejo (34.319 habitantes) y la conurbación integrada por los municipios de Don Benito y Villanueva de la Serena (36.660 y 26.076 habitantes, respectivamente) (INE, 2011).

Tabla 10. Características territoriales de Extremadura y sus provincias (INE, 2011).

	Extensión (km <sup>2</sup> )	Extensión (%)	Número de municipios	Número de habitantes	Densidad poblacional hab/km <sup>2</sup>
Provincia de Cáceres	19.868,2	47,72%	222	415.446	20,9
Provincia de Badajoz	21.766,2	52,28%	164	693.921	31,8
<b>CCAA de Extremadura</b>	<b>41.634,4</b>	<b>100,00%</b>	<b>386</b>	<b>1.109.367</b>	<b>26,6</b>

A diferencia del conjunto del país, en Extremadura se ha producido en las últimas décadas, un incremento paulatino de la concentración en los núcleos de población más grandes a expensas de los más pequeños. En relación a la población total, en 2011, el porcentaje de población en ciudades de más de 50.000 habitantes supone el 27,4%, cuando en 1986, dicho porcentaje era del 22,1% (MARM, 2012). Sólo en la ciudad de Badajoz, en el mismo periodo, la población ha pasado de representar el 10,9% al 13,7% del total. Cabe mencionar que en España el porcentaje de población urbana (viviendo en núcleos mayores que 50.000 habitantes) es del 52%, un porcentaje que prácticamente duplica el valor extremeño donde los municipios de carácter rural son muy abundantes.

En términos generales, cuanto mayor es la concentración de la población, mayor es la presión sobre los recursos hídricos pues se requiere dar servicio de abastecimiento, distribución y depuración de manera intensiva en pequeñas porciones de terreno. En general, a mayor población, mayores son las necesidades de agua para abastecimiento y mayor es el esfuerzo económico, logístico y ambiental para garantizar el suministro en cantidad y calidad adecuada. En este sentido, la demarcación hidrográfica del Guadiana es la que presenta más población y con mayor densidad, siendo por tanto más vulnerable a los cambios en la disponibilidad hídrica. La distribución de la población por demarcación hidrográfica muestra que es en la D.H. del Guadiana donde más población está censada, cerca de 690.000 habitantes, lo que supone el 63% de la población total en Extremadura, la D.H. Tajo con el 35% (387.000 habitantes) y la D.H. Guadalquivir, con algo menos de 20.000 habitantes, (equivalente al 2%) (Figura 6). En la pequeña superficie de la D.H. Duero presente en Extremadura, en los municipios de Descargamaría y Robledillo de Gata que presentan en conjunto 309 habitantes (INE, 2012).

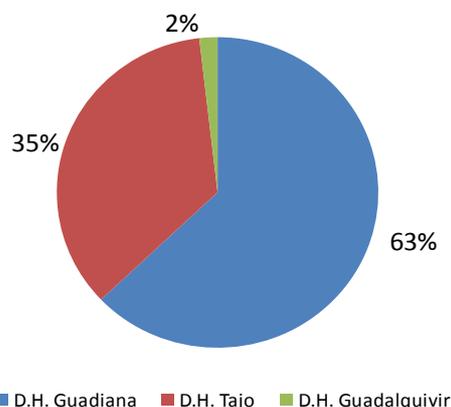
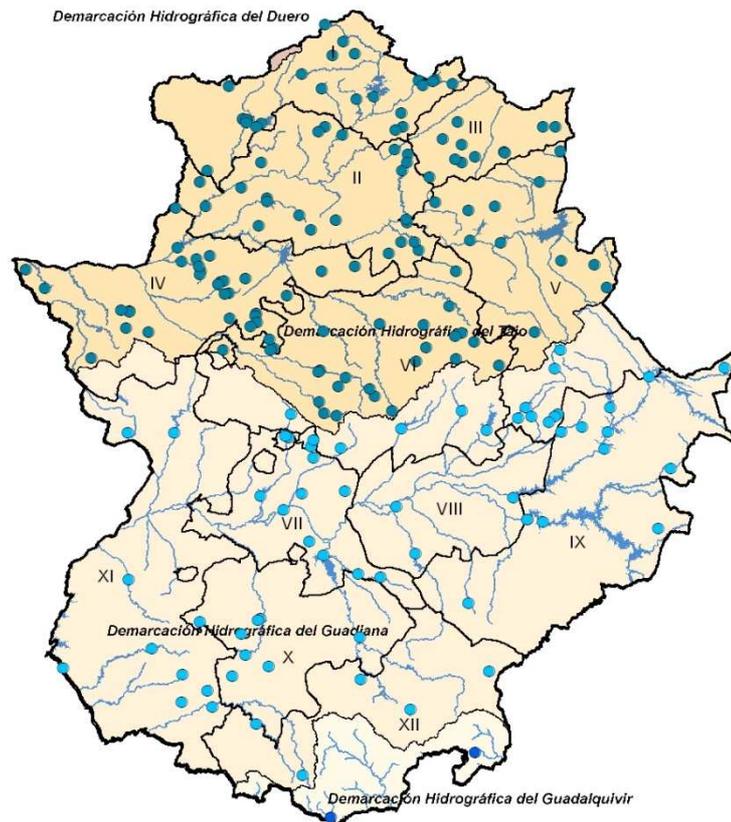


Figura 6. Distribución porcentual de la población por demarcación hidrográfica en Extremadura (INE, 2011).

### Infraestructuras

La existencia de una completa red de pantanos y embalses, permite aprovechar y distribuir con racionalidad el potencial del recurso del agua como bien esencial para el consumo humano, así como para la utilidad propia de la agricultura (Mapa 16). Existen en la región 35 presas de abastecimiento, 5 presas de regadío y 2 con otras funciones, con lo que la capacidad total de embalsado de Extremadura es de 14.300 hm<sup>3</sup>.



**Mapa 16. Localización de los embalses de Extremadura por demarcación hidrográfica (Hispagua, Sistema Integrado de Información del agua).**

Los embalses extremeños se sitúan fundamentalmente en los cauces fluviales y están presentes en todas las zonas rurales de manera más o menos homogénea (Tabla 11). Así, en la cuenca del Tago están, entre otros, los embalses de Valdecañas, Torrejón, Alcántara y Gabriel y Galán; en la del Guadiana los más importantes son los del Cíjara, García de Sola, Alange, Orellana y La Serena que destaca por ser el mayor de España, y uno de los más grandes de Europa con una capacidad de hasta 3.219 hm<sup>3</sup>. Por otro lado, en la D.H. Guadalquivir, el embalse de El Pintado es el más destacable y está ubicado a caballo entre las provincias de Badajoz (ZR XII) y Sevilla.

**Tabla 11. Listado de las principales infraestructuras de embalse con indicación de su capacidad y volumen de llenado real el 12 de marzo de 2012 por demarcación hidrográfica, provincia y zona rural (MAGRAMA, 2012).**

Embalse	Demarcación Hidrográfica	Provincia	Zona Rural	Capacidad (hm <sup>3</sup> )	Volumen de llenado (hm <sup>3</sup> )	Volumen de llenado (%)
Aguijón, El	D.H. Guadiana	Badajoz	XI	11	9	81,8
Alange	D.H. Guadiana	Badajoz	VII	852	669	78,5
Boquerón	D.H. Guadiana	Badajoz	XI	6	5	83,3
Brovales	D.H. Guadiana	Badajoz	XI	7	6	85,7
Canchales	D.H. Guadiana	Badajoz	VII	26	18	69,2
Cíjara	D.H. Guadiana	Badajoz	IX	1.505	1.135	75,4
Cornalbo	D.H. Guadiana	Badajoz	VII	11	2	18,2
García de Sola	D.H. Guadiana	Badajoz	IX	554	296	53,4
Gargáligas	D.H. Guadiana	Badajoz	IX	21	13	61,9
Horno Tejero	D.H. Guadiana	Badajoz	XI	24	21	87,5
La Serena	D.H. Guadiana	Badajoz	IX	3.219	2.719	84,5
Llerena	D.H. Guadiana	Badajoz	XII	9	9	100,0
Los Molinos	D.H. Guadiana	Badajoz	X	34	34	100,0
Montijo	D.H. Guadiana	Badajoz	VII	11	11	100,0
Nogales	D.H. Guadiana	Badajoz	X	15	10	66,7
Orellana	D.H. Guadiana	Badajoz	VIII	808	509	63,0
Piedra Aguda	D.H. Guadiana	Badajoz	XI	16	11	68,8
Proserpina	D.H. Guadiana	Badajoz	VII	4	4	100,0
Tentudia	D.H. Guadiana	Badajoz	XII	5	4	80,0
Valuengo	D.H. Guadiana	Badajoz	XI	20	19	95,0
Villar del Rey	D.H. Guadiana	Badajoz	XI	131	88	67,2
Zujar	D.H. Guadiana	Badajoz	IX	309	224	72,5
Cancho del Fresno	D.H. Guadiana	Cáceres	V	15	8	53,3
Cubilar	D.H. Guadiana	Cáceres	V	10	3	30,0
Ruecas	D.H. Guadiana	Cáceres	V	44	33	75,0
Sierra Brava	D.H. Guadiana	Cáceres	VI	233	174	74,7
Alcántara	D.H. Tajo	Cáceres	IV	3.160	1.504	47,6
Baños	D.H. Tajo	Cáceres	I	41	25	61,0
Borbollón	D.H. Tajo	Cáceres	I	88	62	70,5
Cáceres - Guadiloba	D.H. Tajo	Cáceres	VI	20	11	55,0
Cedillo	D.H. Tajo	Cáceres	IV	260	245	94,2
Gabriel y Galán	D.H. Tajo	Cáceres	I	911	529	58,1
Guijo de Granadilla	D.H. Tajo	Cáceres	I	13	12	92,3
Jerte - Plasencia	D.H. Tajo	Cáceres	II	59	34	57,6
Portaje	D.H. Tajo	Cáceres	II	23	16	69,6
Rivera de Gata	D.H. Tajo	Cáceres	I	49	44	89,8
Salor	D.H. Tajo	Cáceres	VI	14	7	50,0

Embalse	Demarcación Hidrográfica	Provincia	Zona Rural	Capacidad (hm <sup>3</sup> )	Volumen de llenado (hm <sup>3</sup> )	Volumen de llenado (%)
Torrejón (Tajo - Tietar)	D.H. Tajo	Cáceres	V	188	171	91,0
Valdecañas	D.H. Tajo	Cáceres	V	1.446	616	42,6
Valdeobispo	D.H. Tajo	Cáceres	I	53	50	94,3
El Pintado	D.H. Guadalquivir	Badajoz	XII	213	174	81,7

Desde el punto de vista de los impactos del cambio climático, será de especial relevancia lo que ocurra con las centrales hidroeléctrica de José M<sup>a</sup> de Oriol, Cedillo (ZR IV) y Valdecañas (ZR V) todas ellas sobre el río Tajo, dada su contribución fundamental a la producción hidroeléctrica autonómica. Si el caudal del Tajo se viera afectado por el cambio climático, el potencial de producción hidroeléctrico extremeño estaría gravemente comprometido.

### 5.3. Ciclo del Agua

El ciclo del agua se inicia con el proceso de evaporación de agua de la Biosfera. Una vez en la atmósfera, el agua se condensa por disminución de la temperatura formando nubes, y cuando el grado de condensación es muy elevado, se precipita hacia la tierra en forma de lluvia. Si bien la mayor parte de las precipitaciones se producen sobre el mar, una porción menor se precipita sobre la tierra, discurriendo fundamentalmente sobre la superficie de la misma en forma de escorrentía, formando torrentes o ríos que van a parar a otros ríos y, finalmente al mar. Otra parte del agua precipitada forma lagos, o se infiltra en el interior de la tierra empapando el suelo o formando aguas subterráneas. Una gran parte del agua que empapa el suelo es absorbida por las plantas que, a través de la transpiración la devuelven a la atmósfera (Figura 7).

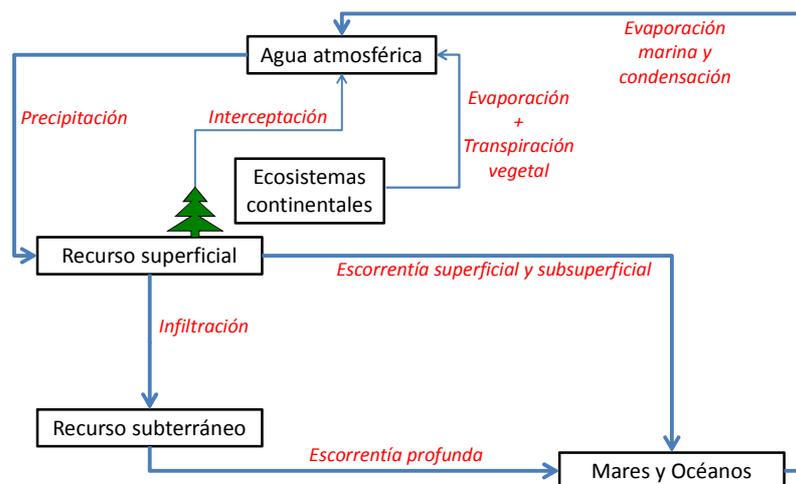
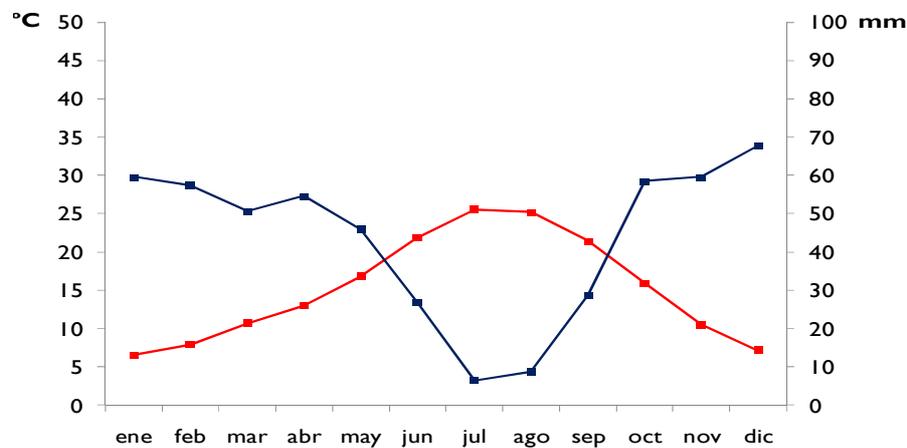


Figura 7. Esquema simplificado del ciclo hidrológico en régimen natural.

### Demarcación Hidrográfica del Guadiana

Las variables climáticas más influyentes y que hemos de tener en cuenta para la disponibilidad hídrica son el régimen de precipitaciones y las temperaturas. Así, la precipitación media anual del periodo 1940-2010 en la D.H del Guadiana es de 525 mm, siendo más importante en los meses de otoño e invierno (Figura 8). En el promedio del mismo periodo, la precipitación mínima anual es de 267 mm mientras que la precipitación máxima alcanza los 808 mm (MARM, 2012).

Como ya hemos dicho anteriormente, la temperatura es otra variable importante que influye en las disponibilidades hídricas de una cuenca, así en la D.H del Guadiana durante el periodo 1940-2010, la temperatura mínima anual se situó en 2,6 °C, en tanto que la media de temperatura máxima alcanzó los 28,1 °C, situándose la media de temperaturas medias en 15,2 °C (MARM, 2012).



**Figura 8. Diagrama ombrotérmico (promedio 1940-2010) de la D.H. Guadiana (MARM, 2012).**

(Los datos de temperatura figuran en rojo y los de precipitación en azul)

Por otro lado, el valor de evapotranspiración potencial (ETP) promedio del periodo 1940-2010 es de 983 mm/año, mientras que la evapotranspiración real (ETR) es de 434 mm/año (MARM, 2012). Otro dato importante que es necesario conocer es la escorrentía, que presenta unos valores de aportación específica anual a la D.H del Guadiana de 9 mm de mínima, 92 de media y 283 mm de máxima anual durante el periodo 1940-2010. Estos datos de escorrentía equivalen, considerando el tamaño de la demarcación (55.389 km<sup>2</sup>), a un aporte de volumen anual de recurso hídrico de 5.084 hm<sup>3</sup> de media en dicho periodo, siendo 516 hm<sup>3</sup>/año el valor mínimo y de 15.676 hm<sup>3</sup>/año, el máximo (MARM, 2012).

La capacidad de agua embalsada en la D.H. Guadiana es de 9.435 hm<sup>3</sup>, conformándose como la segunda demarcación hidrográfica del país en capacidad de embalse sólo por detrás de la D.H. Tajo. El volumen de agua embalsada varía mucho dependiendo del año hidrológico y del mes considerado, resultando, por ejemplo, en promedio para el periodo de marzo 2011- febrero 2012, el volumen

embalsado para el conjunto de la D.H. de 7.098 hm<sup>3</sup>, es decir, un 75% de la capacidad total. El máximo de agua embalsada en este periodo tuvo lugar en abril de 2011 con 84% mientras que en febrero de 2012 el volumen embalsado fue de 6.585 hm<sup>3</sup>, el 69% de la capacidad de embalse (Figura 9).

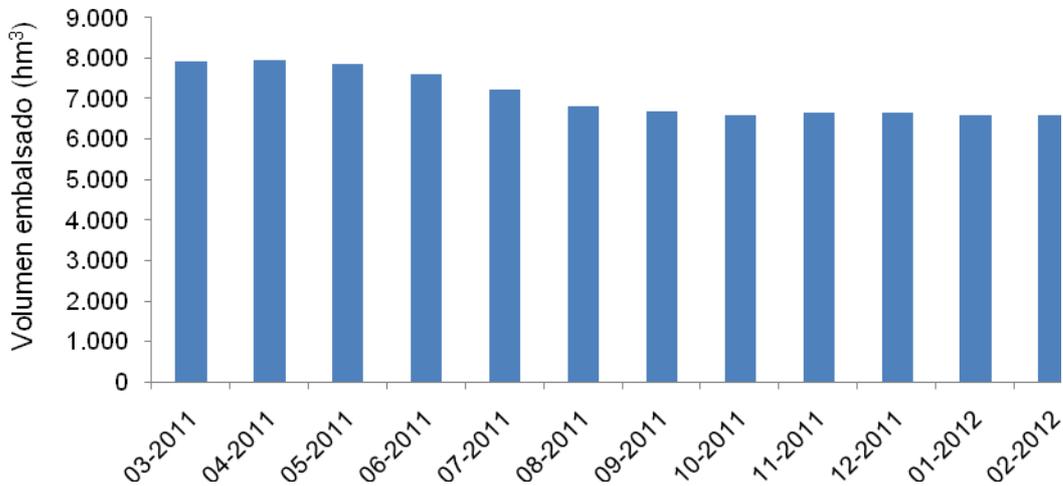


Figura 9. Evolución mensual de la reserva de agua embalsada en la demarcación hidrográfica del Guadiana entre marzo de 2011 y febrero de 2012 (MARM, 2012).

#### Demarcación Hidrográfica del Tajo

Para el mismo periodo analizado que en la anterior demarcación, 1940-2010, la precipitación media anual en la D.H del Tajo es de 636 mm, siendo más importante en los meses de otoño e invierno. El mes más lluvioso es diciembre y el más seco julio (MARM, 2012). La precipitación mínima y máxima promedio del periodo 1940-2010 es de 348 mm y 942 mm respectivamente.

Asimismo, durante 1940-2010, la temperatura mínima anual promedio se situó en -0,1 °C, en tanto que la media de temperatura máxima alcanzó los 26,1 °C, situándose la media de temperaturas medias en 13,3 °C (MARM, 2012) (Figura 10).

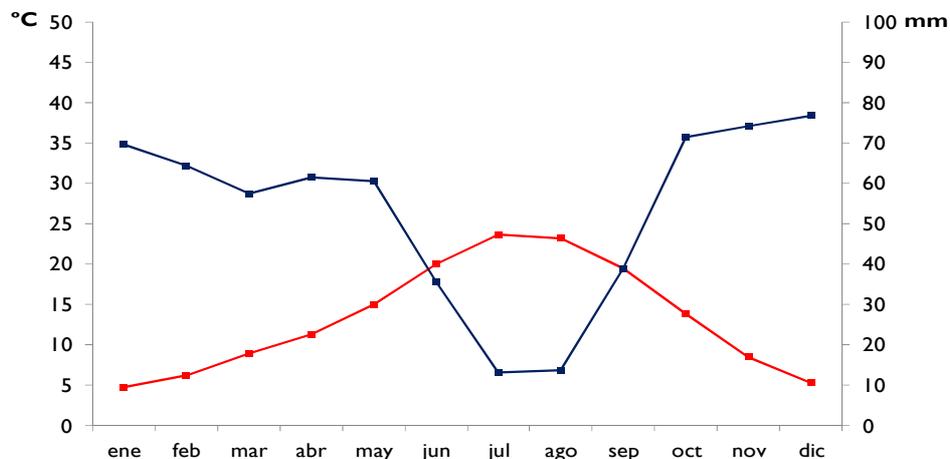


Figura 10. Diagrama ombrotérmico (promedio 1940-2010) de la D.H. Tajo (MARM, 2012). (Los datos de temperatura figuran en rojo y los de precipitación en azul).

En el conjunto de la D.H. Tajo, el valor medio de evapotranspiración potencial (ETP) entre 1940 y 2010 fue de 962 mm/año, mientras que la evapotranspiración real (ETR) media fue de 464 mm/año (MARM, 2012). Estos datos son muy similares a los registrados en la D.H. Guadiana durante el mismo periodo, mostrando la escorrentía unos valores de aportación específica anual a la D.H del Tajo de 45 mm de mínima, 171 de media y 377 mm de máxima anual durante el periodo 1940-2010.

Estos datos de escorrentía equivalen, considerando el tamaño de la demarcación (55.764 km<sup>2</sup>), a un volumen anual de recurso hídrico de 9.540 hm<sup>3</sup> de media en dicho periodo, siendo 2.499 hm<sup>3</sup>/año el valor mínimo y de 20.996 hm<sup>3</sup>/año el máximo (MARM, 2012). Respecto de la D.H. Guadiana, en la D.H. Tajo que es de similar tamaño, hay más precipitación anual, menores temperaturas, una evapotranspiración similar y, por tanto, un mayor volumen de escorrentía que genera mayores recursos hídricos disponibles.

La capacidad de agua embalsada en la D.H. Tajo es de 11.012 hm<sup>3</sup> siendo la demarcación hidrográfica del país con mayor capacidad de embalse (el 19,4% de la capacidad de embalse nacional está en esta demarcación). El volumen de agua embalsada varía mucho dependiendo del año hidrológico y del mes considerado, así, en promedio, en el periodo de marzo 2011-febrero 2012, el volumen embalsado para el conjunto de la D.H. fue de 6.904 hm<sup>3</sup>, aproximadamente un 63% de la capacidad total. El máximo volumen de agua embalsada en este periodo tuvo lugar en marzo de 2011 con 78% mientras que en febrero de 2012 el volumen embalsado fue de 5.684 hm<sup>3</sup>, el 51% de la capacidad de embalse (Figura 11).

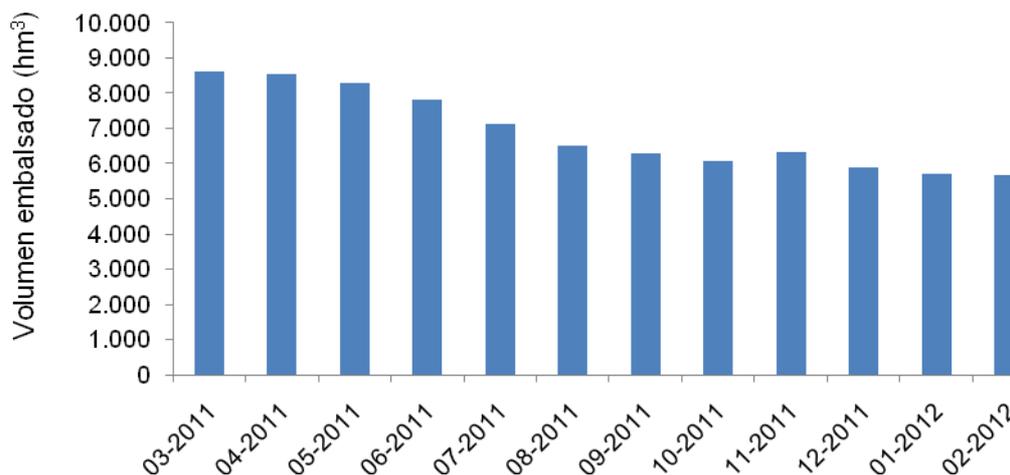


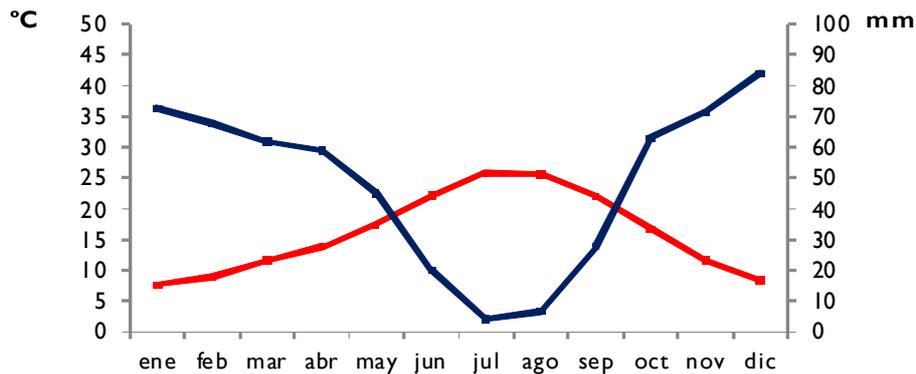
Figura 11. Evolución mensual de la reserva de agua embalsada en la demarcación hidrográfica del Tajo entre marzo de 2011 y febrero de 2012 (MARM, 2012).

#### Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir

La precipitación media anual en la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, en promedio para el periodo 1940-2010 es de 583 mm, siendo más importante en los meses de final del otoño, invierno e

inicio de la primavera (MARM, 2012). La precipitación mínima y máxima promedio del periodo 1940-2010 es de 289 mm y 990 mm respectivamente.

Adicionalmente, durante el periodo 1940-2010, la temperatura mínima anual se situó en 4,2 °C en promedio, en tanto que la media de temperatura máxima alcanzó los 27,8 °C, situándose la media de temperaturas medias en 16,0 °C (MARM, 2012) (Figura 12).



**Figura 12. Diagrama ombrotérmico (promedio 1940-2010) de la D.H. Guadalquivir (MARM, 2012).**  
(Los datos de temperatura figuran en rojo y los de precipitación en azul)

Los valores promedio de evapotranspiración potencial (ETP) entre 1940 y 2010 son de 1.043 mm/año, mientras que la evapotranspiración real (ETR) es de 442 mm/año (MARM, 2012). La escorrentía presenta unos valores de aportación específica anual en la D.H del Guadalquivir de 20 mm de mínima, 141 de media y 404 mm de máxima anual durante el periodo 1940-2010 (MARM, 2012). Estos datos de escorrentía equivalen, considerando el tamaño de la demarcación (57.228 km<sup>2</sup>), a un volumen anual de recurso hídrico de 8.070 hm<sup>3</sup> de media en dicho periodo, siendo 1.135 hm<sup>3</sup>/año el valor mínimo y de 23.111 hm<sup>3</sup>/año el máximo (MARM, 2012). Respecto de la D.H. Guadiana, en la D.H. Guadalquivir, el volumen de recursos disponibles es sustancialmente mayor a pesar de que la precipitación anual es ligeramente superior y el tamaño de la cuenca es un 3% mayor.

La capacidad de agua embalsada en la D.H. Guadalquivir es de 8.391 hm<sup>3</sup> siendo la tercera demarcación hidrográfica del país con mayor capacidad de embalse (el 14,8% de la capacidad de embalse nacional está en esta demarcación) por detrás de las D.H. Tajo y Guadiana. El volumen de agua embalsada varía mucho dependiendo del año hidrológico y del mes considerado, y en promedio, en el periodo marzo 2011-febrero 2012, el volumen embalsado para el conjunto de la D.H. fue de 6.717 hm<sup>3</sup>, un 80% de la capacidad total. El máximo de agua embalsada en este periodo tuvo lugar en mayo de 2011 con 89% de la capacidad, mientras que en octubre de 2011 el volumen embalsado fue de 6.151 hm<sup>3</sup>, el 73% de la capacidad de embalse (Figura 13).

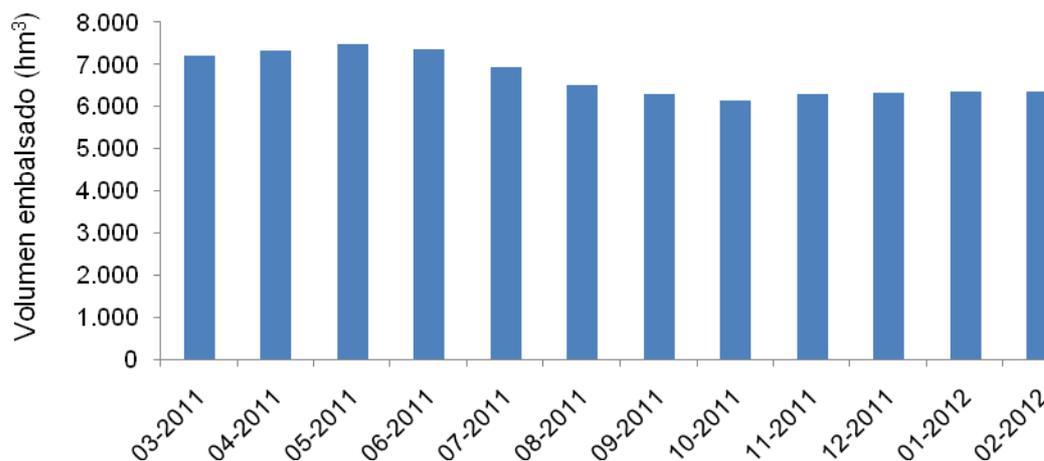


Figura 13. Evolución mensual de la reserva de agua embalsada en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir entre marzo de 2011 y febrero de 2012 (MARM, 2012).

En resumen, la distribución de la precipitación en las distintas demarcaciones hidrográficas en las que participa territorialmente Extremadura, tanto desde el punto de vista geográfico como temporal, se caracteriza por su elevada heterogeneidad. Este hecho supone una notable inestabilidad de las aportaciones hídricas a lo largo del tiempo, así como una gran variabilidad de las mismas en las distintas demarcaciones hidrográficas del territorio autonómico. Por otra parte, las demandas hídricas, muy elevadas desde el sector agrícola y en los momentos del año en que menor cantidad de recursos hídricos se dispone (Figuras 8, 12 y 19), genera en la actualidad problemas asociados a la disponibilidad de los recursos hídricos. En parte, estos problemas se gestionan mediante el uso de agua embalsada y el aprovechamiento de recursos subterráneos (Mapas 16 y 14). La demarcación hidrográfica del Guadiana es la que mayor parte de la agricultura sustenta y donde mayores son las necesidades de abastecimiento, siendo éstos los principales destinos del agua en Extremadura. Para el conjunto de las demarcaciones, cada hectárea de regadío demanda del orden de 6.700 m<sup>3</sup> al año en la D.H. Guadiana y 6.500 m<sup>3</sup> en la D.H. Guadalquivir. La D.H. Guadiana presenta una elevada vulnerabilidad pues es la que registra en la actualidad menores precipitaciones y mayores temperaturas dando lugar a mayor evapotranspiración y menor escorrentía (Tabla 12).

Tabla 12. Características climáticas y relevancia agrícola en las demarcaciones hidrográficas de Extremadura (MMA, 2000, MARM, 2012).

Demarcación Hidrográfica	Libro Digital del Agua, promedio del periodo 1940-2010		Libro Digital del Agua, periodo 03/2011-02/2012	Libro Blanco del Agua, año 2000	
	Precipitación media anual (mm/año)	Promedio anual de las temperaturas medias (°C)	Volumen de la reserva hídrica (hm <sup>3</sup> )	Superficie agrícola de regadío (ha)	Demanda de agua para regadío (hm <sup>3</sup> /año)
D.H. Guadiana	525	15,2	5.084	340.974	2.285
D.H. Tajo	636	13,3	9.540	230.720	1.875
D.H. Guadalquivir	583	16,0	8.070	483.170	3.140

## 6. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS

### 6.1. Introducción

La identificación de impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos en el territorio extremeño, se establece sobre la base de una revisión bibliográfica específica, atendiendo a las características propias de la región y a la exposición a los escenarios climáticos previstos para Extremadura. Los impactos así identificados son catalogados según su causa, y tipo de efecto (directo o indirecto), detallando cuando es posible, las zonas rurales y demarcaciones hidrográficas de Extremadura en los que tendrán especial incidencia (Tabla 13). Posteriormente se analizará la vulnerabilidad de los recursos hídricos regionales frente a los impactos aquí presentados.

Para asimilar el alcance de la identificación y valoración de los impactos, resulta esencial entender que, aunque los resultados que se presentan son para el territorio de Extremadura, el ciclo hidrológico es global y que por lo tanto, alteraciones no contempladas aquí, en determinados procesos atmosféricos a escala sinóptica derivados del cambio climático o cambios ocurridos en otras regiones y cuencas peninsulares, pueden producir modificaciones sustanciales a escala regional, de los procesos superficiales o hidrogeológicos que modifiquen la validez de los impactos dada en este análisis.

Algunos de los impactos identificados aquí, son descritos mediante datos para poner en evidencia su incidencia sobre Extremadura, pero no se trata de análisis de vulnerabilidad ya que no se profundiza en su evolución temporal y espacial ni en el grado de incidencia sobre la región.

### 6.2. Identificación de impactos

#### 1. *Disminución de la calidad de los recursos hídricos*

Existen distintas causas que pueden afectar a la calidad de las aguas debido al cambio climático, entre las que cabe destacar las siguientes:

- Los menores volúmenes de agua disponibles son causa de un empeoramiento de la calidad de las aguas. Una reducción de la dilución por el aumento de la evapotranspiración unido a una disminución de los aportes de agua, puede conllevar un empeoramiento de la calidad de las aguas en primavera y verano (MOPTMA, 1995).
- En aquellas zonas donde se registre un incremento de las precipitaciones de carácter torrencial, también puede tener un efecto no deseado sobre la calidad de las aguas debido al arrastre de contaminantes y partículas sólidas en suspensión desde los suelos hasta el medio acuático, pues se poluciona o se incrementa la turbidez.
- El aumento de la temperatura del aire conduce al ascenso de la temperatura del agua. En el siglo pasado, la temperatura del agua de los ríos y lagos europeos aumentó entre 1 y 3 °C

(MARM, 2009). Este calentamiento puede contribuir a la disminución del contenido de oxígeno disuelto en el agua, principalmente durante el período estival debido al bajo caudal.

- A consecuencia del calentamiento, las masas de agua superficiales tienden a experimentar un prolongamiento de las fases de estratificación de sus aguas lo que reduce el intercambio bioquímico con las capas profundas, deteriorando la calidad del agua.

Derivado de estos posibles cambios podemos establecer las principales consecuencias que se manifestarán en la calidad del agua, como pueden ser:

- El consumo de aguas duras, es decir, con elevado contenido en minerales, que provoca que aumente el riesgo de enfermedades renales y, que es fuente de problemas en los equipos domésticos e industriales debido a procesos de calcificación entre otros. Teniendo en cuenta que este fenómeno es escaso en Extremadura.
- El empleo de agua con elevados valores de conductividad producida en parte por la sobreexplotación de acuíferos, conduce a la paulatina salinización y alcalinización del suelo, con la consecuente pérdida de su fertilidad, que puede producir un deterioro importante de la calidad agrológica de los suelos impactando negativamente sobre las actividades agrícolas y ganaderas. Aunque en Extremadura, de acuerdo con los resultados del año 2009, no se detectaron en ningún punto de control, localizaciones con una salinidad que suponga una restricción al uso del agua para agricultura.
- Alteración del hábitat, de la distribución y la proporción relativa de los organismos acuáticos.
- Cambios de las condiciones bacteriológicas e incidencia de algunos patógenos.
- Podría bajar la calidad de las aguas antes de ser tratadas y afectar al suministro de agua potable y a los sectores que necesitan agua de alta calidad, por lo que habría que exigir el cumplimiento de la Directiva 91/271.
- Por otra parte, y como efecto positivo, podemos indicar que el incremento térmico podría mejorar la calidad del agua en periodos fríos, ya que un deshielo temprano permite niveles de oxígeno más altos y, adicionalmente, una menor mortandad de especies acuáticas durante el invierno (Bates *et al.*, 2008). Aunque esta consecuencia es prácticamente inexistente en la Cuenca del Guadiana.

## 2. Disminución de la calidad del agua de los embalses

Como consecuencia del incremento de las temperaturas medias es posible un desarrollo excesivo de algas, y de otros vegetales acuáticos, que producirá un mayor consumo de oxígeno durante el desarrollo vegetativo y el proceso de descomposición. Este tipo de sucesos provocan una merma en los niveles de calidad del agua embalsada, derivado principalmente de la falta de oxígeno en concentraciones adecuadas, mediante el proceso de eutrofización. Estos procesos se vienen ya

observando, fundamentalmente en la Cuenca del Guadiana, con la invasión de *Eichhornia crassipes*, conocido como camalote o jacinto de agua y *Nymphaea mexicana* ó nenúfar mexicano, entre otras.

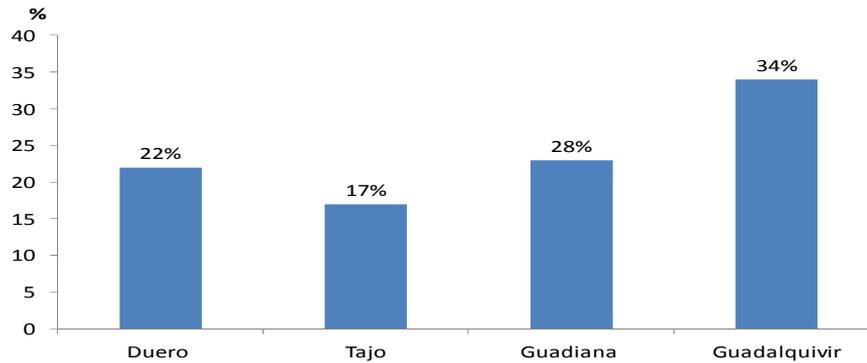
Así, el aumento de las temperaturas y disminución de la pluviosidad, sumado al de las concentraciones de fósforo y nitrógeno en lagos y reservorios, favorecería la proliferación de algas y otras plantas acuáticas que deteriorarían la calidad del agua confiriéndole un color, olor y sabor desagradables y, posiblemente, haciéndola tóxica para los seres humanos, para el ganado y para la fauna silvestre. Por otro lado, la menor concentración de oxígeno reduciría, en términos generales, la diversidad de las especies acuáticas, particularmente en los casos en que la calidad del agua ha sido deteriorada por la eutrofización. Adicionalmente, el incremento térmico de las masas de agua favorecerá un aumento de la extensión afectada por plantas acuáticas invasoras, siendo un riesgo importante para la biodiversidad regional (Bates *et al.*, 2008).

### 3. Disminución de la disponibilidad hídrica

La reducción en la disponibilidad hídrica proviene de la conjunción de varios procesos, como es el decremento de la precipitación a lo largo del año principalmente, pero también, de la disminución de la reserva de agua en el suelo como consecuencia del aumento del poder desecante de la atmósfera. Un balance negativo de precipitación-evapotranspiración, prolongado en el tiempo, genera la reducción de la infiltración hacia reservas subterráneas y, en consecuencia, una pérdida sustancial de la escorrentía superficial hacia ríos, lagos y embalses.

En los nuevos planes hidrológicos, tanto de la cuenca del Guadiana como del Tajo, para el horizonte 2027, se estiman reducciones en las aportaciones del 7% en la Cuenca del Tajo y del 11% en la del Guadiana, viéndose afectadas todas las regiones de la cuenca.

Por otra parte, otros estudios indican que la disminución global de los recursos hídricos en la Península Ibérica para el año 2060, alcanzaría el 17% bajo un escenario de un aumento de la temperatura media de 2,5 °C, y un descenso del 8% de la precipitación media anual (CEDEX, 1998; Parry, 2000; Ayala-Carcedo e Iglesias, 2001). En estas condiciones, además, se vería sensiblemente incrementada la variabilidad interanual de tales recursos, siendo el efecto más intenso en las cuencas de la mitad sur de España (Ayala-Carcedo, 1996); concretamente, se ha estimado que en el año 2060 los recursos de la cuenca del Guadiana se verán mermados en un 28%, los del Guadalquivir en un 34%, en un 22% los del Duero y en un 17% los del Tajo (Figura 14).

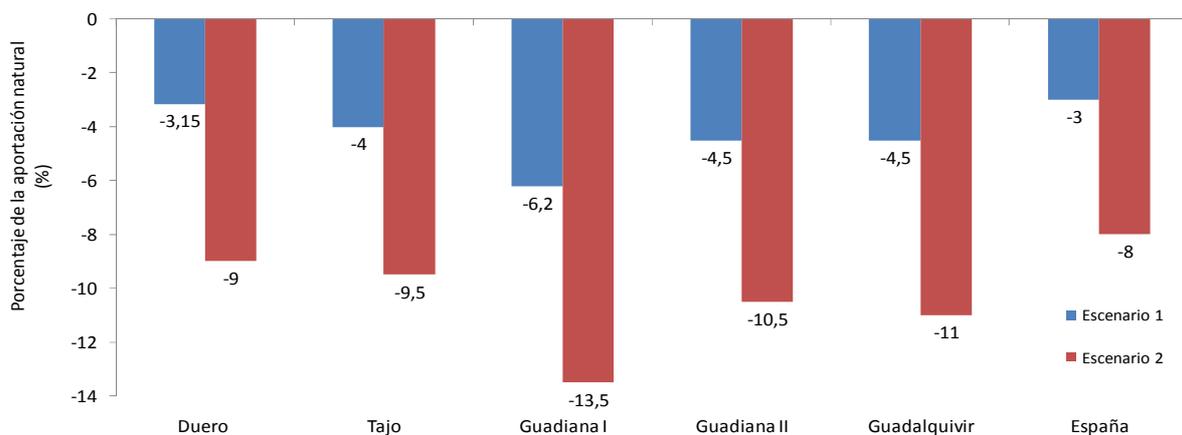


**Figura 14. Reducción de caudales en las cuencas nacionales para el año 2060 (Ayala-Carcedo, 1996).**

El reciente estudio del CEDEX en 2011 “Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos en Régimen Natural” revela importantes diferencias en cuanto a escala, variabilidad y evolución estacional, especialmente en el caso de la precipitación. Las proyecciones pronostican una reducción generalizada de la precipitación conforme avanza el siglo XXI, por lo que se reducirían las disponibilidades de agua.

El conjunto de proyecciones del escenario de emisiones A2 supone decrementos de precipitación media en España en el entorno del 9% 2041-2070 obteniéndose cifras similares en el escenario B2.

En el mismo sentido, los modelos de escorrentía media anual pronostican una disminución media de aportaciones hídricas en España, en régimen natural comprendidas entre un 5% y un 14% para el año 2020 (MMA, 2000), siendo las cuencas del Segura, Tajo, Guadalquivir y especialmente Guadiana aquellas donde el impacto sobre los recursos hídricos se manifestará de una forma más intensa (Figura 15).



**Figura 15. Porcentajes de disminución de la aportación total, para los escenarios climáticos considerados, en el largo plazo de la planificación hidrológica. (MMA, 2000).**

(Escenario 1. Aumento de 1 °C en la temperatura media anual)

(Escenario 2. Disminución de un 5% en la precipitación media anual y aumento de 1 °C en la temperatura)

En cuanto a las escorrentías el estudio del CEDEX 2011, citado anteriormente, prevé una disminución de la escorrentía acorde a las tendencias de temperatura y precipitación. Las proyecciones del escenario A2 dan lugar a unas reducciones de escorrentía en España del -16% para el 2041-2070, mientras que para el escenario B2 son del -11%.

Otros trabajos relacionados con la evaluación del impacto sobre los recursos hídricos en el marco del cambio climático muestran que en el sureste peninsular, el impacto sobre los recursos hídricos se manifestará más severamente que en el resto de territorios. Así, la disminución de la aportación total modelizada varía para la cuenca del Guadiana entre una disminución del 11% y el 22% (Iglesias *et al.*, 2005). Asimismo, bajo un escenario de cambio climático moderado, la reducción de las aportaciones en la península es de un 5%, lo que supone una reducción del 4% del recurso disponible. En el caso de un escenario más severo, la reducción alcanzaría el 11% para el conjunto nacional y una disminución de las aportaciones de un 24% en la cuenca del Guadiana, siendo la demarcación hidrográfica más afectada (Garrote *et al.*, 1999).

En definitiva, la elevación de las temperaturas y la reducción de las precipitaciones por efecto del cambio climático implicarían una merma en la cantidad de los recursos hídricos en régimen natural, especialmente intensa en las demarcaciones hidrográficas del sur de España. Esta reducción para el uso antrópico en Extremadura podría acarrear consecuencias adversas de gran calado ambiental, social y económico, como pueden ser,

- *Problemas en el suministro de agua para consumo humano en determinadas épocas del año*

Los sistemas de explotación hídrica pueden tener superávit (cuando la disponibilidad de recurso es mayor que la demanda) o déficit (cuando la demanda supera la disponibilidad). Independientemente del resultado de este balance, los sistemas de explotación pueden tener riesgo de sufrir escasez de carácter coyuntural, a causa de que sus niveles de consumo se hallan relativamente próximos al recurso potencial. Así, especialmente en condiciones de déficit, es probable que se produzcan problemas de suministro por insuficiencia de recursos, pudiendo resultar afectado el suministro a la población. Según el nuevo Plan Hidrológico aprobado, no será así en la Cuenca del Guadiana, salvo problemas detectados de suministro poblacional por problemas estructurales.

En épocas de sequías prolongadas, se pueden producir cortes en el suministro de agua, especialmente durante la noche para paliar la falta de reservas en la red en determinados municipios. En el marco del cambio climático, estos problemas pueden agravarse, ya que los veranos más largos y calurosos pueden aumentar la demanda de agua, asociada a uso de piscinas y parques acuáticos, agravándose la competencia por la demanda de agua en otros sectores.

- *Daños en la agricultura y la ganadería*

En el Plan de Adaptación al Cambio Climático correspondiente al sector agrícola, se ha evaluado la vulnerabilidad del mismo frente a un cambio en las precipitaciones e incremento de la temperatura y, por tanto, frente a la disponibilidad de recursos hídricos para la agricultura. Así, los principales efectos del cambio climático en relación a los recursos hídricos sobre la agricultura, se podrían dejar sentir en dos vertientes, por un lado el aumento de la frecuencia y magnitud de los episodios hidroclimáticos extremos, como las inundaciones o las sequías, pueden provocar la pérdida de cosechas y daños puntuales a los cultivos, con una mayor frecuencia que en la actualidad. Por otra parte, el descenso de las precipitaciones influirá negativamente en numerosos cultivos de secano y, la menor disponibilidad de los recursos hídricos, puede inducir a un cambio en los patrones espaciales del regadío. Adicionalmente, las necesidades de agua de los cultivos es posible que aumenten, puesto que se asistirá a un incremento de la temperatura y la evapotranspiración. Sin embargo, el efecto de este aumento en el ciclo hidrológico es menor por concentrarse en verano durante el cual el suelo tiene un reducido contenido de agua. Las variaciones de valores medios de evapotranspiración se han estimado en el -6% para 2041-2070 (CEDEX 2011).

En cuanto a la ganadería, el principal impacto del cambio climático detectado, proviene de la pérdida en cantidad y calidad de pastos. Una merma en los sistemas de alimentación y calidad de vida ganadera producirá pérdidas en la producción y, por tanto, impactos socioeconómicos no desdeñables.

- *Repercusiones negativas sobre el turismo*

El sector turístico es otra de las actividades económicas de importancia en Extremadura que podría verse seriamente afectado por una modificación en los recursos hídricos como consecuencia del cambio climático. Por una parte, los periodos de sequía, que se prevén más intensos y frecuentes, pueden tener consecuencias negativas sobre el sector por la probabilidad de producirse cortes en el suministro en los periodos coincidentes (verano) con una mayor demanda de agua. Por otra parte, la disminución de recursos prevista y la mayor irregularidad anual tendrán un impacto negativo sobre el sector turístico.

Adicionalmente, la reducción en el volumen de agua circulante conllevará una pérdida del valor paisajístico generalizada, siendo especialmente sensible en territorios lagunares, fluviales o húmedos como el Parque Natural del Tajo Internacional (ZR IV), el Complejo Lagunar de la Albuera (ZR X) o el Parque Nacional de Monfragüe (ZR II)

- *Industria y energía*

El principal impacto previsto respecto al sector energético está relacionado con la producción hidroeléctrica, ya que en la región, la generación de electricidad en presas es muy importante, por lo que una reducción en el volumen de agua embalsado provocará una pérdida del potencial de producción. Por otro lado, la reducción en la disponibilidad del recurso puede suponer un freno al desarrollo de fuentes de energía renovables como la minihidráulica o la biomasa (cultivos energéticos y biocombustibles esencialmente), que son prioridades en las políticas de mitigación. Tanto la minihidráulica como los cultivos energéticos requieren de volúmenes de agua constantes para poder mantener la producción. Así, en el caso de estar en condiciones de déficit hídrico, no podrán ponerse en marcha sistemas de producción de energía que estén basados en dichas tecnologías. En el Plan de Adaptación referido al sector energético se han desarrollado con detalle todos los impactos relativos al sector de la energía.

Otro aspecto a tener en cuenta está relacionado con la reducción del poder de enfriamiento del agua, ya que la acción conjunta del aumento de la temperatura y de la reducción de la precipitación incrementará el poder calorífico del agua de los ríos y reducirán su caudal, disminuyendo de este modo el rendimiento de las centrales nucleares y térmicas, de carbón, fuel, gas y ciclo combinado.

La industria en Extremadura, a pesar de no ser un sector mayoritario en la creación de la riqueza de la región, es un vector de dinamismo socioeconómico y como tal las empresas del sector son consumidoras de importantes cantidades de agua ya sea para procesos industriales o para refrigeración. En la región, los principales polígonos industriales se ubican en las Vegas del Guadiana, Corredor del Norte y la Ruta de la Plata (ZR VI, VII, VIII) coincidiendo con las zonas de mayor población y mejores infraestructuras.

- *Daños en el sector forestal*

Como ya hemos comentado con anterioridad, el 65% del territorio extremeño es forestal, siendo las dehesas de encinas y alcornoques, los tipos de terrenos forestales preponderantes en la región (MARM, 2009). El buen estado de los terrenos forestales es de gran importancia para el conjunto de la sociedad y economía de Extremadura, pero la disminución de la precipitación y en general la pérdida de recursos hídricos provocará, con elevada probabilidad episodios de estrés hídrico. Esta situación, puede conllevar a una reducción de la cobertura forestal, a una fragmentación de los ecosistemas o a una pérdida de biomasa, especialmente en las zonas más áridas de las zonas rurales VII, VIII, IX.

Adicionalmente, el incremento térmico, modificará la fenología de muchas especies, pudiendo mermar las posibilidades del correcto desarrollo de flores y frutos.

También es importante reseñar el papel de los bosques en relación con el ciclo del agua, ya que éstos contribuyen al ciclo hídrico mediante de la interceptación, la escorrentía cortical, la infiltración, la escorrentía superficial, etc. Asimismo, el calentamiento previsto afectará negativamente al estado de los bosques y favorecerá entre otros procesos, la desecación y, por tanto, la facilidad de sufrir un incendio forestal o la pérdida de suelo por volatilización. Por tanto, la protección de los bosques es muy beneficiosa, ya que reduciría las sequías y las crecidas (Bates *et al.*, 2008).

- *Biodiversidad*

El agua es un recurso fundamental para todos los ecosistemas y seres vivos; no obstante, hay ciertos hábitats y especies animales y vegetales que tienen unos requisitos exigentes en cuanto a cantidad y calidad de las aguas para poder desarrollarse óptimamente.

Una reducción del volumen de agua en los ecosistemas afectará negativamente a este tipo de espacios, a las especies que en ellos viven y a los servicios ecosistémicos que proveen, de modo que los ecosistemas que con mayor probabilidad sufrirán los efectos de la reducción en la disponibilidad hídrica son los humedales, cursos de aguas permanentes y temporales, zonas húmedas, lagos, lagunas, ríos, ambientes endorreicos, ambientes dependientes de las aguas subterráneas, zonas de alta montaña, lagos y lagunas de alta montaña principalmente.

En el Plan de Adaptación relativo a la biodiversidad se realizará un análisis pormenorizado de los espacios naturales más afectados por cambios en las condiciones climáticas. Así, entre los principales efectos del cambio climático sobre la biodiversidad pueden citarse la variación en las pautas migratorias, los cambios en el área de distribución de las especies y la proliferación de especies invasoras.

Por otro lado, los cauces de agua, tanto superficiales como subterráneos son vías de transporte de materia, energía e información entre distintos ecosistemas de una región, por lo que la escasez de agua puede suponer una limitación a este transporte y alterar tanto la estructura como la función de los ecosistemas presentes. Estas circunstancias pueden desembocar en una merma en la generación de bienes y servicios ecosistémicos como el crecimiento vegetal, el aprovisionamiento de madera, la fertilización de los suelos de las llanuras aluviales, etc.

#### 4. Daños en las infraestructuras debido a fenómenos climáticos extremos

Las infraestructuras de almacenamiento, distribución y depuración de agua presentan riesgo de sufrir daños estructurales debido a su exposición a los fenómenos meteorológicos extremos. Dada su importancia como distribuidor del recurso hídrico al resto de sectores, las afecciones a la red de distribución resultan relevantes para el desarrollo socioeconómico regional.

Ha de tenerse en cuenta que el incremento de los episodios de tormentas extremas e inundaciones podría afectar a las infraestructuras de almacenamiento, suministro, distribución, reutilización y depuración de las aguas, que puede generar impactos sobre la capacidad de dar respuesta a las necesidades de agua poblaciones y de los diferentes sectores de actividad que dependen del agua.

Por otro lado, una mayor asiduidad de lluvias intensas sobrecargaría con mayor frecuencia la capacidad de los sistemas de alcantarillado y de las estaciones depuradoras de aguas residuales (Bates *et al.*, 2008).

#### 5. Colmatación de embalses y pérdida de capacidad de embalsado de aguas superficiales debido a fenómenos climáticos extremos

La colmatación de los embalses es el proceso por el cual, los sólidos que son arrastrados por la red hidrográfica se acumulan en el fondo de los mismos por decantación. Por lo tanto, todo el embalse está expuesto a este proceso y, es necesario que en su diseño se contemple un periodo de utilización óptimo y una fecha probable de fin de actividad debido a la colmatación. Cabe esperar, que el aterramiento de embalses se vea acelerado por la existencia de más episodios de lluvias torrenciales, provocando que se reduzca la capacidad de almacenamiento del recurso, y disminuir, por tanto, la capacidad de afrontar las necesidades. Apuntar que este fenómeno es poco importante en cuencas Atlánticas y por tanto sería poco significativo en Extremadura.

Así, en el marco del cambio climático, el aumento paulatino de las temperaturas y la reducción de las precipitaciones anuales en Extremadura favorecerá una progresiva pérdida de la cubierta vegetal, propiciando los procesos de aridificación y desertificación, especialmente graves, en las regiones más continentales del territorio extremeño, en la cuenca del Tajo y el Guadiana. Los suelos sin cubierta vegetal, o con cubiertas herbáceas, son los más susceptibles de ser erosionados por el agua y el viento, hecho que dará lugar a una intensificación de los procesos de arrastre de sedimentos y, en última instancia, de colmatación de los embalses. Por otro lado, el aumento de la temperatura, favorece la desecación de la vegetación e incrementa las posibilidades de sufrir incendios. A ello se une la tendencia hacia un régimen de incendios más severo, más largo y más recurrente, (Pérez *et al.*, 2011b) lo que determinará una pérdida efectiva de la cubierta forestal, que provocará un mayor arrastre de suelo hacia los embalses y a una colmatación progresiva de los mismos.

Finalmente, el incremento de episodios de lluvias torrenciales generará un aumento significativo de la erosión hídrica en el conjunto de las demarcaciones hidrográficas presentes en el territorio extremeño, originando que el destino final de los sedimentos arrastrados por las torrenteras sean los embalses situados aguas abajo.

#### 6. Sequías e inundaciones debidos a fenómenos climáticos extremos

El incremento de la temperatura y la disminución de la precipitación, visto desde una perspectiva simple, derivan en un aumento de la frecuencia e intensidad de las sequías hidrológicas. Según el informe *Impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos en régimen natural en España* (CEDEX 2011), los análisis realizados sobre las precipitaciones máximas diarias, directamente relacionadas con la ocurrencia de inundaciones, revela importantes incertidumbres derivadas de las diferencias de resultados entre proyecciones. Debido principalmente a la tendencia decreciente de la lluvia total anual, se aprecia un aumento de la proporción de la precipitación máxima diaria respecto a la lluvia total anual en un número considerable de regiones de España, entre ellas Extremadura.

En líneas generales, se prevé un incremento de la evapotranspiración como consecuencia del aumento de las temperaturas, Sin embargo, el efecto de este aumento en el ciclo hidrológico es menor por concentrarse en verano durante el cual el suelo tiene un reducido contenido de agua.

Estas proyecciones prevén una disminución de la escorrentía acorde a las tendencias de temperatura y precipitación, que variará regionalmente, concretamente para Extremadura esta disminución será entre un 10% y un 25% para un escenario A2 y menor de un 10% para un escenario B2.

En cuanto a la recarga de acuíferos se pronostica una disminución generalizada en España conforme se reduce la lluvia, siendo menos vulnerables las áreas silíceas que las calcáreas y detríticas (CEDEX 2011).

Según otros estudios, las proyecciones, la intensidad y variabilidad crecientes de la precipitación aumentarán el riesgo de sequías en numerosas áreas (Bates *et al.*, 2008), y también en Extremadura.

Referente a las inundaciones y avenidas, las previsiones resultan más complejas, ya que aunque en principio, un aumento de las temperaturas, unido a descensos en las precipitaciones, no parece que sea un factor desencadenante por sí mismo de un aumento de este tipo de fenómenos extremos, si es probable que el régimen de precipitaciones, ante un calentamiento global de la atmósfera, se vea modificado y siga una tendencia hacia la generación de aguaceros de corta duración y elevada intensidad (Bates *et al.*, 2008). Este hecho podría ser el desencadenante de avenidas e inundaciones. Por ejemplo, el ascenso de las temperaturas a finales de primavera y en verano puede llevar asociado un incremento de las precipitaciones torrenciales de tipo convectivo, provocando un aumento de los

riesgos debidos a crecidas espontáneas e imprevisibles, especialmente en zonas de montaña y pequeñas cuencas fluviales.

Por otra parte, como se ha comentado anteriormente, el aumento global de la temperatura y el probable incremento de la sequía estival pueden traer como consecuencia una degradación de la cubierta vegetal, así como un aumento de los incendios forestales, con el resultado de un aumento de la intensidad de las crecidas por los procesos erosivos asociados.

Al mismo tiempo, los veranos más largos y secos pueden determinar un impacto importante al generar una desecación generalizada del suelo y entretener el tiempo en el que los suelos vuelven a hidratarse en otoño, reduciendo los flujos profundos y la recarga de acuíferos al inicio del año hidrológico aunque los acuíferos en el Guadiana no tienen demasiada importancia en la región.

Por todo ello en el Plan de Adaptación referido a los riesgos naturales, se desarrollan con detalle los impactos producidos como consecuencia de las sequías hidrológicas e inundaciones, resultando de importancia señalar que los impactos no dependen exclusivamente de la frecuencia e intensidad de los episodios de sequías o inundaciones, sino que es importante conocer el nivel de exposición a los mismos que dependerá de las actividades humanas y de la planificación del territorio. Asimismo, la existencia de medidas de prevención tales como planes de emergencia, el adecuado cumplimiento de la legislación ambiental, planes de contingencia y protección civil, etc. determinan que los siniestros e impactos sean menos graves o frecuentes.

Como consecuencia de la reducción de la precipitación anual y, especialmente, la reducción de las lluvias estivales, se incrementará de la duración e intensidad de las sequías que provocará un estrés importante para la vegetación y los cultivos. Además, los periodos prolongados de sequía tienen efectos directos sobre el volumen y la calidad de la producción agrícola, sobre la disponibilidad de pastos y forraje para la ganadería y, en general, afectan a todas las actividades económicas que dependen en mayor o menor medida de la disponibilidad de recurso hídrico. Asimismo, las sequías afectan a la actividad industrial y energética (menor hidraulicidad y menor potencial de refrigeración del agua), y los periodos prolongados de sequedad ambiental y elevadas temperaturas exponen a los materiales de construcción de presas y otras infraestructuras hidráulicas a un desgaste prematuro.

Por tanto, de acuerdo con las predicciones, el cambio climático afectará sustancialmente al régimen de incendios, provocando un incremento de los mismos que podrá desembocar en un aumento del riesgo de desertificación (por la pérdida del suelo), y por otro lado avivar el riesgo de generar avenidas en caso de precipitaciones abundantes, e incluso movimientos de masa como corrimientos de tierra. Las lluvias torrenciales pueden generar inundaciones súbitas, siendo los principales daños

provocados sobre infraestructuras hidráulicas y la aceleración de la colmatación de los embalses por arrastre importante de sedimentos.

**Tabla 13. Impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos.**

IMPACTO	CAUSA	EFEECTO	SIGNO	ZONIFICACIÓN
Disminución de la calidad de los recursos hídricos por la concentración de contaminantes y minerales en el agua	Incremento de las temperaturas	Indirecto	-	Conjunto de Extremadura, especialmente en la D.H. del Tajo
Disminución de la calidad del agua de los ríos y embalses por reducción de las concentraciones de oxígeno, asociado al excesivo desarrollo de algas y plantas acuáticas.		Indirecto	-	Embalses de las D.H. Guadiana y Tajo, fundamentalmente
Disminución de la disponibilidad hídrica derivado de la reducción generalizada de la precipitación.	Aumento de la temperatura y descenso de las precipitaciones anuales	Directo	-	Conjunto de Extremadura, especialmente en la D.H. del Tajo
Daños en las infraestructuras de transporte, almacenamiento, saneamiento y distribución de agua	Fenómenos meteorológicos extremos	Directo	-	Conjunto de Extremadura
Colmatación de embalses de abastecimiento, regadío e hidroeléctricos		Indirecto	-	Embalses de Extremadura, principalmente en la D.H. Tajo
Sequías e inundaciones		Directo	-	Las sequías afectarán sobre todo a las zonas interiores de Extremadura, mientras que las inundaciones pueden ser más severas en fondos de valle de áreas montañosas

Adicionalmente y para que sea más explícito se han recogido de manera integrada, las interacciones entre los impactos descritos y los sectores socioeconómicos más relevantes (Tabla 14).

**Tabla 14. Impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos y sus repercusiones sobre otros sectores socioeconómicos.**

SECTOR	Reducción calidad del agua	Incremento evapotranspiración	Daños en infraestructuras	Colmatación de embalses	Sequías e inundaciones
CONSUMO HUMANO Y SALUD	✓	✓	✓		✓
AGRICULTURA Y GANADERÍA		✓	✓		✓
TURISMO	✓	✓	✓		✓
INDUSTRIA Y ENERGÍA		✓	✓	✓	✓
SECTOR FORESTAL		✓			✓
BIODIVERSIDAD	✓	✓			✓

## **7. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD**

### **7.1. Introducción**

En el presente apartado se evalúa la vulnerabilidad de Extremadura, atendiendo a sus características territoriales propias, respecto de los impactos potenciales identificados y descritos en el punto previo, en el sector de los recursos hídricos y para los cambios que se derivan de los escenarios climáticos detallados con anterioridad. Para ello, en primer lugar, se analizan los efectos que provocan en el sector los cambios en la temperatura y la precipitación promedios mediante el análisis del ciclo del agua en la región. En segundo lugar, se hacen consideraciones respecto de la mayor frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos (sequías e inundaciones) y su relevancia sobre la vulnerabilidad de los recursos hídricos regionales.

En base a las consideraciones anteriores, se ha desarrollado un análisis de la vulnerabilidad de los recursos hídricos en Extremadura en relación con los cambios termopluviométricos previstos, empleando una metodología que permite estimar alteraciones en los procesos clave del ciclo hidrológico, con el objetivo final de obtener una visión de conjunto sobre la incidencia del cambio de clima sobre dichos procesos hidrológicos y de manera que se pueda establecer un panorama sobre la disponibilidad hídrica futura en distintos momentos temporales y para las demarcaciones hidrográficas presentes en el territorio autonómico. Para ello se ha realizado la evaluación considerando la dinámica mensual del ciclo del agua para las distintas zonas rurales, bajo los escenarios de emisiones A2 y B2 y en los periodos 2011-2040 y 2041-2070.

La influencia del cambio climático sobre los sistemas de explotación de recursos hídricos opera en dos fases sucesivas. En primer lugar, la modificación de las condiciones atmosféricas induce una modificación del ciclo hidrológico natural que supondrá cambios en la magnitud y estacionalidad de los flujos y calidad del agua. En segunda instancia, esta modificación hidrológica puede afectar a los distintos requerimientos hídricos, e influir sobre la utilización del agua a través de los sistemas de explotación, sus infraestructuras y sus reglas de gestión (MMA, 2000). Por otro lado, los eventos extremos en relación con el agua, sequías e inundaciones, pueden generar considerables impactos sobre los intereses socioeconómicos y los ecosistemas, por lo que conocer los elementos que modulan la vulnerabilidad respecto de estos eventos favorecerá la adaptación y ayudará a minimizar los impactos que se puedan producir.

## **7.2. Variación de la disponibilidad de recurso a partir del cómputo del balance hídrico por el método de estimación directo. Efecto del cambio en el régimen de temperaturas y precipitaciones.**

### **7.2.1. Bases conceptuales**

De manera esquemática podemos decir que la **precipitación** es la forma de entrada vertical de agua en una cuenca mientras que la **evapotranspiración** es la forma vertical de salida. Cuando la precipitación es mayor que la evapotranspiración el agua puede circular hacia otras zonas del sistema como son el suelo, la vegetación, los ríos a través de la escorrentía superficial y los acuíferos del subsuelo a través de la infiltración.

Durante los meses húmedos se acumula agua en los distintos reservorios del sistema hidrológico, generando las reservas de agua y aumentando la disponibilidad de recurso. Por el contrario, cuando la precipitación es inferior a la evapotranspiración, en los meses secos, el balance es negativo y tanto la vegetación como el hombre han de hacer uso de las reservas de agua en superficie (ríos, lagos o embalses), del agua del suelo y del agua acumulada en las reservas hidrogeológicas.

Por lo tanto es fundamental realizar una estimación de cómo cambia el balance de **precipitación/evapotranspiración** en los periodos 2011-2040 y 2041-2070, y bajo los escenarios de emisiones A2 y B2 respecto a los datos que existen del balance para el periodo 1961-1990.

Así, la aplicación del modelo parte de una serie de supuestos, entre los que citamos que,

- i) Una reducción de la precipitación disminuirá las posibilidades de aprovechamiento del recurso y recíprocamente. De este modo, al ser la lluvia el modo principal de entrada de agua en el sistema, cuanto menos llueva, menos cantidad de agua circula y por tanto más difícil es hacer frente a la demanda.
- ii) Mayores valores de evapotranspiración potencial (ETP) reducirán el contenido de agua en el suelo y las plantas, lo que conducirá a una reducción de la cantidad disponible para uso humano.
- iii) Los cambios en la escorrentía y en la interceptación relacionados con el tipo de cubierta no alterarán sustancialmente el volumen total de agua disponible a nivel de cuenca, por lo que pueden obviarse en el análisis.
- iv) La tasa de infiltración del agua hacia estratos subterráneos no se modificará sustancialmente por efecto del cambio climático.

- v) Los procesos de lluvias torrenciales serán más frecuentes e intensos que en la actualidad; sin embargo, a escalas temporales largas, estas cantidades de lluvia serán más o menos aprovechables dependiendo de la regulación artificial existente en los embalses.
- vi) La existencia de embalses mejorará la flexibilidad de la gestión hidrológica siempre que se produzca un porcentaje de llenado suficiente, que dependerá de su dimensionamiento respecto a las aportaciones.

Por ello, bajo estas premisas, se asume que se trata de un modelo simplista en el que no se consideran ni todos los procesos del ciclo hidrológico ni se parametrizan los procesos considerados de acuerdo al estado actual de la ciencia.

Del mismo modo, el trabajo realizado pretende ser prospectivo y servir como base introductoria de los posibles cambios en la disponibilidad del recurso en Extremadura en función de los cambios proyectados en la temperatura y la precipitación. Sin embargo, considerando que de manera general, el ciclo hidrológico se puede describir como el movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente por las precipitaciones, y posteriormente en forma de escorrentía superficial y subterránea, conocer las modificaciones de la temperatura o de la precipitación permite estimar cambios en la disponibilidad hídrica al repercutir dichas variaciones sobre los recursos hídricos de un territorio, pues, a largo plazo, la escorrentía es igual a la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración (MMA, 2000). Además, la distribución temporal y el régimen de las precipitaciones incide sobre la generación de escorrentía tanto o más que el volumen de precipitación en sí mismo (Iglesias *et al.*, 2005) por lo que resulta esencial conocer la distribución a lo largo del año de dichos procesos para poder establecer una aproximación válida a la disponibilidad hídrica futura, algo en lo que sí se ha hecho un esfuerzo de caracterización (Anexo II).

Para poder realizar el análisis, en primer lugar, se estudia en detalle la evolución espaciotemporal que existe entre los dos procesos clave de entrada y salida de agua en una cuenca, la precipitación y la evapotranspiración, empleando para ello los promedios mensuales de los tres periodos considerados a lo largo de todo el Plan, como son el periodo de referencia 1961-1990, y los periodos 2011-2040 y 2041-2070 bajo ambos escenarios de emisiones. En segundo lugar, se analizan los resultados referidos a otras etapas del ciclo del agua tales como la reserva de agua en el suelo, la evapotranspiración real, la escorrentía e infiltración, que permiten caracterizar la disponibilidad hídrica en las distintas demarcaciones hidrográficas presentes en Extremadura.

### **7.2.2. Descripción del método de estimación del balance hídrico directo**

El balance de agua en el suelo a lo largo del año, que determina la escasez o el exceso de recursos hídricos, puede ser calculado a partir de los datos de las precipitaciones medias mensuales y de la

evapotranspiración mensual. Los datos de precipitación se obtienen directamente de los escenarios climáticos empleados (DGECA, 2011), mientras que los de evapotranspiración se calculan a partir de los datos de temperatura de la misma fuente. Así, el método de estimación del balance hídrico directo (Almorox, 2003) considera que el agua de lluvia se acumula en el suelo y se va perdiendo mes a mes, a través de la evapotranspiración, hasta agotar la reserva para poder cubrir las necesidades de agua. Por ello, se han evaluado los patrones espaciotemporales de precipitación y evapotranspiración en las distintas demarcaciones hidrográficas del territorio extremeño. La elección de estos dos procesos fundamentales del ciclo hidrológico – precipitación y evapotranspiración – se debe a distintas razones, entre las que cabe citar,

- La importancia de la precipitación y la evapotranspiración como procesos clave para evaluar la variación de la disponibilidad de recurso hídrico en cada cuenca. Si bien, otros procesos como la escorrentía o la infiltración pueden modificar la distribución espacial del recurso, no determinan por sí mismos la disponibilidad de agua en un territorio.
- La disponibilidad de datos, ya que para evaluar tanto la precipitación como la evapotranspiración, se pueden emplear los datos ofrecidos por AEMET para establecer los patrones mensuales en cada uno de las demarcaciones hidrográficas presentes en el territorio autonómico.
- El balance entre precipitaciones y evapotranspiración a lo largo del año y en las distintas demarcaciones hidrográficas del territorio extremeño, permite obtener una idea clara, aunque imprecisa, de cambios en la disponibilidad del agua que pueden ser usados para establecer una primera aproximación a los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos en las cuencas extremeñas.
- Finalmente, conocer con precisión la variación espaciotemporal de precipitación y evapotranspiración potencial para un amplio territorio es mucho más sencillo que estimar las variaciones en las escorrentías o en la interceptación, procesos para los que son necesarios parametrizaciones que dependen de variables territoriales espacialmente explícitas, como la pendiente, litología, granulometría, cobertura vegetal, etc.

Por tanto la aplicación de este método requiere definir mes a mes los siguientes parámetros que se han expresado en todo momento en milímetros (mm) o litros por metro cuadrado y mes ( $l / m^2$  mes).

**P** es la precipitación media mensual, expresada en mm.

**ETP** es la evapotranspiración potencial, expresada en mm, e incluye la evaporación y la transpiración vegetal.

**R** es la reserva de agua en el suelo, expresada en mm.

**VR** es la variación de la reserva, expresada en mm.

**ETR** es la evapotranspiración real, expresada en mm.

**F** es la falta de agua en el suelo para cubrir las necesidades de evapotranspiración, en mm.

**Ex** es el exceso de agua, expresado en mm. Es el agua que se infiltra hacia las reservas subterráneas o sufre escorrentía superficial.

Hemos de tener en cuenta que el año hidrológico en España empieza en el mes de octubre y termina en el mes de septiembre (AEMET, 2011), por lo que se ha seguido esta clasificación para el cálculo mensual de los distintos parámetros.

En Extremadura hay datos diarios de 337 estaciones pluviométricas y 149 termométricas para los tres periodos temporales considerados (Brunet *et al.*, 2009), aunque solo en 139 de las estaciones meteorológicas existen simultáneamente ambos parámetros, por lo que sólo se han utilizado los datos procedentes de estas, dado que el método de estimación del balance hídrico directo requiere considerar la precipitación y la evapotranspiración (y por tanto indirectamente la temperatura).

- Precipitación (P)

Como ya hemos comentado con anterioridad, la precipitación es el proceso por el que se produce entrada vertical neta de agua en las cuencas. Como no se analizan entradas de agua desde otros territorios fuera de Extremadura, ni de manera natural (ríos, acuíferos), ni artificial (trasvases, reutilización), la lluvia es la única entrada de recurso hídrico al territorio autonómico que considera el modelo. De este modo para las 139 estaciones termopluviométricas de las que se tienen datos de precipitación y temperatura en los tres periodos analizados, se ha calculado el valor promedio mensual para los doce meses del año.

- Evapotranspiración potencial (ETP)

La evapotranspiración se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa, junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación, y entre otros aspectos está modulada por la temperatura del aire, el potencial hídrico, la insolación y la conductancia estomática o facilidad con la que se intercambian gases entre el interior y el exterior de la planta.

El término evapotranspiración potencial (ETP) expresa la cantidad de agua que perderá una superficie completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo, si en todo momento existe en el suelo humedad suficiente para su uso máximo por las plantas (Almorox, 2003). El cálculo de la evapotranspiración potencial mensual (ETP), expresada en milímetros o litros por metro cuadrado mensuales, se basa en la temperatura media mensual y en el índice de calor anual (Ecuación 1)

$$ETP = 16 \times (10 T / I)^a \quad \text{[Ecuación 1]}$$

donde,

**I** es el índice de calor anual, que se obtiene como resultado de la suma de los 12 valores del índice de calor mensual (*i*), expresado en °C, siendo

$$i = (T / 5)^{1,514}$$

**T** es la temperatura media mensual, en °C.

**a** es la función del índice de calor anual (**I**), que se calcula como

$$a = 0,000000675 \times I^3 - 0,0000771 \times I^2 + 0,01792 \times I + 0,49239.$$

Así, aplicando el método de Thornthwaite (Ecuación 1), se ha calculado el valor de la evapotranspiración promedio para los tres periodos considerados (Anejo III). Para ello se han empleado los datos de temperatura y precipitaciones de cada una de las 139 estaciones termométricas distribuidas por Extremadura y los territorios limítrofes. Dado que no se dispone de proyecciones de la temperatura media mensual (Brunet *et al.*, 2009), ésta se ha calculado como el valor promedio mensual de la semi razón de las temperaturas máxima y mínima (Ecuación 2).

$$T_{media} = (T_{max} + T_{min})/2 \quad \text{[Ecuación 2]}$$

donde,

**T<sub>max</sub>** es el promedio mensual de la temperatura máxima, expresada en °C

**T<sub>min</sub>** es el promedio mensual de la temperatura mínima, expresada en °C

A partir de los datos de AEMET, se obtiene, por un lado el valor de precipitación promedio mensual para los periodos citados y bajo ambos escenarios de emisiones en las 139 estaciones meteorológicas y, por otro, el valor de temperatura máxima y temperatura mínima promedio mensual para los mismos periodos en los escenarios A2 y B2.

Análogamente al valor de precipitación, se calcula el valor promedio de temperatura máxima y mínima para cada mes a partir de los datos diarios de temperatura de cada año. Una vez obtenidos éstos, se calcula el promedio para el periodo de treinta años a partir de los datos de cada uno de los años. A partir de los datos de temperatura máxima y temperatura mínima se calcula la temperatura media como la semisuma de las mismas (Ecuación 2), y empleando la fórmula de Thornthwaite (Ecuación 1), se obtiene el valor de evapotranspiración potencial (ETP) promedio mensual para los periodos y en los dos escenarios de las 139 estaciones meteorológicas.

Una vez conocidos los datos de precipitación y evapotranspiración potencial, se calcula la diferencia entre los mismos, y el resultado constituye el balance mensual de entradas y salidas potenciales de agua en el suelo, pudiendo establecer que cuando  $P > ETP$ , el balance es positivo.

Seguidamente, para conocer la evolución del balance entre precipitación y evapotranspiración, se calcula el valor de la diferencia del balance mensual entre los periodos 2011-2040 (A2 y B2) y 2041-2070 (A2 y B2) respecto de 1961-1990 en las estaciones consideradas. Cuando la diferencia del

balance es positiva podemos decir que en el momento futuro la disponibilidad hídrica es mayor que en el periodo de referencia; en caso contrario, cuando la diferencia de balances es negativa, es que en el futuro la disponibilidad será menor que la que existe en el periodo de referencia.

Finalmente, se calculan los balances hídricos anuales a partir de los datos mensuales y se calculan las diferencias entre el periodo de referencia y los periodos a corto y medio plazo, bajo ambos escenarios de emisiones, y mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), se cartografían, quedando de forma clara la diferencia de los balances hídricos entre los distintos periodos, tanto de forma mensual como anual.

- Reserva del suelo (R)

La reserva del suelo es la cantidad máxima de agua por unidad de superficie que un suelo es capaz de almacenar en su perfil. Así cuando en un mes se producen más entradas que salidas,  $P > ETP$ , el agua sobrante pasa a engrosar la reserva del suelo; por el contrario, cuando las salidas son mayores que las entradas se reduce la reserva del suelo.

La capacidad de retención de la humedad del suelo es función de las características físicas y, cuando se alcanza la capacidad máxima de retención, el agua añadida en exceso escurre superficialmente o en profundidad. En el caso de Extremadura, con objeto de establecer comparaciones entre zonas rurales y entre periodos temporales, se ha tomado como referencia climática una reserva máxima de 100 mm, por tratarse de un valor usualmente empleado en trabajos de la Península Ibérica (Almorox, 2003). Para estimar el valor de la reserva máxima con mayor precisión, sería necesario conocer la potencia, tipología y características de los suelos con gran precisión, por lo que se emplea un valor promedio, aun asumiendo cierto error.

De este modo para realizar el cálculo del balance hídrico anual, la reserva de agua en el suelo de un determinado mes se calcula agregando los incrementos del balance entre precipitación y evapotranspiración ( $P-ETP$ ) cuando estos son positivos según la ecuación 3.

[Ecuación 3]

$$R_i = \left\{ \begin{array}{ll} R_{i-1} + (P_i - ETP_i) & \text{si } 0 < R_{i-1} + (P_i - ETP_i) < R_{\text{máx}} \\ R_{\text{máx}} & \text{si } R_{i-1} + (P_i - ETP_i) > R_{\text{máx}} \\ 0 & \text{si } 0 > R_{i-1} + (P_i - ETP_i) \end{array} \right\}$$

donde,

$R_i$  es la reserva de agua en el mes “i”, expresada en mm

$R_{i-1}$  es la reserva de agua en el mes anterior a “i”, expresada en mm

$P_i$  es la precipitación en el mes “i”, expresada en mm

$R_{\text{máx}}$  es la reserva máxima de agua en el suelo, expresada en mm y equivalente a 100 mm

Así, los valores de la reserva de agua en el suelo se van acumulando mes a mes durante el período húmedo, según los incrementos  $P-ETP > 0$ , y disminuyen al llegar el período seco, decreciendo mes a mes según los valores mensuales  $P-ETP < 0$ . En los meses más secos, la precipitación es inferior a la evapotranspiración potencial y en los húmedos las entradas superan a las salidas potenciales, es decir  $P > ETP$ , y por tanto, la reserva de agua en el suelo real nunca supera el valor de la reserva máxima, ni puede tomar un valor negativo.

A efectos de cálculo, se ha supuesto que después del período seco la reserva de agua del suelo ( $R$ ) es nula, en consecuencia se empieza el cálculo de  $R$  con el primer mes húmedo que se corresponde con octubre, y se asigna al mes anterior (septiembre) una reserva nula.

- Variación de la reserva ( $VR_i$ )

Partiendo de los valores de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración mensual estimada, se puede estudiar el balance del agua en el suelo a lo largo del año, ya que el conocimiento del balance hídrico es necesario para definir la falta o excesos de agua, y es de aplicación para la planificación hidráulica. De acuerdo con el método de estimación directa del balance hídrico, el agua del suelo se va perdiendo mes a mes hasta agotar las reservas para poder cubrir las necesidades de agua (evapotranspiración).

La variación de la reserva es, por tanto, la diferencia entre la reserva del mes en el que se realiza el cálculo y la reserva del mes anterior (Ecuación 4).

$$VR_i = R_i - R_{i-1} \quad \text{[Ecuación 4]}$$

donde,

$VR_i$  es la variación de la reserva de agua en el suelo entre los meses “ $i$ ” y “ $i-1$ ”, expresada en mm.

$R_i$  es la reserva de agua en el suelo del mes “ $i$ ”, expresada en mm.

$R_{i-1}$  es la reserva de agua en el suelo del mes anterior a “ $i$ ”, expresada en mm.

- Evapotranspiración real ( $ETR$ )

Aunque la capacidad potencial de evapotranspiración depende del clima, sólo se puede alcanzar el valor de evapotranspiración potencial en el caso de que haya suficiente agua disponible. La evapotranspiración real es el volumen de agua que realmente se evapora y se transpira en el mes correspondiente, dependiendo de que haya suficiente agua disponible para evaporar y así llegar a la ETP o no. Por tanto, la evapotranspiración potencial en un mes determinado ( $ETP_i$ ) es siempre mayor o igual a la evapotranspiración real del mismo mes considerado ( $ETR_i$ ). Asimismo, el agua disponible

para evaporar es la que cae como precipitación en el mes considerado y la existente en la reserva del suelo.

En el período húmedo, al cubrir la precipitación la demanda potencial, la evapotranspiración real será igual a la potencial. Por el contrario, en el período seco, el agua que se evapora es el agua de precipitación más la que se extrae del suelo, o la reserva que queda menos la que había en el mes anterior que, como tiene signo negativo, se toma el valor absoluto.

Así, el cálculo de la ETR mensual en el periodo seco se realiza considerando la variación respecto del mes anterior de la reserva de agua en el suelo (Ecuación 5),

$$\mathbf{ETR}_i = ETP_i, \text{ periodo húmedo} \quad [\text{Ecuación 5}]$$

$$\mathbf{ETR}_i = P_i + |VR_i|, \text{ periodo seco}$$

donde,

$ETP_i$  es la evapotranspiración potencial del mes “i”, expresada en mm/mes

$ETR_i$  es la evapotranspiración real del mes “i”, expresada en mm/mes

$P_i$  es la precipitación del mes “i”, expresada en mm/mes

$|VR_i|$  es el valor absoluto de la variación de la reserva de agua en el suelo en el mes “i”, expresada en mm/mes

- Falta de agua (F)

La falta de agua es el volumen que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua, tanto para evaporar como para transpirar, o expresado de otro modo, la diferencia entre evapotranspiración potencial y real (Ecuación 6).

$$\mathbf{F}_i = ETP_i - ETR_i \quad [\text{Ecuación 6}]$$

donde,

$ETP_i$  es la evapotranspiración potencial del mes “i”, expresada en mm/mes

$ETR_i$  es la evapotranspiración real del mes “i”, expresada en mm/mes

$F_i$  es la falta de agua, expresada en mm/mes

- Exceso de agua (Ex)

El término exceso de agua se corresponde con aquella cantidad de la misma que excede de la reserva máxima y sufre escorrentía superficial o infiltración profunda (Ecuación 7).

$$\mathbf{Ex}_i = [P_i - ETP_i - VR_i] \quad \text{si } (P_i - ETP_i) > 0 \quad [\text{Ecuación 7}]$$

$$\mathbf{Ex}_i = \mathbf{0} \quad \text{si } (P_i - ETP_i) < 0$$

donde,

$Ex_i$  es el exceso de agua que excede de la reserva máxima en el mes “i”, expresado en mm/mes

$ETP_i$  es la evapotranspiración potencial del mes “i”, expresada en mm/mes

$P_i$  es la precipitación del mes “i”, expresada en mm/mes

$VR_i$  es la variación de la reserva de agua en el suelo en el mes “i”, expresada en mm/mes

Como es lógico, sólo puede haber exceso si la precipitación ha compensado previamente la ETP, es decir, este hecho puede ocurrir en los meses húmedos, y el exceso de agua se dirige hacia los niveles de aguas freáticas y los ríos.

### **7.2.3. Estimación del balance hídrico en Extremadura en el marco del cambio climático. Aplicación del método de estimación del balance hídrico directo.**

Una vez explicada la metodología a utilizar, se describen los principales resultados de la aplicación del método, obtenidos para el caso de Extremadura. De este modo, en primer lugar se comenta el balance de precipitación y evapotranspiración potencial (balance hídrico), seguido del análisis de la reserva de agua en el suelo, el comportamiento de la evapotranspiración real y la dinámica de infiltración y escorrentía (exceso de agua). Los resultados detallados para todas las estaciones termoplumiométricas, escenarios, periodos y variables se han recogido en el Anejo III de este Plan de Adaptación.

- Evolución mensual del balance precipitación – evapotranspiración potencial

El presente análisis de disponibilidad de los recursos hídricos se basa en la evaluación conjunta de los cambios proyectados en los patrones espaciotemporales de precipitación y evapotranspiración en los periodos considerados para el objeto de estudio del Plan, en las distintas demarcaciones hidrográficas presentes en el territorio.

Acorde al clima mediterráneo, en Extremadura, durante el periodo de referencia considerado, el balance de precipitación menos evapotranspiración es positivo en los meses de otoño, invierno e inicio de la primavera, mientras que el resultado es negativo entre los meses de abril y septiembre, fecha en la que se produce la característica sequía estival (Tabla 15).

De manera general, puede observarse un incremento del periodo de la sequía estival, que se extiende hacia el mes de septiembre y octubre conforme avanza el siglo, bajo ambos escenarios de emisiones. El periodo primaveral será más estresante desde el punto de vista hídrico, pues el balance será negativo en más lugares en 2011-2040 respecto de 1961-1990. En los meses de febrero y abril, el porcentaje de estaciones termoplumiométricas en los que el balance es positivo se reducirá

notablemente, especialmente bajo el escenario B2 y se incrementará en el mes de marzo. Por otra parte, en 2041-2070, ambos escenarios presentan datos relativamente similares a los del periodo de referencia durante la primavera, por lo que, la disponibilidad hídrica será mayor que en 2011-2040.

**Tabla 15. Reparto porcentual mensual de las 139 estaciones termopluviométricas de acuerdo con el valor de su balance entre precipitación y evapotranspiración potencial mensual (%) (Brunet *et al.*, 2009).**

	Balance P-ETP									
	1961-1990		2011-2040 (A2)		211-2040 (B2)		2041-2070 (A2)		2041-2070 (B2)	
	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
<b>Enero</b>	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0
<b>Febrero</b>	67,6	32,4	41,0	59,0	34,5	65,5	57,6	42,4	79,9	20,1
<b>Marzo</b>	20,9	79,1	43,2	56,8	30,2	69,8	11,5	88,5	23,7	76,3
<b>Abril</b>	5,0	95,0	3,6	96,4	2,9	97,1	1,4	98,6	4,3	95,7
<b>Mayo</b>	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
<b>Junio</b>	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
<b>Julio</b>	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
<b>Agosto</b>	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
<b>Septiembre</b>	8,6	91,4	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
<b>Octubre</b>	85,6	14,4	7,9	92,1	4,3	95,7	0,7	99,3	2,2	97,8
<b>Noviembre</b>	100,0	0,0	79,9	20,1	82,0	18,0	84,9	15,1	82,0	18,0
<b>Diciembre</b>	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	97,1	2,9	100,0	0,0

Analizando la evolución de este balance en el marco del cambio climático a lo largo de los meses y para el conjunto del año, se podrán intuir modificaciones significativas en la disponibilidad de agua en el sistema con independencia del lugar en el que el agua se acumule. En este punto no se analizan cambios en la circulación del agua en los distintos reservorios, sino en el volumen total circulante, y por lo tanto en el potencial disponible.

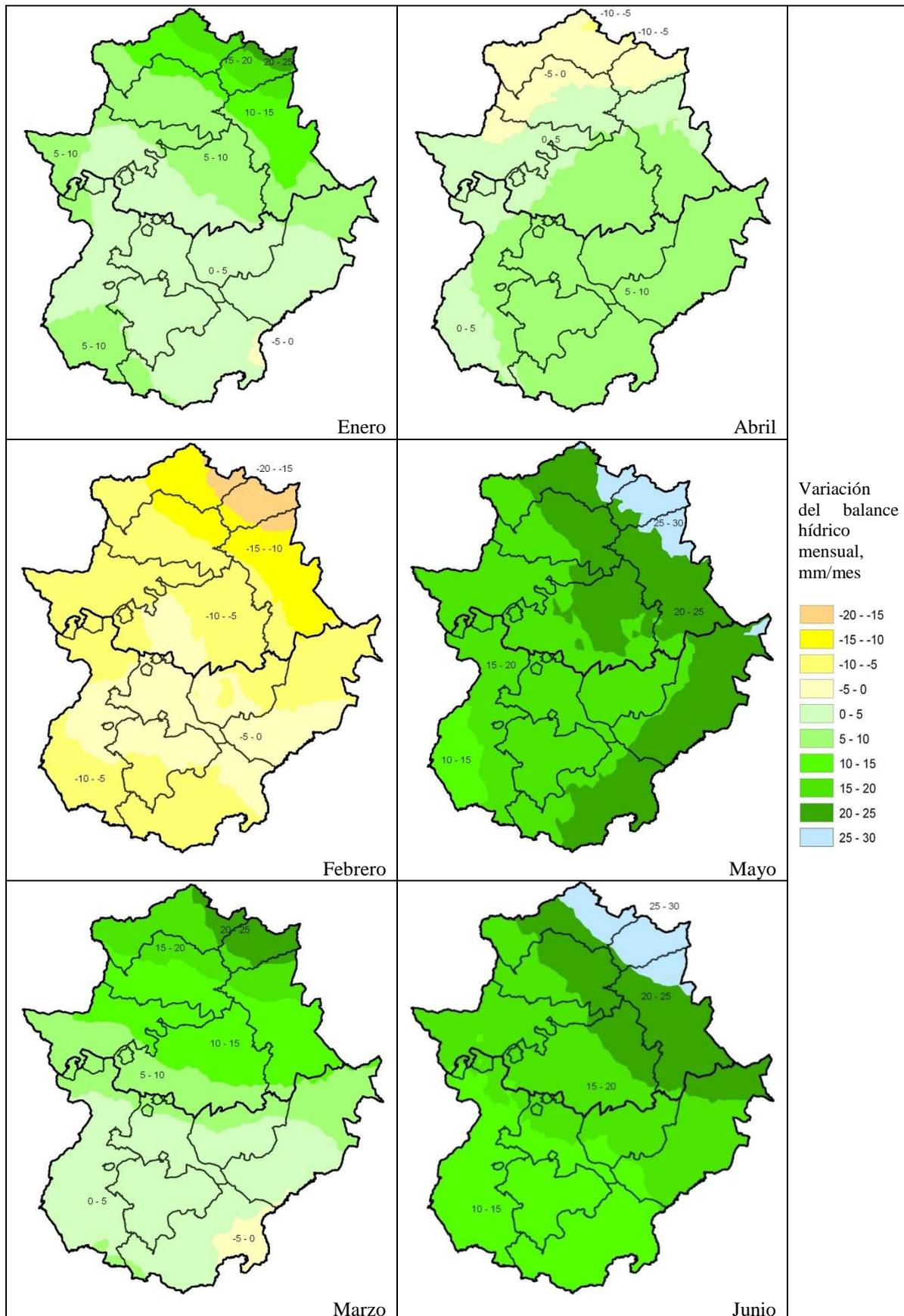
Así, la distribución espacial de la variación del balance entre precipitación y evapotranspiración potencial para los doce meses del año entre el periodo 2011-2040 bajo ambos escenarios y el periodo 1961-1990 (Mapas 17 y 18) muestra una evolución espacial diferencial del balance por zonas rurales. Asimismo, valores positivos en los mapas implican mayor disponibilidad hídrica en el escenario futuro que en el periodo de referencia para el mes considerado, y por el contrario, valores negativos en el mapa indican un balance entre precipitación y evapotranspiración que será más negativo en el futuro que en 1961-1990 y, por tanto, habrá una menor disponibilidad de agua que en la actualidad.

En términos generales, y bajo ambos escenarios, existe una diferencia clara entre el primer semestre del año y el siguiente semestre. Así, entre los meses de enero a junio, a excepción del mes de febrero, la variación del balance entre precipitación y evapotranspiración potencial es positiva, lo que significa

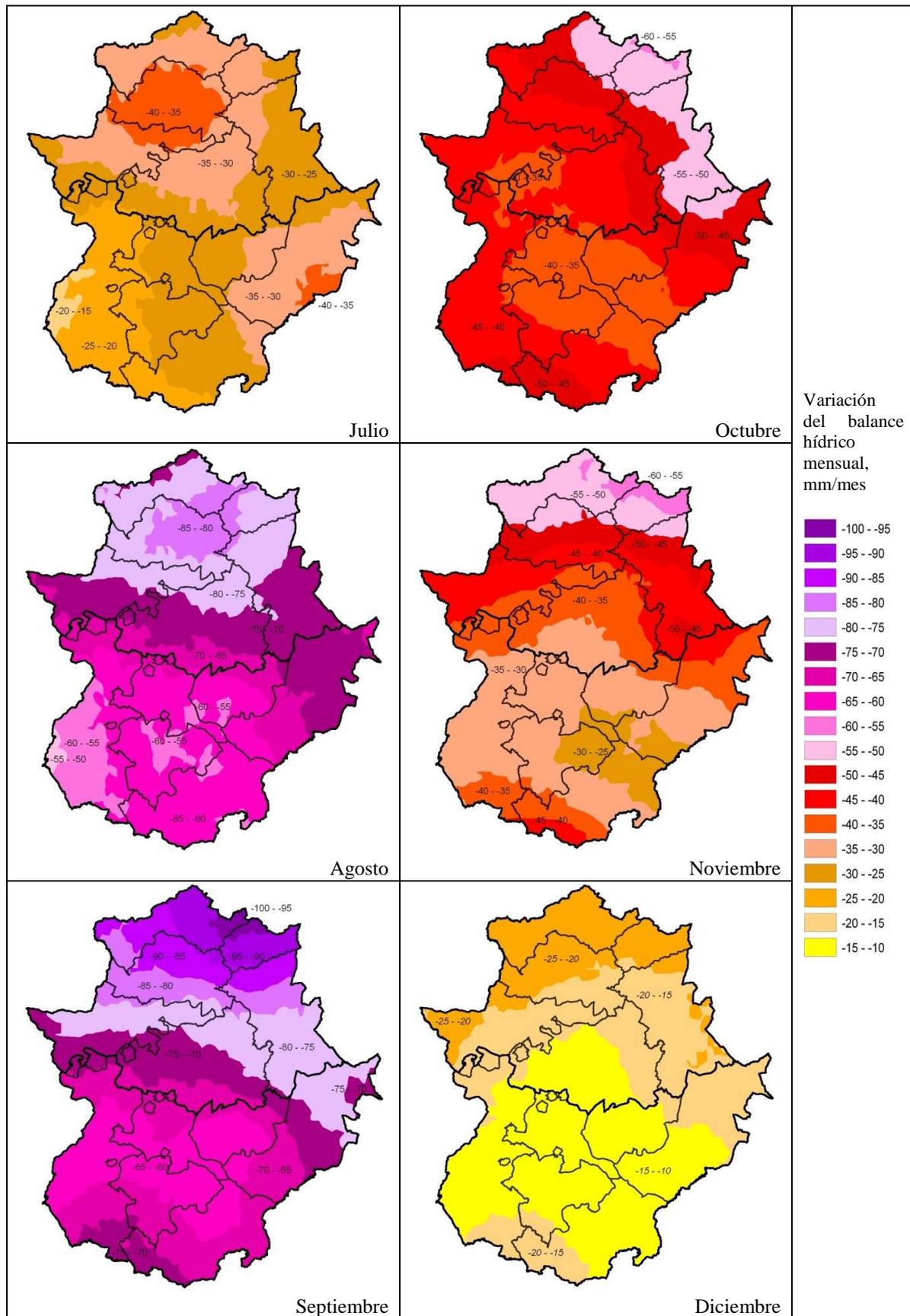
que en el primer semestre del periodo 2011-2040 habrá, en promedio, más agua en el suelo que en la actualidad, y podrá ser empleada tanto por los ecosistemas como para actividades económicas futuras.

También podemos establecer que, bajo ambos escenarios, hay un gradiente positivo desde el sur hacia el norte del territorio extremeño. De forma general, en la D.H. del Guadalquivir los valores del balance son más bajos que en la D.H. del Guadiana, mientras que los máximos se registran en la D.H. Tajo en el ámbito de las zonas rurales I y III. Bajo el escenario de emisiones A2, la variación del balance en el primer semestre es positivo presentando valores de entre 5 y 10 mm en el valle del Guadiana y cercanos a los 30 mm en las zonas montañosas del Jerte, Las Hurdes y Sierra de Gata. En el caso del escenario B2, hay mayor variabilidad siendo los valores máximos de hasta 60 mm en enero y los mínimos, algo negativos, en los meses de marzo y abril. Estos resultados se deben fundamentalmente al incremento de la precipitación mensual en los primeros meses del año, y en el caso del mes de febrero, se reduce la lluvia caída en este mes en todo el territorio (Anejo II), lo que induce a una reducción del balance P-ETP para 2011-2040 respecto del periodo de referencia.

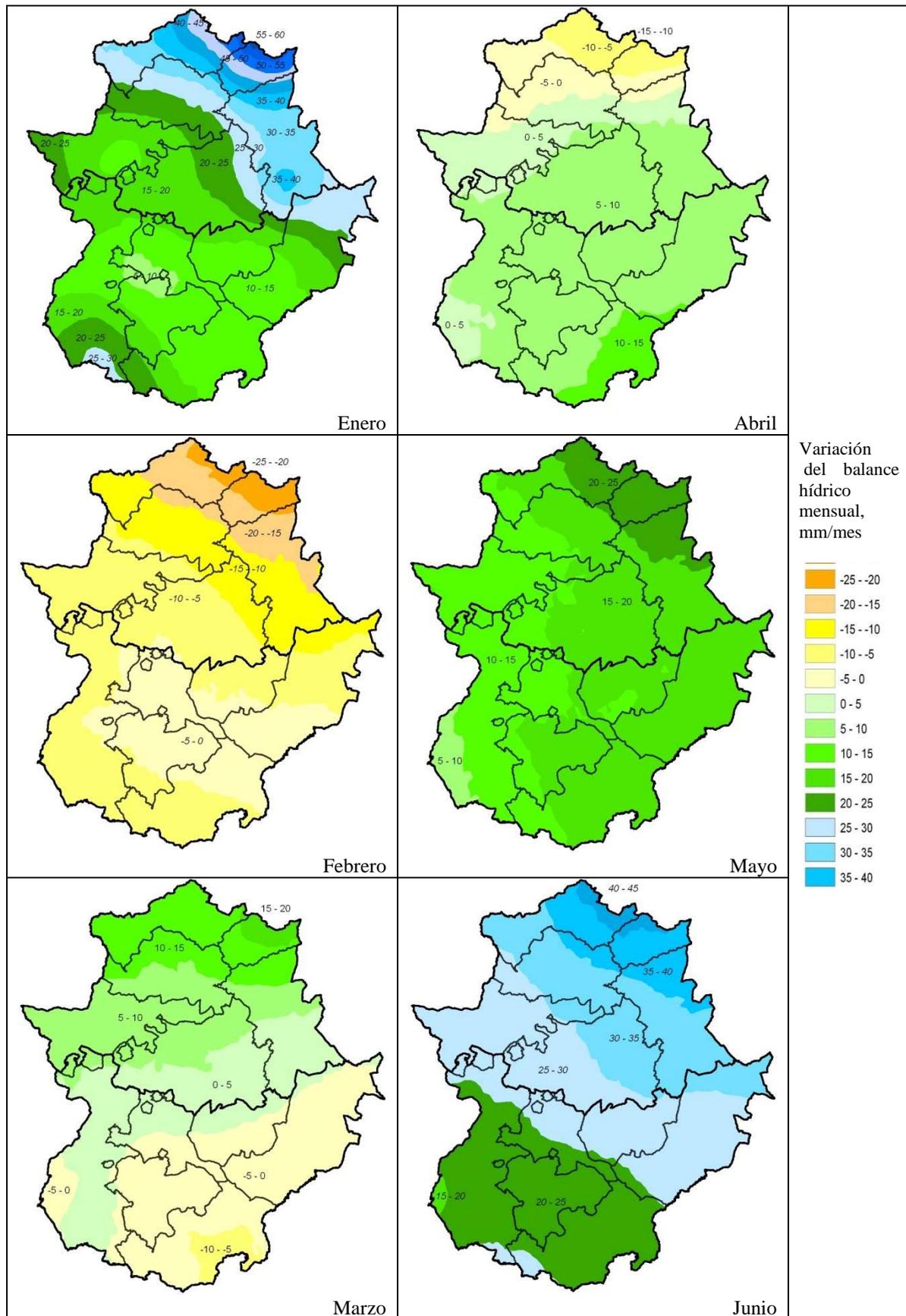
Por otra parte, en el segundo semestre del año, la variación temporal del balance hídrico es hacia valores negativos en todo el territorio de Extremadura, y a diferencia de lo que ocurre en el primer semestre, para 2011-2040, los meses entre julio y diciembre, y especialmente entre agosto y octubre, se prevé una reducción drástica de los valores, que indica una pérdida muy importante y generalizada en todo el territorio de la disponibilidad hídrica. Este incremento del déficit del balance hídrico es mayor en la D.H. del Tajo que en la D.H. Guadiana, ya que se alcanzan reducciones de hasta 100 mm bajo el escenario A2 y, de hasta 115 mm bajo B2; si bien, todos los territorios se ven afectados por la misma tendencia.



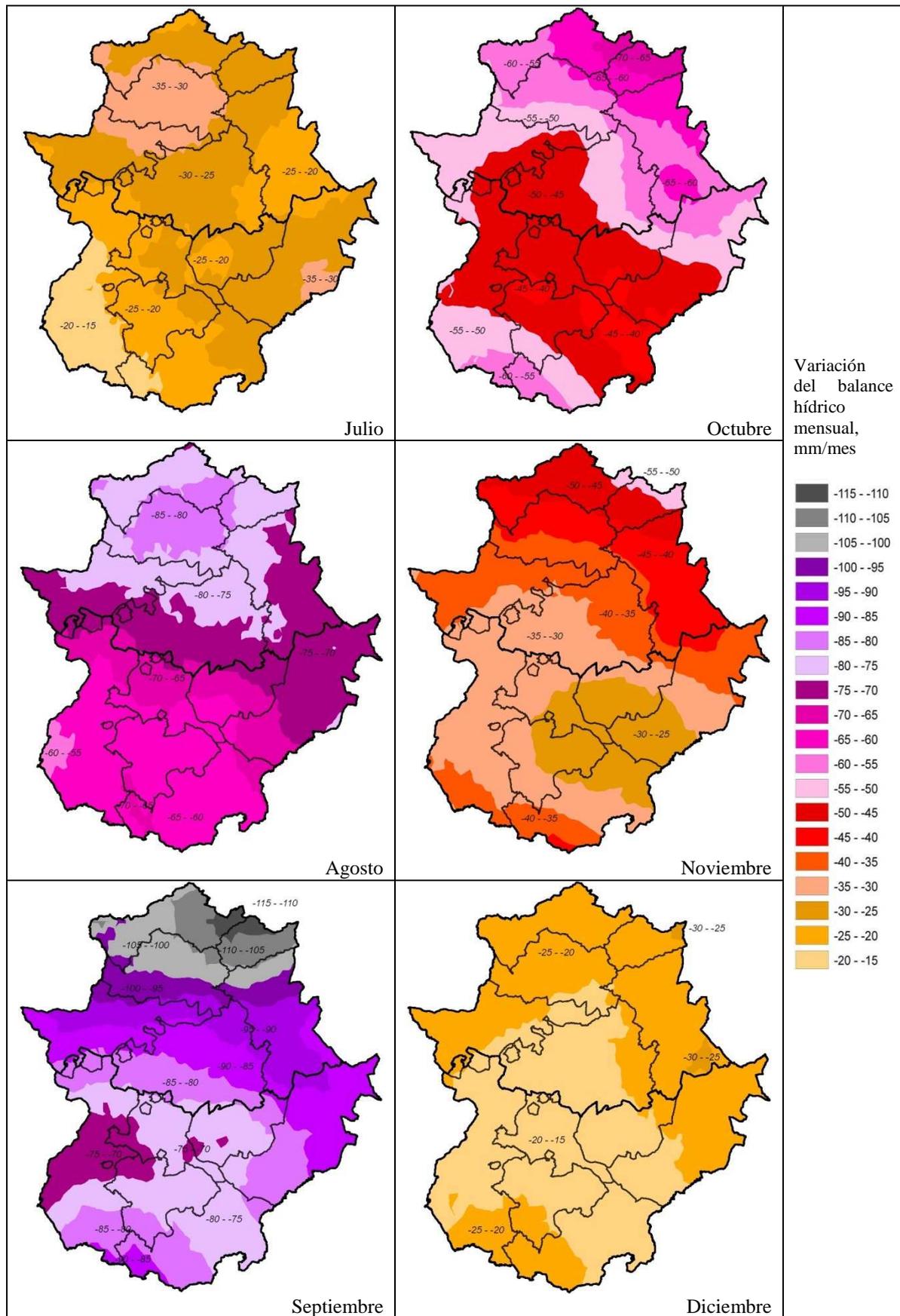
Mapa 17a. Variación del valor del balance hídrico mensual promedio del periodo 2011-2040 (A2) respecto del promedio del periodo 1961-1990, expresado en mm/mes. Primer semestre del año.



Mapa 17b. Variación del valor del balance hídrico mensual promedio del periodo 2011-2040 (A2) respecto del promedio del periodo 1961-1990, expresado en mm/mes. Segundo semestre del año.



Mapa 18a. Variación del valor del balance hídrico mensual promedio del periodo 2011-2040 (B2) respecto del promedio del periodo 1961-1990 expresado en mm/mes. Primer semestre del año.



Mapa 18b. Variación del valor del balance hídrico mensual promedio del periodo 2011-2040 (B2) respecto del promedio del periodo 1961-1990 expresado en mm/mes. Segundo semestre del año.

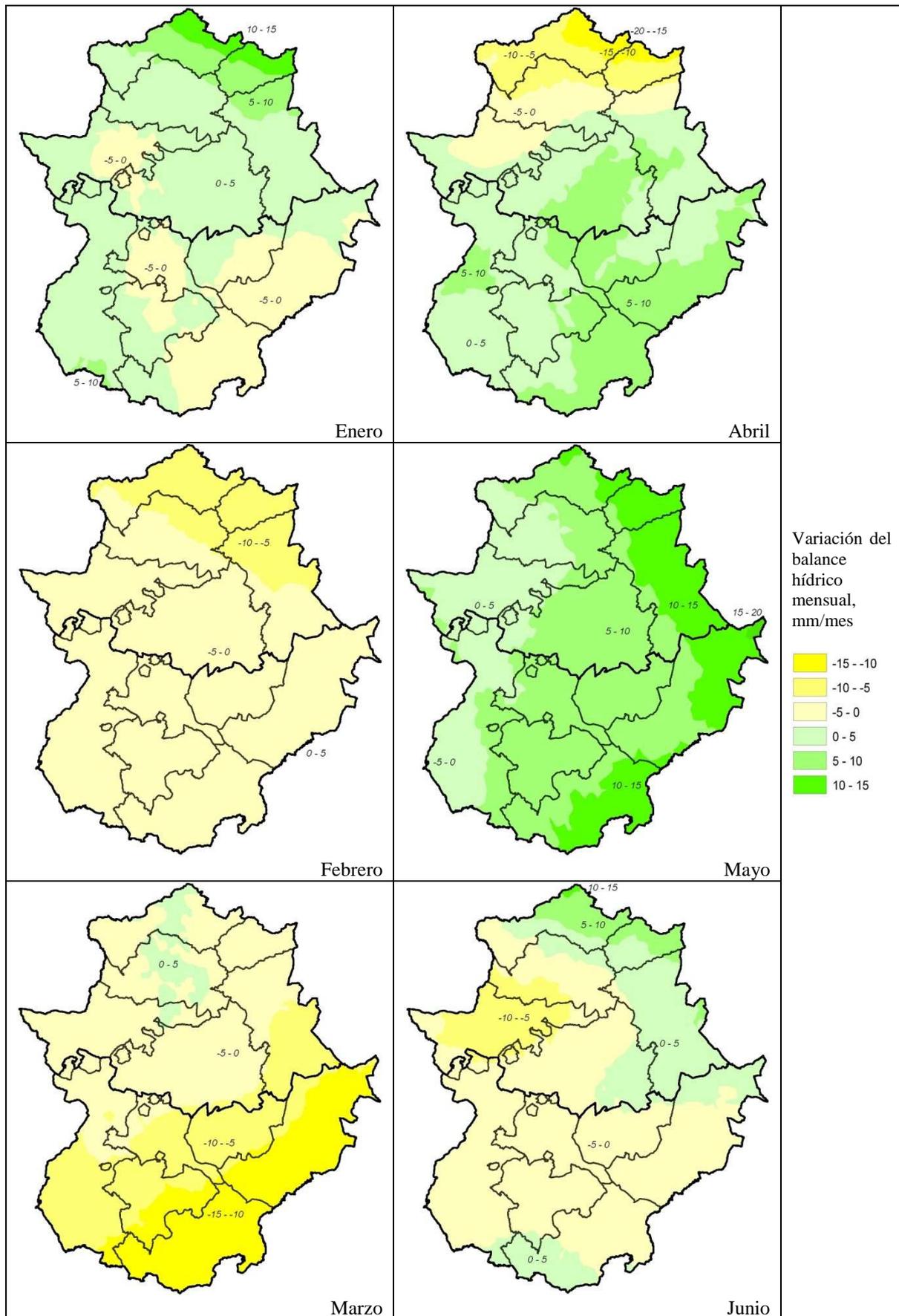
Por tanto, la distribución espacial de la variación del balance entre precipitación y evapotranspiración potencial para los doce meses del año entre el periodo 2041-2070, bajo los escenarios A2 y B2, y el periodo 1961-1990 (Mapas 19 y 20) muestra un patrón espaciotemporal equivalente al del periodo anterior.

Así, en la primera parte del año, los datos del balance son ligeramente positivos o negativos en todo el territorio de Extremadura, siendo algo superiores en la D.H. Tajo, y el ligero incremento de las precipitaciones compensa el calentamiento registrado en Extremadura en este periodo. Comparativamente con el 2011-2040, los datos son algo inferiores, poniendo de manifiesto que el incremento de las temperaturas determina un mayor poder desecante de la atmósfera. Sin embargo, en el segundo semestre, los valores cartografiados son extremadamente negativos sobre todo en los meses de agosto y septiembre.

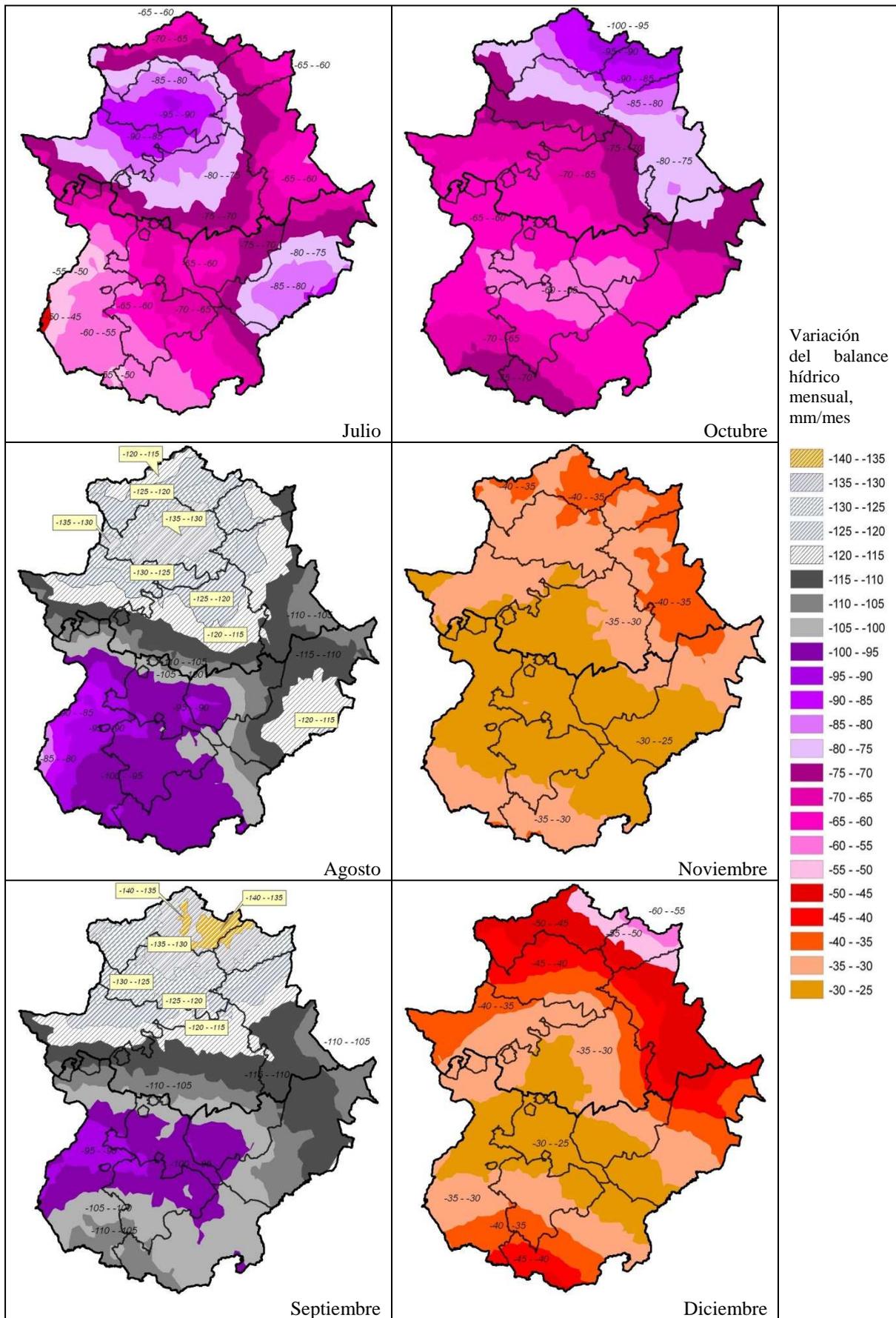
Por otro lado, bajo el escenario A2, se alcanzan valores de hasta -140 mm en el mes de septiembre en la D.H. Tajo (ZR I), mientras que bajo el escenario B2, la reducción más importante alcanza los -130 mm. Comparativamente, la pérdida en el balance hídrico es menor en la D.H. Guadiana y en la D.H. Guadalquivir, y a partir del mes de octubre, las diferencias entre escenarios son pocas.



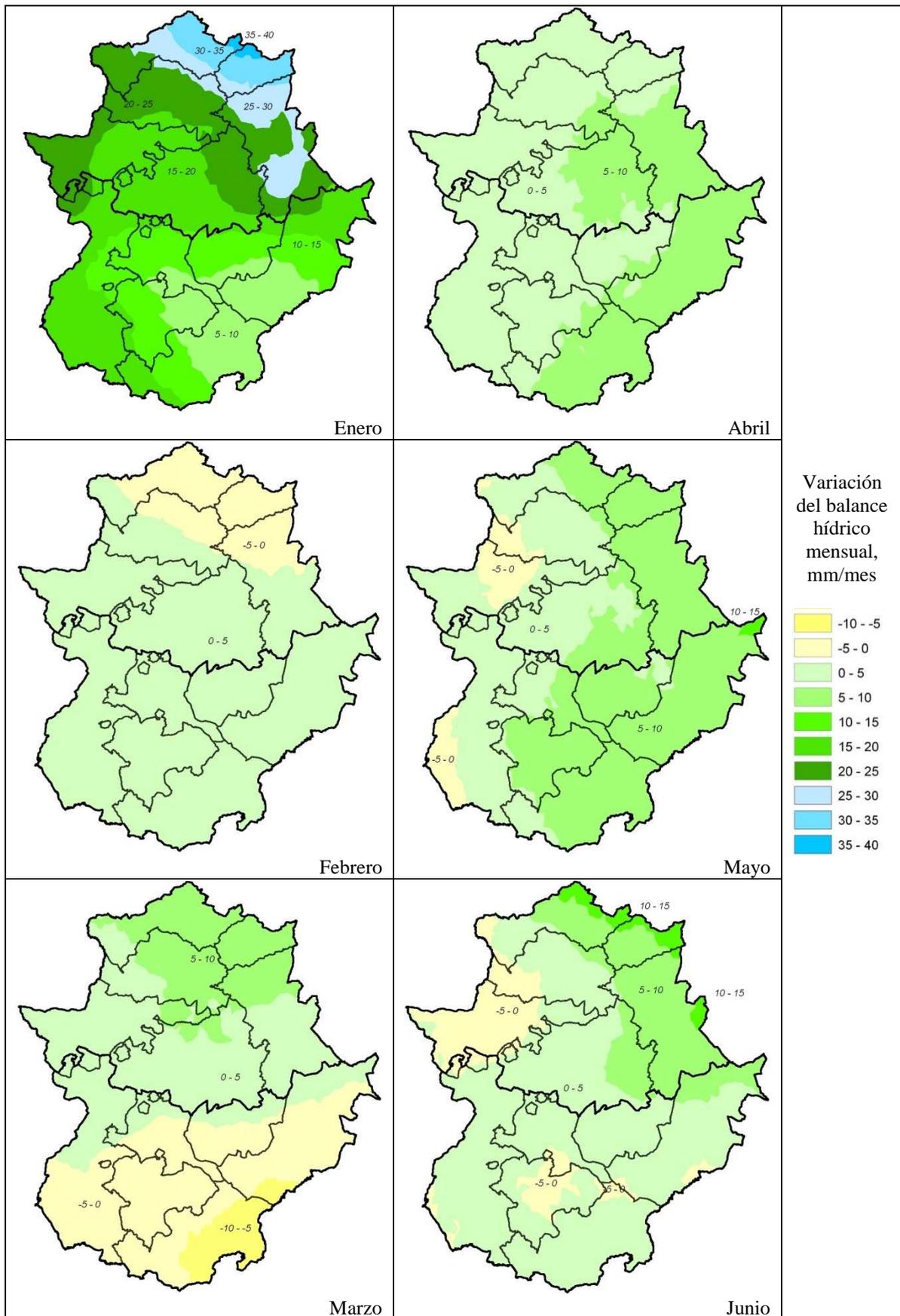
Fotografía 6. Salto del Corzo. Rio Tajo.



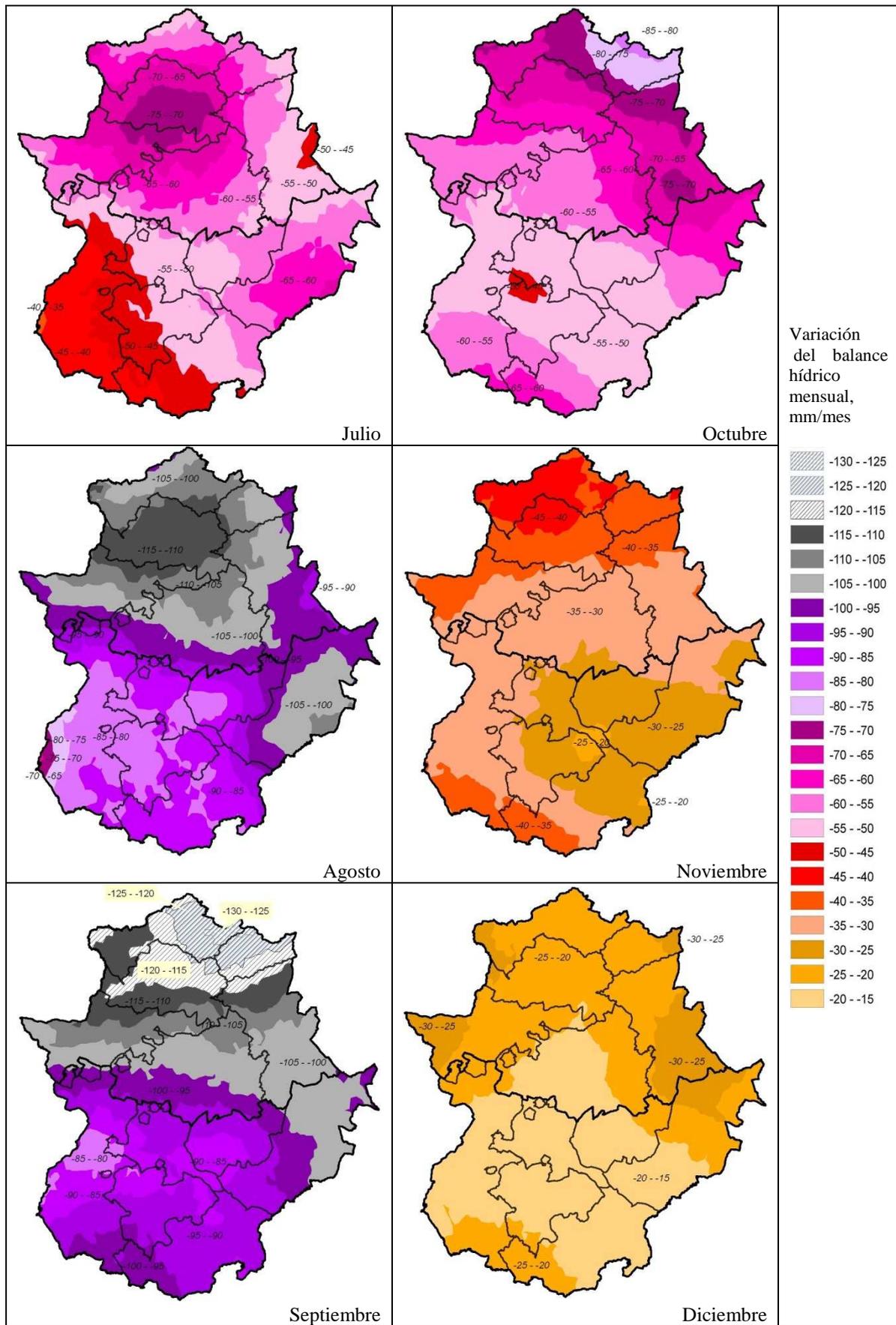
Mapa 19a. Variación del valor del balance hídrico mensual promedio del periodo 2041-2070 (A2) respecto del promedio del periodo 1961-1990 expresado en mm/mes. Primer semestre del año.



Mapa 19b. Variación del valor del balance hídrico mensual promedio del periodo 2041-2070 (A2) respecto del promedio del periodo 1961-1990 expresado en mm/mes. Segundo semestre del año.



Mapa 20a. Variación del valor del balance hídrico mensual promedio del periodo 2041-2070 (B2) respecto del promedio del periodo 1961-1990 expresado en mm/mes. Primer semestre del año.

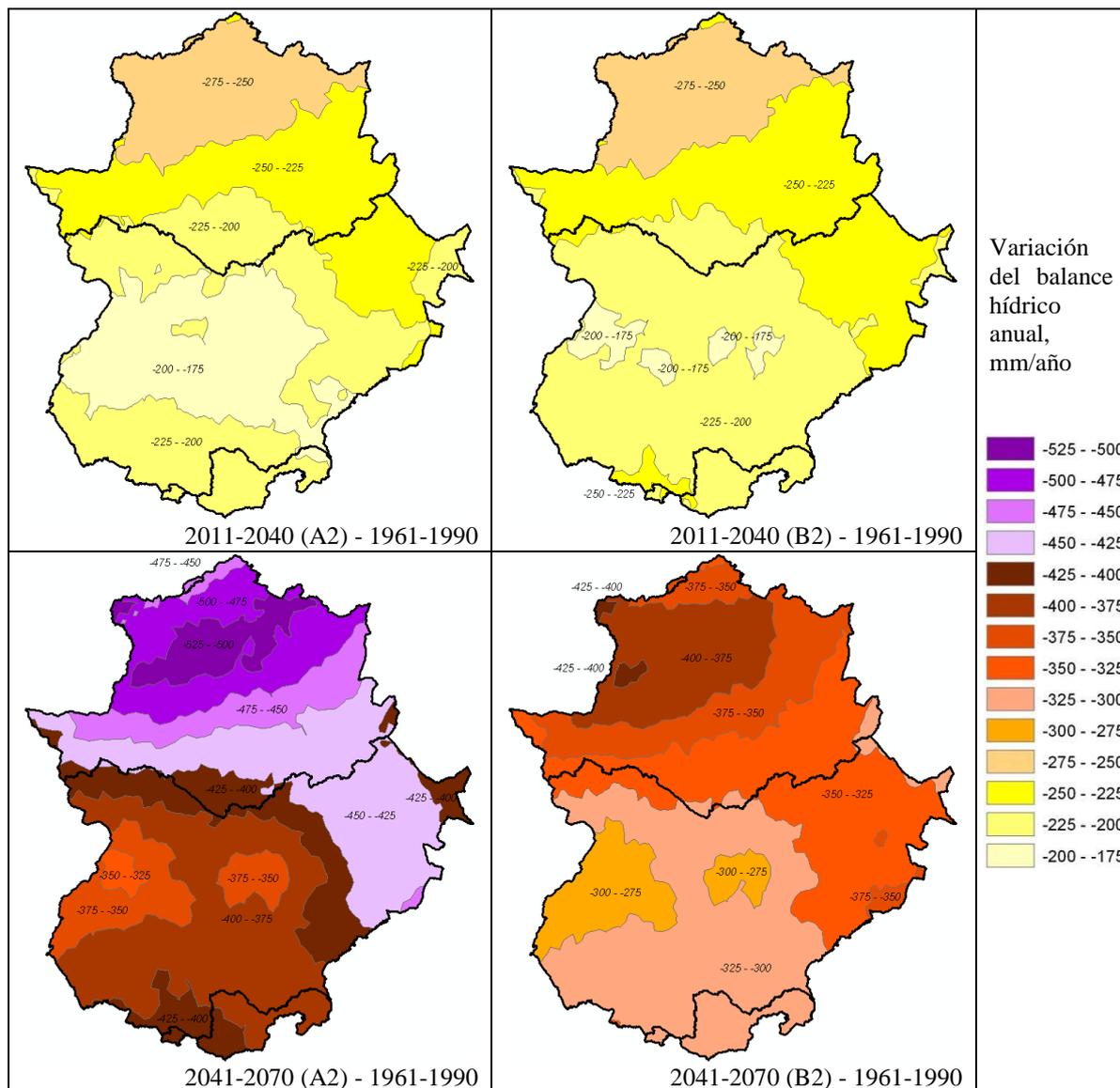


Mapa 20b. Variación del valor del balance hídrico mensual promedio del periodo 2041-2070 (B2) respecto del promedio del periodo 1961-1990 expresado en mm/mes. Segundo semestre del año.

El resultado de la diferencia entre precipitación y evapotranspiración para el conjunto del año, informa de manera global sobre el cambio en la disponibilidad hídrica regional (Mapa 21). De este modo se observa que en la D.H. del Tajo es donde más se reduce la disponibilidad hídrica por el efecto combinado de la reducción de las aportaciones y el aumento de la evapotranspiración potencial (en promedio, se espera un descenso de 250 mm en el balance P-ETP). Por otro lado, en la D.H. Guadiana y en la D.H. del Guadalquivir los resultados son más moderados, ya que la reducción respecto de los valores que se tienen del periodo 1961-1990, es de menos de 200 mm anuales.

El periodo 2041-2070 es claramente menos favorable que el 2011-2040, reduciéndose en hasta 150 mm al año el volumen de agua que potencialmente puede circular por el sistema en el caso de las D.H. del Guadiana y Guadalquivir, y hasta 200 mm anuales menos en las zonas interiores de la D.H. Tajo respecto del valor del valor mostrado del balance P-ETP en el periodo de referencia. Estas reducciones son un síntoma de que en el marco del cambio climático va a disminuir considerablemente la disponibilidad hídrica. El incremento del déficit hídrico se produce fundamentalmente en los meses de verano y principios de otoño por la combinación del aumento de las temperaturas y la reducción de las precipitaciones. Y esta pérdida de agua circulante afectará a las reservas de agua en el suelo, al agua contenida en la vegetación y a los flujos subterráneos y superficiales.

Asimismo, en el futuro, bajo las condiciones de cambio climático, la disponibilidad hídrica se verá especialmente rebajada respecto del periodo actual en las zonas rurales comprendidas en la D.H. Tajo. En estas regiones, los usos del agua son fundamentalmente los agropecuarios siendo la superficie agrícola de extensión similar a la de los terrenos forestales (Mapa 15), por tanto, los ecosistemas naturales dispondrán de menor cantidad de agua para funcionar y el sector agropecuario verá reducida su disponibilidad hídrica de modo drástico. Además, la existencia de infraestructuras de almacenamiento de agua en estas regiones será fundamental para facilitar la gestión del recurso y reducir los impactos sobre dichos sectores de actividad.



Mapa 21. Variación del valor del balance hídrico anual promedio (P-ETP) de los periodos 2011-2040 y 2041-2070 (A2 y B2) respecto del promedio del periodo 1961-1990, expresado en mm/año.

### Reserva de agua en el suelo

Referente a la reserva de agua en el suelo, y a diferencia de los resultados del balance precipitación-evapotranspiración potencial (Tabla 15), los datos obtenidos muestran un comportamiento espacial relativamente homogéneo, siendo consistentes en todas las zonas rurales. De manera general, bajo el escenario A2, se puede observar una reducción progresiva de la reserva de agua respecto de 1961-1990, tanto en el periodo 2011-2040 como en 2041-2070. Por el contrario, bajo B2, en el periodo 2011-2040 la reserva es menor que en 1961-1990, sin embargo, este escenario muestra que el periodo 2041-2070 presenta mayores valores de reserva de agua que el precedente (salvo en las ZR I, III y IV, donde el descenso es constante a lo largo del tiempo).

Respecto de los valores promedio del periodo 1961-1990, en 2011-2040, el decremento es del mismo orden de magnitud bajo los dos escenarios de emisiones, aunque resulta algo más intenso bajo A2 que

en el escenario de emisiones B2. Así, en 2041-2070 bajo A2, el descenso generalizado de la reserva de agua es más intenso que el sufrido en 2011-2040 respecto del periodo de referencia. Por otra parte, bajo B2 y para el mismo periodo, la reserva varía ligeramente respecto del periodo anterior a la baja en las zonas rurales del norte de Cáceres y al alza en el resto del territorio.

La evolución mensual de la reserva muestra, para el periodo de referencia, valores mínimos durante el verano y un progresivo incremento conforme van pasando los meses de otoño hasta que la reserva se hace máxima en invierno y, a partir de marzo-abril, va decreciendo progresivamente a lo largo de la primavera hasta finales de verano. En las zonas con mayor precipitación y menores temperaturas, es decir, en la mitad norte de la provincia de Cáceres (ZR I, II, III y V), la reserva hídrica en el suelo alcanza el valor máximo teórico de 100 mm durante varios meses consecutivos (diciembre a marzo), y el tiempo en el que permanece vacía o en niveles bajos, durante el verano, tiene una duración de tres meses (julio a septiembre). Por el contrario, en las zonas rurales de la provincia de Badajoz (ZR VII a XII), la reserva no se completa en ningún mes y permanece vacía o casi, el doble de tiempo (de mayo a octubre), y por otro lado, las zonas rurales IV y VI tienen un comportamiento intermedio. De este modo, los efectos del cambio climático sobre la reserva de agua pueden resumirse en una menor recarga y más tardía (a partir de noviembre-diciembre) que determina una descarga más rápida y genera un periodo de escasez de recurso hídrico en el suelo más largo.

Hemos de saber que la reserva de agua en el suelo es empleada para hacer frente a la evapotranspiración en los meses más secos, así cuanto mayor es la reserva, más cercanos pueden ser los valores de evapotranspiración potencial y real. Por otro lado, cuando hay agua suficiente como para cubrir la reserva de agua en el suelo, el excedente puede fluir en forma de cauces superficiales o infiltrarse hacia el subsuelo. De este modo, conforme a los resultados obtenidos, la pérdida de volumen de agua en el suelo determinará un menor excedente y una menor circulación de agua, afectando a la disponibilidad del recurso para consumo humano y para garantizar el funcionamiento de los ecosistemas. Por otra parte, la pérdida efectiva de volumen de reserva de agua en el suelo en determinadas zonas rurales, determinará menores posibilidades para hacer frente a situaciones de escasez de agua prolongadas, lo que incrementará la vulnerabilidad del territorio (Figura 16).

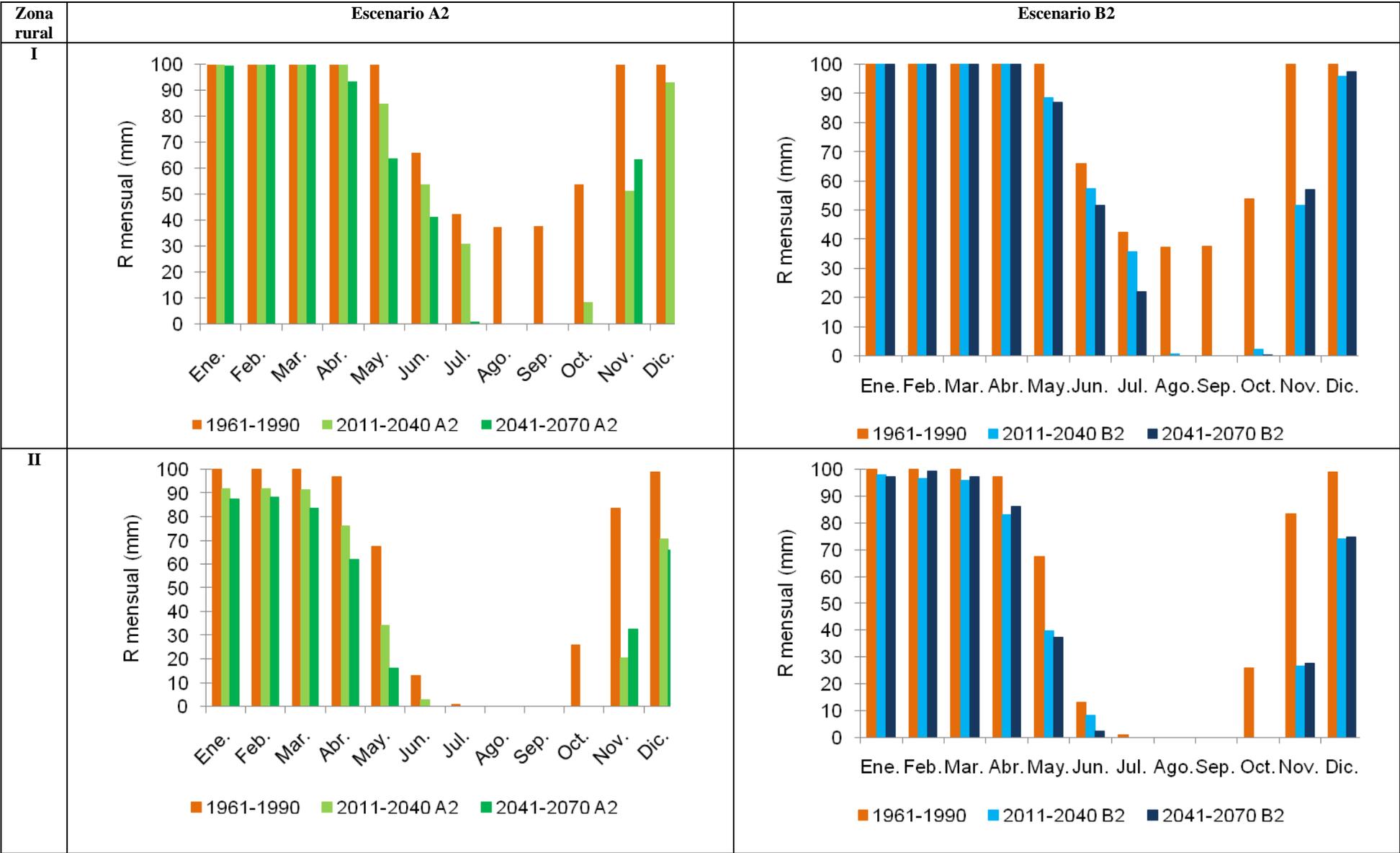


Figura 16. Evolución mensual de reserva de agua en el suelo (mm/mes) por zona rural y escenario. (Reserva máxima = 100 mm, de acuerdo con la hipótesis de trabajo).

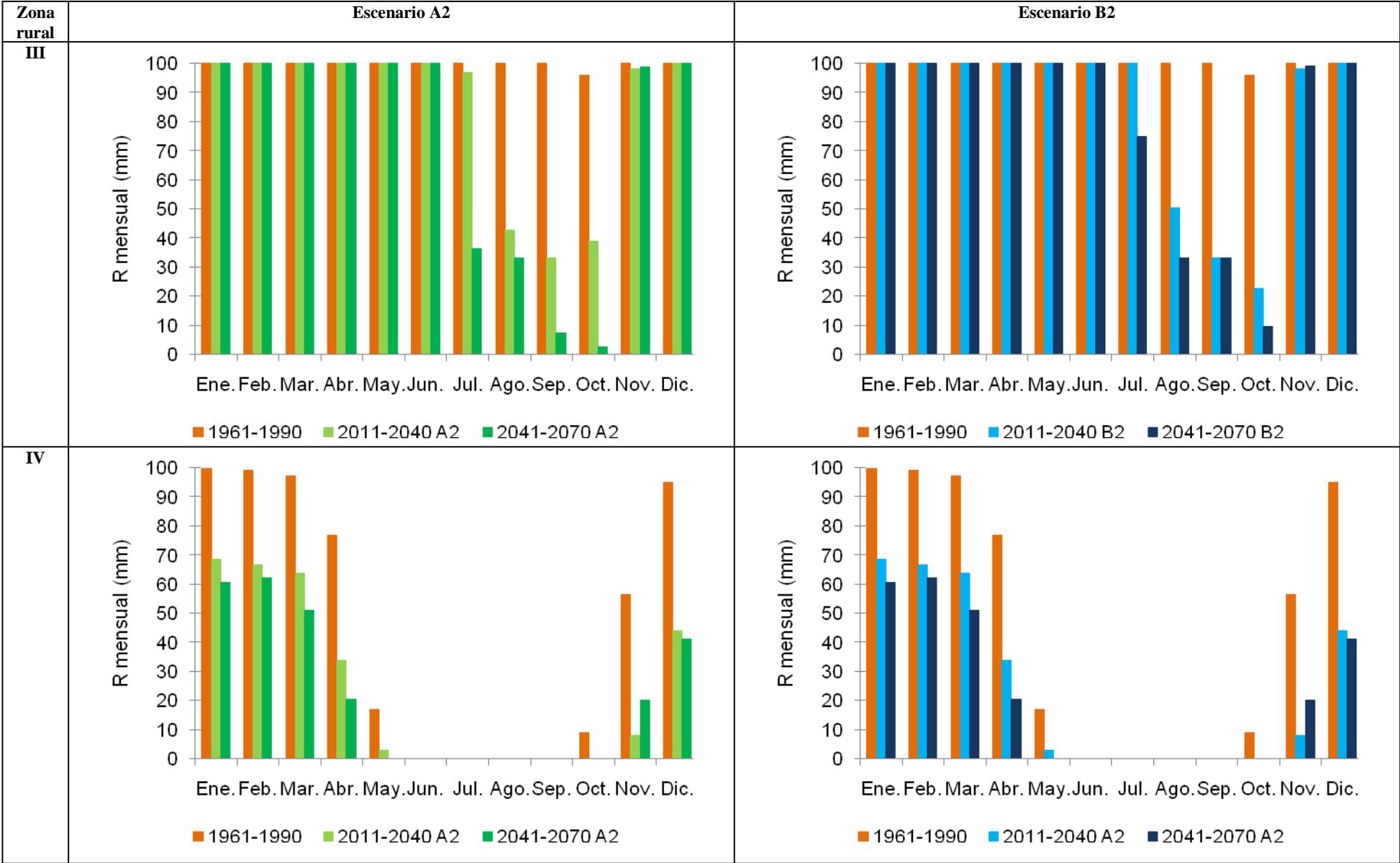


Figura 16. Evolución mensual de reserva de agua en el suelo (mm/mes) por zona rural y escenario. (Reserva máxima = 100 mm, de acuerdo con la hipótesis de trabajo).

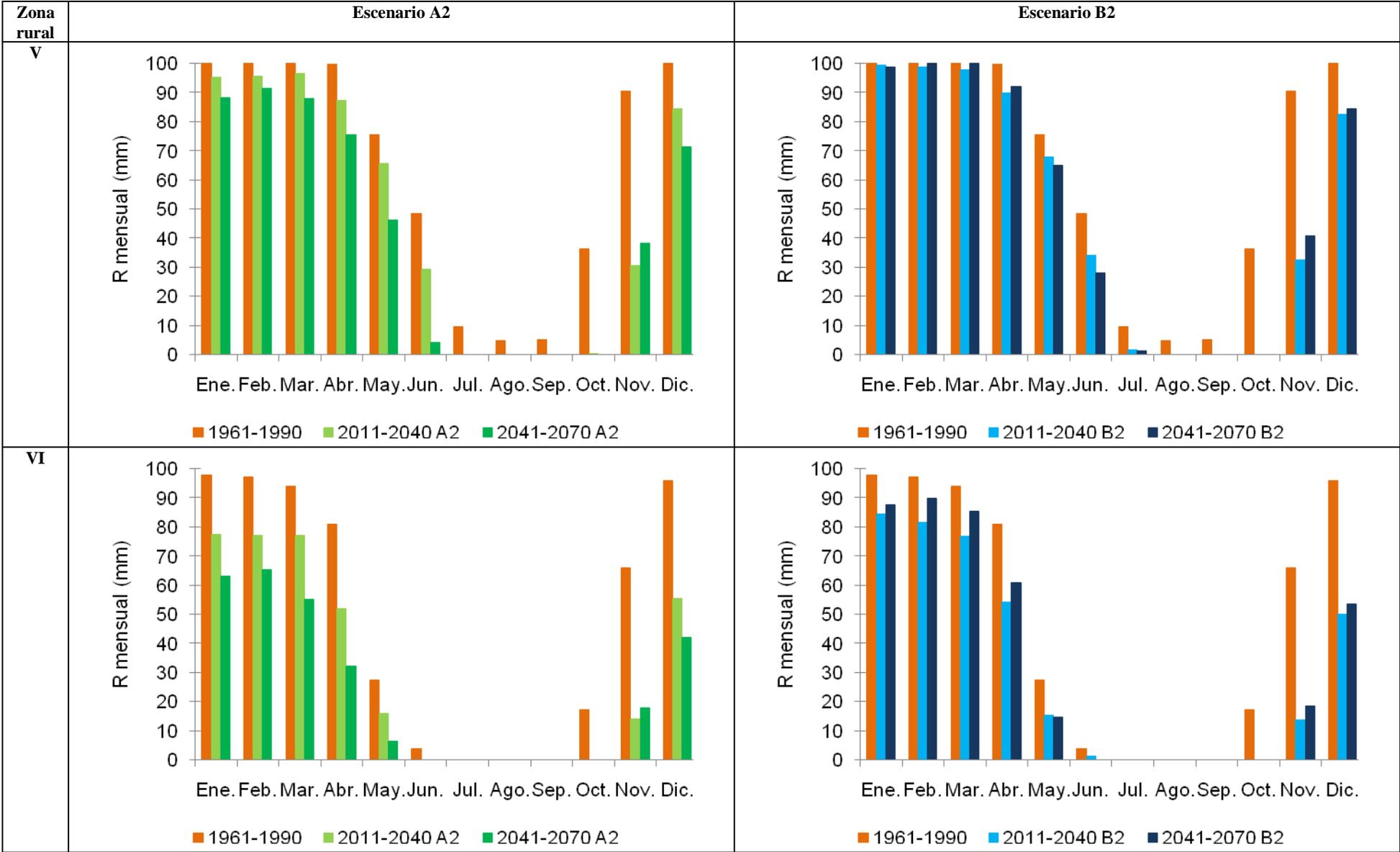


Figura 16. Evolución mensual de reserva de agua en el suelo (mm/mes) por zona rural y escenario. (Reserva máxima = 100 mm, de acuerdo con la hipótesis de trabajo).

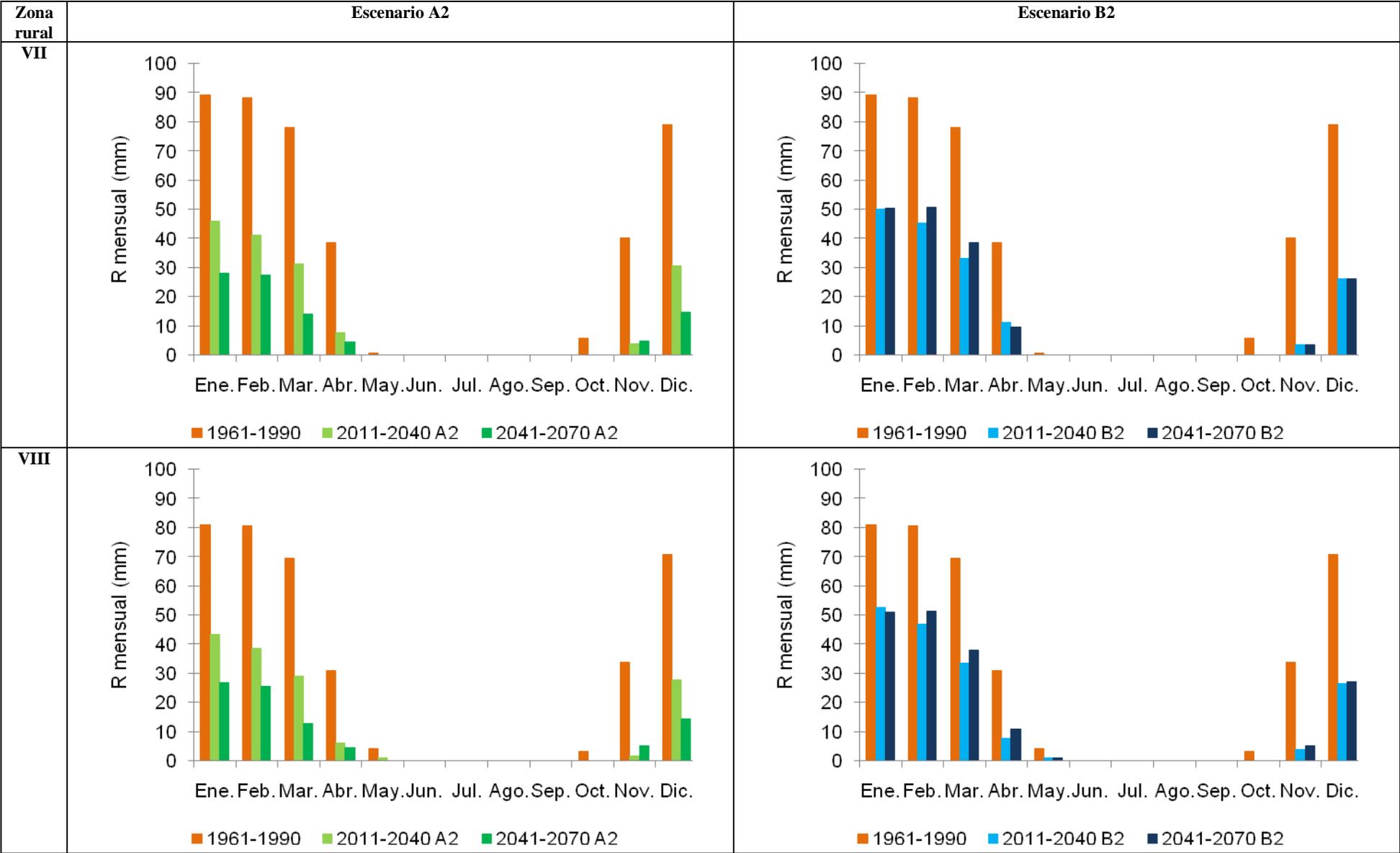


Figura 16. Evolución mensual de reserva de agua en el suelo (mm/mes) por zona rural y escenario. (Reserva máxima = 100 mm, de acuerdo con la hipótesis de trabajo).

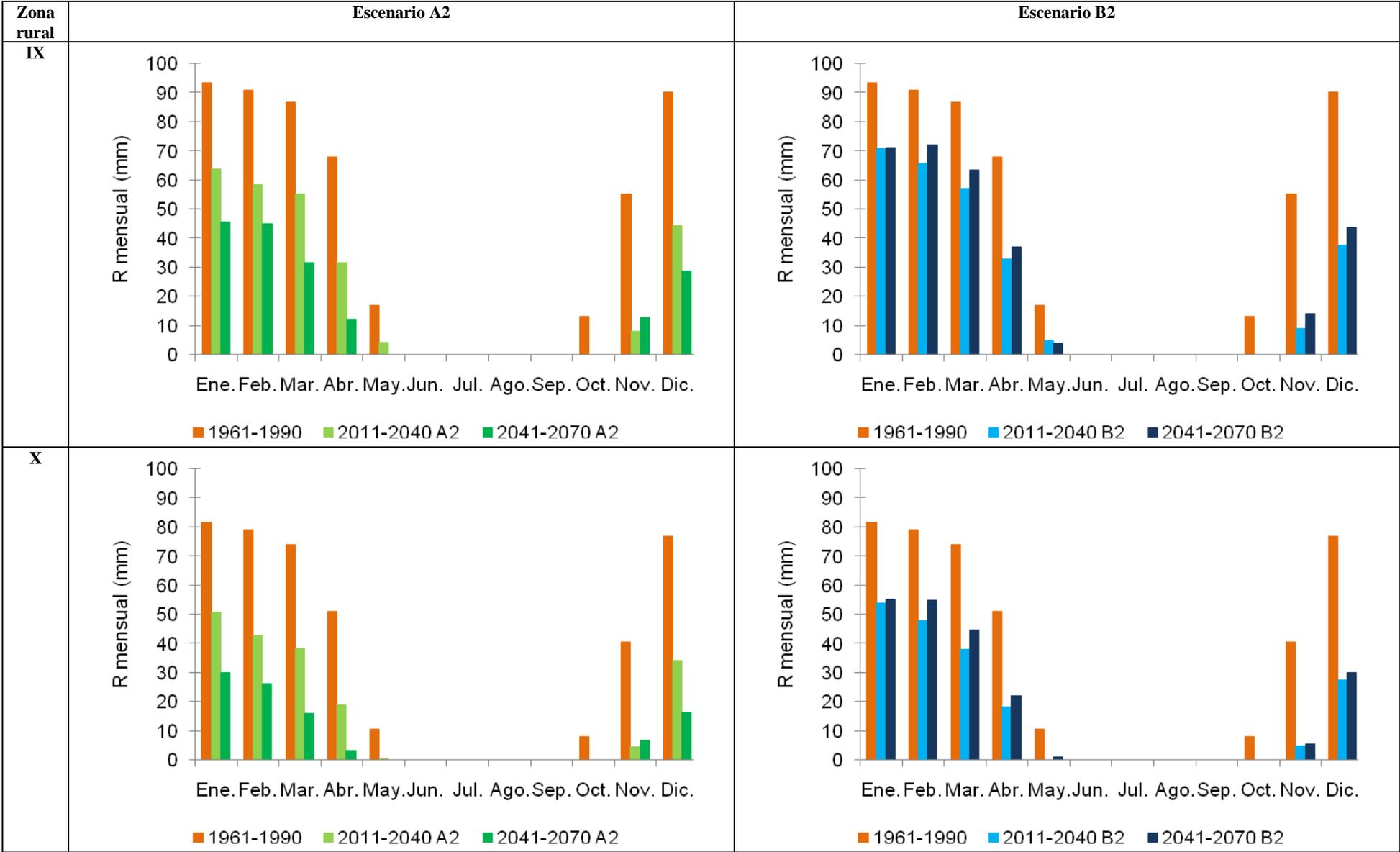


Figura 16. Evolución mensual de reserva de agua en el suelo (mm/mes) por zona rural y escenario. (Reserva máxima = 100 mm, de acuerdo con la hipótesis de trabajo).

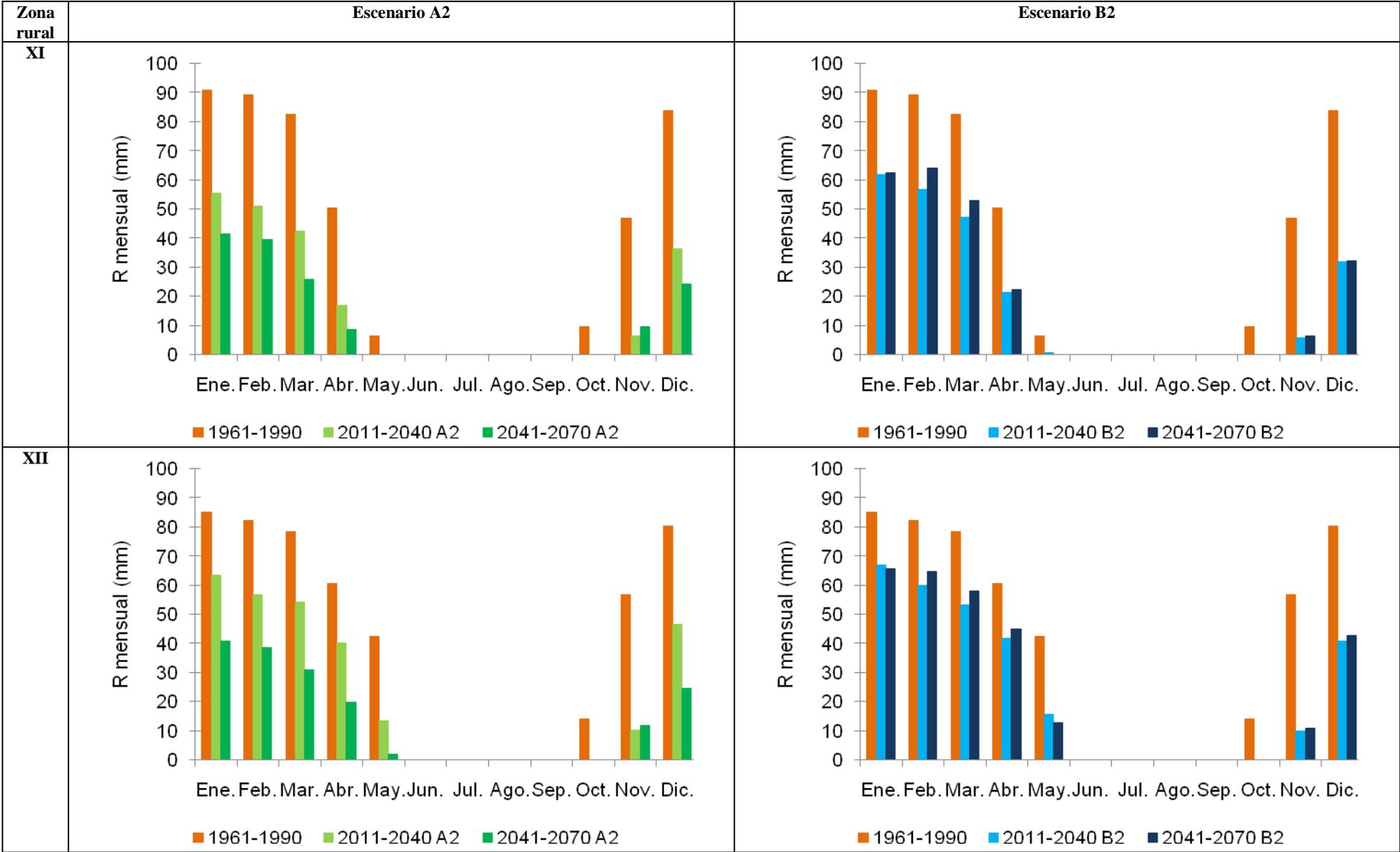


Figura 16. Evolución mensual de reserva de agua en el suelo (mm/mes) por zona rural y escenario. (Reserva máxima = 100 mm, de acuerdo con la hipótesis de trabajo).

### Evapotranspiración real

Se ha analizado el efecto del cambio expuesto en las variables climáticas sobre la evapotranspiración real en las distintas zonas rurales de Extremadura (Figura 17), y de acuerdo con el método de cálculo (Ecuación 3), este parámetro no sólo depende de los valores mensuales de temperatura y precipitación sino, de la reserva de agua en el suelo en los meses precedentes. Así, en el periodo de referencia y de manera general, puede describirse el comportamiento de la ETR de modo que durante el invierno, las bajas temperaturas determinan una demanda evapotranspirativa reducida, por lo que la ETR presenta valores bajos, en torno a 20 mm al mes, entre noviembre y febrero. Conforme las temperaturas van incrementándose a lo largo de la primavera, los procesos de evaporación y transpiración van haciéndose más importantes, lo que, en presencia de precipitación suficiente y con las reservas de agua en el suelo llenas, genera un incremento paulatino de la ETR entre los meses de febrero y mayo. Dependiendo de la zona rural, la ETR es máxima entre abril y mayo, alcanzando los 60-70 mm al mes.

A partir de la mitad de la primavera, a pesar de que la demanda evapotranspirativa sigue incrementándose por efecto del calentamiento, la ausencia de lluvias y el vaciado progresivo de la reserva hídrica del suelo, determinan una reducción rápida de la ETR hasta valores mínimos anuales cercanos a los 10 mm mensuales que se alcanzan en el mes de julio; por otra parte, desde el final del verano y hasta el otoño, la temperatura va decreciendo y las lluvias características de este periodo del año permiten un incremento de la ETR. Adicionalmente, los valores pico del repunte otoñal de la ETR son menores que los de la primavera y se sitúan cerca de los 40 mm/mes. Así, este patrón anual de la ETR, es más evidente en los lugares donde los valores de temperatura son más elevados y los de precipitación son más reducidos (ZR IV, VI, VII, VIII, IX, X, XI) que donde las precipitaciones anuales son mayores y las temperaturas no son tan elevadas (ZR I, III, V). Resulta que en estas últimas zonas rurales, el valor de la ETR es más estable siendo la evolución anual menos clara que la descrita en el comportamiento anual.

El análisis de la evolución mensual de la ETR en las distintas zonas rurales, muestra resultados muy similares bajo ambos escenarios de emisiones. Salvo en las zonas rurales I y III, donde el comportamiento de la variable analizada sigue el mismo patrón temporal bajo ambos escenarios de emisiones y muestra valores de evapotranspiración real similar, y del mismo modo, los periodos 2011-2040 y 2041-2070 tienen datos muy parecidos entre sí.

Las siguientes conclusiones son, por tanto, válidas para ambos escenarios y periodos. Así, en la primavera, con mayores temperaturas, menores precipitaciones y una reserva de agua en el suelo inferior, la ETR se verá reducida respecto del periodo de referencia. En esta época, el pico máximo anual se alcanzará entre los meses de marzo y abril (del orden de un mes antes que en la actualidad) y

tendrá un valor de entre 40 y 50 mm al mes dependiendo de la zona rural (20 mm menos al mes que en 1961-1990).

Conforme avanza la primavera, la menor reserva de agua en el suelo se vacía antes, no permitiendo mantener los valores de ETR de los meses de abril, mayo y junio en los rangos de 1961-1990 (Figura 16). Durante los meses de verano, en los que las precipitaciones son menores que en la actualidad, el incremento de la demanda evapotranspirativa por efecto de la temperatura, generará que la ETR se mantenga en valores mínimos durante más meses que en el periodo de referencia. Así, entre los meses de junio a septiembre, la ETR se sitúa en valores comprendidos entre 10 y 20 mm al mes dependiendo de la zona rural.

Por otra parte, las lluvias de otoño permitirán una lenta recuperación de la reserva de agua del suelo y un incremento de la ETR aunque de inferior valor y más tardía que en la actualidad. De hecho, el pico otoñal de 1961-1990 que se producía entre septiembre y octubre, pasará a tener lugar en noviembre. Entre los meses de diciembre y febrero, los valores de ETR serán del mismo orden de magnitud que en la actualidad. Cabe citar que en las zonas rurales I y III, y en menor medida en la zona rural V, se producirán cambios en el régimen de ETR más heterogéneos que los descritos para el conjunto del territorio producidos, fundamentalmente, por la variabilidad en las predicciones de las precipitaciones estivales y otoñales entre escenarios y periodos (Anejo II).

De forma general, el cambio climático alterará por tanto la dinámica temporal de la evapotranspiración real, produciendo menores salidas de agua del suelo y de las plantas entre abril y octubre como consecuencia de primaveras más cálidas y de la menor recarga de agua en el suelo en otoño e invierno. Por el contrario, entre noviembre y marzo, la ETR será mayor que en la actualidad en la mayor parte de zonas rurales.

En relación con el balance hídrico, es interesante considerar el valor anual de la ETR, pues éste indica de manera global, el proceso de pérdida vertical de agua de los ecosistemas hacia la atmósfera y permite inferir cambios en el volumen disponible.

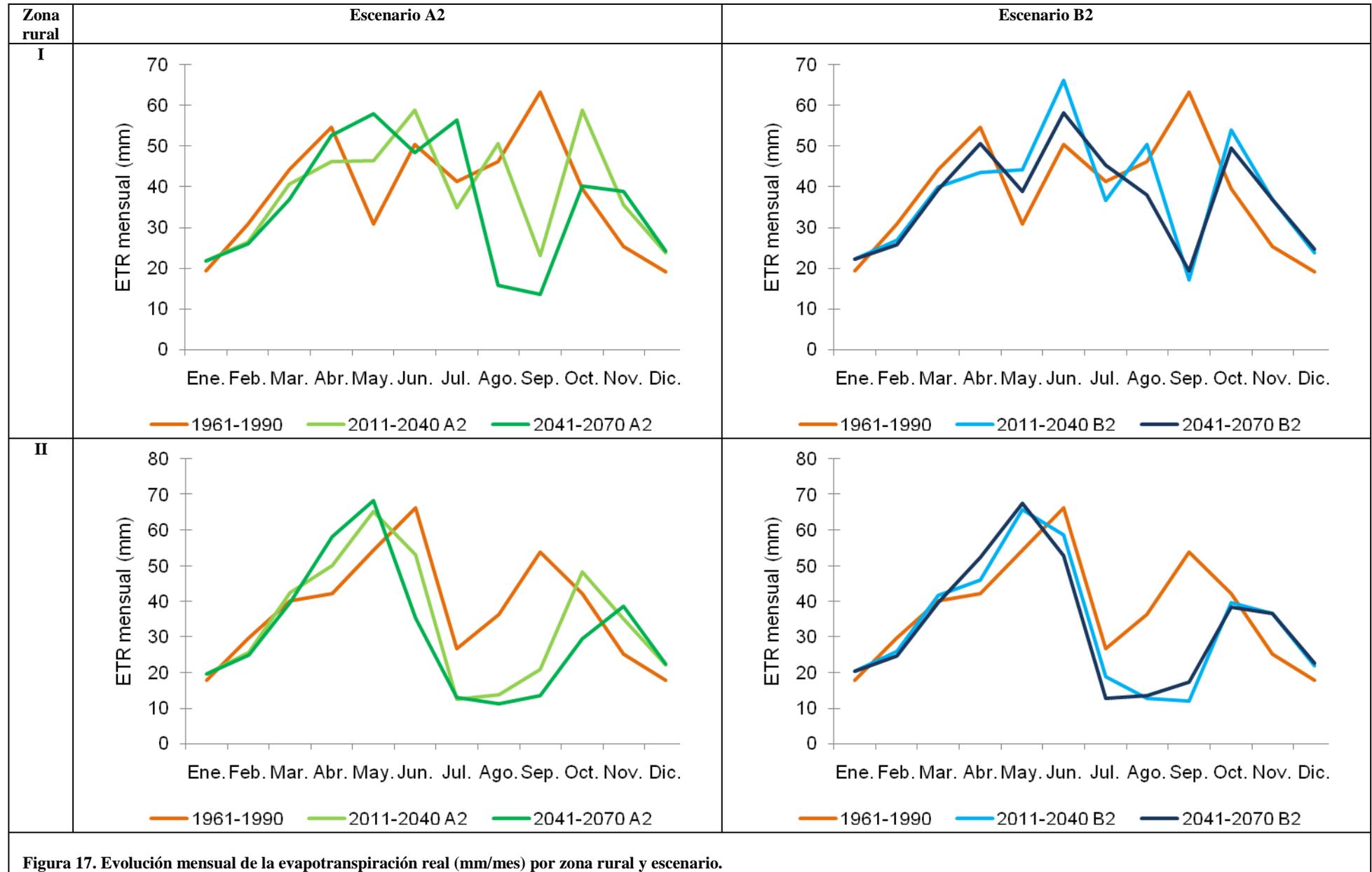


Figura 17. Evolución mensual de la evapotranspiración real (mm/mes) por zona rural y escenario.

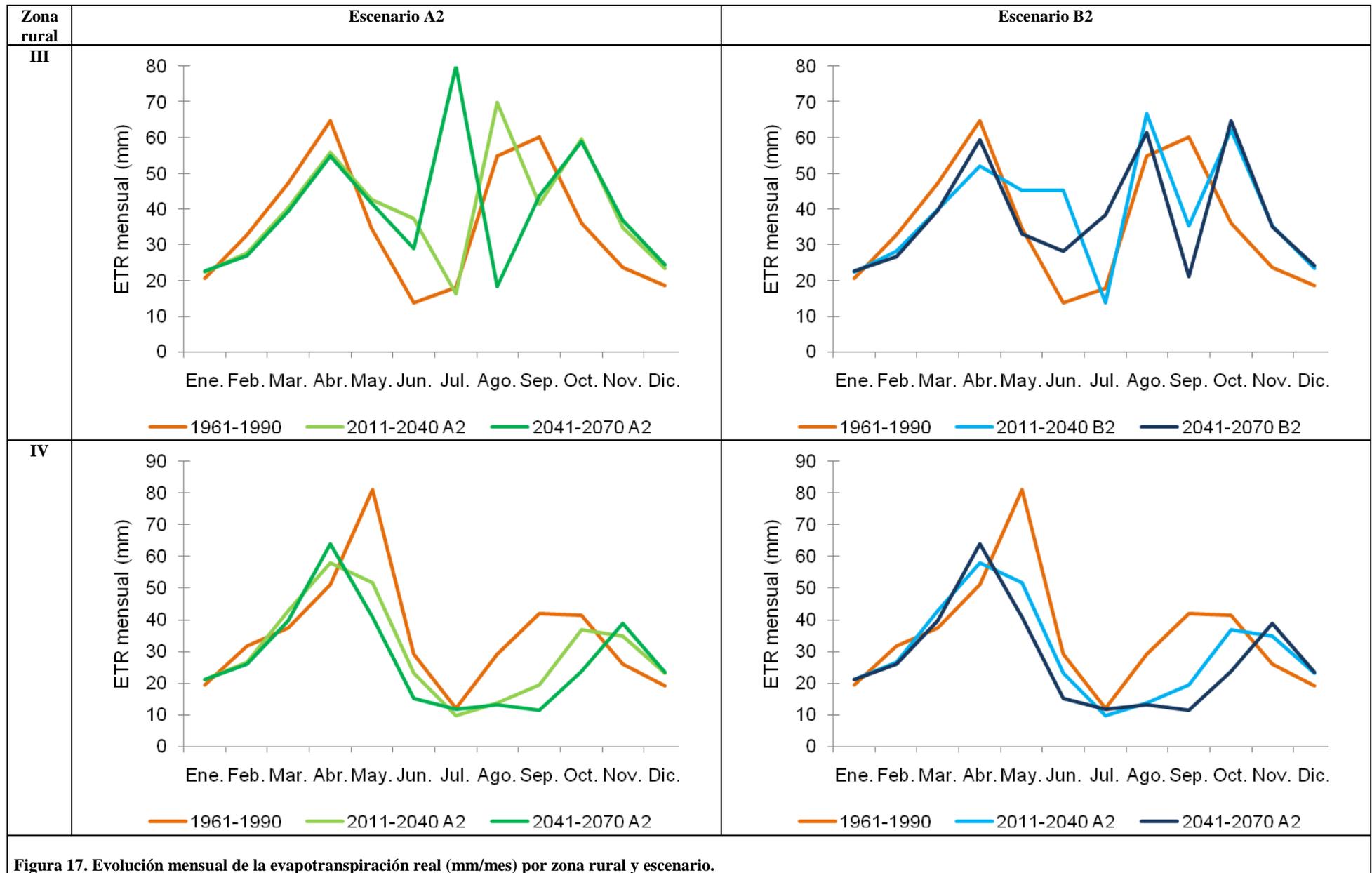


Figura 17. Evolución mensual de la evapotranspiración real (mm/mes) por zona rural y escenario.

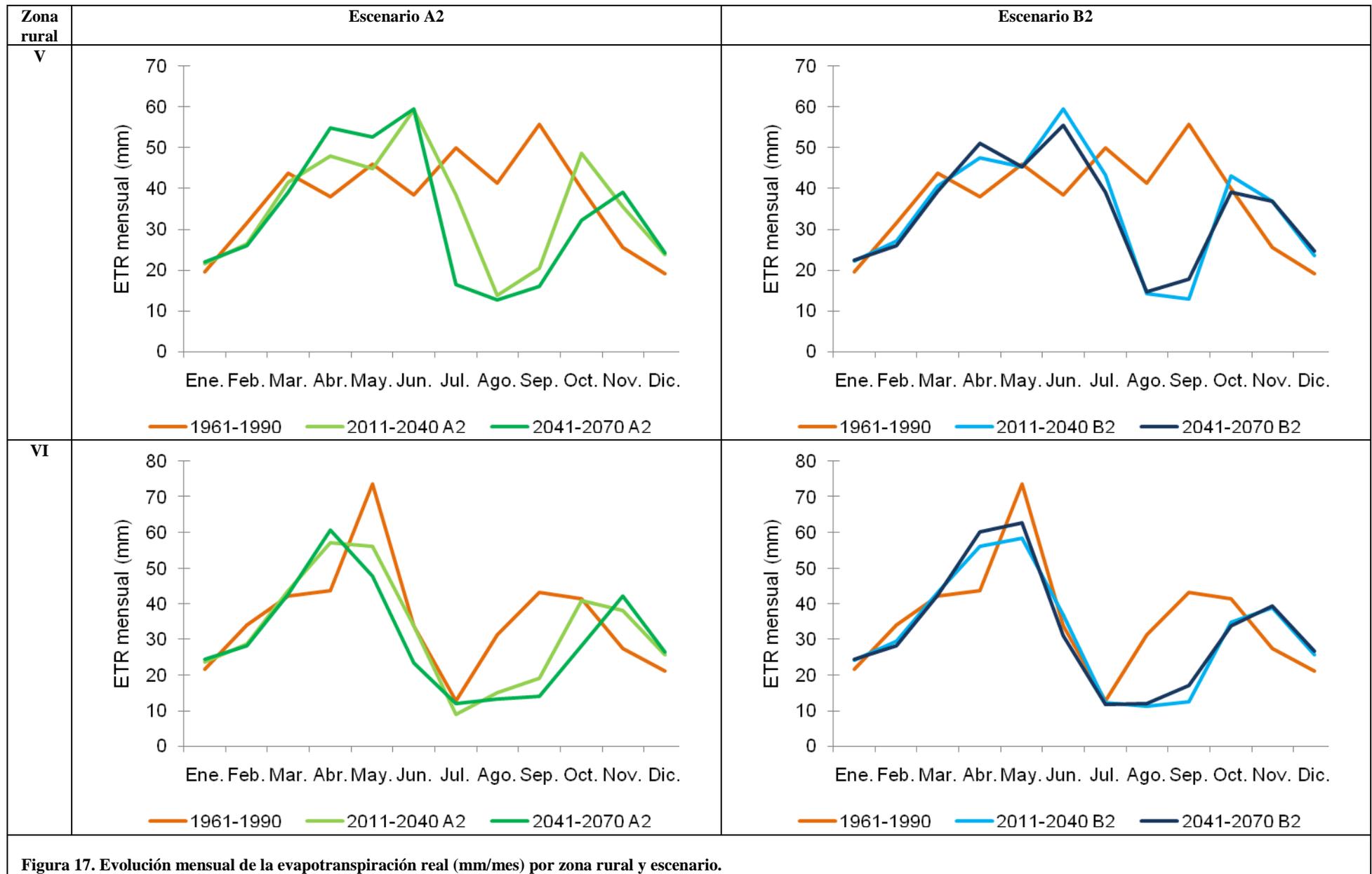


Figura 17. Evolución mensual de la evapotranspiración real (mm/mes) por zona rural y escenario.

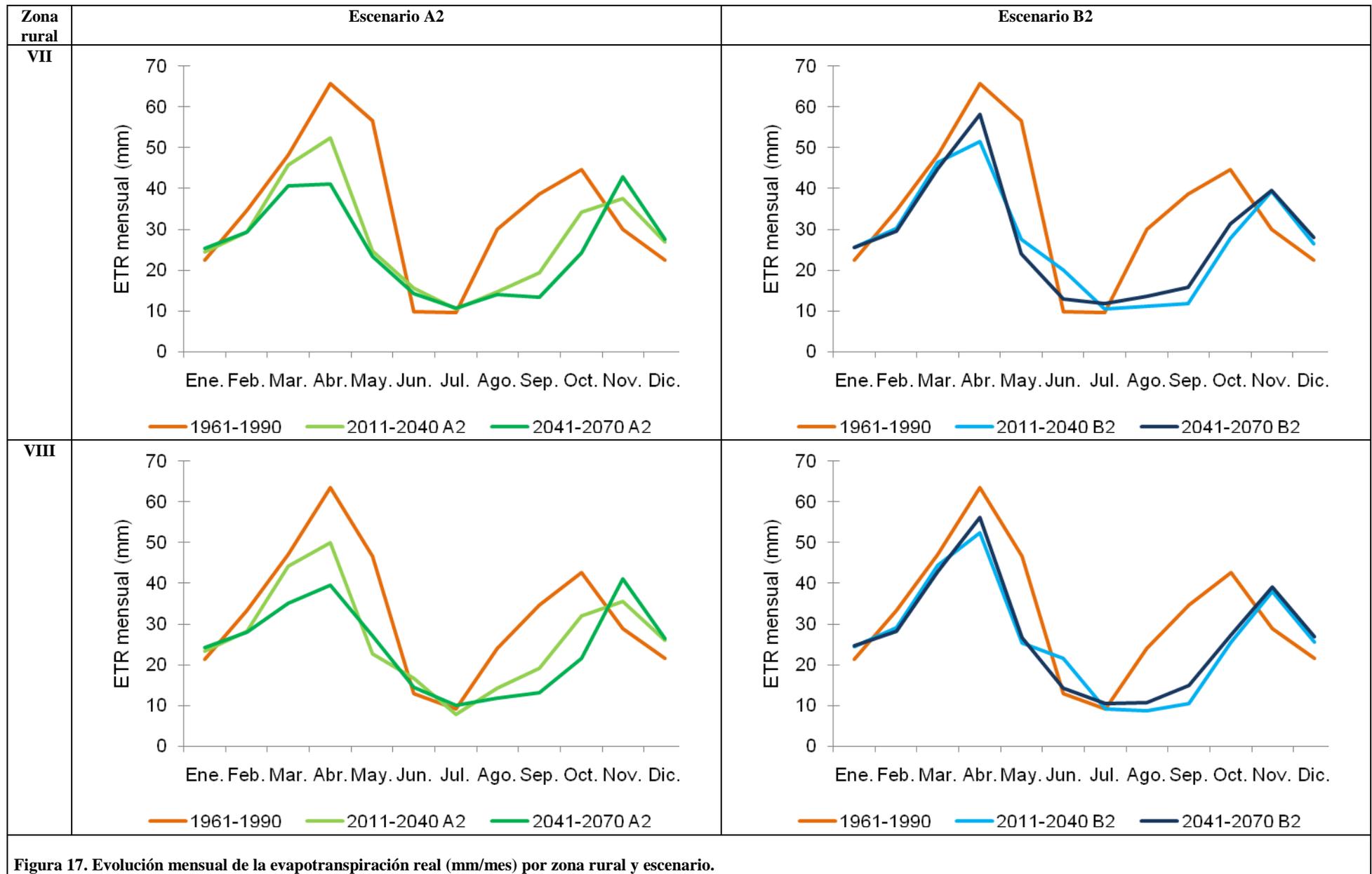


Figura 17. Evolución mensual de la evapotranspiración real (mm/mes) por zona rural y escenario.

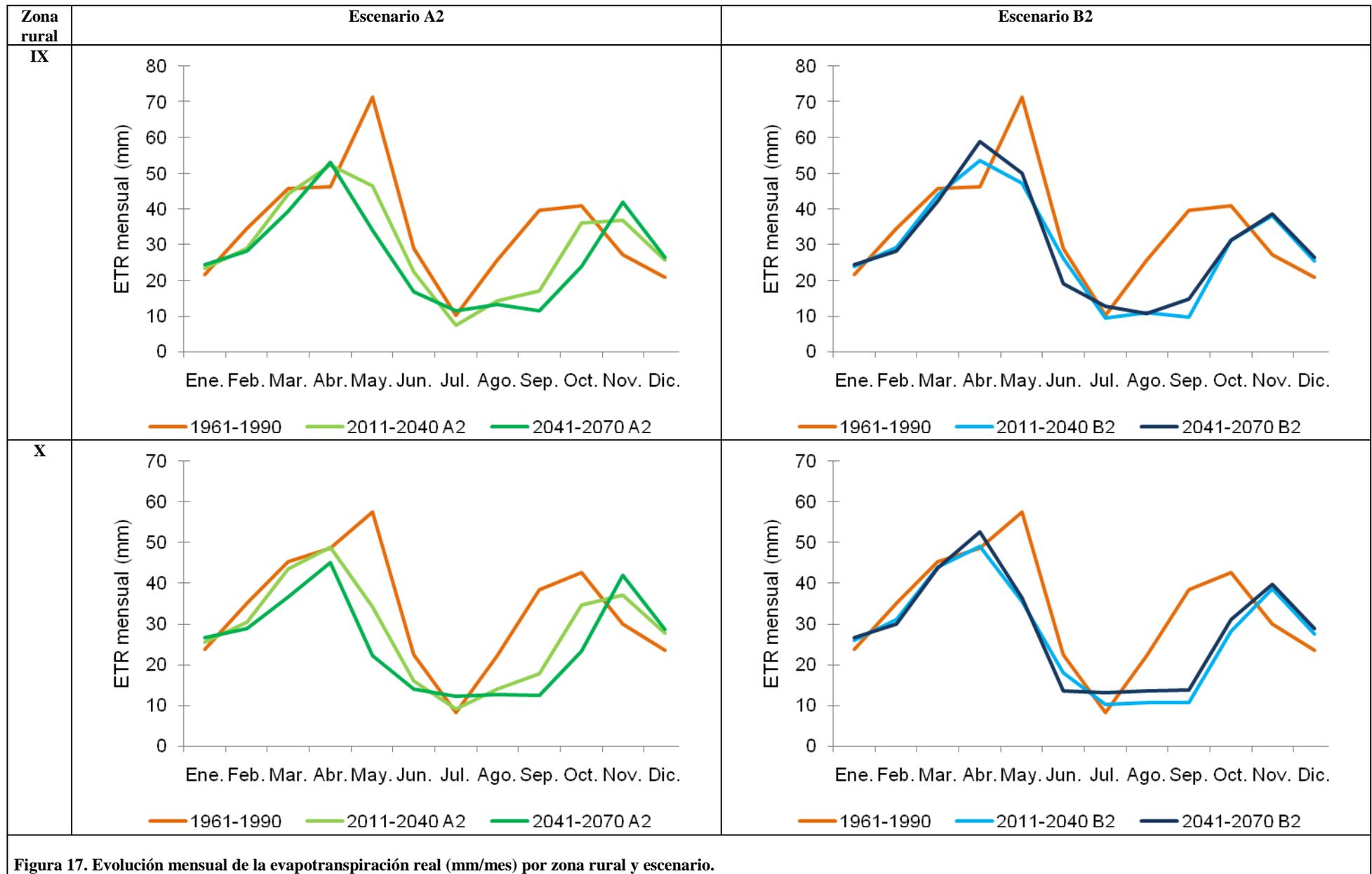


Figura 17. Evolución mensual de la evapotranspiración real (mm/mes) por zona rural y escenario.

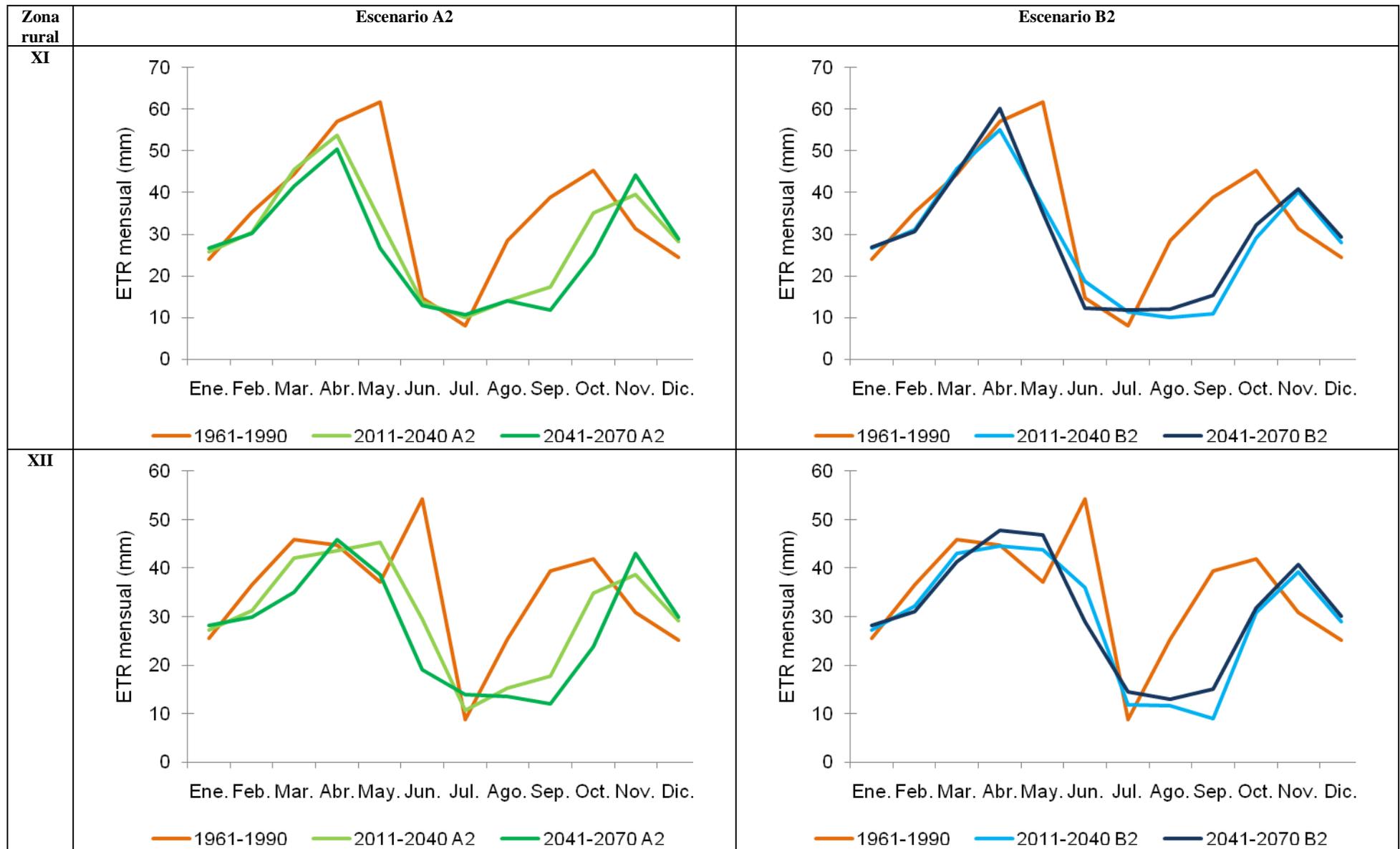


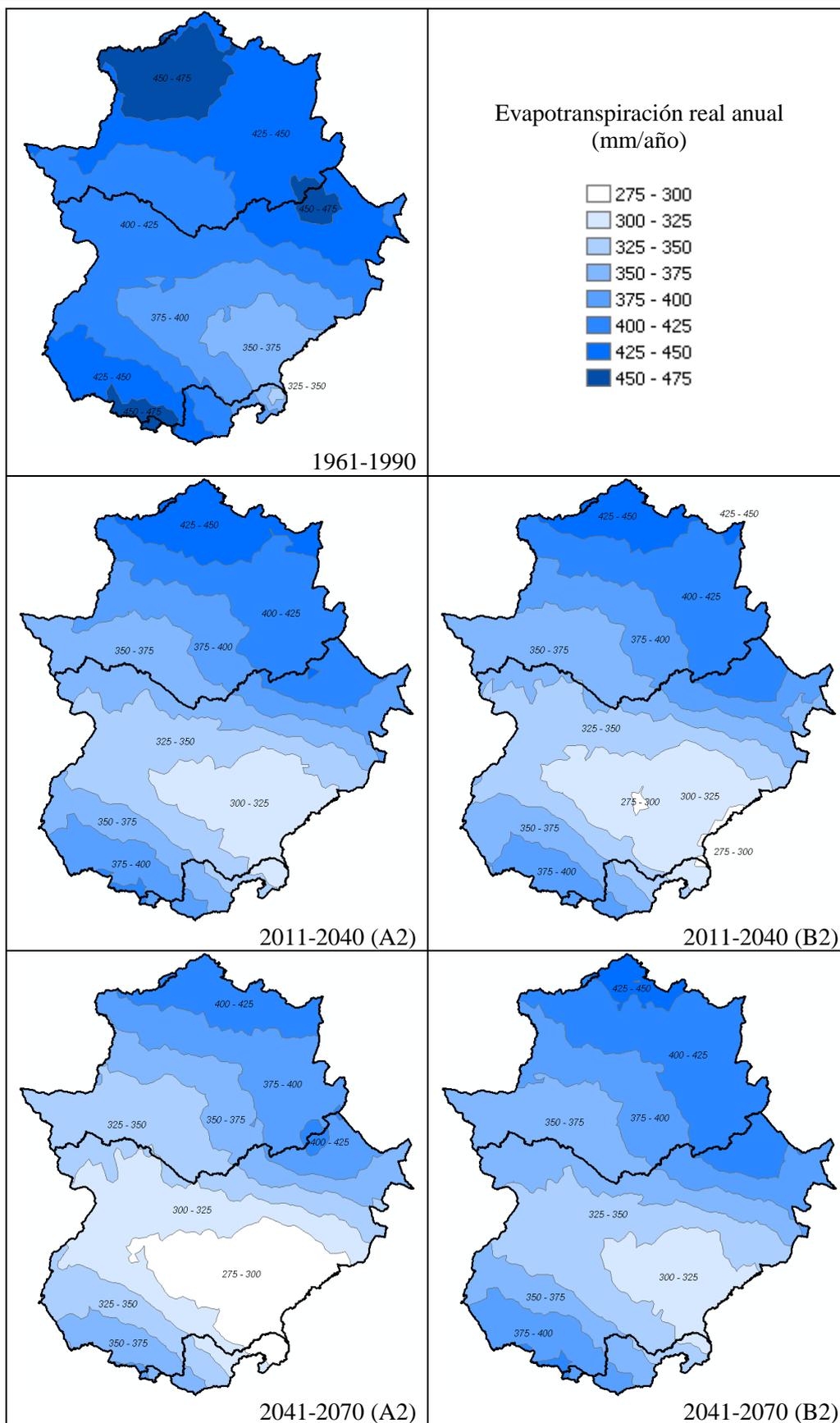
Figura 17. Evolución mensual de la evapotranspiración real (mm/mes) por zona rural y escenario.

Se ha determinado el valor de la evapotranspiración real (ETR) anual en los distintos periodos considerados (Mapa 22), y en términos generales, la estructura espacial actual de la ETR anual se mantendrá en los distintos periodos y bajo ambos escenarios de emisiones. De hecho apenas existen diferencias sustanciales entre las tasas de ETR anual en los periodos 1961-1990, 2011-2040 y 2041-2070. Los valores más bajos se registran en el límite sudoriental de Extremadura, en el límite de las D.H. Guadalquivir y Guadiana. Desde ahí y hacia el noroeste, en la ZR I, se va incrementando progresivamente el dato de ETR anual, y los máximos de ETR se registran en las zonas montañosas de las zonas rurales I, III y XII, donde la mayor pluviometría permite mayor evapotranspiración real.

En términos generales para 2011-2040, disminuye el valor de ETR anual unos 50 mm bajo ambos escenarios de emisiones. En 2041-2070 la reducción con el periodo anterior es menor y, en promedio, se contrae la ETR anual en 25 mm. Este análisis de la ETR pone en evidencia que a pesar de que el déficit hídrico mostrado en el análisis de la ETP es mucho mayor en la D.H. Tajo que en las demarcaciones de Badajoz, la pérdida efectiva de agua es similar en todo el territorio autonómico. Podemos indicar que en el caso en el que hubiera más agua que pudiera evapotranspirar, ésta lo haría con mayor intensidad en la D.H. Tajo al presentar condiciones más desecantes. La reducción de la ETR anual indica que saldrá menos cantidad de agua del sistema terrestre hacia la atmósfera, sin embargo, este hecho no equivale a una mayor disponibilidad hídrica pues también hay menor entrada de agua al sistema a causa de unas precipitaciones más reducidas.



**Fotografía 7. Hoces del Guadiana**



Mapa 22. Evolución espaciotemporal de la evapotranspiración real anual en Extremadura en los distintos periodos y escenarios considerados.

Por tanto, los resultados anuales de evapotranspiración real por demarcación hidrográfica para los periodos y escenarios considerados, se han calculado por rangos de 25 mm (Figuras 18, 19 y 20), y de manera general, se observa que en el periodo de referencia los valores de ETR anual son más altos que en los periodos proyectados, estando la distribución hacia el lado de los valores máximos de cada gráfico.

En el caso del escenario A2, en el periodo 2011-2040, se observa que la ETR anual se reduce en los rangos más altos y la distribución se desplaza hacia valores más bajos. En el siguiente periodo 2041-2070, esta tendencia se sigue observando en el conjunto de las zonas rurales siendo los valores medianos de 300 mm al año en el caso de la D.H. Guadalquivir (ZR XII) y el Guadiana (ZR VII, VIII, IX, X, XI) y de 375 mm en el caso del D.H. Tajo (ZR I, III, III, IV, V y VI).

Bajo el escenario B2, la tendencia es a la reducción de los valores respecto de los mostrados para el periodo 1961-1990 si bien, parece que el periodo intermedio, 2011-2040 es más severo que el 2041-2070 en el que se registran valores intermedios. Así, en las zonas rurales XII (D.H. Guadalquivir) y VIII, IX, X, XI (D.H. Guadiana) los valores medianos de ETR anual son de 350 mm al año, algo superiores a los valores proyectados bajo el escenario A2, y de 400 mm en el caso de las zonas rurales de la provincia de Cáceres (D.H. Tajo).

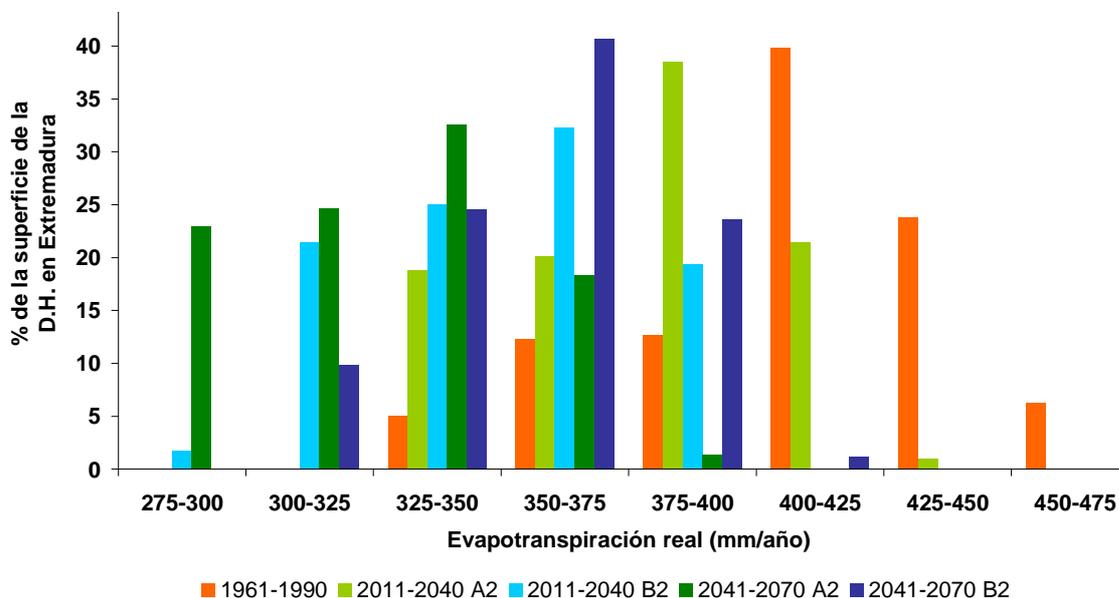


Figura 18. Distribución porcentual del territorio de Extremadura que forma parte de la D.H. Guadalquivir (zona rural XII) según valor de ETR anual en los distintos periodos analizados.

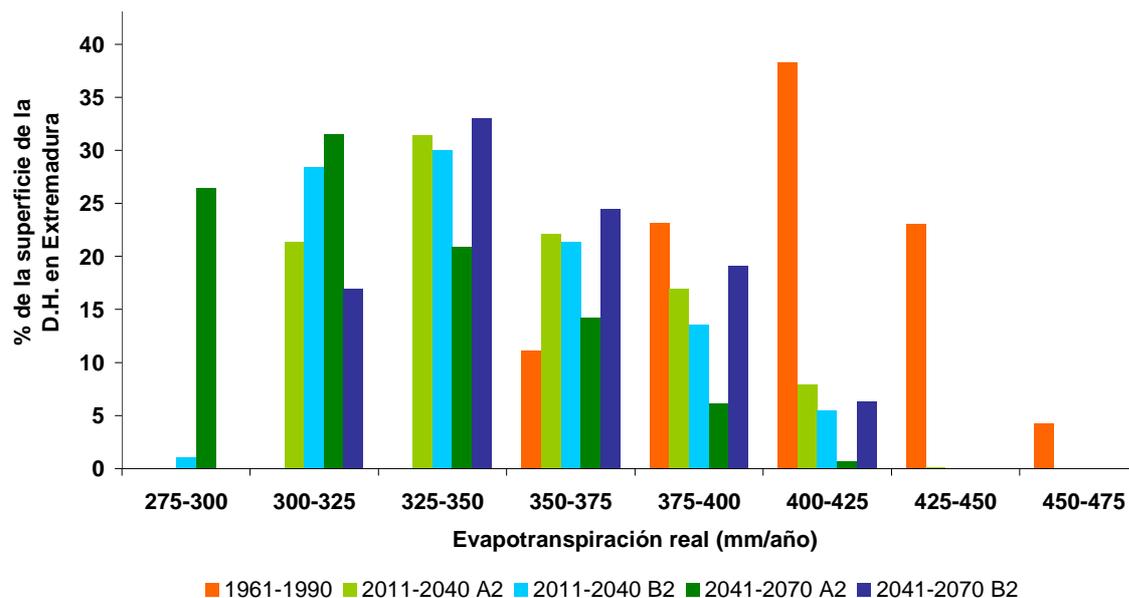


Figura 19. Distribución porcentual del territorio de Extremadura que forma parte de la D.H. Guadiana (zonas rurales VII a XI) según valor de ETR anual en los distintos periodos analizados.

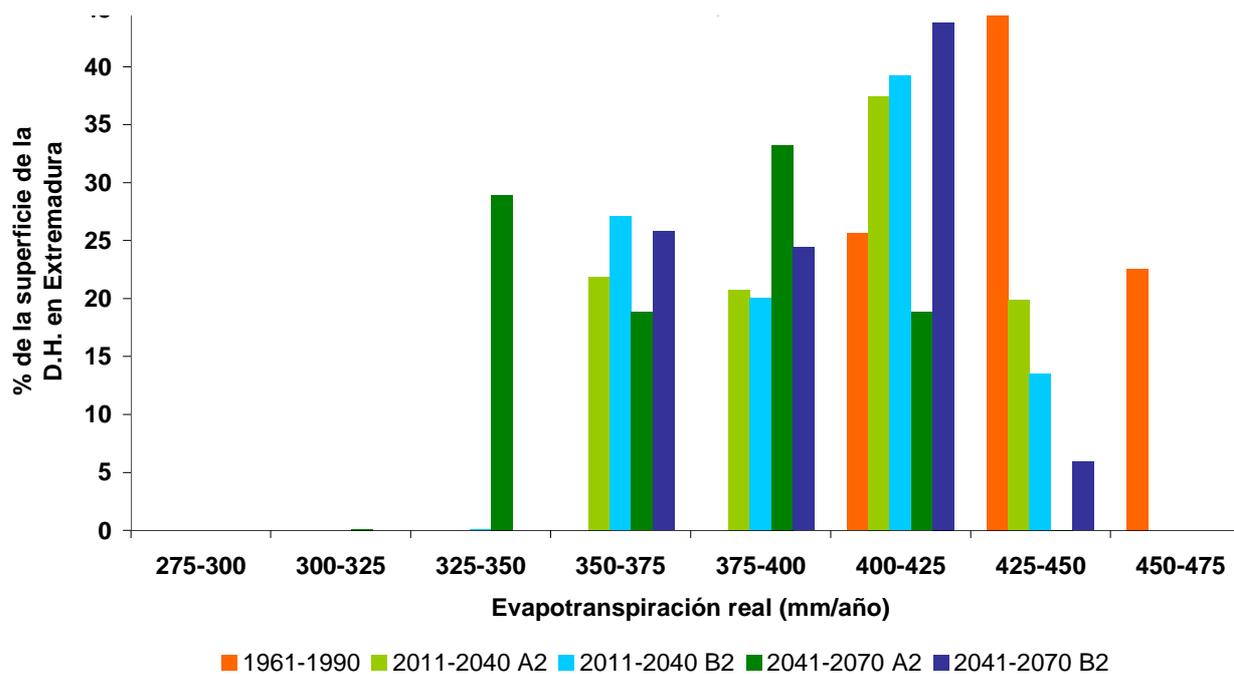


Figura 20. Distribución porcentual del territorio de Extremadura que forma parte de la D.H. Tajo (zonas rurales I a VI) según valor de ETR anual en los distintos periodos analizados.

### Exceso de agua: infiltración y escorrentía superficial

Según el método de estimación del balance hídrico directo (Almorox, 2003), el exceso de agua se define como el agua que se infiltra en el subsuelo para la recarga de acuíferos, o que llega a los ríos a través de la escorrentía superficial (Ecuación 7). Este exceso de agua es potencialmente utilizable por los ecosistemas y por el hombre, ya sea mediante la explotación de ríos y lagos, o embalses y acuíferos subterráneos.

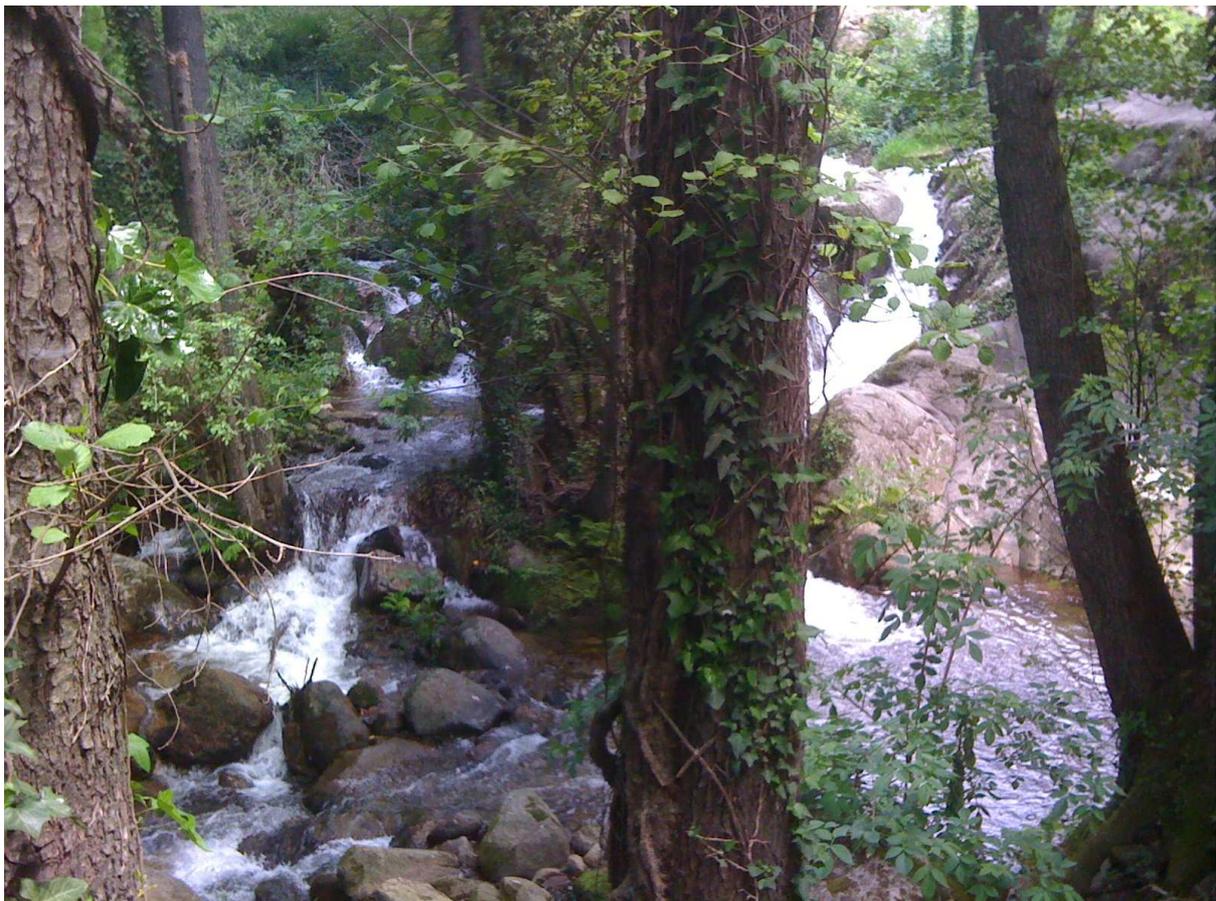
En el periodo de referencia, 1961-1990, dependiendo de la zona rural en la que nos encontremos, este exceso de agua es prácticamente inexistente o por el contrario muy importante en volumen (Figura 21). Así, en las áreas de menor precipitación mensual y mayor temperatura (ZR VII, VIII, X y XI), la reserva de agua en el suelo rara vez llega a completarse, por lo que el exceso es nulo o inferior a 10 mm mensuales. Por el contrario, en las zonas rurales más montañosas, con una pluviometría elevada (ZR I, II, III y V), el exceso puede superar los 50 mm mensuales en algunos meses del año, y en términos generales, en estos territorios, el exceso de agua tiene lugar entre los meses de noviembre y marzo, siendo diciembre el mes en el que los valores son máximos y a partir de este mes y hasta marzo, el volumen se va reduciendo progresivamente. Cabe citar que la ZR III tiene valores de exceso superiores a 20 mm desde el mes de septiembre hasta abril, siendo el territorio donde mayor es el volumen de agua registrado.

El comportamiento del volumen de agua que circula como escorrentía o infiltración variará por efecto del cambio climático y se predicen comportamientos diferenciales para los dos escenarios analizados. Así bajo A2, se prevé una reducción drástica del exceso de agua para los meses de invierno en el periodo 2011-2040 que proseguirá para 2041-2070. Por otra parte, la contracción de la recarga de agua en el suelo en los meses otoñales, se manifestará como una minimización severa del agua para escorrentía e infiltración en noviembre, y especialmente diciembre en todas las zonas rurales, observándose sin embargo en los primeros meses del año (Figura 21), un ligero incremento del exceso de agua en las ZR I, III y V, y una disminución en el resto de zonas rurales; asimismo, el exceso llega a ser nulo en todos los meses del año en las ZR VIII, X y XI, por ejemplo, tanto en 2011-2040 como en 2041-2070.

Bajo el escenario B2, el cambio resulta ser menos drástico en lo relativo al exceso de agua respecto de 1961-1990, y aunque se produce igualmente una reducción en los meses de invierno, ésta varía mucho de zona rural a otra. Así, por ejemplo, en las zonas más lluviosas correspondientes a las ZR I, III y V, el decremento del exceso en diciembre no prosigue en el mes de enero, registrándose incrementos en el exceso de considerable cantidad para dichos territorios. Adicionalmente, también en el mes de marzo, se prevé un mayor volumen de agua para estas funciones.

Hemos de establecer que los periodos analizados, 2011-2040 y 2041-2070 tienen valores similares entre sí, de modo que las zonas rurales más secas (VI, VIII, IX, X, XI, XII), verán reducido este exceso de agua en todos los meses del año, aunque en menor medida que bajo el escenario A2.

La severa disminución del exceso de agua en los meses de principio del invierno (noviembre-diciembre) con independencia del escenario elegido, y acompañada de una pérdida global de exceso, para el conjunto de Extremadura desplazará los máximos de escorrentía e infiltración hacia los meses de enero-febrero. Este desplazamiento temporal alterará la circulación de agua en ríos y la recarga de reservas subterráneas, suponiendo un elemento de vulnerabilidad derivado del cambio climático. Este hecho puede afectar a las demandas de agua de primavera (agricultura principalmente) poniendo en peligro el suministro global. En las áreas más áridas, el exceso de agua pasa a ser nulo todo el año, dificultando el aprovechamiento del recurso hídrico y requiriendo la puesta en marcha de medidas de adaptación.



**Fotografía 8. Bosque de galería.**

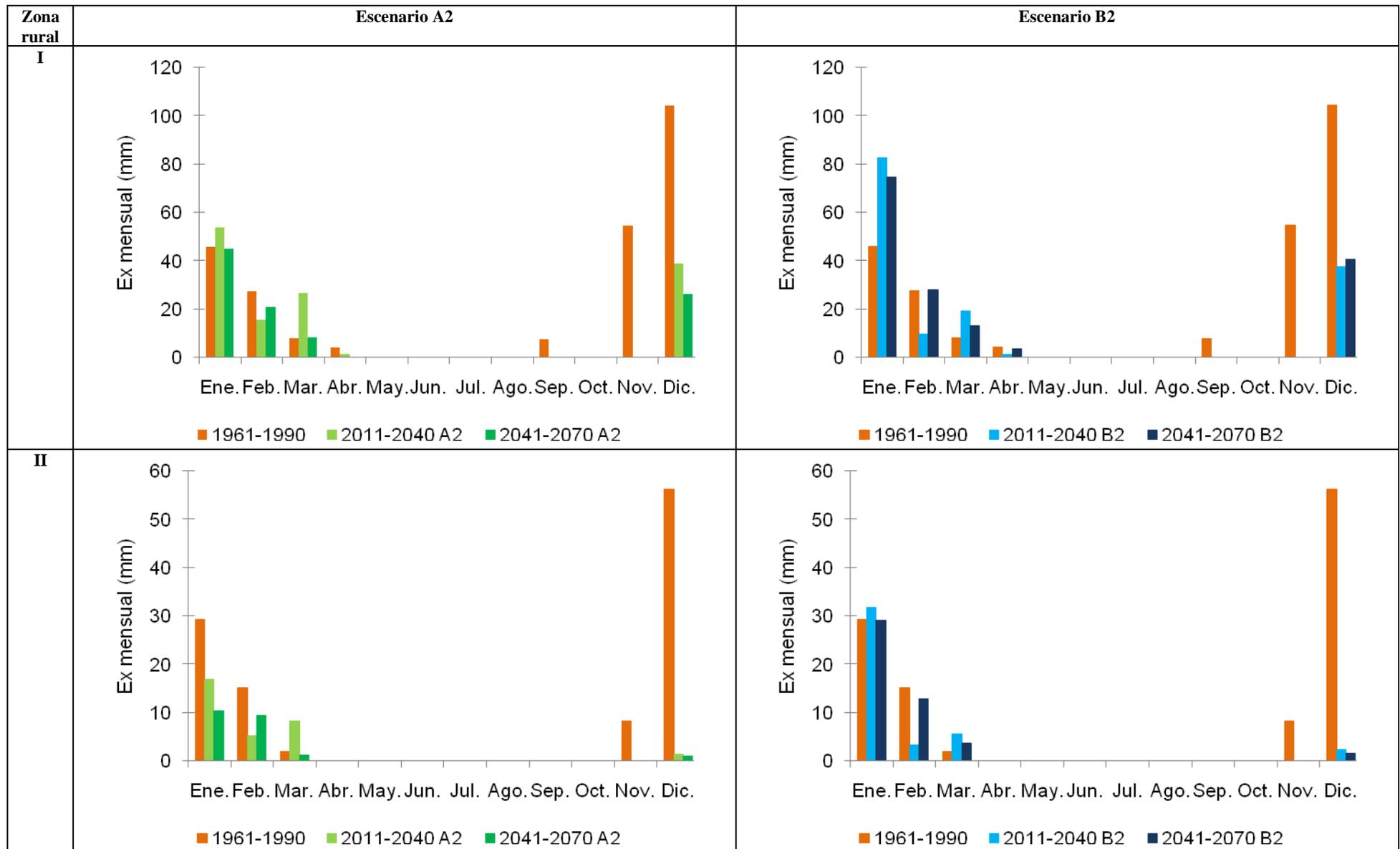


Figura 21. Evolución mensual del volumen de agua (mm/mes) que sufre escorrentía o infiltración (exceso) por zona rural y escenario.

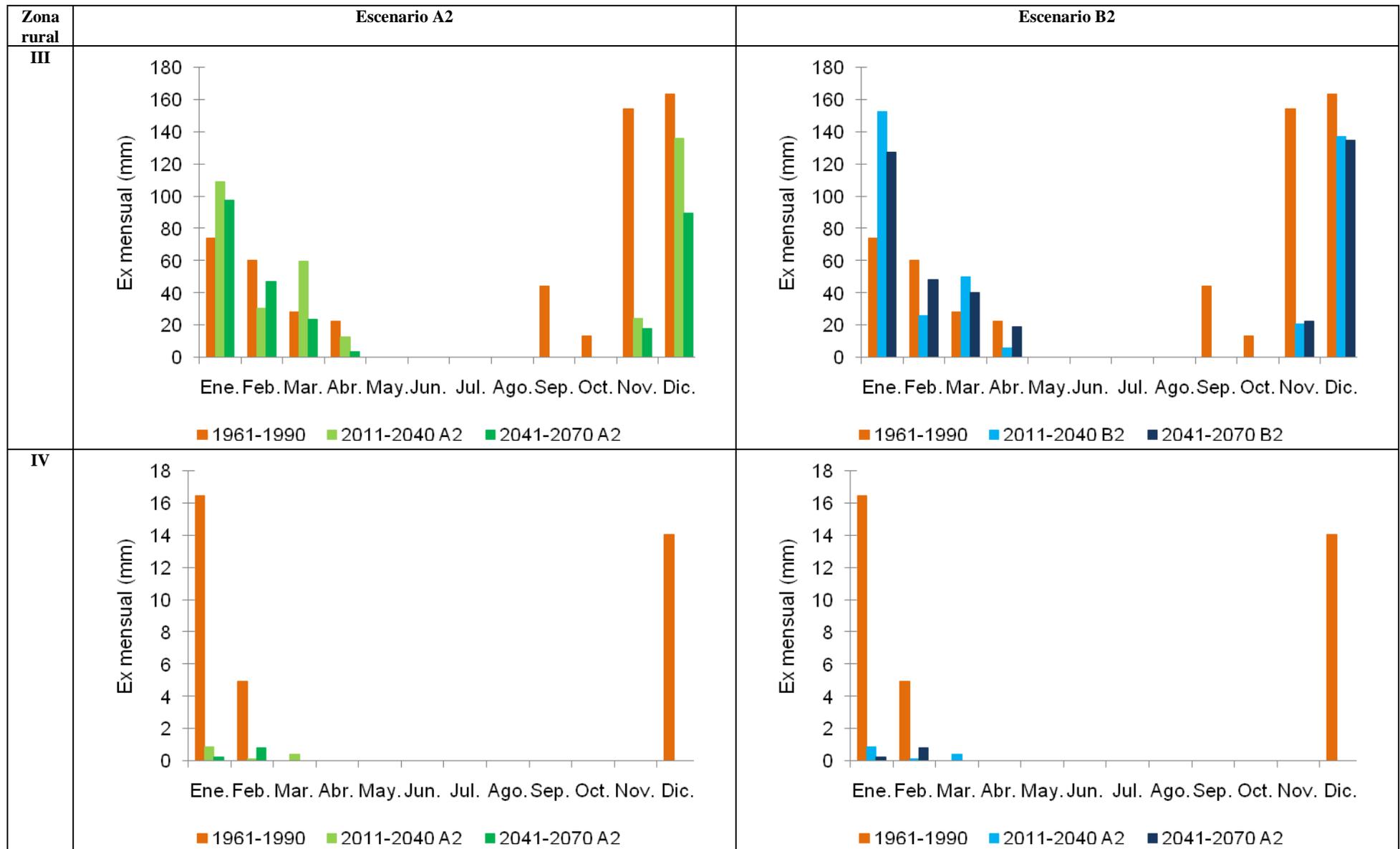


Figura 21. Evolución mensual del volumen de agua (mm/mes) que sufre escorrentía o infiltración (exceso) por zona rural y escenario.

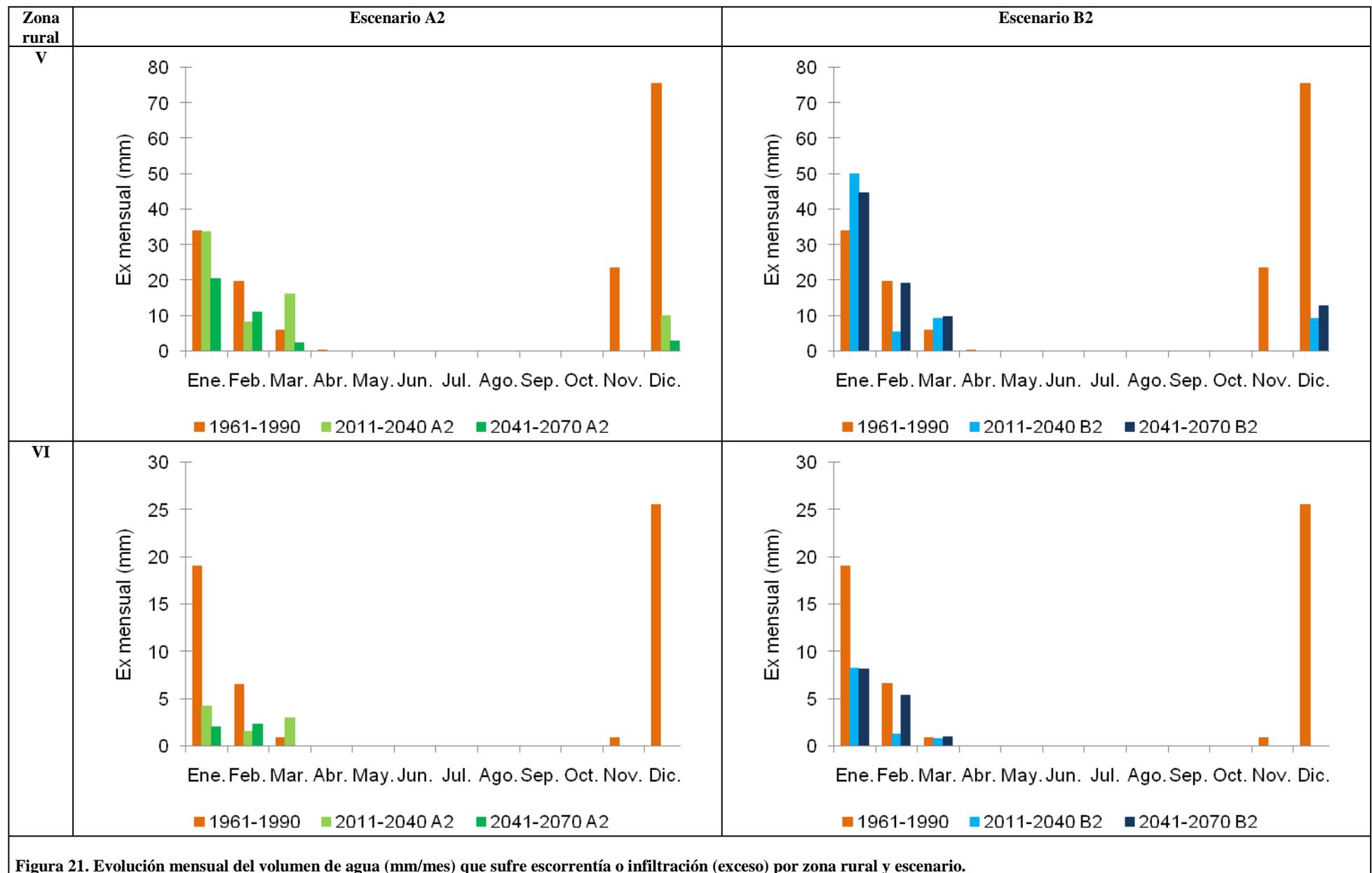


Figura 21. Evolución mensual del volumen de agua (mm/mes) que sufre escorrentía o infiltración (exceso) por zona rural y escenario.

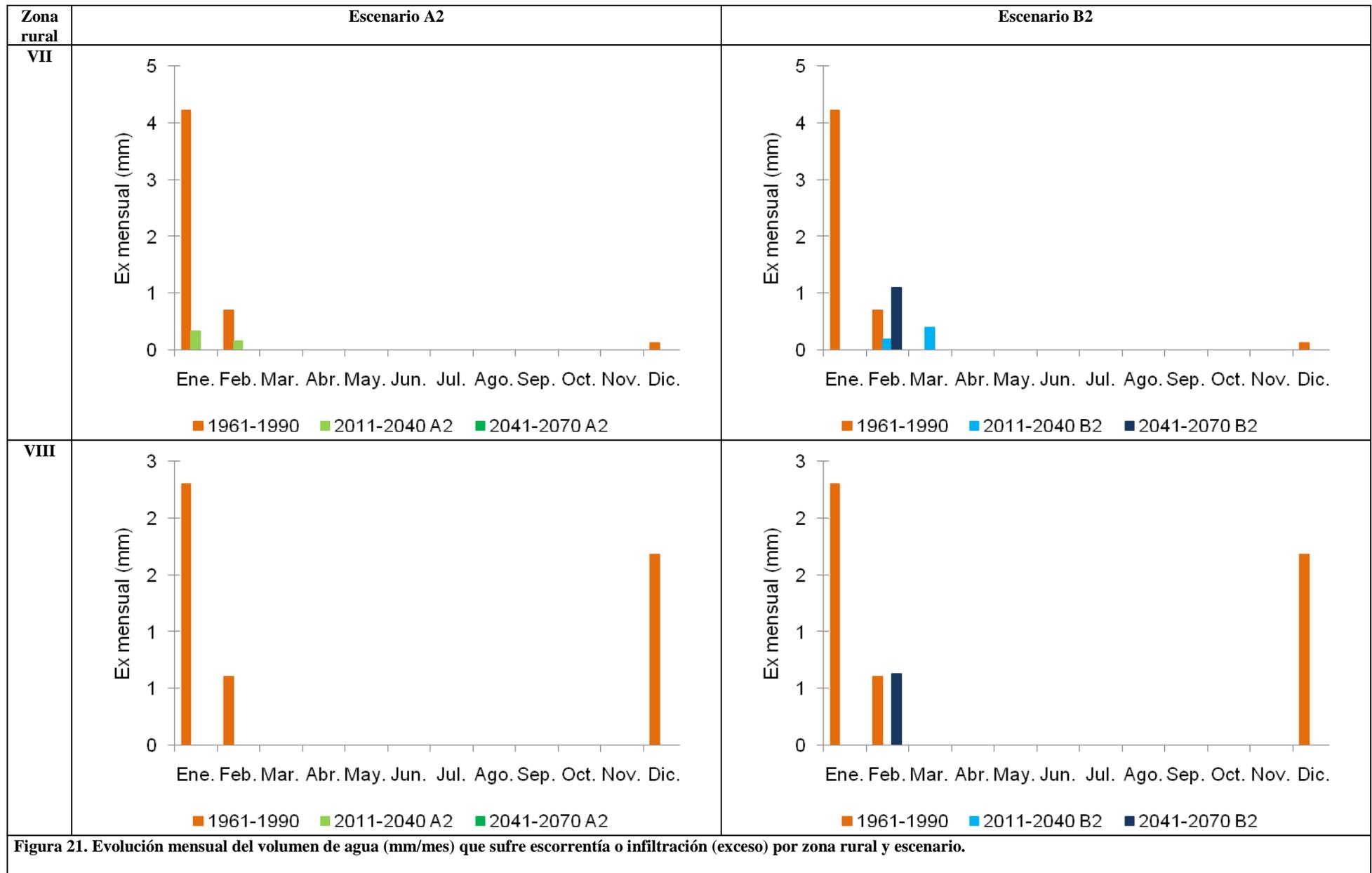


Figura 21. Evolución mensual del volumen de agua (mm/mes) que sufre escorrentía o infiltración (exceso) por zona rural y escenario.

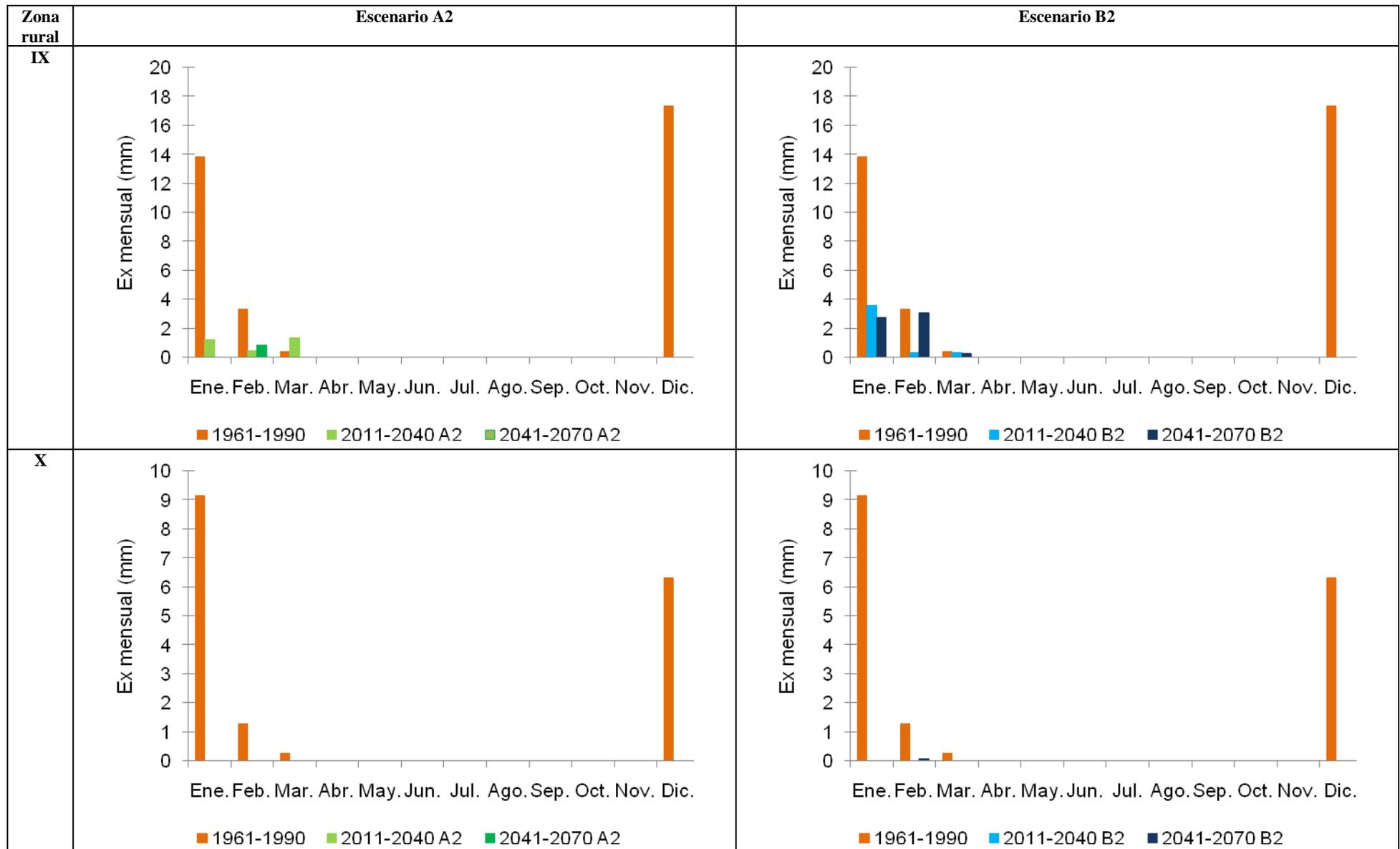


Figura 21. Evolución mensual del volumen de agua (mm/mes) que sufre escorrentía o infiltración (exceso) por zona rural y escenario.

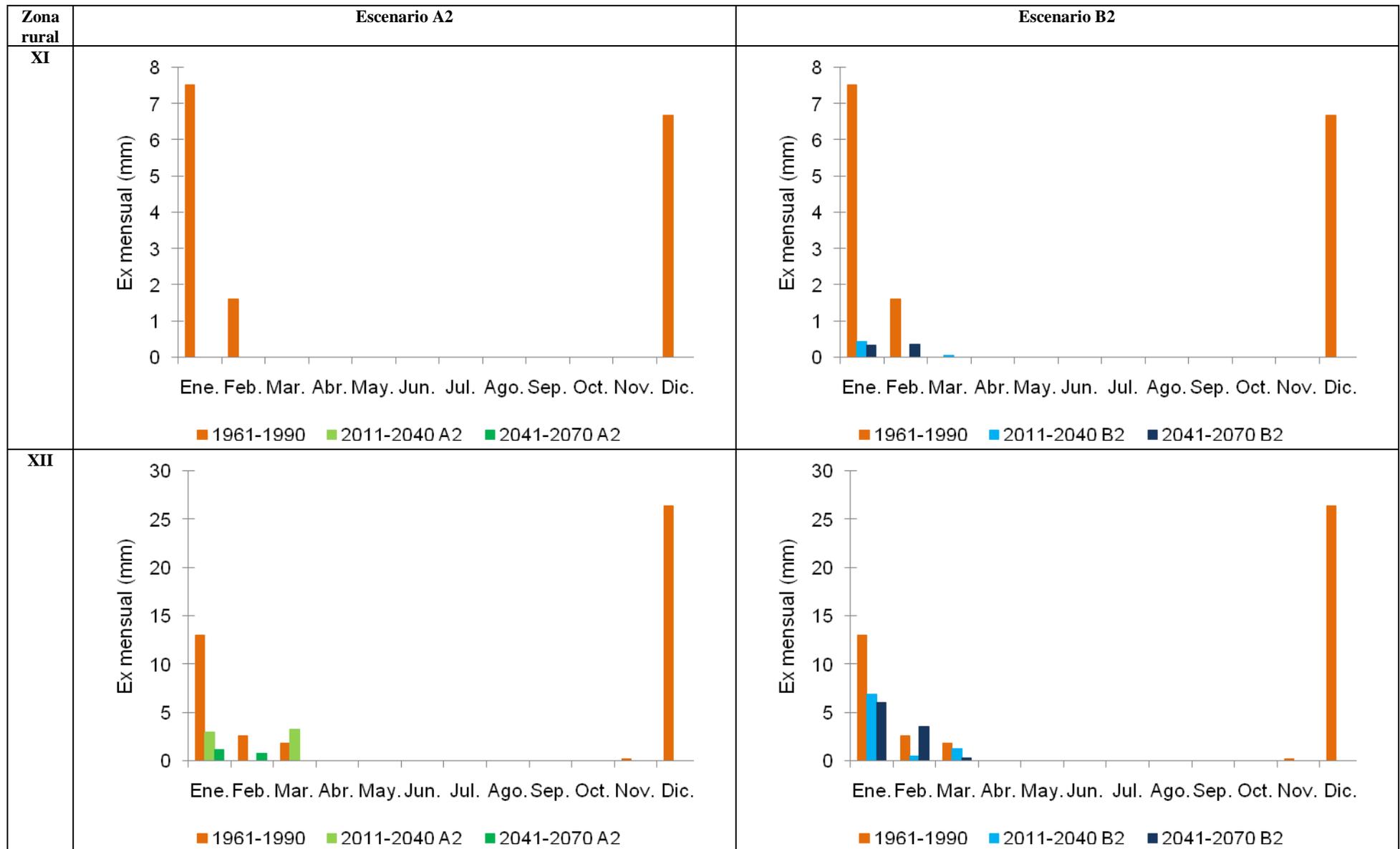
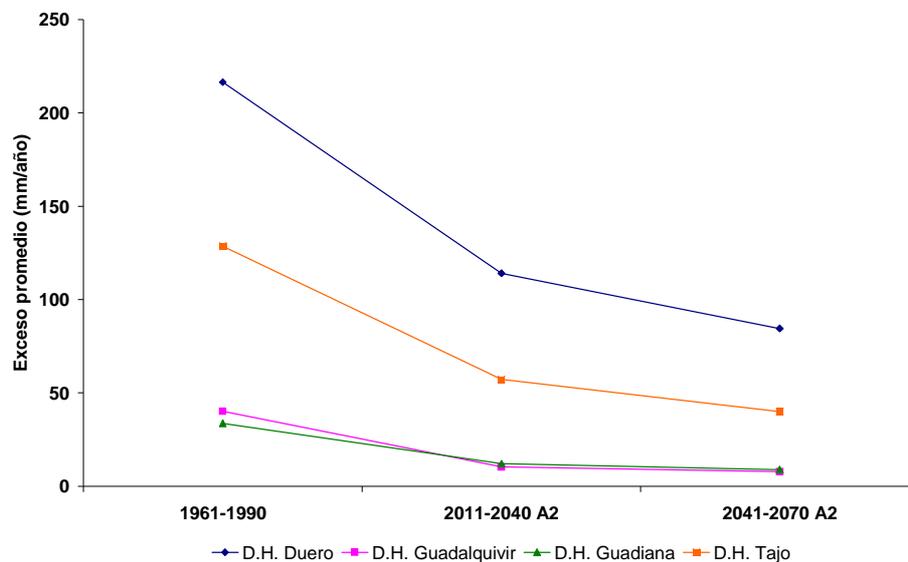
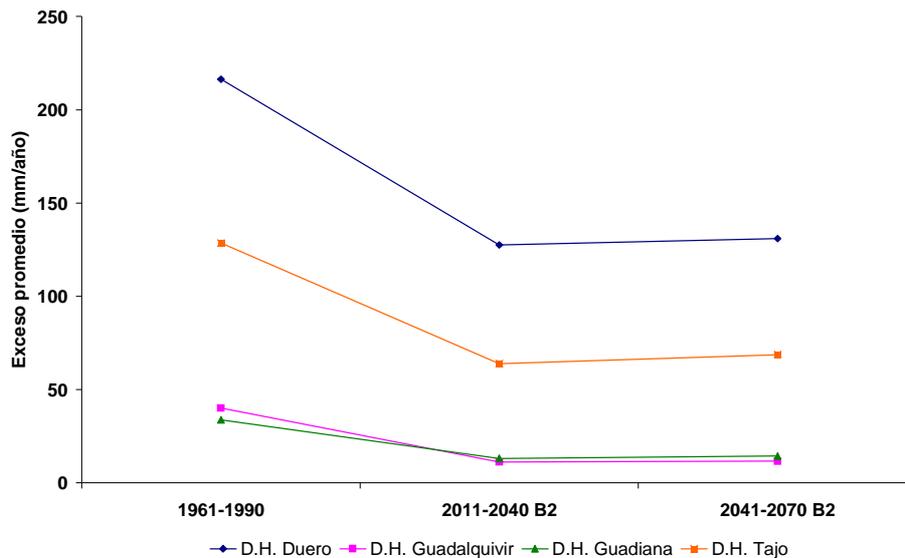


Figura 21. Evolución mensual del volumen de agua (mm/mes) que sufre escorrentía o infiltración (exceso) por zona rural y escenario.

Por último, con objeto de tener una visión integrada de la evolución del exceso de agua, se han calculado los valores anuales de dicha variable para cada una de las demarcaciones hidrográficas extremeñas, y se han representado los resultados para los periodos 2011-2040 y 2041-2070 bajo ambos escenarios de emisiones (Figuras 21 y 22). De este análisis se observa que en todas las demarcaciones hidrográficas el volumen de agua en exceso se reducirá en el futuro, y esta disminución de agua circulante será especialmente drástica en el periodo 2011-2040 respecto del periodo de referencia (1961-1990). Para 2041-2070, la pérdida de volumen de agua que se infiltra o sufre escorrentía superficial es más leve, y porcentualmente, la reducción es más importante bajo el escenario de emisiones A2 que bajo el escenario B2, y afectará de manera muy severa tanto a las zonas rurales de la D.H. Tajo como a las de la D.H. Guadiana. Cabe esperar que esta pérdida de recurso disponible limite de manera importante las posibilidades de hacer frente a la demanda de agua y la capacidad de embalse, afectando por tanto también a la gestión temporal de las cuencas.



**Figura 22. Evolución temporal del exceso de agua promedio para los territorios extremeños de las demarcaciones hidrográficas presentes en Extremadura en los distintos periodos analizados, bajo el escenario de emisiones A2.**



**Figura 23.** Evolución temporal del exceso de agua promedio para los territorios extremeños de las demarcaciones hidrográficas presentes en Extremadura en los distintos periodos analizados, bajo el escenario de emisiones B2.

En conclusión, dado que la agricultura es un sector estratégico para un país o una región, el análisis de las distintas etapas del balance hídrico será fundamental ya que determina una reducción en la disponibilidad hídrica global, que se expresará mediante la reducción de las reservas de agua en el suelo, del volumen de las infiltraciones hacia el subsuelo y de la escorrentía superficial. Dado que la precipitación es muy escasa en verano y que la reducción del exceso de agua se produce esencialmente en los meses de otoño e invierno, no se produce suficiente recarga de agua en el suelo y por tanto ésta no puede circular en los meses posteriores.

De acuerdo con los usos actuales del agua en Extremadura y considerando la priorización de usos marcada por la *Directiva Marco del Agua* (DOUE 327, del 22 de diciembre de 2000), será la agricultura el sector que más repercusiones tenga por la falta de agua. Adicionalmente, hemos de tener en cuenta que la agricultura de regadío va ligada a la industria agroalimentaria, que sufriría las consecuencias del desabastecimiento y el rendimiento económico por unidad de volumen habrá de tener en cuenta este tipo de circunstancia. Aunque puede modificarse el orden de la preferencia de usos en los planes hidrológicos, *el artículo 60 del Texto Refundido de la Ley de Aguas*, establece como prioridad general que el segundo uso preferente por detrás del abastecimiento humano que es considerado el primero, es el regadío.

A pesar de lo anterior, hay que recordar que las infraestructuras de almacenamiento y distribución del agua son una herramienta importante de la gestión y, estando correctamente dimensionadas y gestionadas, pueden reducir de manera considerable la vulnerabilidad del territorio en las condiciones climáticas futuras, garantizando el suministro a los distintos sectores. Incluso sería necesario plantear la construcción de nuevas infraestructuras para evitar los efectos mencionados, aumentando el almacenamiento en épocas de grandes aportaciones, regularizando el ciclo hidrológico.

Por otro lado, el incremento del déficit hídrico, especialmente relevante en las zonas rurales del interior de Extremadura, en los meses de verano y otoño facilitará los procesos de contaminación del agua por concentración excesiva de plaguicidas, fertilizantes y patógenos pudiendo favorecer la transmisión de enfermedades por el agua o los alimentos, entre otros impactos. De igual modo, cuanto menor es el agua disponible, mayor es la concentración mineral y en consecuencia aumenta la dureza de las aguas, lo que puede afectar a la calidad de la misma para abastecimiento y riego. Teniendo en cuenta estas condiciones más negativas, habrá que incidir en el seguimiento y vigilancia de las aguas a fin de garantizar el cumplimiento de la legislación en materia de calidad de aguas. Asimismo, la pérdida de calidad del agua asociada a un menor volumen de agua circulante, que se traduce en impactos para los ecosistemas y los intereses económicos regionales, se producirá previsiblemente bajo ambos escenarios de emisiones; a pesar de que bajo B2, a diferencia de lo que ocurre en A2, se aplicarán políticas orientadas a la adaptación al cambio y se seguirán los principios de prevención en la administración integrada del recurso, no se observan diferencias sustanciales entre ambos futuros.

La magnitud del cambio de los procesos del ciclo hidrológico es tan importante, que no parece, *a priori*, que la efectividad de las medidas tomadas en consideración sea la deseada. De este modo una mala calidad del agua se traducirá igualmente en un sobre coste de los sistemas de potabilización y depuración, por lo que los actuales sistemas de control de la calidad hídrica deberán ser necesariamente actualizados a las necesidades futuras, incorporando nuevos puntos de control o incrementando la periodicidad de las medidas.

### **7.3. Eventos meteorológicos extremos y vulnerabilidad de los recursos hídricos.**

En el Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Seguros y Riesgos Naturales, se analiza la vulnerabilidad del territorio extremeño frente a distintos procesos naturales con elevada capacidad de generar impactos. Entre estos eventos meteorológicos extremos, y en relación con los recursos hídricos, pueden citarse las lluvias torrenciales, las inundaciones y las sequías. En el presente apartado se analiza la posible evolución de estos tres procesos ambientales en el marco del cambio climático para el conjunto del territorio extremeño.

#### **7.3.1. Análisis de lluvias torrenciales**

Desde el punto de vista de los recursos hídricos, los procesos de lluvias torrenciales son relevantes por varios motivos. Por un lado, las fuertes tormentas son precursoras de fenómenos de torrencialidad que pueden afectar severamente a las infraestructuras hidráulicas como los embalses, presas, o estaciones depuradoras de aguas residuales, y por otro lado el desbordamiento de los ríos a causa de lluvias extremas provoca inundaciones. Además, la violencia de las lluvias puede provocar alteraciones en los

cauces de los ríos y sus lechos, generando daños en la vegetación y el suelo y arrastrando gran cantidad de sedimentos.

Los impactos asociados a dichos fenómenos se manifiestan mediante la alteración de los ecosistemas riparios y fluviales, así como en la colmatación progresiva de los embalses, si bien en la Cuenca del Guadiana, los efectos de colmatación serían menores. Con objeto de evaluar la vulnerabilidad extremeña frente a lluvias torrenciales se ha realizado una estimación de la evolución temporal de la dinámica de lluvias torrenciales en el territorio autonómico mediante el análisis de indicadores que informan del número de episodios de elevadas precipitaciones en un día o varios días consecutivos.

En primer lugar, se determina la evolución del número de días de superación de un determinado volumen de precipitación característico de lluvias intensas, y para ello, se cuenta con la base de datos de precipitación diaria registrada en cada estación pluviométrica tanto del periodo de referencia 1961-1990 como de los periodos 2011-2040 y 2041-2070 bajo ambos escenarios de emisiones.

El principal problema metodológico encontrado es que el dato de lluvia suministrado por AEMET es relativo a la precipitación acumulada en 24 horas ( $P_{24}$ ) mientras que, por definición la lluvia torrencial es aquella en la que se superan la cantidad de 60 mm recogidos en una hora. Ahora bien, dado que es inviable conocer el dato horario, se han planteado una serie de indicadores de valor de lluvia acumulada en el día, que permiten de manera orientativa, detectar episodios de lluvias intensas. De esta manera, se puede establecer una comparativa de los valores de dichas variables entre los distintos periodos que permita inferir la existencia o no de cambios en la dinámica de lluvias severas en un marco de clima cambiante.

Asimismo, para evaluar la incidencia de las lluvias torrenciales en la región, se ha analizado, en los tres periodos temporales y para todas las estaciones pluviométricas consideradas, la frecuencia de ocurrencia de seis diferentes indicadores, diseñados con objeto de informar del régimen de lluvias intensas, y concretamente, se ha contabilizado:

- el número de días en los que la lluvia acumulada en el día ( $P_{24}$ ) es mayor que 60 mm.
- el número de días en los que la lluvia acumulada en el día ( $P_{24}$ ) es mayor que 100 mm.
- el número de días en los que la lluvia acumulada en el día ( $P_{24}$ ) es mayor que 128 mm.
- el valor máximo de precipitación recogida en 24 horas del periodo.
- el número de episodios de tres o más días consecutivos en los que  $P_{24}$  es mayor que 60mm.
- el número de episodios de dos o más días consecutivos en los que  $P_{24}$  es mayor que 100mm.

A pesar de que estos indicadores descritos, no sean de uso habitual para el estudio de la torrencialidad de la lluvia, se considera que si dan información sobre episodios de abundante precipitación que

podieran tener impactos negativos sobre la sociedad y la economía extremeña, tanto en un solo día como en episodios de varios días de duración (Tabla 16).

**Tabla 16. Evolución temporal de la ocurrencia de episodios de lluvias torrenciales a través de los indicadores de caracterización de la precipitación (Brunet *et al.*, 2009).**

INDICADORES	1961-1990	Escenarios	2011-2040	2041-2070
Días con $P_{24} > 128$ mm	13	A2	7	6
		B2	14	15
Días con $P_{24} > 100$ mm	76	A2	53	49
		B2	71	68
Días con $P_{24} > 60$ mm	1.763	A2	1.335	1.090
		B2	1.257	1.495
Episodios de 2 ó más días consecutivos con $P_{24} > 100$ mm	0	A2	2	0
		B2	1	1
Episodios de 3 ó más días consecutivos con $P_{24} > 60$ mm	6	A2	5	1
		B2	3	4
$P_{24}$ máxima del periodo	166	A2	163	145
		B2	158	154

En términos generales, los resultados obtenidos no permiten inferir una variación sustancial de la ocurrencia de lluvias torrenciales en el futuro, ni en el periodo 2011-2040 ni en el 2041-2070 bajo ninguno de los dos escenarios considerados.

Analizando con más detalle los resultados, se puede apreciar una diferencia en la evolución de los indicadores en función del escenario de emisiones considerado. Así, bajo el escenario A2, el conjunto de los indicadores refleja una reducción en el número de episodios de lluvias acumuladas en 24 horas, para los días en los que se rebasan los 60, 100 y 128 mm. Esta dinámica a la baja es especialmente acentuada en el primer periodo, esto es, entre 1961-1990 y 2011-2040. Entre los periodos 2011-2040 y 2041-2070, la tendencia sigue siendo a una reducción en la frecuencia pero de forma menos intensa.

En cuanto a los episodios de días consecutivos con lluvias por encima de los 60 y 100 mm, apenas existen diferencias entre los distintos periodos por lo que no se considera que los indicadores reflejen un cambio en dicho comportamiento de las precipitaciones. Bajo el escenario de emisiones B2, las precipitaciones son más abundantes que en A2; a diferencia de éste los valores de frecuencias de  $P_{24}$  son parecidos a los del periodo de referencia y no se observan cambios sustanciales entre el primer tramo del siglo XXI y el periodo de mediados de siglo. Es interesante reseñar que en valores absolutos los datos de superación de 60 mm diarios se reduce respecto del periodo de referencia, sobre todo en el periodo 2011-2040, mientras que la frecuencia de superación de los 100 mm se mantiene estable y los días en los que se rebasan los 128 mm, aumentan ligeramente. Estos datos pueden estar confirmando la predicción de que a consecuencia del cambio climático, el régimen de lluvias se alterará de tal

manera que existirán más episodios de precipitación de elevada intensidad alternados con largas temporadas de menor lluvia que en el periodo 1961-1990. De hecho, el valor absoluto de la máxima del periodo es similar en los tres periodos bajo los dos escenarios.

Especialmente, la mayor parte de los sucesos de lluvias intensas ocurren en las zonas más montañosas de Extremadura, principalmente en las sierras que conforman el Valle del Jerte (Sierra de Tormantos y Montes de Trasierra), la sierra norte (Sierra de la Peña de Francia) y las sierras de Tentudía y San Salvador al sur. Este patrón espacial que se repite tanto para el periodo 1961-1990 como en 2011-2040 y 2041-2070, afecta especialmente a las ZR I, III y XII, y las estaciones que en mayor número de ocasiones superan los valores límite de los indicadores empleados corresponden a algunas de las ubicadas en las ZR I, III, V y, alguna de las ubicadas en la zona rural XII.

En conclusión, el análisis del proceso de lluvias torrenciales mediante indicadores que ayuden a caracterizar la ocurrencia de episodios de lluvias intensas y/o prolongadas no permite inferir cambios sustanciales en la dinámica espaciotemporal de las mismas. A tenor de los resultados presentados, cabe esperar que los incidentes que se provocan en la actualidad cuando las lluvias son muy intensas, se manifiesten al menos con la misma intensidad en el futuro.

### **7.3.2. Análisis de inundaciones**

Según el Informe de Evaluación Preliminar de Riesgo de Inundación en la D.H del Tajo (EPRI), existen en la región 54 municipios, todos en la provincia de Cáceres, enmarcados como Áreas de Riesgo de Potencial Significativo de Inundación (ARSPI's), con una longitud total de 142,95 km (EPRI, 2012).

En el ámbito de la D.H. del Guadiana, de acuerdo con el de Evaluación Preliminar de Riesgo de Inundación en la D.H del Guadiana (EPRI), existen varias áreas con riesgo potencial significativo de inundaciones (ARPSI's), concretamente 4 Poblaciones en la provincia de Cáceres y 28 en la provincia de Badajoz, que suman una longitud total de 294,30 km (EPRI, 2012).

Se ha realizado una aproximación al riesgo de inundaciones a partir de los datos de precipitación en los distintos periodos y escenarios considerados, siendo las características definitorias de las lluvias la intensidad, la duración y la extensión. Podemos establecer que existen dos tipos de lluvias que pueden generar inundaciones como son, las precipitaciones intensas en pequeños lapsos temporales y las lluvias moderadas pero prolongadas en el tiempo. Dado que los datos de precipitación disponibles son diarios, no es posible evaluar la vulnerabilidad frente a las lluvias intensas y de corta duración; así, para evaluar la vulnerabilidad del territorio extremeño ante episodios capaces de generar inundación, se han considerado únicamente las lluvias persistentes mediante el cómputo del volumen de lluvia recogida en 24 horas.

Según la AEMET, en Extremadura, el umbral definido, para las lluvias persistentes para un período de 12 horas es de 60 l/m<sup>2</sup>, por lo que los datos empleados son los calculados en el apartado de lluvias torrenciales, relativo a número de días en el periodo en los que se superan 60 mm en un día. Para darle claridad a los datos, éstos se han organizado por rangos de diez episodios de superación del umbral (precipitación en 24 horas superior a 60 mm) y los resultados se han cartografiado para cada uno de los periodos de treinta años considerados (1961-1990, 2011-2040 y 2040-2070), asimismo ha de tenerse en cuenta que las estaciones pluviométricas en las que en ninguna ocasión se han recogido más de 60 mm en 24 horas no aparecen representadas (Mapa 23).

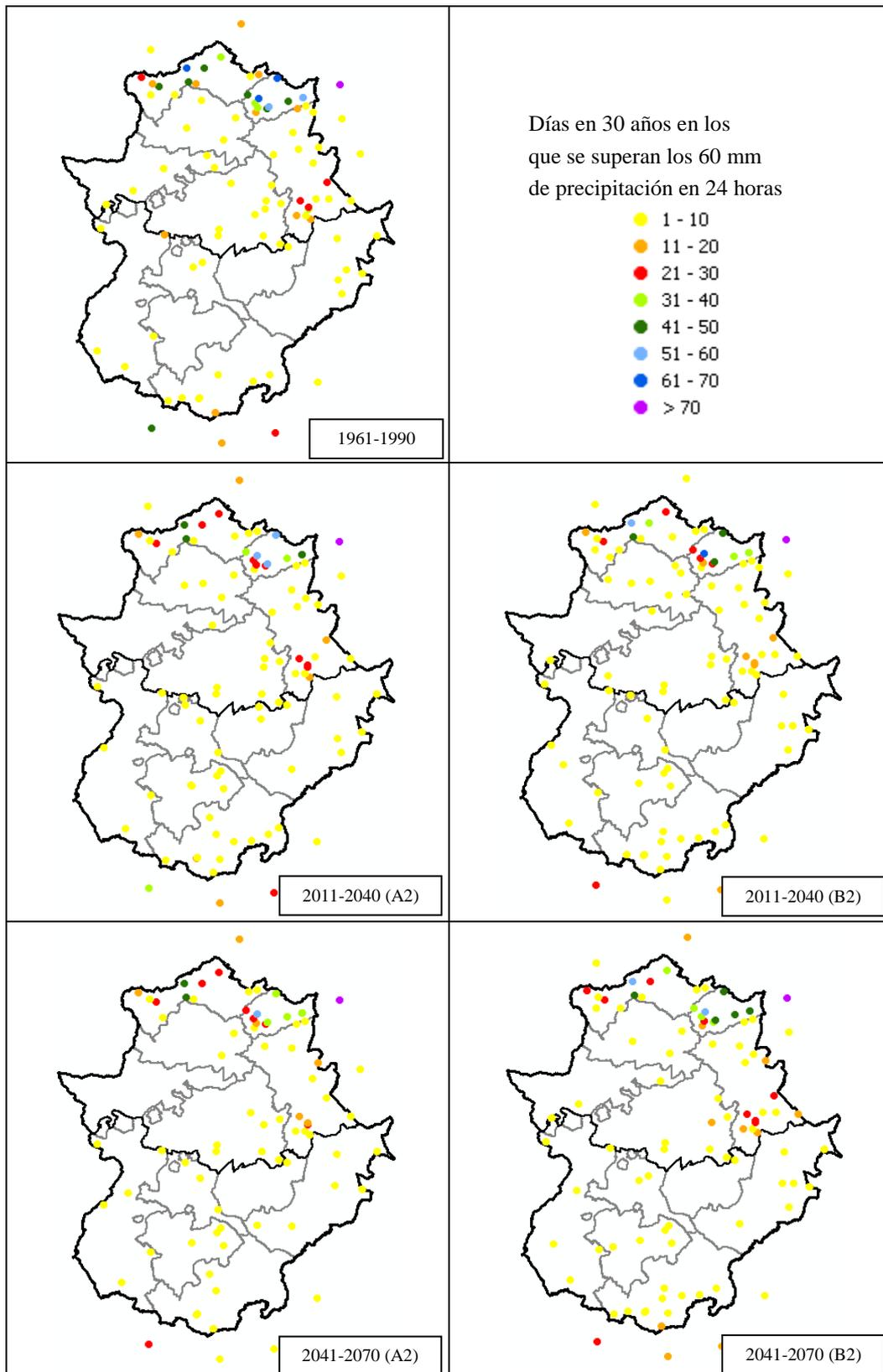
En el periodo de referencia 1961-1990, en las áreas montañosas de las ZR I y III es donde suceden con mayor frecuencia las lluvias compatibles con inundaciones fluviales y desbordamientos de ríos. Las características geomorfológicas de estas áreas con elevada pendiente y valles estrechos favorecen la rápida concentración de la lluvia en los fondos de los valles, y como consecuencia se prevé que en los puntos de desagüe se produzcan inundaciones. Adicionalmente, se observa que conforme avanza el siglo XXI, tanto bajo el escenario de emisiones A2 como bajo el B2, no se producirán modificaciones substanciales de las áreas de mayor recurrencia de lluvias compatibles con inundaciones.

### **7.3.3. Análisis de la sequía**

La sequía, como fenómeno meteorológico extremo depende del régimen de precipitaciones, siendo la duración e intensidad de las lluvias las características esenciales de la misma. Para la caracterización de la sequía se ha empleado, el método de los quintiles desarrollado por la Agencia Estatal de Meteorología (Fernández F., 1995), que consiste en clasificar el régimen de sequía de un determinado año asignando dicho carácter en función del comportamiento de las precipitaciones a lo largo de un periodo de treinta años (Tabla 17). Así mediante este proceso se determina el escenario previsto de sequía en los periodos 2011-2040 respecto del periodo de referencia 1961-1990 y 2041-2070 respecto del periodo 2011-2040 bajo los escenarios de emisiones A2 y B2, de modo que el análisis realizado permite estimar la intensidad y la variabilidad espacial de la sequía en las distintas zonas rurales de Extremadura en dos momentos temporales distintos.

**Tabla 17. Método de los quintiles para calcular la sequía (Fernández F., 1995).**

<b>Clasificación del año</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Quintila</b>
Muy seco	0 – 20%	Inferior a la 1 <sup>a</sup>
Seco	20 – 40%	Entre la 1 <sup>a</sup> y la 2 <sup>a</sup>
Normal	40 – 60%	Entre la 2 <sup>a</sup> y la 3 <sup>a</sup>
Húmedo	60 – 80%	Entre la 3 <sup>a</sup> y la 4 <sup>a</sup>
Muy Húmedo	80 – 100%	Superior a la 4 <sup>a</sup>



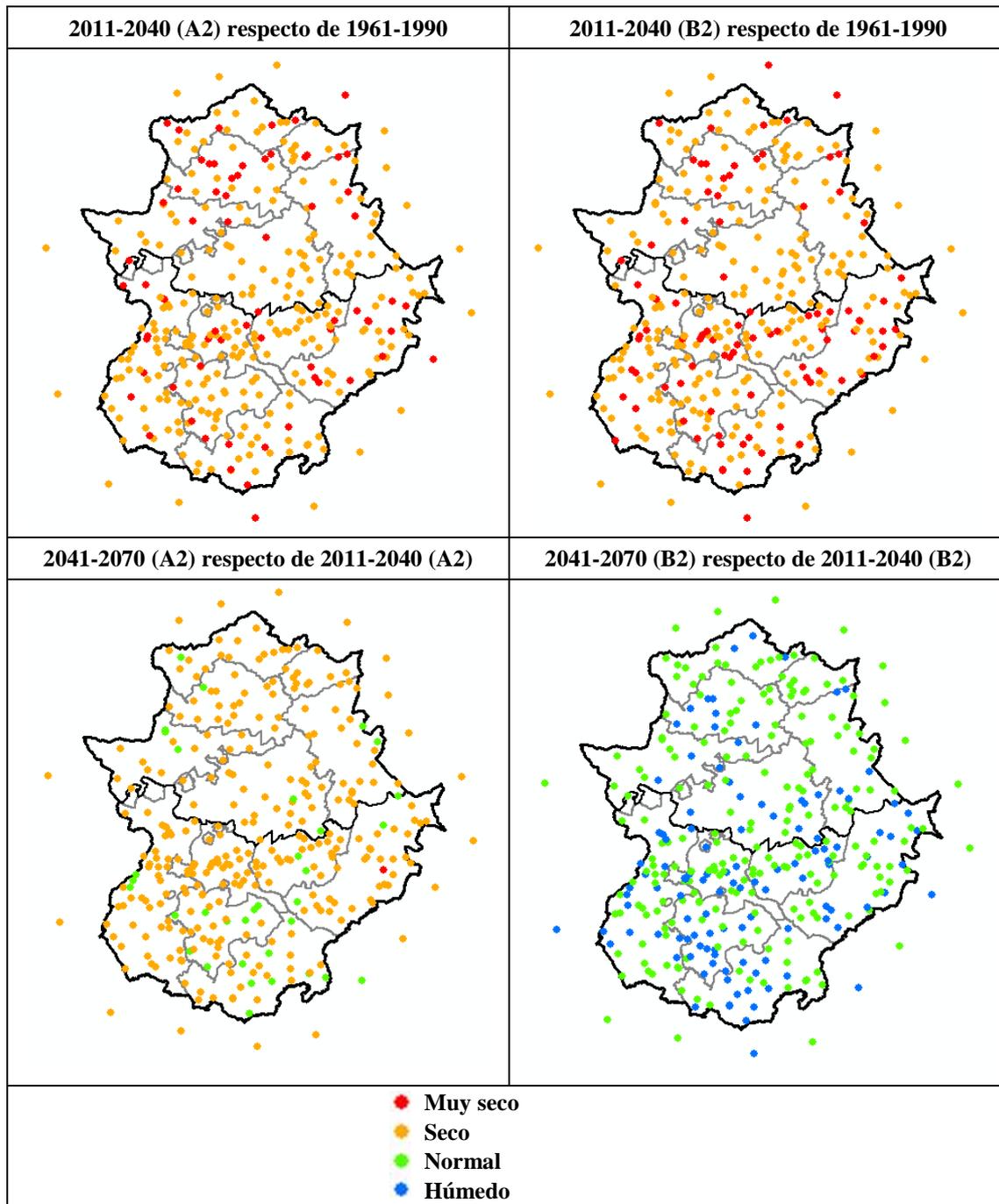
Mapa 23. Evolución espacio-temporal de la precipitación (mm) que se registra al menos una vez al año, en cada estación, de acuerdo a la distribución de frecuencias de lluvias extremas en Extremadura (Brunet *et al.*, 2009).

Los valores obtenidos mediante la aplicación del método han sido cartografiados de modo que puedan establecer de un modo claro el carácter de la sequía en el siglo XXI (Mapa 24), y en los mismos se representan los datos de las estaciones pluviométricas analizadas.

Así, en la primera parte del siglo XXI, se observa que bajo ambos escenarios de emisiones, la totalidad de las estaciones pluviométricas indican que el periodo transcurrirá entre seco y muy seco respecto a la situación que se tiene del periodo de referencia. Asimismo, bajo el escenario B2, el 27% de las estaciones presentará un año muy seco respecto del periodo de referencia, mientras que bajo A2 el valor es algo inferior situándose en torno al 20%.

En conjunto, la distribución de las estaciones con un carácter muy seco es similar en ambas situaciones, ubicándose en las ZR I y II en la provincia de Cáceres, y en las ZR VII, IX, XI y XII en la provincia de Badajoz. Por otra parte, en el periodo 2041-2070 existe un comportamiento bastante diferente entre los dos escenarios analizados, ya que por un lado, bajo el escenario A2, las estaciones presentan un comportamiento principalmente seco respecto del periodo 2011-2040, de hecho en el 89% de las estaciones el periodo será seco respecto del periodo 2011-2040, siendo en el 10% de pluviometría anual normal. Por lo tanto, se puede considerar que bajo el escenario de emisiones A2, el análisis de quintiles permite inferir un aumento paulatino a lo largo del siglo XXI de la sequía, observable tanto en la primera parte del siglo como en la segunda. Por el contrario, bajo el escenario de emisiones B2, se observa que dos tercios de las estaciones presentarán un comportamiento pluviométrico normal en 2041-2070 respecto del periodo precedente, siendo el otro tercio más húmedo que en el promedio del periodo 2011-2040.

En términos generales, las regiones con mayor pluviometría anual son las que mantienen el régimen de precipitación anual en el mismo orden de magnitud que en el periodo 2011-2040, siendo las zonas dónde más escasas son las precipitaciones en ese periodo, las que pasarán a ser más húmedas. Se puede concluir que bajo el escenario de emisiones B2, se espera que el régimen de sequía en Extremadura se endurezca entre los años 2011 y 2040 pero que se haga más suave a partir de entonces y hasta 2070.



Mapa 24. Comparativa cartográfica de la evaluación de la sequía en Extremadura (Brunet *et al.*, 2009).

Respecto del conjunto de los fenómenos meteorológicos extremos comentados, es necesario hacer una consideración sobre la influencia en las infraestructuras hidráulicas. Por ello, tanto las tormentas extremas como las fuertes avenidas e inundaciones podrían provocar un impacto sobre los materiales de construcción de los embalses, estaciones depuradoras, sistemas de distribución, etc. de este modo se supone que a mayor exposición de dichas infraestructuras a eventos severos, mayores serían las complicaciones que pueden ocurrir en su funcionamiento (fatiga, abrasión, agrietamiento, desgaste), y por ende, mayor sería el coste de mantenimiento.

De acuerdo con los resultados mostrados, bajo el escenario de emisiones A2, no parece que vaya a producirse un empeoramiento de la dinámica de tormentas e inundaciones respecto del periodo actual, por lo que los cálculos de resistencia y eficacia de las infraestructuras hidráulicas serán válidos en el futuro. Por el contrario, bajo B2, sobre todo en las zonas rurales montañosas (ZR I, III y V), se prevé un ligero incremento en la frecuencia de dichos fenómenos, lo que puede suponer una presión extra sobre las presas, embalses y otras infraestructuras.

Asimismo, periodos prolongados de sequía y sequedad ambiental, acompañados de elevadas temperaturas, podrían producir un desgaste pronunciado de materiales de obra y construcción. El incremento de las sequías meteorológicas previstas en el periodo 2011-2040 respecto del periodo de referencia, bajo ambos escenarios, y en 2041-2070 bajo el escenario A2, indica que tanto embalses como infraestructuras de captación, transporte y depuración de aguas estarían más expuestas a estas circunstancias. De todo ello se deduce que a mayor exposición, mayor sería la vulnerabilidad de las infraestructuras y, por tanto, más posibilidad de que se generen impactos por efecto del cambio climático.

#### **7.4. Principales conclusiones de la evaluación de la vulnerabilidad**

Los resultados obtenidos del análisis del ciclo hidrológico en Extremadura en el marco del cambio climático manifiestan un significativo descenso de la disponibilidad hídrica y, por tanto, de la capacidad de hacer frente a las demandas futuras. En términos generales, el incremento de la temperatura va a inducir un aumento de la capacidad desecante de la atmósfera, reduciendo la cantidad de agua en el suelo y en las plantas a través de la evapotranspiración, aunque este efecto se dará en verano. Por su parte, la reducción proyectada en las precipitaciones, van a provocar que la entrada de agua en las cuencas disminuya, limitando tanto la reserva de agua en el suelo como su circulación hacia reservorios subterráneos mediante la infiltración, como derivando el agua hacia sistemas de almacenamiento artificiales en superficie a través de la escorrentía.

Esta reducción de la disponibilidad hídrica va a registrarse en todo el territorio de Extremadura, aunque será especialmente sensible en el interior la D.H. Tajo (ZR IV, V y VI). Esta demarcación hidrográfica tiene un importante peso en la demanda de agua tanto para abastecimiento como para agricultura, por lo que es probable que puedan producirse impactos negativos por falta de recurso en determinadas circunstancias.

En relación con los eventos meteorológicos extremos, se prevé un incremento de los episodios de sequía, especialmente bajo el escenario A2, que afectarán al conjunto del territorio. Estos periodos determinan una reducción importante en la disponibilidad de los recursos hídricos en régimen natural

y, por tanto, complicaciones a la hora de satisfacer la demanda de agua a los distintos sectores de actividad.

Por su parte, las lluvias torrenciales, que sucederán más frecuentemente en el futuro bajo el escenario de emisiones B2, podrán provocar inundaciones en las zonas de relieve más pronunciado, tales como las ZR I, III, V y XII. Estos fenómenos dificultan el aprovechamiento del recurso hídrico debido a la virulencia y el breve lapso temporal con la que se desarrollan podrían provocar, además, problemas de afecciones a las infraestructuras.

No obstante, a falta de estudios específicos que relacionen los efectos del cambio climático y el daño en embalses, sistemas de distribución, potabilización y depuración, es difícil, establecer la vulnerabilidad de las mismas frente a los cambios previstos. Los actuales planes de seguridad existentes frente a lluvias torrenciales o sequías habrán de marcar la pauta de las políticas de prevención y adaptación, aunque deberán ser revisados con periodicidad para incorporar el nuevo conocimiento que se vaya generando en relación con el cambio climático.

En las zonas rurales de montaña de mayor déficit hídrico como son las ZR I, III, V, hay embalses fluviales que se verán más expuestos a los cambios del clima. En estas regiones se debe de focalizar los esfuerzos para la adaptación, dada la relevancia de dichos embalses para flexibilizar la oferta de agua y proteger a la población de los efectos perniciosos de las inundaciones.

Por otro lado, la pérdida de calidad del agua, que se traduce en impactos para los ecosistemas y los intereses económicos regionales, se producirá previsiblemente bajo ambos escenarios de emisiones, aunque, a diferencia de lo que sucede en A2, bajo el escenario B2 se aplicarán políticas orientadas a la adaptación al cambio y se seguirán los principios de prevención en la administración integrada del recurso, por lo que no se observan diferencias sustanciales entre ambos escenarios futuros.

La magnitud del cambio de los procesos del ciclo hidrológico es tan importante, que no parece, a priori, que la efectividad de las medidas tomadas en consideración sea la deseada. Una peor calidad del agua se traducirá igualmente en un sobrecoste de los sistemas de potabilización y depuración. Los actuales sistemas de control de la calidad hídrica deberán ser necesariamente actualizados a las necesidades futuras, incorporando nuevos puntos de control o incrementando la periodicidad de las medidas.

## 8. MEDIDAS Y OPCIONES DE ADAPTACIÓN

El objetivo esencial de la planificación hidrológica es garantizar a largo plazo la disponibilidad en cantidad y calidad suficiente del recurso hídrico para los distintos usos, basándose para ello en políticas de ahorro y depuración, y estableciendo, simultáneamente, medidas para mejorar el control público en el uso y la calidad del agua, así como para favorecer el cumplimiento de la normativa europea en lo que se refiere tanto a la sostenibilidad ambiental como a la necesaria racionalidad económica de la acción pública en la gestión del agua.

Como hemos explicado con anterioridad, el cambio climático es un notable motor de cambio para la gestión de los recursos hídricos pues puede suponer una alteración importante de los ecosistemas, del ciclo del agua y de las posibilidades de satisfacer en el marco de la sostenibilidad, las necesidades futuras en calidad y cantidad suficientes. Por este motivo, el presente Plan de Adaptación al Cambio Climático de los Recursos Hídricos en Extremadura se adecua a los postulados establecidos en la *Directiva Marco del Agua* (DOUE 327, del 22 de diciembre de 2000).

De acuerdo con los resultados presentados y considerando el rol central del agua es previsible que los impactos derivados del cambio climático sean intensos y tengan, además, efectos directos e indirectos sobre el resto de sectores de actividad. En este contexto, las políticas de adaptación al cambio climático son determinantes para minimizar la incidencia futura del cambio de clima sobre las sociedades, el medio ambiente y los intereses económicos. Así, una vez analizados los escenarios regionalizados de cambio climático para la región, se han descritos los principales impactos derivados de la variación del régimen termopluviométrico sobre la disponibilidad (CEDEX 2011); asimismo hemos evaluado los cambios esperables en los distintos procesos del ciclo hidrológico, las infraestructuras y la calidad del agua, e identificado las repercusiones sobre la sociedad y la economía de Extremadura. Pues bien, en base a todo ello, se plantean en el siguiente apartado, medidas y opciones de adaptación que permitan, una vez implementadas, reducir la vulnerabilidad del sector, mejorar la capacidad de respuesta a la demanda y minimizar los impactos.

En términos generales, el objetivo de las medidas de adaptación para el sector de los recursos hídricos son, por un lado, la preservación de las estructuras ecosistémicas que regulan el ciclo hidrológico y que determinan su disponibilidad y calidad; y por otro, su uso eficiente.

Esta política adaptativa de los recursos hídricos de Extremadura debe ser en todo caso flexible y modificable en el tiempo. Asimismo, a medida que se vayan haciendo notar los efectos del cambio climático en los recursos hídricos, y en función de la realidad social, ambiental, económica y política de la región en cada momento, se deberá ajustar el balance entre disponibilidad y demanda en el marco de la sostenibilidad. En este sentido, una política previsoras en el ámbito hidrológico permitirá

adelantarse a los problemas de escasez del recurso y plantear soluciones en tiempo, mientras que no realizar previsiones puede desembocar en una toma de decisiones precipitadas e irreflexivas que puedan conllevar pérdidas económicas, ambientales e, incluso, conflictos territoriales.

Cabe señalar, además, la dificultad de la definición de determinadas medidas, derivado tanto de las limitaciones conceptuales comentadas en la presente memoria, como de las incertidumbres asociadas a los modelos y al propio sistema climático lo que complica, no solo la definición de medidas adecuadas, sino también su posible aplicación real y efectiva.

Así, con objeto de facilitar la presentación de las opciones de adaptación al cambio climático, se han organizado las medidas en programas temáticos. Por otro lado, considerando las incertidumbres existentes relativas a la magnitud y velocidad del cambio climático, sus repercusiones sobre el ciclo del agua, su calidad y el efecto del cambio en la disponibilidad del recurso sobre los ecosistemas y la socioeconomía extremeña, resulta imprescindible contar con herramientas que permitan mejorar la caracterización de los cambios ambientales y de los impactos derivados del cambio en el clima, y por ello, se presentan también necesidades detectadas en el ámbito de la investigación y de la monitorización.

Por todo lo anterior, las propuestas de adaptación contempladas en el documento presentan un carácter general para el conjunto de Extremadura, y pretenden servir de elementos de referencia y reflexión a los agentes regionales implicados para la futura puesta en marcha de planes y medidas de adaptación concretas.

En términos generales, existen dos grupos de factores que inciden directamente en la cantidad y calidad de los recursos hídricos disponibles, y son los relacionados con el clima como son la precipitación, evaporación, etc., que son difícilmente modificables, y aquellos relacionados con el manejo del recurso como los sistemas hidráulicos, gestión de la demanda, etc. Por este motivo, las principales opciones adaptativas deben orientarse prioritariamente hacia estos últimos, tratando de optimizar el uso del agua, mejorar el sistema de los recursos hidráulicos, adaptar la gestión, en particular del agua subterránea, y aumentar el uso de recursos no convencionales de captura de agua pluvial o rocío, los trasvases entre cuencas, la desalación y reutilización (Iglesias *et al.*, 2005) y la construcción de nuevos sistemas de almacenamiento artificial que retengan agua en momentos de fuertes aportaciones regularizando el ciclo hidrológico.

## 8.1. Programas de Adaptación

PROGRAMA 1: AUMENTO DE LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE RETENCIÓN DE AGUA Y ALMACENAMIENTO EN EPOCAS DE GRANDES APORTACIONES

**Objetivos:** Incrementar el volumen de agua presente en la fase terrestre del ciclo hidrológico para reducir el riesgo de que se produzcan situaciones de escasez de recurso, regularizando el ciclo hidrológico.

**Impacto al que va dirigido:** Disminución de la disponibilidad hídrica.

Las proyecciones de los modelos climáticos para el siglo XXI en Extremadura muestran una combinación de ascenso térmico generalizado y reducción de las precipitaciones anuales que determinarán con elevada probabilidad una reducción en la disponibilidad de agua (CEDEX 2011). Como consecuencia de las menores precipitaciones y más evapotranspiración, se generarán suelos más secos, una menor infiltración hacia reservas subterráneas y una menor escorrentía superficial. Esta reducción en la disponibilidad de agua, que será más intensa en la D.H. Tajo y en el segundo semestre del año, desembocará en impactos negativos sobre la vegetación y los ecosistemas y determinará una reducción del volumen de recurso hídrico utilizable para abastecimiento, riego, usos industriales, de ocio, etc.

El objetivo general del programa consiste en incrementar la cantidad de agua que entra en el sistema, esto es, el volumen de agua que puede aprovecharse una vez precipitado y descontadas las pérdidas por evapotranspiración, ya que al aumentar el agua disponible en la tierra, mejorará la respuesta a la demanda. Estos objetivos se alcanzarán mediante dos mecanismos, uno dirigido a fomentar los procesos ecológicos que favorecen la captación de agua y reducen su rápida evapotranspiración, y por otro a desarrollar técnicas e implementar la captación de aguas pluviales.

### Documentos de referencia

Se recogen a continuación los principales documentos de referencia vigentes que determinan el marco conceptual y metodológico actual en relación con la gestión del ciclo del agua, y que deben tenerse en cuenta a la hora de desarrollar las medidas de adaptación en Extremadura. En la medida de lo posible, se han organizado los documentos referidos por su carácter internacional, nacional y regional y por su orden de aparición.

- La *Directiva Marco del Agua 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000* (DOUE nº 327, del 22 de diciembre de 2000) establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Mediante esta Directiva, la Unión Europea organiza la gestión de las

aguas superficiales, continentales, de transición, aguas costeras y subterráneas, con el fin de prevenir y reducir su contaminación, fomentar el uso sostenible, proteger el medio acuático, mejorar la situación de los ecosistemas acuáticos y paliar los efectos de las inundaciones y de las sequías.

- El *Libro Blanco del Agua en España* (MMA, 2000) determina el marco conceptual de la gestión del agua en España, y entre sus objetivos está fundar las bases para estimar la evolución previsible y establecer opciones y prioridades en el uso del agua en el futuro.

- El *Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas* (BOE nº 176, del 24 de julio de 2001) que regula el dominio público hidráulico, el uso del agua y el ejercicio de las competencias atribuidas al Estado en las materias relacionadas con dicho dominio en el marco de las competencias delimitadas en el artículo 149 de la Constitución. Asimismo, establece las normas básicas de protección de las aguas continentales, costeras y de transición.

- El *Plan Hidrológico Nacional*, aprobado por la *Ley 10/2001*, de 5 de julio (BOE nº161, de 6 de julio de 2001), modificado por la *Ley 11/2005* (BOE nº 149, de 23 de junio de 2005), fija los elementos básicos de coordinación de los Planes Hidrológicos de cuenca, la solución para las posibles alternativas que aquéllos ofrezcan, la previsión y las condiciones de las transferencias de recursos hidráulicos entre ámbitos territoriales de distintos Planes Hidrológicos de cuenca y las modificaciones que se prevean en la planificación del uso del recurso y que afecten a aprovechamientos existentes para abastecimiento de poblaciones y regadíos.

Los planes de cuenca, tanto los vigentes como los que están en tramitación marcan la estrategia a largo plazo de la gestión del agua en sus ámbitos territoriales. Se indican las prioridades de uso así como las medidas a establecer para mejorar la eficiencia en el uso de agua y la captación de agua.

- *Plan Hidrológico de la Cuenca del Tajo* aprobado mediante el *Real Decreto 1664/1998*, de 24 de julio (BOE nº191, de 11 de agosto de 1998).

-*Plan Hidrológico del Guadiana I* (Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio, BOE 191 de 11 de agosto de 1998).

- *Nuevo Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadiana* (Pendiente solo de aprobación R.D. y publicación en BOE).

-*Plan Hidrológico de Cuenca de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir* (Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio, BOE 191 de 11 de agosto de 1998).

- *Nuevo Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir* (Pendiente solo de aprobación R.D. y publicación en BOE).

- *Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo. Tercer Informe de seguimiento de la Comunicación sobre la escasez de agua y la sequía en la Unión Europea* (Comisión Europea, 2011). Orientado hacia la gestión integrada del agua, hace especial hincapié en la coordinación de políticas para la reducción de los impactos de las sequías en los estados miembro.

- *Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones*: “Plan para salvaguardar los recursos hídricos de Europa”

- *Programas Operativos de Fondos Europeos* (MTIS, 2006). Los fondos europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y de Cohesión tienen como objetivo la financiación de actuaciones que contribuyen a reforzar la cohesión económica y social de la Unión Europea. Una de las áreas prioritarias de los fondos europeos es la mejora de la dotación de infraestructuras ambientales que optimicen la gestión de los recursos hídricos en el marco del desarrollo sostenible.

- *Plan Forestal de Extremadura* (PFEx) (Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, 2003). La política forestal del Gobierno de Extremadura fija como finalidad principal la optimización funcional de los ecosistemas forestales, de modo que, a través de una planificación de la totalidad del sector, se garantice su desarrollo sostenible, desde la triple vertiente ambiental, social y económica. El Plan Forestal de Extremadura es un instrumento de gestión, que desde el consenso político y social, pretende, entre otros objetivos, perfeccionar el aprovechamiento de los recursos naturales y mejorar la comercialización de los productos derivados, optimizar la gestión de los terrenos forestales y conservar los espacios de interés y la diversidad biológica.

### **Descripción**

Este programa contiene aquellas medidas destinadas a proteger los ecosistemas terrestres y acuáticos continentales de cuya integridad ecológica depende el adecuado funcionamiento del ciclo del agua. El tiempo de permanencia del agua que precipita en una cuenca depende de una serie de factores, como son el tipo de vegetación y su cobertura, el espesor y granulometría de los suelos, la geomorfología, el porcentaje de suelo no urbanizado, etc. Cuanto mayor es el tiempo de permanencia, ya sea en la vegetación, en el suelo, en ríos, lagos o embalses o en reservas subterráneas, mayor es el uso que se hace del recurso, ya sea por el crecimiento vegetal, o por el aprovechamiento para actividades económicas consuntivas o no. A la inversa, en cuencas con una amplia superficie impermeabilizada de suelo y escasa cobertura vegetal, el agua fluye muy rápido aguas abajo o hacia la atmósfera y puede ser usada menos tiempo. Por tanto, favoreciendo unas condiciones ambientales en las que el agua

permanezca más tiempo en una cuenca, se mejorará la posibilidad de hacer frente a la demanda y se reducirán los problemas de desabastecimiento y escasez. En este sentido, los bosques juegan un papel importante en la prevención y corrección del fenómeno torrencial. Se trata en definitiva de aprovechar mejor el agua de precipitación, aumentando la reserva de agua en el suelo y en las plantas, reduciendo la evapotranspiración y facilitando los procesos de escorrentía superficial e infiltración profunda.

Por otro lado, la puesta en marcha de sistemas de captación y almacenamiento de agua pluvial tiene un efecto similar en materia de retención de agua, pues favorecen que el recurso que ha entrado verticalmente en el sistema pueda ser aprovechado al evitarse su rápida evaporación o transpiración vegetal. Por ello, en el presente programa se plantean medidas de captación en distintos ámbitos de actividad.

Las actuaciones de reforestación consiguen aumentar la superficie forestal, lo que podría redundar en un aumento de los recursos hídricos disponibles, puesto que con ello se consigue reducir la erosión de los suelos, disminuir la frecuencia e intensidad de las crecidas en las cuencas de pequeño tamaño y mejorar los recursos superficiales y subterráneos. Aunque por otro lado, la retención en tierra y plantas supone el aumento de la evapotranspiración y la reducción de agua útil. Sería necesario desarrollar estudios que avalasen estas teorías. A pesar de este posible incremento de la interceptación y la transpiración vegetal, el agua circulante por terrenos forestales es más fácilmente utilizable al reducirse en consideración la escorrentía superficial (Tabla 18). El Plan Forestal de Extremadura, en su séptimo Programa Operativo ahonda en algunas medidas que pueden ser sinérgicas con los objetivos del Plan de Adaptación (corrección en cuencas con problemas de inundación, control de la erosión y restauración de cauces y riberas).

**Tabla 18. Programa 1. Medida 1.1. Actuaciones encaminadas a garantizar la integridad ecológica de los ecosistemas para incrementar la oferta de agua disponible.**

MEDIDA	ACCIONES	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	INDICADORES
1.1. Actuaciones encaminadas a garantizar la integridad ecológica de los ecosistemas para incrementar la oferta de agua disponible	<p>Campañas de reforestación vegetal</p> <p>Campañas de restauración ecológica y restauración hidrológica-forestal</p> <p>Mejora de los suelos</p>	<p>Plan Forestal de Extremadura. 7º Programa Operativo</p> <p>Programas operativos de la Unión Europea</p>	<p>Financiación dedicada</p> <p>Número de campañas</p>

El nivel de presión sobre los recursos hídricos, basado en la relación demanda/oferta de agua, presenta una tendencia ascendente que genera situaciones conflictivas entre los sectores demandantes, y dado que esta situación puede verse agravada antes los escenarios de cambio climático, se debe procurar mejorar la oferta de agua; esto es, aprovechar la entrada de agua en el sistema mediante la captación

de aguas pluviales. Esta medida implicaría la reducción de hasta un 40% el consumo de agua doméstico, ya que para muchos usos domésticos, tales como la lavadora, el lavavajillas, la limpieza de la casa, la cisterna del inodoro y el riego en general, la calidad del agua no precisa ser la de apta para el consumo humano. En estos casos el agua de lluvia puede remplazar perfectamente al agua potable (Aguado, 2011).

En cuanto al aprovechamiento del agua de lluvia para el sector agroganadero, se trata de implantar sistemas que permitan proveer de agua a pequeñas explotaciones agrarias, o aumentar el suministro de viviendas de campo. Presenta la ventaja de tener un bajo coste económico y ambiental, aunque como contrapartida cabe decir que no se asegura el suministro ante una eventual escasez de precipitaciones. Este sistema es especialmente adecuado para las zonas en las que existen precipitaciones concentradas en una determinada época del año, y muy pocas o nulas en otra estación.

Con objeto de reducir el consumo de agua en el ámbito doméstico y empresarial, se considera útil favorecer la implantación progresiva de sistemas que permitan captar agua de lluvia, almacenarla y usarla de manera que se reduzcan las necesidades de abastecimiento de agua potable. La medida propuesta está encaminada al fomento a través de campañas de información, vías de financiación adecuadas, y mediante la revisión del Código Técnico de la Edificación a la instalación de sistemas de recogida de lluvias pluviales en inmuebles y parcelas domésticas, así como en entornos empresariales de nueva planta y existentes (Tabla 19).

**Tabla 19. Programa 1. Medida 1.2. Implantación de sistemas de recolección del agua de lluvia.**

MEDIDA	ACCIONES	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	INDICADORES
1.2. Implantación de sistemas de recolección del agua de lluvia	<p>Desarrollo e implementación de tecnologías destinados a la captación de agua de lluvia o rocío, y a su correcto almacenamiento y distribución posterior</p> <p>Campañas de difusión para reducir el consumo, aumentar la eficiencia en el uso del agua y favorecer la captación</p> <p>Mejora de gestión de los recursos hídricos, reduciendo los consumos y demandas. Introducción de tarifas polinómicas en función del consumo de agua y del periodo en que se usa</p>	<p>Plan Forestal de Extremadura</p> <p>Planes hidrológicos de Cuenca</p>	<p>Financiación dedicada</p> <p>Volumen anual de aguas pluviales recolectado</p> <p>Número de instalaciones de captación por tipología (doméstica, oficina, agrícola)</p>

La reutilización es el aprovechamiento directo de efluentes depurados, aguas residuales regeneradas con un mayor o menor grado de tratamiento previo, mediante su transporte a un segundo punto

desaprovechamiento, sin vertido intermedio a un cauce público. Las posibilidades de reutilización están condicionadas por las disponibilidades de efluentes tratados, por la calidad de estos efluentes, y por los requerimientos de calidad para el segundo uso.

El uso para agua potable está prohibido por la legislación vigente, salvo en situaciones de catástrofe (*Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas*, BOE nº294, de 8 de diciembre de 2007). En Extremadura, se están empezando a llevar a cabo medidas en el ámbito de la reutilización como en el municipio de Llerena cuya experiencia piloto consiste en reutilizar las aguas, mediante un proceso de filtrado al final de la depuración, para baldeos, limpieza de calles y el riego de plantas. En este caso se ha disminuido la captación de agua limpia para el abastecimiento de la población. Esto no supone un recurso adicional sino un intercambio de recursos (Tabla 20). Existen no obstante incertidumbres sobre el riesgo potencial para la salud pública, en particular a largo plazo en la recarga de acuíferos, el coste elevado de los procesos de depuración más intensos, y el hecho de que el agua depurada no se restituye a los cauces naturales, siendo necesario establecer caudales ecológicos para evitar una seria agresión ambiental en las zonas secas (Iglesias *et al.*, 2005).

**Tabla 20. Programa 1. Medida 1.3. Reutilización del agua.**

MEDIDA	ACCIONES	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	INDICADORES
1.3. Reutilización del agua	<p>Desarrollo e implementación de tecnologías destinados a la reutilización de agua para usos secundarios no exigentes en términos de calidad del agua</p> <p>Elaboración de planes de uso de aguas residuales para distintos usos</p>	<p>Directiva Marco del Agua</p> <p><i>Real Decreto 1620/2007, (BOE nº 294, de diciembre de 2007)</i></p>	<p>Financiación dedicada</p> <p>Volumen anual de aguas reutilizadas</p> <p>Número de municipios que usan agua reutilizada</p>

### **Beneficios obtenidos**

La aplicación de estas medidas de incremento del volumen efectivo de agua circulante en una cuenca permite reducir la vulnerabilidad de los sistemas hídricos, aumentando la capacidad de hacer frente a las demandas en cantidad y calidad, actuales y futuras, mediante el aprovechamiento racional de los recursos hídricos, superficiales y subterráneos, y los técnicos, humanos y económicos. A nivel socioeconómico, el aprovechamiento del agua pluvial reduce el gasto público y privado en agua, y contribuye a reducir tensiones inter territoriales por el recurso al incrementar la seguridad local del mismo contribuyendo en definitiva al desarrollo regional. La reutilización, permite reducir el consumo de agua de ciertas actividades si se sustituye por la captación de agua limpia, ya que sino lo que incentiva es el aumento del consumo y esto aumenta la vulnerabilidad.

## PROGRAMA 2: EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA

**Objetivos:** Mejorar la eficiencia en el uso del agua en distintos sectores de actividad y reducir las pérdidas de agua en los sistemas de suministro.

**Impacto al que va dirigido:** Disminución de la disponibilidad hídrica. Problemas en el suministro por escasez de recursos en determinadas épocas del año.

El objetivo del programa es incrementar la eficiencia en el uso del recurso hídrico, es decir, reducir la cantidad de agua necesaria para obtener un determinado beneficio en concreto como es la optimización del uso del recurso de aras de una posible escasez del mismo.

En previsión de una reducción sensible del volumen de agua utilizable para usos en abastecimiento, agricultura, energía, etc. es necesario mejorar la forma en la que el recurso es utilizado, sin que ello suponga una merma en los servicios prestados o en los bienes producidos. Por ello, en este programa se incluyen medidas relacionadas con la implantación de sistemas y técnicas que permitan aumentar la eficiencia en el uso del recurso en diferentes sectores.

Por otro lado, el sistema de captación, potabilización, distribución y saneamiento de las aguas es estructuralmente complejo, ya que dispone de centenares de kilómetros de tuberías, válvulas, y sistemas de bombeo en los que en ocasiones se producen escapes. Reducir estas pérdidas de agua, incrementa la cantidad del recurso disponible y mejora la eficiencia del sistema en su conjunto, por lo que se han incluido algunas medidas orientadas en este sentido.

La alteración del balance hídrico, determinará una reducción en la disponibilidad del recurso en régimen natural especialmente en otoño, tanto en el periodo 2011-2040 como en el 2041-2070, especialmente bajo el escenario de emisiones A2, por lo que se producirán situaciones de escasez de recursos que será necesario paliar con el uso de recursos subterráneos, aunque en Extremadura sean escasos, de trasvases intercuenca, o bien desabasteciendo ciertas regiones o ciertos usos durante dichos periodos de estrés hídrico. Estas tecnologías también permiten aumentar el volumen de agua disponible para satisfacer la demanda, sin necesidad de mayor volumen de precipitaciones por lo que se han encuadrado en este programa.

Las actuales campañas de concienciación ciudadana sobre la mejora de la eficiencia en el uso del agua a nivel doméstico deberán ser lo más efectivas posibles de manera que la sensibilización sea generalizada y permita un incremento de la eficacia en el consumo.

### Documentos de referencia

- La **Directiva Marco del Agua 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000** (DOUE nº 327, del 22 de diciembre de 2000) establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas
- El **Libro Blanco del Agua en España** (MMA, 2000), determina el marco conceptual de la gestión del agua en España.
- El **Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas** (BOE nº 176, del 24 de julio de 2001) que regula el dominio público hidráulico, el uso del agua y el ejercicio de las competencias atribuidas al Estado en las materias relacionadas con dicho dominio en el marco de las competencias delimitadas en el artículo 149 de la Constitución. Asimismo, establece las normas básicas de protección de las aguas continentales, costeras y de transición.
- El **Plan Hidrológico Nacional**, aprobado por la **Ley 10/2001**, de 5 de julio (BOE nº161, de 6 de julio de 2001), modificado por la **Ley 11/2005** (BOE nº 149, de 23 de junio de 2005), que fija los elementos básicos de coordinación de los Planes Hidrológicos de cuenca
- El **Plan Hidrológico de la Cuenca del Tajo**, aprobado mediante el **Real Decreto 1664/1998**, de 24 de julio (BOE nº 191, de 11 de agosto de 1998).
- El **Plan Hidrológico del Guadiana I y II**, aprobado mediante el **Real Decreto 1664/1998**, de 24 de julio (BOE nº191, de 11 de agosto de 1998).
- **Nuevo Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadiana** (Pendiente solo de aprobación R.D. y publicación en BOE, previsto en abril de 2013).
- El **Plan Hidrológico de Cuenca de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir**, aprobado mediante el **Real Decreto 1664/1998**, de 24 de julio (BOE nº191, de 11 de agosto de 1998).
- **Nuevo Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir** (Pendiente solo de aprobación R.D. y publicación en BOE, previsto en abril de 2013).
- El **Plan de choque de regadíos contra la sequía** aprobado mediante el **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 palie los daños producidos por la sequía (BOE nº 60, de 11 de marzo de 2006) que establece una prioridad de las obras en función de su sostenibilidad económica, social y medioambiental, favoreciendo la modernización de regadíos y el incremento de la eficiencia en el uso del agua.

## Descripción

Las medidas que se plantean en el marco de este segundo programa, están orientadas a mejorar la eficiencia en el uso del agua en distintos sectores socioeconómicos, especialmente en el mantenimiento de infraestructuras y el desarrollo de mecanismos de reducción de pérdidas. La correcta implementación de estas medidas mejorará la disponibilidad hídrica, sin menoscabo de la producción de bienes y servicios dependientes del agua.

Con el fin de obtener información eficaz y conocer mejor los sistemas de recursos hídricos, es posible llevar a cabo una mejor gestión del agua en un territorio, mediante la implantación de medidas como la informatización y tratamiento de los datos procedentes de las redes de medida de precipitación, meteorología, manto nivel, caudales y niveles piezométricos que permitirían obtener una información adecuada sobre el ciclo hidrológico. Asimismo, la creación de bases de datos sobre recursos, demandas y sistemas de explotación, así como su aprovechamiento y actualización en cortos periodos de tiempo, mediante el uso de nuevas tecnologías es una forma de adecuar el recurso del agua a las necesidades reales de un territorio, evitando los usos que no son necesarios y alcanzando una gestión basada en el ahorro y la sostenibilidad, que permitan crear un modelo de gestión hídrica alejado de la sobreexplotación (Tabla 21). En el caso de Extremadura, dada la importancia del sector agrícola en el consumo final de agua, las medidas de modernización deben focalizarse, en primer lugar, en los regadíos y en las técnicas de uso del agua.

**Tabla 21. Programa 2. Medida 2.1. Mejora y modernización de las redes de control y seguimiento de usos del agua.**

MEDIDA	ACCIÓN	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	INDICADORES
2.1. Mejora y modernización de las redes de control y seguimiento de usos del agua	Desarrollar sistemas de datos basados en las nuevas tecnologías para mejorar la disponibilidad de información sobre los recursos hídricos superficiales y subterráneos y obtener herramientas para facilitar su gestión más eficaz	Directiva Marco del Agua Plan Hidrológico Nacional Plan de choque de regadíos	Financiación dedicada  Número de sistemas de datos modernizados

En el marco de un clima cambiante, con una reducción de la precipitación y un incremento de la evapotranspiración resulta necesario no sólo aumentar la eficiencia en el uso del recurso, sino reducir las pérdidas asociadas a la captación, transporte y distribución del agua. Por este motivo, se considera de utilidad aumentar la periodicidad de controles sobre las infraestructuras, así como el nivel de exigencia requerido a las empresas que se dedican al abastecimiento y las CC.RR. Una reducción efectiva de las pérdidas del sistema conllevará a una mayor disponibilidad del recurso y favorecerá por tanto, un mejor abastecimiento (Tabla 22).

**Tabla 22. Programa 2. Medida 2.2. Mejora del mantenimiento de las infraestructuras de distribución y abastecimiento de agua con objeto de reducir las pérdidas de recurso asociadas al mal estado y mal funcionamiento de las mismas.**

MEDIDA	ACCIONES	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	INDICADORES
2.2. Mejora del mantenimiento de las infraestructuras de distribución y abastecimiento de agua	<p>Diseñar un protocolo de mantenimiento siguiendo los criterios técnicos más exigentes para reducir las pérdidas de agua en el sistema</p> <p>Corregir mediante intervenciones precisas, las pérdidas del sistema de distribución de agua</p> <p>Fomentar la modernización de infraestructuras de regadío y la adopción de métodos de riego de alta eficiencia en parcela</p>	<p>Plan Hidrológico Nacional</p> <p>Planes hidrológicos de cuenca</p>	<p>Financiación dedicada</p> <p>Reducción del volumen de agua perdido (hm<sup>3</sup>) al año</p>

Tanto las grandes presas como otros sistemas menores de almacenamiento de agua podrían sufrir procesos de colmatación que reducen su vida útil, aunque actualmente este problema no es muy acusado en Extremadura. Así, un mayor arrastre de sedimentos provocado por lluvias torrenciales más severas y, por procesos de aridificación derivados del cambio climático, podrían tender a la reducción del tiempo de colmatación de los embalses. Por ello, se plantea como medida de adaptación favorecer en un futuro los estudios sobre colmatación y las tareas de dragado que permitan hacer frente a esta posible colmatación excesiva, que podría resultar en una reducción considerable de la capacidad de almacenamiento de agua y, por tanto, de la agilidad del sistema hidrológico para satisfacer las demandas (Tabla 23).

**Tabla 23. Programa 2. Medida 2.3. Dragado de embalses y mejora de la capacidad de almacenamiento de agua.**

MEDIDA	ACCIÓN	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	INDICADORES
2.3. Dragado de embalses y mejora de la capacidad de almacenamiento de agua	<p>Detectar los embalses en los que se está produciendo una colmatación demasiado rápida, y mediante la maquinaria precisa, realizar trabajos de dragado del fondo de la presa para aumentar la vida útil de la infraestructura</p>	<p>Planes hidrológicos de cuenca</p>	<p>Financiación dedicada</p> <p>Volumen de residuos extraídos de los embalses dragados (hm<sup>3</sup>) al año</p>

Hasta 1985 las aguas subterráneas no estaban reguladas, lo que facilitó un rápido desarrollo de su explotación por particulares pero originó muchos casos de sobrexplotación a través fundamentalmente de la excavación de pozos. Actualmente, más del 20% de las unidades hidrogeológicas están en riesgo de no alcanzar los objetivos de buen estado, si bien en el nuevo Plan del Guadiana se reconoce este estado únicamente a la masa de agua subterránea de la zona de “Barros”. Desde aquel año, era tal el

nivel de captaciones anteriores que produjeron sobreexplotación. Considerando la reducción proyectada en la disponibilidad hídrica por causa del cambio en el clima, resulta imprescindible incrementar el control de dichas actividades para salvaguardar el recurso de agua subterránea y mejorar el control para evitar la aparición de pozos “ilegales” (Tabla 24).

**Tabla 24. Programa 2. Medida 2.4. Control de explotaciones de recursos subterráneos y vigilancia para evitar la aparición de “ilegales”.**

MEDIDA	ACCIÓN	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	INDICADORES
2.4. Control de explotaciones de recursos subterráneos y vigilancia para evitar la aparición de “ilegales”	Establecer jurídica, financiera, técnica y administrativamente un cuerpo especializado en la vigilancia y control de sistemas de captación profunda de agua	Planes hidrológicos de cuenca	Financiación dedicada  Número de pozos anuales clausurados

La ejecución de esta medida correspondería a los Organismos de Cuenca.

La eficiencia en el uso del recurso pasa por la educación de los usuarios y la modificación de conductas y técnicas productivas que requieran una menor cantidad de agua para generar la misma cantidad o calidad de producto. Considerando que en Extremadura, tanto la D.H. Tajo como en la D.H. Guadiana, los usuarios preponderantes del agua son la agricultura y, en menor medida, el abastecimiento humano, es en estos dos sectores donde hay que focalizar los esfuerzos. En este sentido, la potencialidad de ahorro de agua en el regadío es muy alta porque su eficiencia de aplicación es aún baja (Tabla 25).

**Tabla 25. Programa 2 Medida 2.5. Implantación de sistemas que permitan aumentar la eficiencia en el uso del agua en distintos sectores.**

MEDIDA	ACCIONES	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	INDICADORES
2.5. Implantación de sistemas que permitan aumentar la eficiencia en el uso del agua en distintos sectores	<p>En el sector agrícola, se pueden elaborar programas de cultivo de bajo consumo, implementar técnicas de riego eficientes, reducir la evaporación mediante el uso de mantillos vegetales, programación de riegos automáticos y sistema de goteo (modernización de regadíos)</p> <p>En el abastecimiento urbano y usos doméstico del agua, llevar a cabo la instalación de sanitarios de bajo consumo, adecuada carga de lavadoras y lavavajillas, ajuste del gasto en jardines domésticos, limpieza doméstica, etc</p> <p>Sector industrial: recirculación en procesos de producción, reutilización, optimización de procesos productivos, modernización de maquinaria</p>	<p>Directiva Marco del Agua</p> <p>Libro Blanco del Agua</p>	<p>Financiación dedicada</p> <p>Número de campañas de sensibilización de eficiencia del uso</p> <p>Número de instalaciones en las que se implementan mecanismos de eficiencia</p> <p>Ahorro efectivo de agua (hm<sup>3</sup>) según las medidas de eficiencia implementadas</p>

### **Beneficios obtenidos**

La adecuada aplicación de las medidas de adaptación planteadas en este programa, permitirá mejorar el uso que se hace del recurso hídrico sin menoscabo de la calidad de vida ni del dinamismo económico regional. Además, el uso del agua en su justa medida repercutirá positivamente en el coste anual en agua tanto de familias como de empresas, pues se requerirá menor cantidad de agua para satisfacer las necesidades hídricas.

Por otro lado, la reutilización de aguas, sustituyendo esta por captaciones de agua limpia, la reducción de las pérdidas del sistema de distribución y el control para la no aparición de explotaciones “ilegales” subterráneas generarán una mayor disponibilidad de recurso lo que facilitará la gestión en las distintas cuencas hidrográficas.

Finalmente, las tareas de mantenimiento de la red de aprovechamiento y distribución hidráulica junto con el dragado de embalses para evitar el acortamiento de la vida útil de las infraestructuras, en caso de que fuese necesario, favorecerá la conservación de las infraestructuras y el patrimonio histórico hidráulico de la cuenca pudiendo suponer una baza de cara al turismo industrial por ejemplo.



**Fotografía 9. Embalse del Cijara**

### PROGRAMA 3: MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE LA DEMANDA

**Objetivos:** Reducir el consumo de agua en determinadas actividades para aumentar las reservas y flexibilizar la gestión.

**Impacto al que va dirigido:** Disminución de la disponibilidad hídrica. Problemas en el suministro por escasez de recursos en determinadas épocas del año.

Complementariamente a las medidas de aumento del recurso y al uso eficiente del mismo, se deben plantear actuaciones cuyo objetivo sea reducir el consumo de agua en aquellos sectores y actividades socioeconómicas en las que el gasto pueda reducirse. El objetivo es minimizar la presión sobre los sistemas hidrológicos para no comprometer su sostenibilidad, al tiempo que se aboga por la armonización del desarrollo regional y sectorial de la cuenca.

De este modo, existen distintos enfoques posibles en este programa. Por un lado, considerando el aspecto económico, se puede plantear la puesta en marcha de políticas de tarificación que desincentiven al consumo de agua. Por otro lado, se pueden plantear mecanismos administrativos para prohibir determinados usos del agua en el ámbito agrícola o industrial, en el caso de que existan tecnologías claramente más eficientes.

#### **Documentos de referencia**

-La *Directiva Marco del Agua 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000* (DOUE nº327, del 22 de diciembre de 2000) establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

-El *Libro Blanco del Agua en España* (MMA, 2000) que determina el marco conceptual de la gestión del agua en España.

#### **Descripción**

Mediante el establecimiento de una política de tarificación se pretende intervenir sobre la demanda, impidiendo un consumo excesivo, tal y como establece la DMA, puesto que diversas experiencias en este sentido han demostrado que un incremento del precio del agua conduce a una reducción del consumo. Esta medida debe aplicarse teniendo en cuenta la demanda del agua, su elasticidad en relación con su precio, los costes financieros del suministro de agua y los costes ambientales y de recursos. También deben tenerse en cuenta las preocupaciones sociales, aunque no deben considerarse prioritarias en el caso de que los recursos hídricos se vean amenazados; además, se debe apoyar esta medida con otras acciones sociales complementarias, siempre considerando el ámbito competencial de Extremadura (Tabla 26).

Tabla 26. Programa 3. Medida 3.1. Establecimiento de una política tarifaria.

MEDIDA	ACCIÓN	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	INDICADORES
3.1. Establecimiento de una política tarifaria	Desarrollar un sistema tarifario justo que grave los consumos excesivos de agua y, permita una reducción efectiva del consumo a medio y largo plazo	Directiva Marco del Agua	Número de iniciativas locales o regionales puestas en marcha en el contexto de las nuevas políticas tarifarias

En el ámbito de la agricultura se pueden plantear medidas que tiendan a reducir el consumo de agua mediante la implantación de manuales de buenas prácticas que reduzcan la ineficiencia en el uso del recurso hídrico o la prohibición de ciertas acciones en periodos de escasez de recurso (Tabla 27).

Tabla 27. Programa 3. Medida 3.2. Acciones destinadas a la reducción del consumo de agua en el sector de la agricultura.

MEDIDA	ACCIONES	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	INDICADORES
3.2. Acciones destinadas a la reducción del consumo de agua en el sector de la agricultura	Establecer sistemas de medición del agua usada en explotaciones agrarias	Directiva Marco del Agua	Financiación dedicada
	Clasificar mediante criterios objetivos los diferentes sistemas de riego y limitar temporalmente el uso de los más derrochadores		
	Planificar, a escala de región, las previsiones de desarrollo de los regadíos, especialmente en las zonas con menos recursos hídricos	Plan sectorial de Adaptación, sector agrícola	Número de campañas puestas en marcha
	Realizar un programa dirigido al remplazo de los cultivos de mayor consumo hídrico, por otros de menores necesidades de agua		Recaudación extraordinaria derivada de la aplicación del régimen tarifario orientado a la reducción de la demanda
	Multar a las instalaciones con tasas de pérdida de agua en los sistemas de almacenamiento y distribución de agua por encima de un porcentaje dado		Número de pozos ilegales cerrados
	Implementación de un sistema administrativo eficaz que permita detectar y castigar coherentemente el uso fraudulento del agua, las captaciones ilegales y otras actividades no previstas por la ley		
Fomentar el programa REDAREX			

### **Beneficios obtenidos**

Al igual que en los programas anteriores, el incremento de las reservas de agua tanto superficiales como profundas permite aumentar la flexibilidad del sistema de suministro y reducir el número de ocasiones en los que no se puede hacer frente a la demanda.

Las medidas tendentes a la reducción del consumo de agua permiten por tanto aumentar el balance entre agua entrante y saliente de una cuenca, generando mayor disponibilidad. Asimismo, los mecanismos tarifarios y administrativos descritos redundan en una gestión más efectiva garantizando la calidad para cada uso y para la conservación del medio ambiente; especialmente, que las aguas destinadas al uso y consumo humano cumplan con las condiciones sanitarias adecuadas. El sistema hidrológico al estar interconectado espacialmente en el interior de la cuenca se ve favorecido en la totalidad del ámbito territorial aunque se tomen medidas de reducción sólo en parte de la misma. Esto favorece la protección solidaria del recurso en armonía con las necesidades ambientales y demás recursos naturales.

### **PROGRAMA 4: MEJORA DE LA PROTECCIÓN FRENTE A EVENTOS CLIMÁTICOS EXTRAORDINARIOS**

**Objetivos:** Reducir la vulnerabilidad del sistema hídrico, de los ecosistemas y de las actividades socioeconómicas dependientes del agua durante episodios de sequía e inundaciones.

**Impacto al que va dirigido:** Intensificación de situaciones hidrológicas extremas, tales como sequías e inundaciones.

En el marco de cambio climático, y de acuerdo con las proyecciones de precipitación elaboradas para Extremadura, sobre todo bajo el escenario de emisiones A2, el volumen anual de lluvias se verá reducido considerablemente teniendo como consecuencia, entre otros aspectos, un decremento de la disponibilidad hídrica.

La sequía constituye un fenómeno anormal de escasez de agua, que implica una reducción temporal significativa del recurso y de la humedad disponible, situándose por debajo de la cantidad normal esperada para un periodo determinado. Los episodios de sequía, que son bastante habituales en clima mediterráneo, se verán exacerbados por el cambio climático, presentándose episodios cada vez más frecuentes y severos. Así, de acuerdo con la evolución mensual de la precipitación y la temperatura, las sequías estivales se verán prolongadas a los meses de primavera y otoño. Asimismo, respecto de la satisfacción de la demanda, estos fenómenos son muy negativos pues suponen largos periodos en los que no se puede hacer frente a la demanda de recursos y es necesario tomar medidas, en ocasiones tan drásticas como cortar el suministro para determinadas actividades, en ciertas zonas o a determinadas horas del día.

Por otro lado, de acuerdo con las previsiones de los modelos de clima (IPCC, 2007) la frecuencia e intensidad de las lluvias torrenciales capaces de generar inundación serán mayores conforme avance el siglo XXI. En el ámbito mediterráneo, las tormentas determinan en muchas ocasiones un incremento del riesgo de avenidas, y por otro lado, las inundaciones suelen ser provocadas por lluvias de corta duración y carácter local, o por temporales lluviosos de intensidad horaria media pero de larga duración.

Tanto las lluvias torrenciales como las inundaciones pueden afectar tanto a las infraestructuras de los sistemas de abastecimiento, captación, depuración y embalses como a los terrenos agrícolas, ciudades, infraestructuras civiles y personas. En general muchas de las zonas inundables naturales se han visto modificadas de manera artificial por la intervención humana, lo que incrementa de manera notable la exposición a este tipo de fenómenos.

### **Documentos de referencia**

- La **Directiva Marco del Agua 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000**(DOUE nº327, del 22 de diciembre de 2000 establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- **Directiva 2007/60/CE** del Parlamento del Consejo de 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación del riesgo de inundación.
- **Real Decreto 903/2010** de 9 de julio de evaluación y gestión del riesgo de inundaciones.
- El **Plan Hidrológico Nacional** aprobado por la *Ley 10/2001, de 5 de julio* (BOE nº161, de 6 de julio de 2001), modificado por la *Ley 11/2005* (BOE nº 149, del 23 de junio de 2005), fija los elementos básicos de coordinación de los Planes Hidrológicos de cuenca.
- **Plan Hidrológico de la Cuenca del Tajo**, aprobado mediante el *Real Decreto 1664/1998*, de 24 de julio, (BOE nº191, de 11 de agosto de 1998).
- **Plan Hidrológico del Guadiana I y II**, aprobado mediante el *Real Decreto 1664/1998*, de 24 de julio, (BOE nº191, de 11 de agosto de 1998).
- **Nuevo Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadiana** (Pendiente solo de aprobación R.D. y publicación en BOE, previsto en abril de 2013).
- **Plan Hidrológico de Cuenca de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir**, aprobado mediante el *Real Decreto 1664/1998*, de 24 de julio, (BOE nº 191, de 11 de agosto de 1998).

- *Nuevo Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir* (Pendiente solo de aprobación R.D. y publicación en BOE, previsto en abril de 2013).

-Los **Planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía**, establecidos mediante la *Orden MAM/698/2007, de 21 de marzo* que tiene como objetivo minimizar los impactos ambientales, económicos y sociales de eventuales episodios de sequías (BOE nº71, de 23 de marzo de 2007). Mediante el establecimiento de un sistema global de indicadores hidrológicos se pueden prever situaciones de sequía y poner en marcha preventivamente medidas para luchar contra la misma. Estos indicadores incluyen la evolución de la precipitación, la reserva hidráulica y la humedad del suelo. El índice del estado de la sequía (normalidad, prealerta, alerta y emergencia) caracteriza la sequía hidrológica por cuencas y en un marco temporal, y está basado en la precipitación, las reservas en embalses y acuíferos y el estado de los recursos fluviales.

- *“Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundaciones en la demarcación Hidrográfica del Guadiana” (EPRI)*

### Descripción

Es probable que los eventos climáticos e hidrológicos extremos se intensifiquen a causa del cambio climático, tanto en magnitud como en cantidad de episodios. Se requiere por tanto el establecimiento de planes efectivos que permitan anticiparse a tales fenómenos de riesgo, para resolver y afrontar de manera adecuada y eficaz este tipo de situaciones. Es importante señalar igualmente, la necesidad de actuar no solo una vez que ha ocurrido el suceso del riesgo, sino también establecer un catálogo de actuaciones basadas en la prevención, mediante actuaciones de mejora y ampliación estructural (Tabla 28).

**Tabla 28. Programa 4. Medida 4.1. Desarrollo de planes de reacción y resolución ante posibles eventos hidrológicos extremos.**

MEDIDA	ACCIONES	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	INDICADORES
4.1. Desarrollo de planes de reacción y resolución ante posibles eventos hidrológicos extremos	<p>Establecer sistemas de información y toma de decisiones que permitan prevenir los efectos de los eventos extremos sobre la disponibilidad hídrica, los ecosistemas, la sociedad y sus intereses económicos</p> <p>Potenciar la toma de seguros frente a estos eventos extremos</p>	<p>Planes hidrológicos de cuenca</p> <p>Planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía por cuenca</p> <p>Planes de avenidas e inundaciones</p>	<p>Financiación dedicada</p> <p>Número de planes de prevención implementados en la gestión de las D.H.</p>

Las técnicas se basan en el desarrollo de sistemas de información que integren datos actualizados sobre precipitación, clima, humedad del suelo, caudales, niveles piezométricos en los acuíferos y reservas en embalses.

El objetivo es el establecimiento de sistemas de detección temprana para anticiparse y planificar, desarrollando acciones para la adaptación a los mismos y pautas sobre la explotación de los sistemas durante este tipo de fenómenos (Tabla 29).

Tabla 29. Programa 4. Medida 4.2. Detección temprana de la sequía.

MEDIDA	ACCIÓN	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	INDICADORES
4.2 Detección temprana de la sequía	Actualizar el sistema de indicadores que permite prever situaciones de sequía y ayuda a preparar al sistema hidrológico a hacer frente a la situación de desabastecimiento con la menor pérdida económica, social y ambiental	Plan Hidrológico Nacional  Planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía por cuenca	Financiación dedicada  Número de planes implementados  Evolución del índice de estado de la sequía

En la actualidad, se realiza un seguimiento de la sequía mediante el índice del estado de la sequía tanto para la D.H. Guadiana, como la D.H del Guadalquivir y la D.H del Tajo, por embalse como por sistema y a nivel de cuenca. Su interpretación es muy intuitiva y pese a ser de complejo cálculo, permite conocer rápidamente la dinámica temporal de la sequía (Figura 24). Este indicador es de gran utilidad pues sirve para poner en marcha distintas medidas previstas en los planes especiales de sequía. En el marco del cambio climático, puede resultar de gran utilidad su uso, implementando los valores meteorológicos previstos por los distintos escenarios de clima.

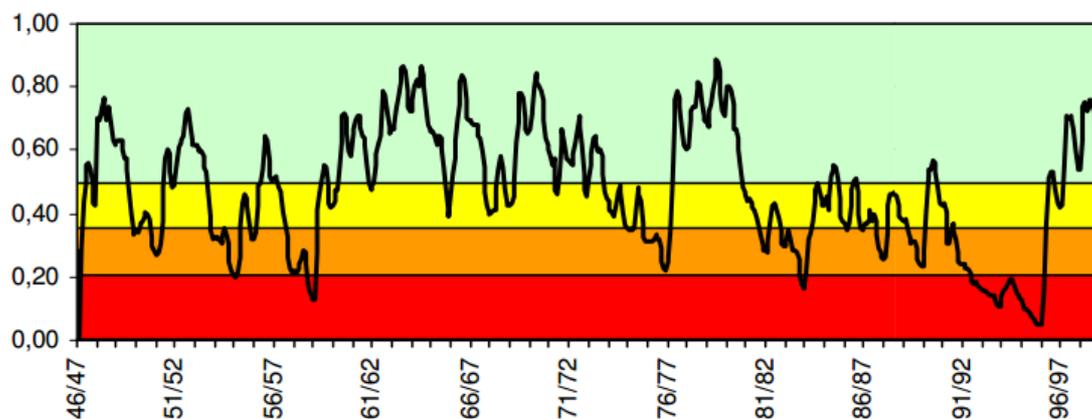


Figura 24. Evolución del índice del estado de la sequía en la cuenca del Guadiana en la segunda mitad del siglo XX. Rojo: emergencia. Naranja: alerta; Amarillo: prealerta; Verde: normalidad (D.H. Guadiana, 2007).

Por otro lado, la posible colmatación acelerada producida por el incremento de las avenidas se podrá reducir mediante un adecuado mantenimiento, por ejemplo, y como ya hemos comentado con anterioridad, dragando el fondo y reduciendo el nivel de sólidos depositados, ya que esta acción permite aumentar la edad útil de los embalses, aunque es necesario evaluar correctamente los costes económicos y ecológicos. Aunque en Extremadura actualmente el problema de la colmatación es poco significativo.

En lo relacionado con las inundaciones, existen medidas de adaptación que están planteadas de alguna manera en los planes hidrológicos de cuenca (D.H. Guadalquivir, 2011; D.H. Guadiana, 2011; D.H. Tajo, 2011a) aunque no relacionados de manera directa con el cambio climático. Estas medidas deberán ser potenciadas para hacer frente a las inundaciones futuras, de manera que se reduzcan los daños sobre infraestructuras y otros bienes (Tabla 30). Por otro lado, en referencia a la planificación del riesgo de inundaciones esta la *Directiva 2007/60/CE* del Parlamento del Consejo de 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación del riesgo de inundación y el *Real Decreto 903/2010* de 9 de julio de evaluación y gestión del riesgo de inundaciones.



Fotografía 10. Inundaciones de cultivos

Tabla 30. Programa 4. Medida 4.3. Protección frente a inundaciones.

MEDIDA	ACCIONES	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	INDICADORES
4.3. Fortalecimiento de las medidas preventivas de los efectos de las inundaciones	Desarrollar estudios para delimitar las zonas inundables en el ámbito urbano	Plan Hidrológico Nacional	Número de avenidas anuales superando cierto volumen
	Analizar la exposición de determinadas infraestructuras de alto valor añadido como centrales energéticas, polígonos industriales o empresariales, a episodios extremos de lluvias y avenidas		
	Evaluar el efecto laminador de los embalses considerando los escenarios climáticos regionales previstos		
	Elaborar una normativa que permita restricciones en el uso del suelo en las zonas inundables en función del período de retorno de la avenida que pueda afectar a una determinada zona	Planes hidrológicos de cuenca	Importe de los daños provocados por inundaciones
	Dar publicidad a los mapas de zonas de inundación y a las restricciones de uso vigentes en las mismas, a efecto de que sean conocidas por la población potencialmente afectada		
	Adaptar los planes de protección civil para situaciones extremas recurrentes derivadas del cambio climático		
	Fomentar la suscripción de pólizas aseguradoras frente al riesgo de avenidas		
	Realización de EPRI y de mapas de peligrosidad y de inundación.		
Realización de Planes de gestión del riesgo de inundación.		Número de planes especiales contra las inundaciones puestos en marcha	

### Beneficios obtenidos

El agua, como recurso, es fundamental para la vida, para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos y para el desarrollo socioeconómico de cualquier región. Establecer sistemas de control que permitan optimizar su salvaguarda y mejorar la eficacia de su uso repercute en el medio ambiente e indirectamente en la economía de un determinado territorio, pues permite optimizar su aprovechamiento. De este modo, la mejora de los sistemas de monitorización de eventos

meteorológicos extremos, permitirán no solo reducir la vulnerabilidad sino mejorar la gestión en el caso de sufrir los efectos de una sequía o una inundación y por tanto contribuir a una mejor gestión del recurso hídrico desde una perspectiva global, incluyendo la protección de la población y el territorio y la integridad ecológica.

#### PROGRAMA 5: VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA

**Objetivos:** Mantener una adecuada calidad de las aguas en las D.H. de Extremadura

**Impacto al que va dirigido:** Disminución de la calidad de los recursos hídricos. Disminución de la calidad del agua de los embalses por reducción de las concentraciones de oxígeno

Las alteraciones previstas en el régimen de temperaturas, sobre todo las relativas a temperaturas máximas, pueden suponer un incremento del crecimiento de algas en las superficies de agua embalsada, tanto en lagos como en embalses artificiales y en ríos, así como la llegada de especies invasoras.

Una temperatura del agua más elevada y una superpoblación de organismos vivos pueden producir anoxia, como consecuencia de un consumo excesivo de oxígeno. La anoxia en una masa de agua es una forma de pérdida de la calidad del agua, determinando la imposibilidad de hacer uso de dicha reserva y por tanto favoreciendo la pérdida de la disponibilidad hídrica.

Paralelamente, el incremento de la aridificación, como resultado de un aumento de las temperaturas y de la pérdida de cubierta vegetal, favorece el arrastre de materiales hacia las masas de agua; como consecuencia, estos procesos de arrastre hídrico pueden desembocar en un incremento de la turbidez y de las partículas en suspensión entre otros procesos.

#### Documentos de referencia

-La *Directiva Marco del Agua 2000/60/CE* del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000 (DOUE nº327, del 22 de diciembre de 2000) establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

-El *Libro Blanco del Agua en España* (MMA, 2000) determina el marco conceptual de la gestión del agua en España.

-El *Plan Hidrológico Nacional aprobado por la Ley 10/2001, de 5 de julio* (BOE nº161, de 6 de julio de 2001), modificado por la *Ley 11/2005 de 22 de junio* (BOE nº 149, de 23 de junio de 2005), fija los elementos básicos de coordinación de los Planes Hidrológicos de cuenca.

- *Plan Hidrológico de la Cuenca del Tajo* aprobado por *Real Decreto 1664/1998*, de 24 de julio, (BOE nº191, de 11 de agosto de 1998).

- *Plan Hidrológico del Guadiana I y II*, aprobado mediante el *Real Decreto 1664/1998*, de 24 de julio, (BOE nº191, de 11 de agosto de 1998).

- *Nuevo Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadiana* (Pendiente solo de aprobación R.D. y publicación en BOE, previsto en abril de 2013).

-*Plan Hidrológico de Cuenca de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir* aprobado mediante el *Real Decreto 1664/1998*, de 24 de julio, (BOE nº191, de 11 de agosto de 1998).

- *Nuevo Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir* (Pendiente solo de aprobación R.D. y publicación en BOE, previsto en abril de 2013).

### Descripción

Dado que se prevé una pérdida neta de la posibilidad de satisfacer la demanda a causa del efecto combinado de la reducción de las precipitaciones y el incremento de la evapotranspiración, es necesario garantizar la buena calidad del agua en embalses e infraestructuras de almacenamiento. Ante la previsión de que por efecto de la temperatura, se puedan producir crecimientos repentinos y masivos de algas en embalses, es preciso establecer protocolos de seguimiento y acción, que permitan reducir la incidencia sobre la calidad de los recursos (Tabla 31).

**Tabla 31. Programa 5. Medida 5.1. Protección frente al crecimiento desproporcionado de algas en embalses, ríos y otras infraestructuras de almacenamiento de agua, así como la llegada de especies invasoras.**

MEDIDA	ACCIONES	DOCUMENTO DE REFERENCIA	INDICADORES
5.1. Protección frente al crecimiento desproporcionado de algas en embalses, ríos y otras infraestructuras de almacenamiento de agua, así como la llegada de especies invasoras.	<p>Elaborar una metodología que permita realizar una limpieza o extracción de materia vegetal, cuando por condiciones del clima, pueda producirse una sobre población que de origen a una merma en la calidad del agua.</p> <p>Potenciar la investigación relativa a los efectos del cambio climático sobre el crecimiento de algas</p>	<p>Libro Blanco del Agua</p> <p>Plan Hidrológico Nacional</p>	Financiación dedicada

Un sistema de vigilancia de la calidad de las aguas es imprescindible para gestionar adecuadamente el recurso (Tabla 32). Este sistema debe ser válido tanto para aguas superficiales como aguas profundas.

Las medidas más comunes a analizar incluyen la determinación del contenido en sólidos, la materia sólida en suspensión, la concentración de materia orgánica y la acidez de las aguas.

Tabla 32. Programa 5. Medida 5.2. Mejorar el sistema de vigilancia de la calidad del agua.

MEDIDA	ACCIÓN	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	INDICADORES
5.2. Mejorar el sistema de vigilancia de la calidad del agua	Mejorar el sistema de monitoreo de la calidad de las aguas en distintos puntos de Extremadura y potenciar la investigación de nuevos sistemas para zonas más sensibles  Fomentar el programa RECAREX	Libro Blanco del Agua  Ley de Aguas	Financiación dedicada

### **Beneficios obtenidos**

La calidad del agua es un parámetro importante que afecta a todos los aspectos de los ecosistemas y del bienestar humano, como la salud de la población, la capacidad para producir alimento, o de diversas actividades socioeconómicas como el turismo o la industria. La protección de la calidad del agua es un reto esencial para asegurar la calidad de vida ciudadana y la satisfacción de la demanda. Una buena calidad el agua tanto en el medio fluvial como en acuíferos y embalses es fundamental para garantizar la biodiversidad, el adecuado funcionamiento de los ecosistemas así como prevenir las enfermedades transmitidas por el agua.

### **8.2. Necesidades de investigación y detección del cambio**

Adicionalmente a los programas de medidas anteriormente descritos, se han identificado una serie de necesidades de investigación en el marco de la adaptación al cambio climático de los recursos hídricos que sería interesante plantear de cara al logro de mejores análisis de vulnerabilidad y para mejorar la identificación de impactos y las medidas de adaptación, que de forma breve exponemos,

- Ante el cambio climático se perfilan como importantes y necesarias las investigaciones tendentes a mejorar las previsiones de precipitaciones y temperaturas, así como su distribución espacial y temporal; las orientadas a definir métodos de generación de series de datos climáticos basadas en los escenarios, las que propicien mejores y más fiables métodos de evaluación de evaporaciones y evapotranspiraciones, flujo de agua en el suelo, interceptación y reserva de agua utilizable por las plantas; las destinadas a conocer con más fiabilidad la recarga de los acuíferos y el desarrollo de modelos para automatización de cálculo de aportaciones y modelos de gestión en cuencas (Iglesias *et al.*, 2005).

- Asimismo, es necesario profundizar en el conocimiento de las interrelaciones entre clima y ciclo hidrológico facilitando herramientas de análisis que permitan regionalizar impactos y vulnerabilidades.
- Potenciar investigaciones para la evaluación de la evaporación y la evapotranspiración en función de topografía, latitud y parámetros climáticos, distribuida en tiempo y espacio. Igualmente potenciar la investigación en traducción de precipitación-aportación.
- En el ámbito de la ingeniería civil, desarrollar métodos de análisis de los efectos del cambio climático sobre los materiales y las redes de transporte y sistemas de almacenamiento de agua de manera que se pueda evaluar el efecto del cambio en el régimen térmico sobre la vida útil de las infraestructuras.
- Analizar en profundidad las posibilidades de incrementar las formas de almacenamiento de agua en los cauces fluviales considerando el aumento de episodios de lluvias torrenciales proyectado.
- En cuanto a las aguas subterráneas, es necesario desarrollar conocimientos que permitan mayor fiabilidad en relación con los procesos de recarga de acuíferos desde el suelo, que en la actualidad, ya que solo se estiman por descomposición de la curva de agotamiento del hidrograma. Asimismo, se ha de ajustar todo lo posible, la explotación de agua subterránea para permitir satisfacer la demanda sin sobreexplotar los acuíferos.
- Fomentar la investigación y el desarrollo de sistemas de almacenamiento de aguas pluviales tanto a nivel doméstico como agrario como industrial y energético.
- Por otro lado, a pesar de que Extremadura posee una importante capacidad de embalse y que el marco de protección ambiental descrito por el texto refundido de la *Ley de Aguas* (BOE nº176, del 24 de julio de 2001) es bastante exigente, es posible plantear estudios que planteen incrementar la capacidad de embalse en zonas donde esto es posible tanto ambiental como económica y técnicamente.
- Además hay que profundizar en el conocimiento de la disminución de la disponibilidad hídrica y sus repercusiones sobre otros sectores económicos, especialmente la agricultura.

En el ámbito de la investigación es necesario fomentar la coordinación institucional y los mecanismos de financiación con centros de investigación públicos y privados de Extremadura. Por ejemplo, la Universidad de Extremadura forma parte de la Plataforma Tecnológica Española del Agua (PTEA) que cuenta con el apoyo del Ministerio de Ciencia e Innovación, del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) y del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Se trata de una red de cooperación para el fomento de la I+D+i entre los agentes científicos y

tecnológicos nacionales, liderada por la industria y el sector empresarial del agua, cuyo objetivo es la mejora e innovación en tecnología aplicable a la gestión sostenible de los recursos hídricos y en el ciclo integral del agua. Desde la administración regional, se han de apoyar este tipo de iniciativas y al tiempo favorecer la investigación aplicada al ámbito del cambio climático en el marco extremeño.

En cuanto a la detección del cambio, se considera que a nivel nacional existe ya en la actualidad un sistema de seguimiento tanto meteorológico como hidrológico que aporta información valiosa para evaluar tendencias de cambio en el tiempo y en el espacio sobre los recursos hídricos. Se considera que se han de incrementar los puntos de medición así como la frecuencia de medida, con objeto de mejorar la detección de cambios en los patrones espaciotemporales del volumen y calidad de las aguas en la red hidrográfica, ya que este esfuerzo permitirá obtener una serie de datos más completa, tanto espacial como temporalmente, y facilitará la validación de hipótesis y modelos hidrológicos.

Desde el punto de vista de los usos del recurso, también se considera imprescindible establecer un sistema de seguimiento sobre el volumen de agua que es destinada a los distintos usos en cada cuenca hidrográfica, y sobre qué repercusiones socioeconómicas tienen los episodios de déficit hídrico en los que no se puede satisfacer por completo la demanda. Este sistema de seguimiento que integra aspectos ambientales y dinámicas socioeconómicas favorecería la puesta en marcha temprana de protocolos de actuación para la reducción de afecciones sobre el dinamismo económico de Extremadura o la implementación de medidas compensatorias para previsión de pérdidas.

## **9. ANÁLISIS INTEGRADO DE LA VULNERABILIDAD Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES SECTORES DEL PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EXTREMADURA EN RELACIÓN CON LOS RECURSOS HÍDRICOS**

En este apartado se pretende hacer una aproximación de conjunto a los sectores analizados en el Plan de Adaptación al Cambio Climático en Extremadura, integrando las medidas de adaptación y considerando los resultados de la estimación del balance hídrico en un contexto de clima cambiante. Considerando el papel central de los recursos hídricos respecto de otros sectores de actividad (sector agrícola, biodiversidad, energía, seguro, etc.), se ha considerado de interés incorporar un análisis integrado de las medidas de adaptación que reduzca su coste, facilite su puesta en marcha y aumente la eficiencia de las inversiones realizadas en adaptación al cambio climático. La integración realizada pretende por tanto establecer un conjunto de medidas de adaptación, enfocadas al nivel regional y que sirvan para mejorar la adaptación en su conjunto.

En este apartado se describen las principales actividades socioeconómicas que pueden verse afectadas por el cambio climático así como su relación con los recursos hídricos. Se analizan por separado los sectores agrícola y ganadero, urbano y turismo, e industrial y energético, ya que cada uno de ellos es un sector consumidor de recurso hídrico y es clave para el desarrollo socioeconómico regional por lo que una reducción en sus necesidades puede suponer un importante escollo en el dinamismo extremeño. Por otro lado, se recogen las implicaciones sobre las medidas de adaptación referidas a sectores más transversales como el sector seguro, el sector salud y sobre los ecosistemas (biodiversidad y bosques).

### **9.1. Implicaciones del cambio climático sobre el abastecimiento de agua a los sectores agrícola y ganadero**

**El Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2007)** estima un aumento de la evapotranspiración que traerá como consecuencia el incremento de la demanda de agua por parte del sector agrícola y de los pastos de uso ganadero. Partiendo de las cifras estimadas por el IPCC en cuanto al aumento de la evapotranspiración, que lo cifra entre el 5 y 8% de manera general para el año 2070, se prevé una disminución de las precipitaciones o una distribución anual más irregular que en la actualidad. Esto se traduciría en una disminución de las aportaciones hídricas, tal como se analizó en el apartado de vulnerabilidad, lo que supondría un estrés hídrico añadido para cultivos y pastos. El estrés hídrico supone una de las amenazas más importantes para el sector agropecuario, especialmente para los cultivos en regadío.

En el Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector agrícola se analizan la vulnerabilidad y los impactos del cambio climático sobre la agricultura y, se describen medidas orientadas a la reducción

de las afecciones sobre los cultivos y el sector agrario en Extremadura. Los principales impactos están relacionados con la reducción de la disponibilidad de agua, la pérdida de rendimiento por exceso de calor y la posible aparición de plagas o enfermedades vegetales que afecten a los cultivos. En cuanto a la ganadería, el principal impacto del cambio climático detectado, proviene de la pérdida de cantidad y la calidad de pastos, y como consecuencia de una merma en los sistemas de alimentación y calidad de vida ganadera se producirán pérdidas en la producción y, por tanto, impactos socioeconómicos no desdeñables. Además, el incremento térmico puede afectar a la incidencia de enfermedades sobre la cabaña ganadera local o a su rendimiento productivo.

Por otro lado, el sector de la agricultura es el que más agua consume en Extremadura, tanto en la D.H. Tajo (70% del total) como, y especialmente, en la D.H. Guadiana (90%). La demanda de agua por parte de los cultivos de regadíos es alta debido tanto a su importante superficie como a su demanda específica de agua, y la tendencia de los últimos años indica un incremento progresivo de la superficie regada por lo que podría esperarse que la demanda hídrica aumentará consecuentemente. Las medidas de ahorro y eficiencia del uso del agua y de captura de agua de lluvias serán de especial utilidad en el ámbito agropecuario dada su preponderancia en el actual reparto del volumen de agua. Por otra parte, los cultivos de secano, son totalmente dependientes del régimen de precipitaciones, por lo que si se reduce la lluvia útil, puede verse afectada su productividad. En este sentido, es necesario implicar a los colectivos profesionales de agricultores y ganaderos, tanto en el conocimiento de la problemática del agua en relación con el cambio climático como en la puesta en marcha de las medidas de adaptación propuestas. De esta manera, se podrá reducir la exposición de cultivos y ganado a situaciones de falta de recurso y se podrá hacer frente con mayores garantías a los cambios en el ciclo del agua descritos.

La productividad que tendrán los cultivos será diferente en función de las características específicas de los mismos, de su exposición a los cambios y dependiendo de si son cultivados en secano o en regadío. En Extremadura hay que destacar los cultivos de cereal para grano (trigo, cebada, avena) y el olivar (especialmente en Badajoz) que son los que mayor superficie tienen. Otros cultivos relevantes son los forrajeros (cereal para ganado y pastos), los cultivos industriales (girasol y tabaco) y el viñedo. Los grupos como las hortalizas, los cultivos de invernadero y los forrajeros, presentarán una elevada sensibilidad al estrés hídrico y a la disminución de las aportaciones hídricas, respondiendo con un aumento de las necesidades de agua de riego.

En definitiva, es muy probable que el cambio climático tenga una incidencia importante en la gestión del agua para los usos agrícola, por lo que será necesario incrementar la eficiencia del riego, realizando mejoras en los sistemas de riego, especialmente en aquellas zonas donde se concentran cultivos de regadío (Valles del Guadiana y del Alagón, principalmente), así como realizar mejoras de

la productividad, con cambios en los tipos de cultivos y reconversión a especies con unas menores necesidades hídricas y menos sensibles a la aridez.

## **9.2. Implicaciones del cambio climático sobre el abastecimiento de agua al sector urbano y al turismo**

El sector residencial, tanto urbano como rural, como el sector del turismo constituyen una parte importante de la demanda de recursos hídricos, a pesar de que porcentualmente, la contribución a la demanda total sea muy inferior a la del sector de la agricultura. Estas actividades, en las que el uso del agua es prioritario, son responsables de una parte muy relevante del dinamismo socioeconómico de una región, por lo que son sectores clave sobre los que es necesario evaluar el alcance de los impactos provocados por el cambio climático.

El aumento medio de las temperaturas se ha modelizado entre 2 °C y 3 °C para el periodo 2011-2040 y hasta de 3,5 °C a 4,5° C en el periodo 2041-2070, según los datos analizados en el presente documento, siendo los mayores incrementos en las zonas montañosas de las zonas rurales I, III y XII. Este incremento de temperaturas hará aumentar, al mismo tiempo, la demanda de agua por diversos motivos. Por una parte, se asistirá a una demanda de agua más elevada destinada al riego de zonas verdes, derivado de una evapotranspiración más elevada como consecuencia del aumento de las temperaturas.

Adicionalmente hay que decir que el modelo urbano ha ido cambiando sus pautas a lo largo de los últimos años, constatándose una mayor presencia de modelos urbanos basados en la existencia de amplias zonas ajardinadas y piscinas (zonas periféricas de Cáceres, Badajoz y Mérida), y cabe resaltar, que este modelo tiene unos requerimientos hídricos más elevados que el modelo urbano dominante hasta épocas recientes, lo que hará incrementar la demanda de agua para piscinas y zonas ajardinadas, debido igualmente al aumento de temperaturas y evapotranspiración.

Por otra parte, también es factible que este aumento de temperaturas conlleve una dilatación de los periodos vacacionales y del turismo de naturaleza y cultural, extendiéndose a estaciones como el otoño y la primavera. Es probable, por tanto, que en determinadas zonas turísticas de Extremadura se asista a una tendencia más elevada en el uso de instalaciones acuáticas, piscinas, etc., elevando las demandas hídricas en este sentido.

El turismo, es un importante motor económico en Extremadura tanto en su vertiente urbana/monumental como de naturaleza, y es una actividad que presenta elevados consumos de agua tanto directos como indirectos. Las actividades en las que se manifiesta un mayor efecto a consecuencia del turismo son las relacionadas con la hostelería, el transporte, los hoteles y el

comercio, y las actividades recreativas, culturales y deportivas. Todas estas actividades, a excepción del transporte, tienen unos requerimientos de agua elevados en mayor o menor grado, lo que unido al aumento de temperaturas y a una dilatación del calendario turístico de alta temporada, podría suponer un incremento importante de las demandas de agua, especialmente en épocas de escasa disponibilidad hídrica y temperaturas altas, que es cuando mayores son las necesidades de agua.

De este modo, diversas actividades económicas asociadas al turismo podrían verse afectadas por el cambio climático en relación a la disponibilidad hídrica. Así, en épocas de déficit hídrico o sequía generalizada, se puede ver aumentado el riesgo de cortes en el suministro urbano debido a causas climáticas, pero también influenciados por la existencia de fuertes picos de demanda a consecuencia del turismo y la concentración de población elevada en determinados territorios y épocas del año. Las principales zonas de turismo urbana, cultural y monumental se ubican en la parte occidental de Extremadura, en el límite entre las D.H. Tajo y Duero, en torno a las ciudades de Mérida, Cáceres y Badajoz

Una de las propuestas de adaptación del sector del turismo, igualmente válida para el sector residencial, es la puesta en marcha de medidas de protección de infraestructuras frente a crecidas e inundaciones. Igualmente, la mejora de la formación de los agentes implicados en la gestión urbana y las infraestructuras turísticas, en relación con la prevención frente a fenómenos meteorológicos extremos, reducirá el nivel de impacto y favorecerá la resiliencia de los sistemas; y por otro lado, la cultura del ahorro y la eficiencia en el uso del agua es fundamental en estos sectores de consumo distribuido para reducir las pérdidas de recurso e incrementar la disponibilidad para el conjunto de la sociedad.

Todas estas cuestiones que conforman el binomio agua y turismo, si no se gestionan adecuadamente y se lleva a cabo una planificación considerando el cambio climático y sus posibles repercusiones sobre el sector turístico, pueden hacer perder competitividad a Extremadura como destino turístico.

### **9.3. Implicaciones del cambio climático sobre el abastecimiento de agua al sector industrial y energético**

El agua es un bien necesario para múltiples actividades industriales y energéticas, y en la industria se hace uso del agua con fines de refrigeración, pero también para usos consuntivos. A pesar de que en la región el sector industrial y energético es responsable únicamente del 3% del consumo del agua total en la región, garantizar el suministro es esencial para asegurar la producción de energía y de bienes de consumo. En Extremadura los sectores industriales más consumidores de agua son la industria alimentaria, la minería, la metalurgia, y la industria del aprovechamiento del corcho y la madera (INE, 2009). En cuanto a la energía, el agua es empleada para la generación hidroeléctrica, la producción y

crecimiento de la biomasa, así como el aprovechamiento del agua de los ríos como elemento para refrigeración en las centrales nucleares, térmicas y de cogeneración.

El aumento de la demanda de agua por parte de la industria, a causa del cambio climático, no se prevé que sea especialmente elevado, si bien será necesario garantizar tanto la continuidad de suministro, con independencia del estado hidrológico de las cuencas, como el uso de agua con la calidad suficiente como para poder ser empleada en los distintos procesos productivos y de refrigeración.

Tal vez, y distinguiendo entre los distintos tipos de usos del agua por parte del sector industrial, sea el consumo de agua para refrigeración el que se espera como más elevado, siendo uno de los efectos más constatados desde el punto de vista de los efectos del cambio climático en la industria en relación a los recursos hídricos. El aumento de las temperaturas medias y la frecuencia cada vez más elevada de olas de calor, podría conllevar un aumento de la demanda de agua para refrigeración por parte de las industrias y las centrales térmicas, puesto que la temperatura del agua también será más elevada y, por tanto, el caudal de agua a introducir será mayor.

Es importante comentar que de manera general, la *Directiva Marco del Agua* (DOUE nº 327, del 22 de diciembre de 2000) marca una prioridad de usos del agua en el que prevalece el ecológico, esto es, el caudal de agua imprescindible para preservar los valores ecológicos (hábitats, funciones ecosistémicas, etc.) de un determinado cauce y el abastecimiento en asentamientos humanos. En condiciones de escasez de recurso, es probable que se reduzca considerablemente la dotación de agua para fines industriales o agrícolas a favor del abastecimiento, generando así impactos negativos sobre la producción, el empleo y la riqueza regional.

Por otra parte, los fenómenos climáticos extremos relacionados con el sector de los recursos hídricos representados por las inundaciones y avenidas, también representan una cuestión que podría afectar en cierta medida al sector industrial y energético. Es muy probable que los efectos climáticos de carácter extremo se repitan con una mayor frecuencia e intensidad. Así, localizaciones industriales sitas en las proximidades de los grandes ríos Tajo, Guadiana o el Alagón, podrían verse afectadas por este tipo de fenómenos, traduciéndose en cuantiosos daños y pérdidas ocasionadas por el desbordamiento de los ríos, tormentas, huracanes, etc.

Actualmente el sector industrial tiene una relevancia moderada tanto desde la óptica laboral (10% del empleo) como económica y está basado fundamentalmente en el aprovechamiento de los recursos naturales. La industria se ubica en los ejes de desarrollo de las Vegas del Guadiana, el Corredor del Norte y la Ruta de la Plata que coinciden con las zonas con mayor población y mejores infraestructuras.

## **9.4. Implicaciones del cambio climático sobre el sector del seguro y la salud humana**

El sector asegurador juega un papel clave en la respuesta de la sociedad a amenazas, y referente a ellas en el sector del seguro se proponen una serie de medidas de adaptación basadas en que,

- El conocimiento técnico y específico en relación con el cambio climático y los recursos hídricos puede adquirirse, entre otras vías, favoreciendo el intercambio de información climática y de estrategias y políticas de adaptación con otros territorios. Esta puesta en común debería hacerse no sólo a nivel de la administración si no entre empresas del ramo del sector del seguro, de manera que puedan ofrecer mejores productos y, en conjunto, se pueda reducir el nivel de siniestralidad causado por la reducción de la disponibilidad hídrica, las sequías e inundaciones.

En el mismo sentido, la mejora de la coordinación de políticas de adaptación entre niveles administrativos (nacional, regional y local) y entre sectores de actividad (agricultura y ganadería industria y energía, seguro, salud, etc.) favorece la adaptación en su conjunto. Hay una relación directa entre el sector del seguro y las inundaciones, o los daños al sector agropecuario, por ejemplo.

Otras de las medidas de adaptación sugeridas para el sector del seguro y los riesgos naturales, son coherentes con las necesidades de adaptación en el sector de los recursos hídricos, pudiendo citar entre otras,

- Mejorar los modelos de análisis del riesgo mediante investigación
- Integrar en la política de adaptación a todos los agentes implicados (empresas del sector, especialistas, organizaciones laborales, colegios oficiales, etc.)
- Incentivar la adaptación privada mediante mecanismos económicos o fiscales, de modo que se reduzca la vulnerabilidad y se incremente la resiliencia.
- Aumentar la promoción del seguro, ya que esto reduce la vulnerabilidad pues se está cubierto en caso de una determinada contingencia.
- Aplicar el principio de prevención a la legislación y la toma de decisiones políticas de manera que se vea reducida la vulnerabilidad.
- Establecer un sistema de indicadores para el seguimiento y monitoreo del cambio climático y sus efectos.

En cuanto a la relación entre salud humana, recursos hídricos y cambio climático, pueden citarse las siguientes consideraciones,

- Protección de los colectivos más vulnerables a través de campañas de información y de medidas preventivas que ayuden a reducir la exposición y la vulnerabilidad. En relación con los recursos hídricos, resulta fundamental que los usuarios de agua no potabilizada, principalmente los agricultores y ganaderos, sepan cual es la influencia de las sequías y el calor sobre la calidad del agua y no utilicen dichas fuentes cuando haya posibilidades que puedan exponer sus cultivos o ganado a enfermedades o infecciones.

Por otro lado, en momentos de lluvias que puedan generar torrencialidad, es necesario que la población que vive en valles estrechos o cerca de cauces fluviales sepan que en el futuro, estos fenómenos pueden darse más a menudo y con más intensidad, por lo que será necesario que reduzcan su exposición a tales efectos.

En cualquier caso, la puesta en marcha de programas de capacitación que mejoren la respuesta del sistema de salud pública frente a problemas derivados del cambio climático, favorece que en el caso en que se produzcan incrementos de los factores causales de morbi-mortalidad derivados del cambio climático sobre los recursos hídricos, los profesionales sanitarios puedan ofrecer una atención adecuada y específica. Durante episodios de sequía o fuertes lluvias, cuando la calidad del agua de fuentes superficiales y subterráneas pueda verse comprometida, es preciso que en hospitales y ambulatorios se esté al tanto del tipo de enfermedades infecciosas o transmitidas por el agua, más frecuentes y se pueda dar un tratamiento acorde.

## **9.5. Implicaciones del cambio climático sobre los ecosistemas. Sector biodiversidad y forestal**

El agua es un elemento esencial de los ecosistemas y del funcionamiento de la naturaleza, desempeñando un rol central en los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas. Tanto la biodiversidad regional a nivel de especie como de ecosistemas requiere de una determinada cantidad y calidad de agua circulante para mantenerse. En este sentido, las medidas de adaptación propuestas para estos sectores que más se adecúan al sector de los recursos hídricos tienen que ver con el seguimiento del cambio. Por ello, se considera esencial incorporar variables del ciclo del agua en los sistemas de monitoreo que se planteen para conocer el efecto del cambio climático sobre la biodiversidad y los bosques extremeños. Por otro lado, en la definición y catalogación de espacios especialmente vulnerables al cambio climático, es necesario incorporar variables relacionadas con el agua.

## 10. CONCLUSIONES

El cambio climático global se está registrando también a escala de la región autónoma de Extremadura, y este cambio en las condiciones climáticas se manifiesta en un incremento térmico generalizado acompañado de un desajuste del régimen de precipitaciones.

En términos generales, en Extremadura, la precipitación anual se reduce tanto en la primera parte del siglo XXI (periodo 2011-2040) como en el periodo posterior (2041-2070) en el conjunto del territorio autonómico. La reducción es más importante en las áreas montañosas de las zonas rurales I y III, y en menor medida en la zona rural V, y el sur de las zonas rurales X, XI y XII.

Desde el punto de vista de la organización hidrográfica, la reducción en la precipitación afecta sobre todo a la Demarcación del Tajo; asimismo, en las comarcas de Las Hurdes, Sierra de Gata, La Vera y Valle del Jerte, las lluvias acumuladas a lo largo del año, se prevé serán unos 200 mm inferiores a las actuales en el periodo 2011-2040 bajo ambos escenarios y unos 250 mm menores para 2041-2070. Concretamente, en 2011-2040, los resultados para ambos escenarios en el cómputo anual de lluvias serán similares siendo la reducción de la precipitación anual de entre 50 y 100 mm en las demarcaciones hidrográficas Guadalquivir y Guadiana. En la demarcación hidrográfica del Tajo, en los territorios con menor altitud ubicada en el entorno del río, las precipitaciones anuales serán también entre 50 y 100 mm inferiores a las registradas en la actualidad en ambos escenarios, mientras que en el norte de Cáceres, se reducirán hasta 200 mm anuales. Por otra parte, en 2041-2070, bajo el escenario B2, se muestra un patrón de lluvias anuales similar al del periodo 2011-2040, sin embargo, bajo el escenario A2, se proyectan reducciones más drásticas en toda la cuenca extremeña del Tajo y el Guadalquivir alcanzándose disminuciones de hasta 300 mm anuales en la zona rural III.

La temperatura es un factor determinante de la capacidad desecante de la atmósfera, así cuanto mayor es la temperatura, mayor es la evaporación de agua desde masas superficiales y desde el suelo, y mayor es la transpiración vegetal en términos generales. En el periodo 2011-2040, las temperaturas ascenderán en promedio alrededor de 2,5 °C bajo ambos escenarios, siendo mayor el calentamiento en las zonas rurales I y IV en la demarcación hidrográfica Tajo, y en las zonas rurales IX y XII en las demarcaciones del Guadiana y Guadalquivir respectivamente. En el periodo 2041-2070, se intensificará el calentamiento sobre todo bajo el escenario A2 alcanzando 4,5 °C más que en 1961-1990, en promedio, para Extremadura, mientras que bajo el escenario B2, el aumento respecto del periodo de referencia es de unos 3,5 °C a 4 °C. Las áreas que más recalientan en 2041-2070 son las mismas que en 2011-2040 afectando al territorio de las zonas rurales I, IX y XII.

Los cambios en la precipitación y temperatura condicionarán directamente el balance hidrológico autonómico, aumentando las condiciones de déficit hídrico. El cambio del patrón espaciotemporal

tanto de las precipitaciones como de las temperaturas, determina unas estaciones de verano y otoño mucho más estresantes para la vegetación desde el punto de vista del recurso hídrico. La elevación de las temperaturas y la reducción de las precipitaciones por efecto del cambio climático implicarían una menor disponibilidad hídrica para el uso antrópico y, por tanto, un mecanismo de generación de impactos de gran calado ambiental, social y económico. Esta merma en el ciclo hidrológico afectará no sólo a los ecosistemas sino al conjunto de actividades socioeconómicas de la región. De este modo, se espera que se reduzca la cantidad y la calidad de los recursos hídricos, sobre todo en las zonas rurales III, V y VI, así como se incrementarán los impactos sobre las infraestructuras de almacenamiento de agua.

Los resultados presentados en el apartado de vulnerabilidad obtenidos a partir del análisis de la variación espaciotemporal de las distintas etapas del ciclo hídrico mediante el método directo muestran una disminución de la disponibilidad hídrica en el futuro, especialmente drástica en el periodo 2041-2070 respecto del periodo de referencia, bajo los dos escenarios de emisiones analizados (A2 y B2). A priori, la aplicación de políticas ambientales, incorporadas en los escenarios de clima, apenas determinan una diferencia entre los resultados de los modelos hidrológicos.

Considerando el papel clave del agua en distintas actividades, ecosistemas y sectores económico salud, agricultura y ganadería, energía e industria, bosques, riesgos naturales y seguros, turismo, etc. es necesario establecer una política de prevención que permita limitar los impactos producidos por el cambio climático en Extremadura.

Por ello, las medidas de adaptación se orientan en dos direcciones; por un lado, al fortalecimiento natural del ciclo hidrológico y por otro al establecimiento de medidas que permitan mejorar la gestión del recurso (infraestructurales y de gestión), ya que un buen estado de los ecosistemas es necesario para fortalecer la precipitación y la captación del agua de lluvia por las plantas y el suelo. Igualmente, un adecuado funcionamiento ecológico permite la recarga de acuíferos, la escorrentía superficial y el embalsado de agua. En este sentido, la puesta a punto de planes de protección de las infraestructuras frente a riadas o exceso de temperaturas es necesaria para mantener una buena red de captación, potabilización, distribución, almacenamiento y depuración del agua. Finalmente, el fomento de la eficiencia en el uso del recurso, del control de la calidad del agua y la puesta en marcha de técnicas de captación y reutilización del recurso, reducirán la vulnerabilidad futura de Extremadura frente al déficit hídrico provocado por el cambio de clima.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Estatal de Meteorología – AEMET.** 2011. El año hidrológico 2010-2011, dentro de la precipitación media. Accesible en: <http://www.aemet.es/es/noticias/2011/10/hidrologico20102011>
- Almorox, J.** 2003. Climatología aplicada al Medio Ambiente y Agricultura. 201 pp. Accesible en: [http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/Humedad\\_del\\_suelo/Balancehidricodirecto.pdf](http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/Humedad_del_suelo/Balancehidricodirecto.pdf)
- Aguado Alonso, J.** 2011. ¿Podemos aprovechar el agua de lluvia? El Agua de Madrid. Red madrileña de Tratamientos Avanzados para Aguas Residuales con Contaminantes no Biodegradables. Accesible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2011/05/24/131641>
- Ayala-Carcedo, F.J.** 1996. Reducción de los recursos hídricos en España por el posible cambio climático. Tecnoambiente64, 43-48.
- Ayala-Carcedo, F.J. e Iglesias López, A.** 2001. Impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos, el diseño y la planificación hidrológica en la España peninsular. Instituto Tecnológico y Geominero de España.
- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu y J.P. Palutikof, Eds.,** 2008: El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC. 224 pp. Accesible en: <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-sp.pdf>
- Brunet, M.; Casado, MJ.; de Castro, M.; Galán, P.; López, J.A.; Martín, J.M.; Pastor, A.; Petisco, E.; Ramos, P.; Ribalaygua, J.; Rodríguez, E. y Torres, L.** 2007. Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. Primera Fase. Instituto Nacional de Meteorología (INM). Ministerio de Medio Ambiente. 145 pp. Accesible en: [www.aemet.es/documentos/es/elclima/cambio\\_climat/escenarios/Informe\\_Escenarios.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/elclima/cambio_climat/escenarios/Informe_Escenarios.pdf)
- Budyko, M.I. y Zubenok, L.I.** 1961. The determination of evaporation from the lands surface. Izvestiya AkademiiNauk, Geograficheskaya. SvazSovetskykh Socialistickych Republik 6: 3-17.
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas – CEDEX.** 1998. Estudio sobre el Impacto Potencial del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Demandas de Agua de Riego en Determinadas Regiones de España. Informe técnico para el Ministerio de Medio Ambiente de España. CEDEX: 43-496-1-089.

---

**Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas – CEDEX.** 2011. *Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos en Régimen Natural.*

**Comisión de las Comunidades Europeas.** 2009. Libro Blanco Adaptación al Cambio Climático: hacia un marco europeo de actuación. COM (2009) 147 final. Accesible en: Libro Blanco Adaptación al Cambio Climático: hacia un marco europeo de actuación. COM (2009) 147 final. Anexo del agua SEC (2009) 386.

**Comisión Europea.** 2011. Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo. Tercer Informe de seguimiento de la Comunicación sobre la escasez de agua y la sequía en la Unión Europea [COM (2007) 414 final]. COM (2011) 133 final. Accesible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0133:FIN:ES:PDF>

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo: Hacia una gestión sostenible del agua en la Unión Europea.** Primera Fase de aplicación de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) [COM (2007) 128 final]. Accesible en: <http://eurlex.europa.eu>

**Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones:** “Plan para salvaguardar los recursos hídricos de Europa”. 2012.

**Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.** 2010. Esquemas de temas importantes. Dirección General del Agua. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2010. 278 pp.

**Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.** 2011. Oficina de planificación hidrológica. *Plan Hidrológico de Cuenca, en la demarcación Hidrográfica del Guadalquivir.* Este Plan fue informado por el Consejo del Agua de la Demarcación el 22 de noviembre de 2012 y por el Consejo Nacional del Agua el 13 de diciembre de 2012, estando tan solo pendiente de aprobación RD y de su publicación en el BOE. Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, Accesible en: <http://www.chguadalquivir.es>

**Confederación Hidrográfica del Guadiana.** 1998. Plan Hidrológico del Guadiana I. Accesible en: <http://www.chguadiana.es/?url=planificaci%F3n+planes+hidrol%F3gicos+vigentes+planes+hidrol%F3gicos+de+cuenca+guadiana+i+memoria&corp=chguadiana&lang=es&mode=view>

**Confederación Hidrográfica del Guadiana.** 2007. Plan Especial de Sequía de la Cuenca del Guadiana. 285 pp. Accesible en: [http://www.chguadiana.es/corps/chguadiana/data/resources/file/sequia/Plan\\_Especial\\_de\\_Sequias.pdf](http://www.chguadiana.es/corps/chguadiana/data/resources/file/sequia/Plan_Especial_de_Sequias.pdf)

**Confederación Hidrográfica del Guadiana.** 2011. Oficina de planificación hidrológica. *Plan Hidrológico de Cuenca, en la demarcación Hidrográfica del Guadiana (parte española)*. Este Plan fue informado por el Consejo del Agua de la Demarcación el 22 de noviembre de 2012 y por el Consejo Nacional del Agua el 13 de diciembre de 2012, estando tan solo pendiente de aprobación RD y de su publicación en el BOE. Demarcación Hidrográfica del Guadiana, Accesible en: <http://www.chguadiana.es>

**Confederación Hidrográfica del Guadiana.** 2012. “*Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundaciones en la demarcación Hidrográfica del Guadiana*” (EPRI, 2012). <http://www.chguadiana.es>

**Confederación Hidrográfica del Tajo.** 2011a. Página web. Información cartográfica. <http://www.chtajo.es/Servicios/Paginas/InforGeografica.aspx>

**Confederación Hidrográfica del Tajo.** 2011b. Oficina de planificación hidrológica. Participación pública en los planes hidrológicos de cuenca. Demarcación Hidrográfica del Tajo. Accesible en: [http://www.marm.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/ch\\_tajo\\_tcm7-147168.pdf](http://www.marm.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/ch_tajo_tcm7-147168.pdf)

**Confederación Hidrográfica del Tajo.** 2012. “*Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundaciones en la demarcación Hidrográfica del Tajo*” (EPRI, 2012). <http://www.chtajo.es>

**Consejería de Agricultura y Medio Ambiente.** 2003. Plan Forestal de Extremadura (PFEx). Junta de Extremadura. Accesible en: <http://www.extremambiente.es>

**Consejería de Fomento.** 2009. Dirección General de Infraestructuras y Aguas. Plan de Infraestructuras de Depuración de Aguas Residuales de Extremadura (2008-2015). Junta de Extremadura.

**Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático–CMNUCC.** 2009. Lista de signatarios y ratificación de las partes en el Protocolo de Kioto. 11 pp. Accesible en: [http://unfccc.int/files/kyoto\\_protocol/status\\_of\\_ratification/application/pdf/kp\\_ratification.pdf](http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/status_of_ratification/application/pdf/kp_ratification.pdf)

**Decreto 91/1994, de 28 de junio, por el que se aprueba con carácter de Plan Director, el Plan Territorial de Protección Civil de la Comunidad Autónoma de Extremadura–PLATERCAEX.** DOE nº77, de 5 de julio de 1994, revisado en el año 2002 y homologado por la Comisión Nacional de Protección Civil el 27 de marzo de 2003.

**Decreto 115/2010 de 14 de mayo, por el que se crean y establecen las funciones de los órganos de gobernanza para la aplicación de la Ley de Desarrollo Sostenible del Medio Rural y se determina la delimitación y calificación de las zonas rurales de Extremadura.** Programa de Desarrollo Rural Sostenible 2010-2014 de Extremadura. DOE nº95, 20 de mayo de 2010.

**Demarcación Hidrográfica del Duero.** 2011. Página web. Información cartográfica. <http://www.chduero.es/Inicio/Informaci%C3%B3ncartogr%C3%A1fica/Atlasdemapas/tabid/526/Default.aspx>

**Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir.** 2008. Oficina de planificación hidrológica. Usos del Agua. Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Accesible en: [http://www.chguadalquivir.es/export/sites/default/portalchg/planHidrologicoDemarcacion/participacionPublica/talleresJornadas/ficheros/taller\\_9Los\\_usos\\_del\\_agua\\_en\\_el\\_Eschema\\_de\\_Temas\\_Importantes\\_Victor\\_Cifuentes.pdf](http://www.chguadalquivir.es/export/sites/default/portalchg/planHidrologicoDemarcacion/participacionPublica/talleresJornadas/ficheros/taller_9Los_usos_del_agua_en_el_Eschema_de_Temas_Importantes_Victor_Cifuentes.pdf)

**Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir.** 2011. Página web. Geoportal de Infraestructura de Datos Espaciales de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir IDE-CHG. Accesible en: <http://idechg.chguadalquivir.es>

**Demarcación Hidrográfica del Guadiana.** 2011. Página web. Información cartográfica. <http://www.chguadiana.es/?chguadiana=883ef389075de38c8d3948f015fdf369&url=la+cuenca+a+hidrogr%E1fica+informaci%C3%B3n+cartogr%E1fica+mapa+de+la+cuenca&corp=chguadiana&lang=es&mode=view>

**Dirección General de Medio Natural.** 2010. Plan Estratégico Forestal de Extremadura. Propuesta del Plan Forestal revisado. 2010. Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. 267 pp. Accesible en: [www.extremambiente.es](http://www.extremambiente.es)

**Dirección General de Evaluación y Calidad Ambiental.** 2011. Escenarios Regionalizados de Cambio Climático en Extremadura. Junta de Extremadura. Accesible en: <http://www.observatorioclimatico.es/files/Escenarios%20climaticos%20regionalizados%20web.pdf>

**Dirección General de Ordenación Industrial, Energética y Minera.** 2002. Mapa hidrogeológico de Extremadura. Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. Junta de Extremadura. Accesible en: <http://sinet3.juntaex.es/sigeo/webmap/USER/AGHidrogeologico/viewer.asp>

**Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.** DOCE n°327, de 22 de diciembre de 2000, 1-73. Accesible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:327:0001:0072:ES:PDF>

**Directiva 2007/60/CE del Parlamento del Consejo de 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación del riesgo de inundación.** DO L 288 de 6.11.2007. Accesible en: <http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/lex/images/faviconLaw.ico>

- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio – EME.** 2005. Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water. Synthesis. World Resources Institute. 68 pp. Accesible en: <http://www.maweb.org/documents/document.358.aspx.pdf>
- European Environmental Agency – EEA.** 2011. Corine Land Cover 2006(CLC2006) 100 m - version 8/2011. Accesible en: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-1>
- European Environmental Agency – EEA.** 2008. Impacts of Europe´s changing climate. 2008 Indicator-based assessment. Joint EEA-JRC-WHO report. European Environmental Agency Report No 4/2008. 246 pp. Accesible en: [http://www.eea.europa.eu/publications/eea\\_report\\_2008\\_4](http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_4)
- Falkenmark, M. y Lindh, G.** 1976. Water for a Starving World. Westview Press, Boulder, CO.
- Fernández, F.** 1995. Manual de Climatología Aplicada. Clima, medioambiente y planificación. Síntesis Editorial. 288 pp.
- Fernández Carrasco, P.** 2006. Cambio climático e ingeniería territorial: riesgos y oportunidades. Ingeniería y Territorio nº 74, 44-51. Accesible en: <http://www.ciccp.es/revistaIT/textos/pdf/05-Pedro%20Fern%20E1ndez.pdf>
- Garrote, L.;Rodríguez, I.C. y Estrada, F.** 1999. Una evaluación de la capacidad de regulación de las cuencas de la España peninsular. VI Jornadas Españolas de Presas. Málaga. 645-656.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático – IPCC.** 2000. Informe especial del IPCC. Escenarios de emisiones. Resumen para responsables de políticas. 22 pp. Descargable en: <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-sp.pdf>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático – IPCC.** 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 103 pp. Accesible en: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf)
- Hispagua – Sistema Español de Información sobre el Agua.** Demarcaciones hidrográficas. <http://hispagua.cedex.es/instituciones/demarcaciones>
- Iglesias, A.; Estrela, T. y Gallart, F.** 2005. Impactos sobre los recursos hídricos. 303-353. En: Moreno, J. M.; Aguiló, E.; Alonso, S.; Álvarez Cobelas, M.; Anadón, R.; Ballester, F.; Benito, G.; Catalán, J.; de Castro, M.; Cendrero, A.; Corominas, J.; Díaz, J.; Díaz-Fierros, F.;

---

Duarte, C. M.; Esteban Talaya, A.; Estrada Peña, A.; Estrela, T.; Fariña, A. C.; Fernández González, F.; Galante, E.; Gallart, F.; García de Jalón, L. D.; Gil, L.; Gracia, C.; Iglesias, A.; Lapieza, R.; Loidi, J.; López Palomeque, F.; López-Vélez, R.; López Zafra, J. M.; de Luis Calabuig, E.; Martín-Vide, J.; Meneu, V.; Mínguez Tudela, M. I.; Montero, G.; Moreno, J.; Moreno Saiz, J. C.; Nájera, A.; Peñuelas, J.; Piserra, M. T.; Ramos, M. A.; de la Rosa, D.; Ruiz Mantecón, A.; Sánchez-Arcilla, A. ; Sánchez de Tembleque, L. J.; Valladares, F.; Vallejo, V. R. y Zazo, C., 2005. Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Proyecto ECCE. Ministerio de Medio Ambiente. 822 pp.

**Instituto Nacional de Estadística – INE.** 2006. Encuesta industrial de empresas 2006.

**Instituto Nacional de Estadística – INE.** 2008. Estadísticas e indicadores del agua. Cifras INE 1/2008. Boletín informativo del Instituto Nacional de Estadística. 12 pp.

**Instituto Nacional de Estadística – INE.** 2009. Encuesta Industrial de Empresas 2008. Resultados para Extremadura. Accesible en: <http://www.estadisticaextremadura.com>

**Instituto Nacional de Estadística – INE.** 2011. Padrón municipal. Cifras oficiales de población a 1 de enero de 2011. Accesible en: <http://www.ine.es>

**Instituto Nacional de Estadística – INE.** 2011. Estadísticas sobre medio ambiente. Estadísticas medioambientales sobre el agua. Encuesta sobre el suministro y saneamiento del agua. Años 2009 y anteriores. Accesible en: <http://www.ine.es>

**Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.** BOE nº161, de 6 de julio de 2001.

**Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social.** BOE nº313, de 31 de diciembre de 2003.

**Ley 11/2005, de 22 de junio de 2005.** BOE nº149, de 23 de junio de 2005.

**Ley 5/2010, de 23 de junio, de prevención y calidad ambiental de la Comunidad Autónoma de Extremadura.** DOE nº120, de 24 de junio de 2010.

**Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente – MAGRAMA.** 2012. Boletín Hidrológico. Reserva hidráulica. Datos de reserva. Desglose por embalses. Número 11. Accesible en: <http://servicios3.marm.es>

**Ministerio del Medio Ambiente – MMA.** 2000. El Libro Blanco del Agua en España. Accesible en: [http://hercules.cedex.es/Informes/Planificacion/2000-Libro\\_Blanco\\_del\\_Agua\\_en\\_Espana](http://hercules.cedex.es/Informes/Planificacion/2000-Libro_Blanco_del_Agua_en_Espana)

**Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.** 2009. El cambio climático y adaptación de los recursos hídricos. Publicada mediante un convenio con la AEMA y con la Oficina de Publicaciones de la CE (OPOC). 110 pp. Accesible en: [http://www.marm.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/red-eionet-agencia-europea-de-medio-ambiente-aema-/CambioClimaticoAdaptacionRecursosHidricos\\_tcm7-1874.pdf](http://www.marm.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/red-eionet-agencia-europea-de-medio-ambiente-aema-/CambioClimaticoAdaptacionRecursosHidricos_tcm7-1874.pdf)

**Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino – MARM.** 2012. Libro Digital del Agua. Precipitación, temperatura, escorrentía, balance hídrico y volumen embalsado por distrito hidrográfico. Accesible en: <http://servicios2.marm.es/sia/visualizacion/lda/recursos>

**Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente - MOPTMA.** 1995. Programa Nacional del Clima. Comisión Nacional del Clima.

**Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales – MTIS.** 2006. Programa Operativo. Fondo Social Europeo 2007-2013. Extremadura. 210 pp. Accesible en [http://www.mtin.es/uafse\\_2000-2006/es/2007-2013/prog-operativos/Extremadura.pdf](http://www.mtin.es/uafse_2000-2006/es/2007-2013/prog-operativos/Extremadura.pdf)

**Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad - MSPSI.** 2011. Calidad del agua de consumo humano en España. Informe técnico. Año 2010. 429 pp.

**Modelo digital del terreno – MDT200.** Instituto Geográfico Nacional. Modelo digital del terreno con paso de malla de 200 m. Distribución por provincias (rectángulo envolvente de cada provincia). Sistema geodésico de referencia ETRS89. Proyección UTM en el huso 30.

**Observatorio de la Sostenibilidad en España – OSE.** 2006. Cambios de ocupación del suelo en España. 485 pp. Accesible en: <http://www.sostenibilidad-es.org/sites/default/files/Informes/tematicos/suelo/suelo-esp.pdf>

**Observatorio de la Sostenibilidad en España – OSE.** 2007. Agua y Sostenibilidad: Funcionalidad de las Cuencas. 205 pp. Accesible en: [http://www.sostenibilidad-es.org/sites/default/files/Informes/tematicos/agua/agua\\_y\\_sostenibilidad-esp.pdf](http://www.sostenibilidad-es.org/sites/default/files/Informes/tematicos/agua/agua_y_sostenibilidad-esp.pdf)

**Oficina Española de Cambio Climático - OECC.** 2006. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente. 59 pp. Accesible en: [http://www.mma.es/secciones/cambio\\_climatico/areas\\_tematicas/impactos\\_cc/pdf/pna\\_v3.pdf](http://www.mma.es/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/impactos_cc/pdf/pna_v3.pdf)

**Orden del 13 de agosto de 1999.** BOE nº205, del 27 de agosto de 1999, que modifica el *Real Decreto 1664/1998*, de 24 de julio (BOE nº191, de 11 de agosto de 1998), por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de Cuenca.

**Orden MAM/698/2007, de 21 de marzo que tiene como objetivo minimizar los impactos ambientales, económicos y sociales de eventuales episodios de sequías.** BOE 71 de 23 de marzo de 2007.

**Organización de las Naciones Unidas – ONU.** 1998. Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. FCCC/INFORMAL/83. 24 pp. Accesible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

**Parry, M.L.** 2000. Assessment of the Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Project. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, UK, 320 pp. Accesible en: [http://www.jei.uea.ac.uk/projects/acacia\\_report.htm](http://www.jei.uea.ac.uk/projects/acacia_report.htm)

**Pérez Fernández, M.; Rodríguez Gómez, J.; García Laureano, R. y Pérez Ledesma, J.** 2009. Estrategia de Cambio Climático para Extremadura 2009-2012. Dirección General de Evaluación y Calidad Ambiental. Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. Junta de Extremadura. 91 pp. Accesible en: [www.extremambiente.es](http://www.extremambiente.es)

**Pérez Fernández, M; Moreno Pérez, J; González Iglesias, F; García Laureano, R; De Miguel Gordillo, M.** 2011a. Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Agrícola. Dirección General de evaluación y Calidad Ambiental. Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. Junta de Extremadura. Formato CD. Accesible en: <http://www.observatorioclimatico.es/>

**Pérez Fernández, M; Moreno Pérez, J; García Laureano, R; Corzo Pantoja, F.** 2011b. Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Seguros y Riesgos Naturales en Extremadura. Dirección General de evaluación y Calidad Ambiental. Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. Junta de Extremadura. Formato CD. Accesible en: <http://www.observatorioclimatico.es>

**Pérez Fernández, M; Moreno Pérez, J; García Laureano, R; Corzo Pantoja, F.** 2011c. Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía en Extremadura. Dirección General de evaluación y Calidad Ambiental. Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. Junta de Extremadura. Sin publicar.

**Pérez Fernández, García Laureano, R; Moreno Pecero, G; Corzo Pantoja, F; Toribio Sevillano, A.B; Robles Gil, J.** 2011d. Mapa de Impactos del Cambio Climático en Extremadura. Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. Junta de Extremadura. 229 p. Accesible en: <http://www.observatorioclimatico.es>

---

**Plan Nacional de Regadíos Horizonte 2008.** 2002. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Accesible en: <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-sostenible-de-regadios/plan-nacional-de-regadios/texto-completo>

**Real Decreto 650/1987**, del 8 de mayo, por el que se definen los ámbitos territoriales de los Organismos de Cuenca y los planes hidrológicos. BOE nº122, del 22 de mayo de 1987.

**Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio**, por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de Cuenca. BOE 191 de 11 de agosto de 1998.

**Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.** BOE nº176, de 24 de julio de 2001.

**Real Decreto 329/2002, de 5 de abril, por el que se aprueba el Plan Nacional de Regadíos.** BOE nº101, de 27 de abril de 2002.

**Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.** BOE nº45, de 21 de febrero de 2003.

**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 palie los daños producidos por la sequía.** BOE nº60, de 11 de marzo de 2006.

**Real Decreto 125/2007, del 2 de febrero, por el que se fija los ámbitos territoriales de las Demarcaciones Hidrográficas.** BOE nº 30, del 3 de febrero de 2007.

**Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.** BOE nº294, de 8 de diciembre de 2007.

**Real Decreto 903/2010 de 9 de julio de evaluación y gestión de riesgo de inundaciones.** BOE nº171, de 15 de julio de 2010.

**Sánchez Sánchez-Mora, J.I. 2011.** La gestión del agua en Extremadura. Dirección General de Infraestructuras y Agua. Consejería de Fomento. Junta de Extremadura. En I Jornadas sobre la Gestión Pública del Agua en Extremadura. Accesible en: <http://www.grada.es/jornadaagua/ponencias/jism.pdf>

**Sistema Integrado de Información del Agua – SIA** Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2012. A) Mapa de litología de España. Elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España en 2006. B) Mapa de aguas subterráneas. Elaborado por la Subdirección General de Planificación Hidrológica y Uso Sostenible del Agua. Dirección General del Agua

(Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino) en 2007. Accesibles en:  
<http://servicios2.marm.es/sia/visualizacion/descargas/mapas.jsp>

**Servicio de Regadíos. Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía.**

2011. Red RECAREX. Análisis y conclusiones. Calidad del agua en el año 2009. Accesible en: [http://aym.juntaex.es/servicios/recarex/recarex\\_analisis.htm](http://aym.juntaex.es/servicios/recarex/recarex_analisis.htm)

# **Anejo I. Escenarios Regionalizados de Cambio Climático: Conceptos**

## CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE ESCENARIOS DE EMISIONES

El proceso de cambio climático, supone una amenaza para la sociedad y los distintos sectores de actividad. Este hecho ha generado la necesidad de conocer los cambios de las diferentes variables climáticas para este próximo siglo, mediante modelizaciones regionales del clima.

Los escenarios de cambio climático son proyecciones del clima del futuro obtenidas a partir de los denominados Modelos de Circulación General (MCGs), que simulan flujos de energía, masa y movimiento en una retícula tridimensional que formaría la atmósfera, los océanos y las capas superiores de la litosfera y la criosfera. Estos flujos están influenciados por el forzamiento radiactivo. A partir de cálculos y análisis complejos y análisis se realizan simulaciones a partir de las concentraciones históricas de gases de efecto invernadero.

Se realizan entonces simulaciones del clima futuro para el siglo XXI en función de las proyecciones de las emisiones de gases de efecto invernadero modelizadas, es decir, incluyendo los distintos escenarios de emisiones que se prevén según proyecciones realizadas en cuanto a evolución de las actividades humanas y el desarrollo económico (Figura 1). Estos escenarios de emisiones han sido propuestos a nivel internacional y aprobados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). De todos los escenarios existentes, para el análisis realizado en Extremadura se ha optado por elegir dos, que se sitúan en los extremos de las posibilidades que, con mayor probabilidad, pueden afectarnos. Éstos son:

- *Escenario A2*: describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la auto-suficiencia y la conservación de las identidades locales. La población mundial se mantiene en continuo crecimiento. El crecimiento económico por habitante, así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otros escenarios posibles.
- *Escenario B2*: contempla un mundo en el que predominan las soluciones locales para la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2. Aunque este escenario está orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra, principalmente, en los niveles local y regional.

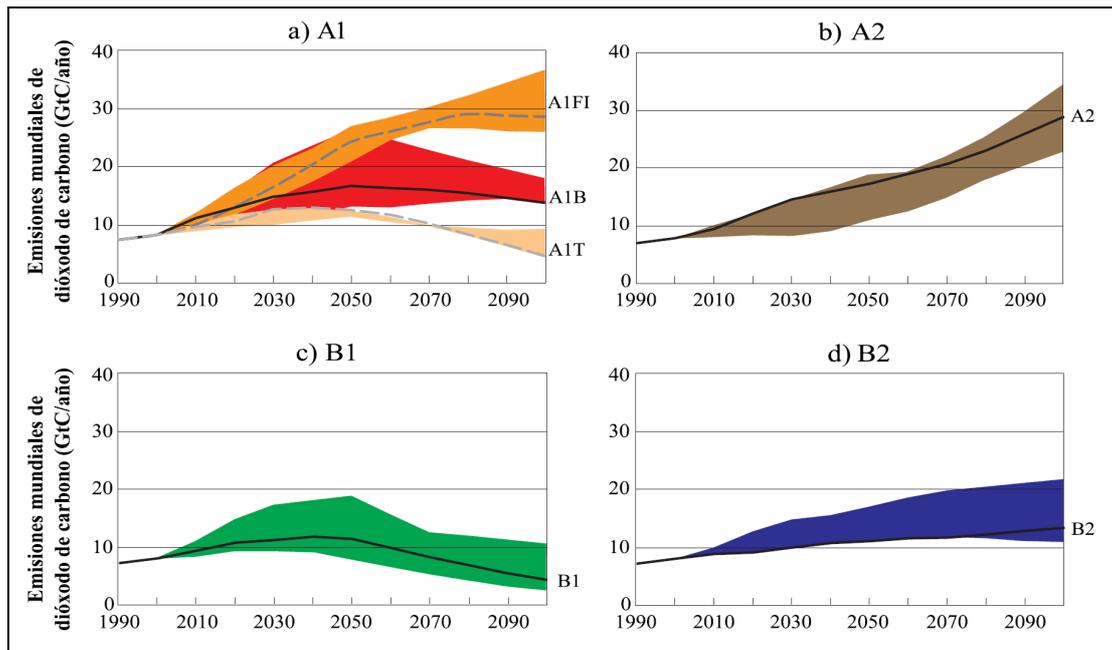


Figura 1. Escenarios de emisiones del IPCC. Fuente: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) – OMM – PNUMA.

Sin embargo, los Modelos Globales del Clima ofrecen una serie de limitaciones que se podrían resumir básicamente en su escasa resolución espacial, y por tanto en su impedimento para mostrar las peculiaridades existentes a nivel regional desde el punto de vista climático y que no aparecen reflejadas en estos modelos globales.

Este hecho implica la necesidad de emplear las denominadas técnicas de “*downscaling*” que permiten “traducir” la información fiable que ofrecen los MCGs, para convertirla en la información requerida sobre efectos en superficie: temperatura y precipitación con una resolución espacial mayor.

En el presente trabajo de Adaptación al Cambio Climático se ha optado por emplear los datos correspondientes al Modelo Global MCG ECHAM4 y a los escenarios de emisiones A2 y B2. Los datos de los Modelos Regionales del Clima modelizados por la AEMET disponen de datos sobre las variables precipitación, temperaturas máximas y temperaturas mínimas, con resultados individualizados para diversos observatorios meteorológicos del territorio.

Asimismo se han utilizado los datos climáticos para caracterizar el clima actual (periodo 1961-90) elaborados por la AEMET (2007). La serie de valores climáticos 1961-90 se elabora para interpretar el clima actual y disponer de una línea de base de la cual partir.

## **Anejo II.**

# **Evolución de la precipitación acumulada mensual y de la temperatura promedio de las máximas y las mínimas en Extremadura**

Para la consulta de la cartografía sobre la evolución de las precipitaciones acumuladas mensuales y de la temperatura promedio de las máximas y las mínimas en Extremadura se remite a la edición digital del presente Plan de Adaptación al Cambio Climático. Recursos Hídricos, que estará disponible en la página web de la Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía y en la página web del Observatorio Extremeño de Cambio Climático.

Del mismo modo se puede consultar dicha información en la publicación “Escenarios Regionalizados de Cambio climático para Extremadura” que está disponible en las webs citadas.

<http://www.observatorioclimatico.es>

<http://www.extremambiente.gobex.es>

## **Anejo III. Anejo de resultados de la evaluación del balance hídrico en Extremadura**

## RESULTADOS

En el presente anejo, se presentan los resultados pormenorizados de la evaluación del ciclo hidrológico mediante el método de estimación directa, llevada a cabo como metodología de análisis de vulnerabilidad del cambio climático sobre los recursos hídricos en Extremadura.

Las tablas recogen el valor de la precipitación media mensual, la temperatura media mensual, la evapotranspiración potencial promedio mensual, el balance hídrico mensual promedio, la reserva de agua en el suelo media mensual, la variación de la reserva hídrica intermensual promedia, la evapotranspiración real mensual promedia, la falta de agua y el exceso de agua promedio mensual que circula en forma de esorrentía e infiltración.

Los resultados están detallados mes a mes para las 139 estaciones termopluviométricas que han servido de referencia en el trabajo para los distintos periodos y escenarios analizados.

Por motivos de formato, se han tenido que emplear las siguientes abreviaturas en las cabeceras de las tablas:

**Est.** Estación termopluviométrica

**6190:** periodo 1961-1990

**1140A2:** 2011-2040, escenario A2

**1140B2:** 2011-2040, escenario B2

**4170A2:** 2041-2070, escenario A2

**4170B2:** 2041-2070, escenario B2

**Feb.** Febrero

**Mar.** Marzo

**Abr.** Abril

**Jun.** Junio

**Jul.** Julio

**Ago.** Agosto

**Sep.** Septiembre

**Oct.** Octubre

**Nov.** Noviembre

**Dic.** Diciembre

Para la consulta de la cartografía sobre la evolución de las precipitaciones acumuladas mensuales y de la temperatura promedio de las máximas y las mínimas en Extremadura se remite a la edición digital del presente Plan de Adaptación al Cambio Climático. Recursos Hídricos, que estará disponible en la página web de la Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía y en la página web del Observatorio Extremeño de Cambio Climático.

<http://www.observatorioclimatico.es>

<http://www.extremambiente.gobex.es>



[www.extremambiente.gobex.es](http://www.extremambiente.gobex.es)



UNIÓN EUROPEA

FONDO EUROPEO DE  
DESARROLLO REGIONAL  
Una manera de hacer Europa

GOBIERNO DE EXTREMADURA

Consejería de Agricultura,  
Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía