

Evaluación de los Efectos del cambio CLIMático sobre las demandas de Agua en Regadíos

ECLIMAR MEMORIA FINAL



Para citar:

Calera, A., Campoy, J., Sánchez, J.M., Beltrán, A., Galve J.M., González-Piqueras, J., Quintanilla, A., Cañadas, D., Molina, A., Sánchez, D., Arellano, I., Garrido, J., Rodríguez, E., Romero, R., Salazar, M., Rodríguez-Chaparro, J., 2025. *Evaluación de los efectos del cambio climático sobre las demandas de agua en el Regadío en España. ECLIMAR Memoria Final*. Universidad de Castilla La Mancha.

Afiliación Autores

Grupo de Teledetección y SIG de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM):

Calera, A., Campoy, J., Sánchez, J.M., Beltrán, A., Galve J.M., González-Piqueras, J., Quintanilla, A., Cañadas, D., Molina, A., Sánchez, D., Arellano, I., Garrido, J.

Agencia Estatal de Meteorología AEMET: Rodríguez, E., Romero, R.

Oficina Española de Cambio Climático (OECC_MITECO) Salazar, M.

Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación MAPA: Rodríguez-Chaparro, J.

ECLIMAR es un proyecto realizado por el Grupo de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), con la colaboración de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y de la Oficina Española de Cambio Climático (OECC).

ECLIMAR ha sido financiado por la Fundación Biodiversidad, MITECO, a través de la convocatoria para implementar el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.

Índice General

I.	Introducción	1
II.	Objetivos y ámbito espacial	2
III.	Metodología y Materiales.....	8
III.1	Entradas del balance de agua.....	9
III.1.1	Datos meteorológicos.....	9
III.1.2	Patrones temporales para describir el crecimiento de los cultivos	9
III.2	Proceso de cálculo para obtener la demanda de agua del cultivo y la demanda de agua de riego neto	13
IV.	Resultados y discusión	14
IV.1	Datos meteorológicos	14
IV.1.1	Precipitación.....	14
IV.1.2	Evapotranspiración de referencia	17
IV.2	Demanda de agua del cultivo y demanda de agua de riego neto	19
IV.3	Mecanismos de adaptación y su impacto.....	22
V.	Zona 1. Alto Guadiana-Demarcación Hidrográfica del Guadiana.....	24
VI.	Zona 2. Mancha Oriental-Demarcación Hidrográfica del Júcar.....	38
VII.	Zona 3. Valencia-Demarcación Hidrográfica del Júcar	54
VIII.	Zona 4. Castellón Norte-Demarcación Hidrográfica del Júcar.....	67
IX.	Zona 5. Vinalopó-Demarcación Hidrográfica del Júcar	78
X.	Zona 6. Hellín, Cieza-Demarcación Hidrográfica del Segura	88
XI.	Zona 7. Campo de Cartagena-Demarcación Hidrográfica del Segura.....	101
XII.	Zona 8. Jaén-Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir	111
XIII.	Zona 9. Sevilla, Córdoba-Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir	120
XIV.	Zona 10. Bajo Guadalquivir-Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir.....	134
XV.	Zona 11. Duero 01-Demarcación Hidrográfica del Duero	144
XVI.	Zona 12. Duero 02-Demarcación Hidrográfica del Duero	157
XVII.	Zona 13. Duero 03-Demarcación Hidrográfica del Duero	170
XVIII.	Zona 14. Duero 04-Demarcación Hidrográfica del Duero	183
XIX.	Zona 15. Toledo-Demarcación Hidrográfica del Tago	196
XX.	Zona 16. Badajoz-Demarcación Hidrográfica del Guadiana.....	209
XXI.	Zona 17. Navarra-Demarcación Hidrográfica del Ebro.....	224
XXII.	Zona 18. Zaragoza-Demarcación Hidrográfica del Ebro.....	237
XXIII.	Zona 19. Huesca-Demarcación Hidrográfica del Ebro.....	250
XXIV.	Zona 20. Lleida-Demarcación Hidrográfica del Ebro	263
Anexo 1.	Datos meteorológicos	276
	Referencias bibliográficas	279

I. Introducción

La agricultura de regadío representa uno de los pilares estratégicos de la seguridad alimentaria y una pieza clave en las políticas de gestión del agua y del medio ambiente en España. Este sector consume alrededor del 70 % del agua dulce disponible, y aunque solo el 22.85 % de la superficie cultivada en 2021 se dedicó al regadío (3.9 millones de hectáreas sobre un total de 16.9 millones de hectáreas), esta proporción generó el 65 % de la producción final agraria nacional. Con estas cifras, España se sitúa como el primer país de la Unión Europea en superficie de regadío (MAPA, 2025).

La estimación de la demanda actual de agua de la agricultura de regadío presenta una gran complejidad, y determinar su evolución futura implica un desafío mayor. Esta complejidad se debe a la constante evolución y la interrelación de múltiples factores: el clima, los cultivos y su distribución espacial y temporal, los ciclos de crecimiento, el manejo, los sistemas de riego y la disponibilidad de agua. Además, a estos elementos se suman influencias externas como las variaciones en los precios, las políticas sobre agua, medio ambiente y alimentación, los costes energéticos, así como factores sociales y culturales que condicionan la gestión y el uso eficiente del recurso hídrico.

A pesar de su complejidad, por la importancia y trascendencia de la demanda de agua para riego y de su evolución en el futuro, resulta imprescindible avanzar hacia una estimación robusta de la demanda futura de agua en las principales zonas regables de España, aplicando los mejores conocimientos actuales. Disponer de información precisa y actualizada permitirá anticipar posibles desequilibrios entre oferta y demanda, facilitando la toma de decisiones en materia de planificación hidrológica. Este conocimiento es clave para la elaboración y revisión de los Planes Hidrológicos de Cuenca, las estrategias de las Demarcaciones Hidrográficas y el Plan Hidrológico Nacional, así como para el diseño de medidas de adaptación al cambio climático en los ámbitos agrícola y ambiental.

El cambio climático representa uno de los principales retos para la gestión sostenible de los recursos hídricos, especialmente en la agricultura. Diversos estudios previos, como los informes de CEDEX, (2012) sobre los impactos del cambio climático en las demandas de riego y publicaciones científicas como Döll and Siebert (2002) y Bellvert et al., (2024) han sentado las bases para la estimación de la demanda hídrica en condiciones cambiantes.

Este documento presenta la metodología empleada y los resultados obtenidos en la estimación de la evolución futura de la demanda hídrica de cultivos en las principales zonas regables de la España peninsular, considerando los periodos 2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100. Se utilizaron proyecciones climáticas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en colaboración con el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). La coordinación metodológica de la Oficina Española de Cambio Climático (OECC) garantizó la coherencia del enfoque.

Este estudio ofrece una base técnica sólida para apoyar la planificación hidrológica y la adaptación al cambio climático en el sector agrícola. Asimismo, se aporta información valiosa para la gestión del agua a gran escala, facilitando el desarrollo de estrategias que aseguren un uso eficiente y sostenible de los recursos hídricos a largo plazo en un contexto de cambio climático.

II. Objetivos y ámbito espacial

El objetivo general del proyecto ECLIMAR es estimar la futura demanda hídrica de los principales cultivos en regadío en España para los periodos 2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100, en el contexto del cambio climático. Esta información busca contribuir, entre otros fines, a la revisión y mejora de los Planes Hidrológicos. Para ello, se emplean las proyecciones de los 11 modelos climáticos globales regionalizados por AEMET basadas en los escenarios integrados SSP-RCP (*Shared Socioeconomic Pathway-Representative Concentration Pathway*) desarrollados en el marco del Sexto Informe de Evaluación (AR6) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y que se muestran en el visor de AdapteCCa. En concreto, se analizan dos escenarios futuros: SSP2-4.5, que representa un escenario intermedio con políticas moderadas de mitigación y adaptación, y SSP5-8.5, que refleja un futuro con altas emisiones asociado al uso intensivo de combustibles fósiles (Calvin et al., 2023).

La metodología propuesta para determinar la demanda hídrica de los cultivos es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 (Allen et al., 1998) y asistido por teledetección. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica. Dicho balance de agua integra, como datos de entrada, los valores diarios de precipitación y evapotranspiración de referencia (ET_o) derivados de los modelos climáticos considerados, junto con las curvas patrón que describen el ciclo de crecimiento de los principales cultivos de regadío, obtenidas a partir de series temporales de imágenes multiespectrales de satélite.

Las zonas seleccionadas para el estudio representan de forma significativa los cultivos de regadío en la España peninsular y presentan una homogeneidad relativa en las proyecciones climáticas. La identificación de los cultivos principales y la determinación de su superficie en cada zona se ha llevado a cabo mediante la integración de la información derivada de las líneas de declaración de la Política Agraria Común (PAC) y de los datos provinciales proporcionados por la Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE). En algunas zonas específicas, como la Zona 1. Alto Guadiana-Demarcación Hidrográfica (DH) del Guadiana, Zona 2. Mancha Oriental-DH Júcar, Zona 3. Valencia-DH Júcar, Zona 4. Castellón Norte-DH Júcar, Zona 5. Vinalopó-DH Júcar y Zona 15. Toledo-DH Tajo se ha dispuesto de una cartografía de cultivos regados más detallada y validada, que ha sido elaborada por el grupo de Teledetección y SIG de la Universidad de Castilla-La Mancha en el marco de los proyectos TSUR y ERCAM.

La Figura II-1 presenta el mapa con las principales zonas de regadío analizadas en las que se ha estimado la futura demanda hídrica de los cultivos en regadío. El mapa de cultivos regados mostrado en dicha figura corresponde al año 2017 (Calera et al., 2018). La Tabla II-1 detalla la denominación de cada zona de estudio, su superficie total, el número de cultivos de regadío identificados y la fuente de información utilizada. Por otro lado, la Tabla II-2 presenta los cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en cada una de las zonas analizadas.

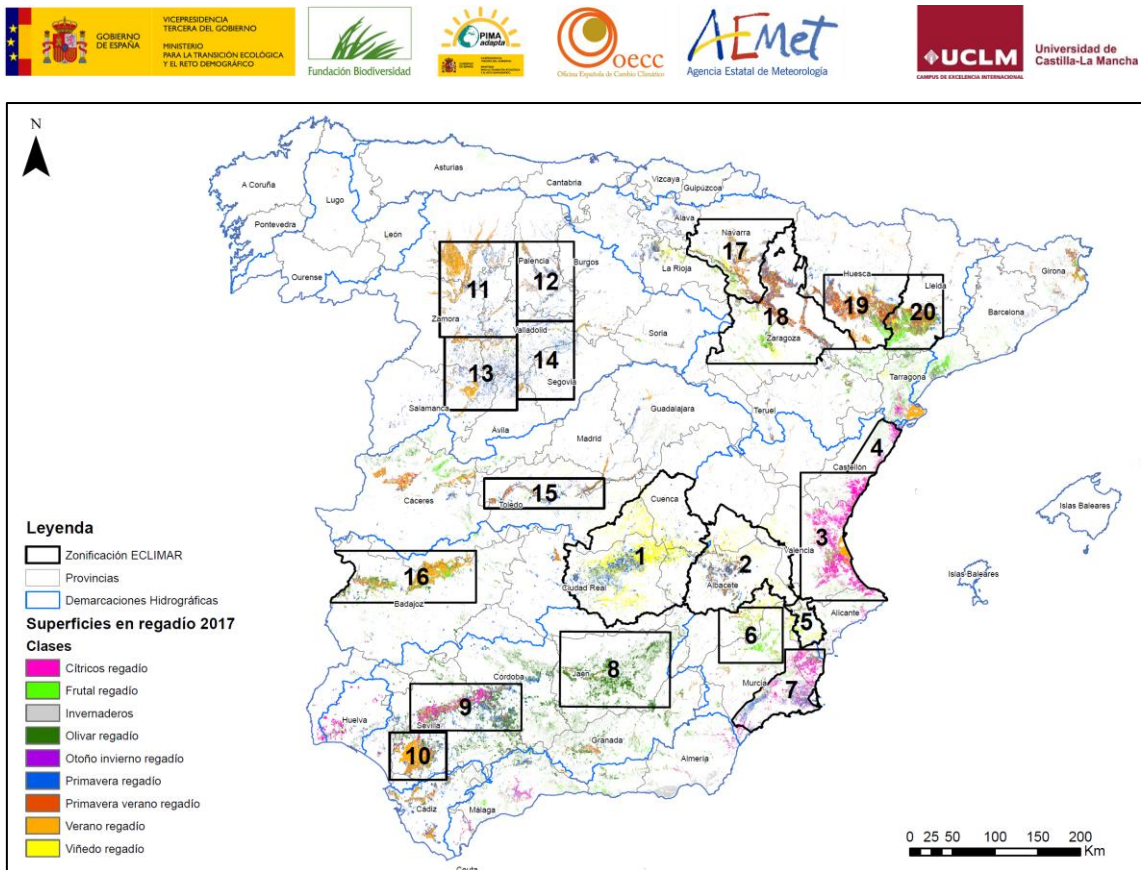


Figura II-1. Mapa con las principales zonas de regadío analizadas en el proyecto ECLIMAR.

Tabla II-1. Listado con las zonas de estudio analizadas, su superficie total, el número de cultivos de regadío identificados y la fuente de información utilizada.

Zonas de estudio	Superficie (ha)	Número de cultivos de regadío analizados	Fuente de datos de superficie y cultivos principales
Zona 1. Alto Guadiana-Demarcación Hidrográfica del Guadiana	285893	12	Mapa de clasificación, ERCAM
Zona 2. Mancha Oriental-Demarcación Hidrográfica del Júcar	121956	13	Mapa de clasificación, ERCAM
Zona 3. Valencia-Demarcación Hidrográfica del Júcar	172219	6	Mapa de clasificación, TSUR
Zona 4. Castellón Norte-Demarcación Hidrográfica del Júcar	15054	5	Mapa de clasificación, TSUR
Zona 5. Vinalopó-Demarcación Hidrográfica del Júcar	16625	4	Mapa de clasificación, TSUR
Zona 6. Hellín, Cieza-Demarcación Hidrográfica del Segura	53329	6	Datos provinciales de ESYRCE, año 2024
Zona 7. Campo de Cartagena-Demarcación Hidrográfica del Segura	59990	3	Datos provinciales de ESYRCE, año 2024
Zona 8. Jaén-Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir	309508	1	Datos provinciales de ESYRCE, año 2024
Zona 9. Sevilla, Córdoba-Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir	348824	10	Datos provinciales de ESYRCE, año 2024
Zona 10. Bajo Guadalquivir-Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir	19212	1	Datos provinciales de ESYRCE, año 2024
Zona 11. Duero 01-Demarcación Hidrográfica del Duero	171682	10	Líneas de declaración de la PAC
Zona 12. Duero 02-Demarcación Hidrográfica del Duero	70625	11	Líneas de declaración de la PAC
Zona 13. Duero 03-Demarcación Hidrográfica del Duero	90692	10	Líneas de declaración de la PAC
Zona 14. Duero 04-Demarcación Hidrográfica del Duero	47423	10	Líneas de declaración de la PAC
Zona 15. Toledo-Demarcación Hidrográfica del Tago	47266	8	Mapa de clasificación, ERCAM

Zona 16. Badajoz-Demarcación Hidrográfica del Guadiana	181504	9	Datos provinciales de ESYRCE, año 2024
Zona 17. Navarra-Demarcación Hidrográfica del Ebro	62774	7	Datos provinciales de ESYRCE, año 2024
Zona 18. Zaragoza-Demarcación Hidrográfica del Ebro	163706	7	Datos provinciales de ESYRCE, año 2024
Zona 19. Huesca-Demarcación Hidrográfica del Ebro	175094	7	Datos provinciales de ESYRCE, año 2024
Zona 20. Lleida-Demarcación Hidrográfica del Ebro	140112	7	Datos provinciales de ESYRCE, año 2024
TOTAL	2553488	147	

Tabla II-2. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su porcentaje correspondiente, para cada una de las zonas analizadas.

Zonas de estudio	Cultivos	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Zona 1. Alto Guadiana-Demarcación Hidrográfica del Guadiana	Cereal_primavera	61133	21.4
	Ajo	9077	3.2
	Adormidera_guisante	4527	1.6
	Otros_cultivos_primavera	4176	1.5
	Cebolla	3523	1.2
	Melon_sandia	7326	2.6
	Otros_cultivos_verano	6190	2.2
	Alfalfa	385	0.1
	Doble_cosecha	591	0.2
	Viña_vinificacion	150591	52.7
	Olivo	20311	7.1
Zona 2. Mancha Oriental-Demarcación Hidrográfica del Júcar	Frutal_cascara	18063	6.3
	Cereal_primavera	32783	26.9
	Ajo	5869	4.8
	Colza	3019	2.5
	Adormidera_guisante	5845	4.8
	Otros_cultivos_primavera	3906	3.2
	Cebolla	3290	2.7
	Maiz	6277	5.1
	Otros_cultivos_verano	5497	4.5
	Alfalfa	5060	4.1
	Doble_cosecha	9996	8.2
	Viña_vinificacion	22327	18.3
	Olivo	1821	1.5
Zona 3. Valencia-Demarcación Hidrográfica del Júcar	Frutal_cascara	16266	13.3
	Arroz	15153	8.8
	Horticola_primavera	2303	1.3
	Horticola_otoño	2293	1.3
	Citrico	125214	72.7
	Frutal_hueso	23356	13.6
	Frutal_cascara	3900	2.3
	Citrico	11194	74.4

Zona 4. Castellón Norte-Demarcación Hidrográfica del Júcar	Olivo	897	6.0
	Aguacate	792	5.3
	Frutal_cascara	1478	9.8
	Alcachofa	693	4.6
Zona 5. Vinalopó-Demarcación Hidrográfica del Júcar	Frutal_cascara	4122	24.8
	Olivo	3753	22.6
	Viña_mesa	4382	26.4
	Viña_vinificacion	4368	26.3
Zona 6. Hellín, Cieza-Demarcación Hidrográfica del Segura	Frutal_cascara	11851	22.2
	Albaricoquero	6603	12.4
	Melocotonero	13892	26.0
	Olivo	9670	18.1
	Viña_mesa	6270	11.8
	Viña_vinificacion	5042	9.5
Zona 7. Campo de Cartagena-Demarcación Hidrográfica del Segura	Melon_sandia	11242	18.7
	Doble_cosecha	5824	9.7
	Citrico	42925	71.6
Zona 8. Jaén-Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir	Olivo	309508	100.0
Zona 9. Sevilla, Córdoba-Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir	Cereal_primavera	15586	4.5
	Girasol	6846	2.0
	Algodon	38805	11.1
	Patata	6473	1.9
	Remolacha_azucarera	5141	1.5
	Cebolla	4003	1.1
	Citrico	46043	13.2
	Olivo	197375	56.6
	Frutal_cascara	26145	7.5
	Melocotonero	2405	0.7
Zona 10. Bajo Guadalquivir-Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir	Arroz	19212	100.0
Zona 11. Duero 01-Demarcación Hidrográfica del Duero	Maiz	82107	47.8
	Trigo	30923	18.0
	Cebada	14411	8.4
	Girasol	13949	8.1
	Alfalfa	9860	5.7
	Remolacha	4688	2.7
	Colza	3240	1.9
	Otros_cultivos_primavera	10211	5.9
	Otros_cultivos_verano	1923	1.1
	Otros_cultivos_primavera_verano	370	0.2
Zona 12. Duero 02-Demarcación Hidrográfica del Duero	Trigo	25797	36.5
	Cebada	11801	16.7
	Girasol	11420	16.2
	Alfalfa	8688	12.3
	Maiz	3827	5.4
	Veza	1897	2.7

	Avena	1820	2.6
	Colza	1485	2.1
	Otros_cultivos_primavera	2509	3.6
	Otros_cultivos_verano	1271	1.8
	Otros_cultivos_primavera_verano	111	0.2
Zona 13. Duero 03-Demarcación Hidrográfica del Duero	Cebada	19989	22.0
	Maiz	19013	21.0
	Trigo	16191	17.9
	Girasol	11293	12.5
	Patata	4420	4.9
	Colza	3905	4.3
	Alfalfa	3087	3.4
	Otros_cultivos_primavera	8759	9.7
	Otros_cultivos_verano	3868	4.3
	Otros_cultivos_primavera_verano	167	0.2
Zona 14. Duero 04-Demarcación Hidrográfica del Duero	Cebada	14325	30.2
	Trigo	12210	25.7
	Girasol	3849	8.1
	Maiz	2820	5.9
	Remolacha	1969	4.2
	Patata	1900	4.0
	Viña_vinificacion	1735	3.7
	Otros_cultivos_primavera	5419	11.4
	Otros_cultivos_verano	1992	4.2
	Otros_cultivos_primavera_verano	1204	2.5
Zona 15. Toledo-Demarcación Hidrográfica del Tajo	Cereal_primavera	10114	21.4
	Otros_cultivos_primavera	8188	17.3
	Maiz	4602	9.7
	Otros_cultivos_verano	1488	3.1
	Alfalfa	6706	14.2
	Viña_vinificacion	2735	5.8
	Olivo	8990	19.0
	Frutal_cascara	4443	9.4
Zona 16. Badajoz-Demarcación Hidrográfica del Guadiana	Cereal_primavera	1975	1.1
	Maiz	12782	7.0
	Arroz	13520	7.4
	Girasol	1193	0.7
	Tomate_industria	22170	12.2
	Viña_vinificacion	29228	16.1
	Olivo	69894	38.5
	Frutal_cascara	20025	11.0
	Melocotonero_ciruelo	10717	5.9
Zona 17. Navarra-Demarcación Hidrográfica del Ebro	Viña_vinificacion	10397	16.6
	Olivo	7686	12.2
	Frutal	1207	1.9
	Frutal_cascara	3014	4.8

	Alfalfa	5359	8.5
	Cereal_primavera	21785	34.7
	Maiz	13326	21.2
Zona 18. Zaragoza-Demarcación Hidrográfica del Ebro	Viña_vinificacion	8132	5.0
	Olivo	8799	5.4
	Frutal	23024	14.1
	Frutal_cascara	16960	10.4
	Alfalfa	37543	22.9
	Cereal_primavera	59233	36.2
	Maiz	10013	6.1
Zona 19. Huesca-Demarcación Hidrográfica del Ebro	Viña_vinificacion	2649	1.5
	Olivo	2547	1.5
	Frutal	16397	9.4
	Frutal_cascara	12609	7.2
	Alfalfa	27417	15.7
	Cereal_primavera	74074	42.3
	Maiz	39402	22.5
Zona 20. Lleida-Demarcación Hidrográfica del Ebro	Viña_vinificacion	3885	2.8
	Olivo	12018	8.6
	Frutal	31780	22.7
	Frutal_cascara	15200	10.8
	Alfalfa	13654	9.7
	Cereal_primavera	55163	39.4
	Maiz	8411	6.0

III. Metodología y Materiales

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y necesidades de agua de riego neto es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. El modelo calcula las variaciones del contenido de agua en el suelo explorado por las raíces diariamente considerando las entradas y salidas de agua en la zona radicular, es decir, la precipitación, riego, el ascenso capilar, la escorrentía, la percolación profunda y la evapotranspiración del cultivo (ET_c). El modelo estima la ET_c mediante la metodología denominada Coeficiente de Cultivo-Evapotranspiración de Referencia K_c-ET_o, que se describe detalladamente en el manual FAO 56 (Allen et al., 1998). El modelo utiliza el enfoque del coeficiente dual del cultivo, que determina por separado los efectos de la transpiración del cultivo y de la evaporación en el suelo. De esta manera, se utiliza el coeficiente basal de cultivo (K_{cb}) para describir la transpiración de la planta, y el coeficiente de evaporación del agua del suelo (K_e) para describir la evaporación que ocurre en la superficie del suelo. La metodología propuesta integra el coeficiente basal de cultivo (K_{cb}) derivado de la serie temporal de imágenes NDVI en el modelo diario de balance de agua en el suelo. Esta metodología está bien documentada en la literatura científica (Gonzalez-Dugo et al., 2009; Campos et al., 2017; Campoy et al., 2023).

La Figura III-1 muestra los elementos centrales de la metodología utilizada en este trabajo en la que destaca la caracterización de los ciclos de crecimiento, esto es su patrón temporal a través de las series temporales de imágenes de satélite, para obtener finalmente la demanda de agua del cultivo (ET_c) y la demanda de agua de riego neto (R).

La demanda de agua ET_c (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo. La evapotranspiración ET_c es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta; no se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

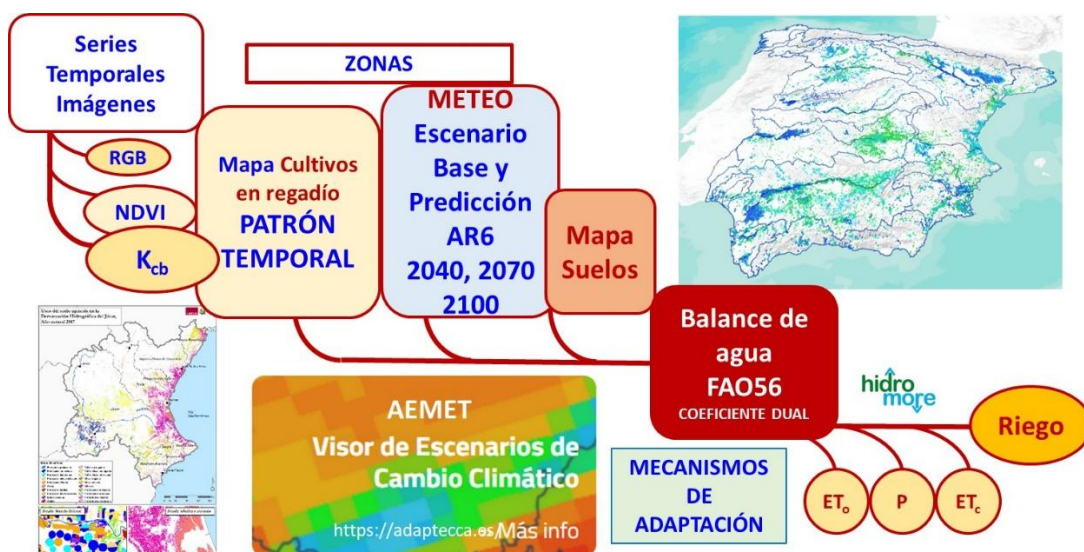


Figura III-1. Metodología utilizada para obtener la demanda de agua (ET_c) y la demanda de agua de riego neto (R), a través de la aplicación del modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección.

III.1 Entradas del balance de agua

III.1.1 Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos requeridos en el balance de agua son la precipitación y la evapotranspiración de referencia (ET_o) a escala diaria. Para el periodo observado, AEMET proporciona valores observacionales diarios de precipitación, temperatura máxima (T_{máx}) y temperatura mínima (T_{mín}). Por otro lado, cada uno de los 11 modelos climáticos del sistema AR6 (ACCESS-CM2, CMCC-CM2-SR5, CNRM-ESM2-1, EC-Earth3-Veg, IITM-ESM, KACE-1-0-G, MIROC6, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0, NorESM2-MM, UKESM1-0-LL) aportan proyecciones diarias de precipitación, T_{máx} y T_{mín}, tanto para el escenario histórico como para los escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5).

La evapotranspiración de referencia, ET_o, que describe cuantitativamente la demanda evaporativa de la atmósfera desde una superficie de referencia ideal, depende de la radiación solar, la temperatura, la velocidad de viento y la humedad relativa, tal y como se describe en FAO56. Los modelos de proyección climática no aportan velocidad de viento y humedad relativa, por lo que se requiere estimar la ET_o utilizando solamente la temperatura. De esta manera, los valores diarios de ET_o son calculados a partir de los valores de T_{máx} y T_{mín}, y posteriormente son corregidos los sesgos mediante ajustes basados en los datos observacionales de ET_o (Paredes et al., 2020; Sánchez et al., 2025).

Los valores de ET_o y precipitación acumulada anual de los 11 modelos utilizados y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5, junto con los valores observados son presentados en los informes específicos de cada una de las zonas de estudio.

Asimismo, en el **Anexo 1. Datos meteorológicos** se presenta una comparativa entre las distintas zonas de estudio, que incluye los valores anuales acumulados de evapotranspiración de referencia y precipitación. Se muestran los promedios obtenidos a partir de los 11 modelos climáticos utilizados para los escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5 correspondientes al periodo 2015-2100, así como los valores observados durante el periodo 1975-2020.

III.1.2 Patrones temporales para describir el crecimiento de los cultivos

Tradicionalmente la descripción del ciclo de crecimiento del cultivo ha descansado en el conocimiento de las fechas de siembra y cosecha de los diferentes cultivos (CEDEX, 2012; Gabr, 2023).

Sobre la base de esta información de fechas de siembra y cosecha, el procedimiento usual para describir el crecimiento del cultivo consiste en representar la curva de evolución del coeficiente de cultivo, que sigue aquellas genéricas descritas en FAO56 en muchos casos, lo que suele llevar a curvas teóricas que no acaban de reflejar las características reales del crecimiento de los cultivos, especialmente en cultivos como los leñosos.

Por ello, en este caso, para describir el crecimiento de un determinado cultivo se utilizan las curvas que describe el valor del NDVI promedio sobre un conjunto representativo de parcelas regadas de dicho cultivo para cada zona analizada. Estas curvas NDVI permiten establecer las fechas importantes del ciclo de crecimiento, así como definir el valor del tamaño fotosintético de la cubierta vegetal, relacionado con la fracción de cobertura vegetal verde. Desde el punto de vista del riego las más importantes son el inicio del ciclo y la madurez fisiológica del grano para los cereales, caída de la hoja en frutales, secado de la cubierta vegetal en hortalizas, etc.

De esta manera, las series temporales de imágenes NDVI permiten identificar el inicio del ciclo de crecimiento de cultivo a partir del denominado “green up”. Este período se identifica a partir de la inflexión de la curva NDVI que ocurre con valores de NDVI de 0.3 (Gao et al., 2020; González-Gómez et al., 2018; Lobell et al., 2013). Para la finalización del ciclo y/o dejar de regar, se ha utilizado también la extensa experiencia y el conocimiento agronómico del Grupo de Teledetección y SIG de la UCLM, para adecuar a cada cultivo según su fisiología los valores NDVI que describen el final de ciclo de crecimiento.

Finalmente, el valor de NDVI se interpola entre imágenes consecutivas para obtener valores diarios y se transforma en valor del coeficiente de cultivo basal (K_{cb}) mediante una ecuación lineal robusta y ampliamente utilizada propuesta por Campos et al., (2010), que es muy similar a la encontrada por Neale et al., (1989).

La Figura III-2 muestra y compara las curvas de evolución del NDVI del cultivo del trigo en regadío para la Zona 16. Badajoz-DH Guadiana, Zona 9. Sevilla, Córdoba-DH Guadalquivir, Zona 1. Alto Guadiana-DH Guadiana, Zona 2. Mancha Oriental-DH Júcar y Zona 11. Duero 01-DH Duero. En estas curvas se aprecia el desplazamiento temporal en la finalización del ciclo del cultivo, identificado con la madurez fisiológica del grano, que se estima en torno a un valor de NDVI de 0.45.

Este desplazamiento, refleja las diferencias agroclimáticas observadas entre las zonas de estudio: el ciclo más temprano se registra en la zona del Guadiana y Guadalquivir (Zona 16 y 9), donde finaliza alrededor del 15 de mayo, mientras que el más tardío corresponde a la zona del Duero (Zona 11), extendiéndose hasta mediados de junio.

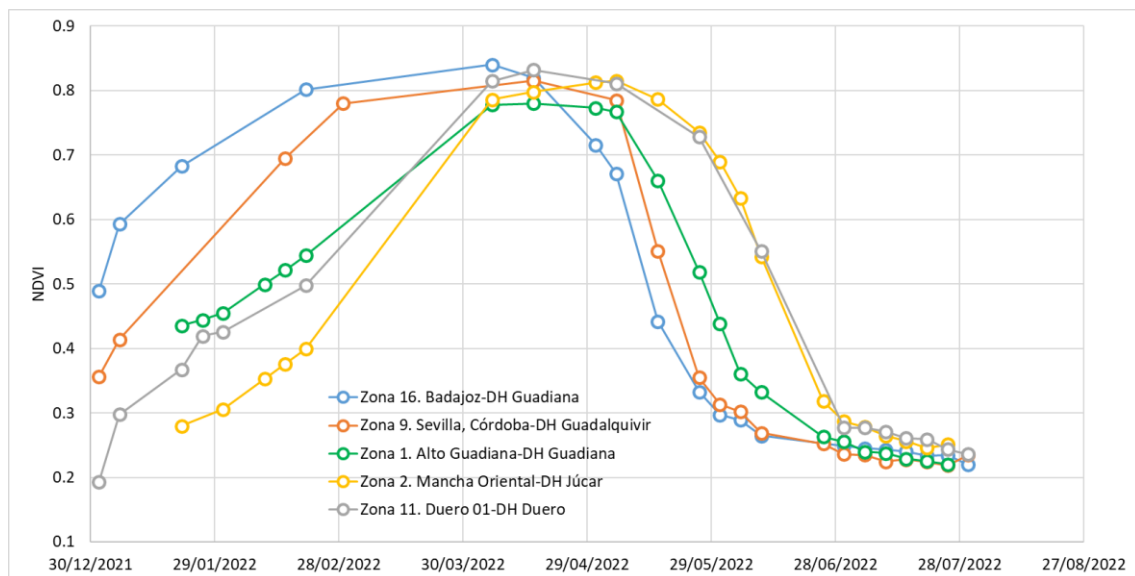


Figura III-2. Patrón temporal del cultivo de trigo en regadío obtenido de un conjunto de parcelas representativas en la Zona 16. Badajoz-DH Guadiana, Zona 9. Sevilla, Córdoba-DH Guadalquivir, Zona 1. Alto Guadiana-DH Guadiana, Zona 2. Mancha Oriental-DH Júcar y Zona 11. Duero 01-DH Duero.

La determinación de los patrones temporales y la duración del ciclo de crecimiento de los cultivos ha sido posible gracias a la disponibilidad de información detallada procedente de las declaraciones de la Política Agraria Común (PAC), vinculadas al Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC). Esta información ha permitido identificar parcelas representativas de cada cultivo en las distintas zonas de estudio. Asimismo, ha resultado fundamental el acceso a las series temporales de imágenes del satélite Sentinel 2, proporcionadas por el programa europeo COPERNICUS, que han sido consultadas a través del sistema SpiderwebGIS®. Las imágenes se incorporan a la plataforma tras ser procesadas y calculado el

índice de vegetación NDVI, siguiendo un protocolo de procesamiento calibrado y validado por el Grupo de Teledetección y SIG de la Universidad de Castilla-La Mancha.

Las series temporales de imágenes NDVI fueron adquiridas por los satélites Sentinel 2 (S2A, S2B). Los efectos de distorsión atmosférica en los valores de las imágenes son compensados mediante un procedimiento de normalización para el NDVI (Chen et al., 2005). Para ello, los valores máximos y mínimos de NDVI obtenidos para cada imagen en superficies consideradas invariantes (vegetación densa como alfalfa y suelo desnudo) son reescalados linealmente a los valores correspondientes de NDVI para estas superficies en función de los valores comunes en el área de estudio (0.91 y 0.15, respectivamente). La alta resolución espacial (10x10m) y la alta frecuencia (aproximadamente una imagen por semana) de las imágenes NDVI, permiten describir con precisión el ciclo de crecimiento del cultivo. De esta manera, es posible determinar las curvas patrón de los cultivos de regadío principales en las diferentes zonas de estudio, y estimar los parámetros biofísicos requeridos en el balance de agua (K_{cb} y fracción de cobertura).

La elección del procedimiento basado en la curva promedio del NDVI para describir el patrón temporal del ciclo de cultivo constituye un avance metodológico significativo. Este documento representa un primer paso en el desarrollo y aplicación de dicha metodología a escala general para la Península Ibérica, que requerirá futuras mejoras y ajustes. Frente a los métodos tradicionales, este enfoque ofrece una ventaja sustancial al permitir la estimación de la duración del ciclo de crecimiento y su evolución mediante observaciones objetivas derivadas de imágenes de satélite. Esto garantiza la reproducibilidad del proceso y su potencial para ser validado y perfeccionado. En el presente estudio, se ha definido el patrón temporal (NDVI) para cada uno de los principales cultivos de regadío identificados en las zonas analizadas, información que se recoge con mayor detalle en los informes específicos de cada zona.

Patrones temporales del ciclo de crecimiento estáticos. Limitaciones

Así pues, en este trabajo se parte de la hipótesis de que los patrones temporales del ciclo de crecimiento de los cultivos regados son cuasi-invariantes en el tiempo, es decir, se asumen estáticos en cuanto a la fenología del cultivo. No obstante, el cambio climático, las prácticas de manejo y la incorporación de nuevas variedades pueden influir significativamente en la fenología (Estrella et al., 2007), lo que podría tener un impacto relevante en la estimación de la demanda de agua de riego.

Análisis realizados en California (Abatzoglou et al., 2025), así como el llevado a cabo por (CEDEX, 2012) en España, muestran que considerar los posibles cambios en la fenología del cultivo, como las fechas de siembra y de finalización del ciclo, que tienden a adelantarse o acortarse debido al aumento de la evapotranspiración de referencia (ETo), puede reducir el incremento estimado en la demanda de agua de riego en comparación con los escenarios en los que estos cambios no se tienen en cuenta. No obstante, la evolución de la fenología en respuesta al cambio climático y su repercusión en las necesidades hídricas constituye un aspecto de gran relevancia que requiere una investigación más profunda.

El estudio de dicha variabilidad o dinámica de la fenología en relación con el incremento de la temperatura y, por tanto, con el aumento de la ETo queda fuera del alcance de este trabajo. No obstante, futuras líneas de investigación deben ser planteadas necesariamente para abordar dicha cuestión central y crítica para estimar las demandas de agua y de agua de riego en el contexto del cambio climático.

Es importante destacar que los patrones temporales de K_{cb} derivados de las series multiespectrales de imágenes NDVI de satélite que se utilizan en este trabajo se han obtenido sobre los años 2022 y 2023, por lo que se estima que la referencia que se establece es actual, y que su validez podría

extenderse razonablemente al período 2021-2050. Sin embargo, para periodos posteriores la incertidumbre asociada a esta estimación aumentaría de forma significativa. Actualmente, se están desarrollando investigaciones orientadas a evaluar esta variabilidad en la fenología (Cañadas et al., 2025; Molina et al., 2025), aunque por el momento su alcance es limitado.

La metodología del patrón temporal descrito mediante la curva NDVI abre la puerta a un procedimiento robusto para estudiar la variabilidad de los ciclos de crecimiento y su cambio asociado a las variables climáticas como la precipitación y la ETo, así como con las prácticas de manejo.

Cultivos Principales y Estructura de los cultivos en las zonas seleccionadas

El análisis del impacto del cambio climático en una zona determinada, en la que se considera dentro de su área un clima cuasi-homogéneo, como aquellas indicadas en la Figura II-1, requiere de dos pasos. El primero es determinar el impacto del cambio en cada cultivo de la zona, en la forma y manera que se ha descrito anteriormente.

El segundo es analizar el impacto al considerar la zona como un todo, en el que cada cultivo tiene una superficie determinada, y por tanto un peso ponderado en el total del conjunto. Para ello se requiere el conocimiento de la estructura de cultivos, esto es los cultivos y la superficie de cada uno que en ese momento se cultiva y se riega. Para la determinación de los cultivos mayoritarios y la estructura de cultivos por zona se han utilizado diferentes fuentes de información, tal y como se presenta en la Tabla II-1.

La estructura de cultivos en una zona determinada está sujeta a una dinámica de cambio significativa. Concretamente, Arbonès et al., (2024) analizan dicha dinámica entre los años 2004 y 2023, a partir de los datos ESYRCE, y señalan que la importante expansión del regadío en España ha ido acompañada de un cambio en los patrones de cultivo y de una notable implantación del riego localizado. La mayoría de las nuevas superficies regadas se destinan actualmente a cultivos leñosos. La agricultura española se ha especializado progresivamente, concentrando las nuevas hectáreas de regadío en un número limitado de cultivos leñosos, especialmente olivares, viñedos y, más recientemente, frutales no cítricos como almendros y pistachos. Esta transición ha estado acompañada por una transformación tecnológica del riego, sustituyéndose en parte el riego por gravedad por sistemas localizados, tecnología que también se ha aplicado en las nuevas zonas regadas por su idoneidad para este tipo de cultivos.

Junto a esta tendencia hacia los cultivos leñosos, también se ha observado un notable incremento de la superficie dedicada a cultivos hortícolas en determinadas áreas del sureste peninsular, como Murcia y Albacete.

Teniendo en cuenta estas transformaciones recientes, en este trabajo se ha prestado especial atención a la caracterización de los cultivos leñosos permanentes, así como a la recopilación de las principales características de los cultivos hortícolas.

III.2 Proceso de cálculo para obtener la demanda de agua del cultivo y la demanda de agua de riego neto

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y necesidades de agua de riego neto es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. El modelo utiliza el enfoque del coeficiente dual del cultivo, que determina por separado los efectos de la transpiración del cultivo y de la evaporación en el suelo.

El balance de agua utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación y la evapotranspiración de referencia (ET_o) para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5).

A estos inputs se unen las curvas patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de regadío de cada zona de estudio obtenidas a partir de series temporales de imágenes NDVI de satélite, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Asimismo, la metodología propuesta integra el coeficiente basal de cultivo (K_{cb}) derivado de la serie temporal de imágenes NDVI en el modelo diario de balance de agua en el suelo. Por otro lado, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance de agua.

Las demandas de agua del cultivo (ET_c) y el riego neto (mensual y anual) se estiman durante el ciclo de crecimiento del cultivo para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010).

Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los períodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

A continuación, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario.

Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ET_c y riego neto durante el ciclo de cultivo para los períodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua de riego neto requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos de regadío en cada una de las zonas de estudio (ver Tabla II-2).

IV. Resultados y discusión

IV.1 Datos meteorológicos

IV.1.1 Precipitación

La precipitación observada a lo largo del período 1975-2020 muestra, como característica central, una gran variabilidad interanual, especialmente acusada en la fachada mediterránea peninsular (ver **Anexo 1. Datos meteorológicos**).

Con el objeto de analizar tendencias, se ha calculado la señal de cambio de la precipitación contemplada en los modelos de proyección climática 2015-2100, respecto al período de control (1981-2010), utilizando una media móvil de 30 años para reducir la variabilidad interanual. De esta manera, la Figura IV-1 y la Figura IV-2 muestran la señal de cambio de la precipitación acumulada, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control (1981-2010) para el escenario SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. Las figuras muestran el valor promedio de los modelos utilizados.

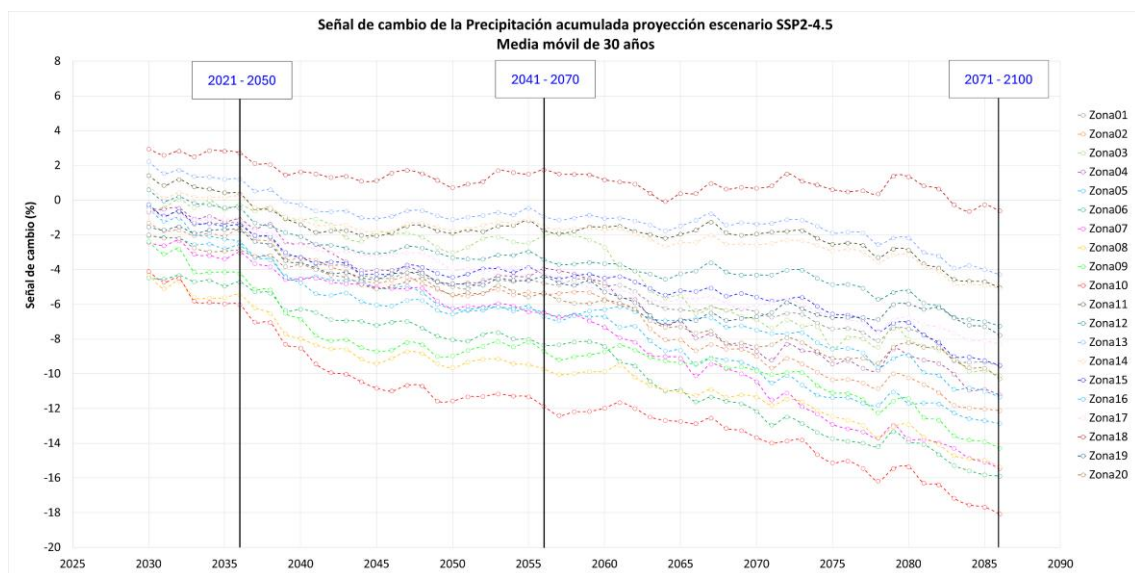


Figura IV-1. Señal de cambio (en %) de la precipitación acumulada anual en cada zona de estudio para el escenario futuro SSP2-4.5 y sobre la media móvil de 30 años. Se representan el valor promedio de los modelos utilizados. Se indica sobre la gráfica los periodos futuros 2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100.

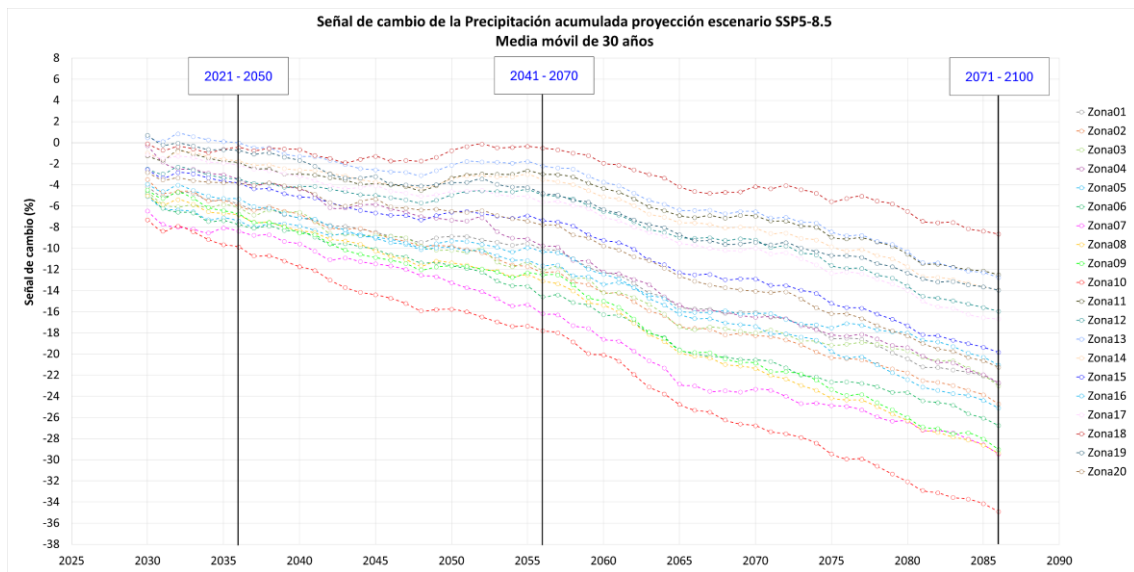


Figura IV-2. Señal de cambio (en %) de la precipitación acumulada anual en cada zona de estudio para el escenario futuro SSP5-8.5 y sobre la media móvil de 30 años. Se representan el valor promedio de los modelos utilizados. Se indica sobre la gráfica los periodos futuros 2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100.

Los resultados muestran una tendencia progresiva a la reducción de la precipitación acumulada en las zonas de estudio, según la señal de cambio proyectada bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Esta tendencia, calculada mediante una media móvil de 30 años, refleja una disminución sostenida de los valores con el avance del siglo, siendo mayor el declive en el escenario SSP5-8.5. No obstante, la intensidad del descenso varía de una zona a otra, lo que pone de manifiesto una heterogeneidad espacial significativa. En particular, se identifica un cierto gradiente norte-sur, donde las zonas más meridionales tienden a registrar reducciones más acusadas, mientras que las regiones del norte muestran señales de cambio más moderadas e incluso, en algunos casos, próximas a la estabilidad en las primeras décadas del periodo proyectado.

En relación con la variabilidad y la tendencia de la precipitación reflejadas en las proyecciones climáticas, un estudio muy reciente de Vicente-Serrano et al., (2025) demuestra que la alta variabilidad temporal, y no la tendencia, domina la precipitación en la región mediterránea al menos durante el periodo analizado (1871-2020). El estudio de Vicente-Serrano et al., (2025) concluye que la precipitación en el Mediterráneo ha permanecido en gran medida estacionaria entre 1871 y 2020, aunque presenta una notable variabilidad interanual. Si bien se identifican tendencias en ciertos periodos y subregiones, los autores atribuyen principalmente estas tendencias a la dinámica atmosférica, es decir, a variabilidad interna del sistema climático. Como se señala en este trabajo (la traducción es propia): “Finalmente, los resultados de este estudio desafían las ideas erróneas prevalecientes sobre la tendencia a la disminución de precipitaciones en el Mediterráneo, lo que subraya la necesidad de profundizar la investigación y el debate científicos”.

El análisis realizado en el presente estudio, basado en datos observacionales de precipitación en las zonas de estudio correspondientes al periodo 1975-2020, proporcionados por AEMET, muestra una alta variabilidad interanual (ver Figura A 2 en **Anexo 1. Datos meteorológicos**), sin que se evidencie una tendencia decreciente, tal y como se muestra en la Figura IV-3, en línea con lo señalado por Vicente-Serrano et al., (2025). Esta figura presenta la evolución de la precipitación acumulada anual observada en cada zona de estudio, representada mediante una media móvil de 30 años a lo largo del periodo 1975-2020.

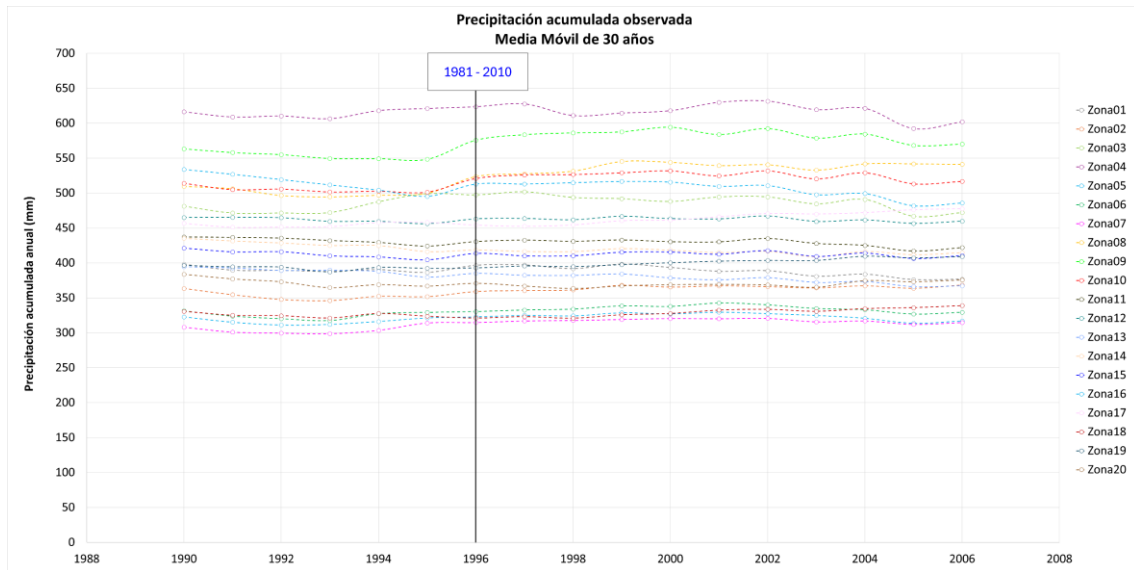


Figura IV-3. Precipitación acumulada anual observada (mm) en cada zona de estudio sobre la media móvil de 30 años. Se indica sobre la gráfica el periodo observado 1981-2010.

IV.1.2 Evapotranspiración de referencia

La evapotranspiración de referencia observada a lo largo del período 1975-2020 no presenta una variabilidad interanual tan acusada como en el caso de la precipitación (ver **Anexo 1. Datos meteorológicos**).

Con el objeto de analizar tendencias se ha calculado la señal de cambio de la ETo derivada de los modelos de proyección climática 2015-2100, respecto al período de control (1981-2010), analizada sobre la media móvil de 30 años. De esta manera, la Figura IV-4 y la Figura IV-5 muestran la señal de cambio de la ETo acumulada, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control (1981-2010) para el escenario SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. Las figuras muestran el valor promedio de los modelos utilizados.

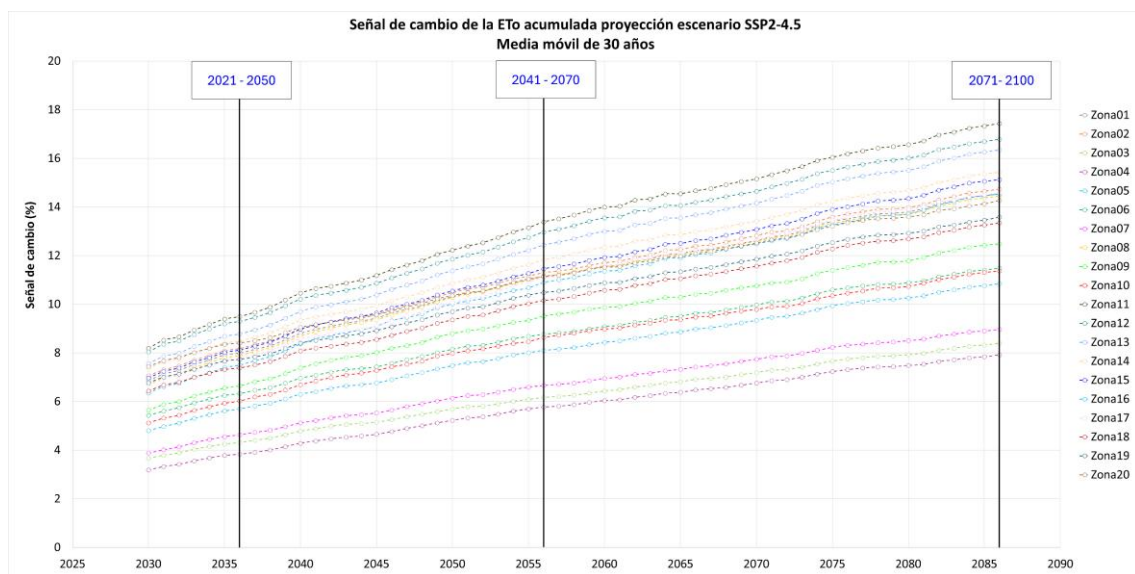


Figura IV-4. Señal de cambio (en %) de la evapotranspiración de referencia acumulada anual en cada zona de estudio para el escenario futuro SSP2-4.5 y sobre la media móvil de 30 años. Se representan el valor promedio de los modelos utilizados. Se indica sobre la gráfica los periodos futuros 2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100.

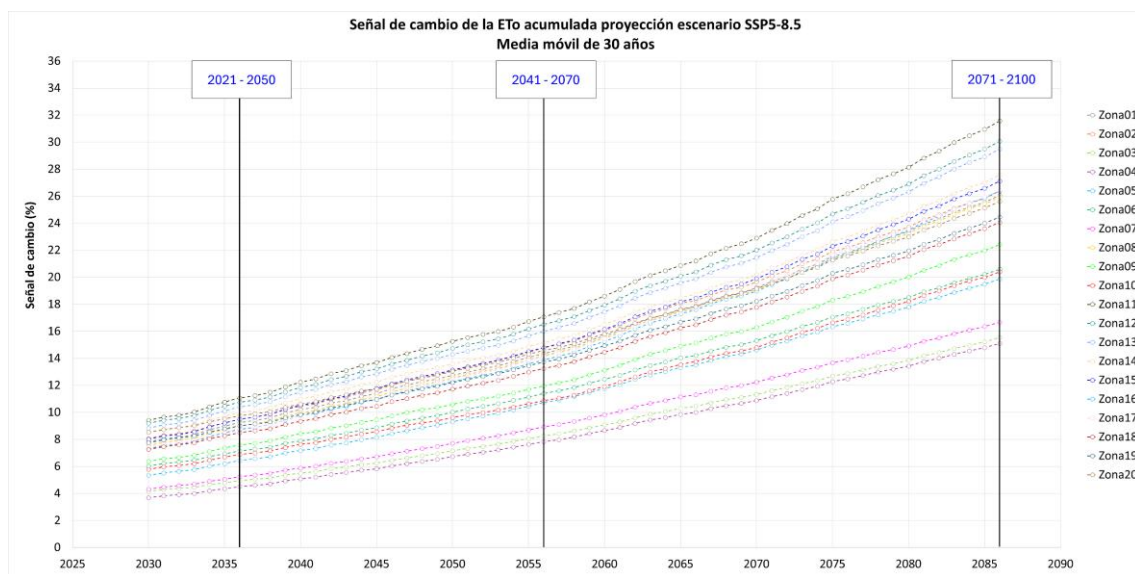


Figura IV-5. Señal de cambio (en %) de la evapotranspiración de referencia acumulada anual en cada zona de estudio para el escenario futuro SSP5-8.5 y sobre la media móvil de 30 años. Se representan el valor promedio de los modelos utilizados. Se indica sobre la gráfica los periodos futuros 2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100.

Los resultados revelan un aumento sostenido de la ETo acumulada en las zonas analizadas, de acuerdo con la señal de cambio proyectada bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Esta evolución, evaluada mediante una media móvil de 30 años, muestra cómo la demanda evaporativa de la atmósfera se incrementa progresivamente a lo largo del siglo, con incrementos más destacados en el escenario SSP5-8.5. Sin embargo, este crecimiento no es homogéneo en todo el territorio, evidenciando una clara variabilidad espacial. En particular, las zonas costeras del Mediterráneo (Zonas 3, 4 y 7) presentan una señal de cambio menos pronunciada en comparación con otras regiones.

Por otro lado, el análisis realizado en el presente estudio, basado en datos observacionales de ETo acumulada en las zonas de estudio correspondientes al periodo 1975-2020, no muestra una tendencia creciente evidente, tal y como se muestra en la Figura IV-6. En esta figura se presenta la evolución de la ETo acumulada anual observada en cada zona de estudio, representada mediante una media móvil de 30 años a lo largo del periodo 1975-2020.

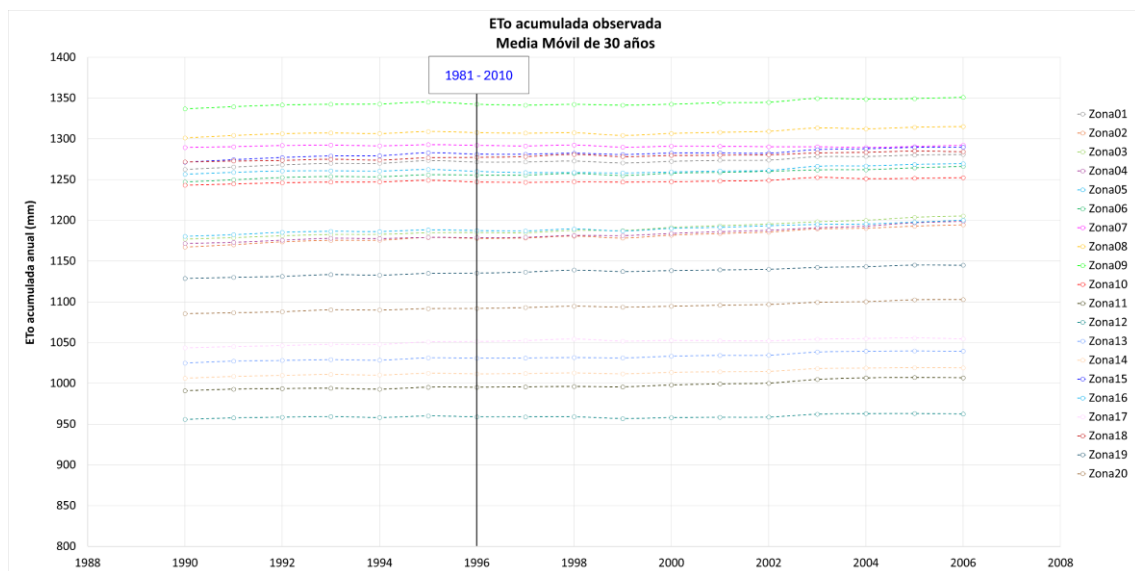


Figura IV-6. Evapotranspiración de referencia acumulada anual observada (mm) en cada zona de estudio sobre la media móvil de 30 años. Se indica sobre la gráfica el periodo observado 1981-2010.

IV.2 Demanda de agua del cultivo y demanda de agua de riego neto

Siguiendo el procedimiento descrito anteriormente, se han estimado la demanda de agua (ETc) y demanda de agua de riego neto (R) para los principales cultivos analizados en cada una de las zonas de estudio (ver Tabla II-2), a partir de las proyecciones climáticas correspondientes a los periodos futuros considerados (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100), y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5).

Los resultados obtenidos **se presentan en detalle en los informes específicos elaborados para cada zona de estudio**. Estos informes incluyen los datos de entrada utilizados en el balance de agua (ETo, precipitación y curvas patrón), así como los resultados obtenidos sobre la señal de cambio para cada cultivo respecto del periodo de control (1981-2010). Además, se detallan las demandas de agua y de riego calculadas para el periodo observado y para los periodos futuros en el marco de los escenarios futuros considerados. Finalmente, se estima el volumen total de agua de riego neto requerido en el periodo observado y para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos de regadío en cada una de las zonas de estudio (ver Tabla II-2); estas estimaciones se expresan en valores acumulados anuales y mensuales, lo que permite caracterizar la distribución temporal de la demanda de agua de riego.

La Tabla IV-1 y Tabla IV-2 muestran un resumen con los resultados obtenidos en cada una de las zonas de estudio analizadas en cuanto al volumen de agua de riego neto total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), respectivamente, teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla II-2, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla IV-1. Volumen de agua total de riego neto, en hm^3 , teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla II-2 para cada una de las zonas de estudio. Se muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Volumen de agua de riego neto total por periodos (hm^3)							
Zonas de estudio	Periodo observado	Escenario_ssp2-4.5			Escenario_ssp5-8.5		
	1981-2010	2021-2050	2041-2070	2071-2100	2021-2050	2041-2070	2071-2100
Zona 1	651	739	784	834	771	836	987
Zona 2	439	490	515	544	505	546	627
Zona 3	890	963	1004	1058	985	1052	1189
Zona 4	76	83	87	93	84	92	107
Zona 5	48	54	56	59	55	59	67
Zona 6	275	306	320	337	313	334	380
Zona 7	359	385	400	419	394	419	467
Zona 8	1312	1518	1617	1723	1567	1717	2058
Zona 9	1957	2161	2274	2383	2221	2376	2737
Zona 10	112	117	119	122	117	121	128
Zona 11	635	714	748	786	733	786	910
Zona 12	169	192	205	219	201	219	264
Zona 13	273	302	317	334	312	333	387
Zona 14	112	125	132	140	130	140	166
Zona 15	205	230	242	256	238	256	299
Zona 16	947	1049	1104	1160	1079	1157	1340
Zona 17	189	213	226	242	220	239	287
Zona 18	848	925	962	1004	951	1006	1148

Zona 19	725	804	842	881	822	876	1004
Zona 20	580	658	689	729	677	728	846
TOTAL	10803	12028	12643	13323	12375	13294	15399

Tabla IV-2. Consumo unitario de agua de riego neto, en m³/ha, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla II-2 para cada una de las zonas de estudio. Se muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Consumo unitario de agua de riego neto total por periodos (m ³ /ha)							
Zonas de estudio	Periodo observado	Escenario_ssp2-4.5			Escenario_ssp5-8.5		
	1981-2010	2021-2050	2041-2070	2071-2100	2021-2050	2041-2070	2071-2100
Zona 1	2275	2586	2744	2918	2698	2924	3453
Zona 2	3599	4016	4222	4465	4141	4478	5144
Zona 3	5166	5591	5830	6145	5718	6109	6904
Zona 4	5024	5486	5781	6170	5588	6126	7131
Zona 5	2896	3220	3389	3577	3322	3534	4018
Zona 6	5156	5738	6002	6326	5875	6272	7128
Zona 7	5987	6425	6665	6977	6560	6980	7789
Zona 8	4240	4905	5225	5567	5062	5547	6651
Zona 9	5611	6195	6520	6831	6368	6812	7846
Zona 10	5846	6094	6217	6351	6114	6299	6655
Zona 11	3702	4158	4359	4580	4267	4578	5299
Zona 12	2398	2722	2898	3101	2849	3098	3741
Zona 13	3013	3333	3499	3678	3435	3671	4271
Zona 14	2364	2639	2777	2945	2745	2955	3495
Zona 15	4347	4866	5114	5422	5040	5415	6336
Zona 16	5215	5777	6081	6392	5942	6375	7384
Zona 17	3005	3393	3597	3853	3499	3814	4576
Zona 18	5183	5651	5874	6130	5810	6145	7010
Zona 19	4138	4593	4809	5031	4693	5005	5731
Zona 20	4142	4695	4916	5200	4833	5198	6035

Los resultados obtenidos revelan un incremento en el consumo hídrico de los cultivos de regadío en todas las zonas de estudio para los periodos futuros analizados, en comparación con el periodo de control establecido (1981-2010).

La Figura IV-7 muestra, para cada zona de estudio, el porcentaje de variación del volumen total de agua de riego neto en los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) con respecto al periodo observado (1981-2010), según los escenarios climáticos considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5).

Se observa una notable variabilidad en el incremento del volumen y del consumo de agua de riego requerido entre las diferentes zonas. El total, se estima un aumento del volumen de riego neto de 11-15%, 17-23% y 23-43% para los periodos futuros 2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente, y en función de cada uno de los escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5).

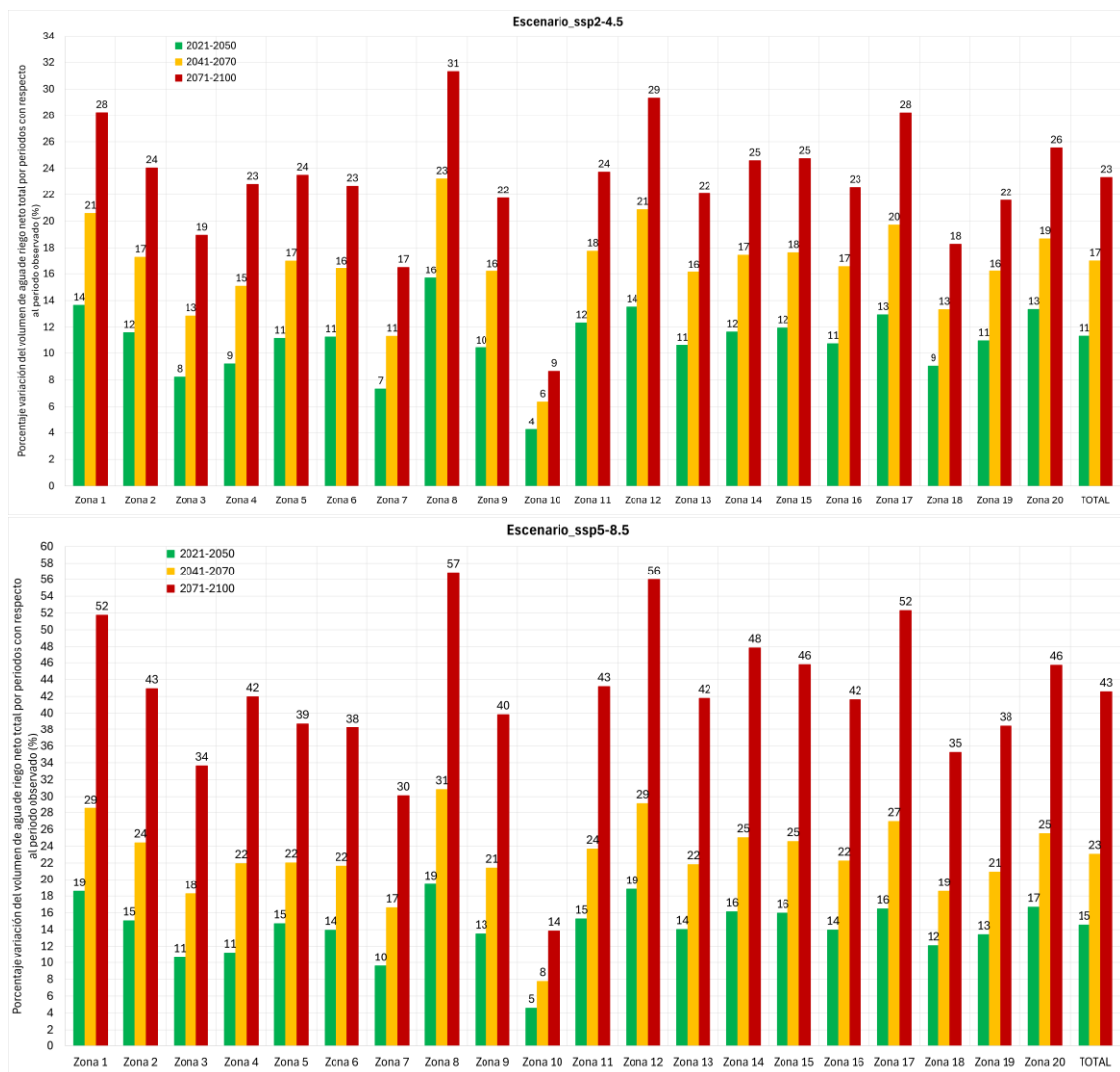


Figura IV-7. Porcentaje de variación del volumen de agua de riego neto total en cada uno de los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) con respecto al periodo observado (1981-2010), en %, para cada zona de estudio en el escenario SSP2-4.5 (figura superior) y escenario SSP5-8.5 (figura inferior).

IV.3 Mecanismos de adaptación y su impacto

En cuanto a los mecanismos de adaptación, más allá del impacto en los ciclos de crecimiento derivado del incremento proyectado de la temperatura, y por consiguiente de la ETo, así como de la introducción o adopción de variedades de cultivos más adaptadas a las nuevas condiciones climáticas, es necesario considerar medidas orientadas a mejorar la eficiencia en la aplicación del agua de riego y a optimizar las prácticas agronómicas, así como los cambios en la estructura de los cultivos dentro de una determinada zona.

No obstante, ambos tipos de medidas requieren una intervención por parte de las autoridades competentes en materia de agua y agricultura, tanto para su planificación como para su implementación efectiva.

Dentro de las estrategias de mejora del manejo del agua, se incluyen actuaciones dirigidas a reducir las pérdidas en la conducción y distribución del agua, la modernización de los sistemas de riego y la mejora de la eficiencia de aplicación del propio sistema de riego. El potencial de estas mejoras está condicionado, en gran medida, por la disponibilidad de inversiones en infraestructuras y por el apoyo institucional al sector agrícola para facilitar la adopción, mantenimiento y gestión de tecnologías de riego más eficientes. Cabe señalar que dichos factores no se reflejan en las estimaciones realizadas en este estudio, ya que los cálculos se han centrado en determinar las demandas de agua de riego neto, sin considerar las eficiencias reales del sistema de riego ni las pérdidas a lo largo de la red de distribución.

Existe también un importante margen de mejora asociado a la implementación de sistemas de riego localizado en cultivos hortícolas, especialmente en aquellos donde la evaporación desde el suelo es elevada debido a una alta frecuencia de riegos y a un porcentaje significativo de suelo sin cobertura vegetal. En cultivos como el ajo, la cebolla y otros hortícolas, la adopción de este tipo de sistemas de riego podría permitir una reducción sustancial en el volumen de agua aplicado, al minimizar las pérdidas por evaporación y aumentar la eficiencia de aplicación. Si bien sería necesario realizar cálculos específicos para estimar con precisión este potencial de ahorro, la evidencia existente sugiere un impacto positivo relevante.

Asimismo, en el caso de cultivos permanentes, la tecnología de riego mediante tuberías enterradas representa una alternativa prometedora, con potencial para alcanzar reducciones significativas en el uso de agua, especialmente en condiciones de alta demanda evaporativa de la atmósfera. Aunque el porcentaje de ahorro dependerá del contexto agroclimático y del diseño del sistema, se estima que puede ser considerable frente a métodos convencionales.

Dentro de las prácticas agronómicas, los sistemas de riego deficitario controlado adquieren cada vez mayor relevancia, especialmente en cultivos leñosos tolerantes a cierto grado de estrés hídrico, como la vid, el olivo o el almendro, característicos del entorno mediterráneo. Esta estrategia consiste en suministrar al cultivo una cantidad de agua inferior a la que consumiría en condiciones de plena disponibilidad, ajustando cuidadosamente tanto la cuantía como el momento de aplicación. El objetivo es reducir el consumo de agua manteniendo niveles aceptables de productividad, minimizando al mismo tiempo el impacto sobre el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo.

En cualquier caso, el proceso de intensificación de la agricultura en España proporciona una base adecuada para la adopción de estas mejoras. Sin embargo, su implantación efectiva requiere la puesta en marcha de medidas de apoyo institucional, programas de capacitación técnica, mecanismos de seguimiento y, cuando corresponda, herramientas normativas que incluyan sanciones, con el fin de garantizar un uso sostenible y eficiente del recurso hídrico.

En este sentido, se comparte lo señalado en el informe de (CEDEX, 2012), que afirma: *“El rango de magnitud de estos incrementos debido al impacto del cambio climático, podría resultar inferior a los ahorros previsibles inherentes a las mejoras de la eficiencia de riego y de las prácticas agronómicas”*, al menos en el horizonte 2021-2050. Frente a esta visión, otras propuestas, como la recogida en el informe de Greenpeace, (2024), apuestan por una reducción drástica del 20-25 % del regadío, lo que, en términos de superficie, supone una reducción de entre 650 mil hectáreas y casi un millón de hectáreas para el año 2040. Sin embargo, esta opción no parece adecuada si antes no se han explorado e implementado las diferentes estrategias que permitan reducir el uso del agua mediante un incremento de la eficiencia en su aplicación, sin comprometer la producción agraria ni otros factores clave como el empleo y la sostenibilidad económica en amplias zonas rurales.

Aunque las medidas orientadas a mejorar la eficiencia en el uso del agua en el sistema agroalimentario son fundamentales, existe también otro instrumento relevante: el cambio en la estructura de los cultivos. Este proceso de cambio, que ocurre de forma continua, ha sido especialmente significativo en los últimos veinte años. Tal como sugieren Arbonès et al., (2024, preprint), dicho cambio ha estado impulsado, en gran medida, por la respuesta de los agricultores a los incentivos económicos: *“La transformación de la agricultura española está impulsada principalmente por las respuestas de los agricultores a incentivos económicos, como el aumento de la productividad, los ingresos y la riqueza, así como por políticas que apoyan estos cambios (como la PAC, la modernización del regadío), o los posibilitan (en relación con la mano de obra extranjera, el uso del agua, y las políticas de planificación, seguimiento y medio ambiente)”*.

El cambio en la estructura de los cultivos ha sido una herramienta eficaz en la gestión de situaciones de sequía prolongada, y prácticamente todas las Confederaciones Hidrográficas cuentan con experiencia en su aplicación. Junto al cambio en la estructura de los cultivos, medidas adicionales de limitación en las dotaciones de los cultivos han sido puestas en marcha de forma coyuntural y/o estructural ante situaciones de escasez y sequía.

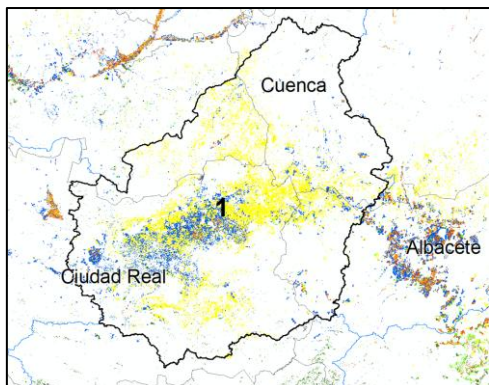
Ambos instrumentos, cambios en la estructura y limitación en las dotaciones, son modulables en el tiempo y flexibles en su implementación, especialmente a través de los Planes de Explotación Anual, y pueden vincularse a indicadores objetivos, como el estado cuantitativo de embalses y acuíferos.

Es necesario resaltar que el principal desafío no radica tanto en una disminución progresiva de las precipitaciones, sino en la elevada variabilidad del régimen hídrico mediterráneo, que se ve agravada por un incremento sostenido en la demanda evaporativa de la atmósfera según las proyecciones climáticas actuales. Todo ello en línea con lo que señala Vicente-Serrano et al., (2025) que la precipitación en el Mediterráneo se ha mantenido en gran medida estacionaria entre 1871 y 2020, aunque con una notable variabilidad interanual.

En consecuencia, la tarea clave puede ser prepararse ante esta variabilidad de la precipitación y el incremento de la ETo, para lo que resulta imprescindible contar con instrumentos y políticas suficientemente flexibles que se ajusten a diferentes escenarios, combinando medidas estructurales, agronómicas y de planificación a diferentes escalas.

Los ejercicios de simulación orientados al cambio en la estructura de los cultivos pueden ser una herramienta útil para estimar la reducción potencial en la demanda de agua de riego en una determinada zona. Estas simulaciones pueden partir del análisis de la situación actual, contemplando, por ejemplo, el reemplazo de cultivos de verano por cultivos de primavera, o la transición hacia cultivos leñosos con limitación de consumo. Sin embargo, estas simulaciones requieren introducir factores socioeconómicos adicionales para acercarse a la realidad, lo que necesita de investigación adicional.

V. Zona 1. Alto Guadiana-Demarcación Hidrográfica del Guadiana



ECLIMAR

DEMANDA DE AGUA, ETc, Y DEMANDA DE AGUA DE RIEGO, R, EN EL HORIZONTE 2015-2100

Zona 1. Alto Guadiana- Demarcación Hidrográfica del Guadiana

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	25
RESULTADOS	26
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	26
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	27
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	31
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo....	33
E.- Demandas de agua de riego globales.....	36

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 1. Alto Guadiana-Demarkación Hidrográfica del Guadiana, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo, a excepción del cultivo de la viña de vinificación que se ha considerado que se maneja con un cierto grado de estrés hídrico. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los periodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura V-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

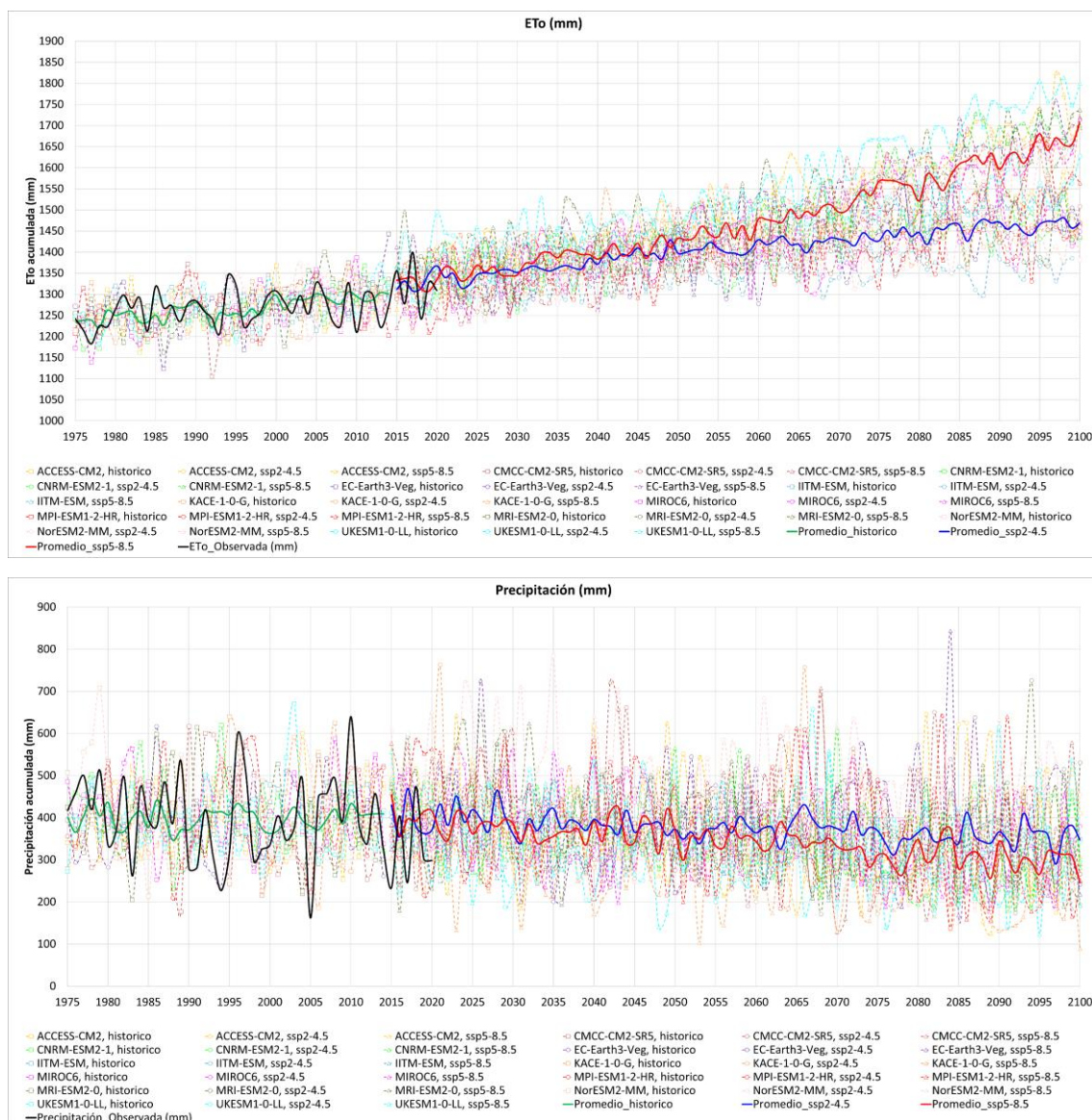


Figura V-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 1 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

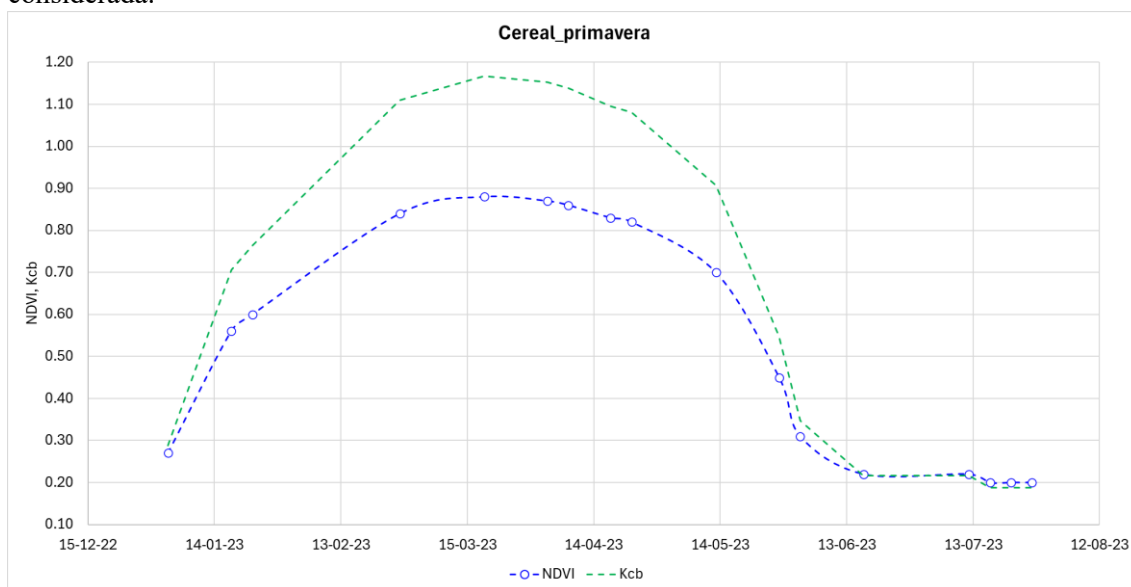
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

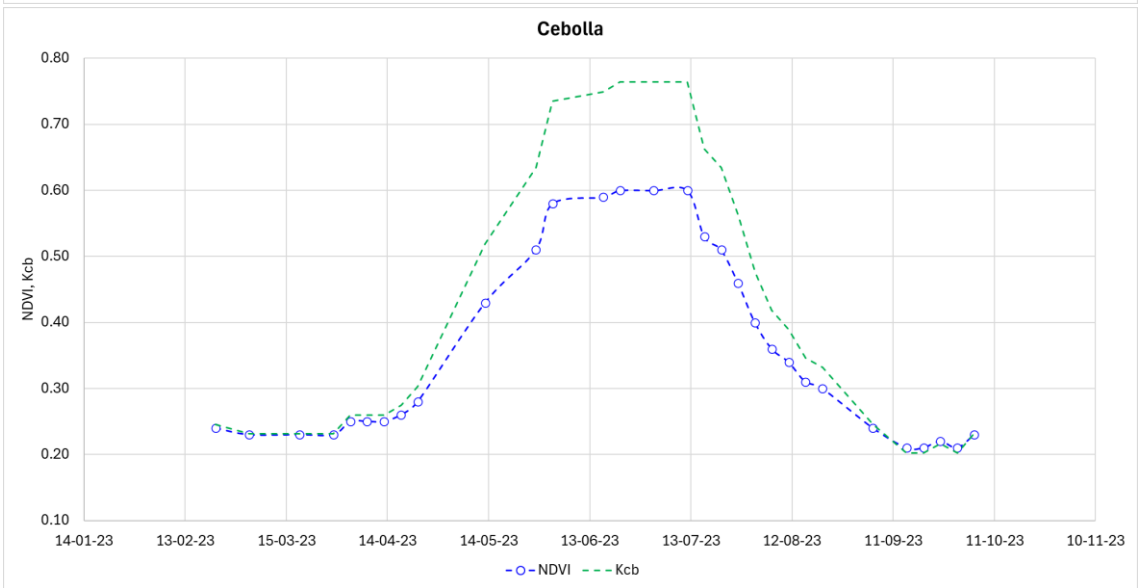
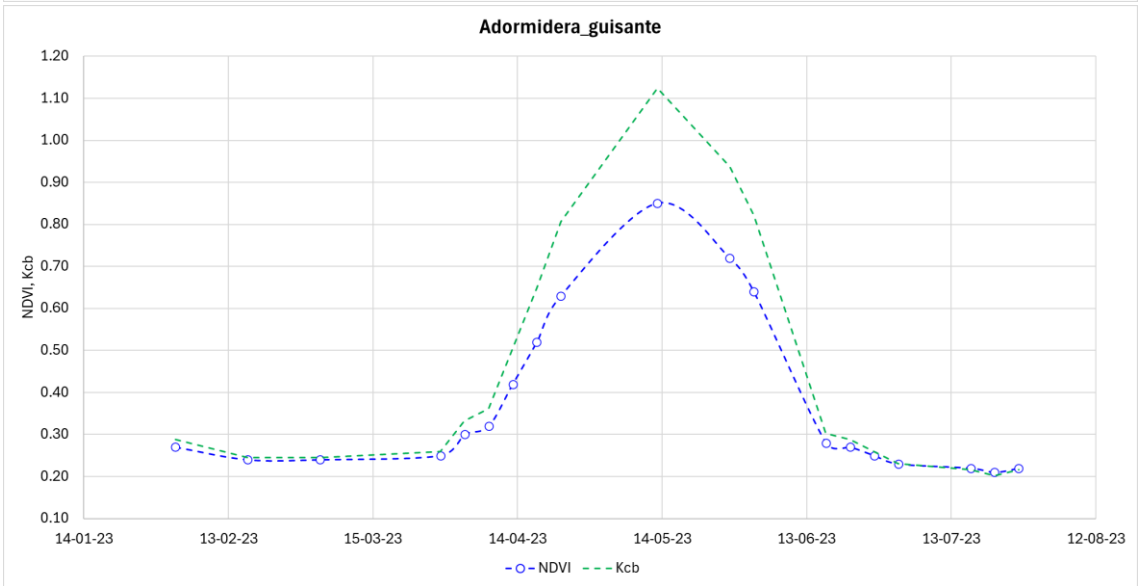
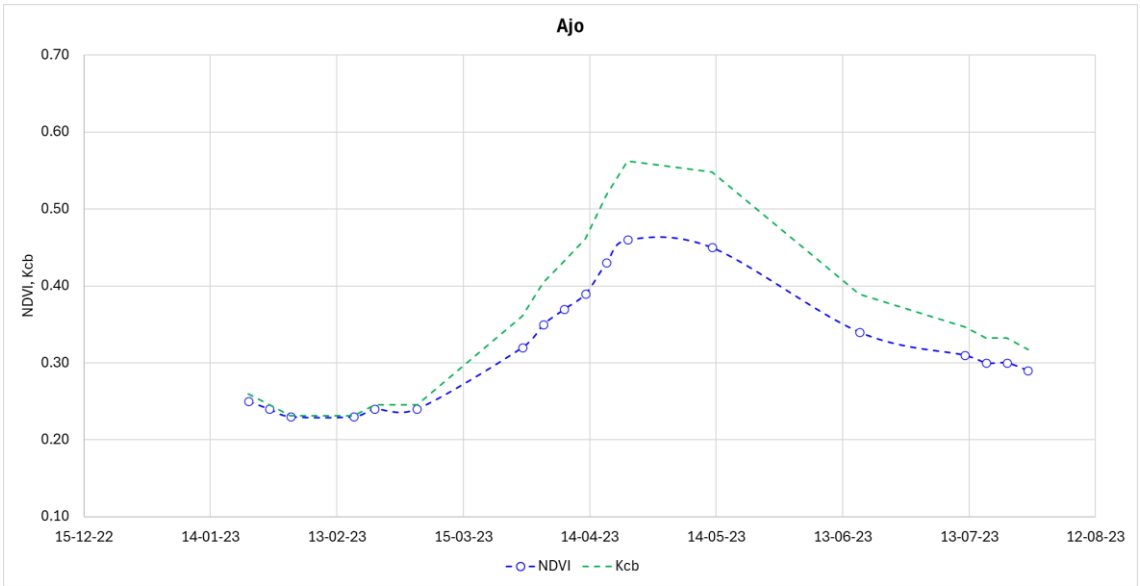
Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla V-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

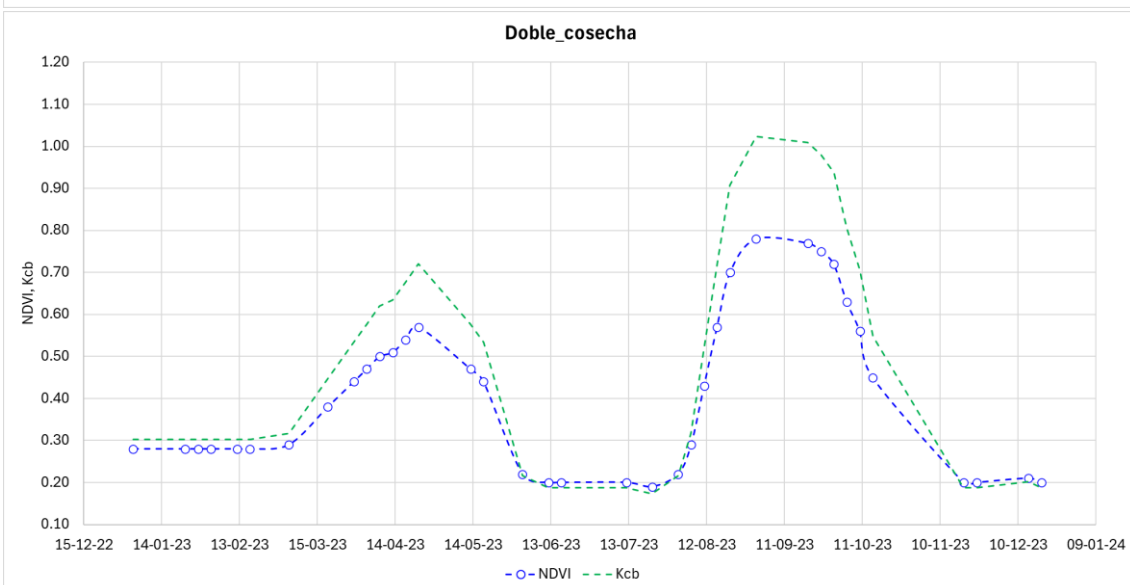
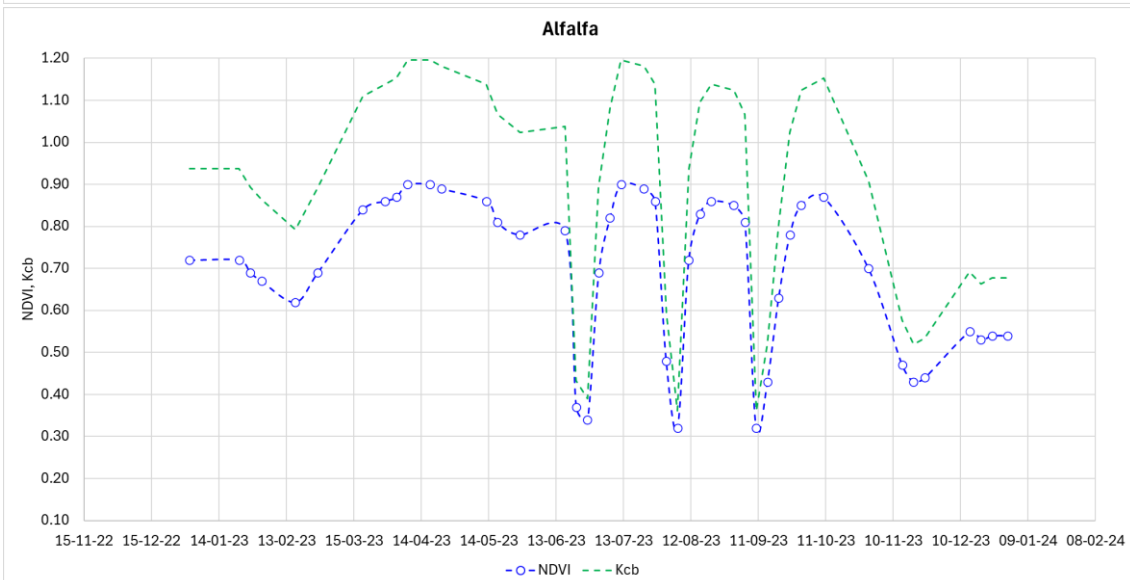
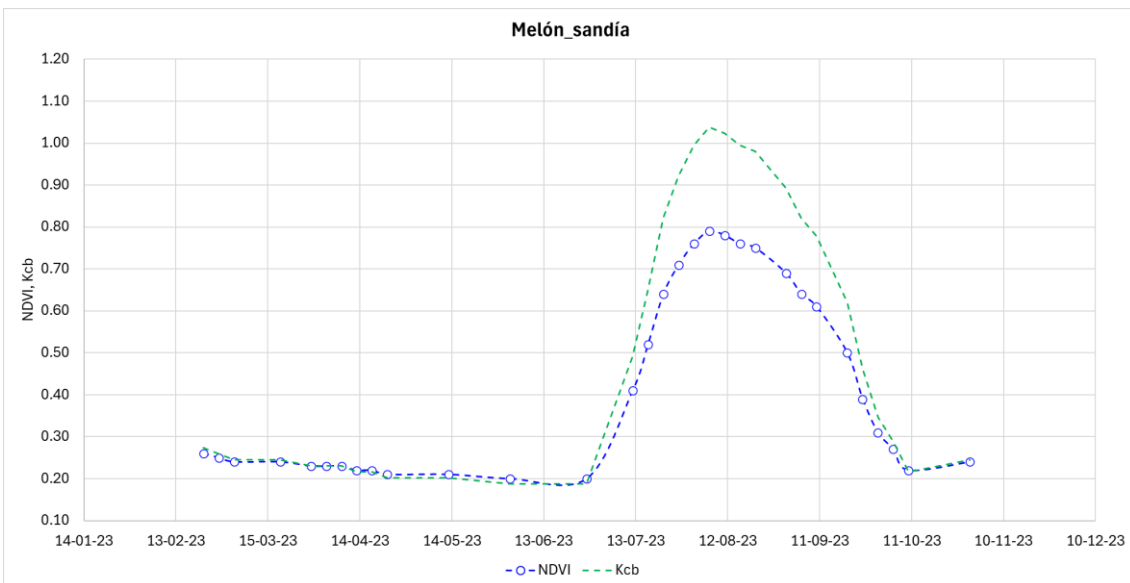
Tabla V-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 1.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Cereal_primavera	61133	21.4
Ajo	9077	3.2
Adormidera_guisante	4527	1.6
Otros_cultivos_primavera	4176	1.5
Cebolla	3523	1.2
Melón_sandía	7326	2.6
Otros_cultivos_verano	6190	2.2
Alfalfa	385	0.1
Doble cosecha	591	0.2
Viña_vinificación	150591	52.7
Olivo	20311	7.1
Frutal cáscara	18063	6.3

La Figura V-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.







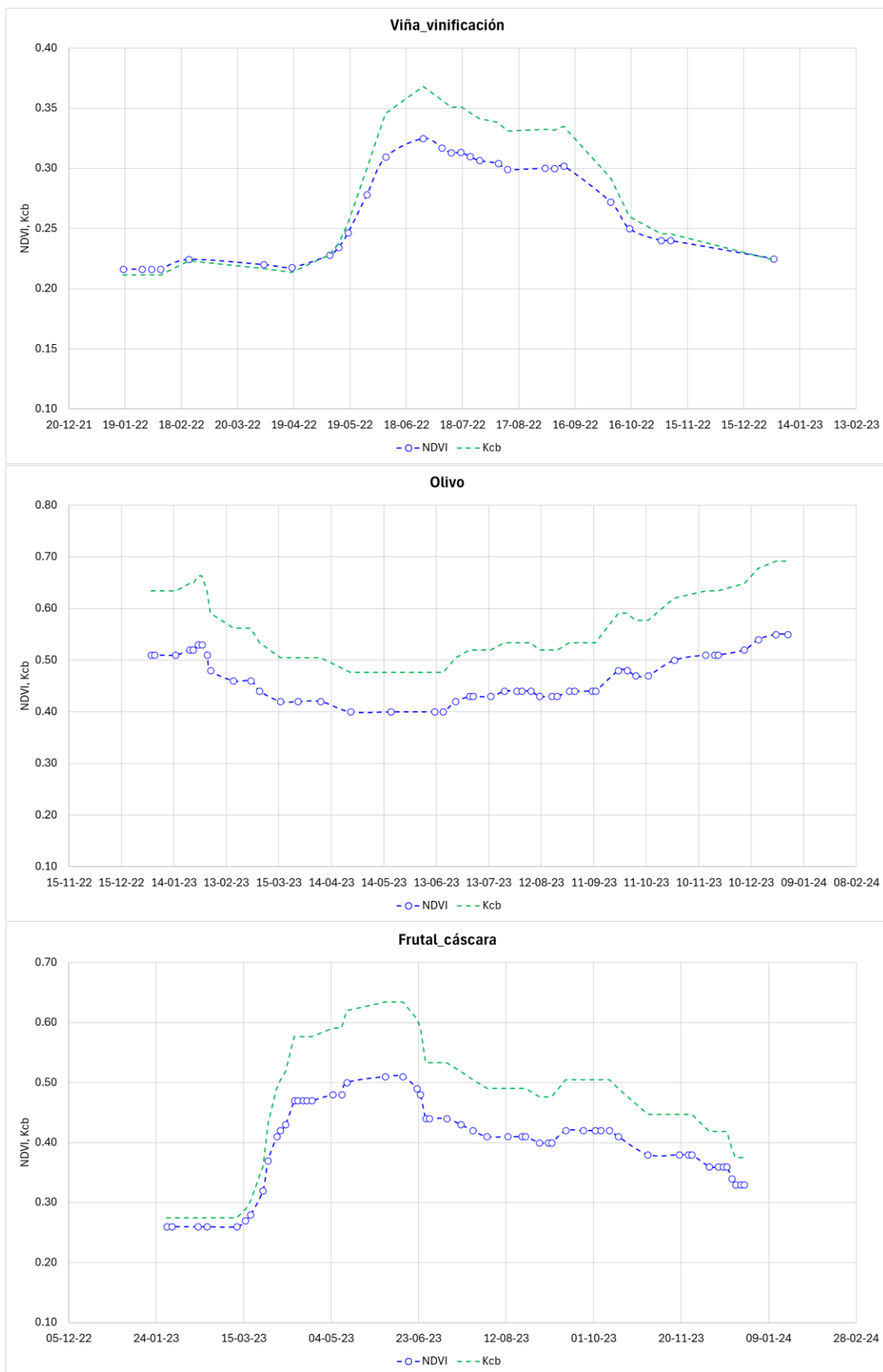


Figura V-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 1.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla V-2 y Tabla V-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla V-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 1, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	7	11	5	2	7	12	4	2
	2041-2070	9	15	7	2	12	17	8	3
	2071-2100	12	20	6	4	24	32	16	5
Ajo	2021-2050	5	8	3	1	6	10	3	2
	2041-2070	7	11	5	2	9	12	5	2
	2071-2100	9	14	5	2	17	23	9	4
Adormidera_guisante	2021-2050	6	9	4	2	7	11	3	3
	2041-2070	8	12	6	2	10	13	6	2
	2071-2100	11	15	4	3	20	27	9	5
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	6	10	4	1	7	11	4	2
	2041-2070	8	13	6	2	11	14	6	2
	2071-2100	11	17	5	3	21	28	12	4
Cebolla	2021-2050	6	9	4	1	7	10	5	2
	2041-2070	9	11	6	2	11	13	8	2
	2071-2100	11	15	6	2	19	23	13	3
Melón_sandía	2021-2050	8	10	5	2	9	13	6	2
	2041-2070	10	15	6	2	14	17	10	2
	2071-2100	13	17	8	2	22	27	14	4
Otros_cultivos_verano	2021-2050	7	9	5	2	8	11	6	2
	2041-2070	9	13	6	2	12	15	9	2
	2071-2100	12	15	7	2	21	25	13	3
Alfalfa	2021-2050	8	12	5	2	9	12	6	2
	2041-2070	11	17	7	3	14	18	10	3
	2071-2100	14	20	8	3	26	34	17	4
Doble_cosecha	2021-2050	7	11	5	2	8	11	6	2
	2041-2070	10	15	7	2	13	17	9	2
	2071-2100	13	19	7	3	24	31	15	4
Viña_vinificación	2021-2050	5	8	3	1	5	10	2	2
	2041-2070	6	9	3	2	8	11	4	2
	2071-2100	7	11	3	2	13	16	9	3
Olivo	2021-2050	7	10	4	2	7	11	5	2

Frutal_cáscara	2041-2070	9	14	6	2	11	14	8	2
	2071-2100	11	16	6	3	20	27	13	4
	2021-2050	7	10	5	2	7	11	5	2
Frutal_cáscara	2041-2070	9	13	6	2	11	14	8	2
	2071-2100	11	15	6	2	20	26	12	3

Tabla V-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 1, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	11	20	5	4	17	36	8	7
	2041-2070	17	27	11	5	29	35	14	6
	2071-2100	26	37	13	8	56	70	40	11
Ajo	2021-2050	8	14	5	3	11	26	3	6
	2041-2070	13	18	8	3	20	25	11	5
	2071-2100	19	28	10	5	41	52	27	8
Adormidera_guisante	2021-2050	11	21	5	5	15	26	7	6
	2041-2070	17	25	9	5	25	32	17	4
	2071-2100	23	32	9	7	47	61	23	10
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	10	19	6	4	15	29	6	6
	2041-2070	16	24	10	4	25	31	15	5
	2071-2100	23	33	10	6	48	60	30	9
Cebolla	2021-2050	7	12	4	2	9	15	5	3
	2041-2070	11	16	6	3	15	18	12	2
	2071-2100	15	18	8	3	26	31	16	4
Melón_sandía	2021-2050	10	15	4	3	12	16	8	3
	2041-2070	14	20	7	4	17	24	13	3
	2071-2100	17	23	12	3	28	36	19	5
Otros_cultivos_verano	2021-2050	8	12	4	2	11	14	7	2
	2041-2070	12	17	6	3	16	20	13	2
	2071-2100	16	20	10	3	27	33	18	4
Alfalfa	2021-2050	11	20	6	4	14	21	9	4
	2041-2070	16	24	10	4	22	31	16	4
	2071-2100	22	32	13	4	40	52	27	7
Doble_cosecha	2021-2050	10	16	6	3	13	19	8	3
	2041-2070	15	22	10	4	20	28	14	4
	2071-2100	20	29	14	4	36	46	26	5
Viña_vinificación	2021-2050	18	36	3	8	24	35	12	7
	2041-2070	27	40	14	8	35	51	20	8
	2071-2100	36	48	22	8	61	81	39	12
Olivo	2021-2050	14	27	6	5	19	29	12	5
	2041-2070	21	32	13	6	29	43	20	6
	2071-2100	29	43	17	6	54	71	36	10

Frutal_cáscara	2021-2050	12	22	5	4	16	24	11	4
	2041-2070	18	26	10	5	25	35	18	5
	2071-2100	25	36	15	5	45	59	29	8

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del periodo 1981-2010.

La Figura V-3 y la Figura V-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

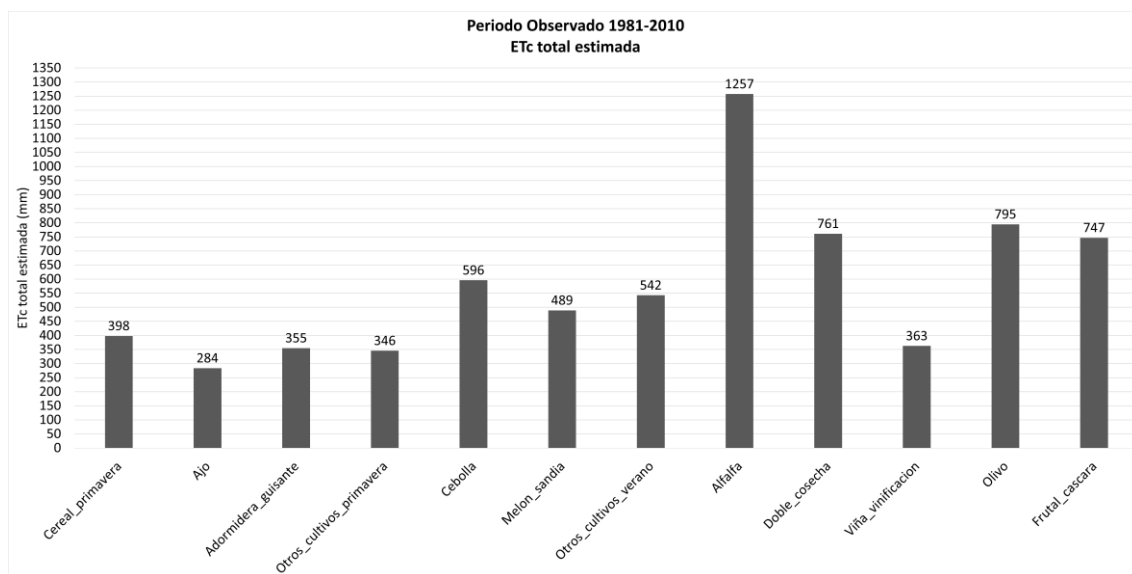


Figura V-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 1 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

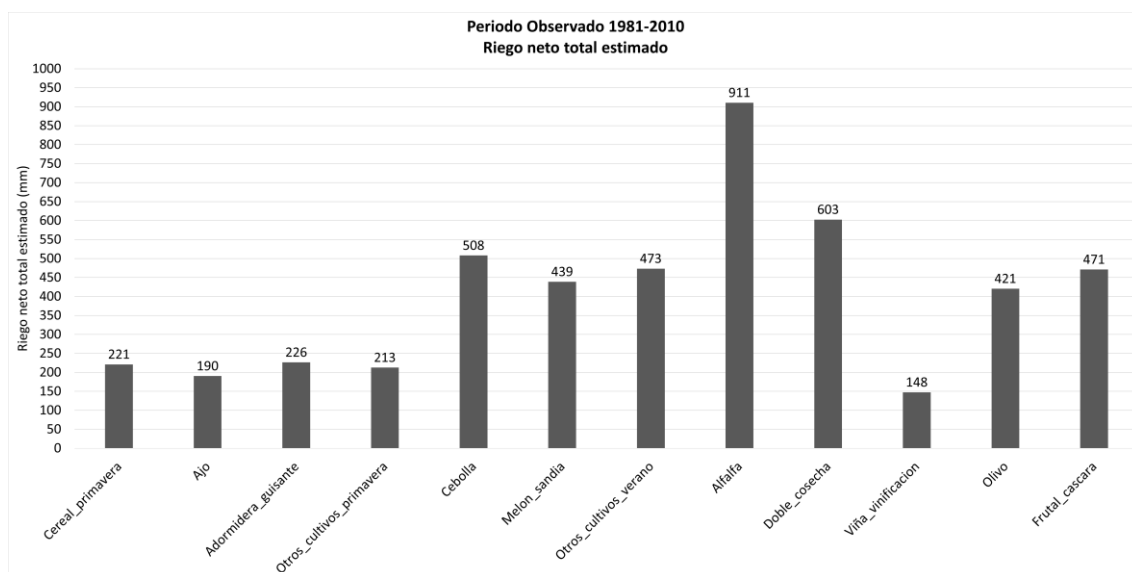


Figura V-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 1 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla V-4 y Tabla V-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla V-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 1, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	425	441	416	7	428	447	415	9
	2041-2070	435	457	427	9	446	464	429	11
	2071-2100	448	476	422	14	494	524	460	19
Ajo	2021-2050	299	307	293	4	300	313	292	6
	2041-2070	304	316	299	5	309	318	298	7
	2071-2100	310	324	297	7	332	348	310	11
Adormidera_guisante	2021-2050	377	388	368	6	379	395	365	9
	2041-2070	384	397	376	8	392	402	376	8
	2071-2100	393	409	368	10	426	452	387	17
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	367	379	360	5	369	385	358	8
	2041-2070	374	390	368	7	382	394	368	8
	2071-2100	384	403	362	10	417	441	385	15
Cebolla	2021-2050	633	647	620	8	640	655	625	9
	2041-2070	647	663	631	10	663	674	645	10
	2071-2100	663	683	634	12	710	735	672	16
Melón_sandía	2021-2050	527	540	512	9	534	554	521	10
	2041-2070	540	561	516	12	556	572	536	11
	2071-2100	553	570	527	12	598	623	558	19
Otros_cultivos_verano	2021-2050	580	594	567	8	587	603	574	9
	2041-2070	593	612	573	11	609	623	593	10
	2071-2100	608	626	581	12	654	679	615	18
Alfalfa	2021-2050	1357	1412	1322	25	1372	1407	1336	25
	2041-2070	1396	1467	1347	32	1436	1487	1382	32
	2071-2100	1438	1513	1353	38	1581	1681	1470	54
Doble_cosecha	2021-2050	818	845	802	14	825	847	804	15
	2041-2070	838	879	812	18	860	891	830	19
	2071-2100	862	904	816	22	940	996	876	31
Viña_vinificación	2021-2050	382	390	372	5	381	397	370	7
	2041-2070	384	397	375	6	391	403	379	7
	2071-2100	389	403	374	9	408	422	394	9
Olivo	2021-2050	848	873	830	14	853	882	834	13
	2041-2070	866	904	841	18	884	909	855	17
	2071-2100	885	921	839	22	954	1007	896	28
Frutal_cáscara	2021-2050	798	818	783	12	802	829	784	12
	2041-2070	813	845	791	16	831	854	803	16
	2071-2100	832	860	789	19	895	941	838	26

Tabla V-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 1, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	245	265	232	9	259	301	239	16
	2041-2070	259	281	246	10	284	298	251	14
	2071-2100	279	303	249	17	344	376	308	25
Ajo	2021-2050	206	217	199	5	212	239	196	11
	2041-2070	215	225	206	6	228	239	211	9
	2071-2100	226	244	209	9	268	290	241	15
Adormidera_guisante	2021-2050	250	274	238	11	261	285	242	14
	2041-2070	264	283	247	11	282	300	264	10
	2071-2100	279	299	246	15	333	364	279	23
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	234	252	225	8	244	275	226	13
	2041-2070	246	263	233	8	265	278	243	10
	2071-2100	261	282	234	13	315	340	276	20
Cebolla	2021-2050	545	569	530	11	556	582	533	13
	2041-2070	563	587	538	15	584	600	566	10
	2071-2100	584	601	547	14	642	666	591	19
Melón_sandía	2021-2050	481	505	455	15	491	509	473	12
	2041-2070	498	528	469	17	515	542	497	14
	2071-2100	515	539	493	14	562	595	523	22
Otros_cultivos_verano	2021-2050	513	532	493	11	524	539	507	11
	2041-2070	531	553	503	15	550	568	534	11
	2071-2100	549	570	520	12	602	628	557	19
Alfalfa	2021-2050	1009	1090	961	33	1042	1101	993	35
	2041-2070	1059	1130	1005	36	1114	1191	1055	39
	2071-2100	1112	1206	1029	41	1278	1387	1161	63
Doble_cosecha	2021-2050	662	699	637	17	679	714	652	20
	2041-2070	692	736	662	22	721	771	684	24
	2071-2100	723	775	686	22	819	880	760	33
Viña_vinificación	2021-2050	175	201	152	12	182	199	165	10
	2041-2070	188	206	168	12	199	223	177	12
	2071-2100	201	218	179	11	238	267	206	18
Olivo	2021-2050	478	532	447	22	502	543	473	22
	2041-2070	509	554	473	23	545	600	504	27
	2071-2100	543	601	491	26	646	720	572	41
Frutal_cáscara	2021-2050	527	572	495	21	548	583	524	20
	2041-2070	557	594	520	24	590	637	556	24
	2071-2100	588	641	540	24	684	747	606	37

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla V-1).

En la Figura V-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla V-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura V-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

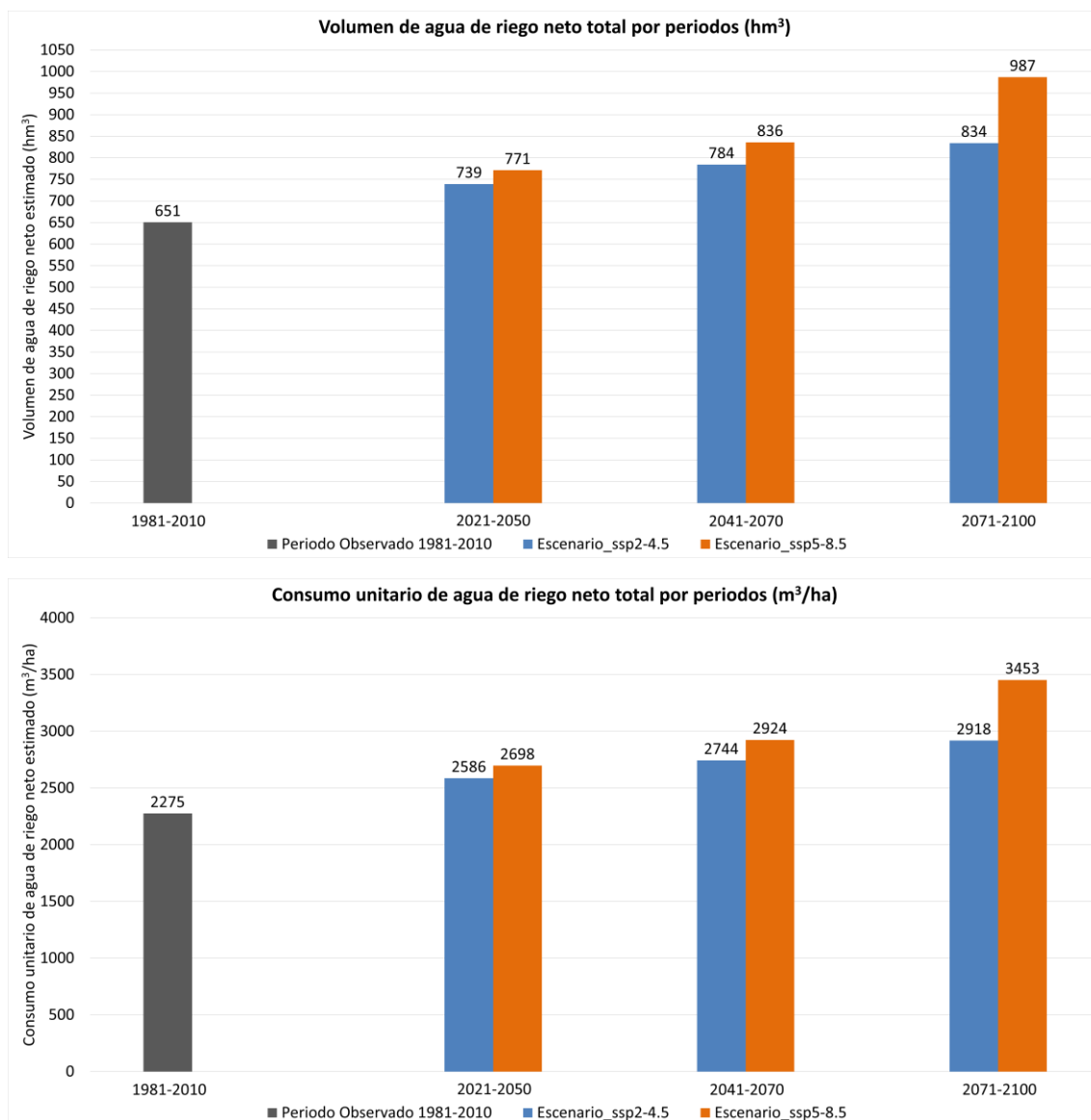


Figura V-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla V-1 para la Zona 1. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

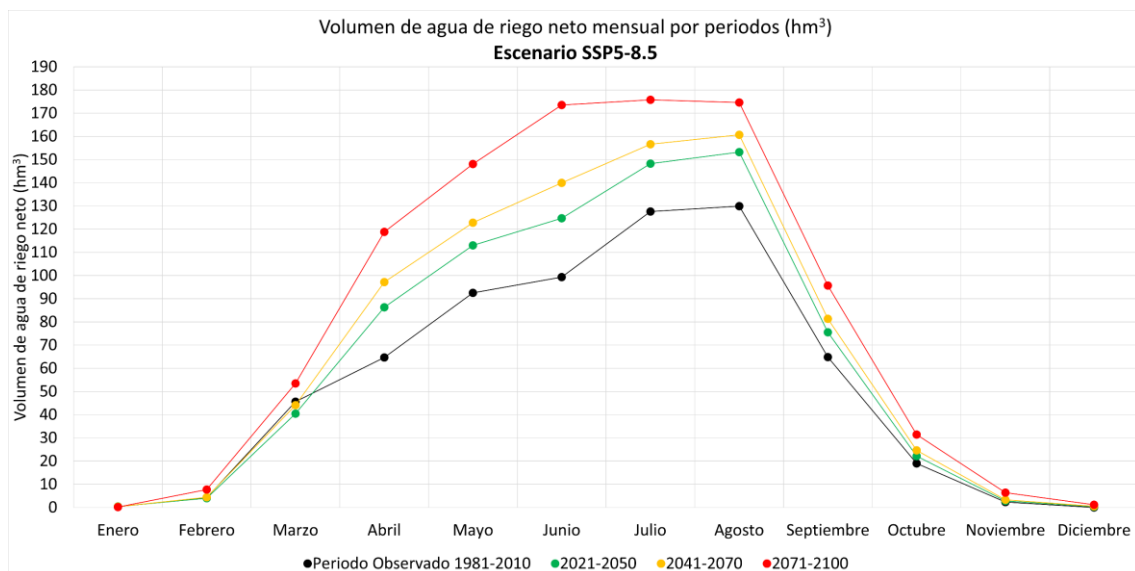
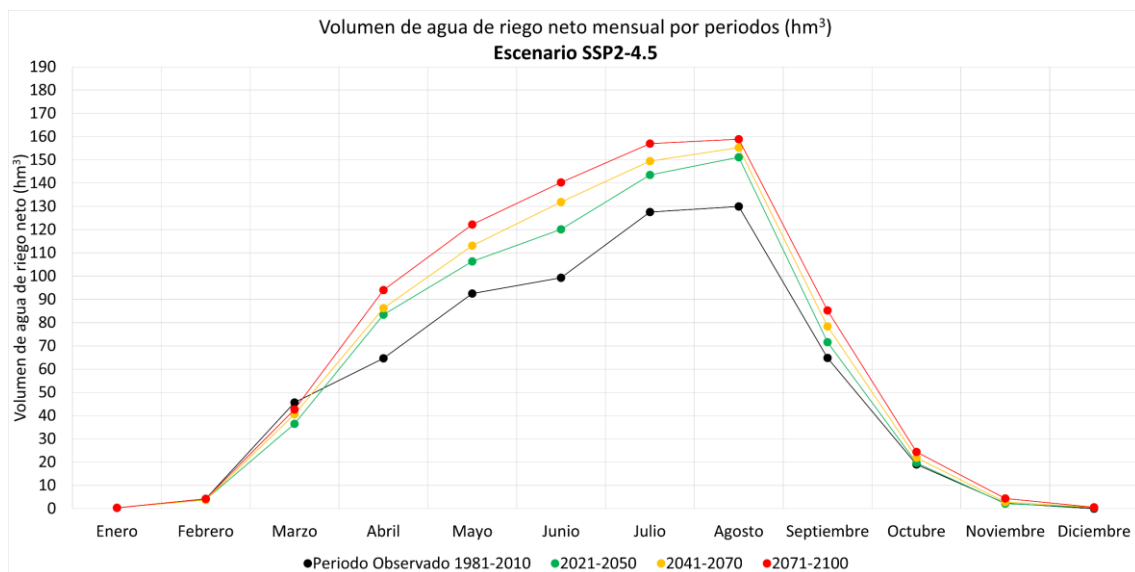
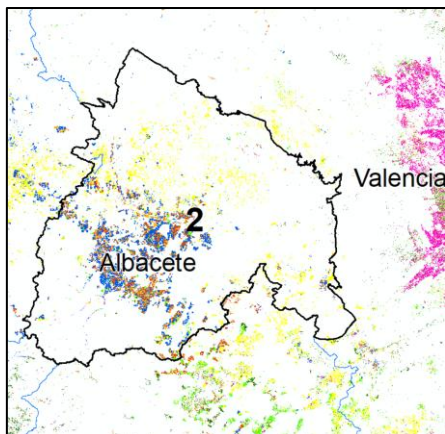


Figura V-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla V-1 para la Zona 1. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

VI. Zona 2. Mancha Oriental-Demarcación Hidrográfica del Júcar

ECLIMAR

DEMANDA DE AGUA, ETc, Y
DEMANDA DE AGUA DE
RIEGO, R, EN EL HORIZONTE
2015-2100



Zona 2. Mancha Oriental-
Demarcación Hidrográfica del
Júcar

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	39
RESULTADOS	40
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	40
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	41
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	46
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	48
E.- Demandas de agua de riego globales.....	52

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 2. Mancha Oriental-Demarcación Hidrográfica del Júcar, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo, a excepción del cultivo de la viña de vinificación que se ha considerado que se maneja con un cierto grado de estrés hídrico. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los periodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura VI-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

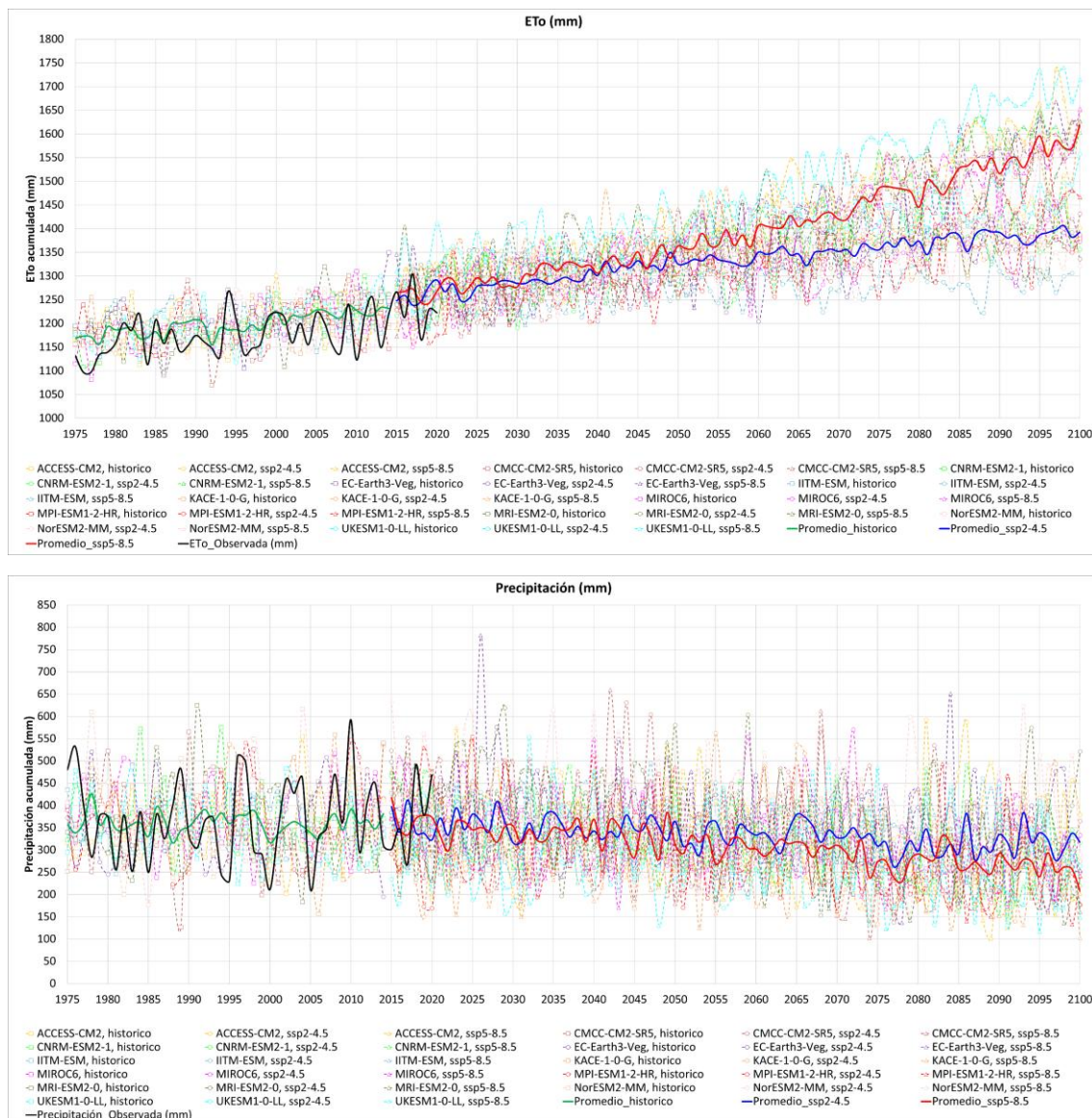


Figura VI-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 2 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

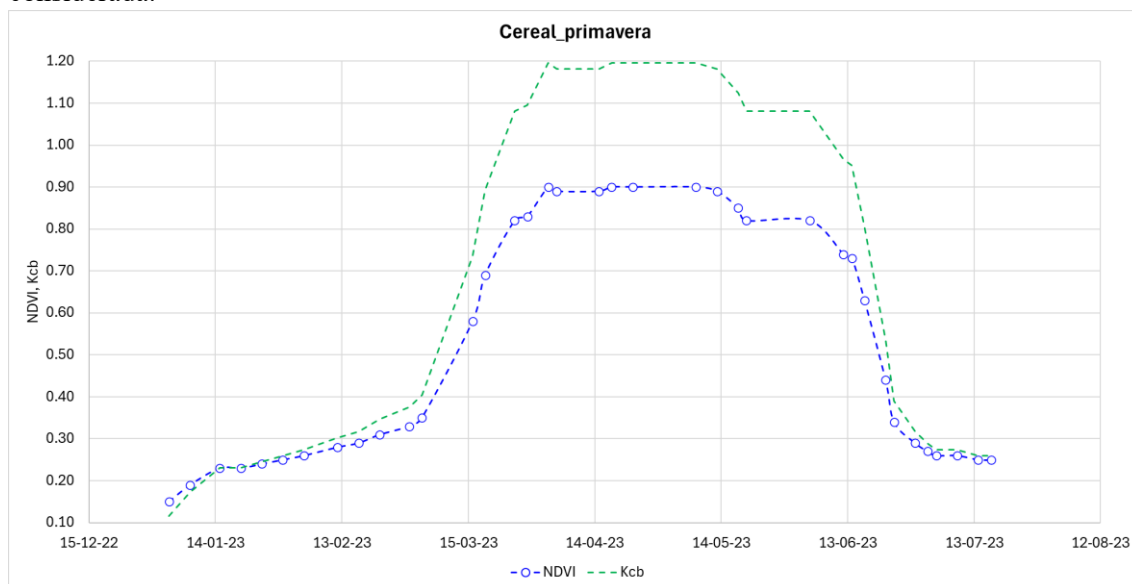
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

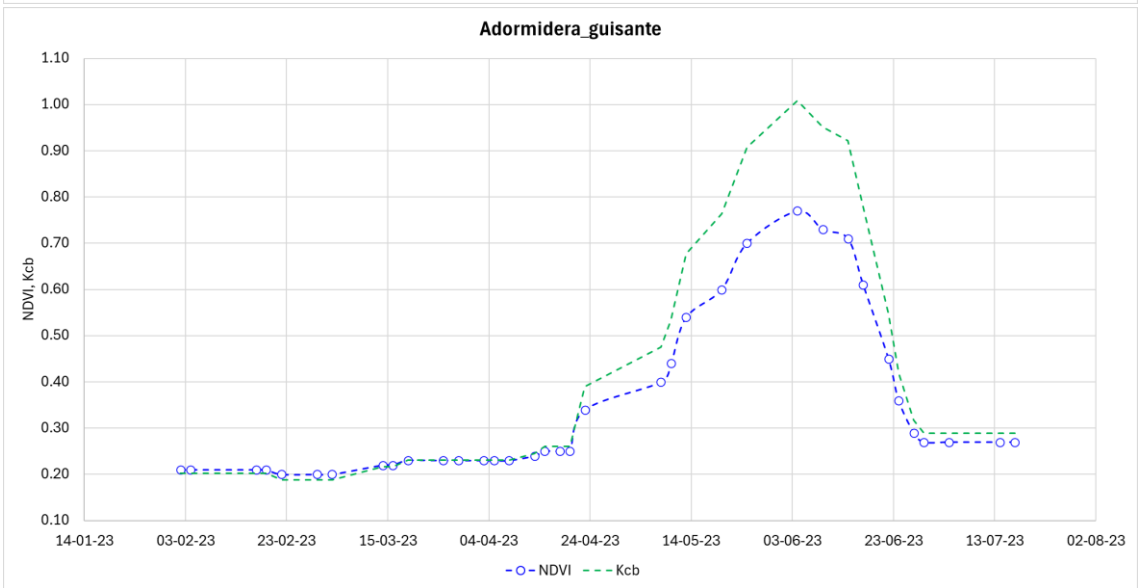
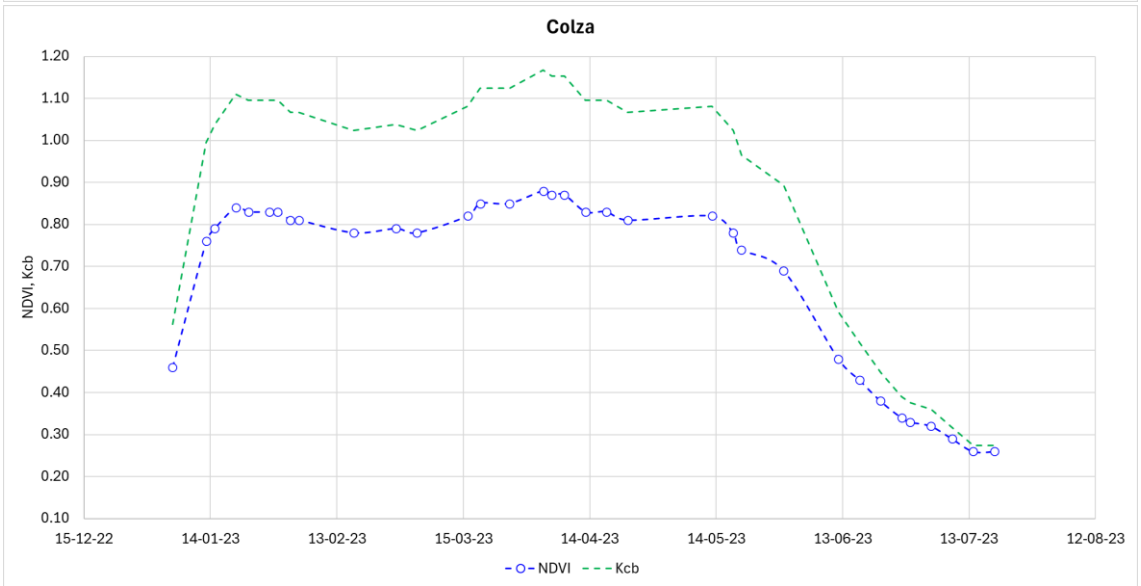
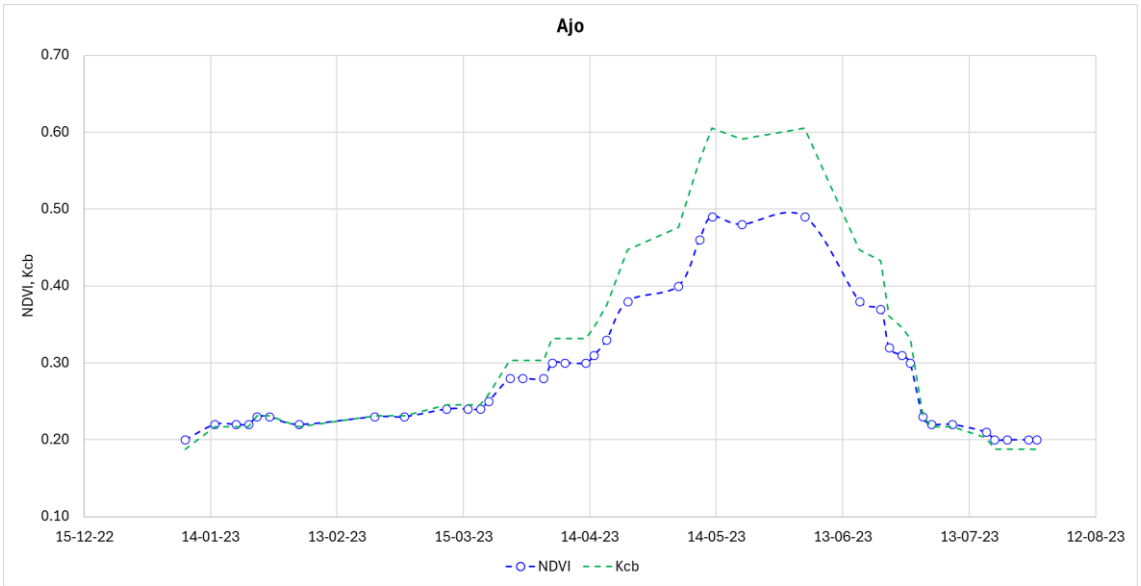
Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla VI-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

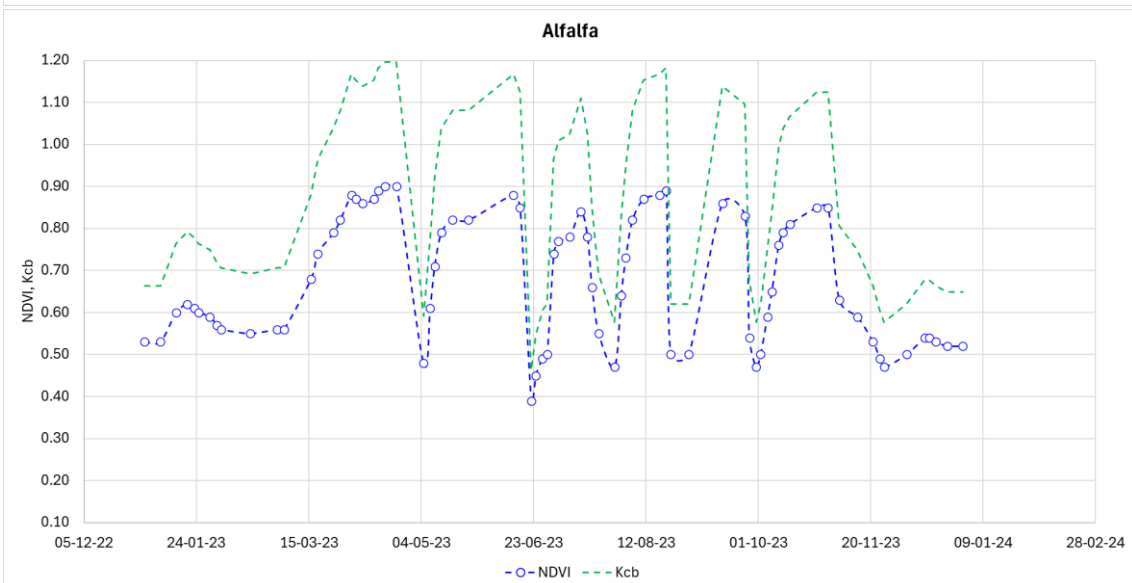
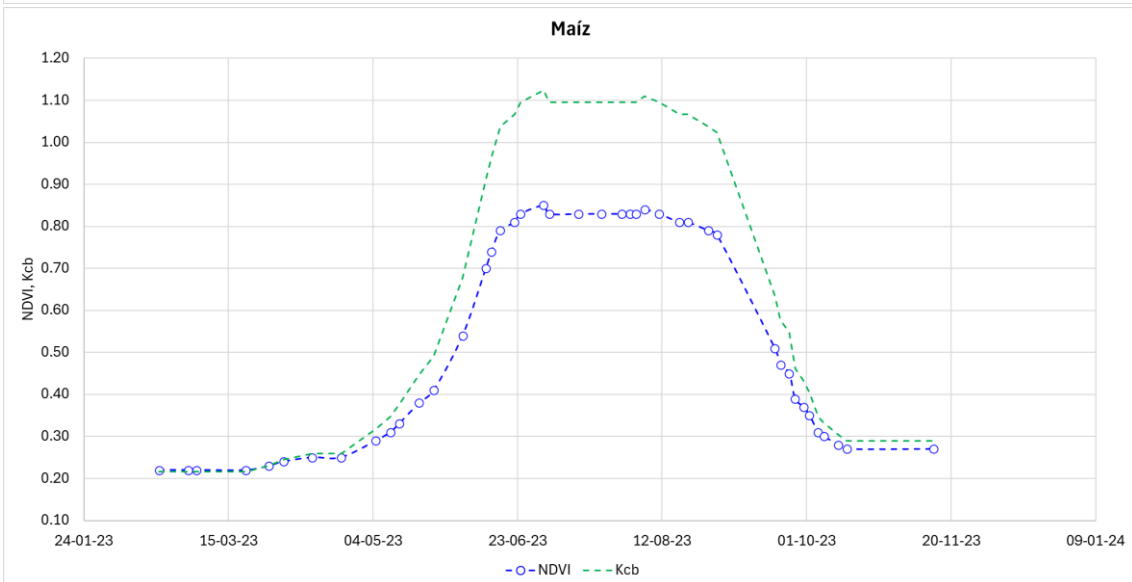
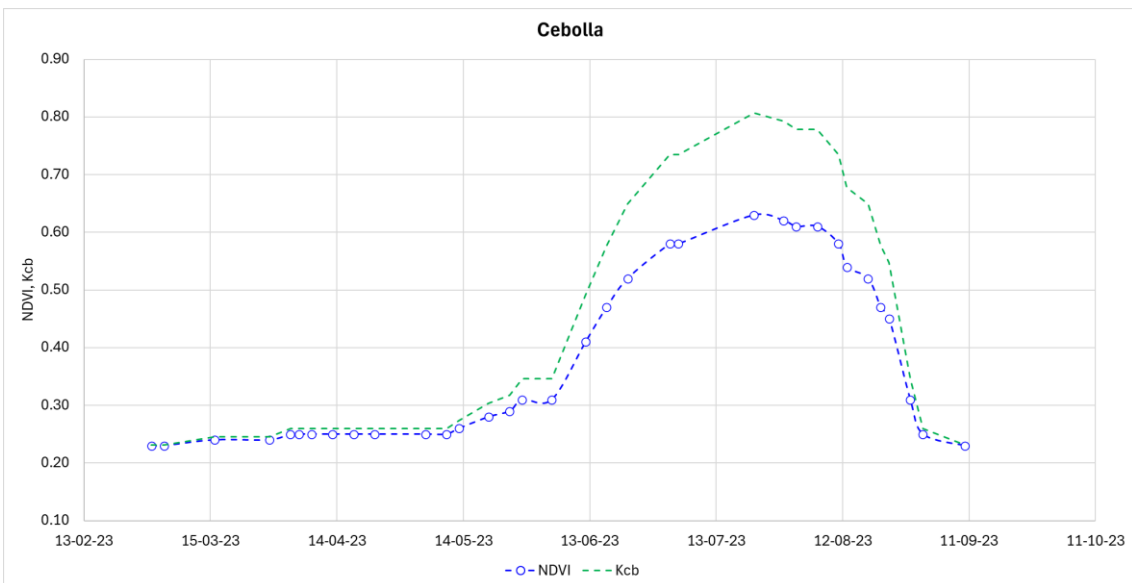
Tabla VI-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 2.

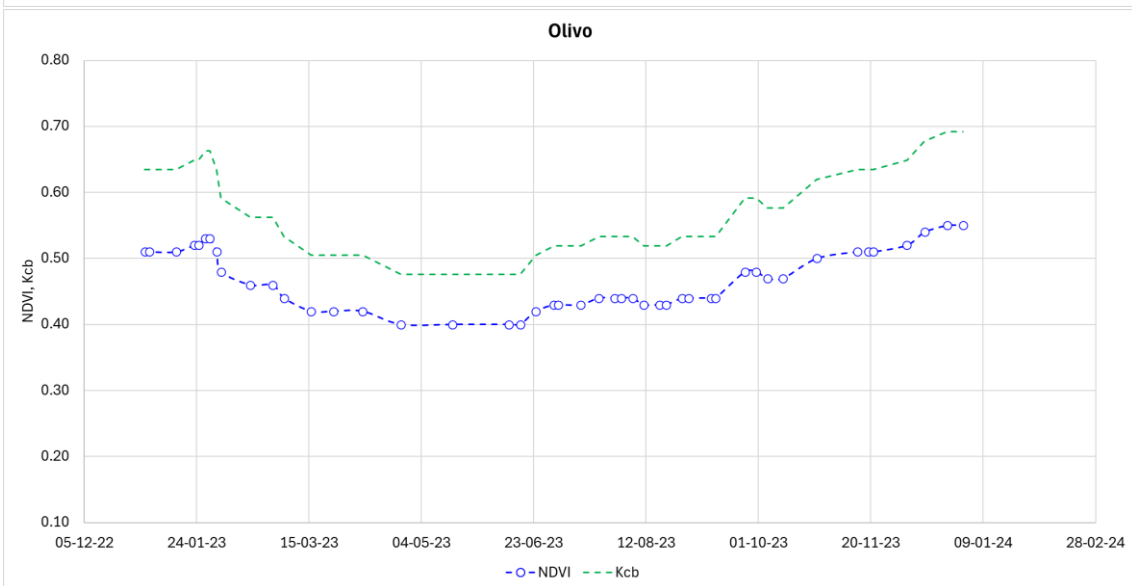
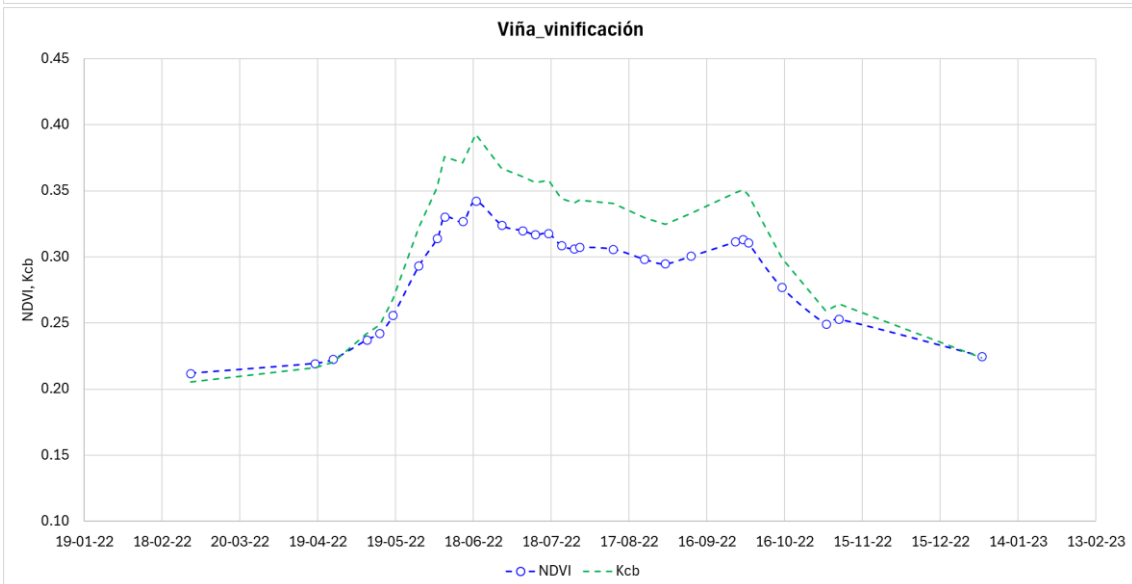
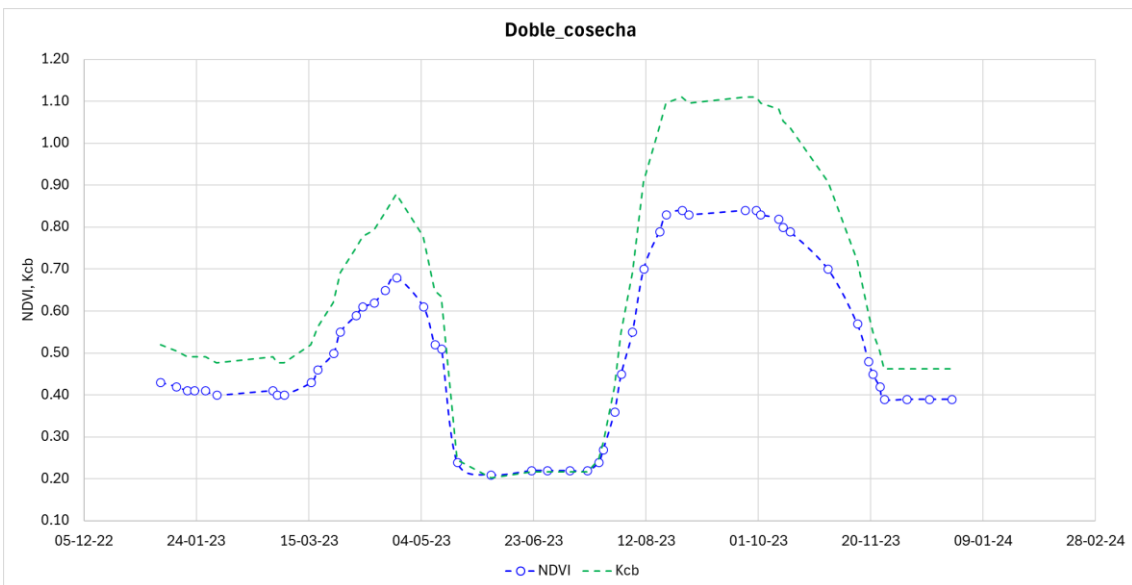
Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Cereal_primavera	32783	26.9
Ajo	5869	4.8
Colza	3019	2.5
Adormidera_guisante	5845	4.8
Otros_cultivos_primavera	3906	3.2
Cebolla	3290	2.7
Maíz	6277	5.1
Otros_cultivos_verano	5497	4.5
Alfalfa	5060	4.1
Doble cosecha	9996	8.2
Viña_vinificación	22327	18.3
Olivo	1821	1.5
Frutal cáscara	16266	13.3

La Figura VI-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.









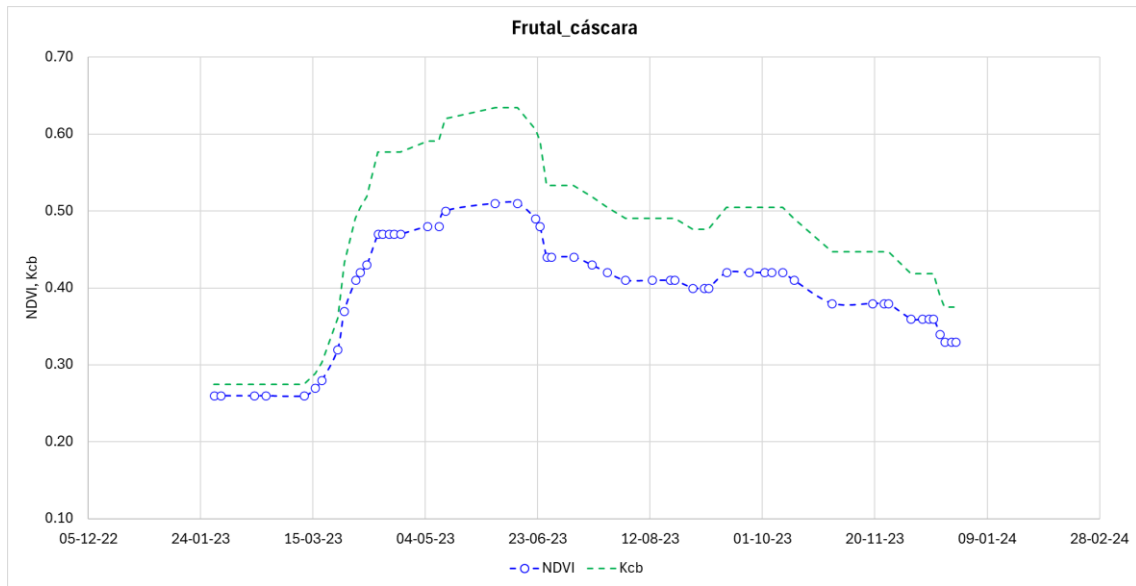


Figura VI-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 2.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla VI-2 y Tabla VI-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla VI-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 2, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	7	10	4	2	8	12	4	2
	2041-2070	10	14	6	2	13	17	9	2
	2071-2100	13	18	6	3	24	30	13	5
Ajo	2021-2050	5	8	3	1	6	9	2	2
	2041-2070	7	11	4	2	9	11	5	2
	2071-2100	9	13	3	2	17	23	9	4
Colza	2021-2050	7	11	4	2	8	13	4	2
	2041-2070	10	15	7	2	13	16	8	2
	2071-2100	13	19	6	3	25	32	15	5
Adormidera_guisante	2021-2050	6	8	3	2	6	8	3	2
	2041-2070	7	11	5	2	10	12	6	2
	2071-2100	10	13	4	2	17	23	10	3
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	6	10	4	2	7	11	4	2
	2041-2070	9	13	6	2	11	14	7	2
	2071-2100	12	16	5	3	21	28	12	4
Cebolla	2021-2050	6	9	4	1	7	9	5	1
	2041-2070	8	11	5	2	10	13	8	1
	2071-2100	10	12	6	2	17	21	11	3
Maíz	2021-2050	8	11	5	2	9	12	6	2
	2041-2070	10	15	6	2	14	17	10	2
	2071-2100	13	18	8	2	23	29	15	4
Otros_cultivos_verano	2021-2050	7	10	4	2	8	11	6	2
	2041-2070	9	13	6	2	12	15	9	2
	2071-2100	12	15	7	2	20	25	13	3
Alfalfa	2021-2050	8	13	6	2	9	12	6	2
	2041-2070	11	18	7	3	15	20	10	3
	2071-2100	15	21	7	3	26	35	16	5
Doble_cosecha	2021-2050	8	13	6	2	9	13	6	2
	2041-2070	11	18	7	3	14	20	10	3
	2071-2100	14	21	7	3	26	35	16	5
Viña_vinificación	2021-2050	6	8	3	1	5	10	2	2

	2041-2070	6	10	2	2	8	10	5	1
	2071-2100	7	11	4	2	13	17	8	3
Olivo	2021-2050	7	11	5	2	7	11	5	2
	2041-2070	9	14	6	2	11	15	8	2
	2071-2100	11	17	5	3	20	28	13	4
Frutal_cáscara	2021-2050	7	10	5	1	8	11	5	2
	2041-2070	9	14	6	2	11	15	7	2
	2071-2100	11	15	5	3	20	27	12	4

Tabla VI-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 2, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	11	21	2	5	15	23	8	6
	2041-2070	17	26	9	5	26	33	18	4
	2071-2100	25	33	12	6	47	59	23	10
Ajo	2021-2050	9	16	3	3	11	20	5	5
	2041-2070	14	20	7	4	20	26	13	4
	2071-2100	19	26	9	5	37	48	20	8
Colza	2021-2050	13	23	1	6	17	27	9	6
	2041-2070	20	30	14	5	30	37	22	4
	2071-2100	29	39	14	8	54	69	27	12
Adormidera_guisante	2021-2050	11	20	2	4	14	24	8	5
	2041-2070	17	25	8	5	24	30	15	4
	2071-2100	23	32	13	6	43	54	23	9
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	11	20	2	5	15	23	8	5
	2041-2070	17	26	10	5	25	31	17	4
	2071-2100	24	32	12	6	46	58	23	10
Cebolla	2021-2050	7	10	3	2	9	13	7	2
	2041-2070	11	14	7	3	14	17	11	2
	2071-2100	14	18	8	2	21	26	13	3
Maíz	2021-2050	10	14	6	3	13	16	8	3
	2041-2070	14	19	8	4	19	24	15	3
	2071-2100	19	23	10	3	32	40	17	6
Otros_cultivos_verano	2021-2050	9	12	5	2	11	14	7	2
	2041-2070	12	16	7	3	17	21	13	2
	2071-2100	17	21	9	3	27	33	15	5
Alfalfa	2021-2050	12	21	6	4	15	22	10	4
	2041-2070	17	26	11	5	24	33	18	4
	2071-2100	24	34	14	5	43	56	25	8
Doble_cosecha	2021-2050	11	18	6	3	13	20	9	3
	2041-2070	16	25	9	4	21	29	14	4
	2071-2100	21	31	12	4	38	50	25	7

Viña_vinificación	2021-2050	19	32	8	7	26	39	16	7
	2041-2070	29	43	16	9	39	54	29	7
	2071-2100	40	52	27	8	67	88	38	13
Olivo	2021-2050	16	30	7	7	21	32	13	6
	2041-2070	23	36	14	7	33	46	25	6
	2071-2100	33	47	19	7	58	78	34	11
Frutal_cáscara	2021-2050	13	22	7	5	17	26	11	5
	2041-2070	20	28	12	6	28	38	22	5
	2071-2100	27	37	15	5	48	63	26	9

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura VI-3 y la Figura VI-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

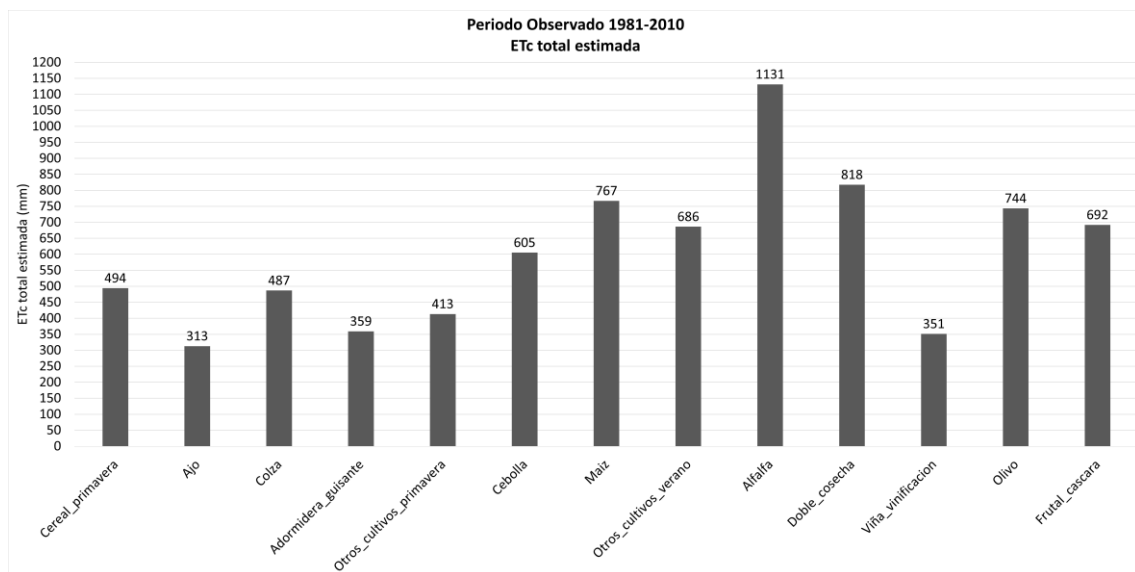


Figura VI-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 2 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

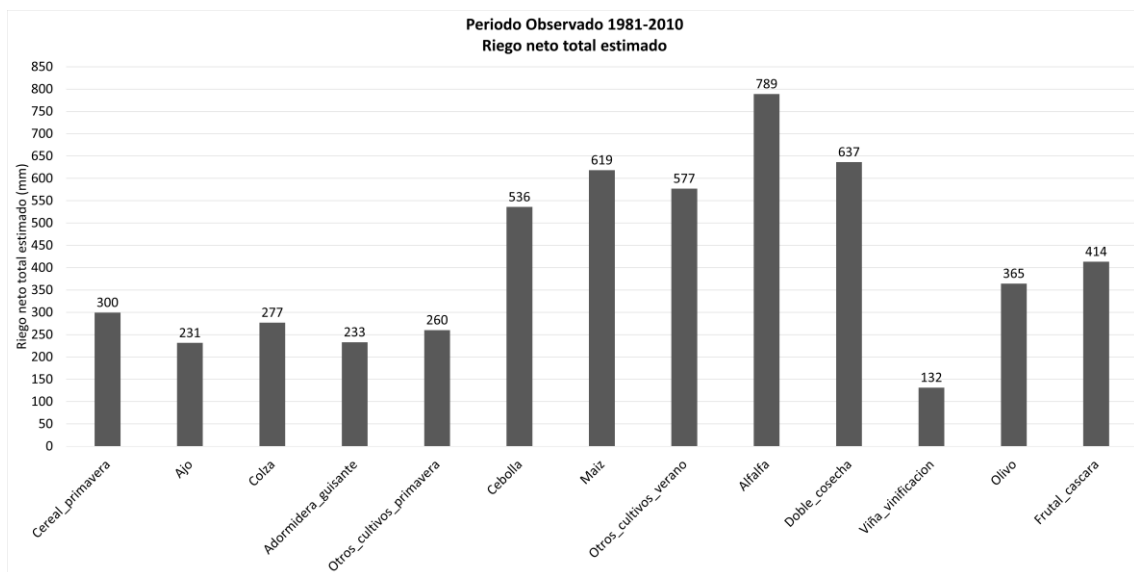


Figura VI-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 2 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla VI-4 y Tabla VI-5 presentan la demanda de agua E_{Tc} y demanda de agua de riego R , respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla VI-4. Demanda de agua E_{Tc} (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 2, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	528	544	515	9	532	555	515	12
	2041-2070	541	564	526	12	557	576	537	12
	2071-2100	558	583	521	15	612	643	560	23
Ajo	2021-2050	329	338	321	4	332	342	321	6
	2041-2070	335	347	327	6	342	347	328	6
	2071-2100	342	354	323	7	366	385	342	11
Colza	2021-2050	521	541	509	9	525	548	508	11
	2041-2070	534	560	521	11	550	567	528	11
	2071-2100	551	577	517	15	606	640	560	22
Adormidera_guisante	2021-2050	379	390	371	6	382	390	371	6
	2041-2070	386	398	377	7	394	402	381	6
	2071-2100	395	406	375	8	422	441	394	12
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	439	453	429	7	443	459	429	8
	2041-2070	449	467	439	9	461	473	443	8
	2071-2100	461	480	434	11	502	528	464	17
Cebolla	2021-2050	640	658	627	8	649	661	636	7
	2041-2070	654	672	636	10	668	683	653	9
	2071-2100	667	681	642	10	705	731	671	16

Maíz	2021-2050	827	855	805	14	838	862	816	14
	2041-2070	847	885	816	19	873	897	844	16
	2071-2100	870	902	827	19	943	991	879	29
Otros_cultivos_verano	2021-2050	733	757	716	11	743	762	726	11
	2041-2070	751	778	726	14	770	790	749	12
	2071-2100	769	792	734	14	824	861	775	23
Alfalfa	2021-2050	1222	1278	1196	24	1237	1272	1204	24
	2041-2070	1257	1331	1209	32	1297	1353	1246	31
	2071-2100	1297	1370	1215	37	1427	1527	1316	53
Doble_cosecha	2021-2050	884	922	865	17	893	921	870	17
	2041-2070	907	963	871	24	934	979	898	24
	2071-2100	934	991	877	28	1027	1104	951	40
Viña_vinificación	2021-2050	370	379	361	4	370	385	359	7
	2041-2070	373	385	358	7	380	388	368	5
	2071-2100	377	390	364	8	398	411	379	9
Olivo	2021-2050	794	823	779	13	799	824	782	13
	2041-2070	809	851	787	18	828	858	800	17
	2071-2100	827	867	783	22	893	949	841	27
Frutal_cáscara	2021-2050	739	758	727	10	744	765	725	12
	2041-2070	754	786	731	16	771	792	743	15
	2071-2100	770	799	729	18	831	877	778	25

Tabla VI-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 2, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	333	361	304	14	344	370	325	18
	2041-2070	351	378	328	15	378	397	354	13
	2071-2100	375	398	337	19	442	475	367	31
Ajo	2021-2050	252	268	239	7	257	277	243	11
	2041-2070	263	278	247	8	277	293	263	8
	2071-2100	276	292	253	12	318	342	278	18
Colza	2021-2050	314	340	281	16	325	353	302	17
	2041-2070	333	361	316	14	360	379	338	11
	2071-2100	356	384	315	21	428	467	352	33
Adormidera_guisante	2021-2050	258	280	237	10	266	288	251	12
	2041-2070	272	291	253	12	288	302	268	10
	2071-2100	288	307	264	13	333	359	287	20
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	289	312	265	12	298	319	281	14
	2041-2070	305	327	286	12	326	341	306	10
	2071-2100	324	344	292	16	380	411	321	25
Cebolla	2021-2050	574	591	553	11	586	605	572	10
	2041-2070	592	609	573	14	610	628	595	9
	2071-2100	610	631	581	13	650	674	605	18

Maíz	2021-2050	680	706	655	16	696	718	667	18
	2041-2070	706	739	666	22	738	769	712	17
	2071-2100	735	763	683	21	817	865	725	35
Otros_cultivos_verano	2021-2050	627	648	607	13	641	660	619	14
	2041-2070	649	672	619	18	674	699	654	13
	2071-2100	672	697	632	16	734	770	665	26
Alfalfa	2021-2050	881	951	838	33	908	966	871	32
	2041-2070	926	997	876	36	979	1048	930	34
	2071-2100	979	1056	896	37	1127	1234	989	62
Doble_cosecha	2021-2050	704	751	674	20	720	762	695	22
	2041-2070	738	793	696	26	772	821	729	26
	2071-2100	772	833	714	28	879	953	793	42
Viña_vinificación	2021-2050	157	174	141	10	166	182	152	9
	2041-2070	169	188	152	12	183	203	170	9
	2071-2100	184	200	167	10	219	247	182	17
Olivo	2021-2050	421	474	391	24	440	482	414	21
	2041-2070	449	494	416	25	483	534	456	23
	2071-2100	484	535	436	24	575	647	488	41
Frutal_cáscara	2021-2050	468	506	442	20	486	522	460	20
	2041-2070	494	530	463	23	528	570	503	19
	2071-2100	526	567	477	22	611	674	521	37

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla VI-1).

En la Figura VI-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla VI-1), calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura VI-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

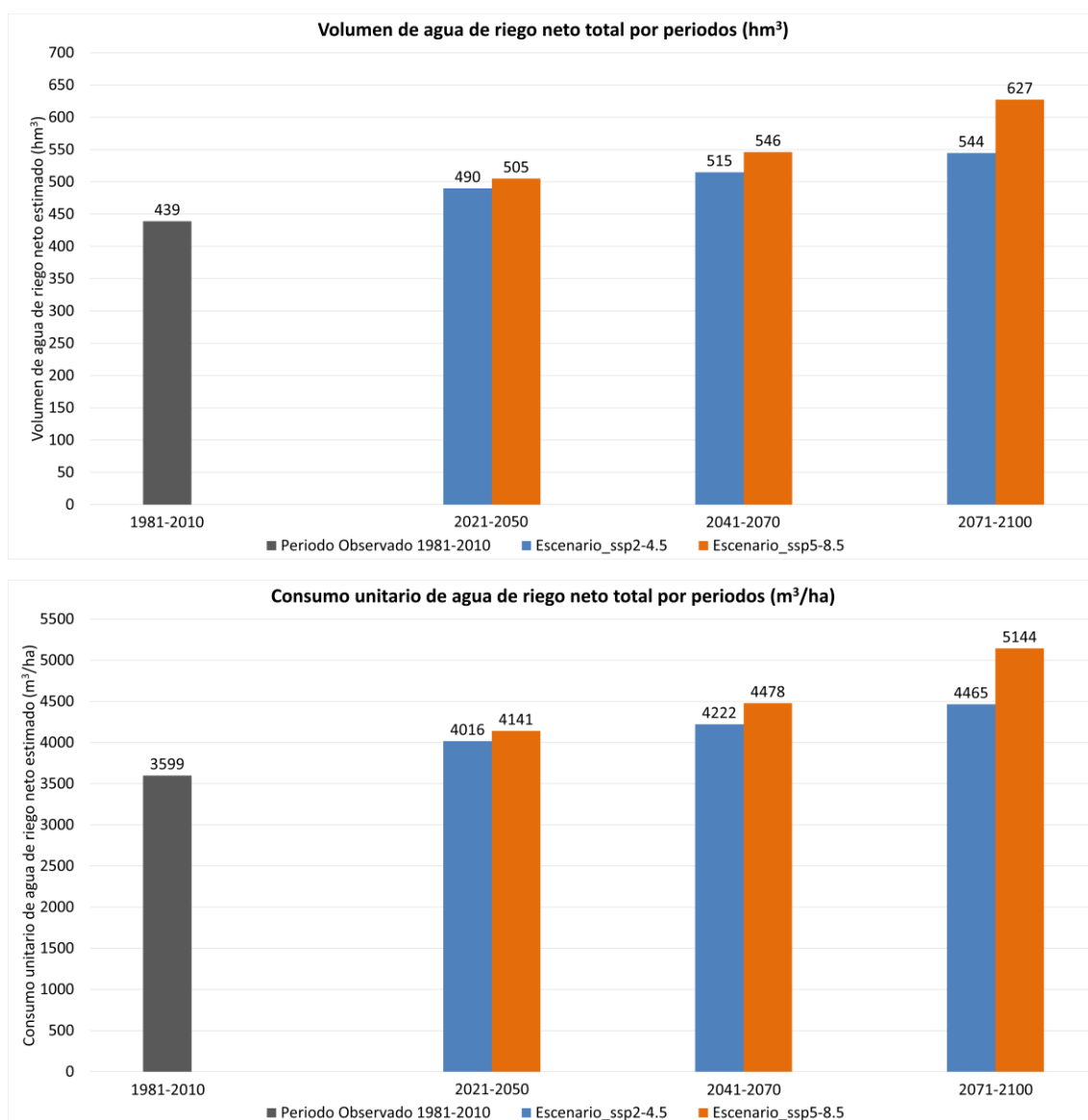


Figura VI-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla VI-1 para la Zona 2. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

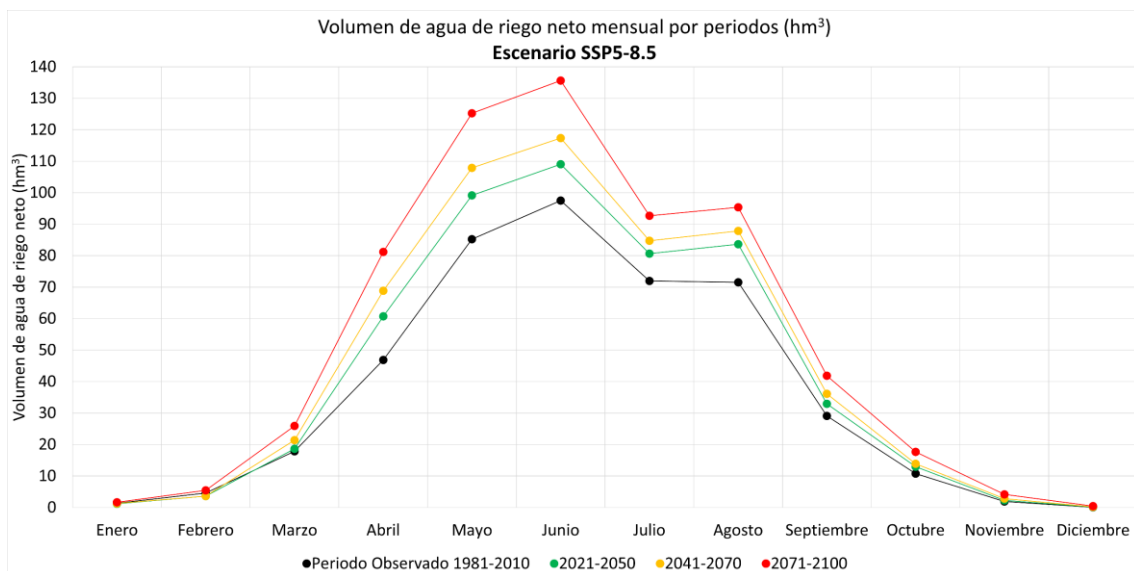
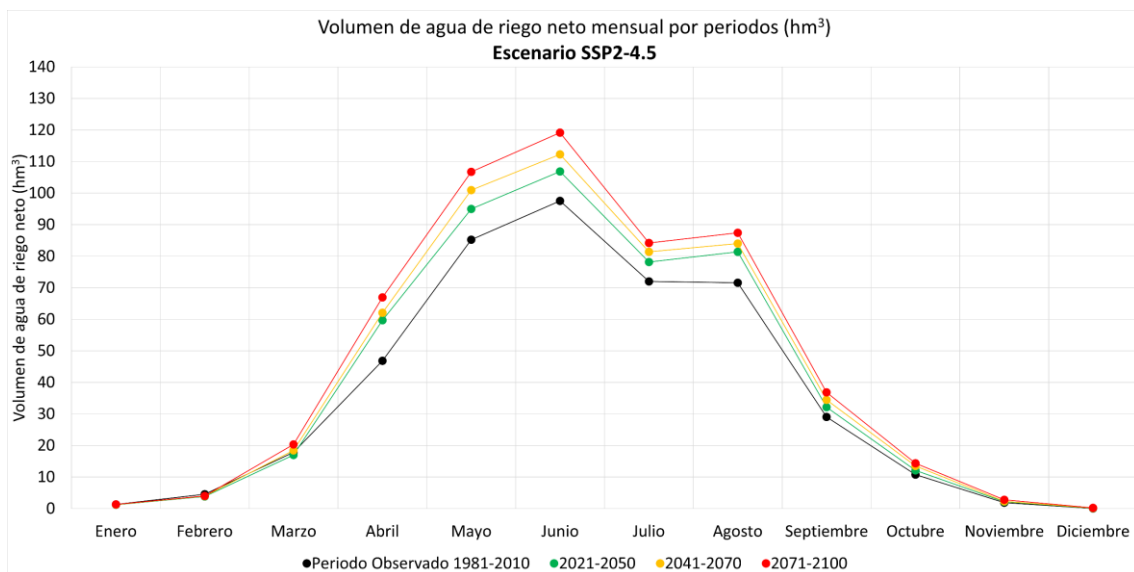


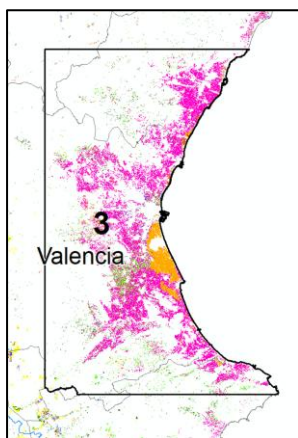
Figura VI-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla VI-1 para la Zona 2. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

VII. Zona 3. Valencia-Demarcación Hidrográfica del Júcar

ECLIMAR

DEMANDA DE AGUA, ETc, Y DEMANDA DE AGUA DE RIEGO, R, EN EL HORIZONTE 2015-2100

Zona 3. Valencia-Demarcación Hidrográfica del Júcar



ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	55
RESULTADOS	56
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	56
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	57
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	60
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo....	62
E.- Demandas de agua de riego globales.....	65

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 3. Valencia-Demarcación Hidrográfica del Júcar, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los períodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los períodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura VII-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

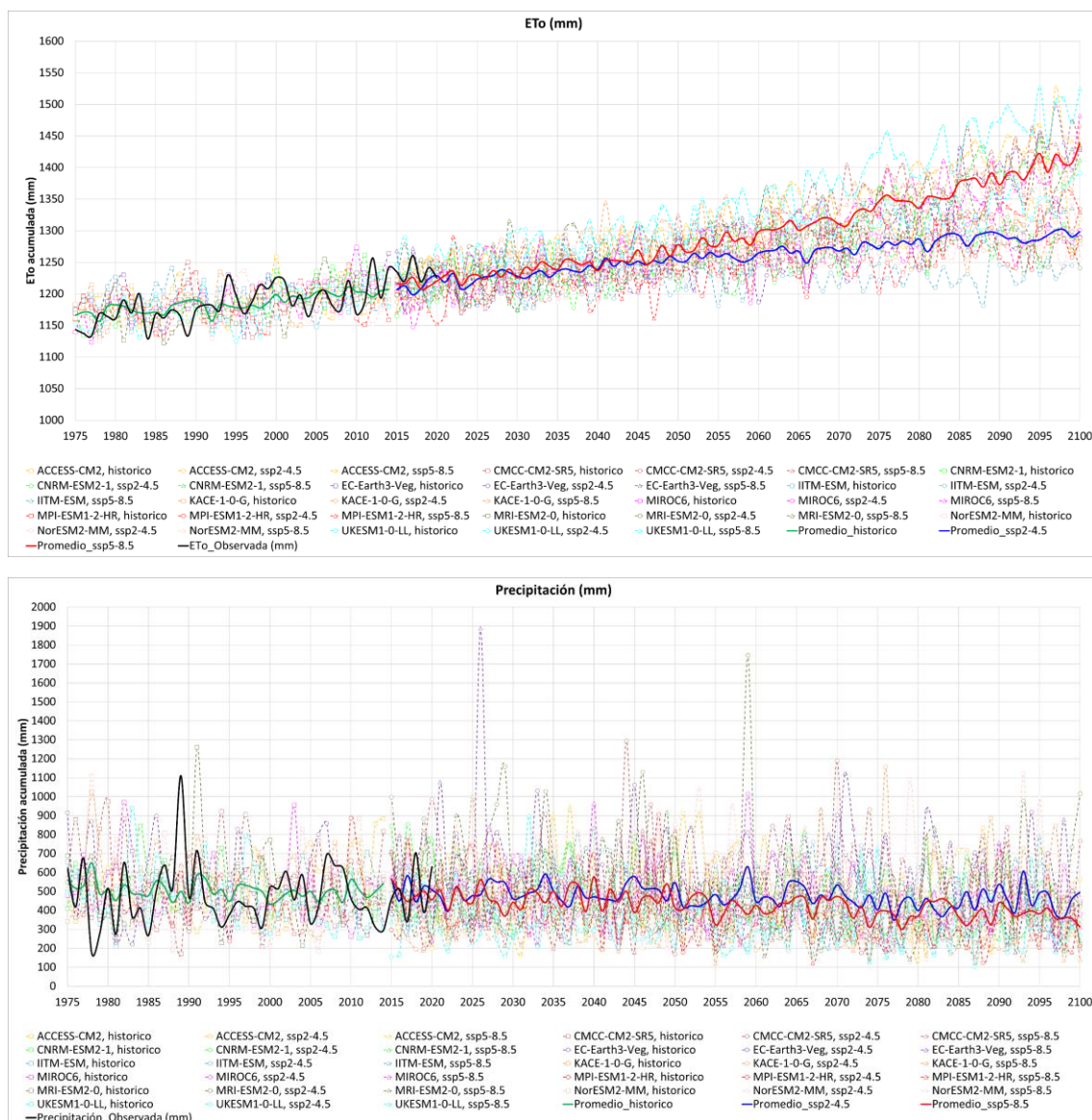


Figura VII-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 3 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

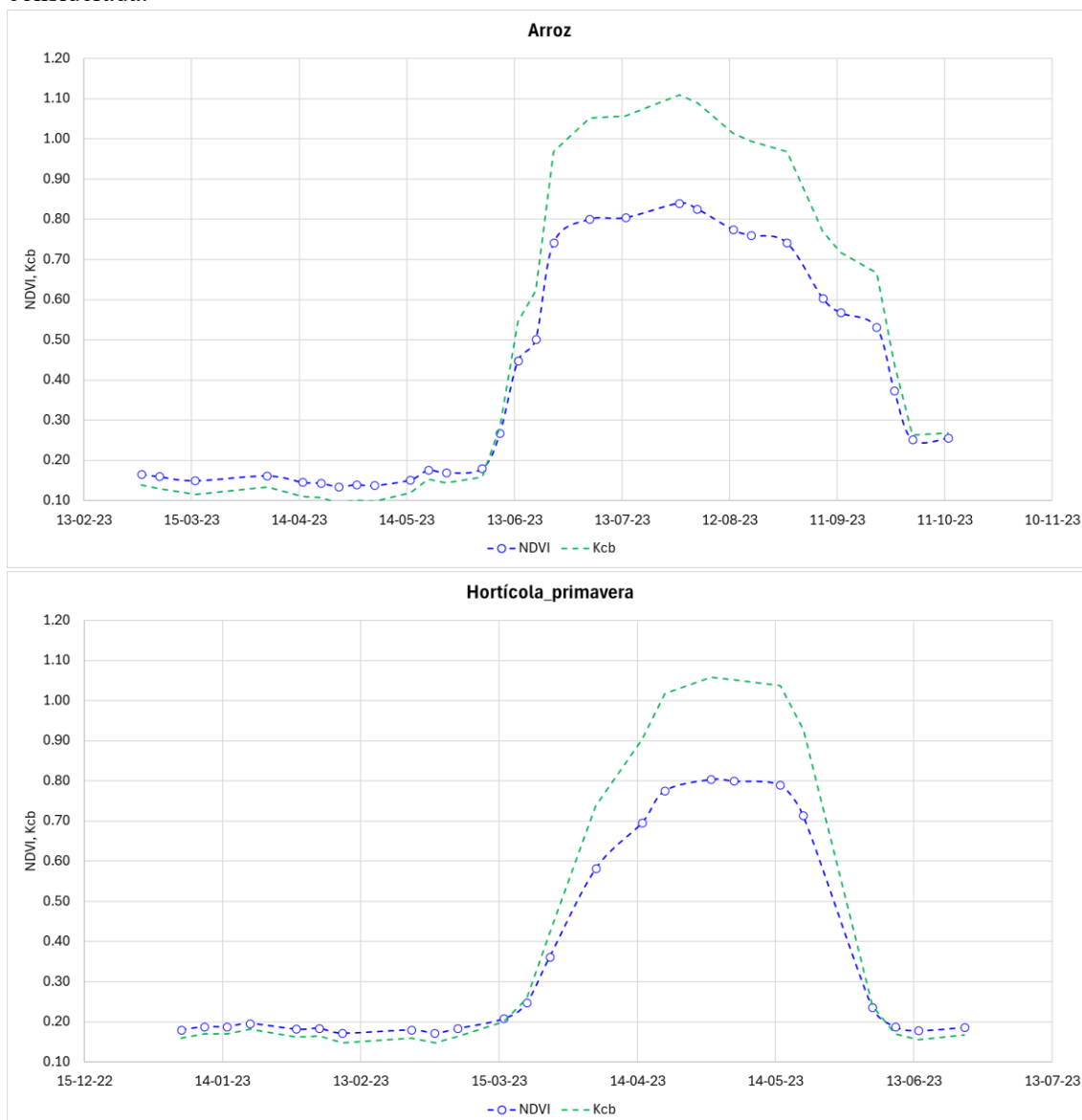
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

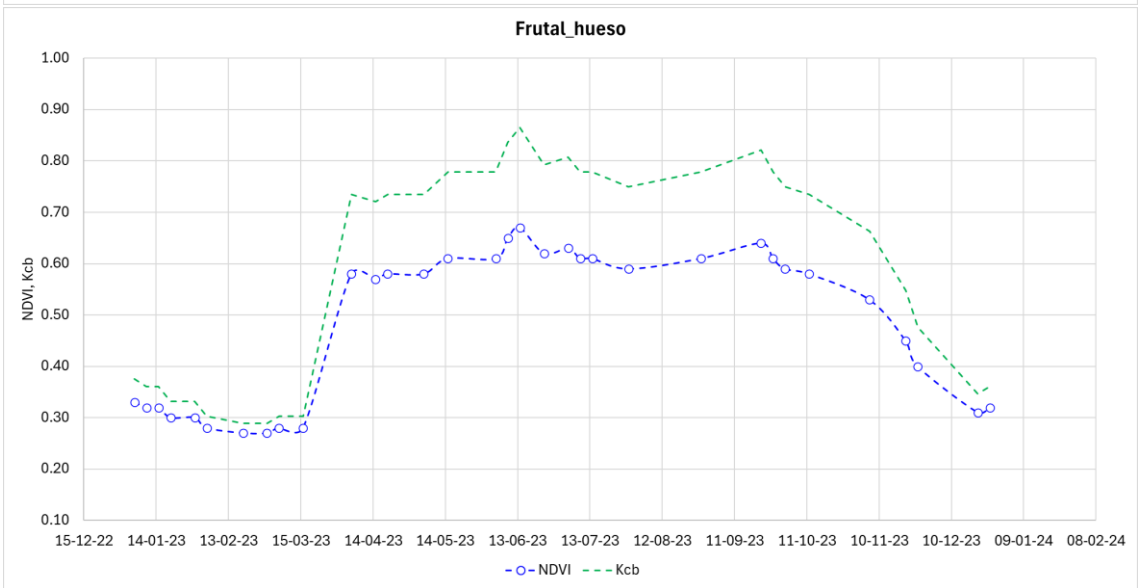
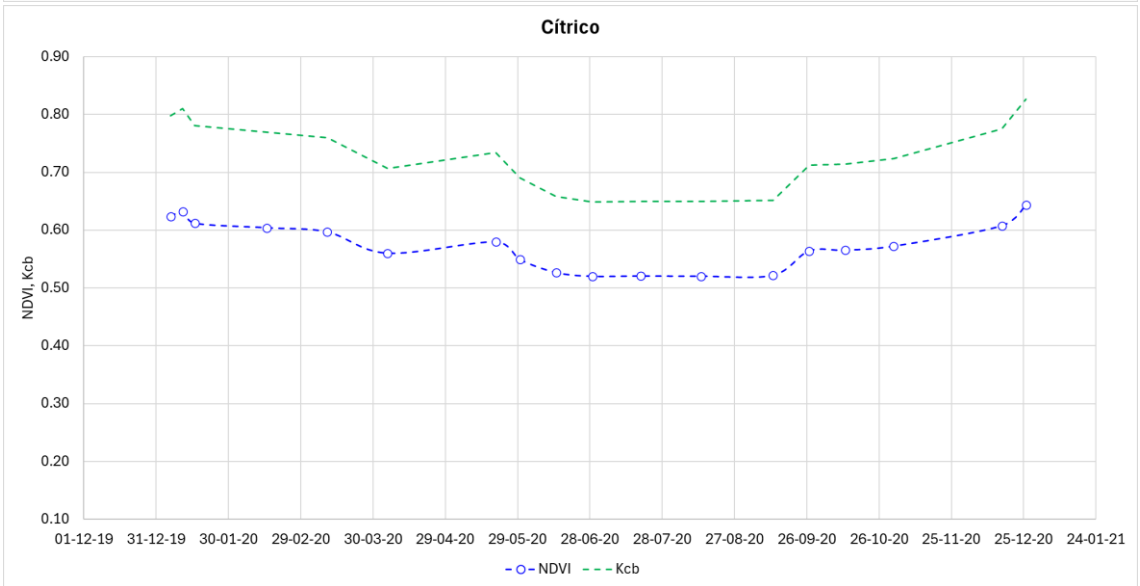
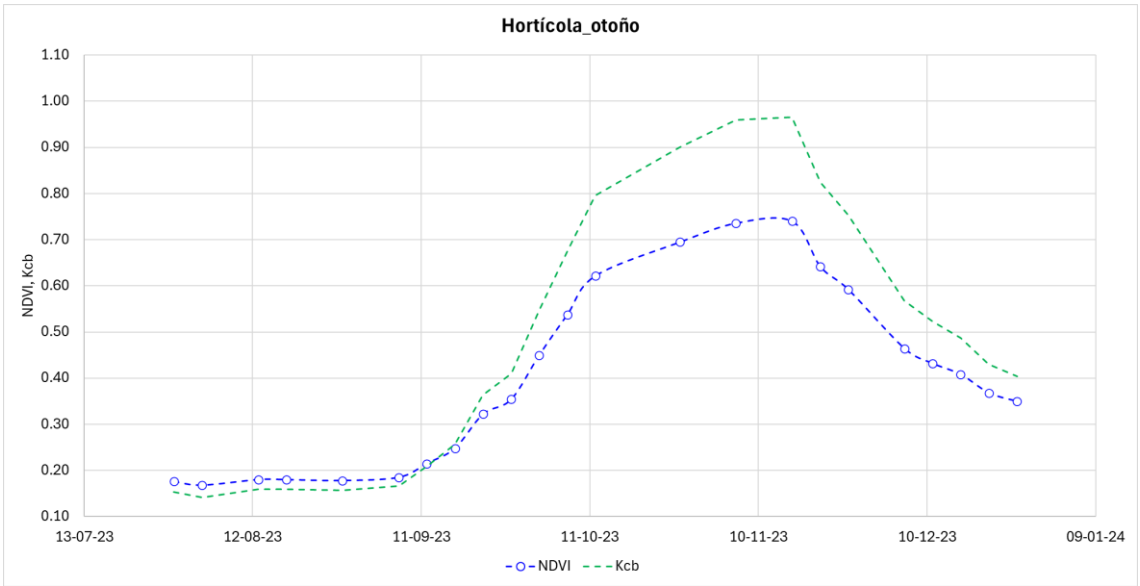
Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla VII-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla VII-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 3.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Arroz	15153	8.8
Hortícola primavera	2303	1.3
Hortícola otoño	2293	1.3
Cítrico	125214	72.7
Frutal hueso	23356	13.6
Frutal cáscara	3900	2.3

La Figura VII-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.





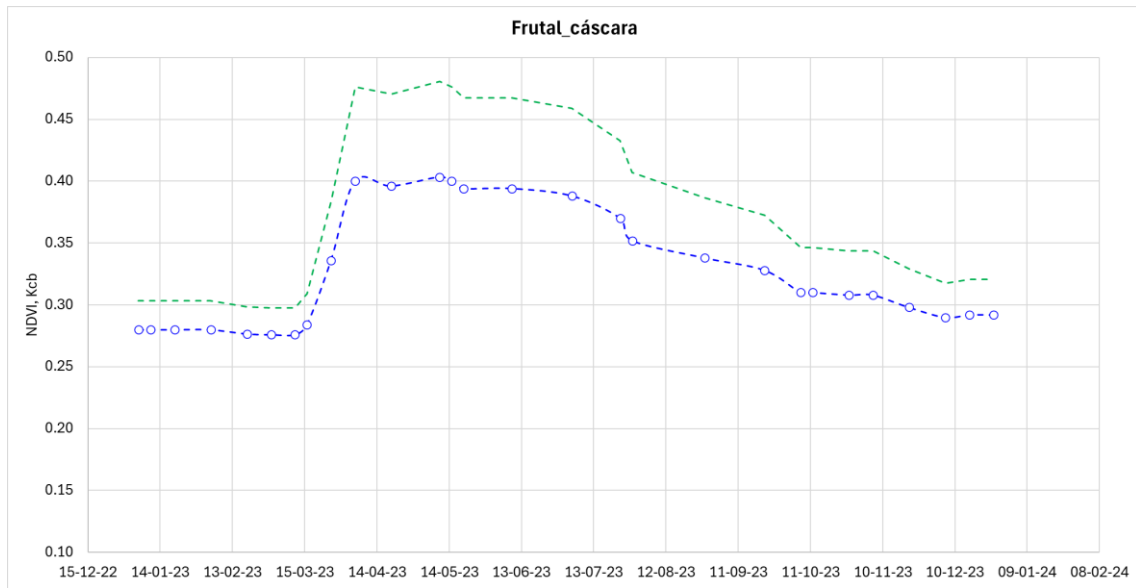


Figura VII-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 3.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Cuadro 1. Cultivo ARROZ. Observaciones en relación con la estimación de las demandas de agua ETc y las demandas de agua de riego R.

Simular el consumo de agua del cultivo del arroz requiere tener en cuenta sus especiales características en el caso de manejo por inundación, pues la cantidad de agua requerida en este manejo depende fuertemente de las características del suelo en cuanto a infiltración y percolación profunda, como consecuencia de la permanencia de la lámina de agua en superficie. El agua percolada a capas profundas produce servicios ecosistémicos y retorna a ríos y acuíferos, como sucede en la propia Albufera.

Teniendo en cuenta el objetivo del trabajo en ECLIMAR, para el caso del arroz se ha procedido a simular las demandas de agua y demandas de agua de riego, considerando principalmente la transpiración de la cubierta vegetal a lo largo de su ciclo de cultivo, estimando el valor de la evaporación desde la lámina de agua sobre 150 mm adicionales a la transpiración. No se considera pues la lámina de agua infiltrada ni percolada en el suelo, y cuya cuantía no se vería afectada por las condiciones de la demanda evaporativa de la atmósfera.

FAO 66, Rice, Bouman et al. pp 102-111.

Bouman, .A., Lampayan, R.. & Tuong, T.P. 2007. Water management in rice: coping with water scarcity. Los Baños, (Philippines): International Rice Research Institute, 54 pp

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla VII-2 y Tabla VII-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla VII-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 3, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Arroz	2021-2050	4	5	2	1	4	7	2	1
	2041-2070	5	8	2	1	6	9	4	1
	2071-2100	7	9	3	1	11	16	6	2
Hortícola_primavera	2021-2050	3	5	1	1	3	5	1	1
	2041-2070	4	8	2	2	6	9	4	2
	2071-2100	6	9	2	2	12	16	6	3
Hortícola_otoño	2021-2050	2	4	-1	2	2	4	1	1
	2041-2070	3	6	1	2	4	7	2	1
	2071-2100	4	8	2	2	7	12	4	2
Cítrico	2021-2050	4	6	2	1	4	6	2	1
	2041-2070	5	9	3	2	7	11	4	2
	2071-2100	7	11	3	2	13	19	7	3

Frutal_hueso	2021-2050	4	7	3	1	5	7	2	2
	2041-2070	6	10	3	2	8	11	4	2
	2071-2100	8	12	3	2	14	20	8	3
Frutal_cáscara	2021-2050	4	5	2	1	4	7	1	2
	2041-2070	5	8	2	2	6	8	1	2
	2071-2100	6	9	1	2	10	14	5	3

Tabla VII-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 3, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Arroz	2021-2050	5	9	2	2	6	11	3	2
	2041-2070	7	12	4	3	10	15	6	2
	2071-2100	10	15	7	2	17	25	10	3
Hortícola_primavera	2021-2050	4	8	0	2	5	11	-1	3
	2041-2070	6	11	4	2	11	15	6	3
	2071-2100	10	15	4	3	20	28	10	5
Hortícola_otoño	2021-2050	3	11	-3	4	4	11	1	3
	2041-2070	6	13	0	4	7	14	3	4
	2071-2100	9	16	4	4	15	27	4	7
Cítrico	2021-2050	9	22	1	5	11	21	3	5
	2041-2070	14	27	8	6	20	30	12	5
	2071-2100	20	31	15	5	36	53	25	8
Frutal_hueso	2021-2050	9	19	2	5	11	20	1	5
	2041-2070	13	24	6	5	18	28	11	4
	2071-2100	19	29	11	5	33	48	21	7
Frutal_cáscara	2021-2050	10	22	2	6	13	24	2	7
	2041-2070	15	29	6	7	22	33	12	6
	2071-2100	23	35	15	6	39	56	22	9

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura VII-3 y la Figura VII-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

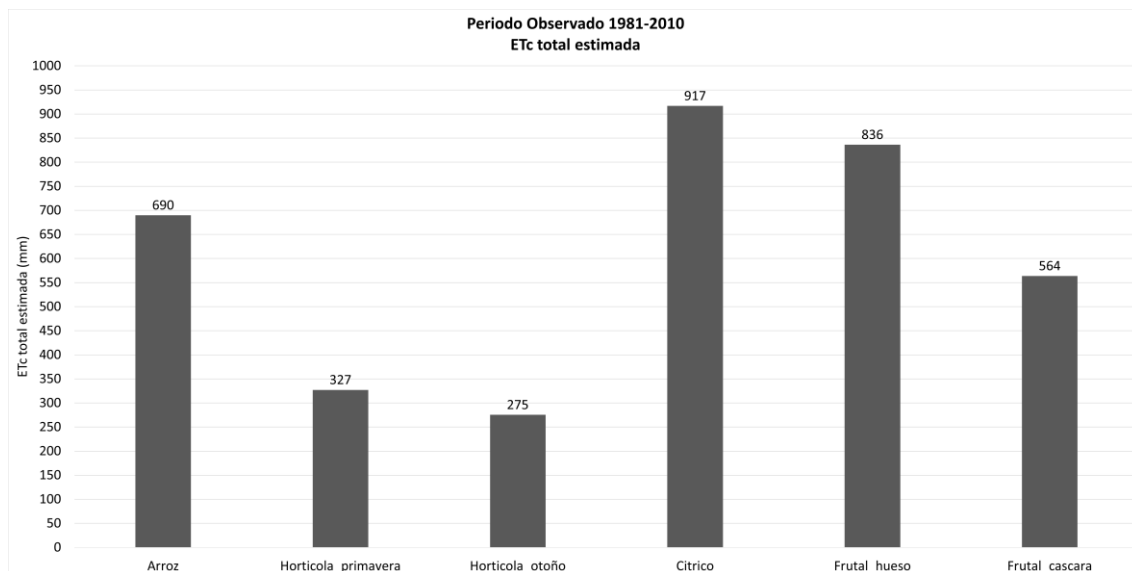


Figura VII-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 3 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

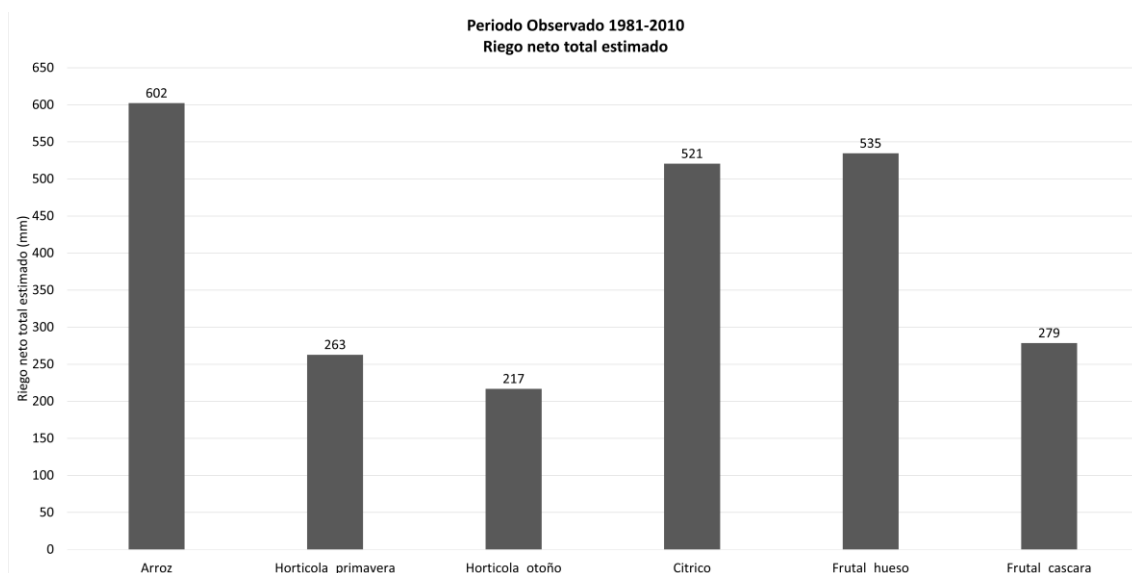


Figura VII-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 3 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla VII-4 y Tabla VII-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla VII-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 3, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Arroz	2021-2050	714	726	702	7	719	735	707	8
	2041-2070	724	745	704	10	735	754	715	10
	2071-2100	735	755	714	10	769	799	733	16
Hortícola_primavera	2021-2050	337	344	331	3	337	344	331	4
	2041-2070	341	352	335	6	346	357	339	5
	2071-2100	346	356	335	6	365	380	347	9
Hortícola_otoño	2021-2050	281	287	272	4	281	287	277	3
	2041-2070	284	292	278	4	286	296	282	4
	2071-2100	287	298	280	5	296	308	288	6
Cítrico	2021-2050	953	976	938	11	957	976	936	12
	2041-2070	966	1004	941	17	982	1015	953	15
	2071-2100	983	1020	941	20	1039	1092	985	26
Frutal_hueso	2021-2050	873	894	858	11	877	895	854	13
	2041-2070	886	920	859	16	901	932	870	16
	2071-2100	902	936	861	18	956	1006	902	25
Frutal_cáscara	2021-2050	585	592	575	6	586	601	567	9
	2041-2070	590	607	573	11	596	612	570	11
	2071-2100	596	614	570	12	621	644	591	14

Tabla VII-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 3, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Arroz	2021-2050	632	654	614	13	639	670	620	13
	2041-2070	647	675	628	15	660	694	640	14
	2071-2100	665	694	644	13	704	750	662	21
Hortícola_primavera	2021-2050	273	283	264	5	275	291	261	9
	2041-2070	279	291	273	6	291	302	279	7
	2071-2100	288	302	273	8	316	336	289	13
Hortícola_otoño	2021-2050	223	241	211	9	225	241	219	6
	2041-2070	230	245	216	8	233	248	223	9
	2071-2100	236	251	225	8	249	274	226	15
Cítrico	2021-2050	566	634	527	28	580	631	536	27
	2041-2070	591	661	562	29	623	675	581	27
	2071-2100	626	683	597	24	710	798	649	42

Frutal_hueso	2021-2050	580	634	547	25	593	644	541	28
	2041-2070	604	665	567	29	630	684	593	24
	2071-2100	636	690	592	26	709	790	648	39
Frutal_cáscara	2021-2050	307	341	285	17	315	346	284	18
	2041-2070	322	359	296	19	340	371	312	16
	2071-2100	342	375	319	17	386	435	339	25

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla VII-1).

En la Figura VII-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla VII-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura VII-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

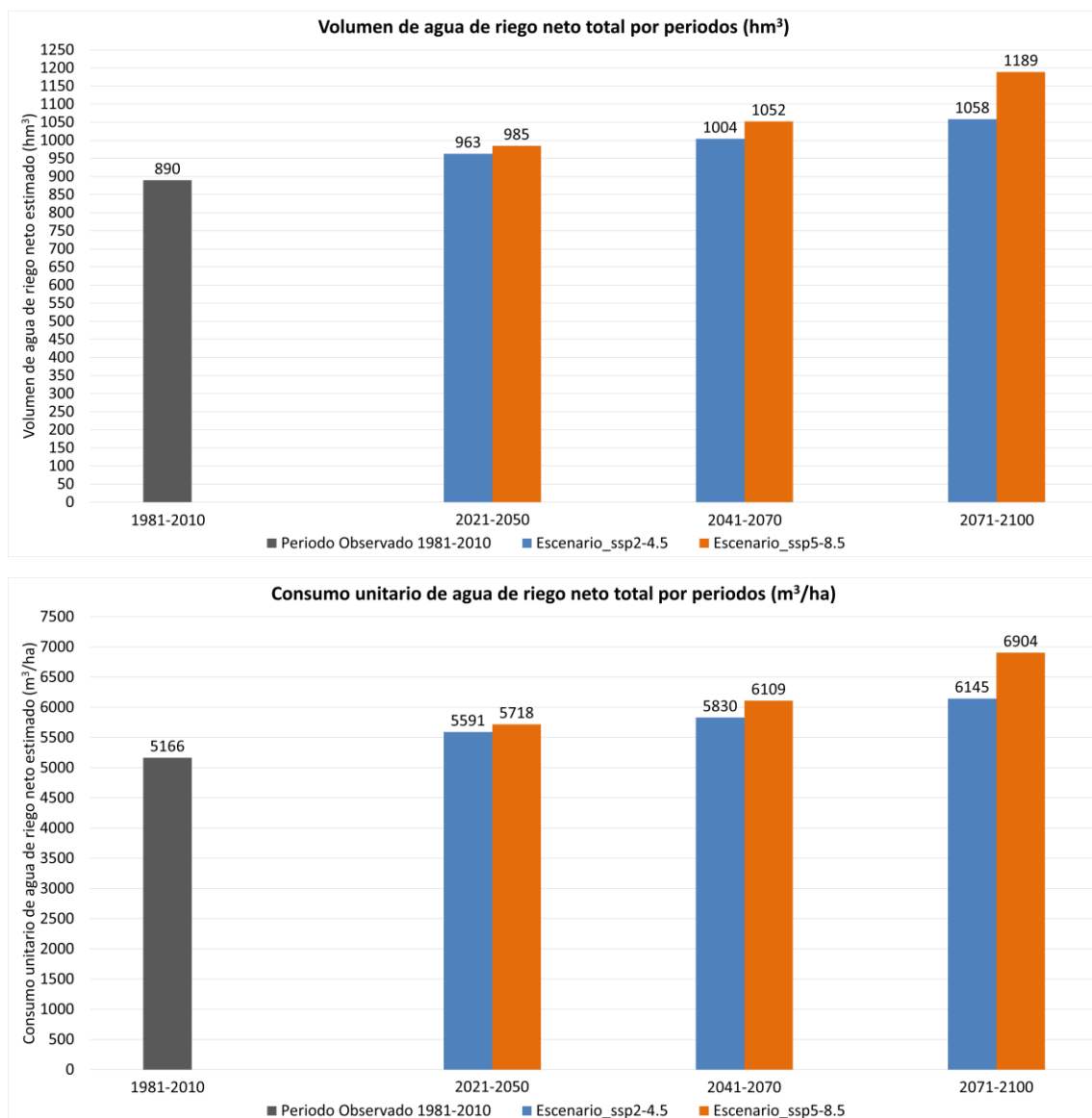


Figura VII-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla VII-1 para la Zona 3. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

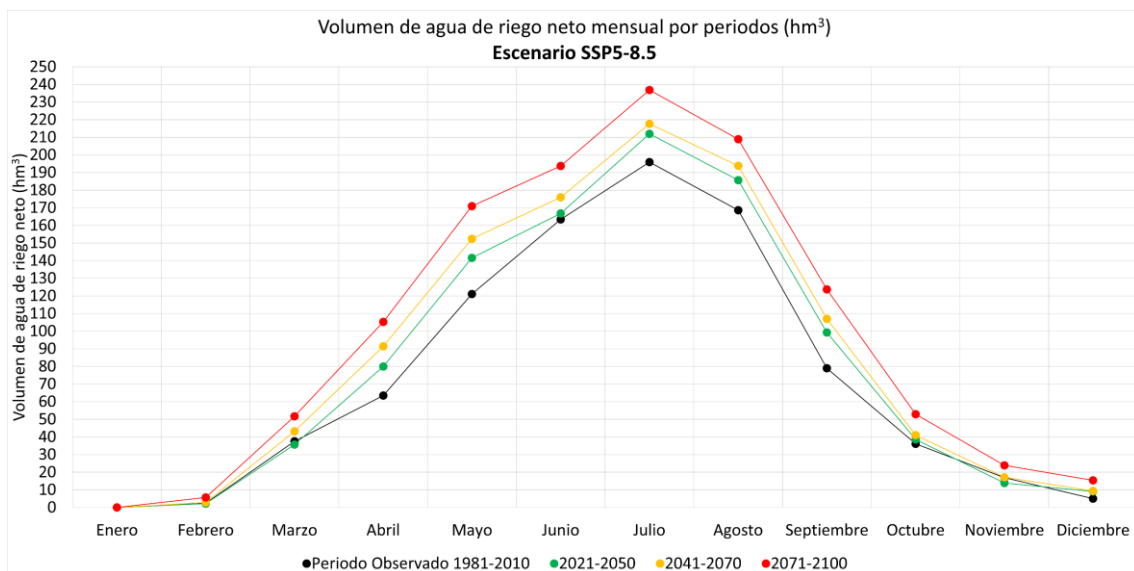
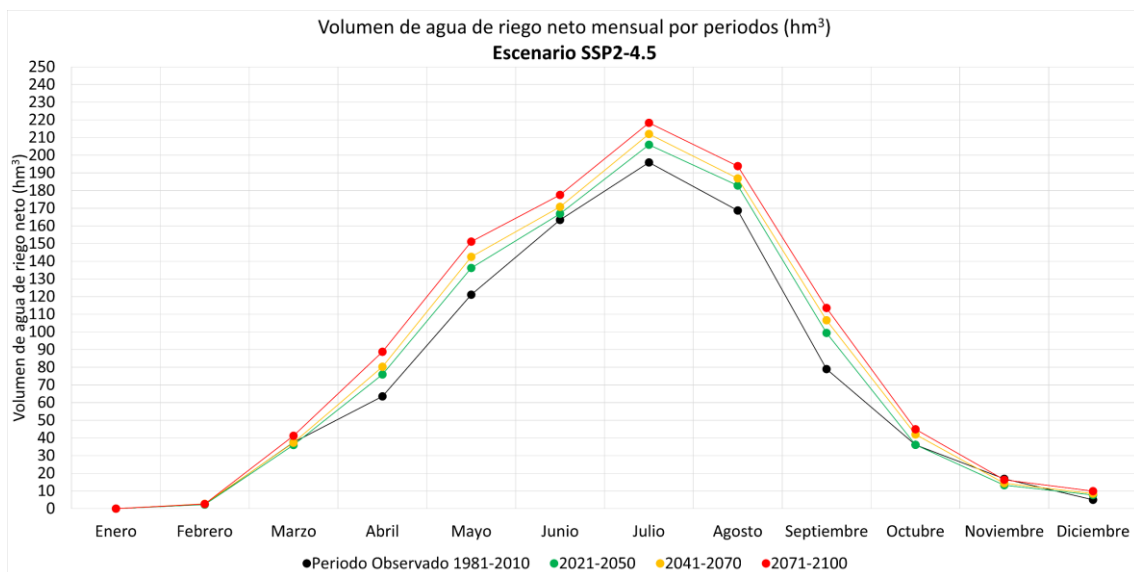


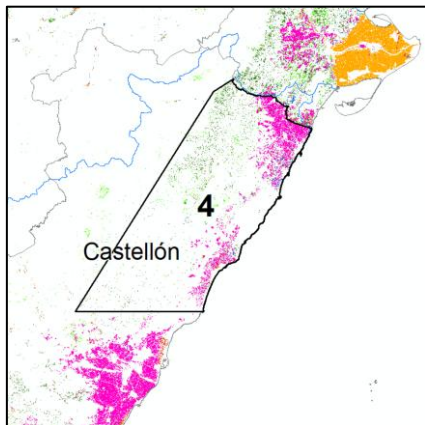
Figura VII-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla VII-1 para la Zona 3. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

VIII. Zona 4. Castellón Norte-Demarcación Hidrográfica del Júcar

ECLIMAR

DEMANDA DE AGUA, ETc, Y
DEMANDA DE AGUA DE
RIEGO, R, EN EL HORIZONTE
2015-2100

Zona 4. Castellón Norte-
Demarcación Hidrográfica del
Júcar



ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	68
RESULTADOS	69
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	69
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	70
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	72
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	73
E.- Demandas de agua de riego globales.....	76

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 4. Castellón Norte-Demarcación Hidrográfica del Júcar, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los períodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los períodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura VIII-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

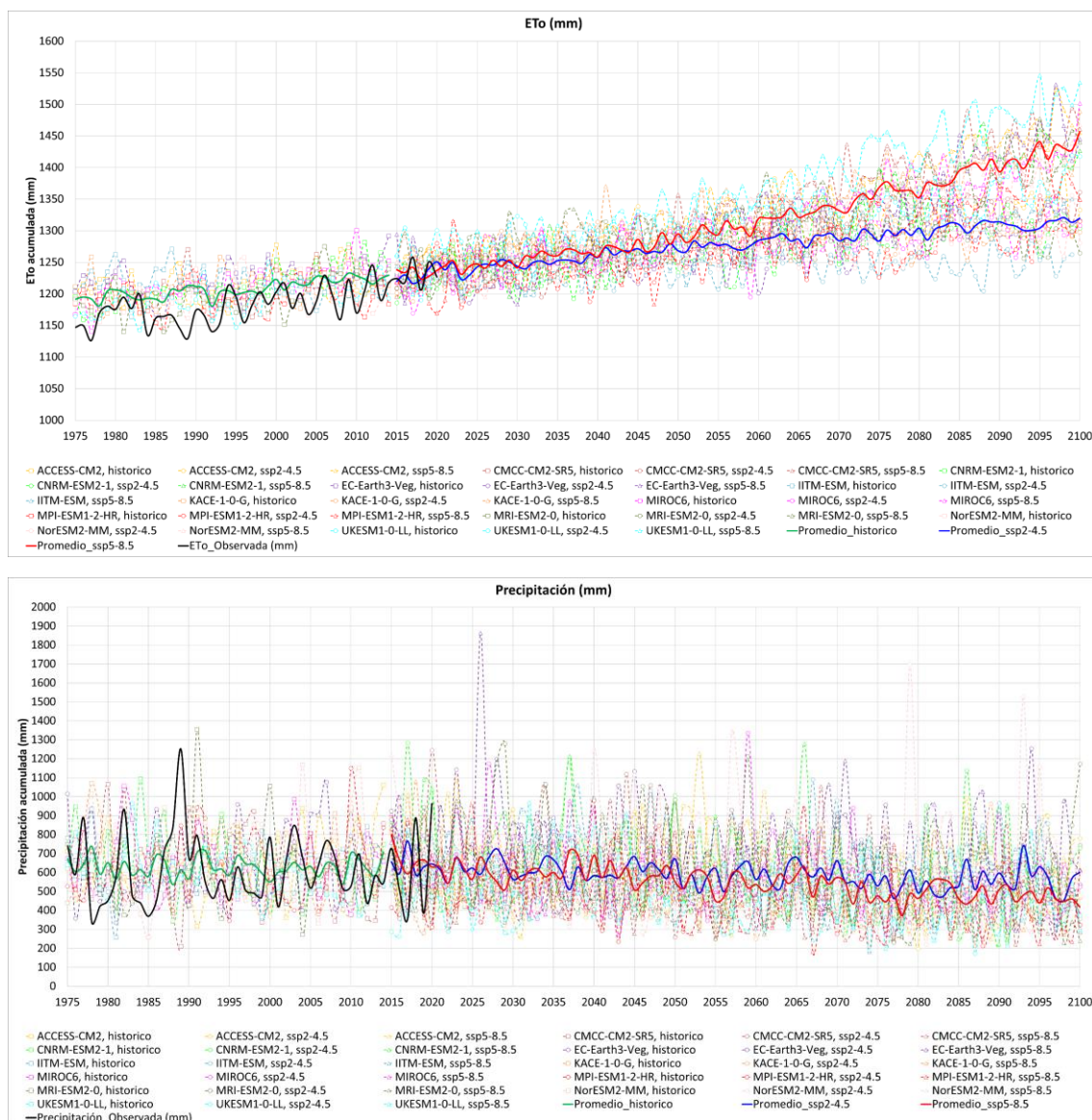


Figura VIII-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 4 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

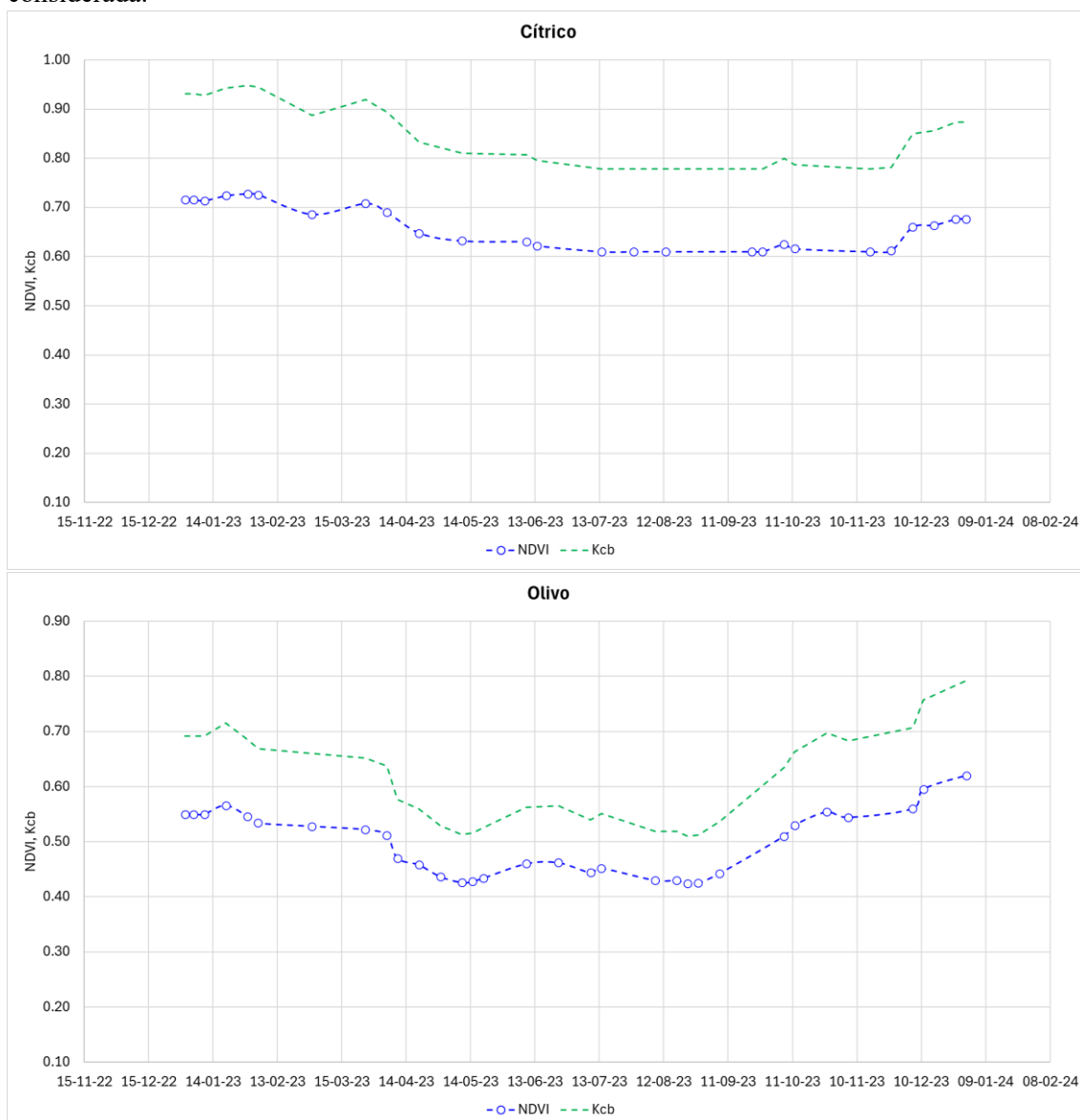
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla VIII-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla VIII-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 4.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Cítrico	11194	74.4
Olivo	897	6.0
Aguacate	792	5.3
Frutal cáscara	1478	9.8
Alcachofa	693	4.6

La Figura VIII-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.



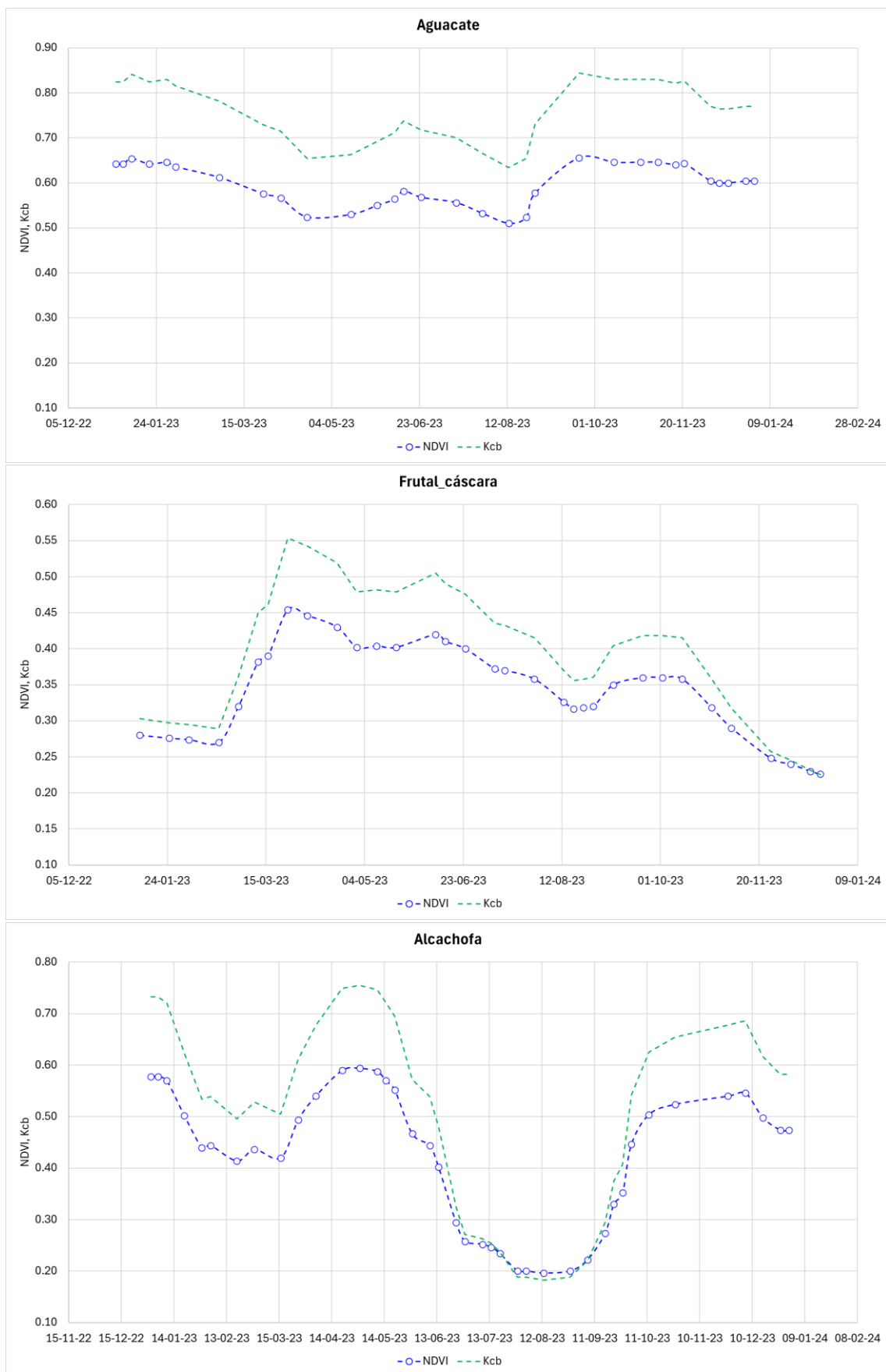


Figura VIII-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 4.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla VIII-2 y Tabla VIII-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla VIII-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 4, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cítrico	2021-2050	3	7	1	2	4	7	2	1
	2041-2070	5	9	2	2	7	11	4	2
	2071-2100	7	12	2	2	13	19	7	3
Olivo	2021-2050	3	6	1	1	3	6	1	1
	2041-2070	4	8	2	2	6	9	2	2
	2071-2100	5	10	1	2	10	16	5	2
Aguacate	2021-2050	3	7	2	1	4	6	2	1
	2041-2070	5	9	2	2	6	10	3	2
	2071-2100	6	11	2	2	12	18	7	3
Frutal_cáscara	2021-2050	3	4	1	1	3	5	1	1
	2041-2070	3	6	1	2	5	7	0	2
	2071-2100	4	8	1	2	8	12	4	2
Alcachofa	2021-2050	3	7	1	2	4	6	2	1
	2041-2070	5	9	3	2	7	10	4	2
	2071-2100	7	12	2	2	13	19	7	3

Tabla VIII-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 4, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cítrico	2021-2050	9	22	1	6	11	20	3	5
	2041-2070	15	29	7	6	21	32	14	5
	2071-2100	22	35	11	6	41	59	21	9
Olivo	2021-2050	12	31	3	9	15	30	2	8
	2041-2070	20	41	9	10	29	45	18	8
	2071-2100	30	49	14	9	55	81	25	13
Aguacate	2021-2050	10	26	1	7	13	25	2	6
	2041-2070	17	35	8	8	25	38	15	6
	2071-2100	26	42	13	7	48	69	23	11

Frutal_cáscara	2021-2050	10	23	4	6	14	26	1	7
	2041-2070	17	32	9	8	26	38	18	6
	2071-2100	27	43	16	7	48	69	20	11
Alcachofa	2021-2050	10	28	-1	8	12	21	5	5
	2041-2070	17	34	9	8	24	36	15	6
	2071-2100	25	41	13	7	47	72	24	11

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura VIII-3 y la Figura VIII-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

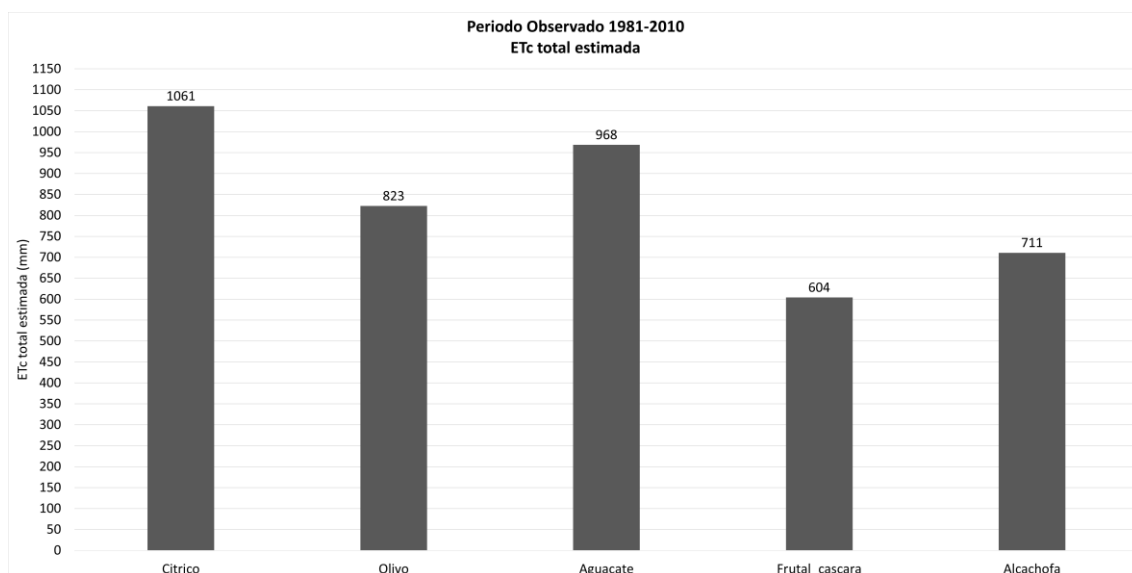


Figura VIII-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 4 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

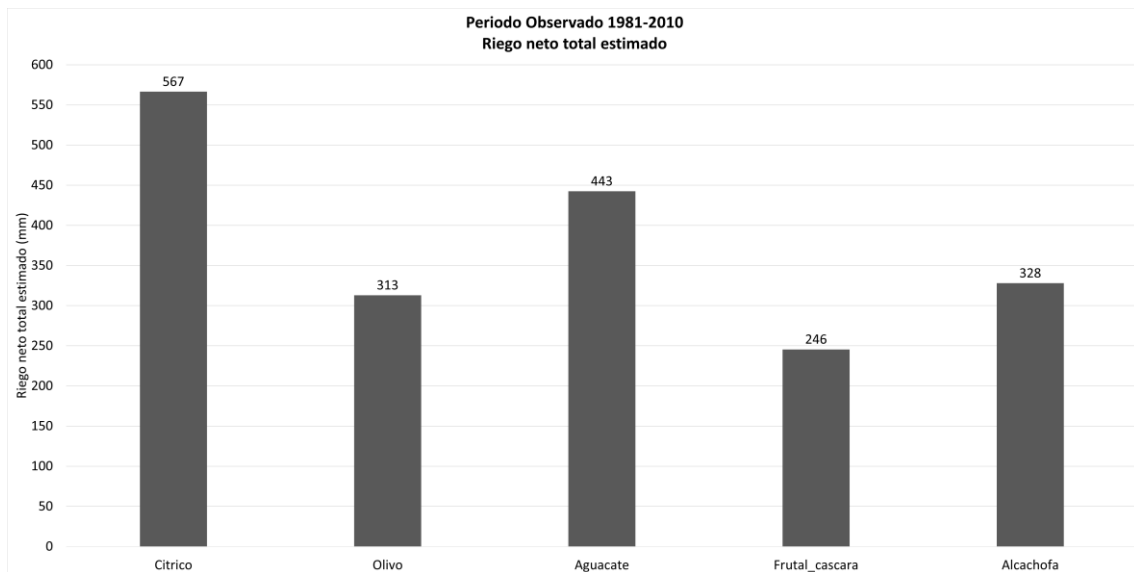


Figura VIII-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 4 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla VIII-4 y Tabla VIII-5 presentan la demanda de agua ET_c y demanda de agua de riego R , respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla VIII-4. Demanda de agua ET_c (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 4, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cítrico	2021-2050	1098	1133	1076	16	1105	1132	1082	16
	2041-2070	1115	1161	1082	20	1135	1173	1098	19
	2071-2100	1134	1186	1084	25	1201	1266	1135	31
Olivo	2021-2050	846	869	833	11	851	871	834	11
	2041-2070	856	888	836	15	869	895	840	14
	2071-2100	867	903	831	19	909	951	868	20
Aguacate	2021-2050	1000	1032	983	14	1006	1031	986	14
	2041-2070	1015	1058	987	18	1031	1067	997	17
	2071-2100	1031	1078	986	23	1088	1146	1032	27
Frutal_cáscara	2021-2050	620	630	610	6	622	637	608	8
	2041-2070	624	642	610	10	632	646	607	10
	2071-2100	630	650	609	13	654	676	627	13
Alcachofa	2021-2050	734	759	720	11	738	755	727	10
	2041-2070	745	777	729	13	758	783	737	12
	2071-2100	757	793	726	17	802	846	758	21

Tabla VIII-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 4, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cítrico	2021-2050	617	693	572	34	628	680	581	27
	2041-2070	649	730	603	36	686	747	645	27
	2071-2100	691	764	631	31	796	903	684	51
Olivo	2021-2050	349	411	321	27	360	407	319	24
	2041-2070	374	441	341	31	404	454	369	24
	2071-2100	407	467	357	27	486	567	391	42
Aguacate	2021-2050	488	558	448	31	500	553	450	27
	2041-2070	519	598	476	35	553	611	511	27
	2071-2100	558	628	499	31	653	747	543	49
Frutal_cáscara	2021-2050	271	302	255	16	279	310	248	18
	2041-2070	288	325	267	19	309	339	290	15
	2071-2100	312	351	284	18	362	415	296	28
Alcachofa	2021-2050	360	420	325	25	366	395	343	17
	2041-2070	383	441	357	25	407	445	379	18
	2071-2100	408	463	371	23	483	563	406	36

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla VIII-1).

En la Figura VIII-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla VIII-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura VIII-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

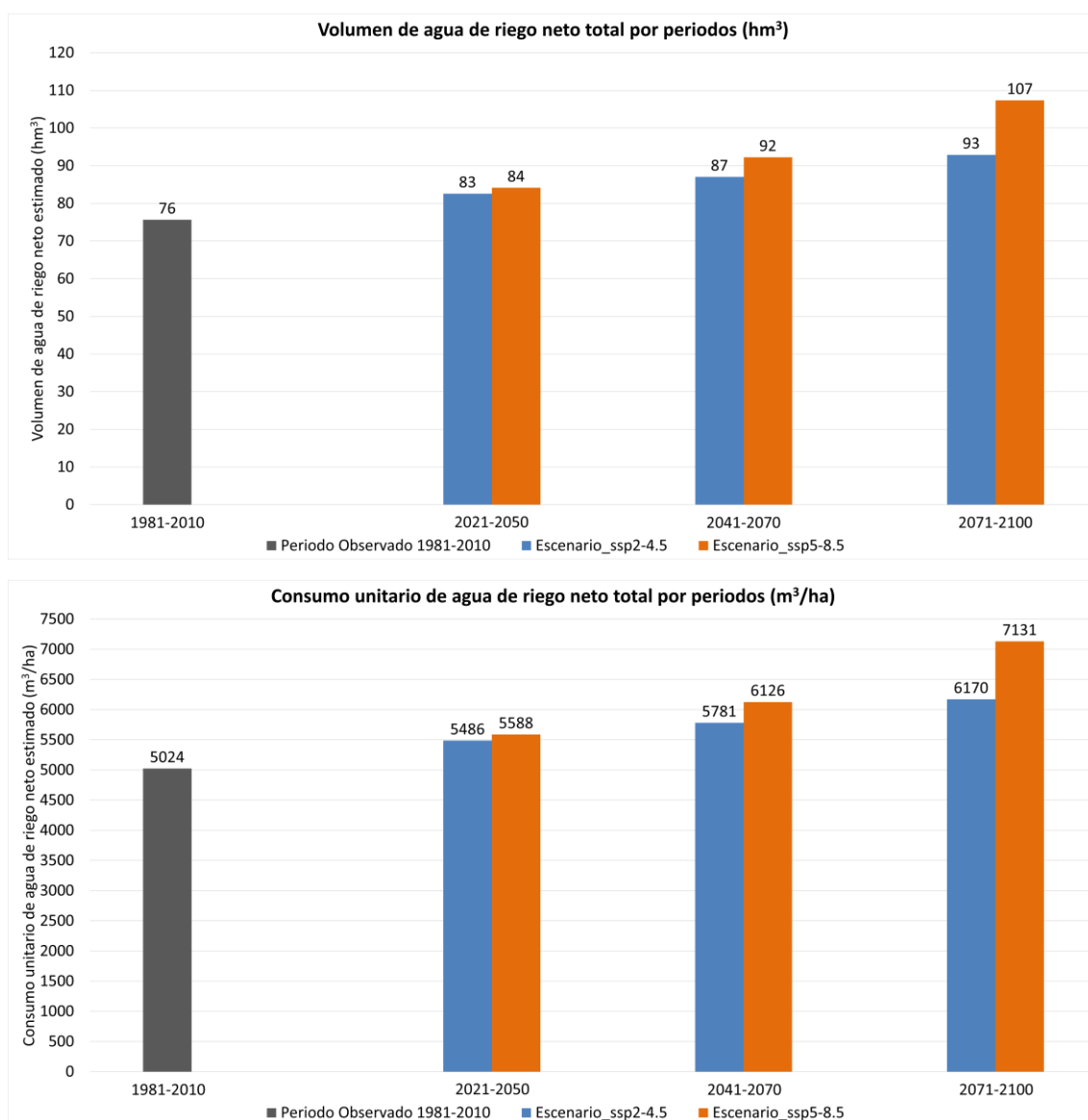


Figura VIII-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla VIII-1 para la Zona 4. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

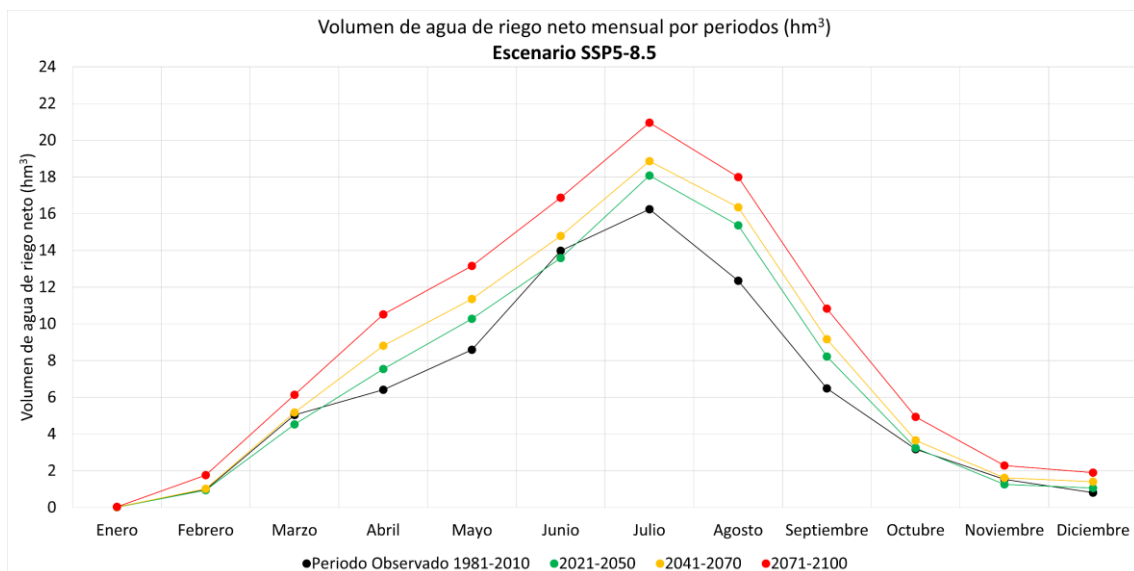
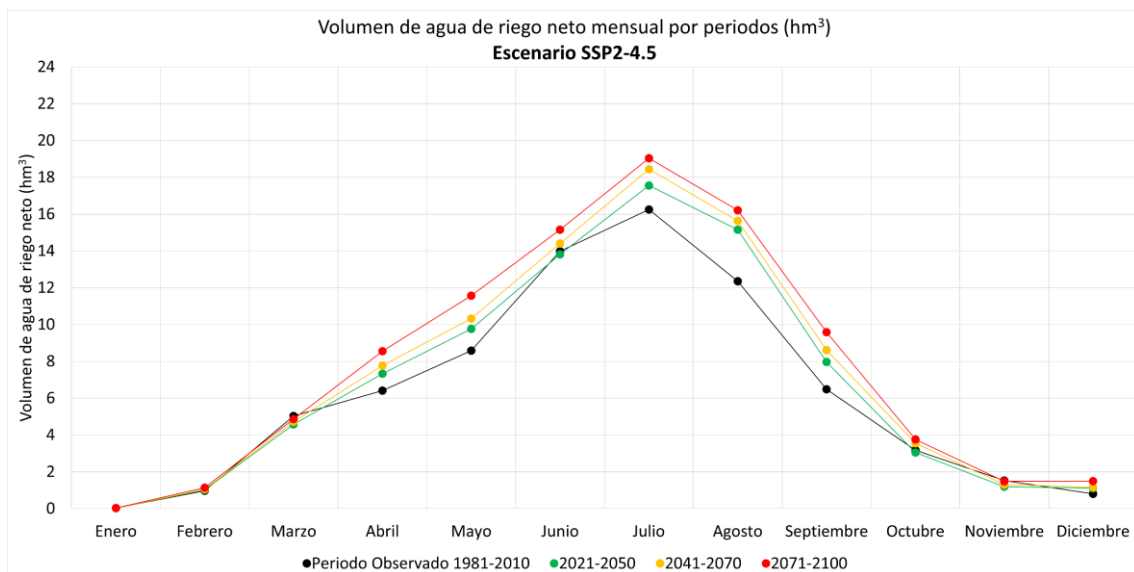
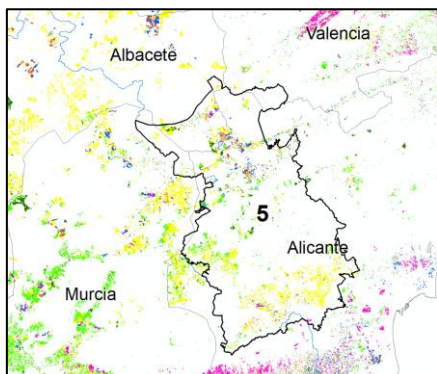


Figura VIII-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla VIII-1 para la Zona 4. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

IX. Zona 5. Vinalopó-Demarcación Hidrográfica del Júcar

ECLIMAR

DEMANDA DE AGUA, ETc, Y DEMANDA DE AGUA DE RIEGO, R, EN EL HORIZONTE 2015-2100



Zona 5. Vinalopó-Demarcación Hidrográfica del Júcar

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	79
RESULTADOS	80
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	80
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	81
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	83
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo....	84
E.- Demandas de agua de riego globales.....	86

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 5. Vinalopó-Demarcación Hidrográfica del Júcar, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo, a excepción del cultivo de la viña de vinificación que se ha considerado que se maneja con un cierto grado de estrés hídrico. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los periodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura IX-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

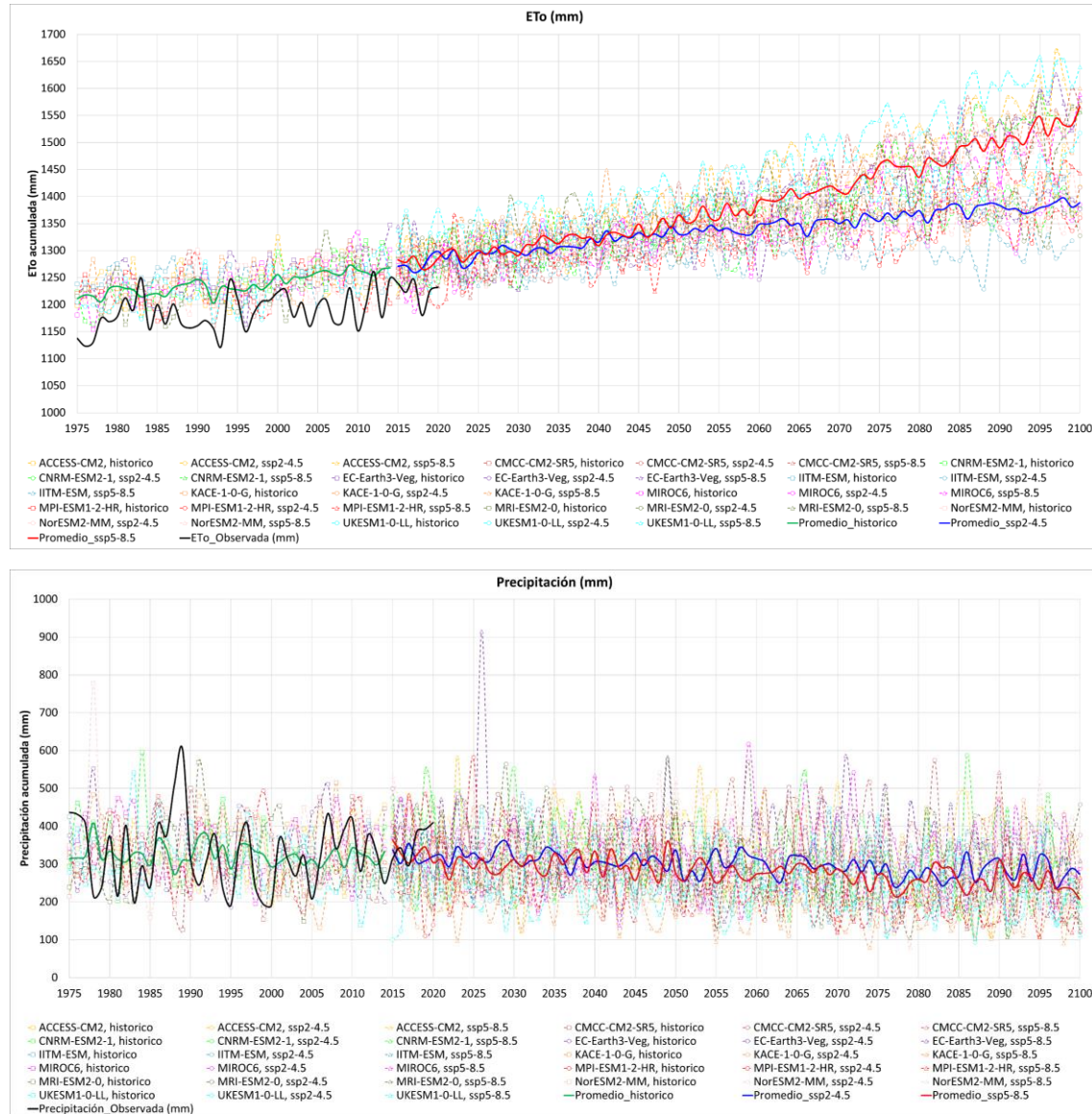


Figura IX-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 5 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

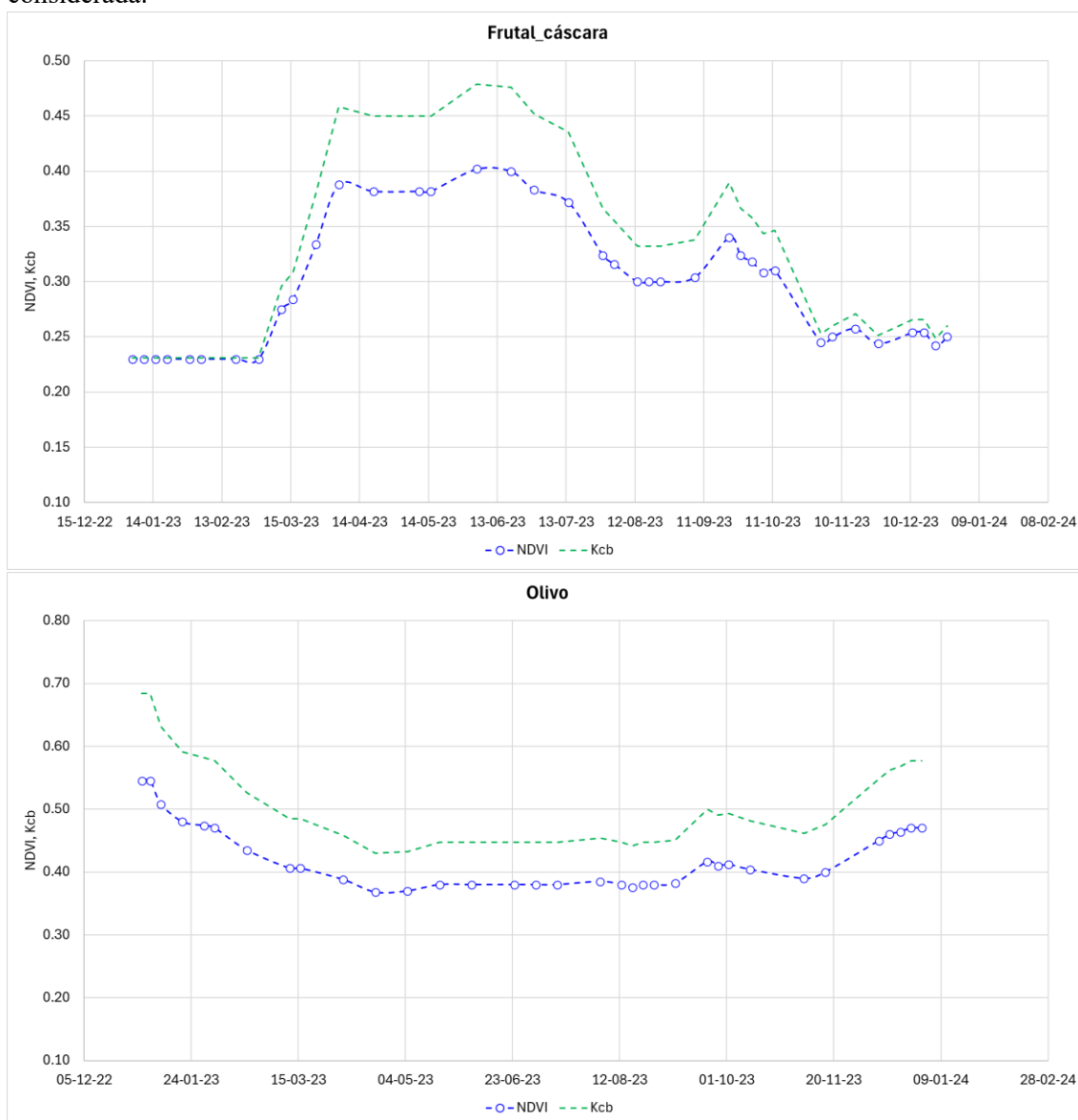
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla IX-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla IX-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 5.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Frutal cáscara	4122	24.8
Olivo	3753	22.6
Viña mesa	4382	26.4
Viña vinificación	4368	26.3

La Figura IX-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.



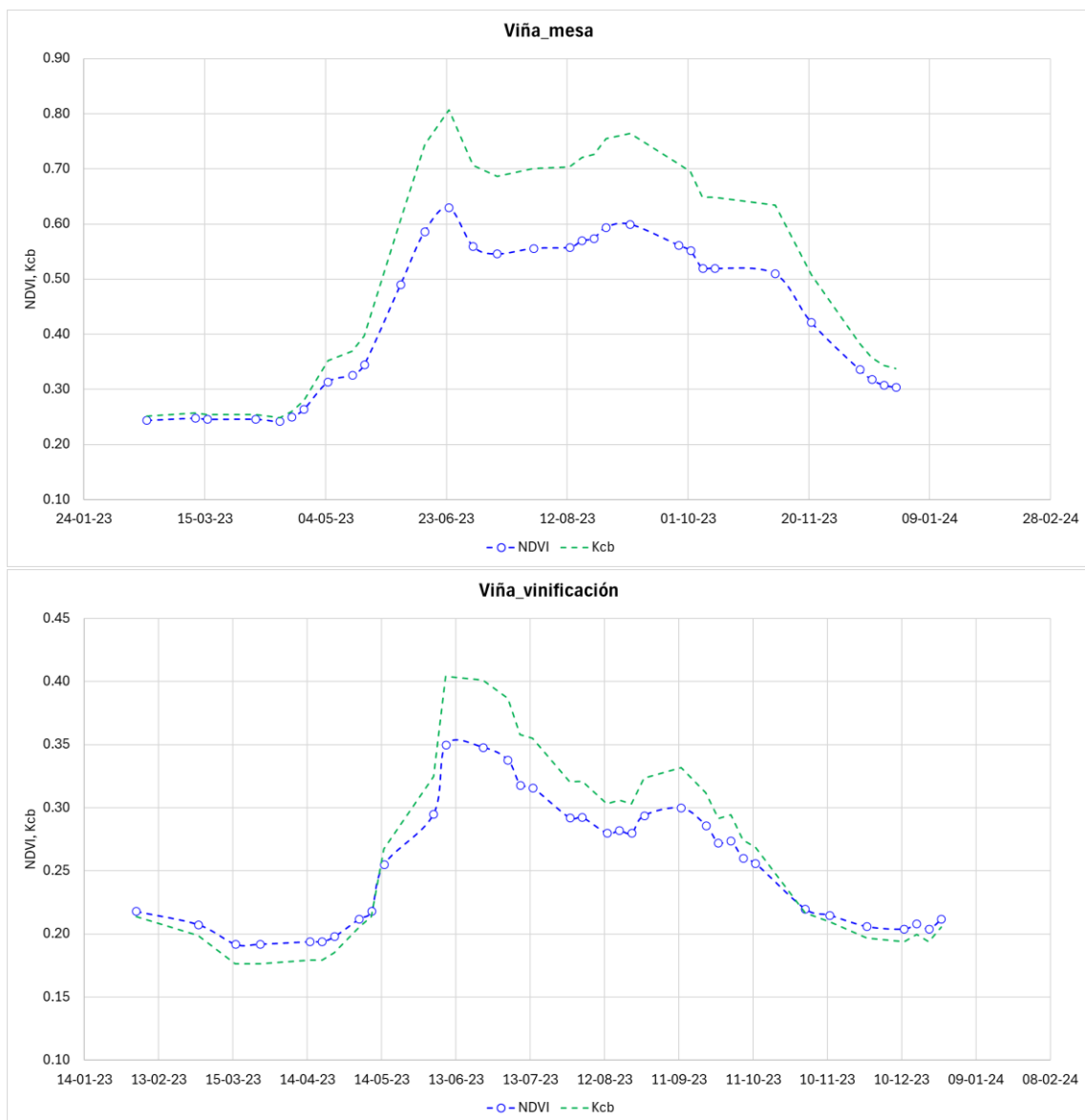


Figura IX-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 5.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla IX-2 y Tabla IX-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla IX-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 5, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Frutal_cáscara	2021-2050	4	6	2	1	4	7	3	1
	2041-2070	5	10	1	2	7	10	4	2
	2071-2100	7	11	1	3	12	17	7	3
Olivo	2021-2050	4	7	2	2	5	7	3	1
	2041-2070	6	11	2	2	8	12	4	2
	2071-2100	7	12	1	3	14	20	9	3
Viña_mesa	2021-2050	5	9	3	2	6	9	4	2
	2041-2070	7	13	3	3	10	14	6	2
	2071-2100	10	15	3	3	17	25	11	3
Viña_vinificación	2021-2050	3	7	0	2	3	6	0	2
	2041-2070	4	7	-1	3	5	7	1	2
	2071-2100	4	9	-1	3	9	12	2	3

Tabla IX-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 5, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Frutal_cáscara	2021-2050	11	21	4	5	15	26	7	5
	2041-2070	16	27	6	6	22	33	17	5
	2071-2100	23	34	15	6	38	53	16	9
Olivo	2021-2050	13	29	4	7	17	32	10	7
	2041-2070	19	36	9	7	26	40	20	7
	2071-2100	27	42	17	7	46	66	23	11
Viña_mesa	2021-2050	10	21	2	5	12	23	8	4
	2041-2070	15	26	6	5	18	31	13	5
	2071-2100	20	32	10	5	33	50	17	8
Viña_vinificación	2021-2050	14	33	3	8	19	38	10	8
	2041-2070	22	40	6	10	27	47	19	8
	2071-2100	30	47	17	8	48	75	21	13

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del periodo 1981-2010.

La Figura IX-3 y la Figura IX-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

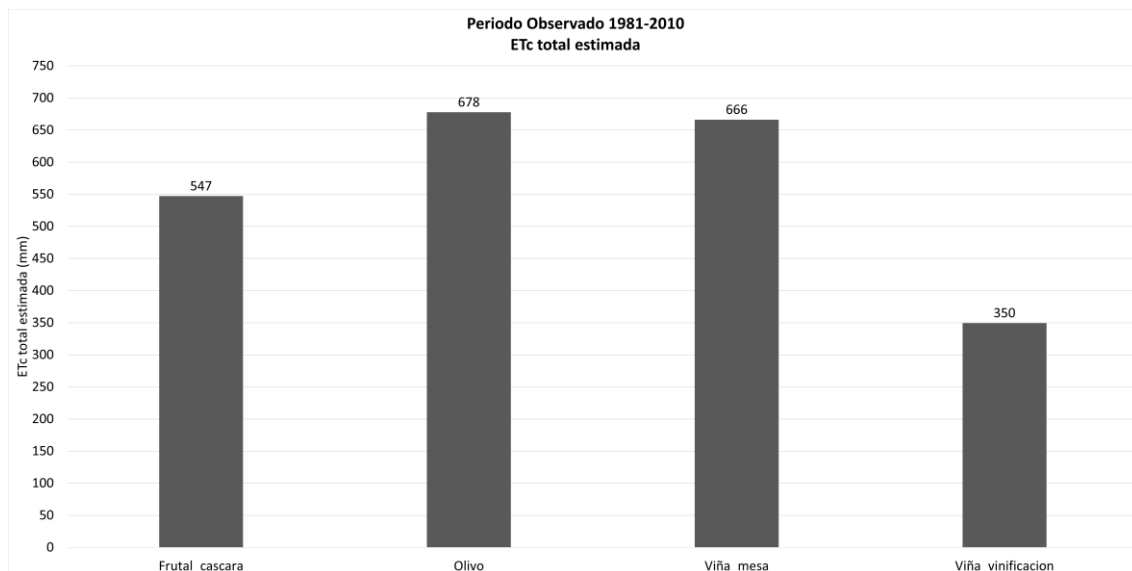


Figura IX-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 5 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

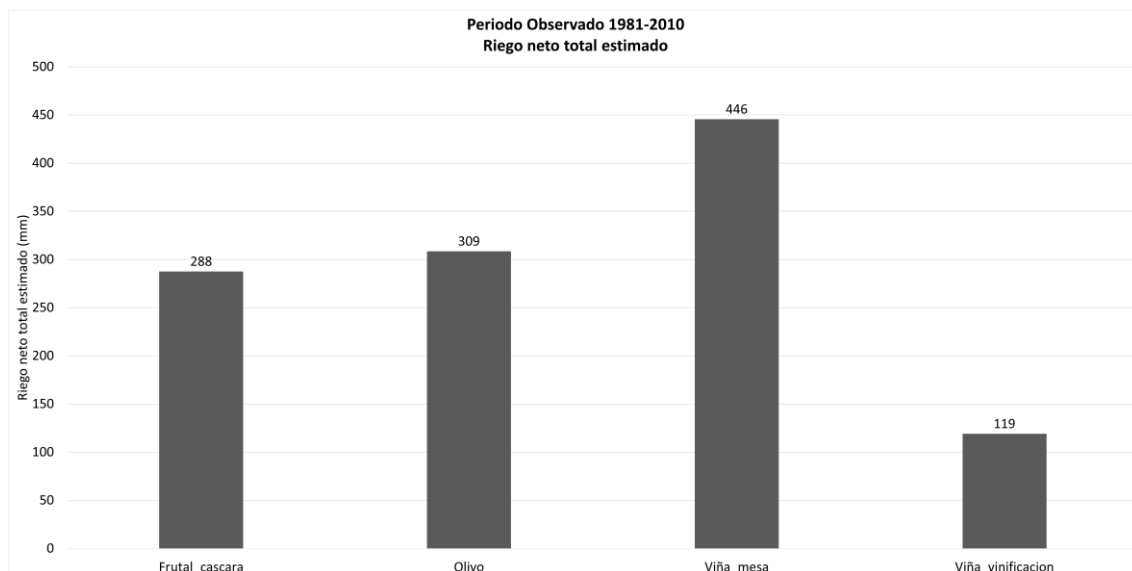


Figura IX-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 5 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla IX-4 y Tabla IX-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla IX-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 5, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Frutal_cáscara	2021-2050	571	582	557	7	572	584	564	7
	2041-2070	576	599	555	13	585	603	567	9
	2071-2100	583	607	551	14	615	641	588	14
Olivo	2021-2050	707	728	691	10	711	726	700	9
	2041-2070	717	751	692	16	730	757	707	13
	2071-2100	728	758	686	19	771	812	736	19
Viña_mesa	2021-2050	703	729	685	13	707	724	692	11
	2041-2070	716	754	687	17	731	761	706	14
	2071-2100	730	765	689	18	782	830	740	23
Viña_vinificación	2021-2050	361	374	350	7	361	372	349	6
	2041-2070	362	373	346	9	367	374	354	5
	2071-2100	363	381	346	10	380	391	356	10

Tabla IX-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 5, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Frutal_cáscara	2021-2050	318	349	299	14	329	362	309	15
	2041-2070	334	365	304	18	351	381	337	14
	2071-2100	354	385	330	17	396	441	334	26
Olivo	2021-2050	347	399	321	22	361	408	341	22
	2041-2070	368	419	336	22	388	431	369	22
	2071-2100	392	438	361	21	449	512	380	34
Viña_mesa	2021-2050	489	541	455	22	501	549	482	20
	2041-2070	511	562	474	24	527	583	505	23
	2071-2100	534	589	490	24	592	668	520	36
Viña_vinificación	2021-2050	136	158	122	10	141	165	131	9
	2041-2070	146	166	126	12	151	174	142	9
	2071-2100	155	175	139	10	176	208	144	16

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla IX-1)

En la Figura IX-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla IX-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura IX-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

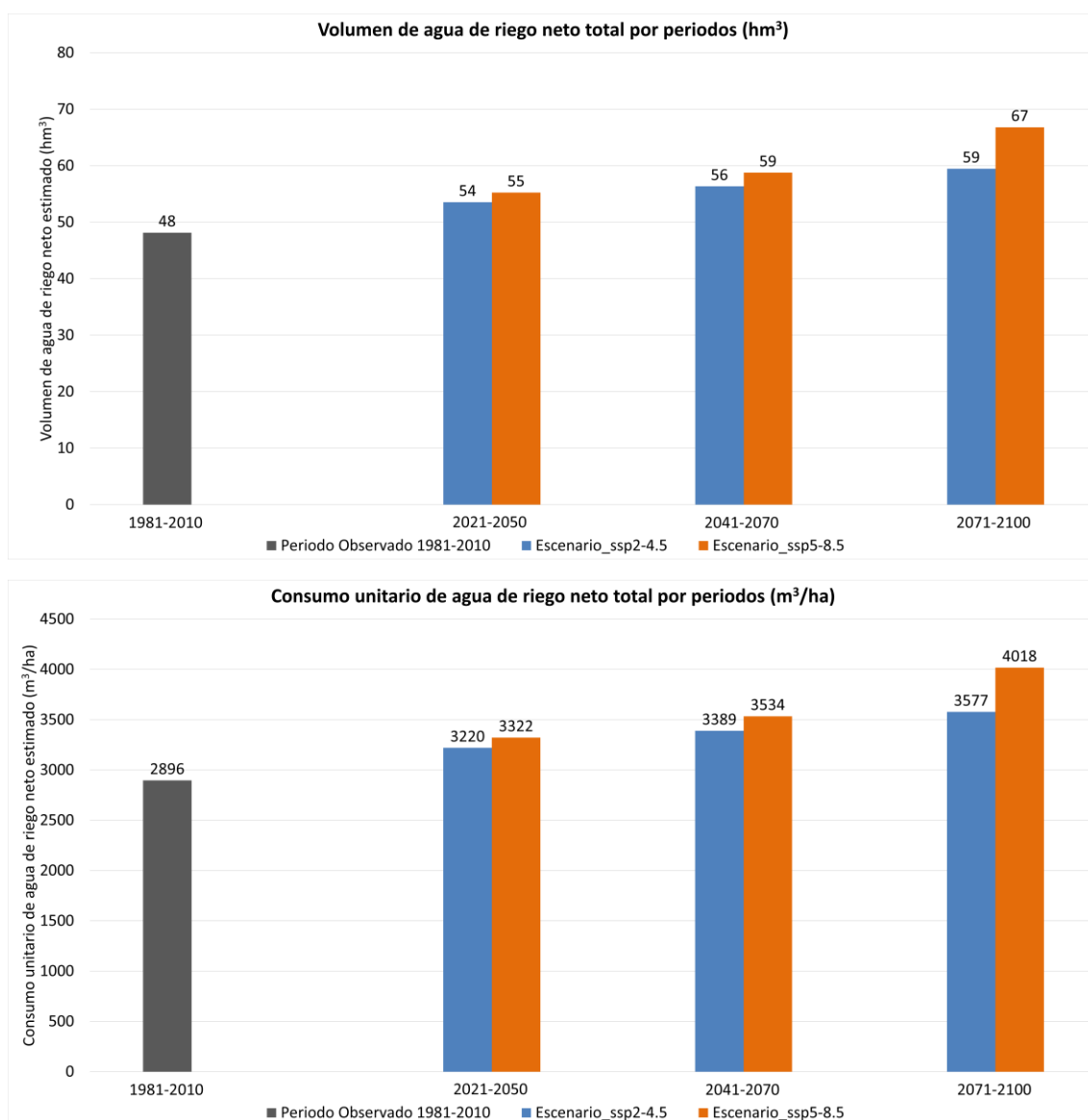


Figura IX-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla IX-1 para la Zona 5. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

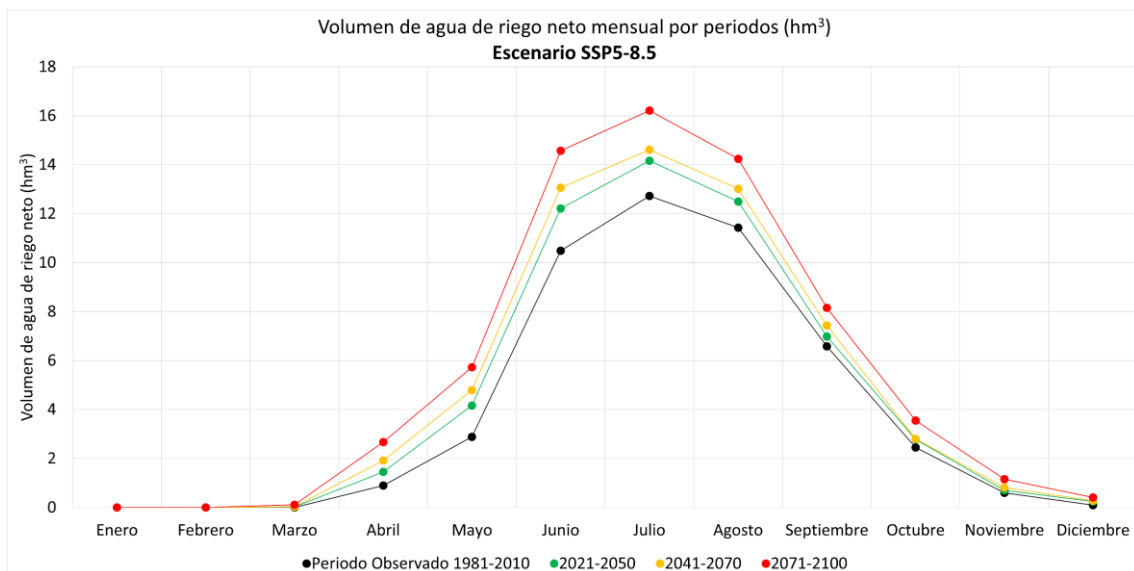
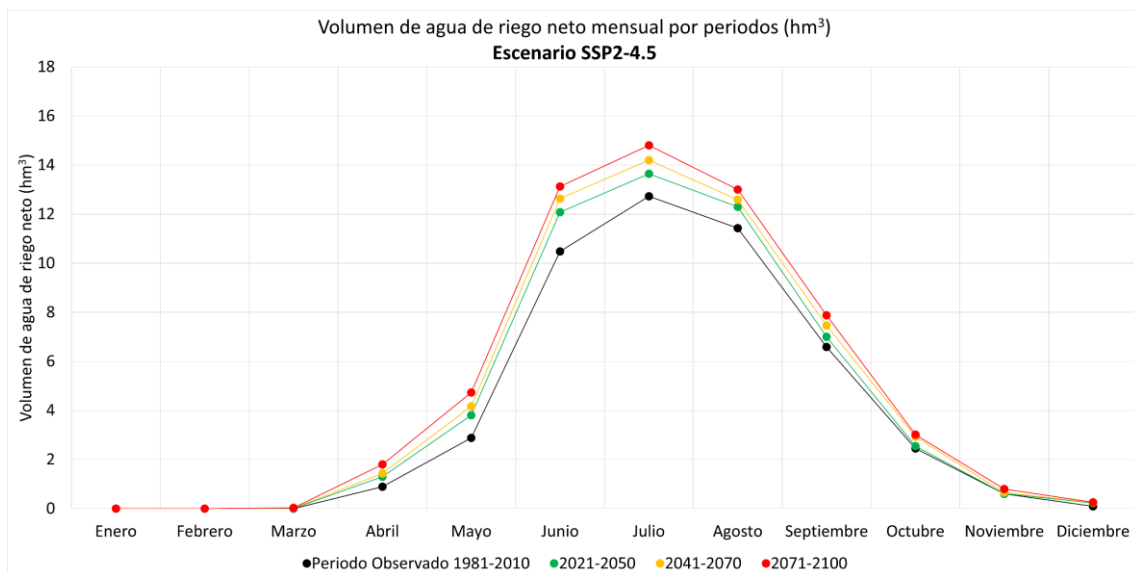


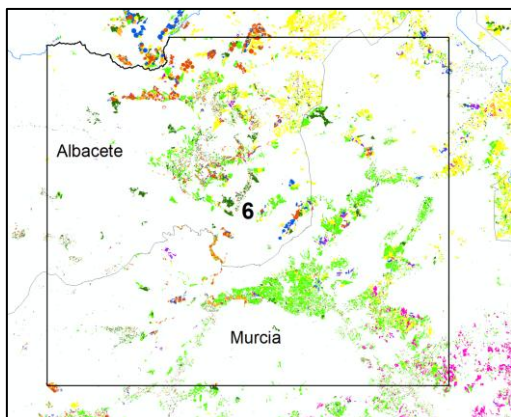
Figura IX-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla IX-1 para la Zona 5. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

X. Zona 6. Hellín, Cieza-Demarcación Hidrográfica del Segura

ECLIMAR

DEMANDA DE AGUA, ET_c, Y DEMANDA DE AGUA DE RIEGO, R, EN EL HORIZONTE 2015-2100

Zona 6. Hellín, Cieza- Demarcación Hidrográfica del Segura



ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	89
RESULTADOS	90
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	90
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	91
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ET _c y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	94
D.- Demanda de agua ET _c y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo....	96
E.- Demandas de agua de riego globales.....	99

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 6. Hellín, Cieza-Demarcación Hidrográfica del Segura, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo, a excepción del cultivo de la viña de vinificación que se ha considerado que se maneja con un cierto grado de estrés hídrico. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los periodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura X-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

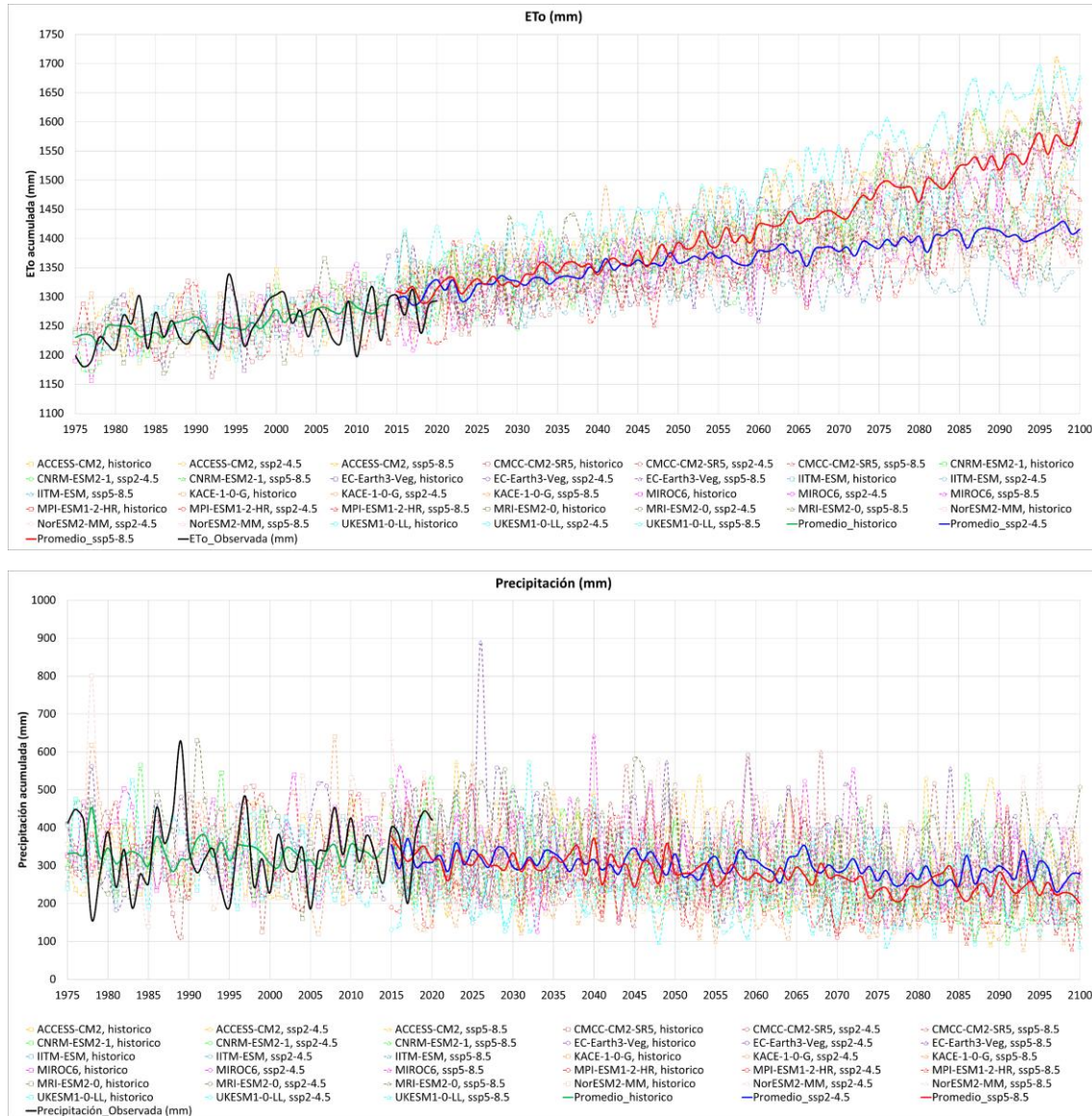


Figura X-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 6 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

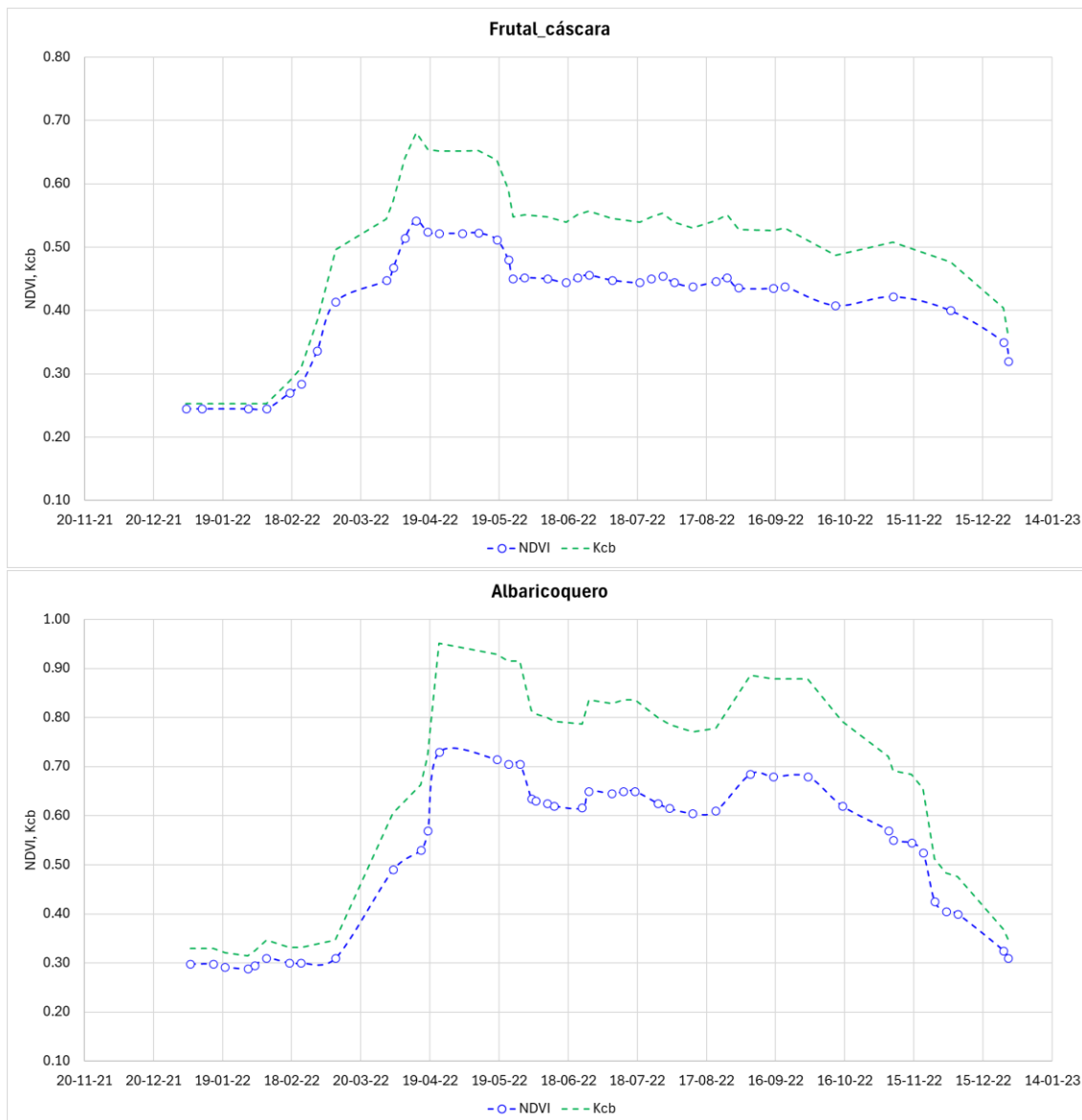
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

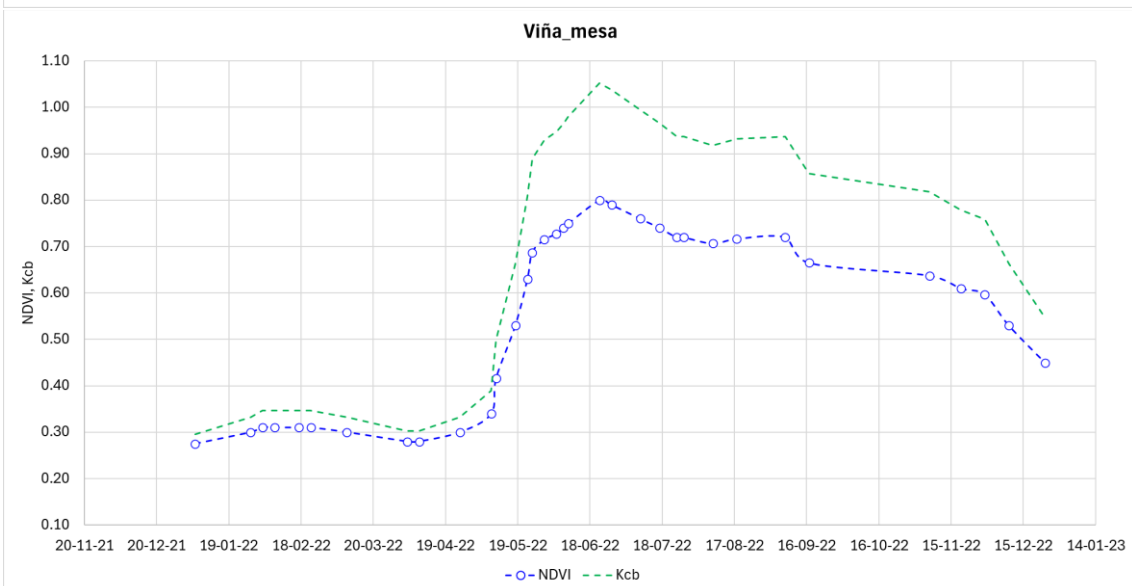
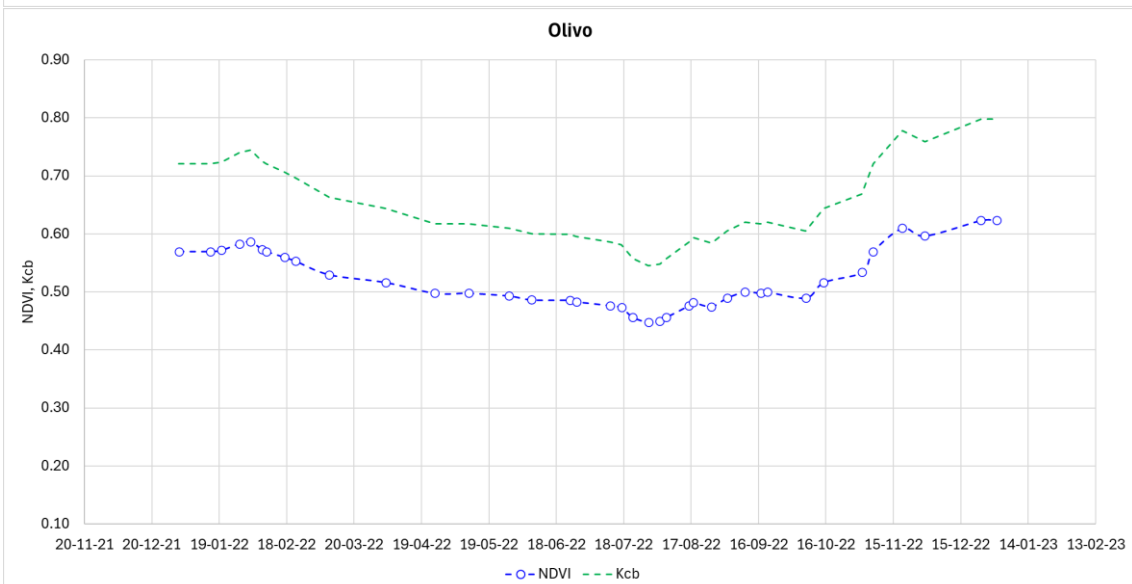
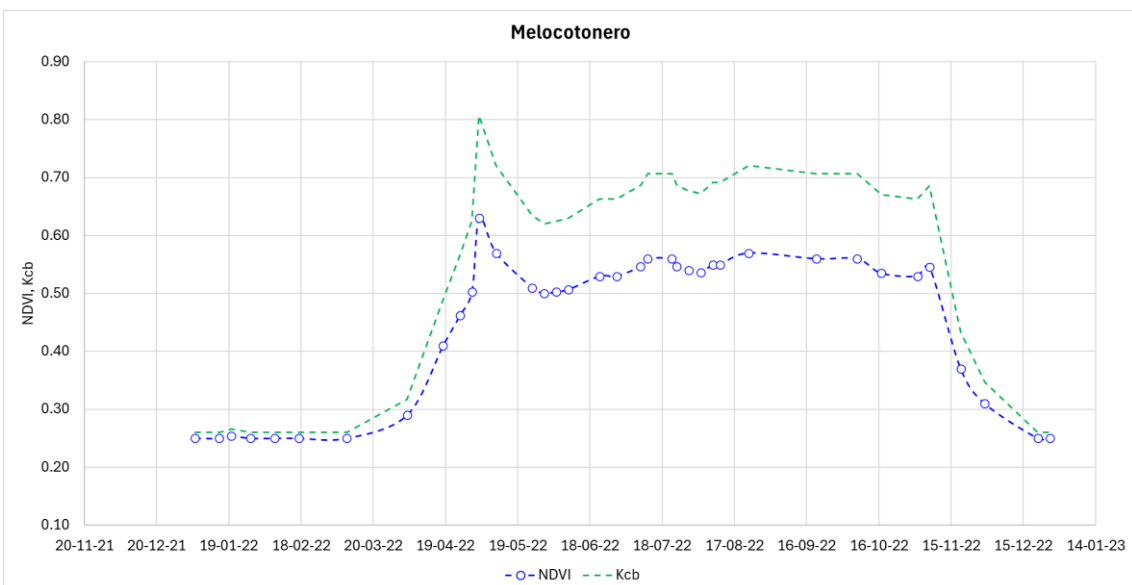
Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla X-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla X-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 6.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Frutal cáscara	11851	22.2
Albaricoquero	6603	12.4
Melocotonero	13892	26.0
Olivo	9670	18.1
Viña mesa	6270	11.8
Viña vinificación	5042	9.5

La Figura X-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.





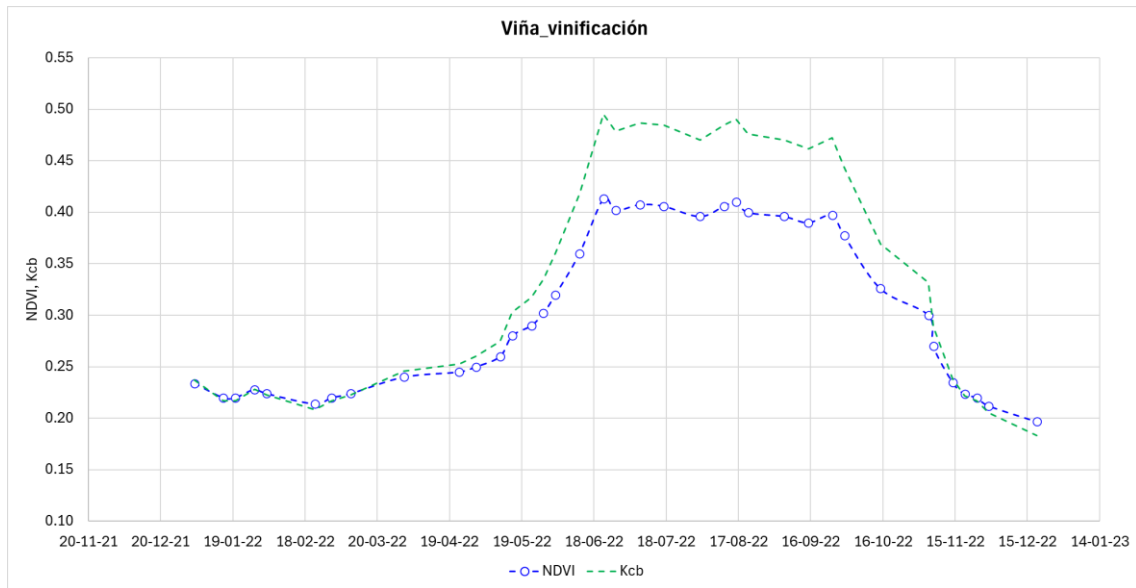


Figura X-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 6.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla X-2 y Tabla X-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla X-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 6, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Frutal_cáscara	2021-2050	6	8	3	1	6	8	4	1
	2041-2070	7	11	3	2	9	12	6	2
	2071-2100	9	13	3	3	16	22	10	3
Albaricoquero	2021-2050	6	9	4	2	7	9	5	2
	2041-2070	8	13	4	2	11	14	7	2
	2071-2100	11	15	4	3	19	26	11	4
Melocotonero	2021-2050	6	9	3	2	7	9	4	2
	2041-2070	8	12	4	2	10	13	6	2
	2071-2100	10	14	3	3	18	24	10	4
Olivo	2021-2050	5	8	3	1	6	8	4	1
	2041-2070	7	12	4	2	9	12	6	2
	2071-2100	9	14	3	3	17	23	10	3
Viña_mesa	2021-2050	7	10	4	2	7	10	5	2
	2041-2070	9	14	5	2	11	15	7	2
	2071-2100	11	16	5	3	19	26	12	4
Viña_vinificación	2021-2050	5	7	1	2	5	9	2	2
	2041-2070	6	9	1	3	7	10	3	2
	2071-2100	7	11	1	3	12	17	6	3

Tabla X-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 6, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Frutal_cáscara	2021-2050	11	21	4	5	14	22	8	4
	2041-2070	16	26	8	5	22	32	16	5
	2071-2100	23	32	17	4	38	53	24	8
Albaricoquero	2021-2050	11	20	4	4	13	20	9	4
	2041-2070	15	25	8	5	20	30	15	4
	2071-2100	21	30	15	4	36	49	22	7

Melocotonero	2021-2050	11	22	4	5	14	23	9	4
	2041-2070	16	27	8	6	21	33	16	5
	2071-2100	23	32	16	5	38	54	23	8
Olivo	2021-2050	12	26	6	6	15	25	9	5
	2041-2070	18	31	10	6	24	35	16	5
	2071-2100	25	36	21	5	44	60	26	9
Viña_mesa	2021-2050	10	20	3	5	12	20	9	3
	2041-2070	15	25	8	5	19	29	14	4
	2071-2100	20	29	14	4	33	48	21	7
Viña_vinificación	2021-2050	14	28	3	7	18	30	11	5
	2041-2070	21	34	10	8	26	43	19	6
	2071-2100	29	41	18	6	47	69	30	10

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura X-3 y la Figura X-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

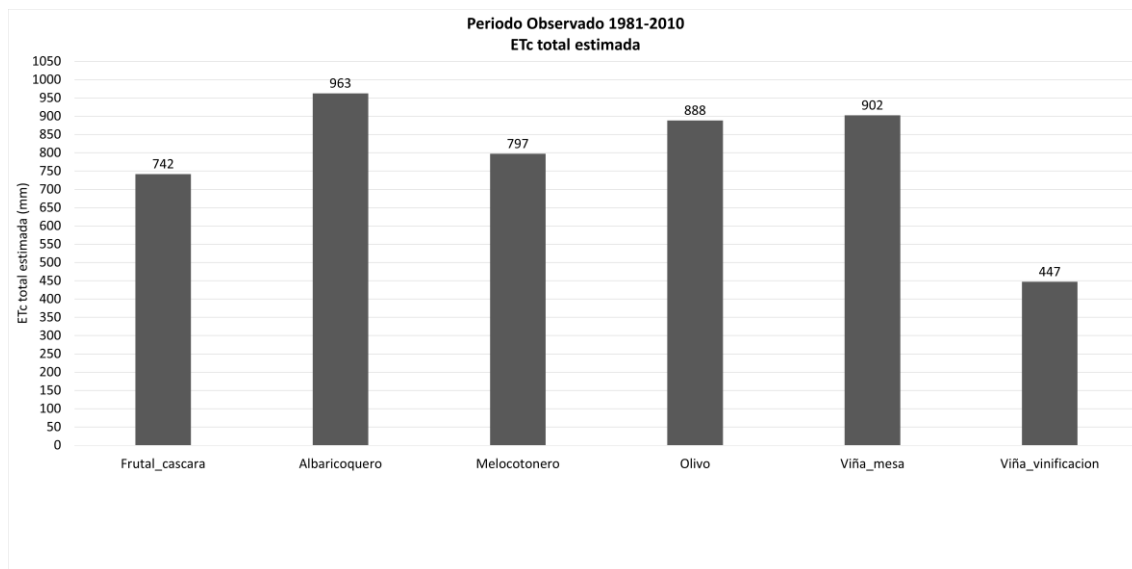


Figura X-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 6 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

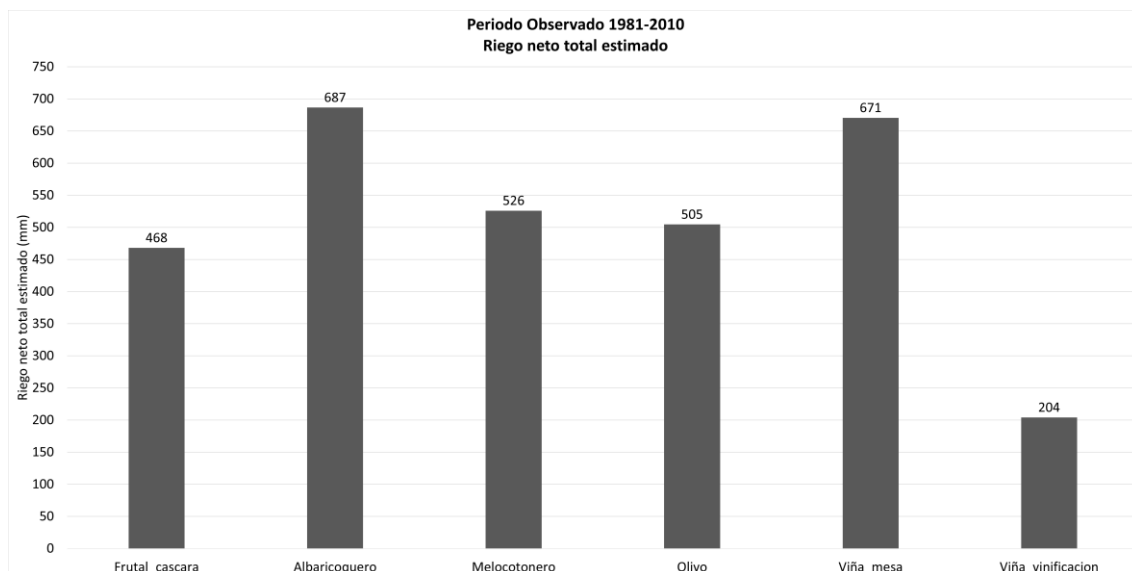


Figura X-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 6 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla X-4 y Tabla X-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla X-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 6, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Frutal_cáscara	2021-2050	783	799	765	10	787	804	773	10
	2041-2070	795	826	766	16	810	831	787	13
	2071-2100	808	836	764	19	862	902	812	23
Albaricoquero	2021-2050	1023	1054	1000	16	1030	1054	1006	15
	2041-2070	1044	1089	1005	22	1067	1101	1031	20
	2071-2100	1067	1110	1005	25	1147	1213	1069	35
Melocotonero	2021-2050	845	867	823	13	850	870	831	12
	2041-2070	860	896	825	19	877	903	846	16
	2071-2100	877	910	825	22	938	991	877	29
Olivo	2021-2050	937	962	917	13	942	963	922	13
	2041-2070	954	996	921	20	972	999	943	16
	2071-2100	971	1011	919	24	1039	1093	981	29
Viña_mesa	2021-2050	961	993	939	16	969	991	944	15
	2041-2070	982	1029	945	22	1003	1036	970	19
	2071-2100	1003	1045	950	23	1077	1139	1010	33
Viña_vinificación	2021-2050	469	479	452	9	470	487	454	8
	2041-2070	473	487	452	12	480	490	460	9
	2071-2100	477	496	451	13	502	521	472	14

Tabla X-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 6, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Frutal_cáscara	2021-2050	520	566	489	23	533	570	507	20
	2041-2070	544	591	507	26	571	620	542	21
	2071-2100	574	616	549	20	647	716	580	37
Albaricoquero	2021-2050	760	822	716	30	776	826	746	25
	2041-2070	792	855	743	33	826	892	793	28
	2071-2100	832	892	792	28	932	1025	839	49
Melocotonero	2021-2050	586	639	547	26	600	645	574	22
	2041-2070	613	666	570	29	639	698	612	25
	2071-2100	645	697	609	25	725	808	649	43
Olivo	2021-2050	567	635	534	31	582	631	551	26
	2041-2070	596	661	557	30	628	682	584	28
	2071-2100	633	685	608	23	725	806	638	47

Viña_mesa	2021-2050	738	807	689	30	754	805	728	23
	2041-2070	769	837	722	33	795	867	766	29
	2071-2100	804	868	761	28	891	992	812	48
Viña_vinificación	2021-2050	233	262	211	14	240	265	226	11
	2041-2070	247	274	224	16	257	293	243	13
	2071-2100	262	288	240	12	299	345	264	21

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla X-1).

En la Figura X-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla X-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura X-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

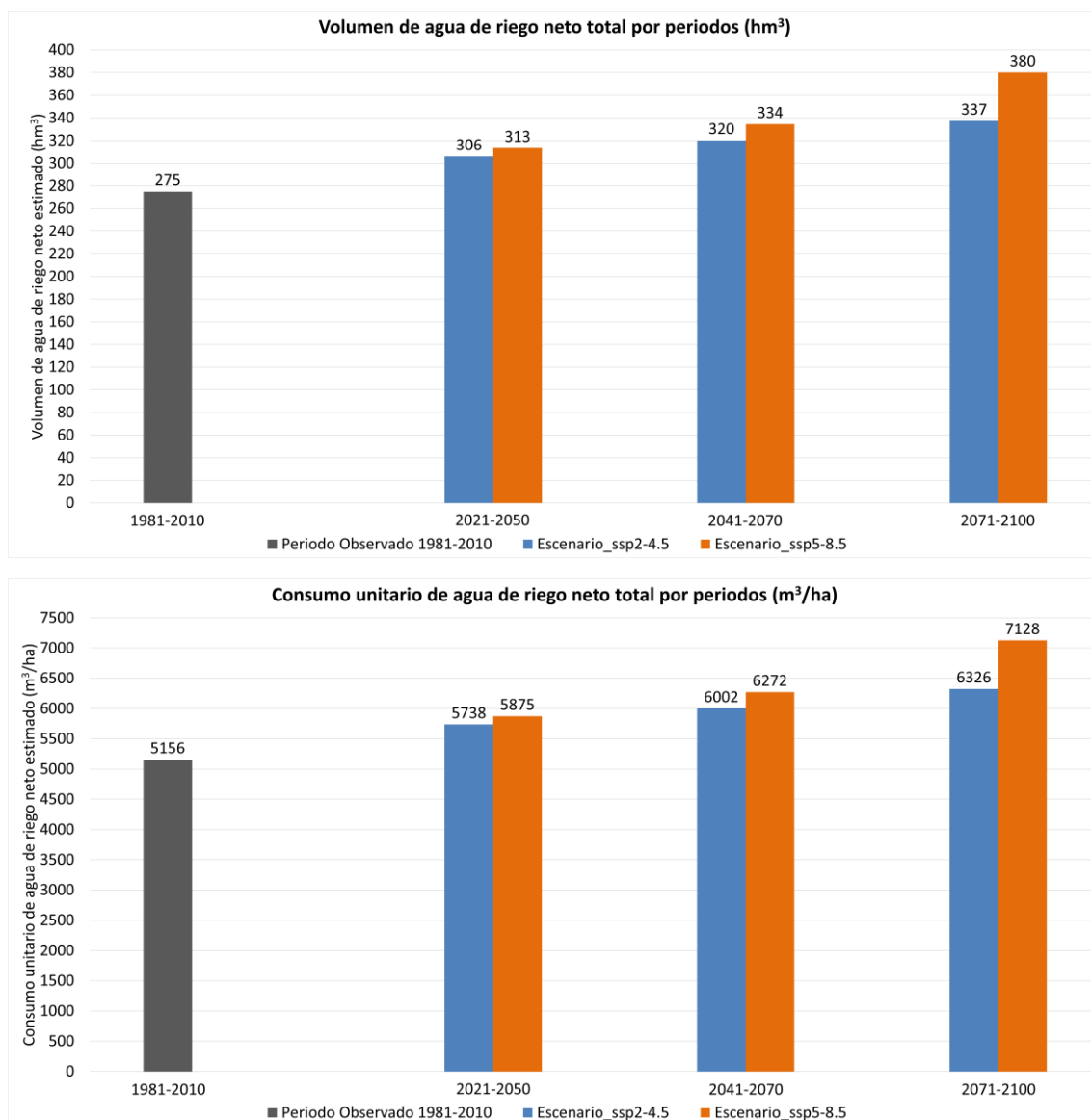


Figura X-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla X-1 para la Zona 6. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

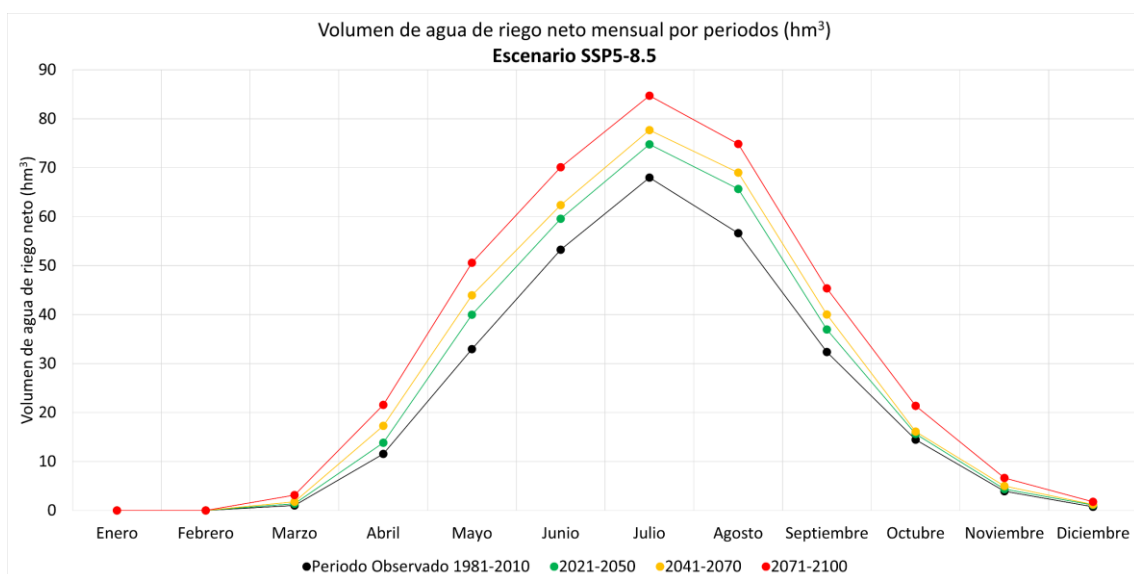
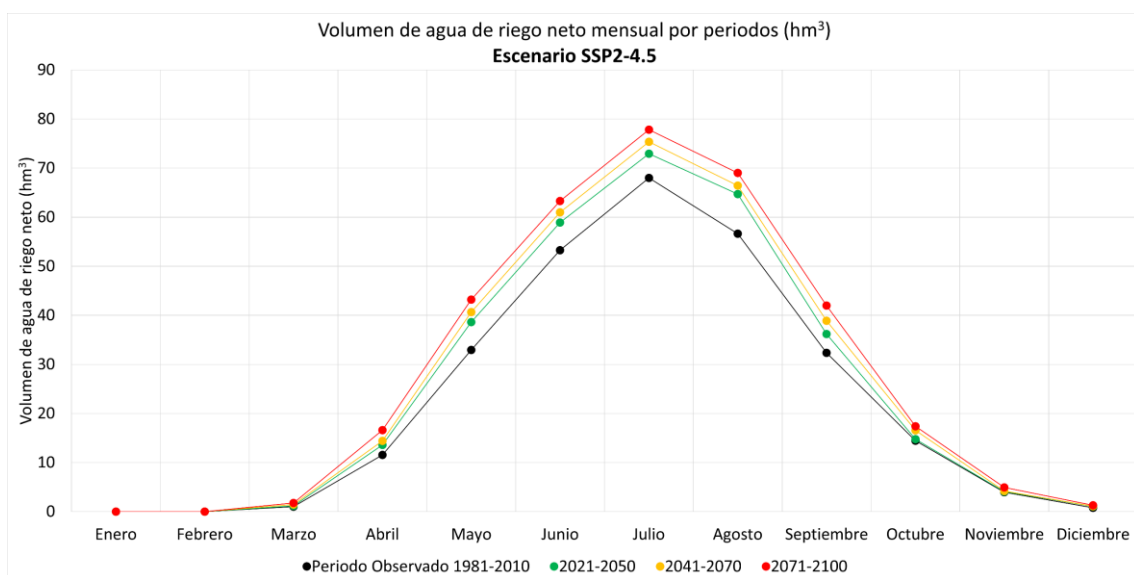
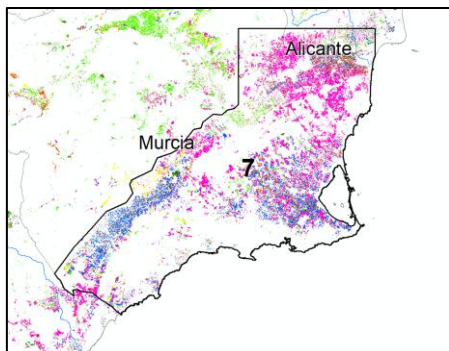


Figura X-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla X-1 para la Zona 6. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

XI. Zona 7. Campo de Cartagena-Demarcación Hidrográfica del Segura



ECLIMAR

DEMANDA DE AGUA, ETc, Y DEMANDA DE AGUA DE RIEGO, R, EN EL HORIZONTE 2015-2100

Zona 7. Campo de Cartagena- Demarcación Hidrográfica del Segura

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	102
RESULTADOS	103
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	103
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	104
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	106
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo..	107
E.- Demandas de agua de riego globales.....	109

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 7. Campo de Cartagena-Demarcación Hidrográfica del Segura, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los períodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los períodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura XI-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

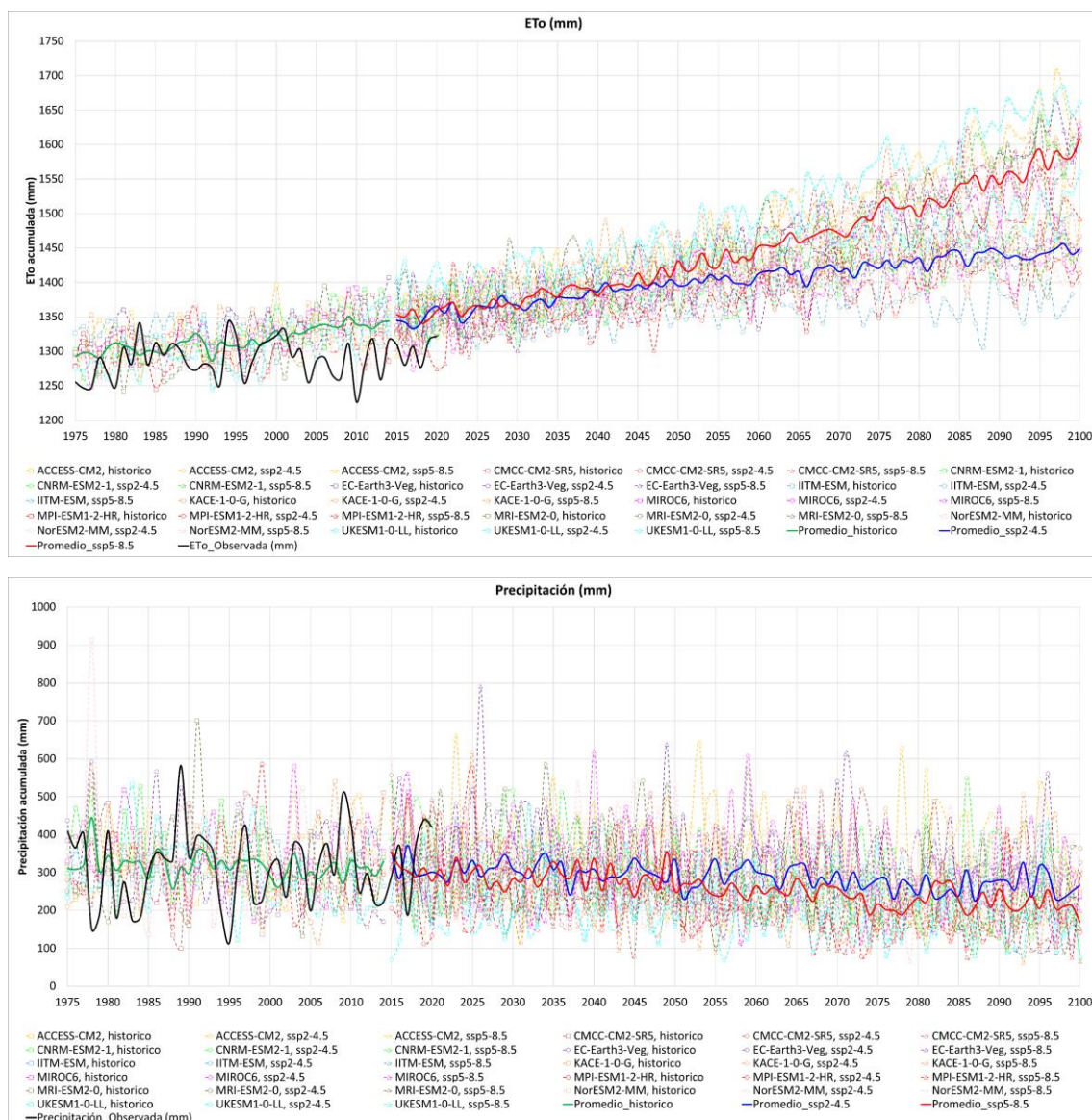


Figura XI-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 7 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

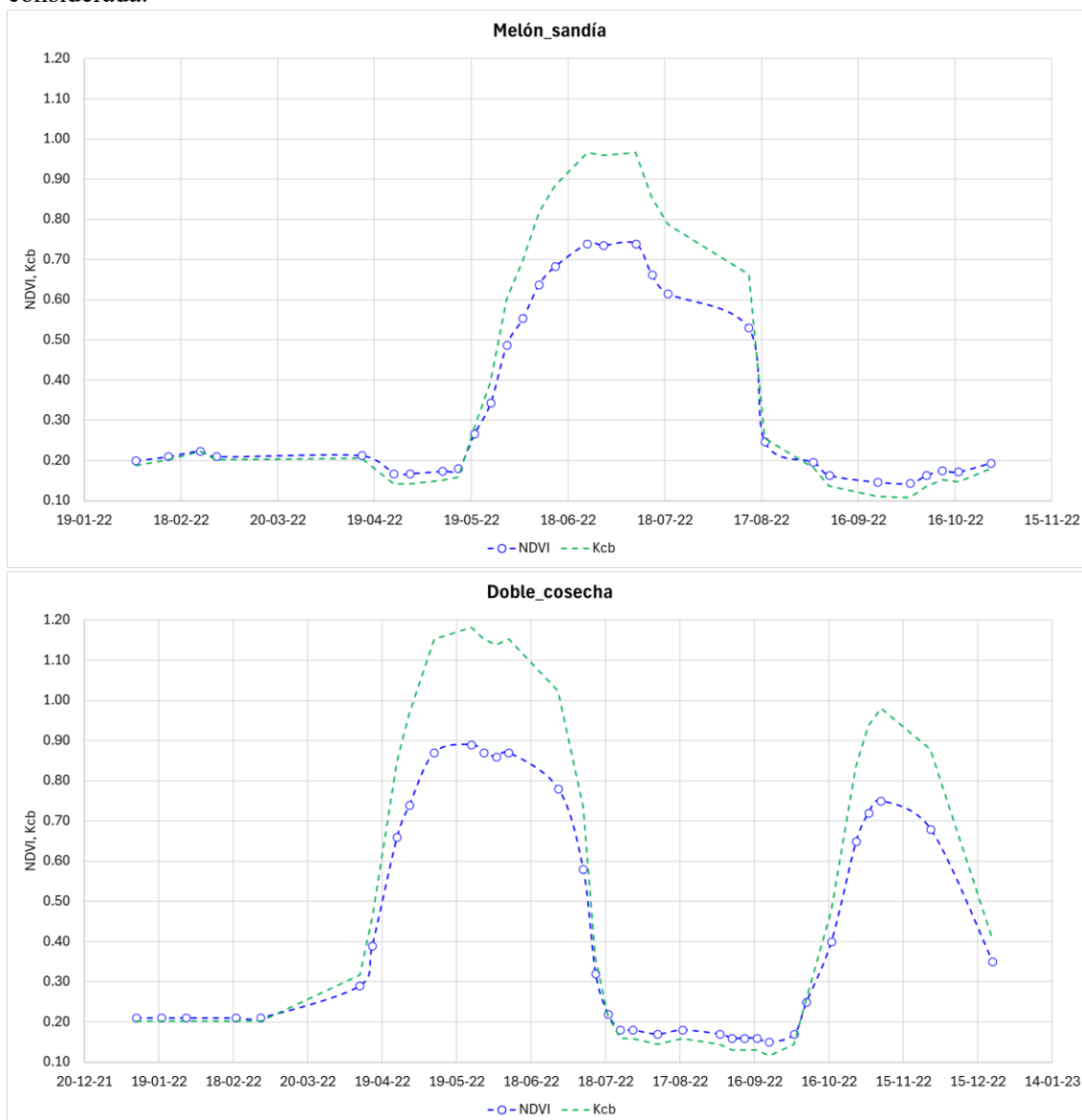
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla XI-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla XI-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 7.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Melón_sandía	11242	18.7
Doble_cosecha	5824	9.7
Cítrico	42925	71.6

La Figura XI-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.



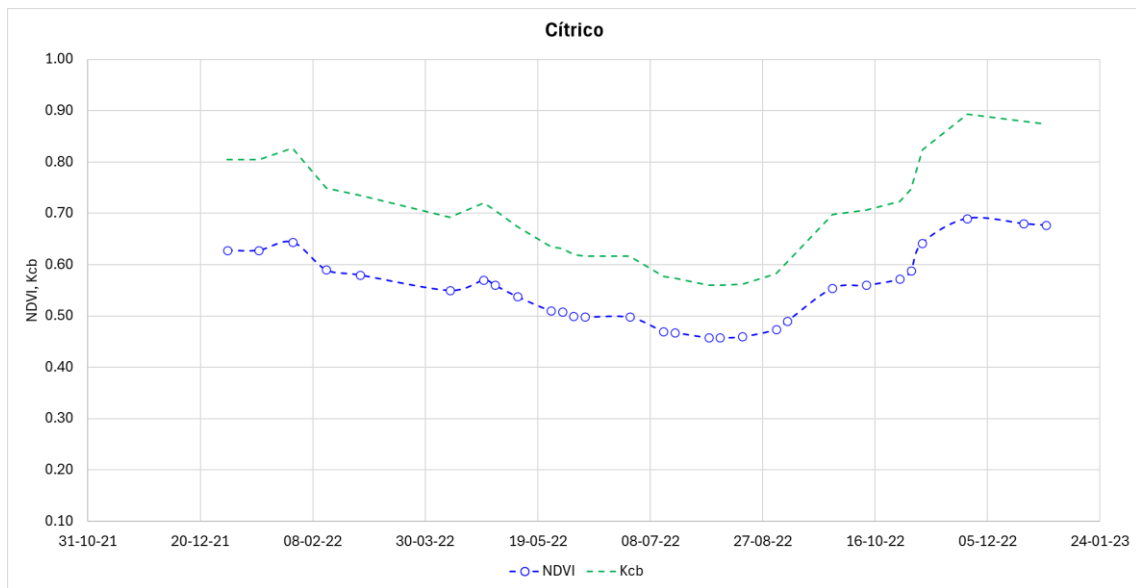


Figura XI-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 7.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla XI-2 y Tabla XI-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XI-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 7, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Melón_sandía	2021-2050	5	8	2	2	6	8	3	1
	2041-2070	7	10	2	2	9	12	6	2
	2071-2100	9	12	3	2	16	20	8	3
Doble_cosecha	2021-2050	5	8	2	2	5	8	2	2
	2041-2070	7	11	3	2	9	12	6	2
	2071-2100	9	13	3	2	17	22	9	3
Cítrico	2021-2050	4	7	2	2	4	7	2	2
	2041-2070	6	10	2	2	8	11	4	2
	2071-2100	8	12	2	2	14	20	8	3

Tabla XI-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 7, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Melón_sandía	2021-2050	6	11	4	2	8	11	4	2
	2041-2070	9	14	5	3	12	18	8	2
	2071-2100	12	16	6	3	21	27	12	4
Doble_cosecha	2021-2050	6	11	4	2	7	12	4	2
	2041-2070	8	14	6	2	12	17	9	2
	2071-2100	12	18	6	3	23	29	14	4
Cítrico	2021-2050	8	23	3	5	10	19	4	4
	2041-2070	12	27	8	5	18	28	13	4
	2071-2100	18	30	10	5	33	47	19	7

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura XI-3 y la Figura XI-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

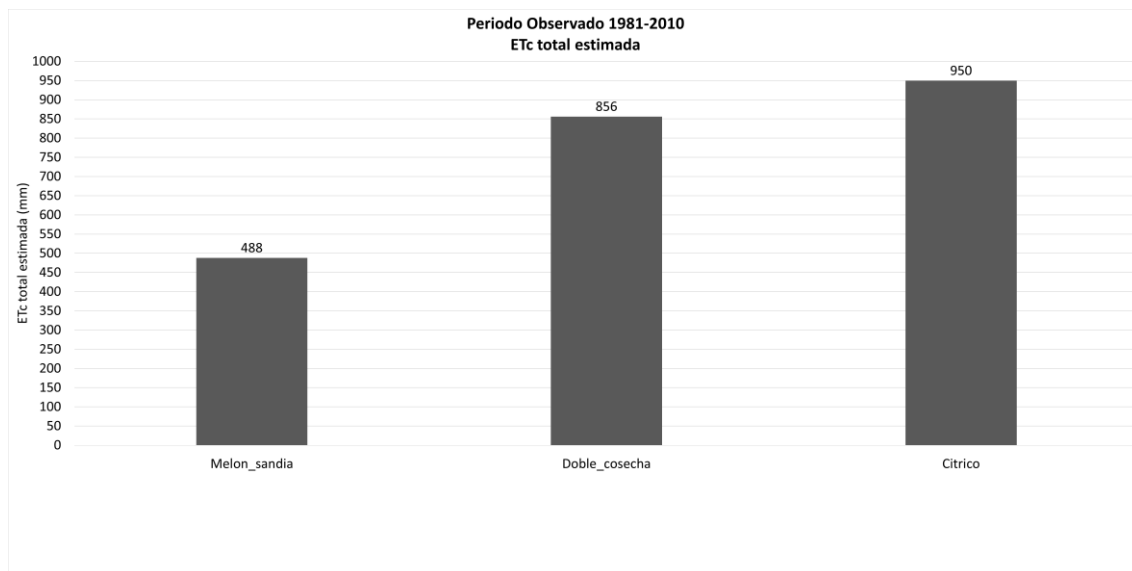


Figura XI-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 7 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

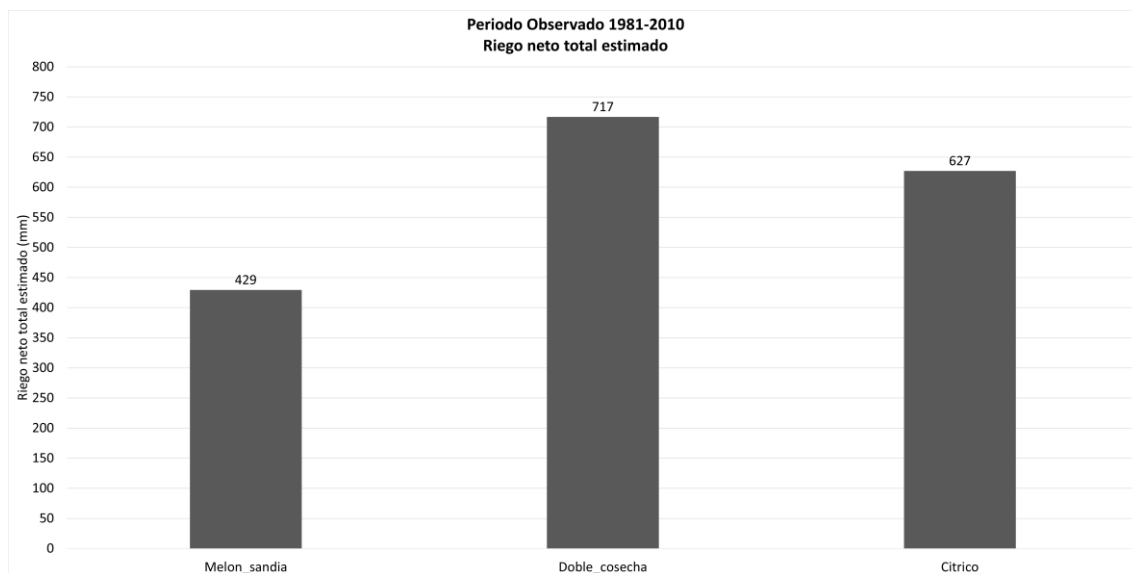


Figura XI-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 7 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla XI-4 y Tabla XI-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XI-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 7, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Melón_sandía	2021-2050	511	526	496	7	516	525	502	7
	2041-2070	521	538	500	10	531	544	515	8
	2071-2100	531	547	504	10	564	584	529	14
Doble_cosecha	2021-2050	895	924	875	13	899	926	877	14
	2041-2070	912	951	883	17	932	962	909	15
	2071-2100	931	970	882	21	998	1045	937	26
Cítrico	2021-2050	988	1020	965	15	992	1017	970	15
	2041-2070	1004	1049	971	20	1022	1057	991	17
	2071-2100	1022	1064	970	23	1085	1140	1025	28

Tabla XI-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 7, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Melón_sandía	2021-2050	455	477	445	8	463	477	446	10
	2041-2070	467	490	450	12	482	505	465	10
	2071-2100	482	497	457	11	519	543	479	15
Doble_cosecha	2021-2050	756	796	744	15	764	804	747	18
	2041-2070	777	818	757	15	805	838	781	16
	2071-2100	803	843	758	19	880	925	816	26
Cítrico	2021-2050	676	769	644	32	692	746	651	26
	2041-2070	704	793	676	32	740	806	709	27
	2071-2100	740	814	690	29	833	921	747	42

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla XI-1).

En la Figura XI-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla XI-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura XI-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

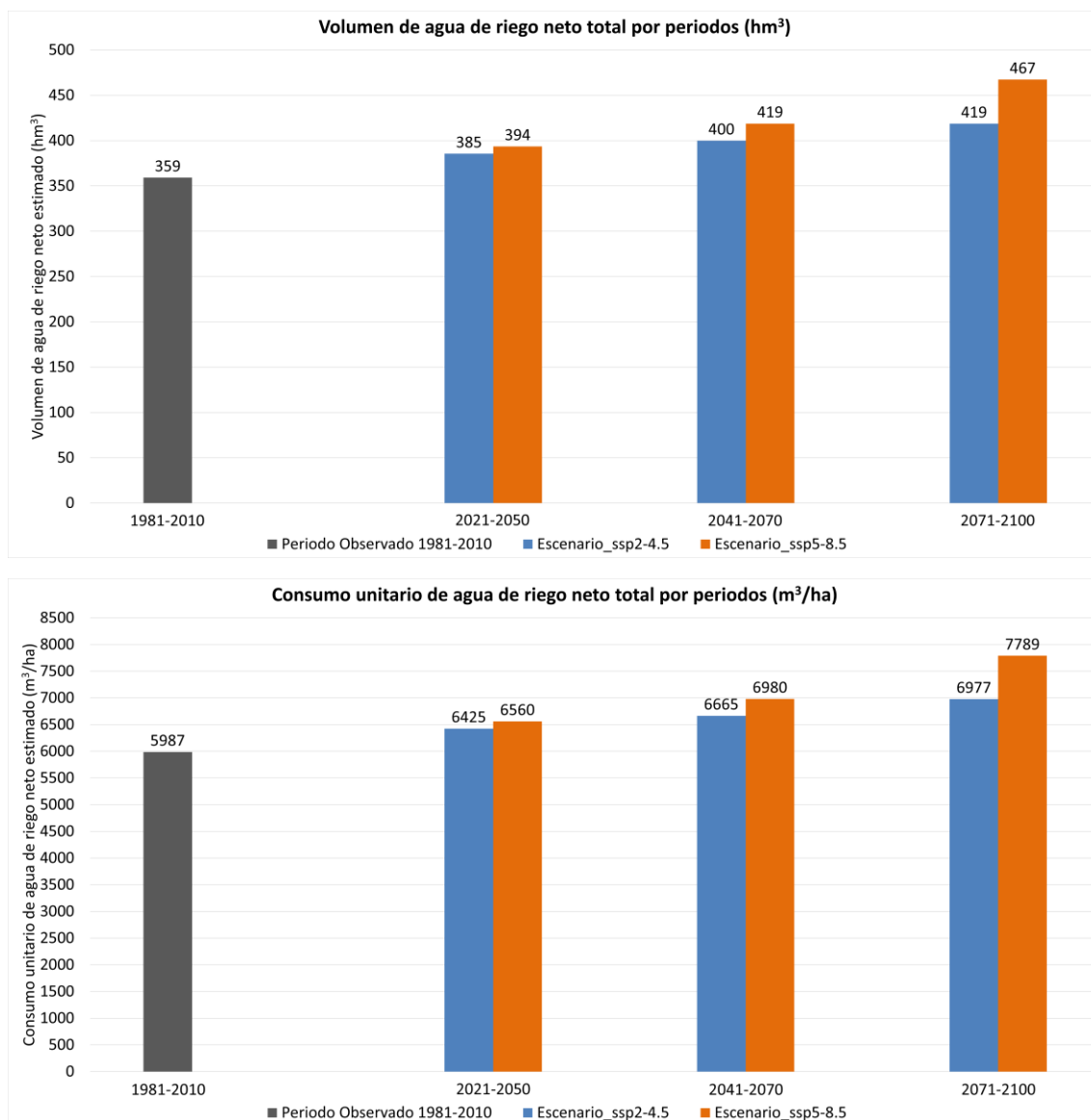


Figura XI-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XI-1 para la Zona 7. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

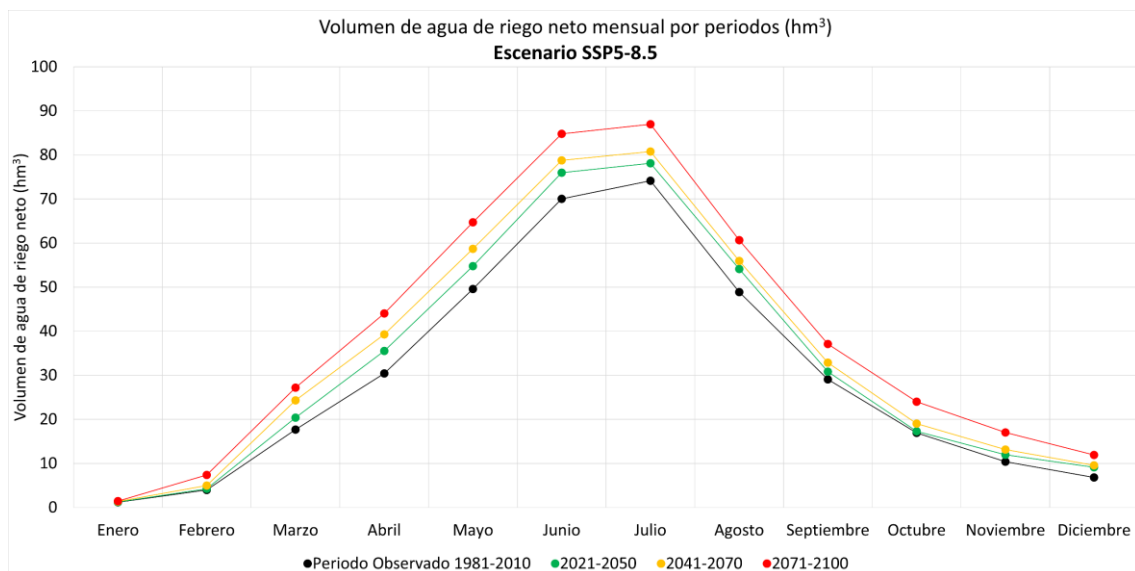
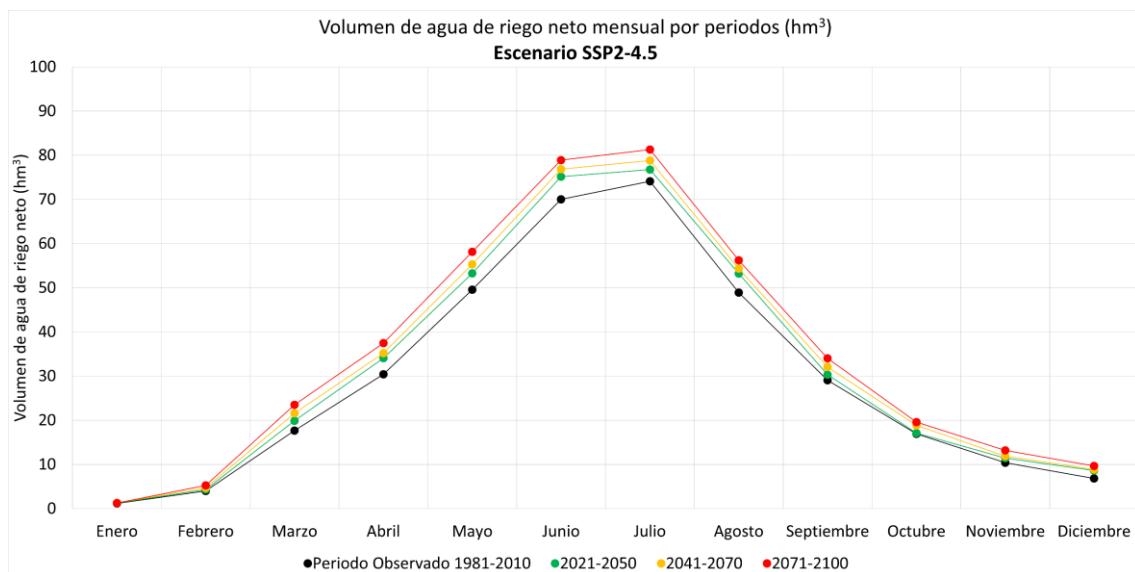
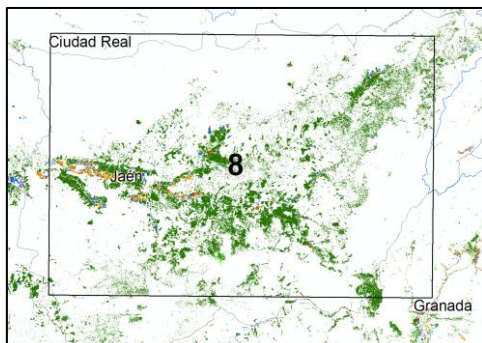


Figura XI-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XI-1 para la Zona 7. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

XII. Zona 8. Jaén-Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir



ECLIMAR

**DEMANDA DE AGUA, ETc, Y
DEMANDA DE AGUA DE
RIEGO, R, EN EL
HORIZONTE 2015-2100**

**Zona 8. Jaén-Demarcación
Hidrográfica del Guadalquivir**

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	112
RESULTADOS	113
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	113
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	114
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	115
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo..	116
E.- Demandas de agua de riego globales.....	118

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 8. Jaén-Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los períodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los períodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura XII-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, E_{To} , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

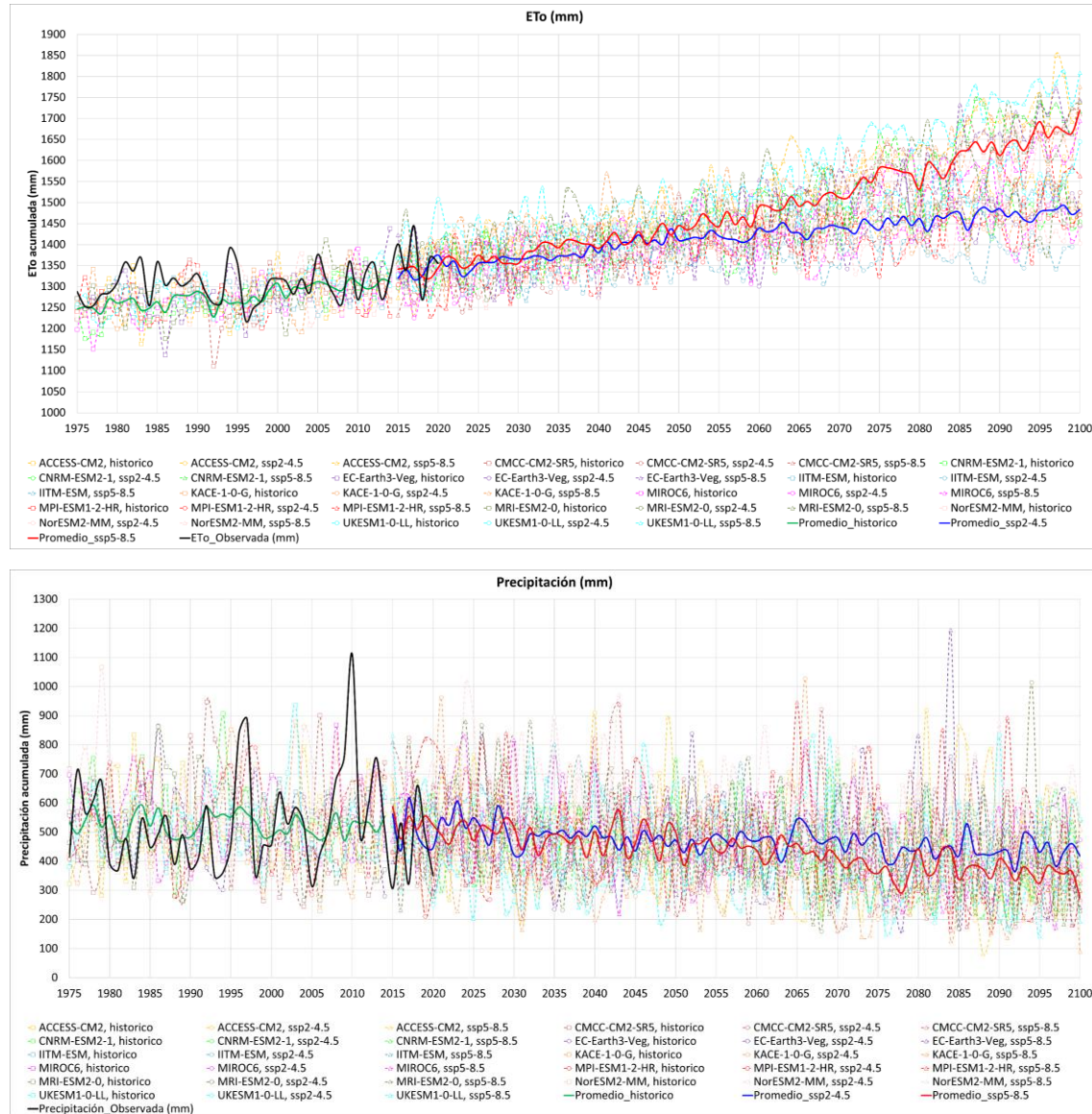


Figura XII-1. Evapotranspiración de referencia, E_{To} , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 8 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla XII-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla XII-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 8.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Olivo	309508	100.0

La Figura XII-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.

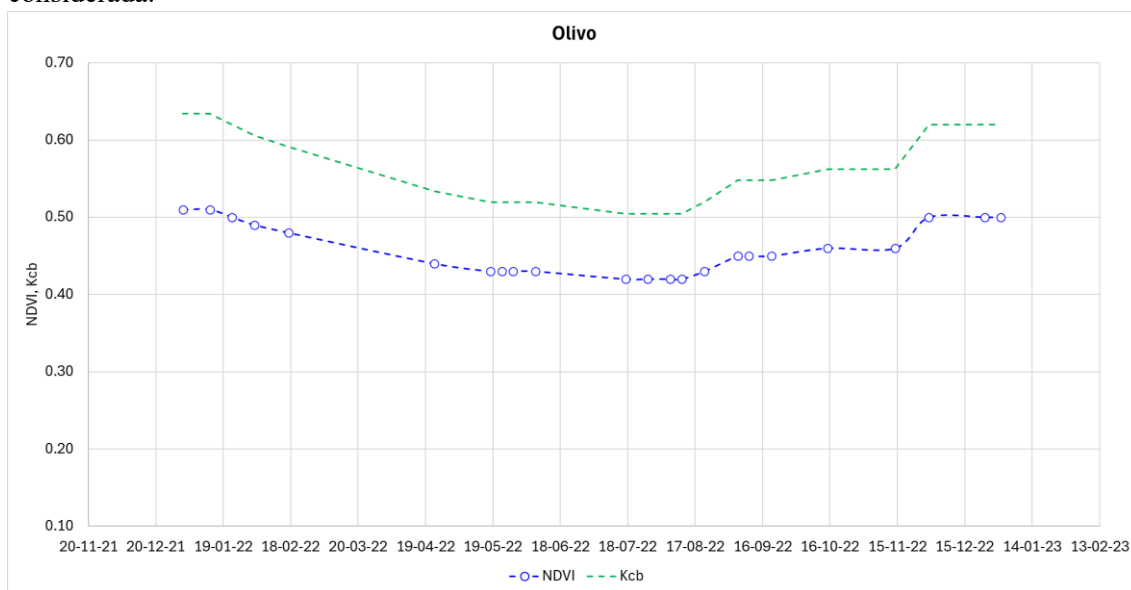


Figura XII-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 8.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla XII-2 y Tabla XII-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XII-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 8, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Olivo	2021-2050	7	9	5	2	7	10	5	2
	2041-2070	9	13	5	2	11	14	7	2
	2071-2100	11	15	5	3	20	25	13	3

Tabla XII-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 8, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Olivo	2021-2050	16	31	9	6	19	29	10	5
	2041-2070	23	35	15	6	31	43	21	6
	2071-2100	31	46	21	6	57	75	36	11

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura XII-3 y la Figura XII-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

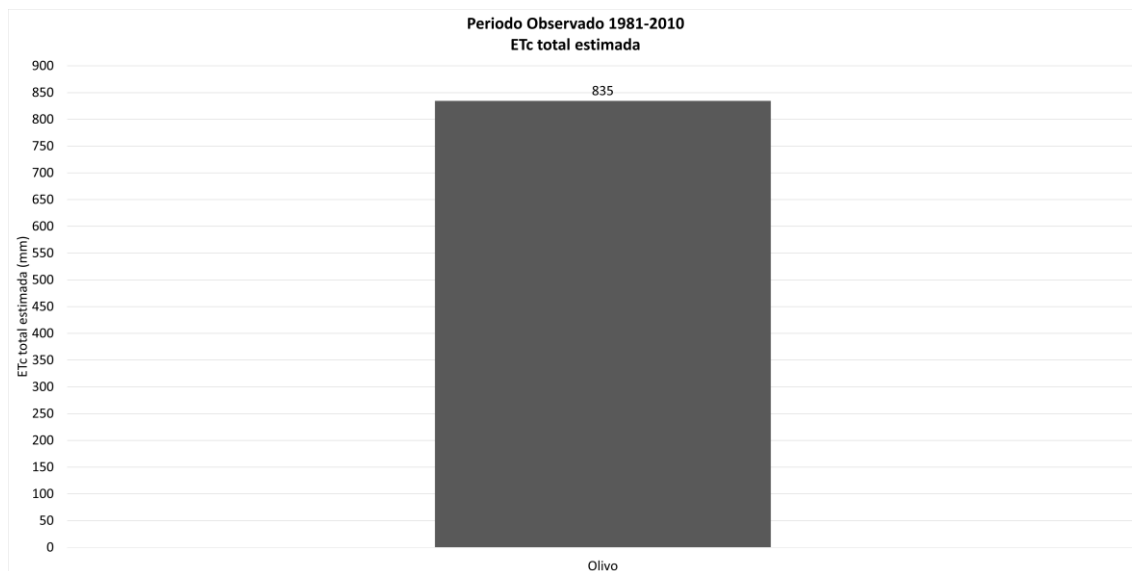


Figura XII-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 8 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

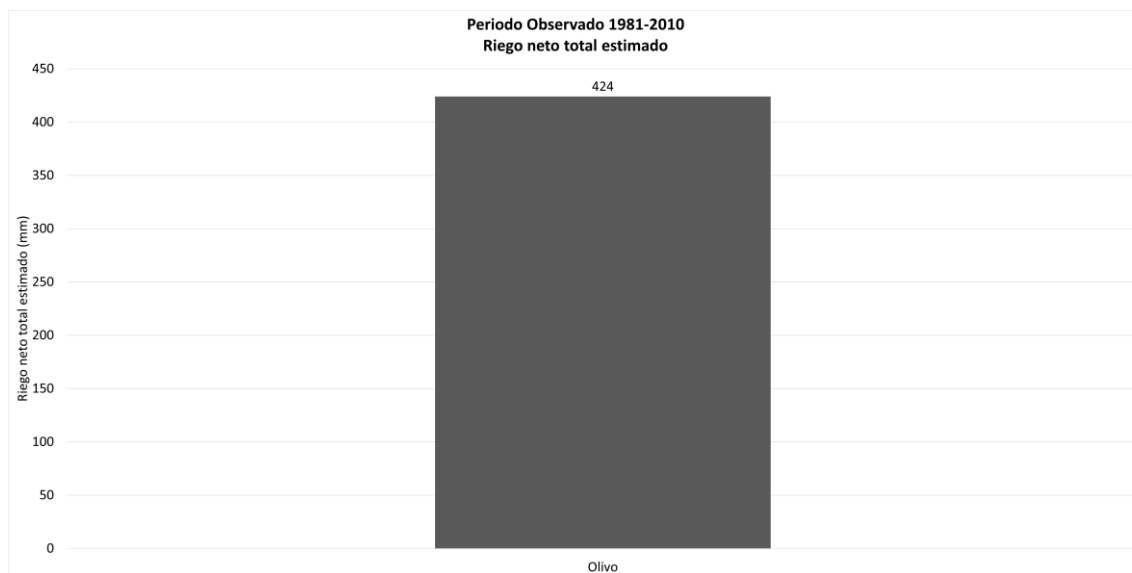


Figura XII-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 8 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla XII-4 y Tabla XII-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XII-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 8, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Olivo	2021-2050	889	913	873	13	894	922	873	14
	2041-2070	907	944	880	18	926	950	897	17
	2071-2100	926	960	876	23	999	1047	942	28

Tabla XII-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 8, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Olivo	2021-2050	491	554	464	24	506	547	465	23
	2041-2070	522	571	486	25	555	607	515	26
	2071-2100	557	618	511	24	665	741	576	45

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla XII-1).

En la Figura XII-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla XII-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura XII-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

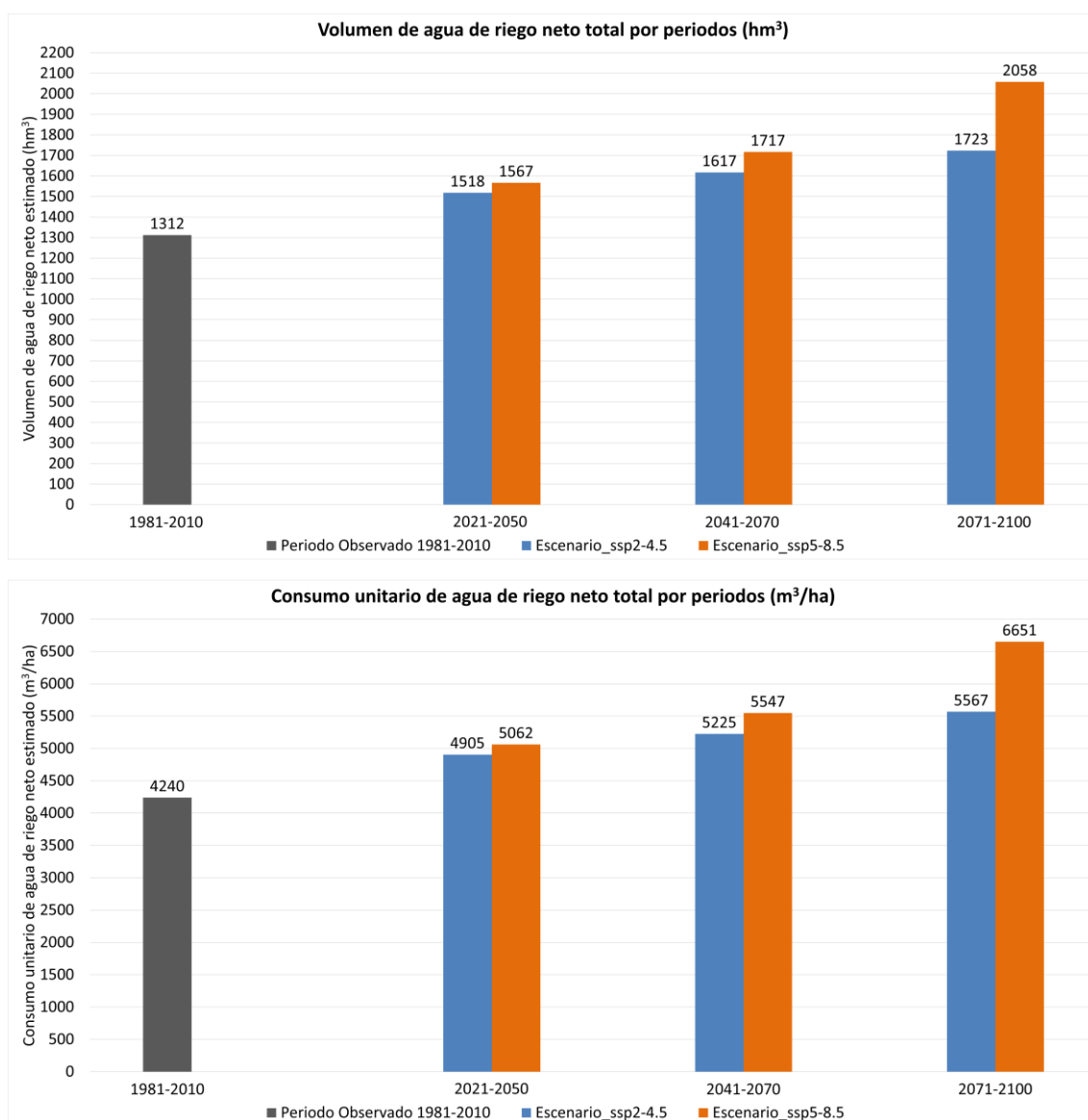


Figura XII-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XII-1 para la Zona 8. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

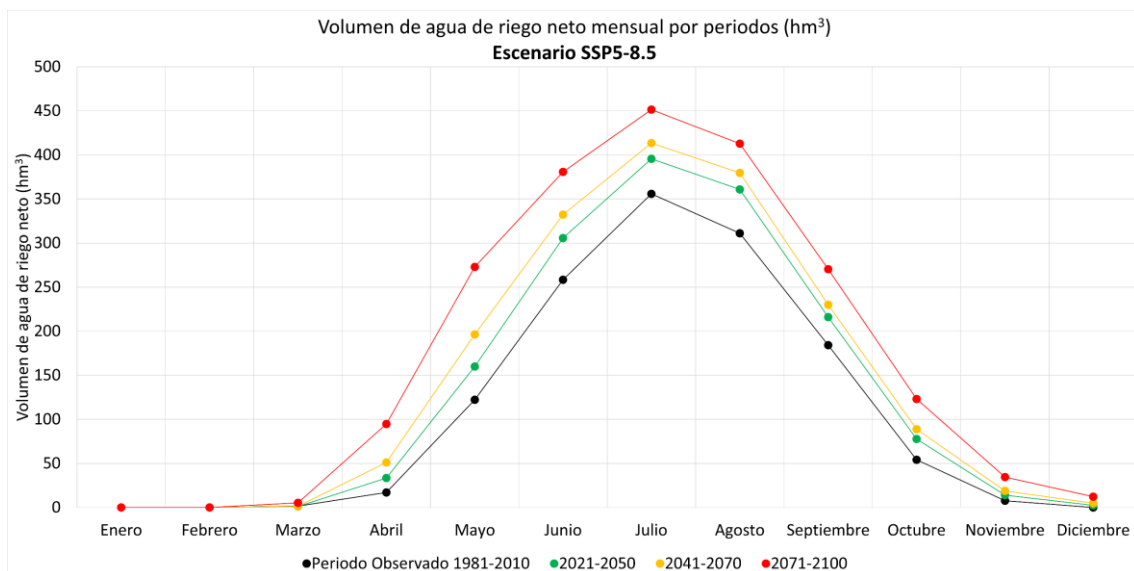
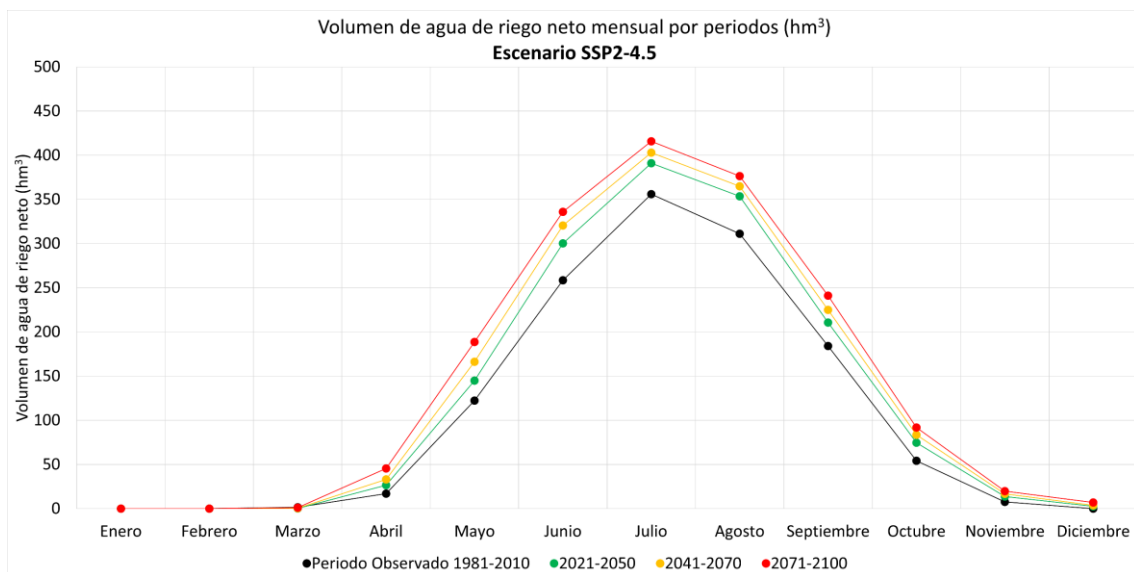
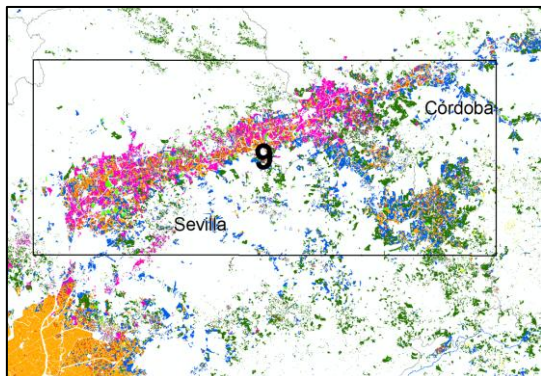


Figura XII-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XII-1 para la Zona 8. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

XIII. Zona 9. Sevilla, Córdoba-Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir



ECLIMAR

**DEMANDA DE AGUA,
ETc, Y DEMANDA DE
AGUA DE RIEGO, R, EN
EL HORIZONTE 2015-2100**

**Zona 9. Sevilla, Córdoba-
Demarcación Hidrográfica
del Guadalquivir**

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	121
RESULTADOS	122
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	122
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	123
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	127
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo..	129
E.- Demandas de agua de riego globales.....	132

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 9. Sevilla, Córdoba-Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los períodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los períodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura XIII-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

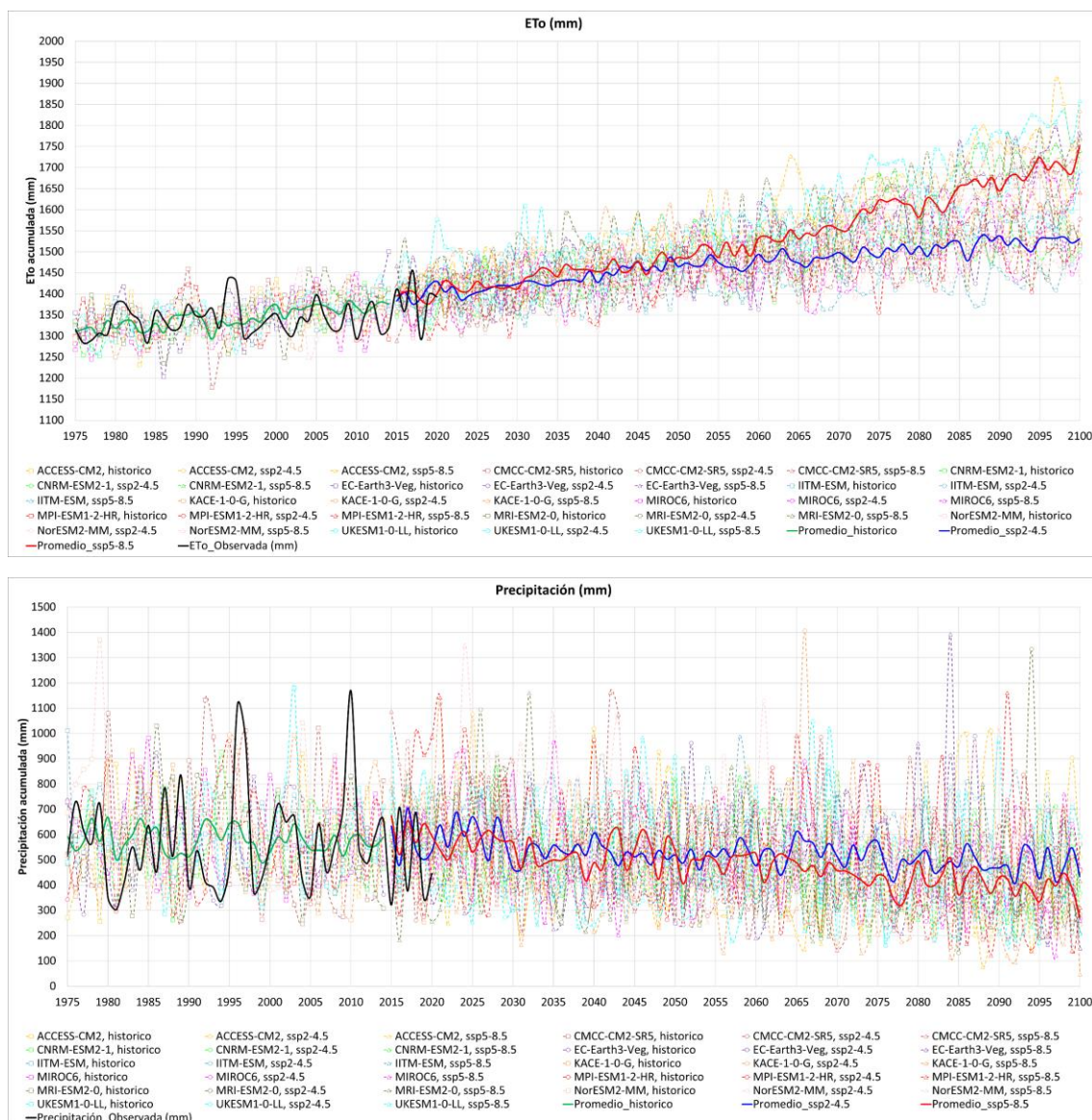


Figura XIII-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 9 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

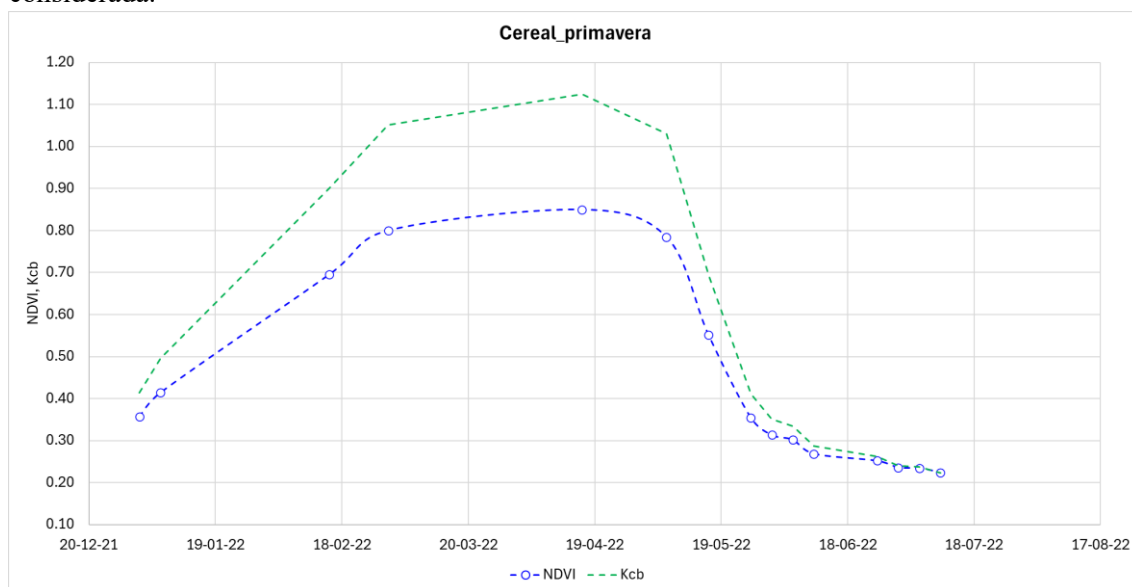
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

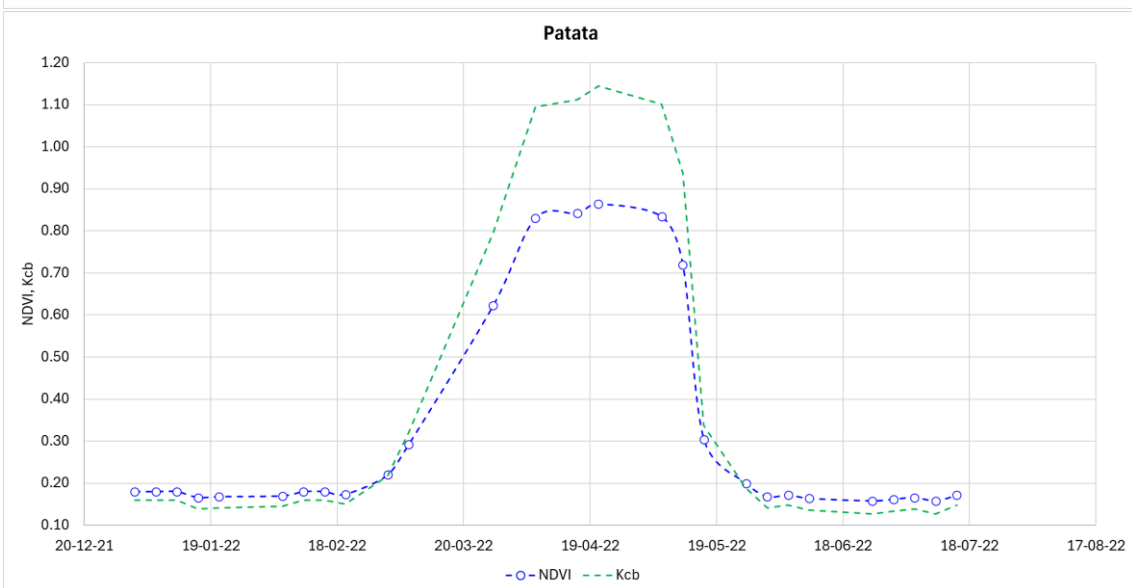
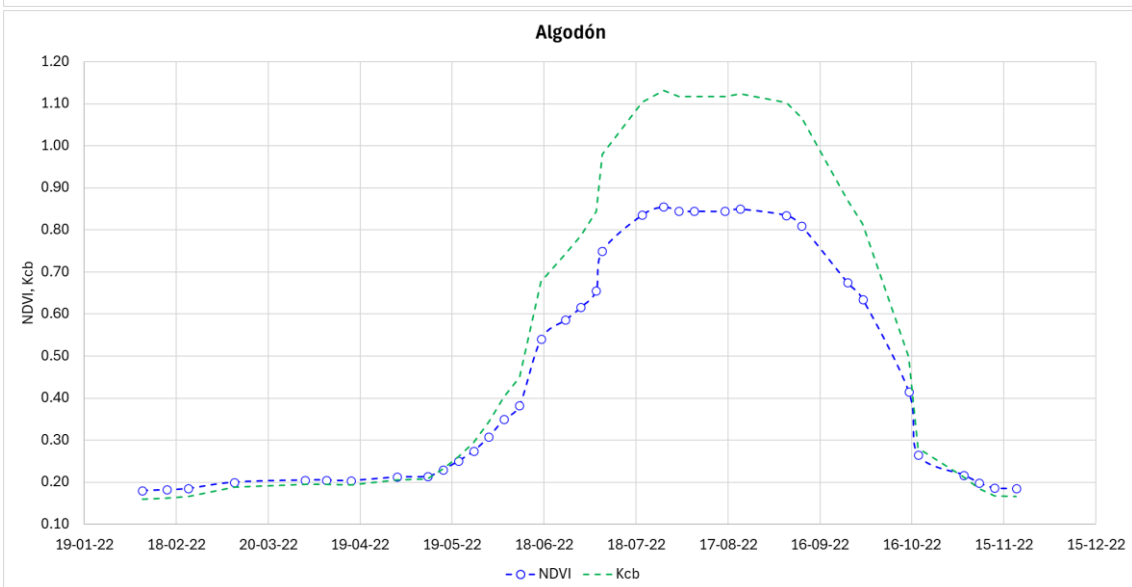
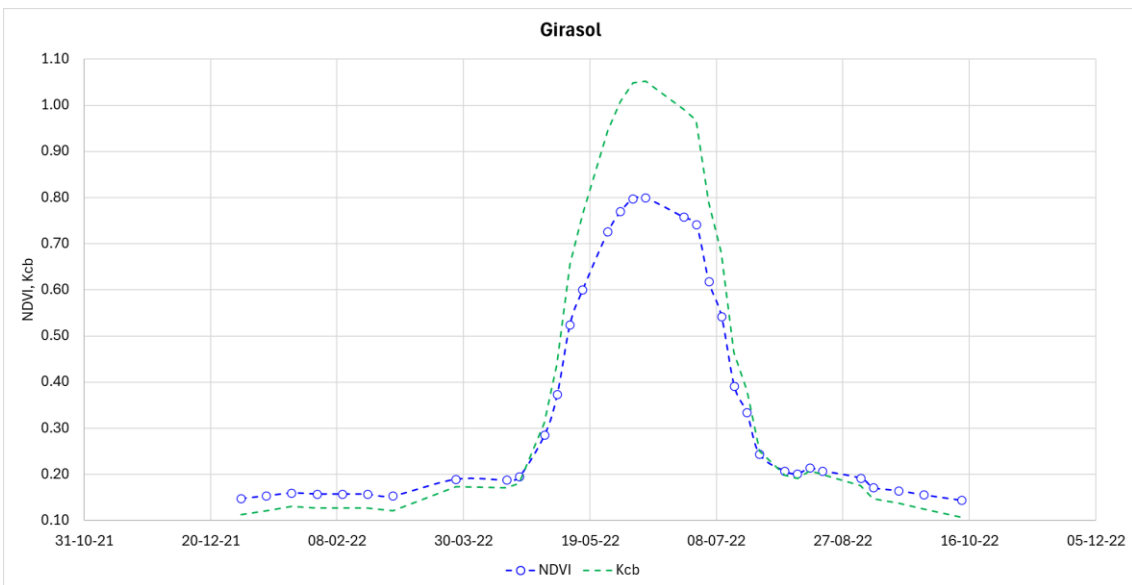
Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla XIII-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla XIII-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 9.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Cereal primavera	15586	4.5
Girasol	6846	2.0
Algodón	38805	11.1
Patata	6473	1.9
Remolacha azucarera	5141	1.5
Cebolla	4003	1.1
Cítrico	46043	13.2
Olivo	197375	56.6
Frutal cáscara	26145	7.5
Melocotonero	2405	0.7

La Figura XIII-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.





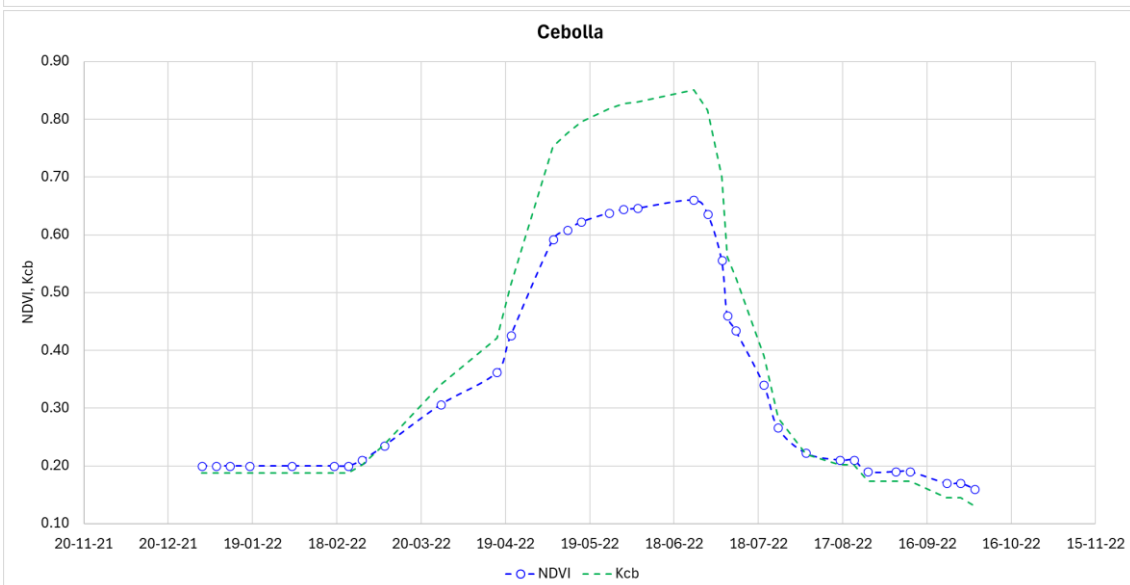
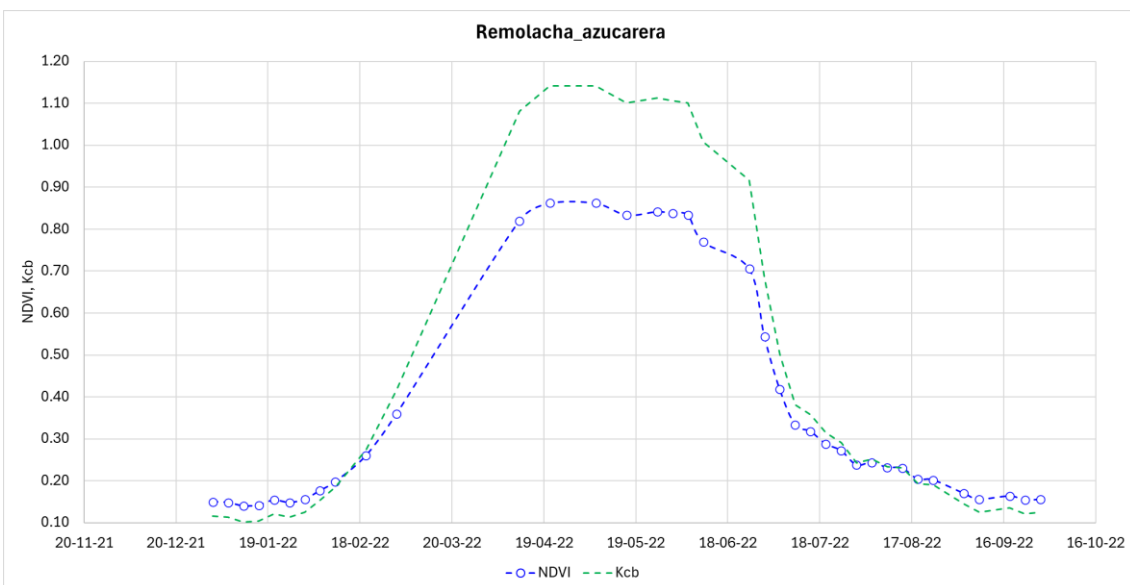




Figura XIII-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 9.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla XIII-2 y Tabla XIII-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XIII-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 9, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	6	9	3	2	7	11	4	2
	2041-2070	8	12	6	2	11	15	6	3
	2071-2100	11	17	5	3	21	28	14	5
Girasol	2021-2050	5	8	3	1	6	9	4	2
	2041-2070	8	10	5	1	10	12	8	1
	2071-2100	10	13	6	2	18	20	13	2
Algodón	2021-2050	6	9	4	2	7	12	5	2
	2041-2070	9	12	5	2	11	15	8	2
	2071-2100	12	15	7	2	20	25	14	3
Patata	2021-2050	5	7	3	1	6	11	1	3
	2041-2070	7	11	4	2	9	13	4	3
	2071-2100	9	15	4	3	18	26	10	5
Remolacha_azucarera	2021-2050	6	8	4	1	7	10	3	2
	2041-2070	8	11	6	2	11	14	7	2
	2071-2100	11	15	6	2	20	25	13	3
Cebolla	2021-2050	5	8	4	1	6	10	3	2
	2041-2070	8	11	6	2	10	13	7	2
	2071-2100	10	14	5	2	19	22	13	3
Cítrico	2021-2050	6	10	4	2	7	10	5	2
	2041-2070	9	13	6	2	12	15	8	2
	2071-2100	12	17	6	3	21	28	14	4
Olivo	2021-2050	6	9	4	2	7	9	4	2
	2041-2070	8	12	6	2	10	13	7	2
	2071-2100	11	15	5	3	19	25	13	3
Frutal_cáscara	2021-2050	6	8	4	1	6	9	4	1
	2041-2070	8	11	5	2	9	12	7	2
	2071-2100	10	14	5	2	17	21	11	3
Melocotonero	2021-2050	6	9	4	2	7	10	5	2
	2041-2070	9	13	6	2	11	14	8	2
	2071-2100	12	16	6	3	20	26	13	3

Tabla XIII-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 9, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	11	20	-1	6	17	33	0	8
	2041-2070	18	32	2	7	28	37	13	7
	2071-2100	26	41	5	10	54	71	32	12
Girasol	2021-2050	8	13	3	3	10	16	3	4
	2041-2070	13	17	6	3	17	21	12	3
	2071-2100	17	22	8	4	30	37	18	5
Algodón	2021-2050	8	13	5	2	9	13	4	3
	2041-2070	12	16	7	3	14	18	9	3
	2071-2100	15	20	9	3	25	31	16	4
Patata	2021-2050	7	14	3	3	10	19	3	5
	2041-2070	12	21	3	5	17	24	7	5
	2071-2100	18	27	8	6	36	44	23	8
Remolacha_azucarera	2021-2050	9	15	3	3	13	21	3	5
	2041-2070	15	20	7	3	20	25	14	4
	2071-2100	20	28	8	5	38	44	24	6
Cebolla	2021-2050	7	10	3	2	9	14	4	3
	2041-2070	11	15	6	2	14	18	9	3
	2071-2100	15	19	8	3	27	31	19	4
Cítrico	2021-2050	10	18	4	4	13	18	4	4
	2041-2070	15	21	6	4	20	27	13	4
	2071-2100	20	31	8	5	37	48	24	7
Olivo	2021-2050	12	22	4	4	15	21	4	5
	2041-2070	18	24	8	4	24	33	15	5
	2071-2100	24	37	9	6	45	58	28	9
Frutal_cáscara	2021-2050	11	19	5	4	14	19	3	4
	2041-2070	16	22	7	4	21	29	13	5
	2071-2100	22	32	9	5	39	50	24	7
Melocotonero	2021-2050	10	17	4	3	12	17	4	4
	2041-2070	15	21	7	4	20	26	12	4
	2071-2100	20	30	9	5	36	46	22	7

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del periodo 1981-2010.

La Figura XIII-3 y la Figura XIII-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

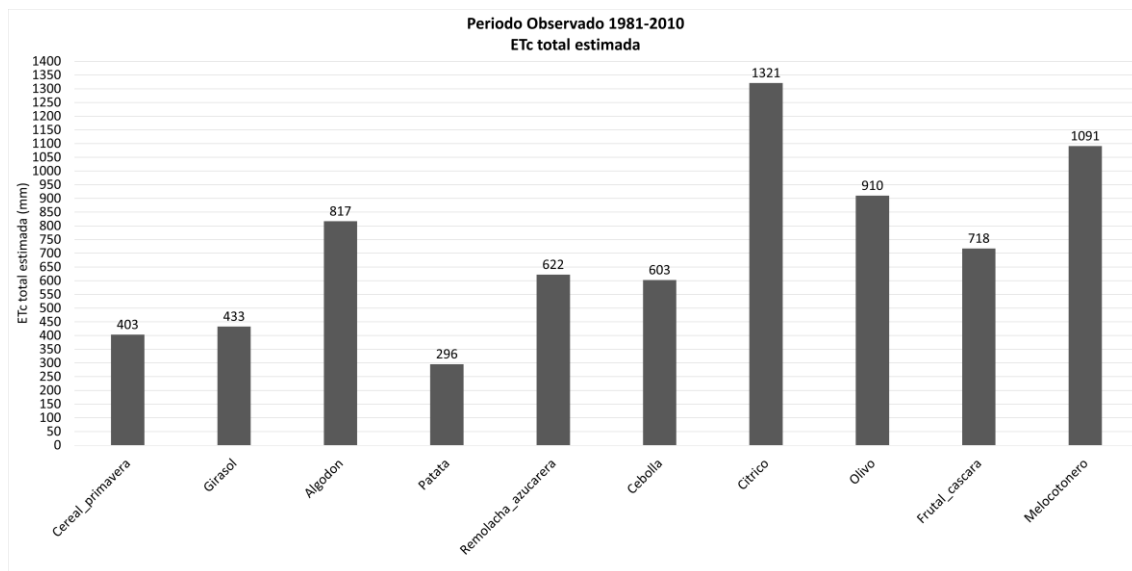


Figura XIII-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 9 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

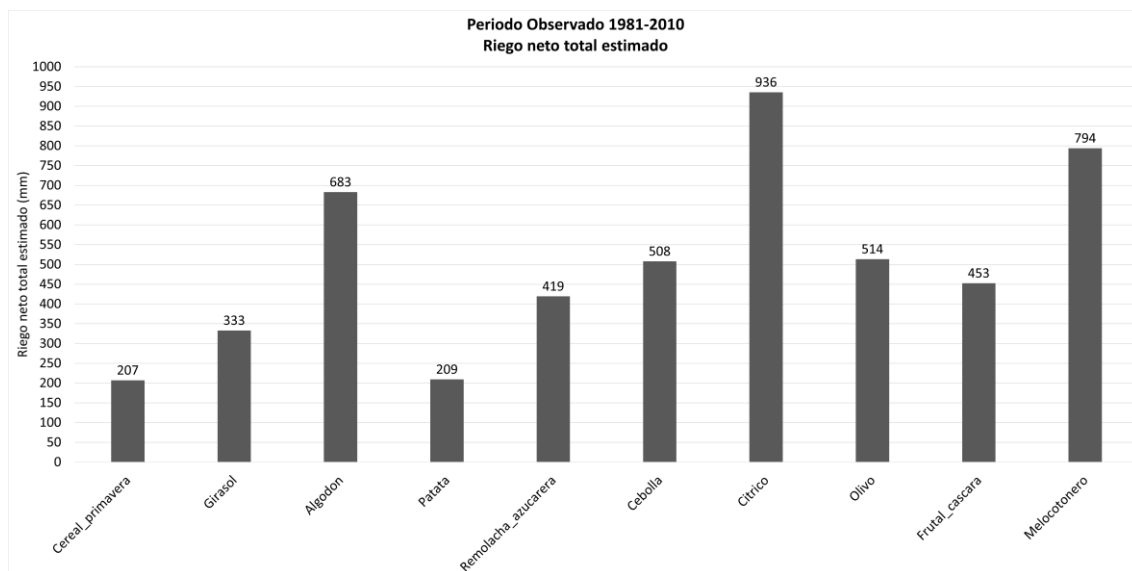


Figura XIII-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 9 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla XIII-4 y Tabla XIII-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XIII-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 9, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	427	439	417	6	430	448	418	9
	2041-2070	436	450	426	7	446	462	427	10
	2071-2100	446	471	423	13	487	518	458	18
Girasol	2021-2050	456	469	445	6	460	473	451	7
	2041-2070	466	477	456	6	475	486	467	6
	2071-2100	476	487	457	7	510	521	490	9
Algodón	2021-2050	869	891	846	15	876	911	855	15
	2041-2070	891	919	860	19	908	937	881	17
	2071-2100	913	940	874	19	980	1017	931	27
Patata	2021-2050	311	317	304	4	313	327	300	8
	2041-2070	317	328	308	6	324	334	307	8
	2071-2100	324	340	308	10	350	371	327	14
Remolacha_azucarera	2021-2050	659	674	646	9	663	685	643	12
	2041-2070	673	693	662	11	689	706	667	12
	2071-2100	690	716	661	14	747	777	702	20
Cebolla	2021-2050	635	651	625	8	641	661	623	10
	2041-2070	649	667	640	10	663	678	646	10
	2071-2100	665	687	635	13	715	737	679	16
Cítrico	2021-2050	1407	1453	1376	25	1418	1457	1387	24
	2041-2070	1442	1494	1397	30	1473	1519	1429	31
	2071-2100	1480	1542	1404	37	1605	1693	1512	50
Olivo	2021-2050	965	989	949	15	970	994	951	14
	2041-2070	984	1017	961	19	1003	1031	977	18
	2071-2100	1006	1047	959	24	1082	1136	1025	31
Frutal_cáscara	2021-2050	759	777	749	10	761	781	749	10
	2041-2070	772	797	755	14	785	805	767	12
	2071-2100	787	820	756	17	839	872	794	22
Melocotonero	2021-2050	1161	1194	1139	19	1169	1201	1146	18
	2041-2070	1189	1228	1156	24	1213	1248	1181	23
	2071-2100	1218	1262	1162	27	1313	1374	1237	38

Tabla XIII-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 9, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	229	248	205	12	242	276	208	16
	2041-2070	244	273	212	15	264	284	235	14
	2071-2100	262	292	217	21	319	354	274	26
Girasol	2021-2050	360	376	343	10	368	386	344	12
	2041-2070	375	389	354	11	388	404	373	10
	2071-2100	390	407	358	12	433	456	394	15
Algodón	2021-2050	736	773	714	17	746	773	710	17
	2041-2070	762	793	728	20	779	809	745	21
	2071-2100	786	822	746	19	852	895	791	30
Patata	2021-2050	225	239	215	7	231	250	215	9
	2041-2070	234	253	215	10	245	259	224	9
	2071-2100	246	265	226	12	285	301	258	16
Remolacha_azucarera	2021-2050	459	482	431	14	473	507	432	20
	2041-2070	481	504	447	14	505	523	479	17
	2071-2100	505	536	451	22	579	605	519	26
Cebolla	2021-2050	541	559	521	11	553	578	530	14
	2041-2070	562	582	537	12	581	598	555	13
	2071-2100	582	606	546	16	644	664	606	19
Cítrico	2021-2050	1027	1108	969	33	1053	1101	971	38
	2041-2070	1078	1132	996	35	1124	1186	1056	42
	2071-2100	1127	1226	1010	48	1286	1389	1162	67
Olivo	2021-2050	573	625	535	22	591	622	536	25
	2041-2070	606	639	554	21	637	683	589	28
	2071-2100	638	705	560	32	745	811	659	45
Frutal_cáscara	2021-2050	501	539	474	16	514	539	468	20
	2041-2070	527	553	486	18	549	582	512	21
	2071-2100	551	597	495	23	630	678	560	33
Melocotonero	2021-2050	871	933	829	26	892	931	827	30
	2041-2070	913	962	851	29	949	998	891	34
	2071-2100	952	1029	864	37	1077	1159	972	52

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla XIII-1).

En la Figura XIII-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla XIII-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura XIII-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

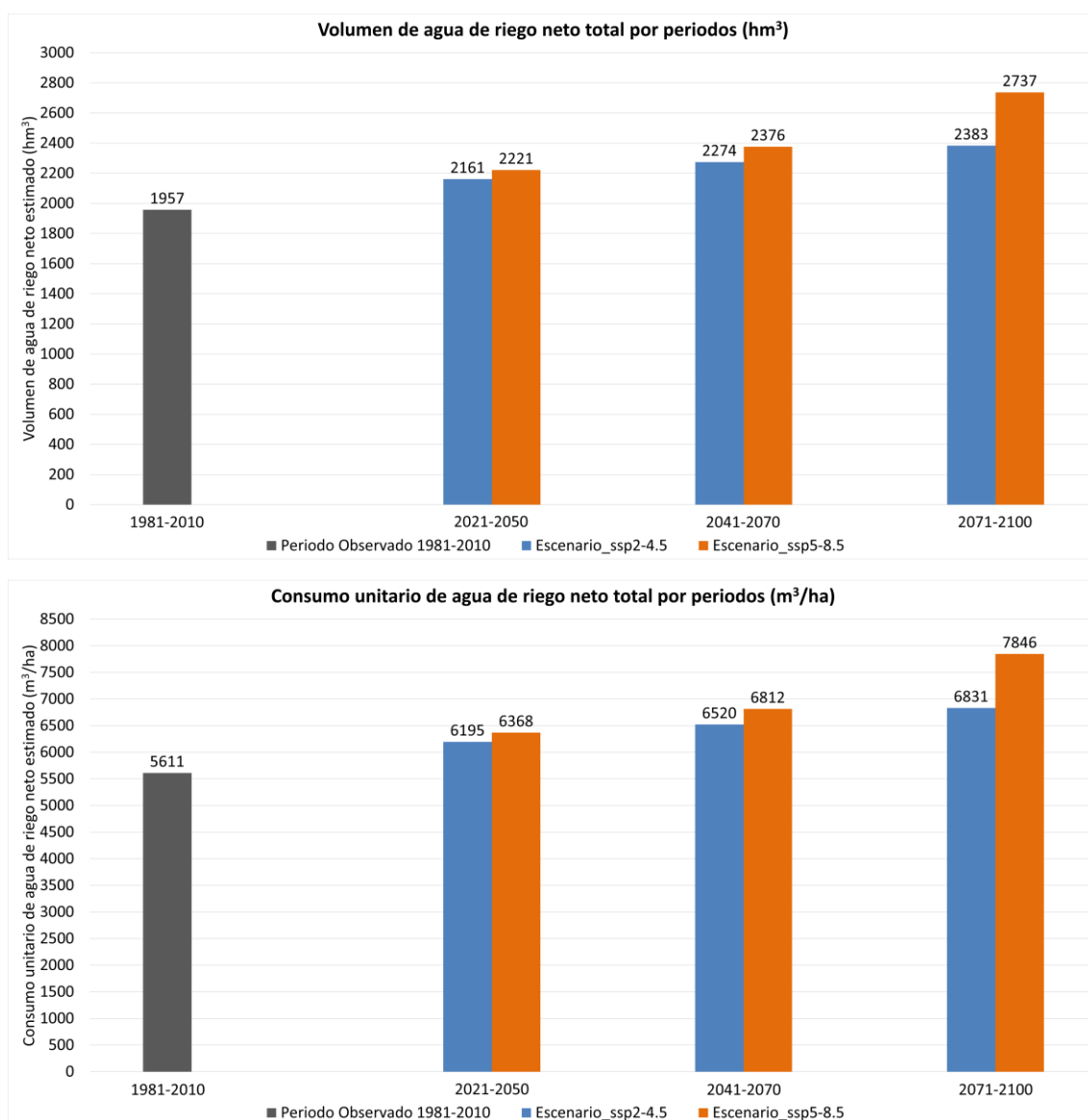


Figura XIII-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XIII-1 para la Zona 9. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

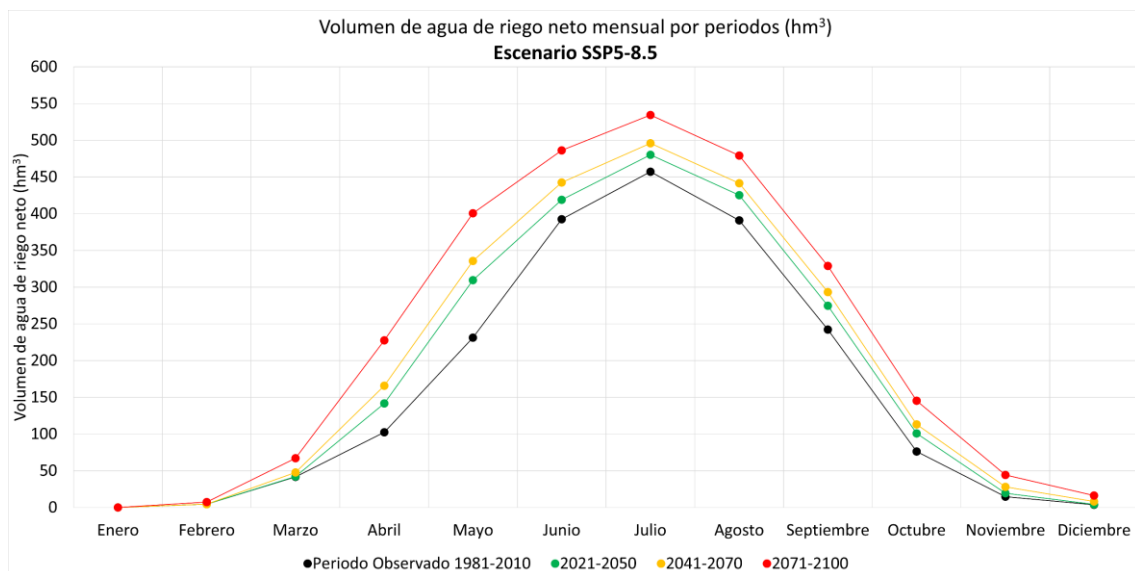
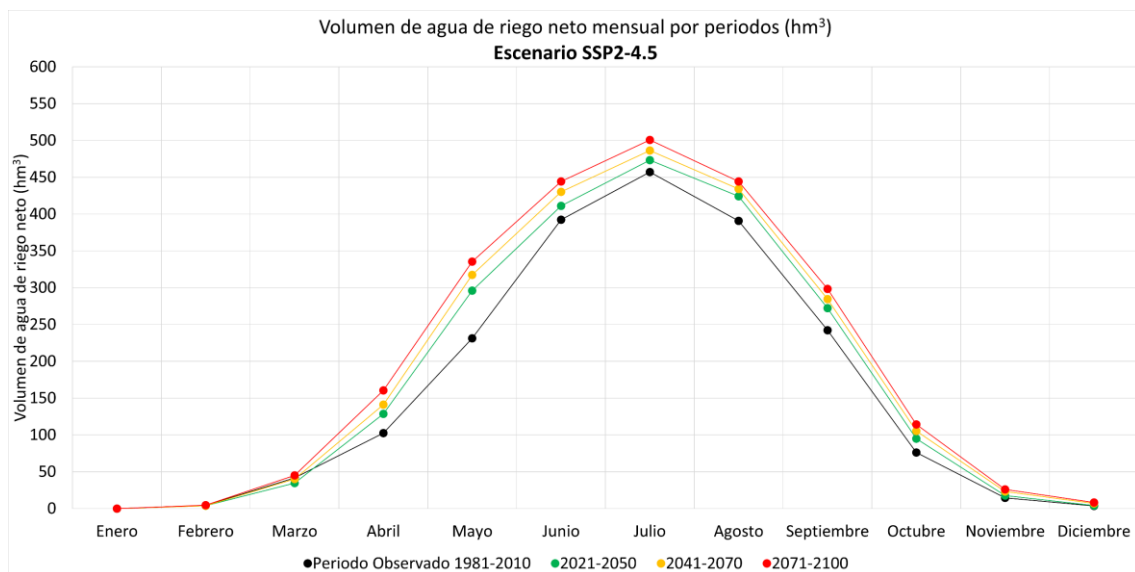
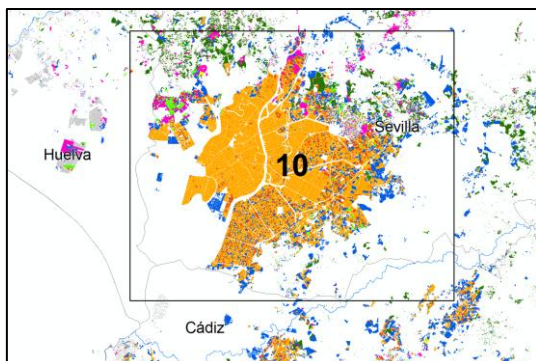


Figura XIII-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XIII-1 para la Zona 9. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

XIV. Zona 10. Bajo Guadalquivir-Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir



ECLIMAR

**DEMANDA DE AGUA,
ETc, Y DEMANDA DE
AGUA DE RIEGO, R, EN
EL HORIZONTE 2015-2100**

**Zona 10. Bajo Guadalquivir-
Demarcación Hidrográfica
del Guadalquivir**

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	135
RESULTADOS	136
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	136
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	137
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	138
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo..	140
E.- Demandas de agua de riego globales.....	142

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 10. Bajo Guadalquivir-Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los períodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los períodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura XIV-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

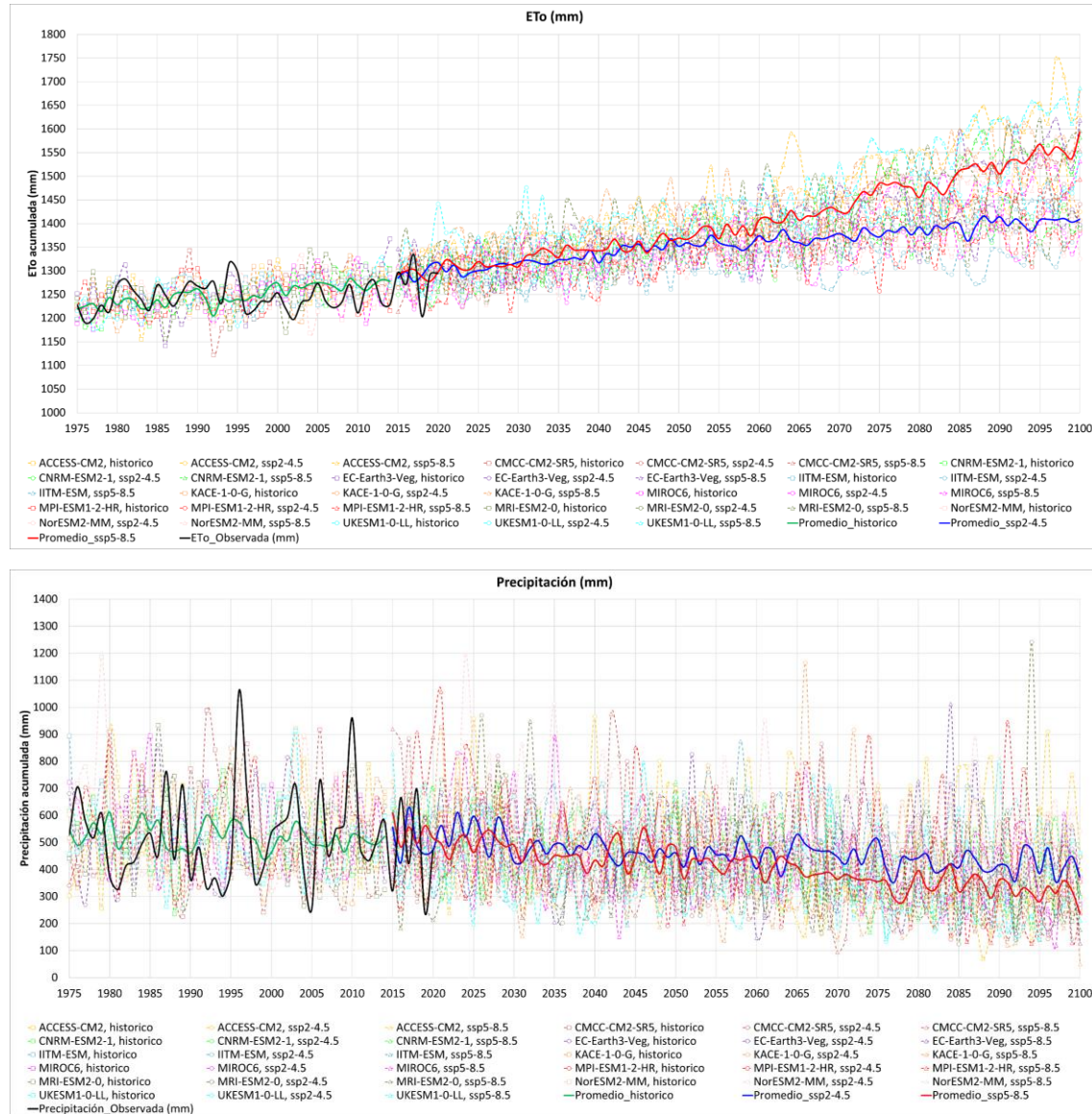


Figura XIV-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 10 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla XIV-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla XIV-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 10.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Arroz	19212	100.0

La Figura XIV-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.

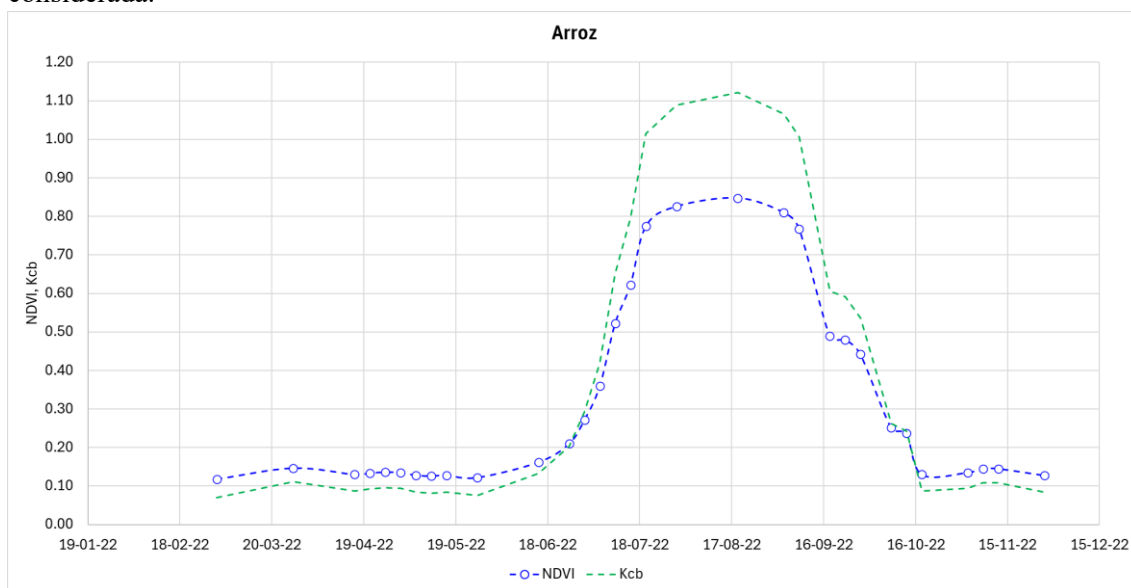


Figura XIV-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 10.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Cuadro 1. Cultivo ARROZ. Observaciones en relación con la estimación de las demandas de agua ETc y las demandas de agua de riego R.

Simular el consumo de agua del cultivo del arroz requiere tener en cuenta sus especiales características en el caso de manejo por inundación, pues la cantidad de agua requerida en este manejo depende fuertemente de las características del suelo en cuanto a infiltración y percolación profunda, como consecuencia de la permanencia de la lámina de agua en superficie. El agua percolada a capas profundas produce servicios ecosistémicos y retorna a ríos y acuíferos.

Teniendo en cuenta el objetivo del trabajo en ECLIMAR, para el caso del arroz se ha procedido a simular las demandas de agua y demandas de agua de riego, considerando principalmente la transpiración de la cubierta vegetal a lo largo de su ciclo de cultivo, estimando el valor de la evaporación desde la lámina de agua sobre 150 mm adicionales a la transpiración. No se considera pues la lámina de agua infiltrada ni percolada en el suelo, y cuya cuantía no se vería afectada por las condiciones de la demanda evaporativa de la atmósfera.

FAO 66, Rice, Bouman et al. pp 102-111.

Bouman, .A., Lampayan, R.. & Tuong, T.P. 2007. Water management in rice: coping with water scarcity. Los Baños, (Philippines): International Rice Research Institute, 54 pp

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla XIV-2 y Tabla XIV-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XIV-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 10, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Arroz	2021-2050	3	7	1	2	4	6	1	1
	2041-2070	5	8	1	2	6	8	3	2
	2071-2100	7	10	4	2	12	16	7	3

Tabla XIV-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 10, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Arroz	2021-2050	4	8	2	2	5	8	1	2
	2041-2070	6	10	2	2	8	11	4	2
	2071-2100	9	12	5	2	14	19	9	3

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura XIV-3 y la Figura XIV-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

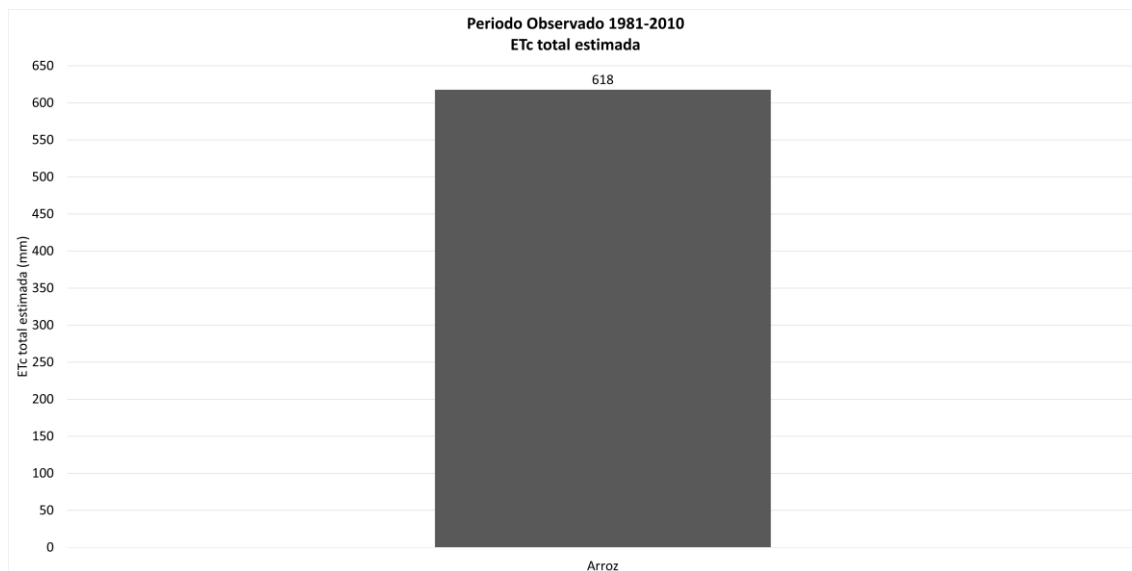


Figura XIV-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 10 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

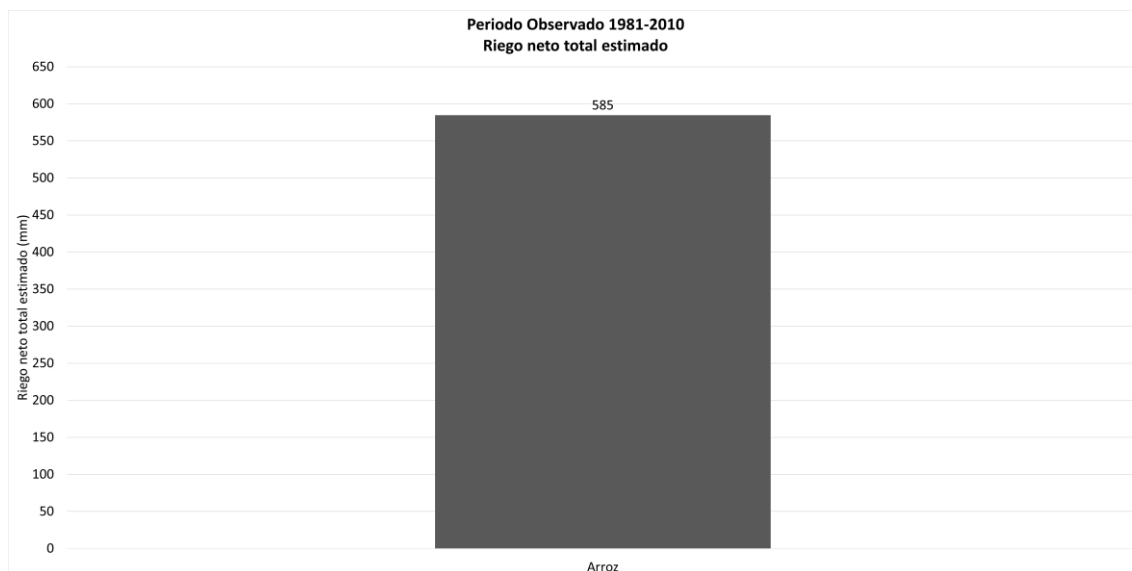


Figura XIV-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 10 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla XIV-4 y Tabla XIV-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XIV-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 10, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Arroz	2021-2050	639	658	623	10	640	657	625	9
	2041-2070	649	666	627	13	655	670	635	11
	2071-2100	660	682	641	12	689	718	658	18

Tabla XIV-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 10, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Arroz	2021-2050	609	629	594	12	611	629	589	11
	2041-2070	622	640	595	14	630	649	609	12
	2071-2100	635	655	614	13	666	693	636	17

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla XIV-1).

En la Figura XIV-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla XIV-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura XIV-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

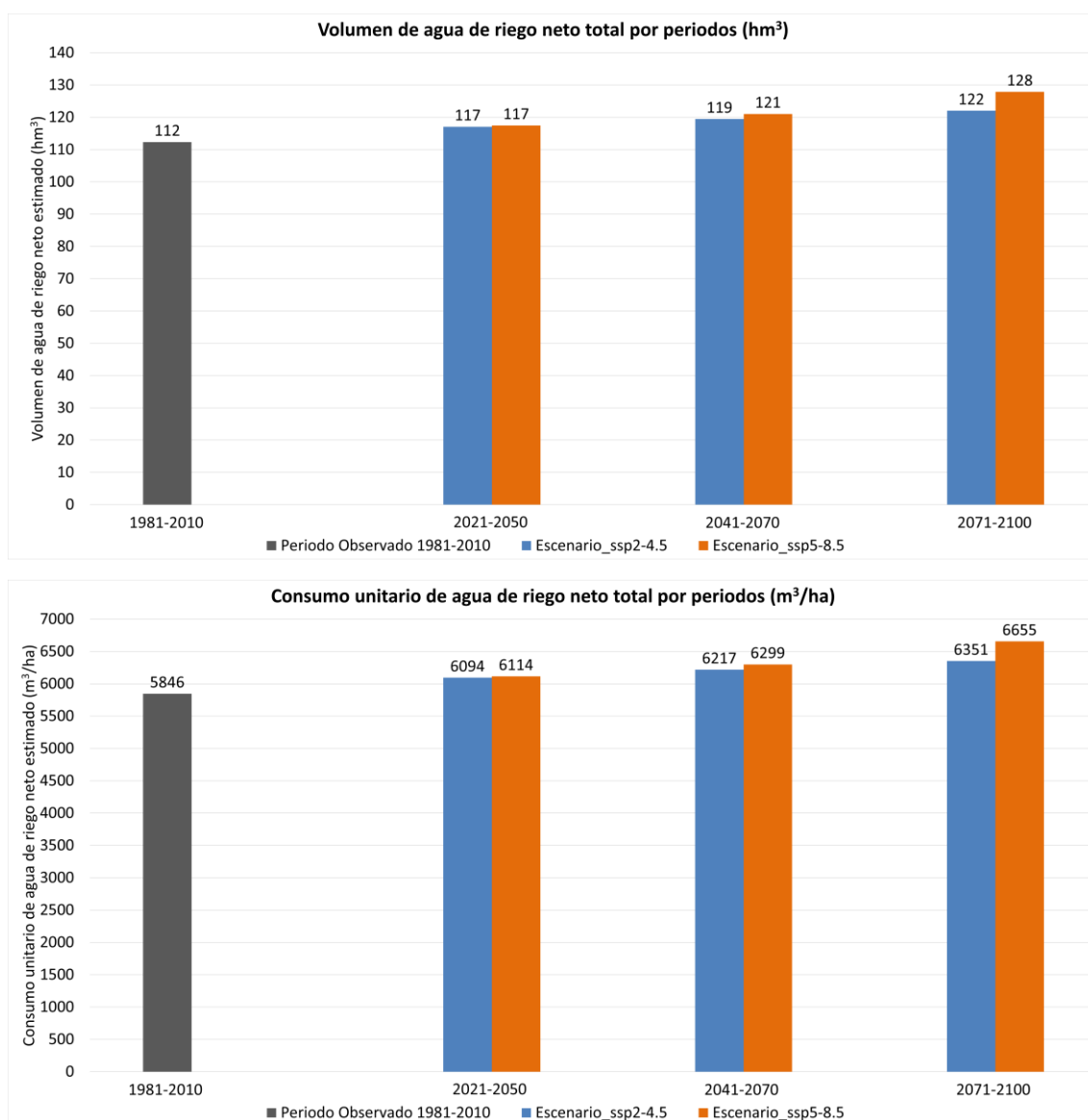


Figura XIV-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XIV-1 para la Zona 10. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

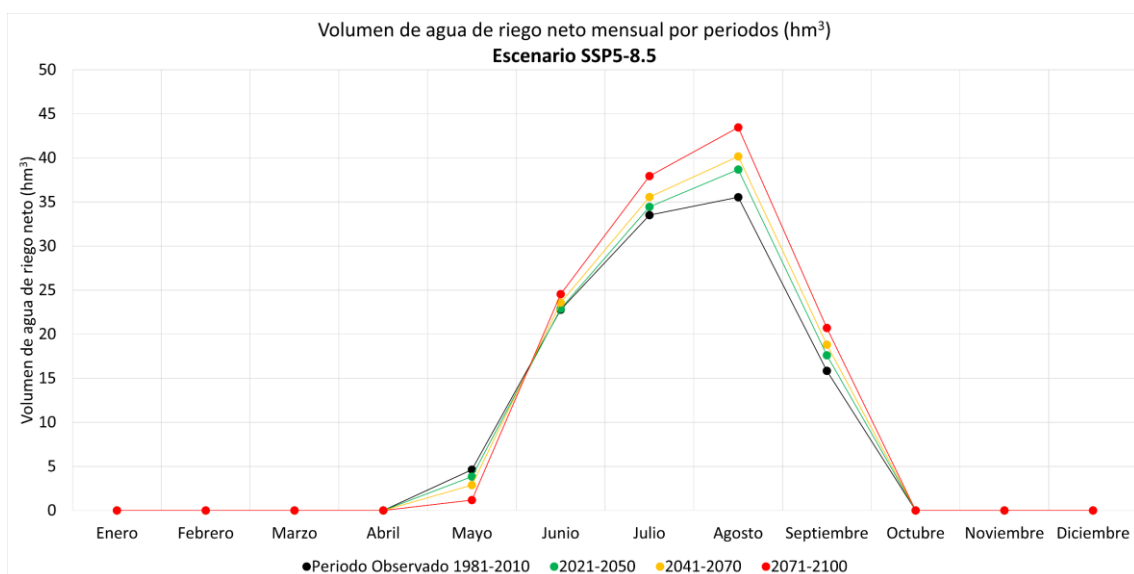
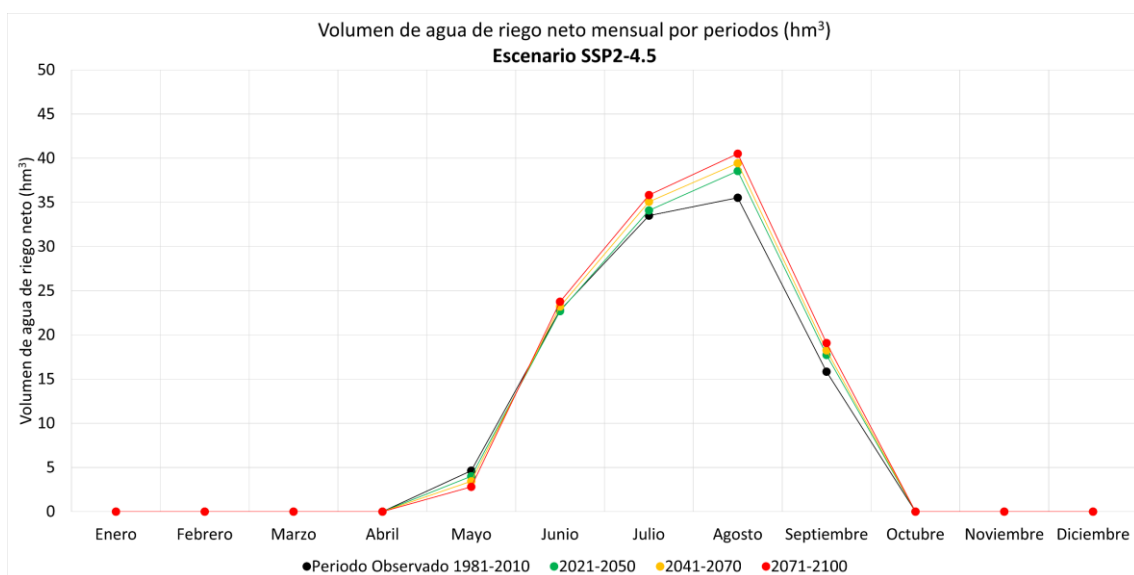


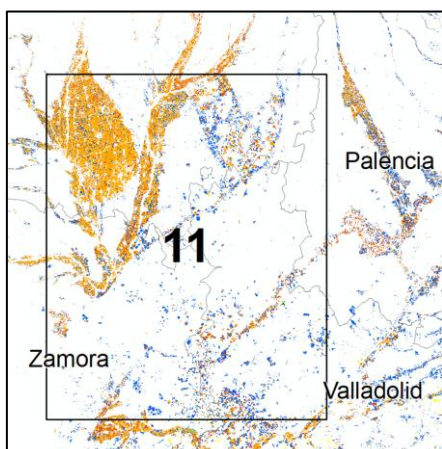
Figura XIV-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XIV-1 para la Zona 10. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

XV. Zona 11. Duero 01-Demarcación Hidrográfica del Duero

ECLIMAR

DEMANDA DE AGUA, ETc, Y DEMANDA DE AGUA DE RIEGO, R, EN EL HORIZONTE 2015-2100

Zona 11. Duero 01-Demarcación Hidrográfica del Duero



ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	145
RESULTADOS	146
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	146
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	147
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	150
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo..	152
E.- Demandas de agua de riego globales.....	155

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 11. Duero 01-Demarcación Hidrográfica del Duero, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los períodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los períodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura XV-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

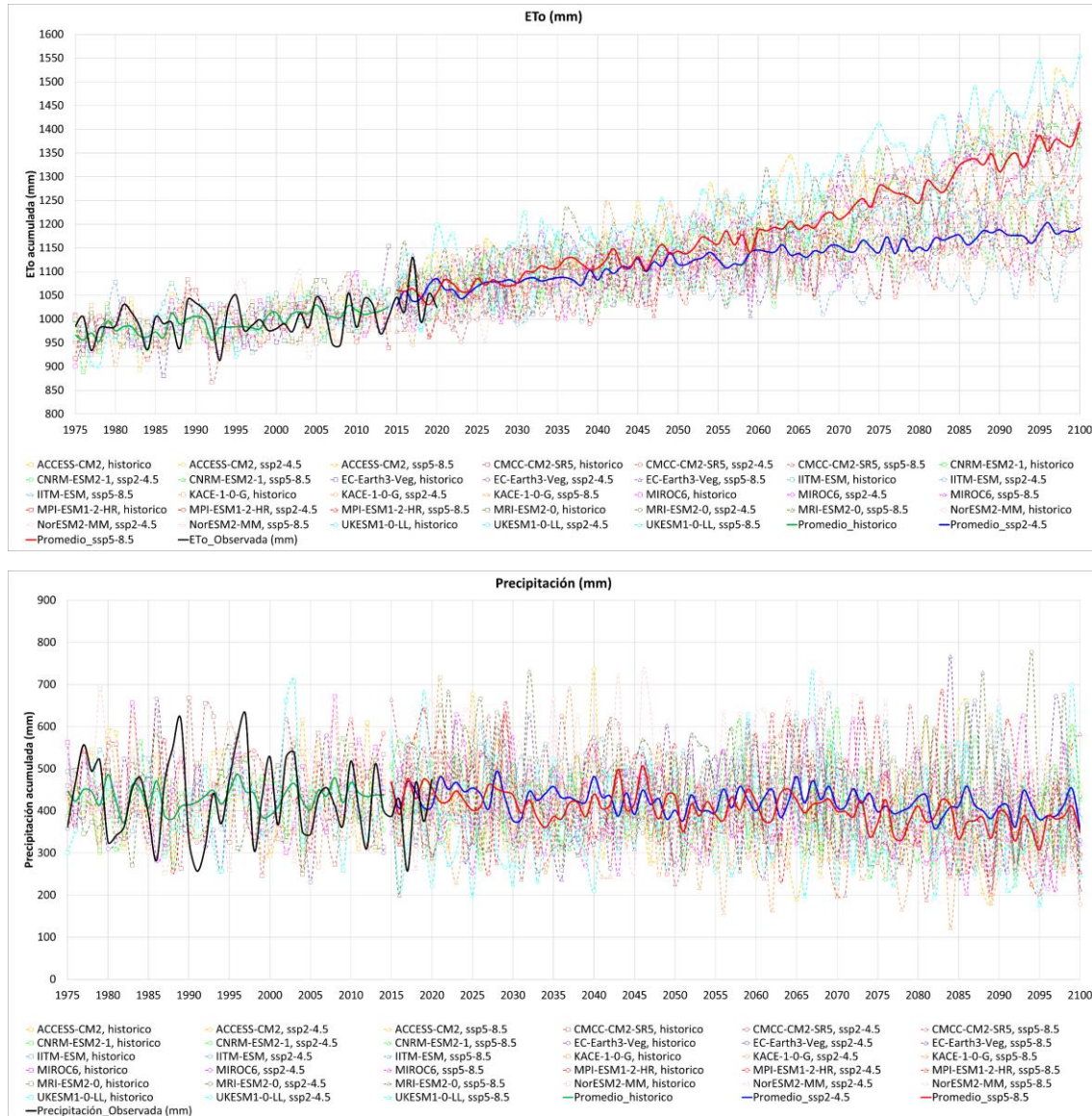


Figura XV-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 11 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

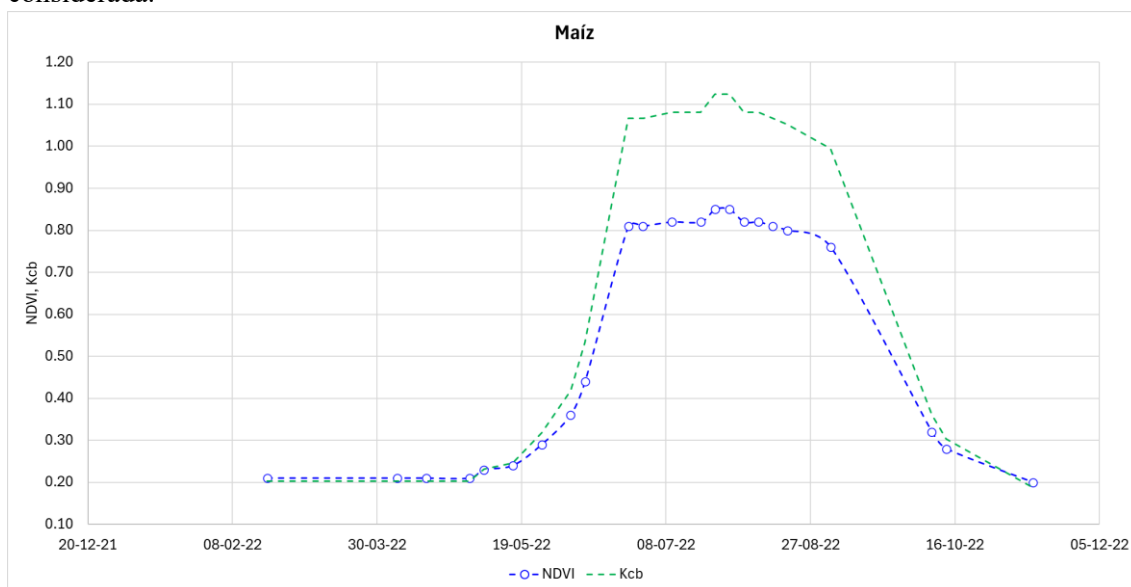
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

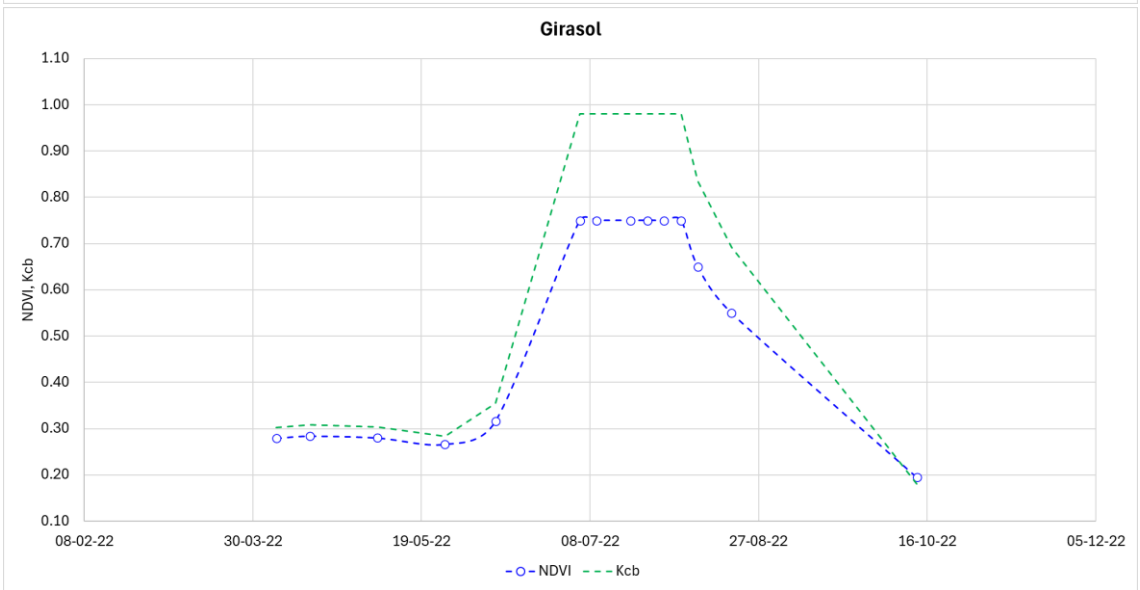
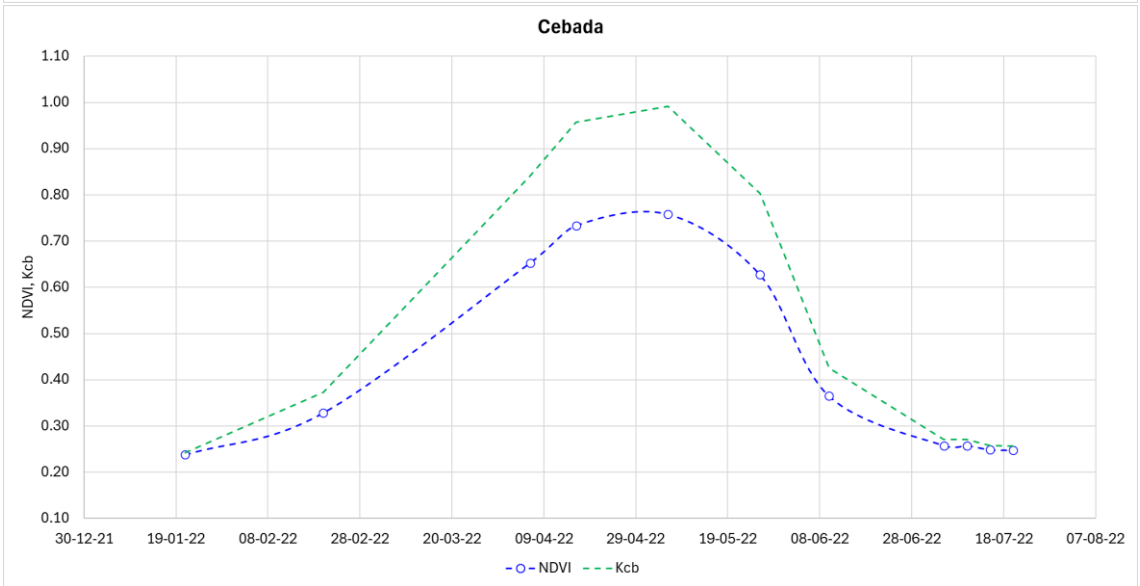
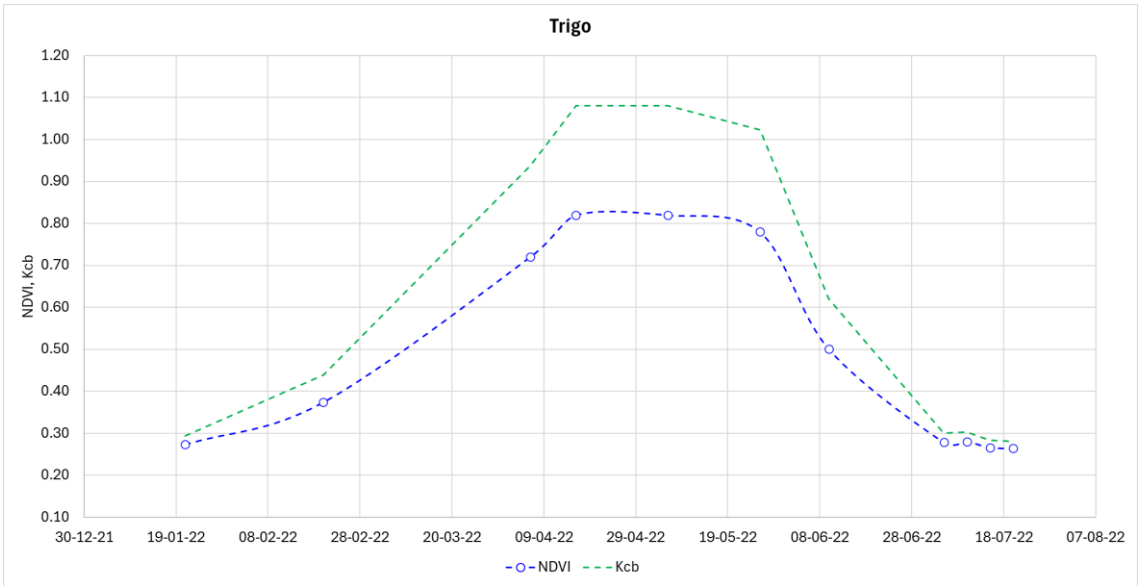
Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla XV-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla XV-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 11.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Maíz	82107	47.8
Trigo	30923	18.0
Cebada	14411	8.4
Girasol	13949	8.1
Alfalfa	9860	5.7
Remolacha	4688	2.7
Colza	3240	1.9
Otros cultivos primavera	10211	5.9
Otros cultivos verano	1923	1.1
Otros cultivos primavera verano	370	0.2

La Figura XV-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.





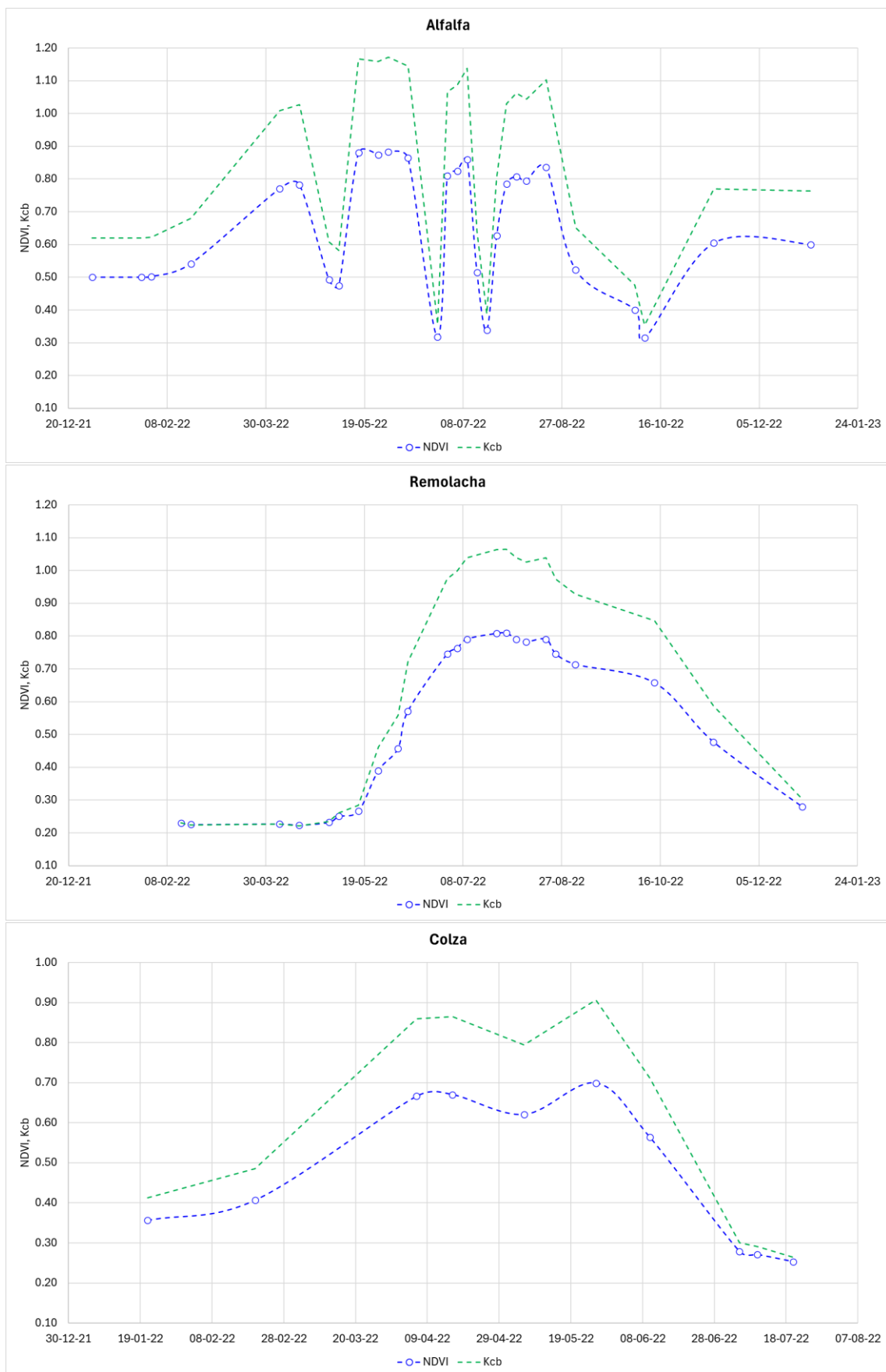


Figura XV-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 11.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla XV-2 y Tabla XV-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XV-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 11, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Maíz	2021-2050	8	12	5	2	10	14	8	2
	2041-2070	12	16	7	2	15	18	12	2
	2071-2100	15	19	10	3	25	31	18	4
Trigo	2021-2050	8	12	3	2	9	14	3	3
	2041-2070	11	16	7	3	14	17	7	3
	2071-2100	14	21	8	3	27	37	18	5
Cebada	2021-2050	8	12	4	2	8	14	4	3
	2041-2070	11	15	7	3	13	17	8	3
	2071-2100	14	20	7	4	26	35	16	6
Girasol	2021-2050	7	10	4	2	9	13	6	2
	2041-2070	10	14	6	2	13	16	10	2
	2071-2100	13	16	8	2	22	26	16	3
Alfalfa	2021-2050	9	14	7	2	11	14	7	2
	2041-2070	13	19	9	3	17	21	12	3
	2071-2100	17	24	10	4	30	40	21	5
Remolacha	2021-2050	9	13	5	2	10	14	8	2
	2041-2070	12	18	8	3	16	20	11	2
	2071-2100	16	22	10	3	27	35	19	4
Colza	2021-2050	8	12	4	2	9	13	4	3
	2041-2070	11	16	7	3	14	18	8	3
	2071-2100	14	21	8	3	27	36	19	5
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	8	11	4	2	9	13	3	3
	2041-2070	11	16	7	3	14	17	8	3
	2071-2100	14	21	8	3	27	36	18	5
Otros_cultivos_verano	2021-2050	8	12	5	2	10	14	8	2
	2041-2070	11	16	7	3	15	18	11	2
	2071-2100	15	19	9	3	25	32	18	4
Otros_cultivos_primavera_verano	2021-2050	9	14	7	2	11	14	7	2
	2041-2070	13	19	9	3	17	21	12	3
	2071-2100	17	24	10	4	30	40	21	5

Tabla XV-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 11, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Maíz	2021-2050	12	20	7	3	15	19	10	3
	2041-2070	17	24	11	4	22	29	17	4
	2071-2100	22	30	14	4	38	47	27	5
Trigo	2021-2050	12	22	2	6	17	33	4	8
	2041-2070	19	30	14	5	28	40	14	8
	2071-2100	28	47	9	10	60	82	40	13
Cebada	2021-2050	13	20	0	6	18	43	6	11
	2041-2070	21	37	14	6	30	42	15	10
	2071-2100	30	51	8	12	66	87	43	14
Girasol	2021-2050	11	19	6	3	14	19	9	3
	2041-2070	16	24	9	4	22	28	17	4
	2071-2100	22	30	15	4	37	47	27	5
Alfalfa	2021-2050	13	25	8	5	17	25	12	4
	2041-2070	20	30	13	5	26	37	18	6
	2071-2100	26	40	15	6	49	65	35	8
Remolacha	2021-2050	13	25	8	4	16	25	11	4
	2041-2070	19	30	12	5	24	35	17	5
	2071-2100	25	37	16	5	44	58	31	7
Colza	2021-2050	13	26	2	7	18	34	6	8
	2041-2070	21	31	14	5	30	43	16	8
	2071-2100	31	51	16	10	66	87	44	13
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	13	22	1	6	18	36	6	9
	2041-2070	20	32	15	5	29	42	15	8
	2071-2100	30	49	11	10	63	85	44	13
Otros_cultivos_verano	2021-2050	12	22	7	4	15	21	10	3
	2041-2070	18	27	11	5	23	31	17	4
	2071-2100	23	33	15	4	40	52	29	6
Otros_cultivos_primavera_verano	2021-2050	13	25	8	5	17	25	12	4
	2041-2070	20	30	13	5	26	37	18	6
	2071-2100	26	40	15	6	49	65	35	8

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura XV-3 y la Figura XV-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

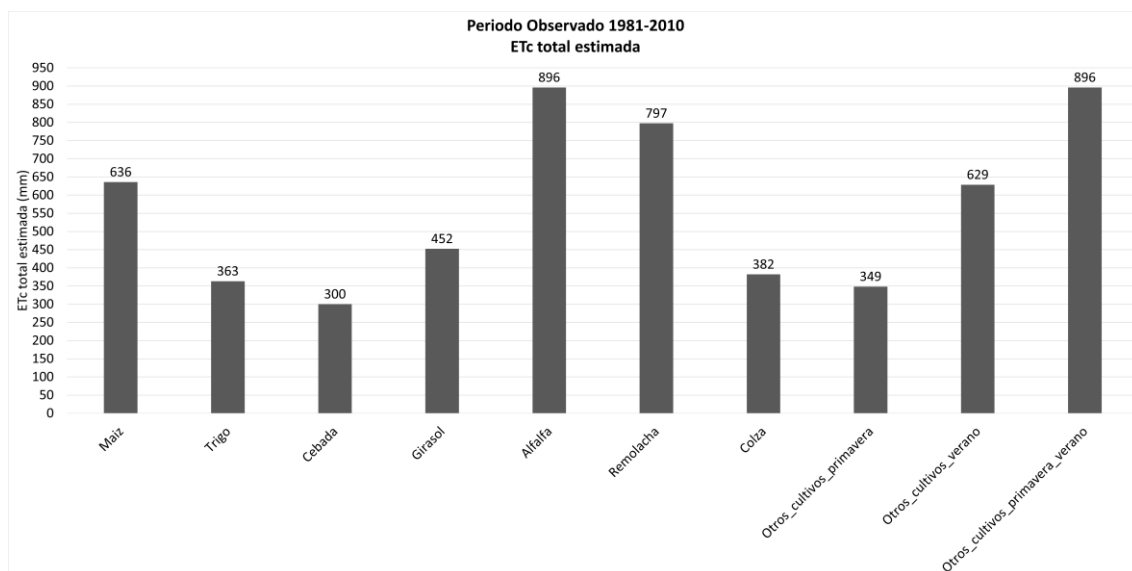


Figura XV-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 11 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

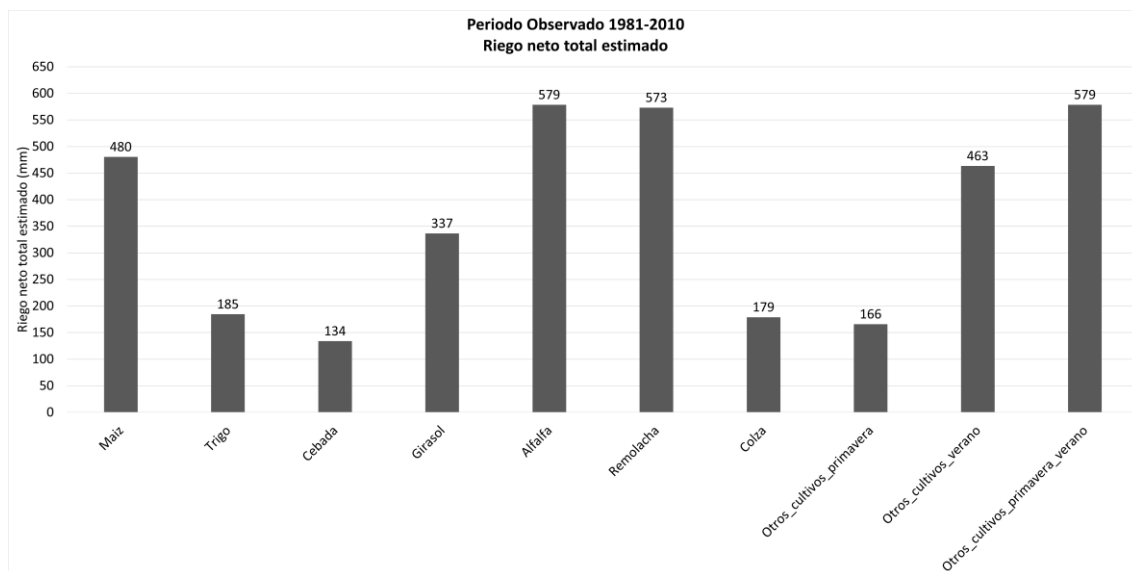


Figura XV-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 11 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla XV-4 y Tabla XV-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XV-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 11, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Maíz	2021-2050	690	711	667	13	700	724	687	11
	2041-2070	710	738	682	16	732	748	713	12
	2071-2100	730	757	697	17	797	835	752	22
Trigo	2021-2050	392	406	376	9	395	413	374	10
	2041-2070	403	422	388	10	413	426	390	11
	2071-2100	414	440	392	13	461	497	428	20
Cebada	2021-2050	324	335	311	7	325	341	312	9
	2041-2070	332	345	321	8	340	350	323	9
	2071-2100	341	361	322	11	378	406	349	17
Girasol	2021-2050	484	497	470	8	493	512	482	9
	2041-2070	497	516	480	10	512	526	499	9
	2071-2100	510	526	490	11	550	572	525	13
Alfalfa	2021-2050	979	1021	954	21	992	1023	960	19
	2041-2070	1011	1067	979	26	1044	1085	1002	25
	2071-2100	1046	1114	983	34	1168	1256	1086	43
Remolacha	2021-2050	867	904	841	18	881	912	865	15
	2041-2070	895	940	858	23	922	957	889	20
	2071-2100	922	969	877	25	1014	1079	951	33
Colza	2021-2050	413	427	397	9	416	432	396	11
	2041-2070	425	443	410	10	435	449	412	12
	2071-2100	436	461	414	13	485	520	455	19
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	376	389	361	8	379	395	361	10
	2041-2070	387	403	373	10	396	408	375	11
	2071-2100	397	421	376	12	442	474	411	19
Otros_cultivos_verano	2021-2050	681	703	660	13	691	716	678	11
	2041-2070	701	730	673	16	722	742	700	13
	2071-2100	721	751	688	18	787	829	743	23
Otros_cultivos_primavera_verano	2021-2050	979	1021	954	21	992	1023	960	19
	2041-2070	1011	1067	979	26	1044	1085	1002	25
	2071-2100	1046	1114	983	34	1168	1256	1086	43

Tabla XV-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 11, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Maíz	2021-2050	539	575	513	16	551	574	528	15
	2041-2070	563	596	531	20	588	617	561	18
	2071-2100	588	624	547	20	665	707	612	24
Trigo	2021-2050	207	225	188	11	215	246	193	15
	2041-2070	220	240	210	10	236	259	210	15
	2071-2100	235	271	202	18	295	336	258	24
Cebada	2021-2050	151	160	134	9	158	191	142	14
	2041-2070	162	183	153	8	174	190	154	13
	2071-2100	174	202	145	16	222	251	191	19
Girasol	2021-2050	373	401	356	11	385	401	368	11
	2041-2070	391	418	366	14	409	432	392	14
	2071-2100	410	437	386	13	462	494	427	17
Alfalfa	2021-2050	655	724	626	26	675	722	647	25
	2041-2070	691	750	656	29	729	791	684	33
	2071-2100	729	810	663	33	861	954	779	44
Remolacha	2021-2050	648	715	618	25	666	714	634	23
	2041-2070	681	748	645	30	713	772	670	29
	2071-2100	714	786	665	30	823	907	749	38
Colza	2021-2050	203	225	182	12	212	239	190	15
	2041-2070	217	234	204	9	233	256	208	15
	2071-2100	235	270	208	17	296	335	259	23
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	187	203	168	10	195	225	175	14
	2041-2070	199	219	190	9	214	235	191	14
	2071-2100	215	248	185	17	271	308	238	22
Otros_cultivos_verano	2021-2050	520	563	496	17	534	560	510	16
	2041-2070	545	587	515	21	570	607	541	20
	2071-2100	571	616	533	21	650	703	596	26
Otros_cultivos_primavera_verano	2021-2050	655	724	626	26	675	722	647	25
	2041-2070	691	750	656	29	729	791	684	33
	2071-2100	729	810	663	33	861	954	779	44

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla XV-1).

En la Figura XV-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla XV-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura XV-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

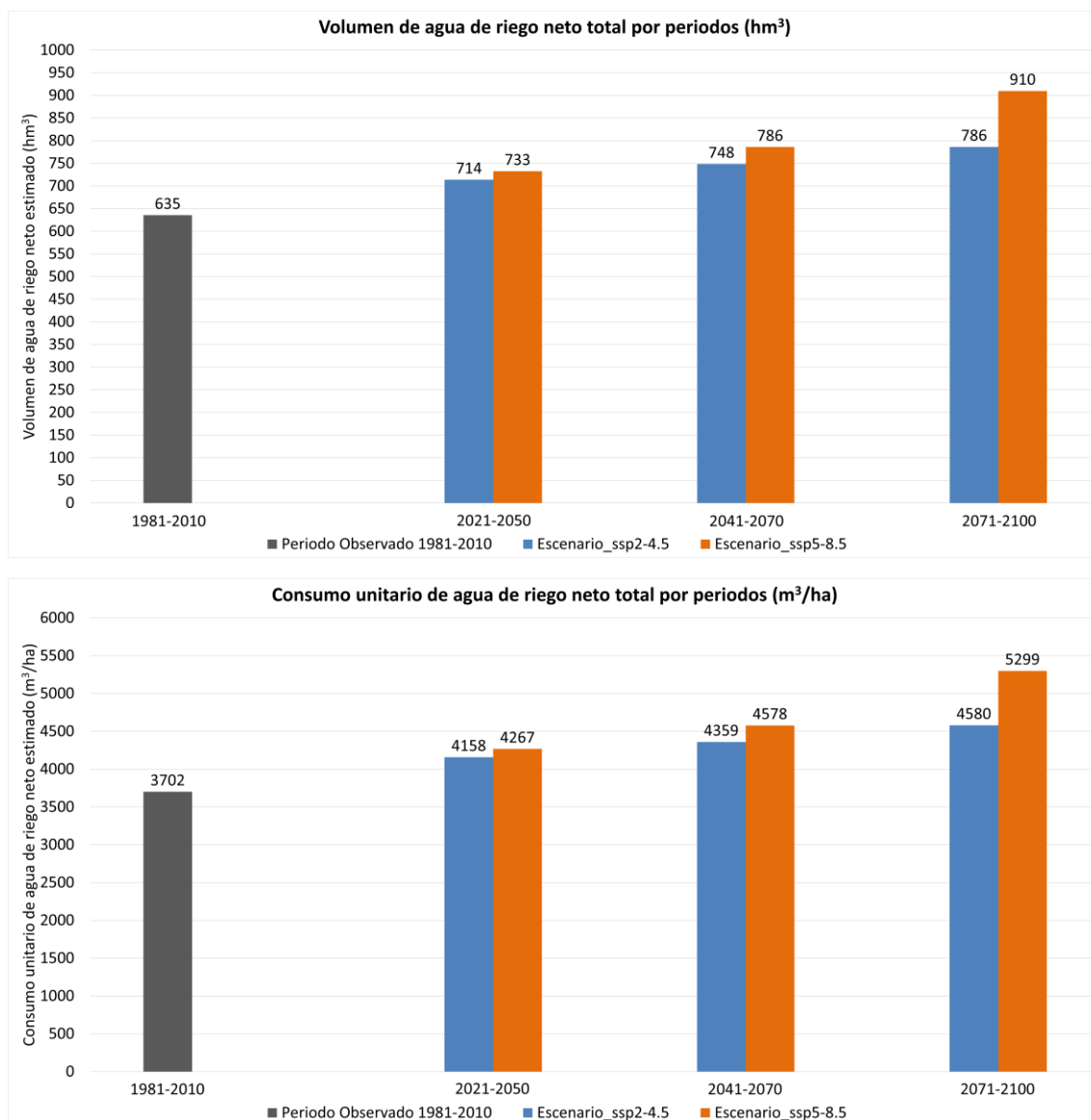


Figura XV-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XV-1 para la Zona 11. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

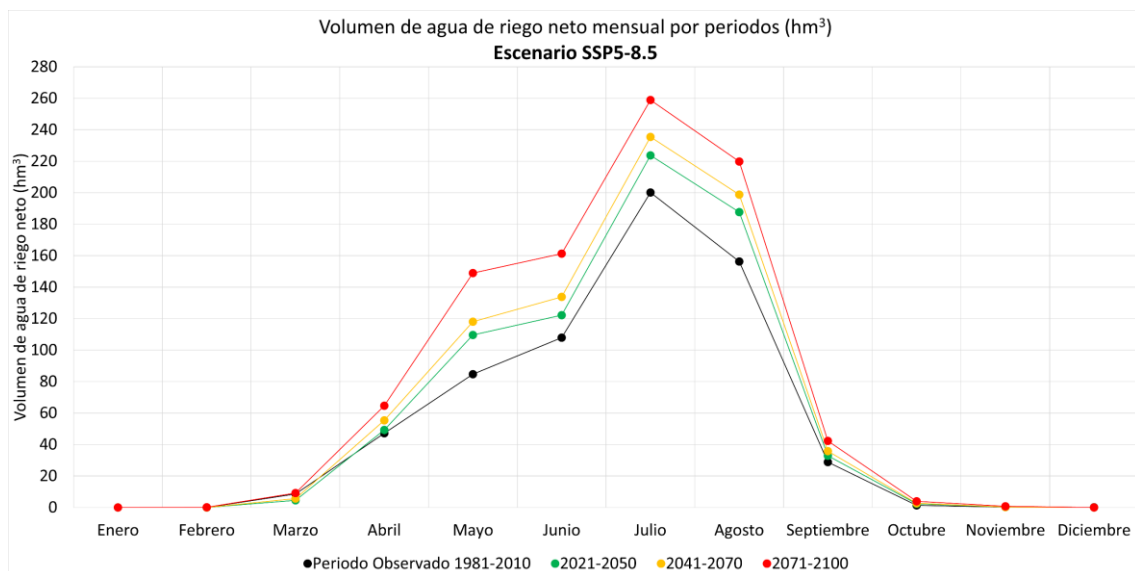
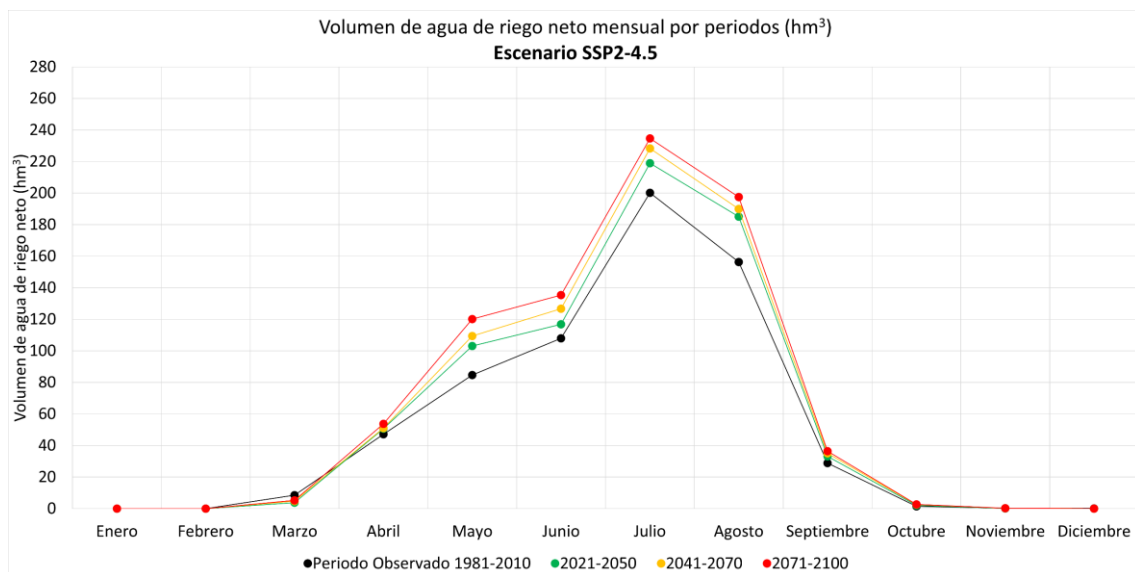
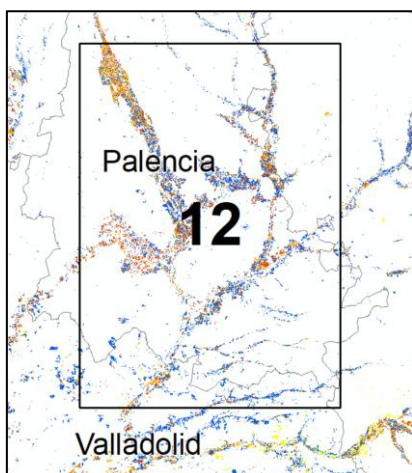


Figura XV-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XV-1 para la Zona 11. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

XVI. Zona 12. Duero 02-Demarcación Hidrográfica del Duero



ECLIMAR

DEMANDA DE AGUA, ETc, Y DEMANDA DE AGUA DE RIEGO, R, EN EL HORIZONTE 2015-2100

Zona 12. Duero 02-Demarcación Hidrográfica del Duero

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	158
RESULTADOS	159
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	159
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	160
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	163
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo..	165
E.- Demandas de agua de riego globales.....	168

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 12. Duero 02-Demarcación Hidrográfica del Duero, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los períodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los períodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura XVI-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

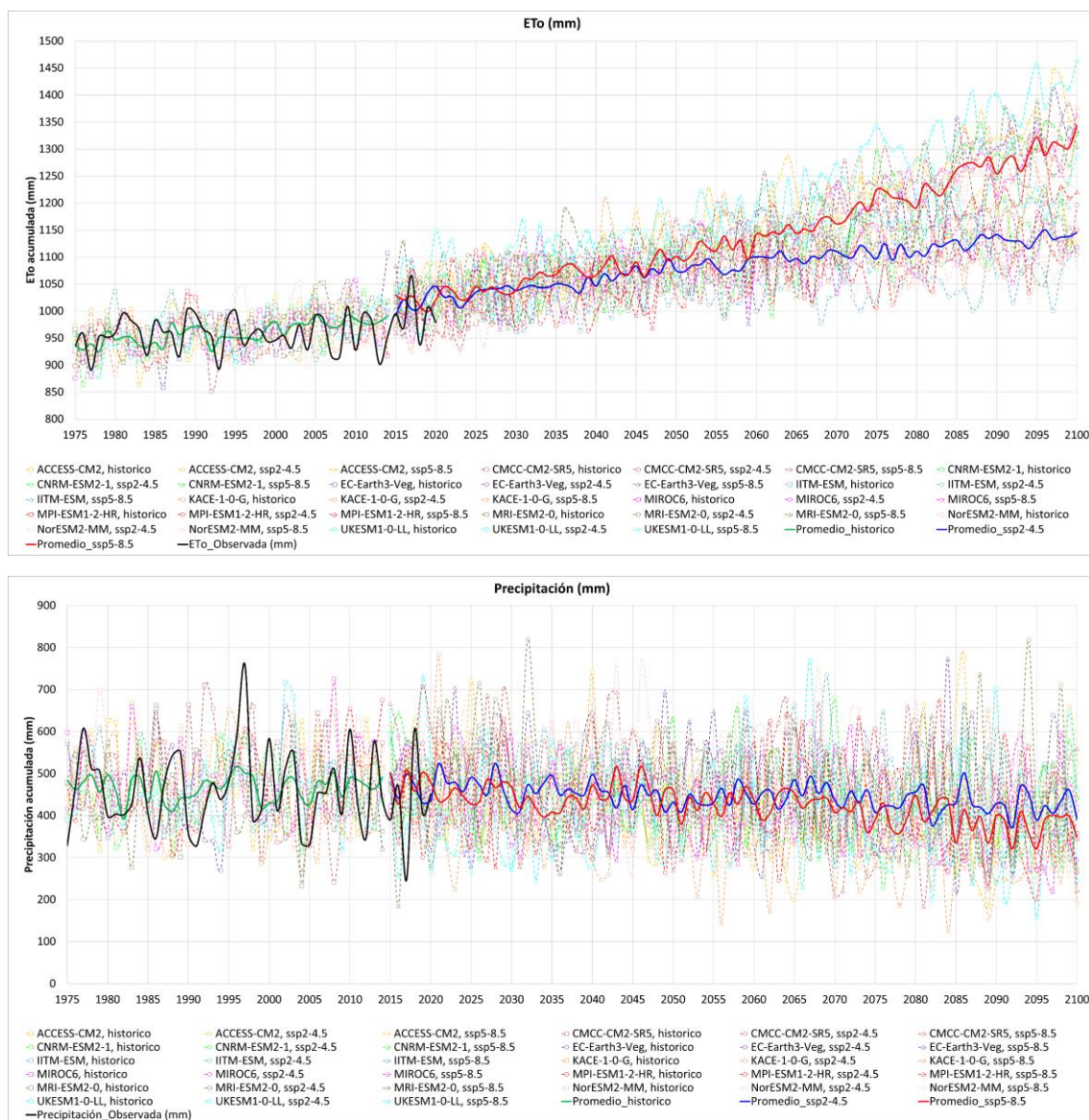


Figura XVI-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 12 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

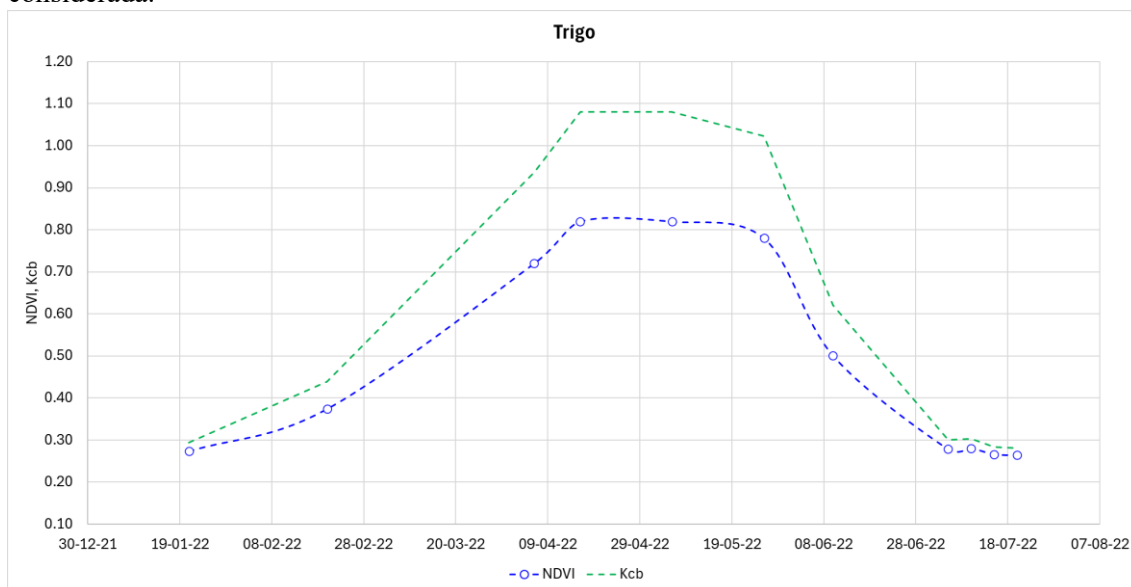
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

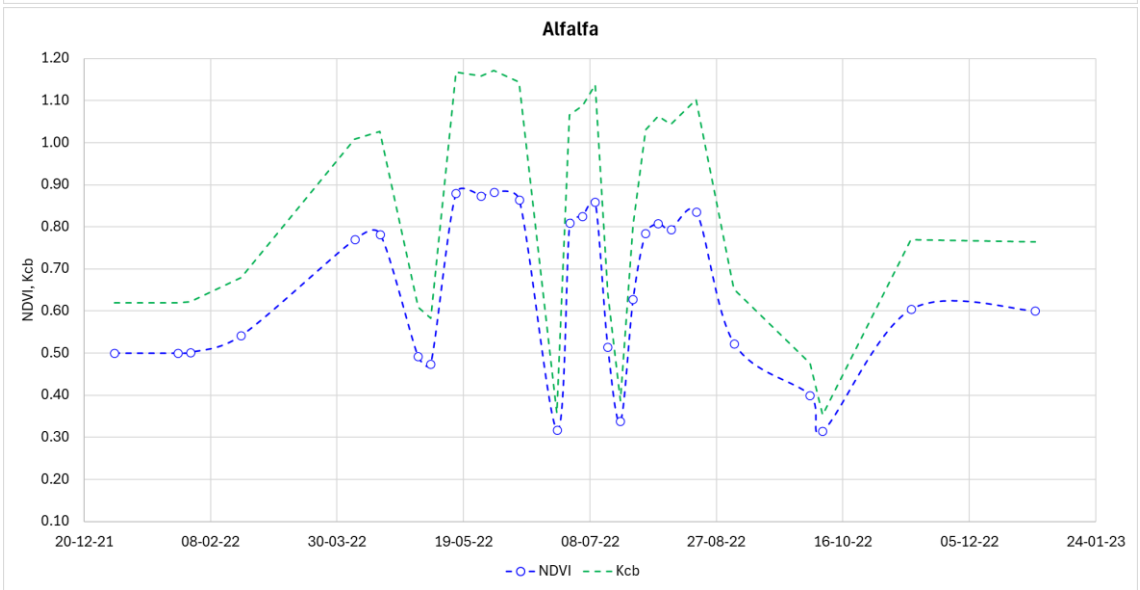
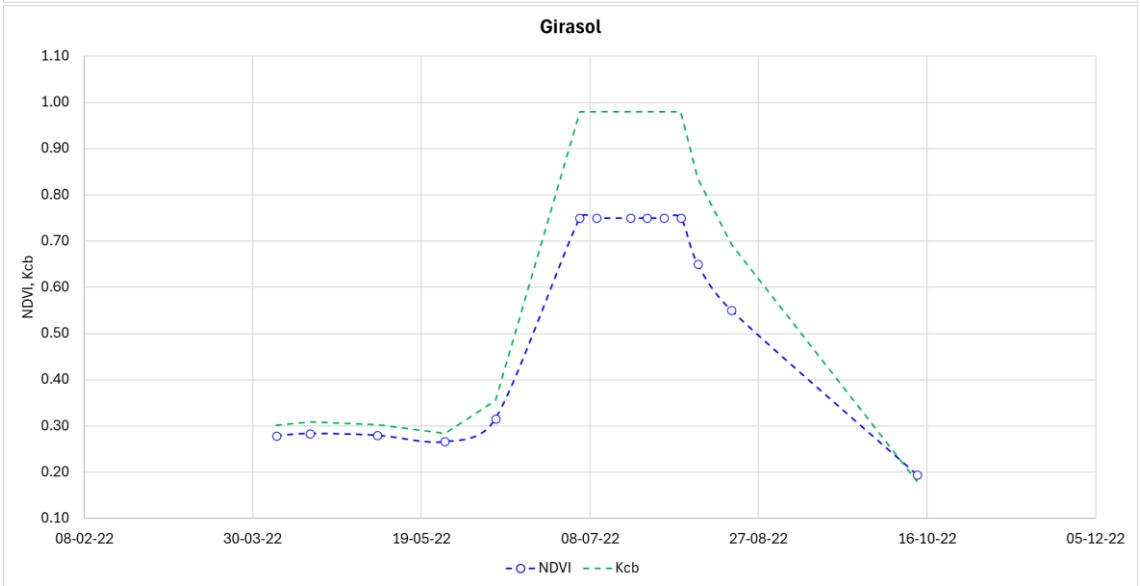
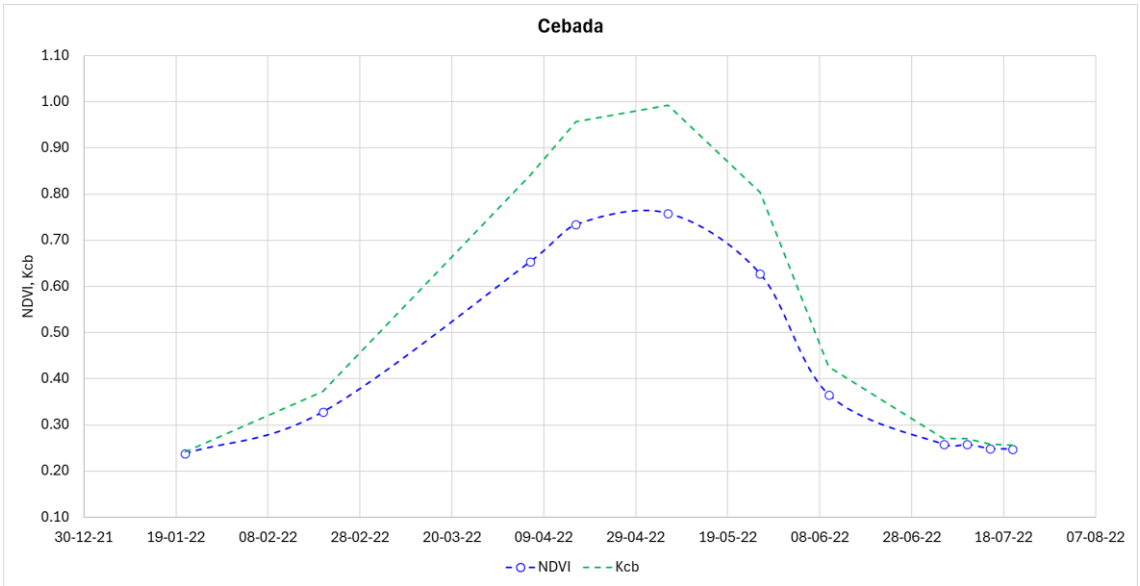
Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla XVI-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla XVI-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 12.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Trigo	25797	36.5
Cebada	11801	16.7
Girasol	11420	16.2
Alfalfa	8688	12.3
Maíz	3827	5.4
Veza	1897	2.7
Avena	1820	2.6
Colza	1485	2.1
Otros cultivos primavera	2509	3.6
Otros cultivos verano	1271	1.8
Otros cultivos primavera verano	111	0.2

La Figura XVI-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.





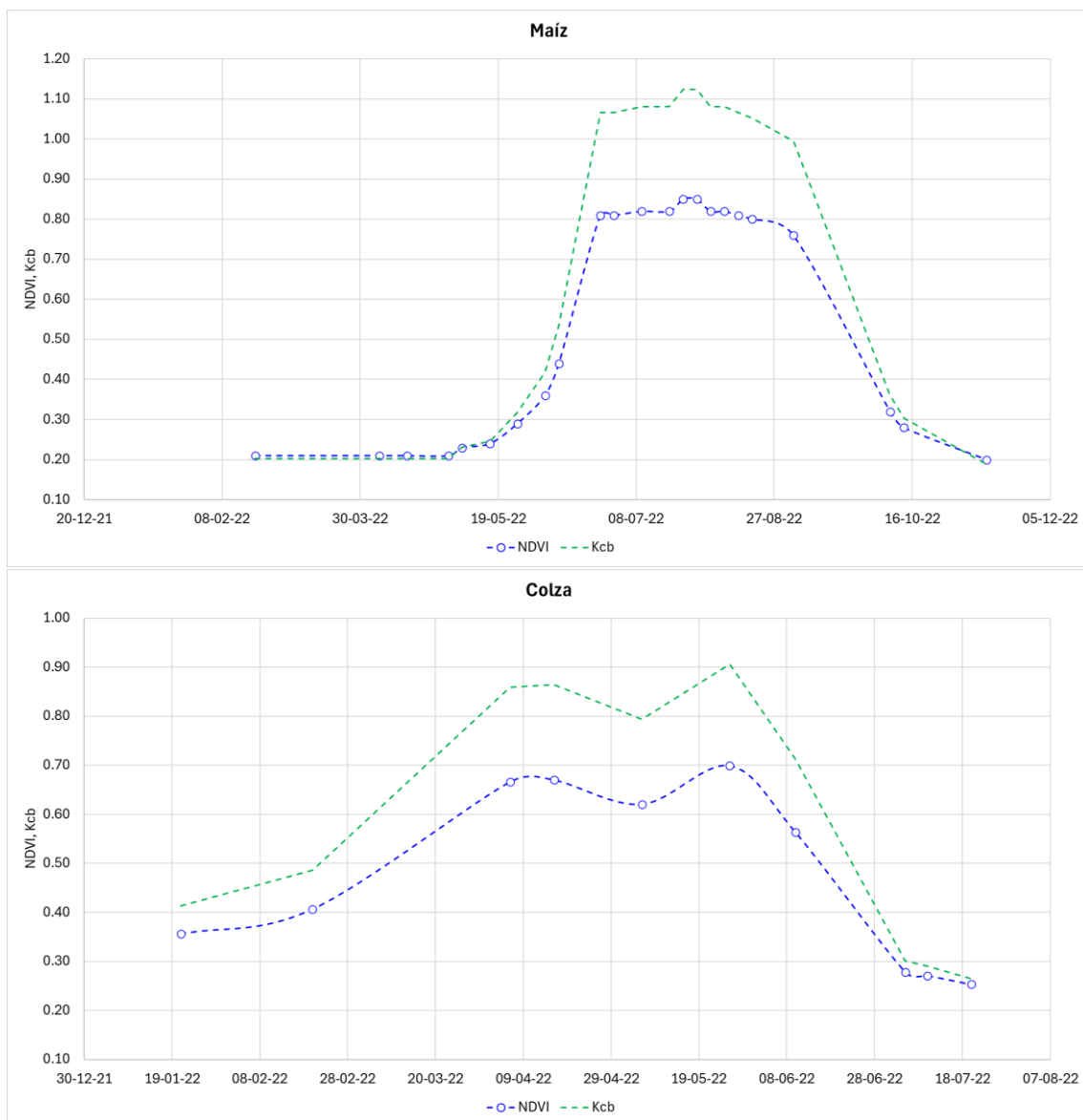


Figura XVI-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 12.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla XVI-2 y Tabla XVI-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XVI-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 12, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Trigo	2021-2050	8	12	4	2	9	13	3	3
	2041-2070	11	15	7	3	14	17	7	3
	2071-2100	14	20	8	3	26	34	17	5
Cebada	2021-2050	8	11	4	2	9	13	3	3
	2041-2070	11	15	7	3	13	17	7	3
	2071-2100	13	19	8	3	25	33	16	5
Girasol	2021-2050	7	9	5	2	8	12	6	2
	2041-2070	9	12	6	2	12	15	9	2
	2071-2100	12	15	8	2	20	24	15	3
Alfalfa	2021-2050	9	13	6	2	10	13	6	2
	2041-2070	12	18	9	3	16	20	11	3
	2071-2100	16	23	10	4	29	37	20	4
Maíz	2021-2050	8	10	5	2	9	13	7	1
	2041-2070	11	15	7	2	14	16	11	2
	2071-2100	14	17	10	2	23	27	17	3
Veza	2021-2050	8	12	4	2	9	13	3	3
	2041-2070	11	15	7	3	14	17	7	3
	2071-2100	14	20	8	3	26	34	17	5
Avena	2021-2050	8	12	4	2	9	13	3	3
	2041-2070	11	15	7	3	14	17	7	3
	2071-2100	14	20	8	3	26	34	17	5
Colza	2021-2050	8	11	3	2	9	13	3	3
	2041-2070	11	15	7	3	14	17	7	3
	2071-2100	14	19	9	3	26	33	18	5
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	8	12	4	2	9	13	3	3
	2041-2070	11	15	7	3	14	17	7	3
	2071-2100	14	20	8	3	26	34	17	5
Otros_cultivos_verano	2021-2050	7	10	5	2	9	12	6	2
	2041-2070	10	14	7	2	13	15	10	2
	2071-2100	13	16	9	2	22	26	16	3
Otros_cultivos_primavera_verano	2021-2050	9	13	6	2	10	13	6	2

	2041-2070	12	18	9	3	16	20	11	3
	2071-2100	16	23	10	4	29	37	20	4

Tabla XVI-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 12, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Trigo	2021-2050	14	29	0	8	21	42	6	9
	2041-2070	22	32	13	6	33	44	16	9
	2071-2100	33	50	13	10	68	84	44	14
Cebada	2021-2050	15	32	-2	8	22	54	6	12
	2041-2070	24	39	16	7	36	50	18	12
	2071-2100	35	52	10	12	74	95	43	17
Girasol	2021-2050	12	19	7	4	16	26	9	5
	2041-2070	18	25	12	4	24	32	16	5
	2071-2100	25	32	15	5	42	51	30	6
Alfalfa	2021-2050	14	25	7	5	19	30	14	5
	2041-2070	21	32	14	6	29	38	20	6
	2071-2100	29	41	15	6	53	69	37	8
Maíz	2021-2050	13	19	5	4	16	24	11	4
	2041-2070	18	26	10	5	24	32	18	5
	2071-2100	25	31	14	5	42	51	30	5
Veza	2021-2050	14	29	0	8	21	42	6	9
	2041-2070	22	32	13	6	33	44	16	9
	2071-2100	33	50	13	10	68	84	44	14
Avena	2021-2050	14	29	0	8	21	42	6	9
	2041-2070	22	32	13	6	33	44	16	9
	2071-2100	33	50	13	10	68	84	44	14
Colza	2021-2050	16	31	2	8	24	43	10	9
	2041-2070	26	36	15	6	37	51	20	9
	2071-2100	37	53	19	10	76	94	53	14
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	14	30	0	8	21	44	7	10
	2041-2070	23	33	14	6	34	46	17	9
	2071-2100	34	51	14	10	70	87	46	15
Otros_cultivos_verano	2021-2050	12	19	6	4	16	25	10	4
	2041-2070	18	26	11	4	24	32	18	5
	2071-2100	25	31	14	5	42	51	30	5
Otros_cultivos_primavera_verano	2021-2050	14	25	7	5	19	30	14	5
	2041-2070	21	32	14	6	29	38	20	6
	2071-2100	29	41	15	6	53	69	37	8

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura XVI-3 y la Figura XVI-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

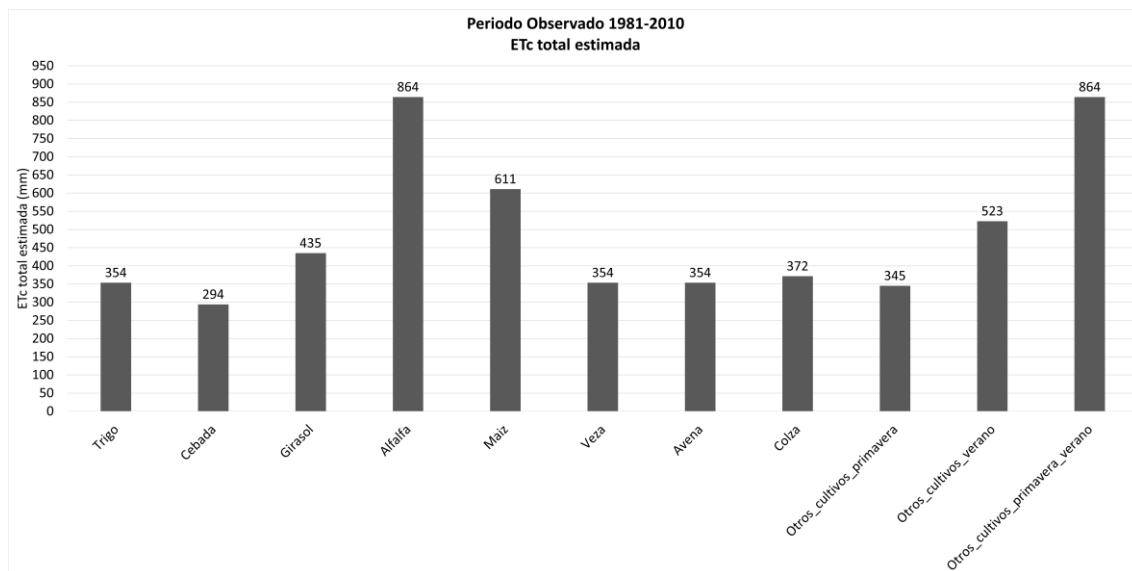


Figura XVI-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 12 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

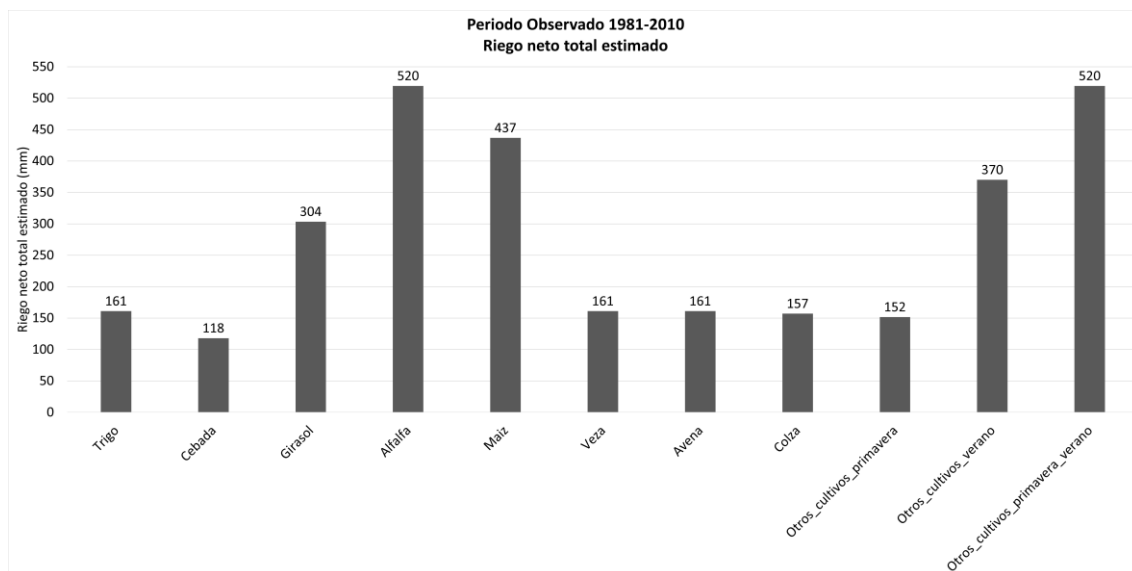


Figura XVI-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 12 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla XVI-4 y Tabla XVI-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XVI-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 12, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Trigo	2021-2050	382	395	366	8	385	401	364	10
	2041-2070	392	408	379	10	402	415	379	10
	2071-2100	402	425	382	11	445	474	414	18
Cebada	2021-2050	318	327	305	6	319	333	304	8
	2041-2070	325	337	314	8	333	343	315	9
	2071-2100	333	351	317	10	367	390	341	16
Girasol	2021-2050	465	474	455	7	471	486	459	7
	2041-2070	475	488	462	8	488	500	475	8
	2071-2100	486	502	471	10	521	537	502	12
Alfalfa	2021-2050	942	978	916	18	954	979	919	18
	2041-2070	972	1019	943	23	1002	1037	957	24
	2071-2100	1003	1061	948	30	1113	1184	1040	38
Maíz	2021-2050	659	675	641	11	668	688	654	9
	2041-2070	676	700	654	13	696	709	680	10
	2071-2100	694	715	669	15	752	778	715	19
Veza	2021-2050	382	395	366	8	385	401	364	10
	2041-2070	392	408	379	10	402	415	379	10
	2071-2100	402	425	382	11	445	474	414	18
Avena	2021-2050	382	395	366	8	385	401	364	10
	2041-2070	392	408	379	10	402	415	379	10
	2071-2100	402	425	382	11	445	474	414	18
Colza	2021-2050	402	414	384	8	405	419	384	10
	2041-2070	413	428	398	10	423	436	399	11
	2071-2100	423	444	405	11	467	494	440	17
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	373	385	358	8	376	391	356	10
	2041-2070	383	398	370	9	392	405	370	10
	2071-2100	392	414	374	11	434	462	405	17
Otros_cultivos_verano	2021-2050	562	574	549	9	569	587	557	8
	2041-2070	576	594	558	10	592	604	577	9
	2071-2100	590	609	570	12	637	658	609	15
Otros_cultivos_primavera_verano	2021-2050	942	978	916	18	954	979	919	18
	2041-2070	972	1019	943	23	1002	1037	957	24
	2071-2100	1003	1061	948	30	1113	1184	1040	38

Tabla XVI-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 12, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Trigo	2021-2050	183	208	161	12	194	229	170	15
	2041-2070	197	213	181	10	214	232	187	15
	2071-2100	214	242	183	16	270	297	231	23
Cebada	2021-2050	136	156	116	10	144	181	125	15
	2041-2070	146	164	137	9	160	177	139	14
	2071-2100	159	180	129	14	205	230	169	20
Girasol	2021-2050	339	362	323	11	353	382	330	15
	2041-2070	358	380	340	13	377	401	353	16
	2071-2100	379	400	350	16	430	460	394	17
Alfalfa	2021-2050	593	650	556	28	616	677	592	27
	2041-2070	630	683	592	29	669	719	622	33
	2071-2100	670	734	600	31	797	878	710	44
Maíz	2021-2050	493	522	460	17	508	542	485	17
	2041-2070	517	550	482	20	543	575	517	20
	2071-2100	544	571	497	21	620	657	568	23
Veza	2021-2050	183	208	161	12	194	229	170	15
	2041-2070	197	213	181	10	214	232	187	15
	2071-2100	214	242	183	16	270	297	231	23
Avena	2021-2050	183	208	161	12	194	229	170	15
	2041-2070	197	213	181	10	214	232	187	15
	2071-2100	214	242	183	16	270	297	231	23
Colza	2021-2050	182	206	159	13	194	225	173	14
	2041-2070	198	213	180	10	216	237	188	15
	2071-2100	215	240	187	15	277	305	240	22
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	174	197	152	12	184	219	162	15
	2041-2070	187	202	172	10	203	221	178	14
	2071-2100	203	229	173	15	258	284	221	22
Otros_cultivos_verano	2021-2050	416	442	392	14	430	462	408	16
	2041-2070	438	465	411	16	460	488	435	18
	2071-2100	461	486	423	18	525	559	481	20
Otros_cultivos_primavera_verano	2021-2050	593	650	556	28	616	677	592	27
	2041-2070	630	683	592	29	669	719	622	33
	2071-2100	670	734	600	31	797	878	710	44

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla XVI-1).

En la Figura XVI-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla XVI-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura XVI-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

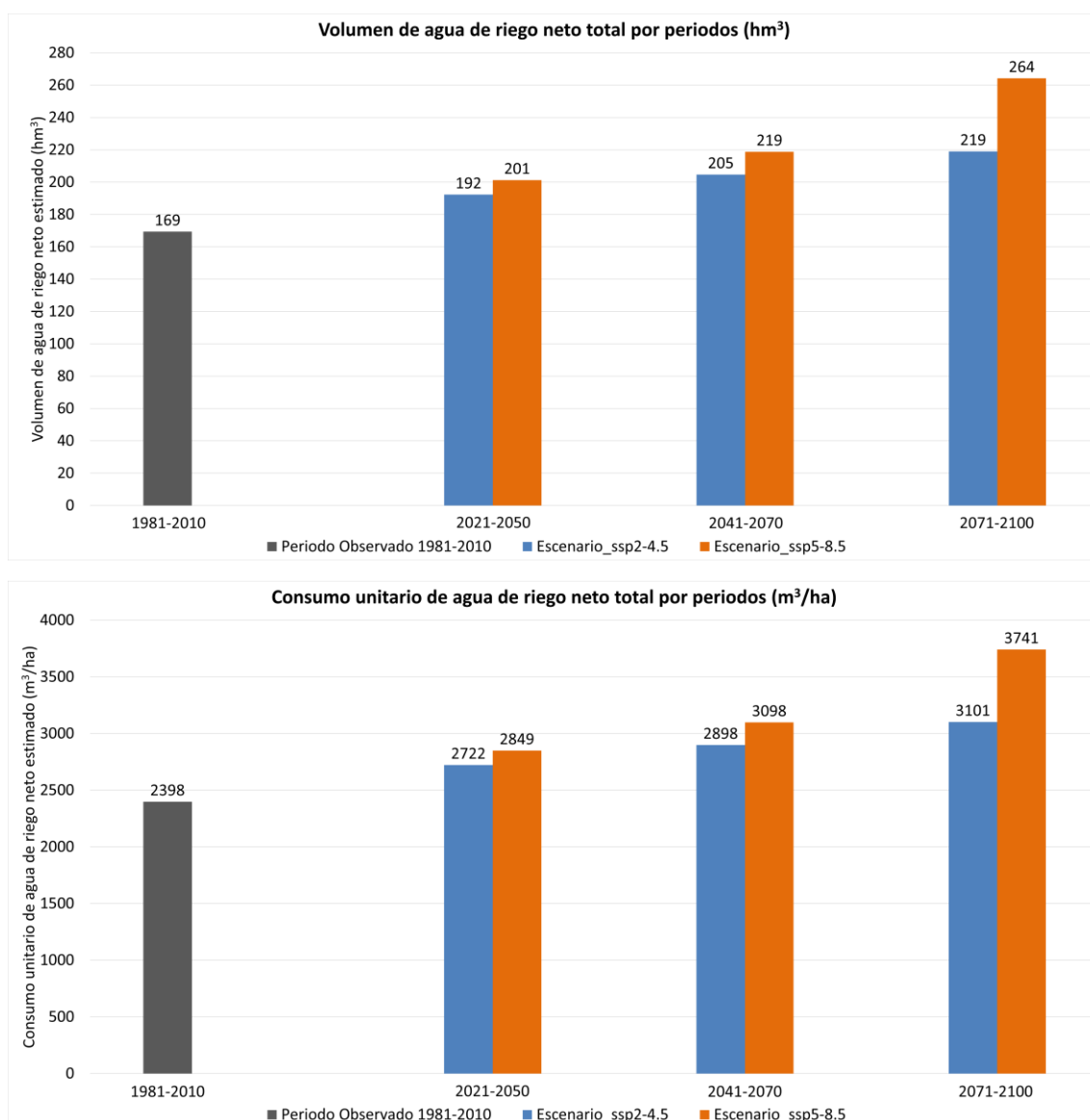


Figura XVI-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XVI-1 para la Zona 12. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

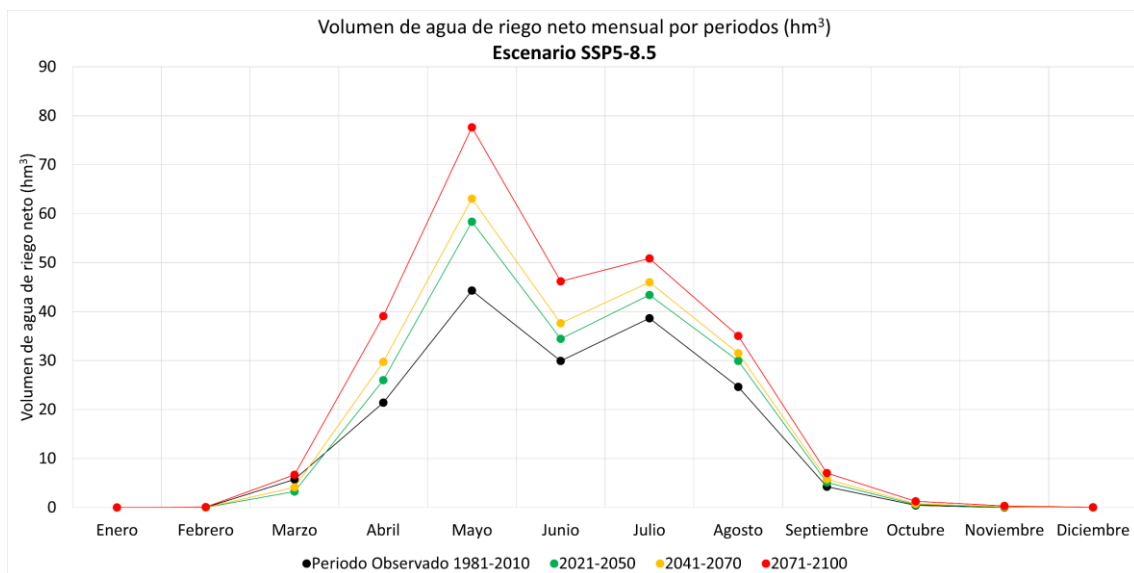
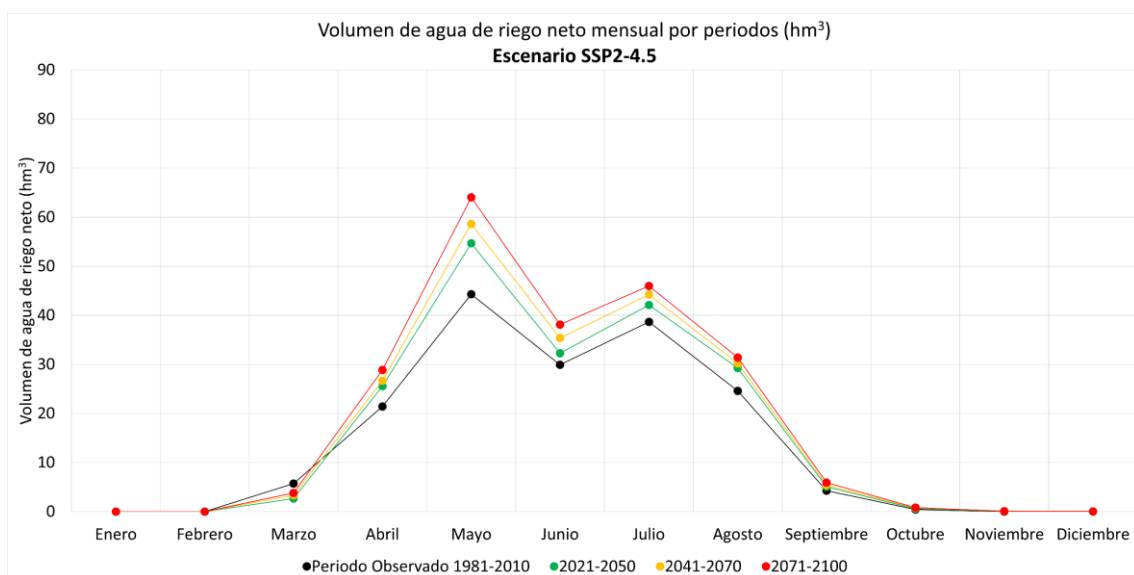
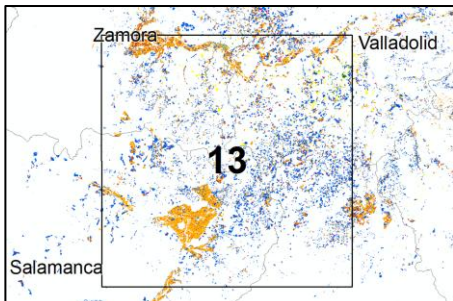


Figura XVI-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XVI-1 para la Zona 12. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

XVII. Zona 13. Duero 03-Demarcación Hidrográfica del Duero

ECLIMAR



DEMANDA DE AGUA, ETc, Y
DEMANDA DE AGUA DE
RIEGO, R, EN EL HORIZONTE
2015-2100

Zona 13. Duero 03-Demarcación
Hidrográfica del Duero

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	171
RESULTADOS	172
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	172
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	173
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	176
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo..	178
E.- Demandas de agua de riego globales.....	181

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 13. Duero 03-Demarcación Hidrográfica del Duero, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los períodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los períodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura XVII-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

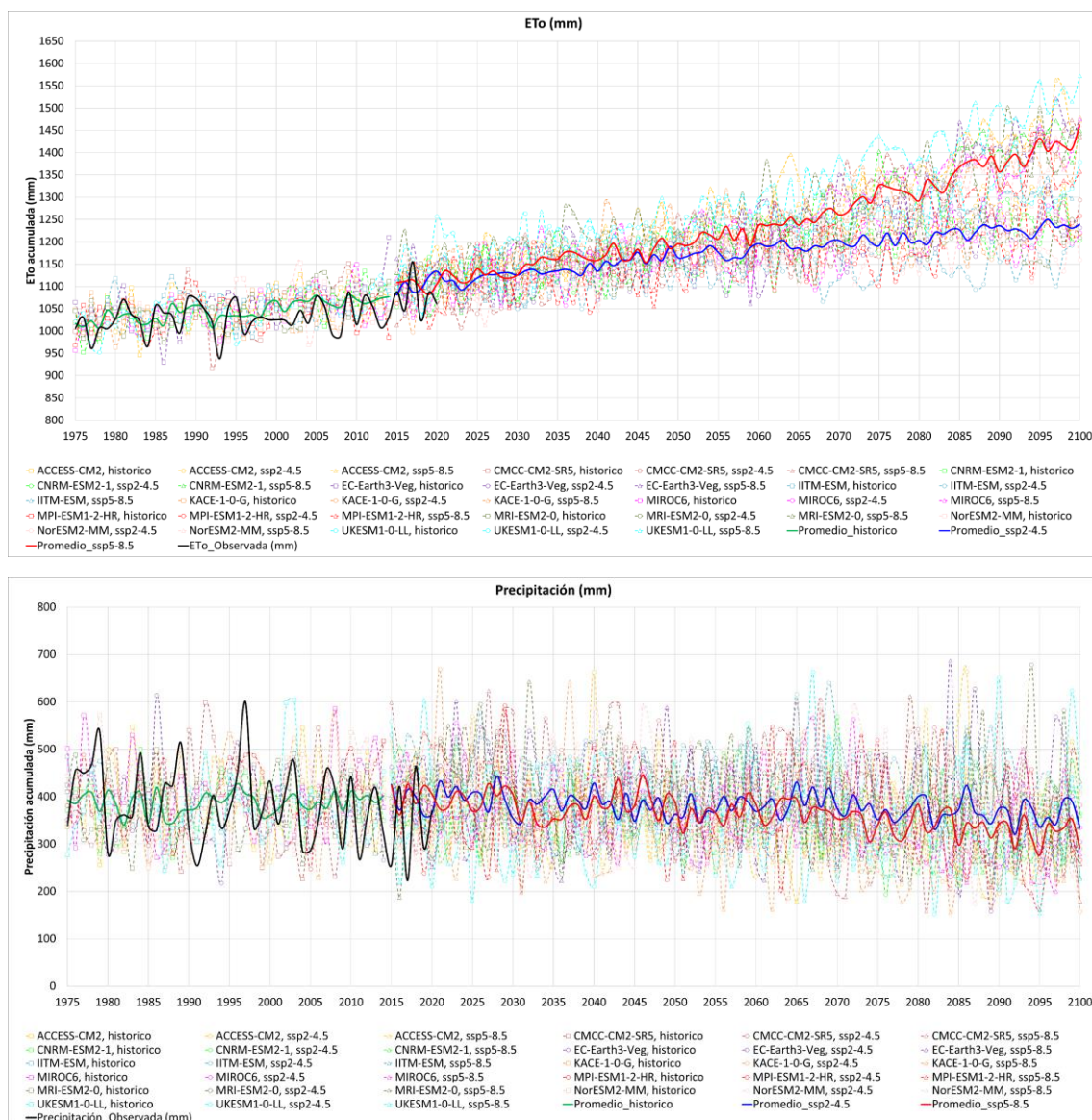


Figura XVII-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 13 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

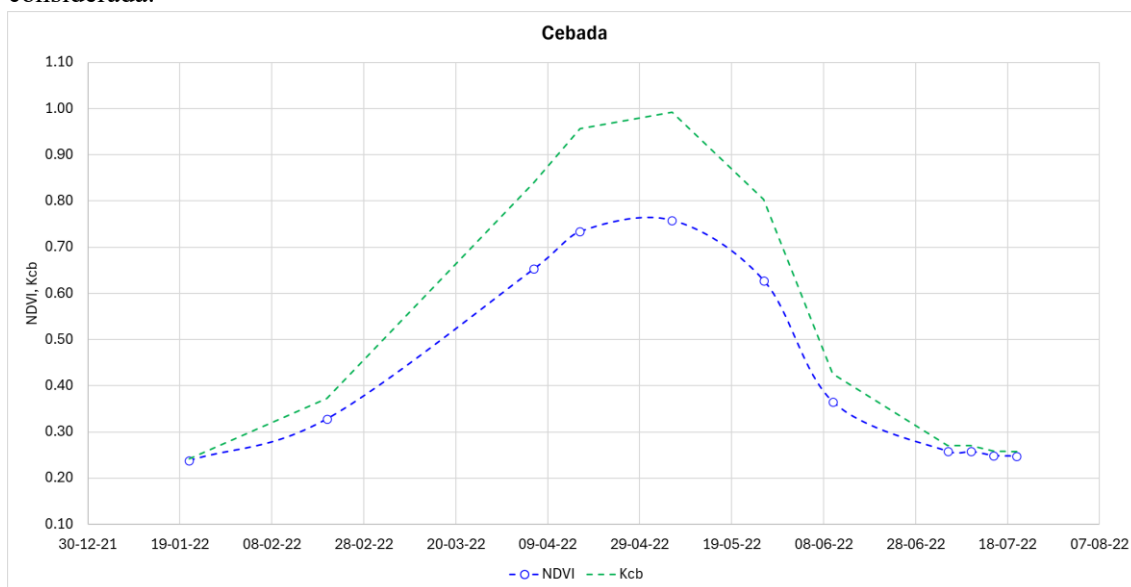
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

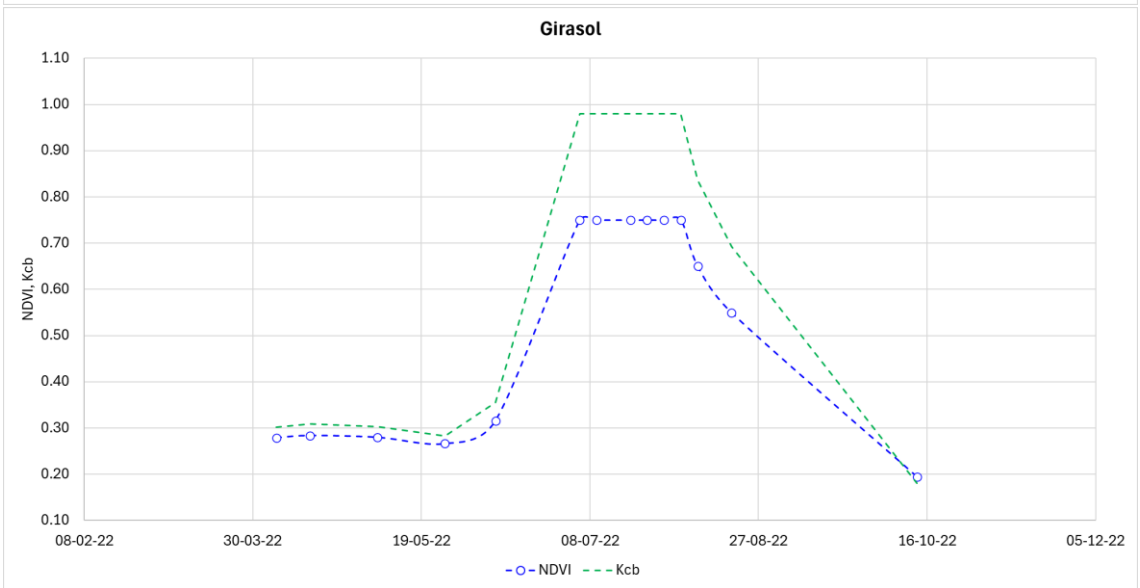
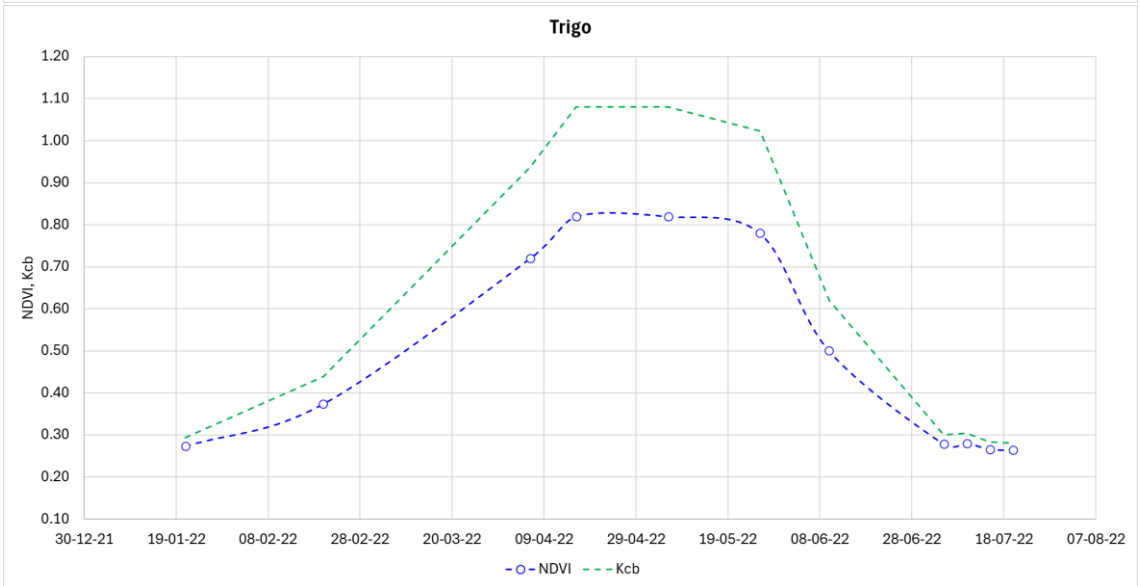
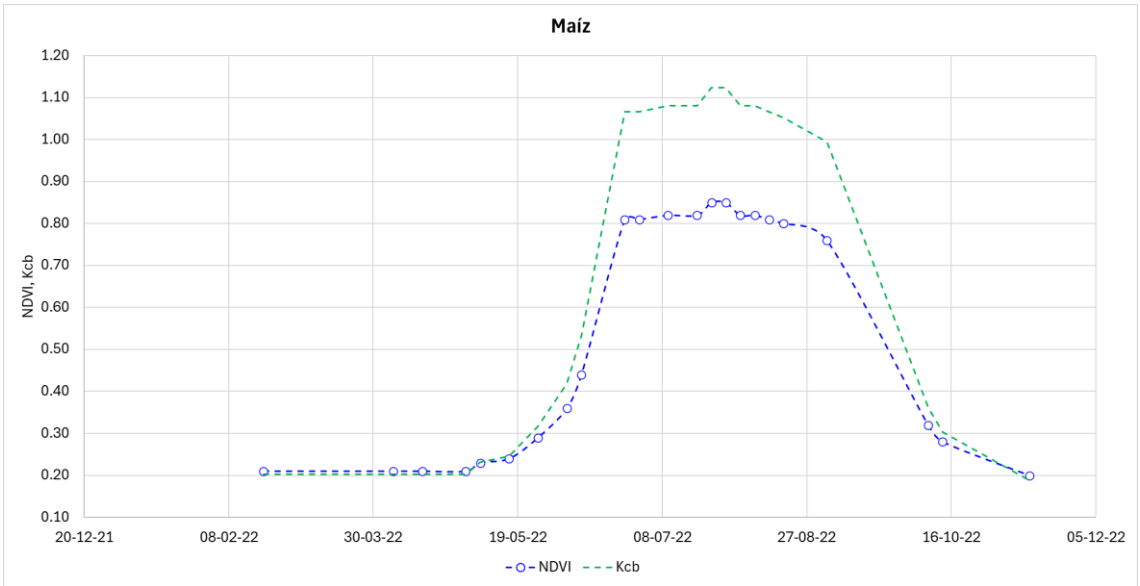
Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla XVII-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla XVII-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 13.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Cebada	19989	22.0
Maíz	19013	21.0
Trigo	16191	17.9
Girasol	11293	12.5
Patata	4420	4.9
Colza	3905	4.3
Alfalfa	3087	3.4
Otros cultivos primavera	8759	9.7
Otros cultivos verano	3868	4.3
Otros cultivos primavera verano	167	0.2

La Figura XVII-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.





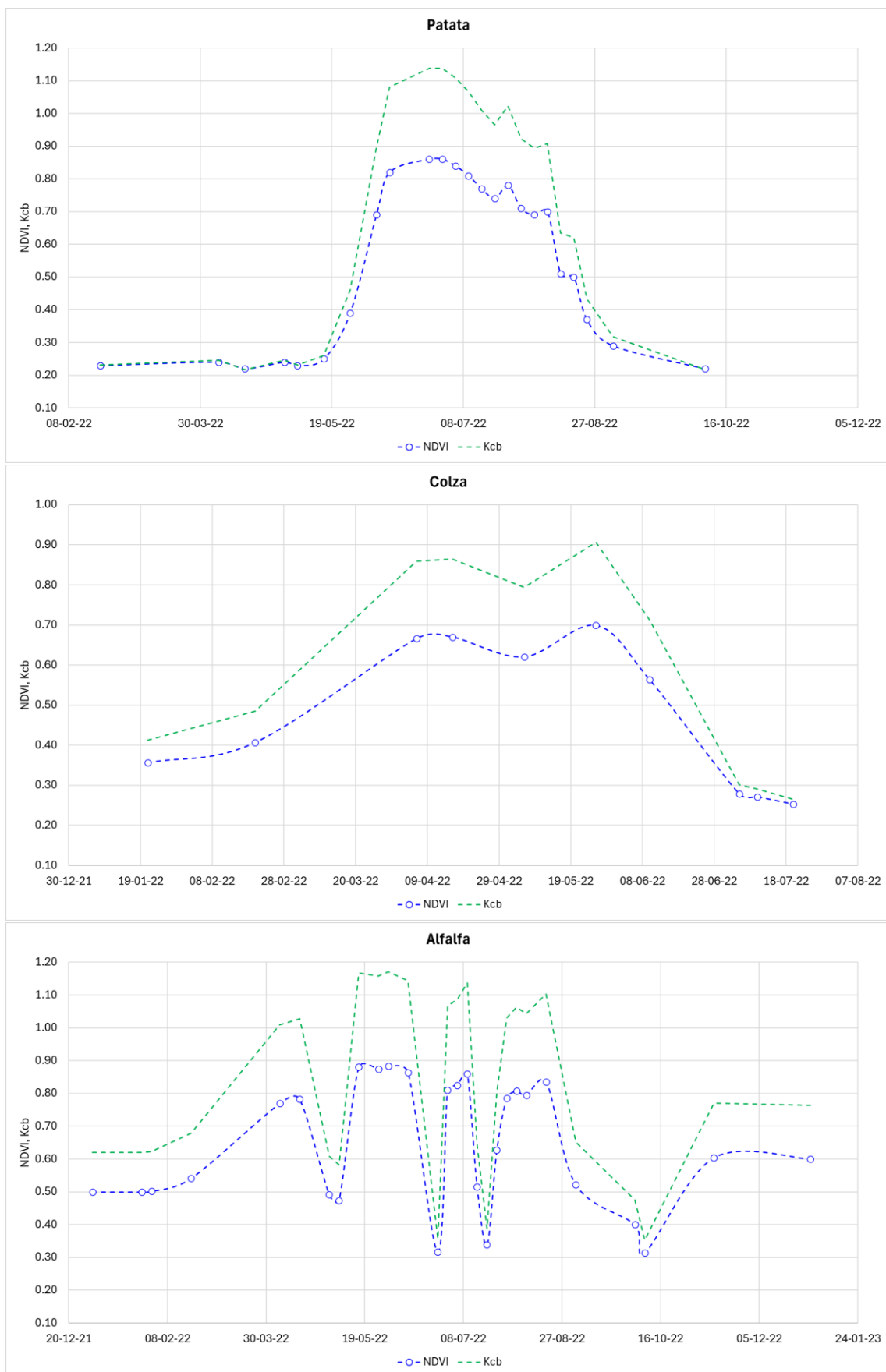


Figura XVII-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 13.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla XVII-2 y Tabla XVII-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XVII-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 13, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cebada	2021-2050	8	11	4	2	9	14	4	3
	2041-2070	10	15	7	2	13	16	8	3
	2071-2100	13	20	7	3	26	34	16	5
Maíz	2021-2050	8	11	5	2	9	13	7	2
	2041-2070	11	14	7	2	14	16	11	2
	2071-2100	13	17	9	2	23	27	17	3
Trigo	2021-2050	8	12	4	2	9	13	4	3
	2041-2070	11	16	7	3	14	17	8	3
	2071-2100	14	21	8	3	26	36	17	5
Girasol	2021-2050	7	9	4	2	8	12	5	2
	2041-2070	9	12	6	2	12	15	9	2
	2071-2100	12	15	8	2	20	24	15	3
Patata	2021-2050	7	10	4	2	9	12	6	2
	2041-2070	10	14	7	2	13	16	11	2
	2071-2100	13	16	8	2	23	27	17	3
Colza	2021-2050	8	12	4	2	9	13	4	3
	2041-2070	11	15	7	2	14	17	8	3
	2071-2100	14	20	8	3	26	34	18	4
Alfalfa	2021-2050	9	13	6	2	10	14	7	2
	2041-2070	12	17	9	3	16	20	11	3
	2071-2100	16	22	9	3	28	36	20	4
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	8	12	4	2	9	13	4	3
	2041-2070	11	15	7	2	14	17	8	3
	2071-2100	14	20	8	3	26	35	18	5
Otros_cultivos_verano	2021-2050	7	10	5	2	9	13	7	2
	2041-2070	10	13	7	2	13	16	11	2
	2071-2100	13	16	8	2	22	26	17	3
Otros_cultivos_primavera_verano	2021-2050	9	13	6	2	10	14	7	2
	2041-2070	12	17	9	3	16	20	11	3
	2071-2100	16	22	9	3	28	36	20	4

Tabla XVII-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 13, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cebada	2021-2050	12	22	2	6	18	41	5	10
	2041-2070	20	33	9	6	28	39	14	10
	2071-2100	28	43	4	11	61	76	31	13
Maíz	2021-2050	11	17	4	4	13	17	8	3
	2041-2070	15	21	8	4	20	25	14	4
	2071-2100	20	26	11	4	35	41	24	5
Trigo	2021-2050	11	21	1	6	16	33	4	8
	2041-2070	18	26	8	5	25	37	11	8
	2071-2100	26	41	6	9	56	71	31	12
Girasol	2021-2050	10	16	4	3	13	19	8	3
	2041-2070	15	20	8	3	19	25	14	4
	2071-2100	20	24	12	4	33	39	24	4
Patata	2021-2050	9	15	3	3	11	16	6	3
	2041-2070	13	18	7	4	17	21	12	3
	2071-2100	17	23	9	3	31	36	21	4
Colza	2021-2050	11	21	2	6	17	30	6	8
	2041-2070	19	28	9	5	27	38	14	8
	2071-2100	28	41	8	9	58	72	35	12
Alfalfa	2021-2050	12	21	5	5	15	21	8	4
	2041-2070	17	25	9	5	23	32	16	5
	2071-2100	24	35	11	6	45	57	29	7
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	11	21	2	6	17	34	5	8
	2041-2070	19	29	9	5	27	38	13	8
	2071-2100	27	42	6	9	58	73	33	12
Otros_cultivos_verano	2021-2050	10	16	4	3	12	17	7	3
	2041-2070	14	20	8	4	19	24	14	4
	2071-2100	19	24	11	4	33	39	23	4
Otros_cultivos_primavera_verano	2021-2050	12	21	5	5	15	21	8	4
	2041-2070	17	25	9	5	23	32	16	5
	2071-2100	24	35	11	6	45	57	29	7

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura XVII-3 y la Figura XVII-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

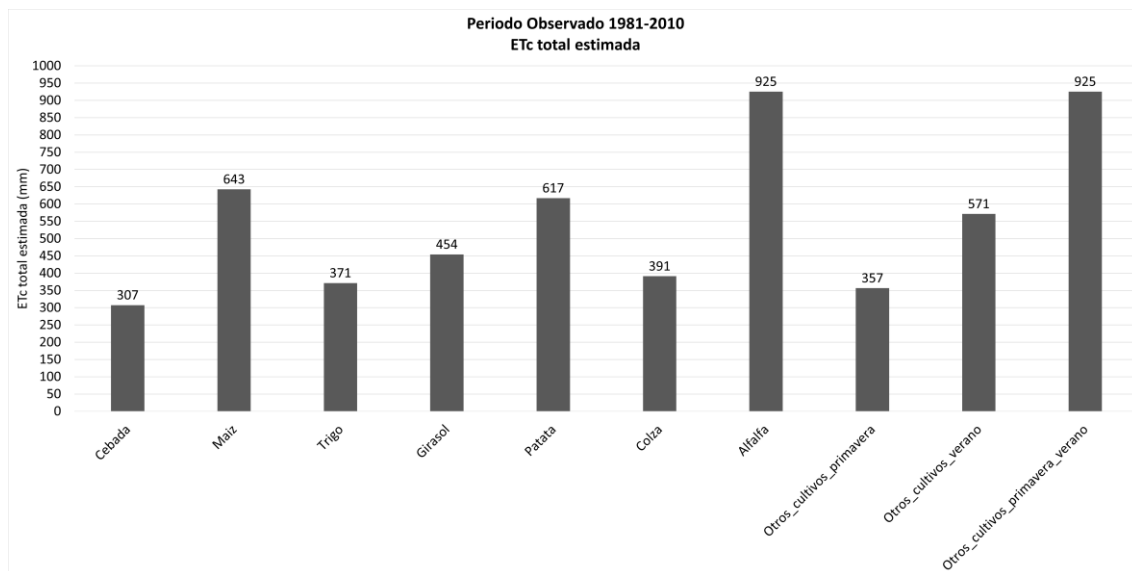


Figura XVII-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 13 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

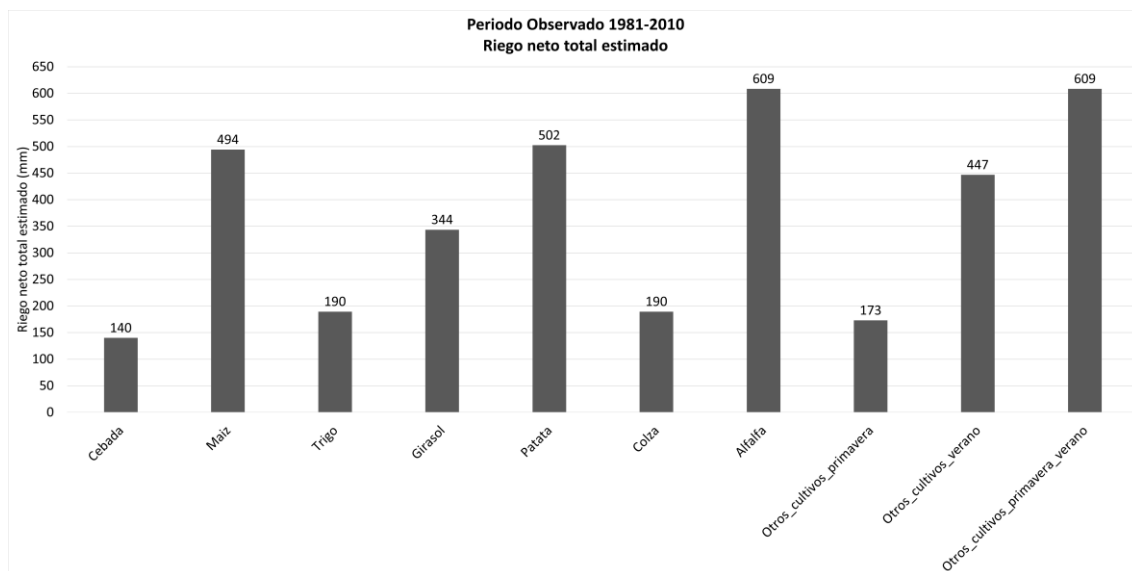


Figura XVII-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 13 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla XVII-4 y Tabla XVII-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XVII-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 13, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cebada	2021-2050	331	342	320	6	334	349	320	9
	2041-2070	339	353	329	8	348	357	333	9
	2071-2100	349	369	329	11	386	413	358	16
Maíz	2021-2050	693	710	674	11	702	727	690	10
	2041-2070	711	734	687	14	731	747	716	10
	2071-2100	729	752	698	15	792	818	752	20
Trigo	2021-2050	400	415	386	8	404	421	385	11
	2041-2070	411	430	398	9	422	435	401	11
	2071-2100	423	449	400	12	470	504	436	19
Girasol	2021-2050	484	493	472	7	491	510	479	8
	2041-2070	496	510	482	9	509	524	497	7
	2071-2100	508	522	489	10	545	565	524	12
Patata	2021-2050	661	681	645	10	671	693	657	11
	2041-2070	680	701	660	12	699	716	683	10
	2071-2100	698	717	667	14	758	781	722	18
Colza	2021-2050	421	436	407	8	425	440	407	10
	2041-2070	433	450	420	9	445	457	424	11
	2071-2100	445	469	423	12	493	524	463	17
Alfalfa	2021-2050	1005	1045	980	19	1019	1052	990	19
	2041-2070	1037	1087	1006	23	1069	1107	1031	23
	2071-2100	1071	1132	1011	29	1188	1263	1111	38
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	384	398	371	7	387	404	371	10
	2041-2070	394	411	382	9	405	416	386	10
	2071-2100	406	429	384	12	450	480	419	17
Otros_cultivos_verano	2021-2050	613	628	597	9	622	643	609	10
	2041-2070	629	648	610	11	647	662	633	9
	2071-2100	645	664	618	13	698	720	666	16
Otros_cultivos_primavera_verano	2021-2050	1005	1045	980	19	1019	1052	990	19
	2041-2070	1037	1087	1006	23	1069	1107	1031	23
	2071-2100	1071	1132	1011	29	1188	1263	1111	38

Tabla XVII-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 13, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cebada	2021-2050	157	171	143	9	165	198	147	14
	2041-2070	168	186	153	9	180	195	160	13
	2071-2100	180	201	146	15	226	247	184	19
Maíz	2021-2050	547	577	515	18	559	579	531	16
	2041-2070	569	600	534	21	593	619	563	20
	2071-2100	593	621	549	19	666	698	613	24
Trigo	2021-2050	211	229	192	12	220	251	196	15
	2041-2070	224	239	205	10	238	260	210	16
	2071-2100	239	268	201	17	295	323	249	22
Girasol	2021-2050	376	398	358	10	388	410	369	11
	2041-2070	393	412	370	12	410	428	392	14
	2071-2100	411	427	385	12	458	478	427	15
Patata	2021-2050	545	577	516	16	556	581	533	15
	2041-2070	567	593	535	18	588	609	565	16
	2071-2100	590	617	550	17	656	685	607	20
Colza	2021-2050	211	229	194	11	221	247	201	15
	2041-2070	225	242	207	10	241	261	216	15
	2071-2100	242	267	205	16	299	325	255	22
Alfalfa	2021-2050	679	735	637	28	698	738	658	26
	2041-2070	715	760	665	30	751	801	707	31
	2071-2100	753	822	673	34	880	955	786	42
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	193	210	176	10	202	232	182	15
	2041-2070	206	222	188	9	219	239	196	15
	2071-2100	220	245	184	16	273	298	229	21
Otros_cultivos_verano	2021-2050	490	517	465	15	501	523	479	14
	2041-2070	510	535	481	17	530	552	507	17
	2071-2100	531	555	495	16	593	621	549	19
Otros_cultivos_primavera_verano	2021-2050	679	735	637	28	698	738	658	26
	2041-2070	715	760	665	30	751	801	707	31
	2071-2100	753	822	673	34	880	955	786	42

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla XVII-1).

En la Figura XVII-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla XVII-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura XVII-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

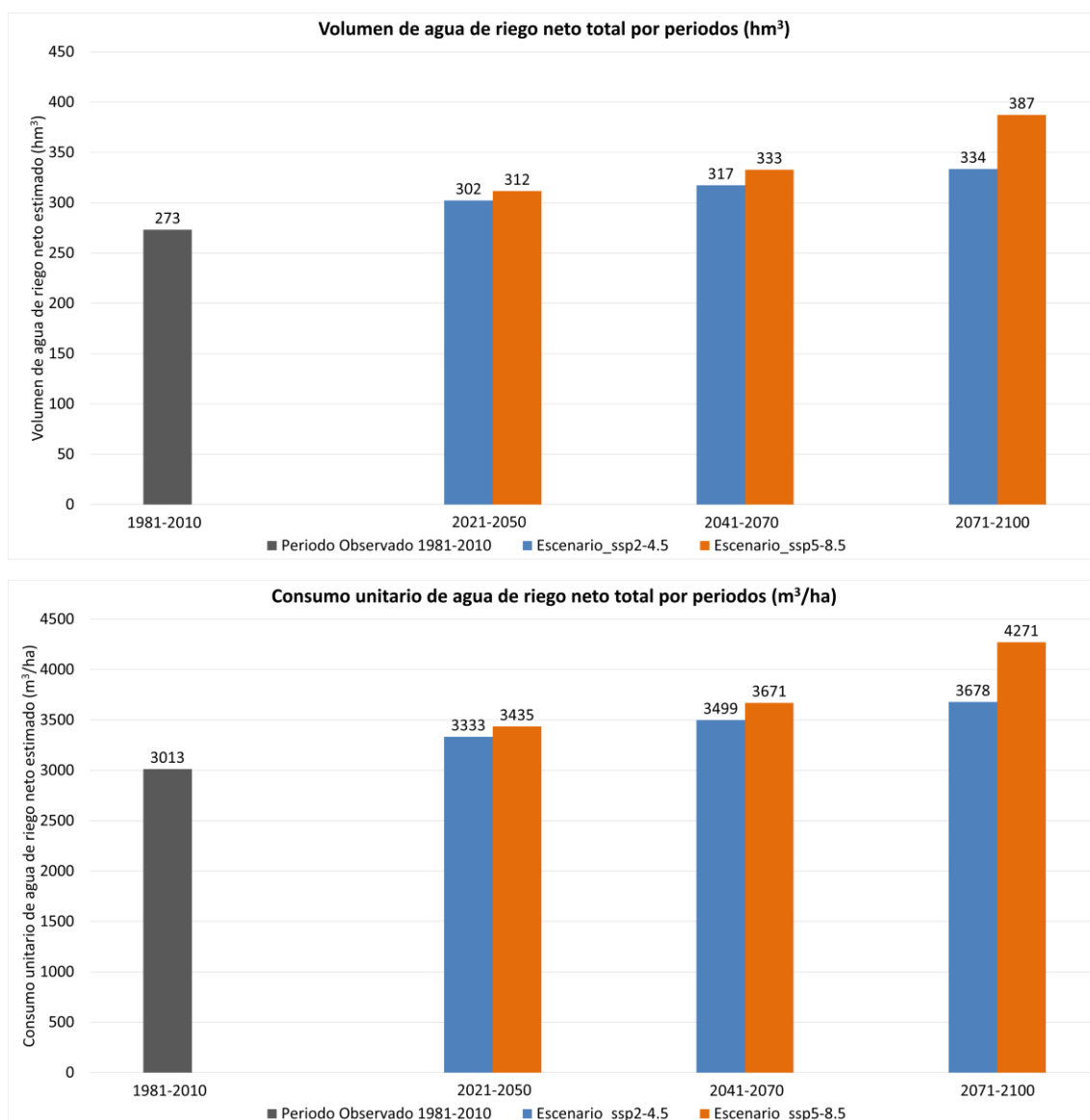


Figura XVII-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XVII-1 para la Zona 13. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

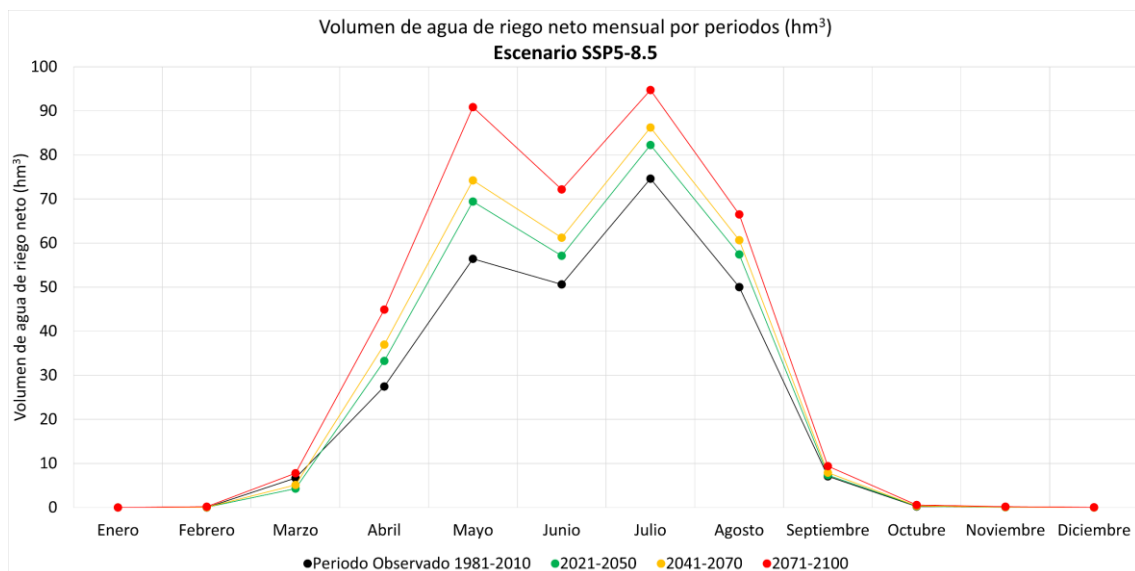
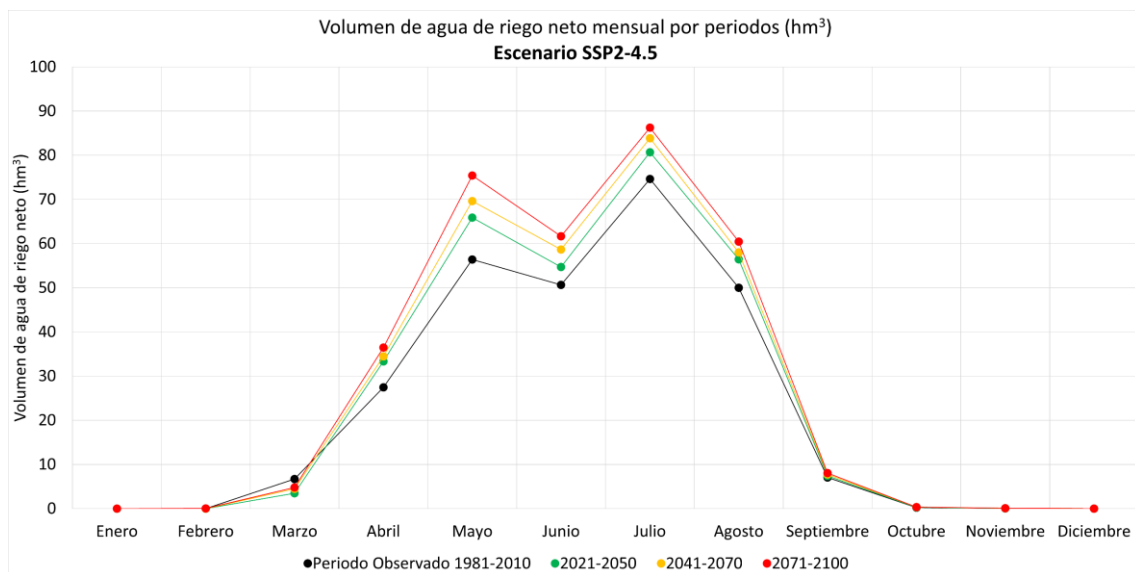
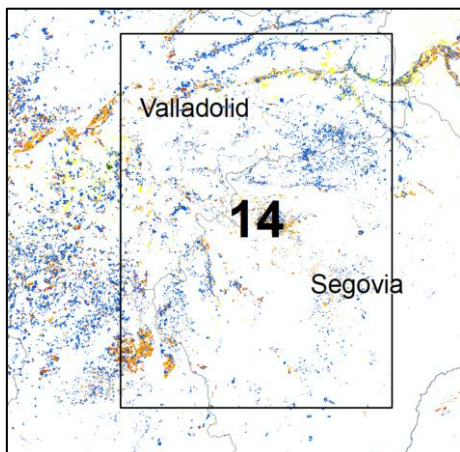


Figura XVII-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XVII-1 para la Zona 13. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

XVIII. Zona 14. Duero 04-Demarcación Hidrográfica del Duero



ECLIMAR

DEMANDA DE AGUA, ETc, Y DEMANDA DE AGUA DE RIEGO, R, EN EL HORIZONTE 2015-2100

Zona 14. Duero 04-Demarcación Hidrográfica del Duero

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	184
RESULTADOS	185
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	185
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	186
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	189
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo..	191
E.- Demandas de agua de riego globales.....	194

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 14. Duero 04-Demarcación Hidrográfica del Duero, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo, a excepción del cultivo de la viña de vinificación que se ha considerado que se maneja con un cierto grado de estrés hídrico. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los periodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura XVIII-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

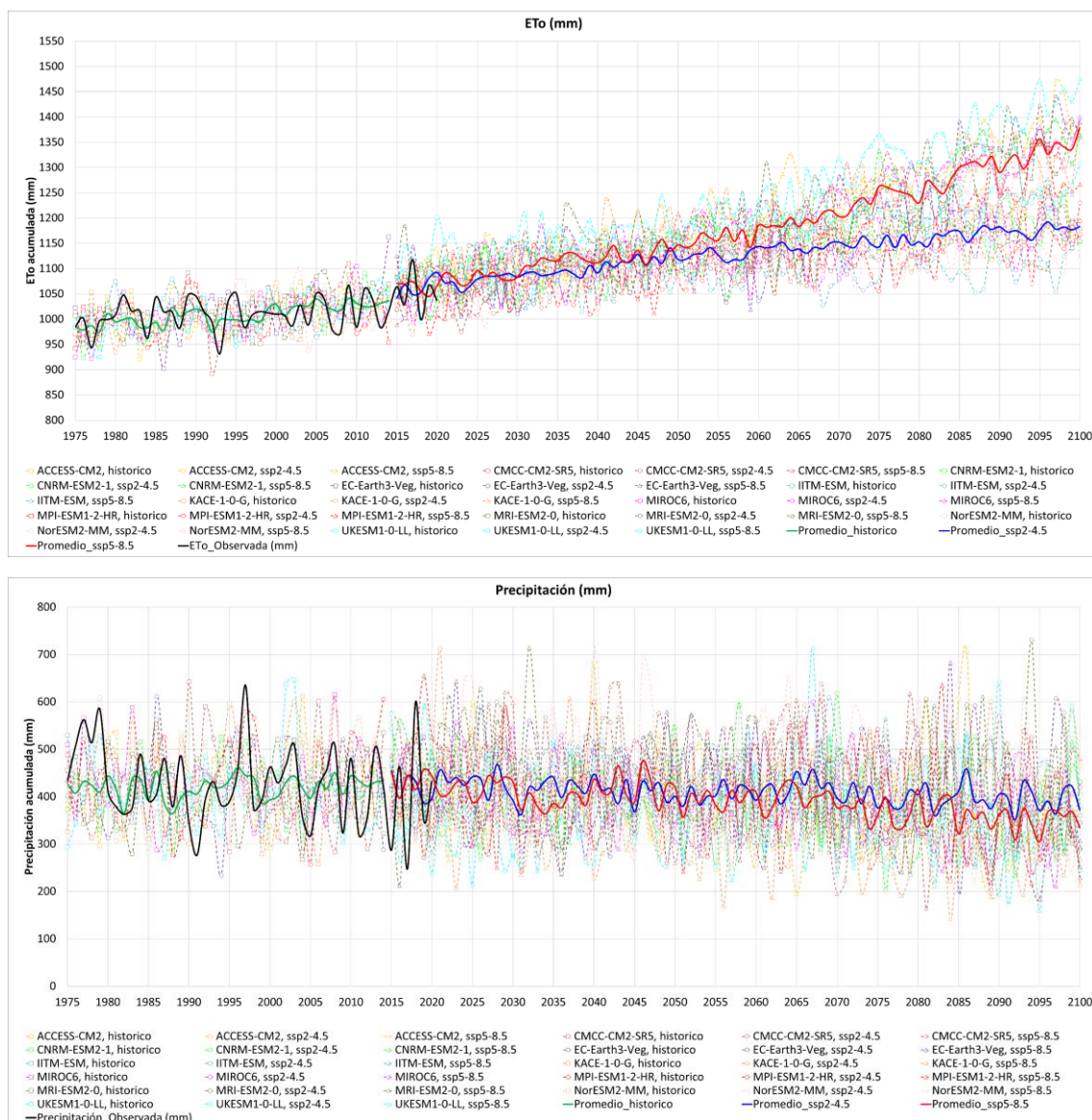


Figura XVIII-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 14 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

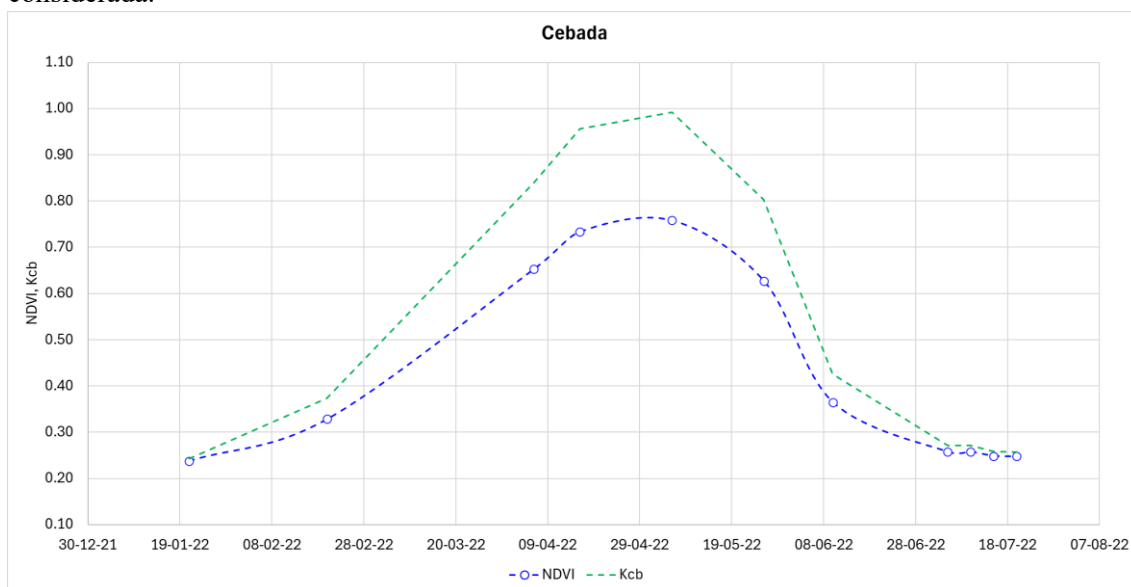
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

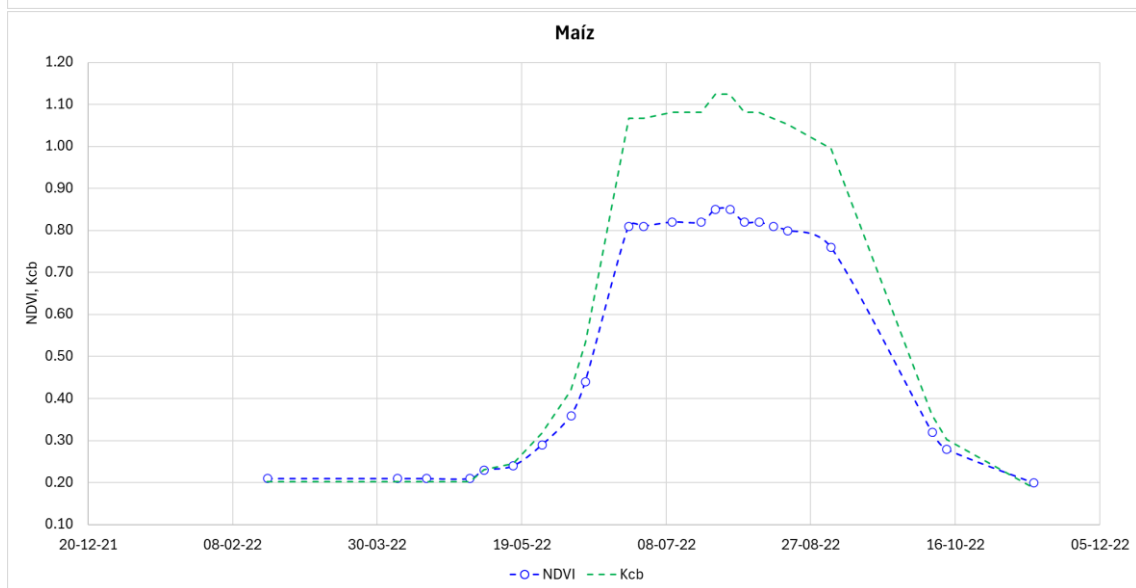
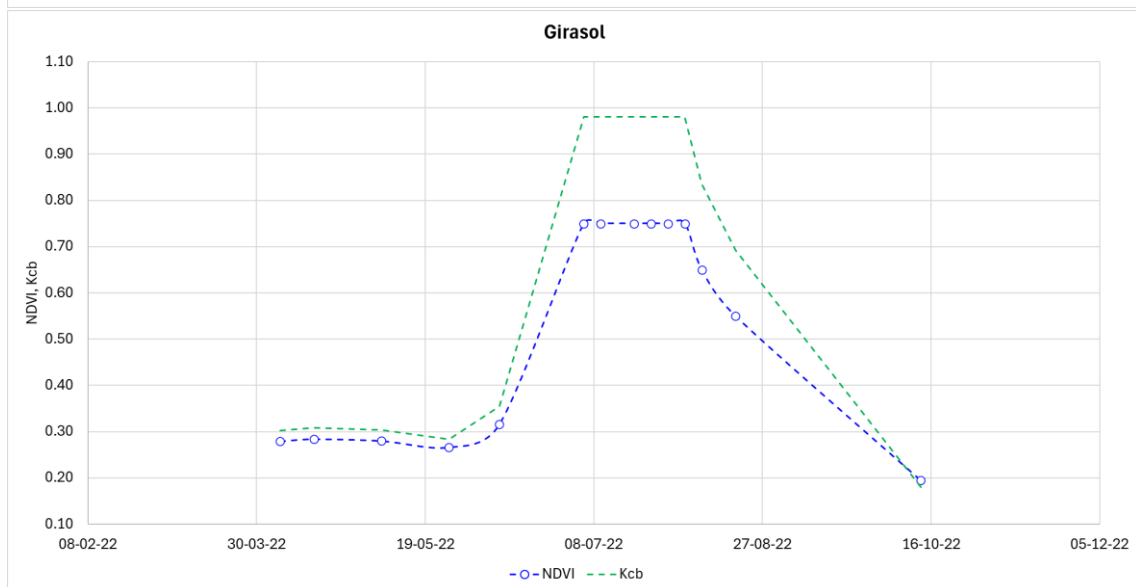
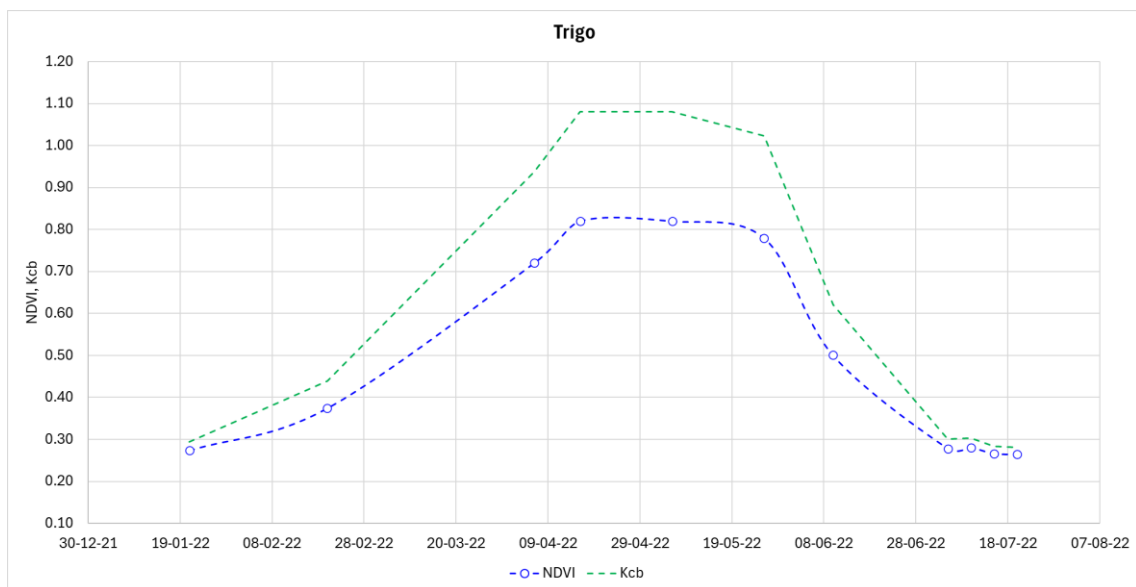
Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla XVIII-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla XVIII-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 14.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Cebada	14325	30.2
Trigo	12210	25.7
Girasol	3849	8.1
Maíz	2820	5.9
Remolacha	1969	4.2
Patata	1900	4.0
Viña_vinificación	1735	3.7
Otros_cultivos_primavera	5419	11.4
Otros_cultivos_verano	1992	4.2
Otros_cultivos_primavera_verano	1204	2.5

La Figura XVIII-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.





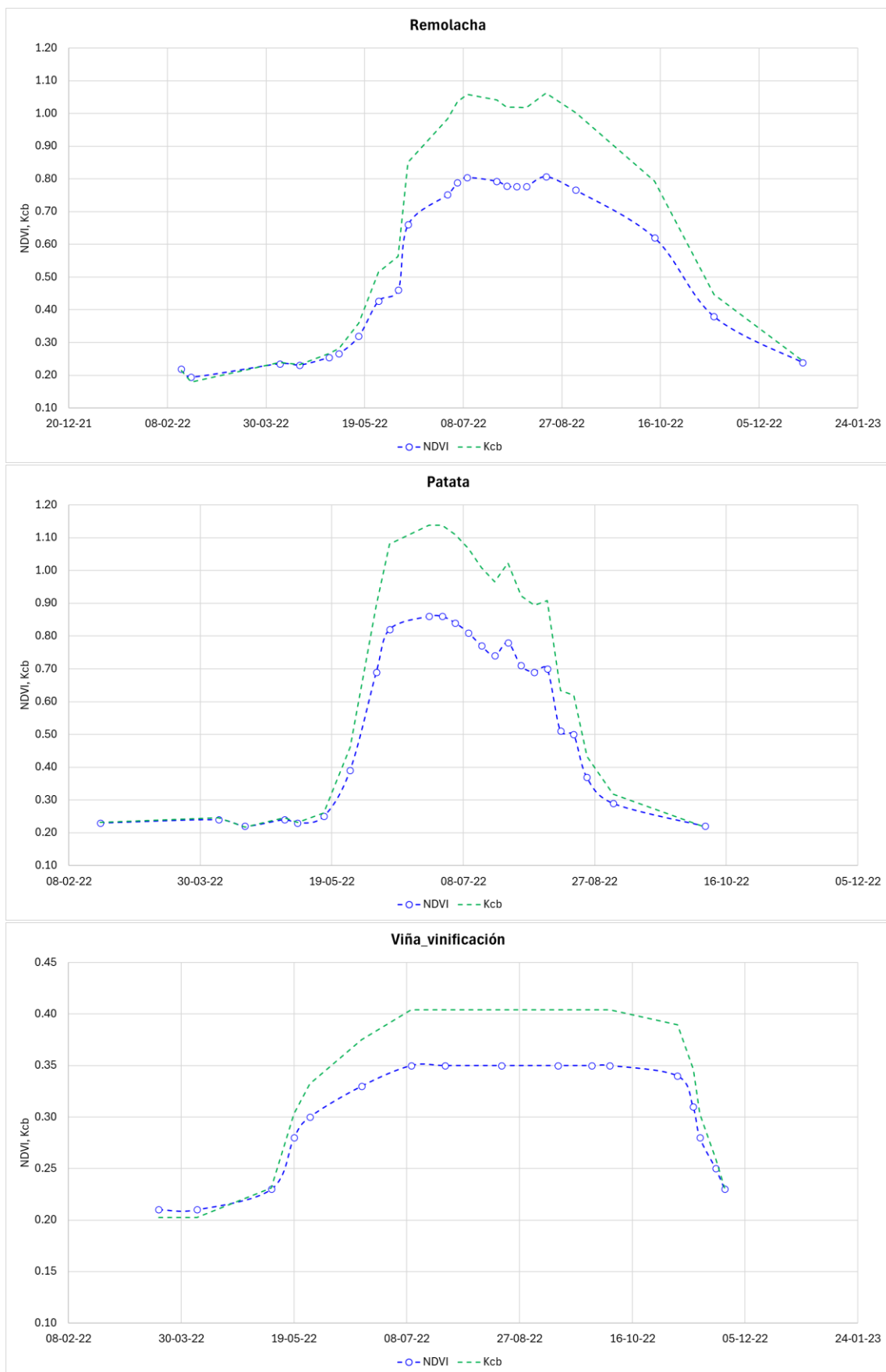


Figura XVIII-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 14.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla XVIII-2 y Tabla XVIII-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XVIII-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 14, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cebada	2021-2050	7	11	4	2	8	12	4	3
	2041-2070	10	14	6	2	12	16	8	3
	2071-2100	12	19	7	3	23	31	14	5
Trigo	2021-2050	7	11	4	2	8	12	3	3
	2041-2070	10	15	7	2	13	16	7	3
	2071-2100	13	19	7	3	24	32	16	5
Girasol	2021-2050	6	8	4	2	8	11	5	1
	2041-2070	9	11	6	2	11	14	9	2
	2071-2100	11	15	8	2	18	22	15	3
Maíz	2021-2050	7	10	5	2	9	12	7	1
	2041-2070	10	13	7	2	13	15	11	1
	2071-2100	13	15	9	2	22	25	17	3
Remolacha	2021-2050	8	11	5	2	9	12	7	1
	2041-2070	11	14	7	2	14	16	10	2
	2071-2100	14	18	9	2	23	28	18	3
Patata	2021-2050	7	9	5	1	9	12	6	2
	2041-2070	10	12	7	2	13	15	10	2
	2071-2100	13	15	8	2	22	24	17	3
Viña_vinificación	2021-2050	7	10	4	2	7	12	4	2
	2041-2070	8	11	4	2	9	13	6	2
	2071-2100	9	14	5	3	14	18	10	3
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	7	11	4	2	8	12	4	3
	2041-2070	10	14	7	2	12	16	7	3
	2071-2100	13	19	7	3	24	31	15	5
Otros_cultivos_verano	2021-2050	7	10	5	2	9	12	6	1
	2041-2070	10	13	7	2	13	15	10	2
	2071-2100	13	16	9	2	22	25	17	3
Otros_cultivos_primavera_verano	2021-2050	8	12	6	2	10	13	6	2
	2041-2070	11	16	8	2	15	18	10	2
	2071-2100	15	21	9	3	26	34	19	4

Tabla XVIII-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 14, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cebada	2021-2050	13	24	1	6	19	45	4	11
	2041-2070	20	29	13	5	30	43	15	9
	2071-2100	29	43	10	10	63	79	41	13
Trigo	2021-2050	12	23	2	6	18	38	5	9
	2041-2070	19	28	8	6	29	42	14	8
	2071-2100	28	43	13	9	58	72	39	12
Girasol	2021-2050	10	19	4	4	14	21	8	4
	2041-2070	15	22	7	4	21	26	15	4
	2071-2100	21	27	13	4	35	43	25	5
Maíz	2021-2050	11	18	5	3	14	19	10	3
	2041-2070	15	22	8	4	21	26	16	4
	2071-2100	21	26	12	4	36	43	25	5
Remolacha	2021-2050	11	22	5	4	15	22	10	4
	2041-2070	17	27	9	5	22	31	16	5
	2071-2100	22	33	12	5	40	52	27	6
Patata	2021-2050	9	16	4	3	12	18	7	4
	2041-2070	13	19	7	4	18	23	14	3
	2071-2100	18	24	11	4	32	38	21	5
Viña_vinificación	2021-2050	21	49	10	10	28	44	17	8
	2041-2070	31	55	15	12	41	62	27	11
	2071-2100	42	65	22	11	75	105	50	14
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	13	23	1	6	18	41	5	10
	2041-2070	20	28	10	5	29	43	15	8
	2071-2100	28	43	12	9	60	75	40	12
Otros_cultivos_verano	2021-2050	10	19	5	4	14	19	9	3
	2041-2070	15	23	8	4	21	26	16	4
	2071-2100	21	27	12	4	36	44	25	5
Otros_cultivos_primavera_verano	2021-2050	12	22	5	4	15	23	10	4
	2041-2070	17	26	9	5	24	32	18	5
	2071-2100	24	36	12	5	45	59	30	7

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura XVIII-3 y la Figura XVIII-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

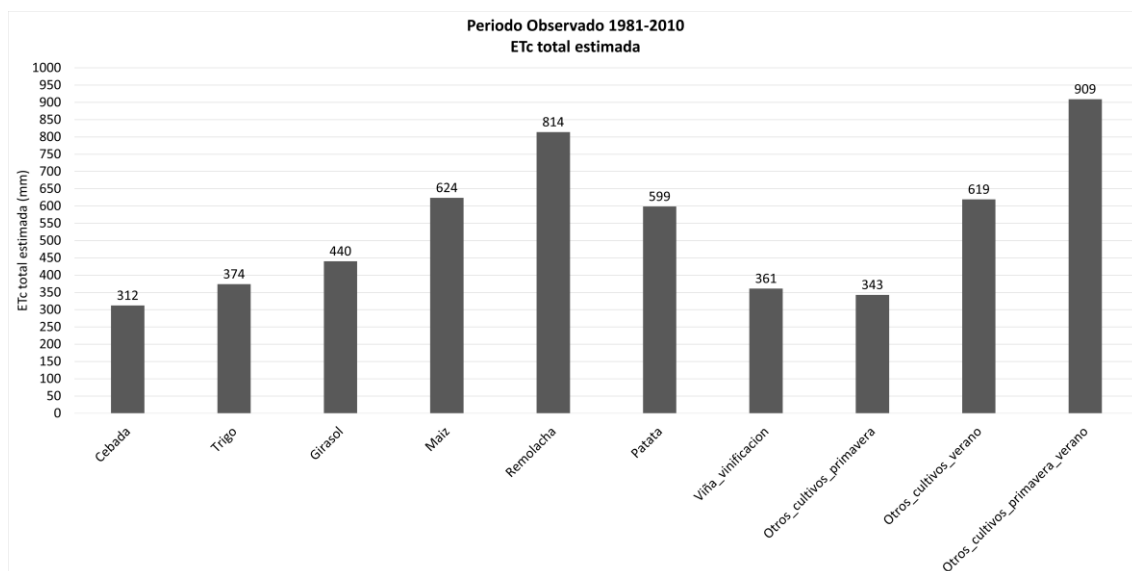


Figura XVIII-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 14 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

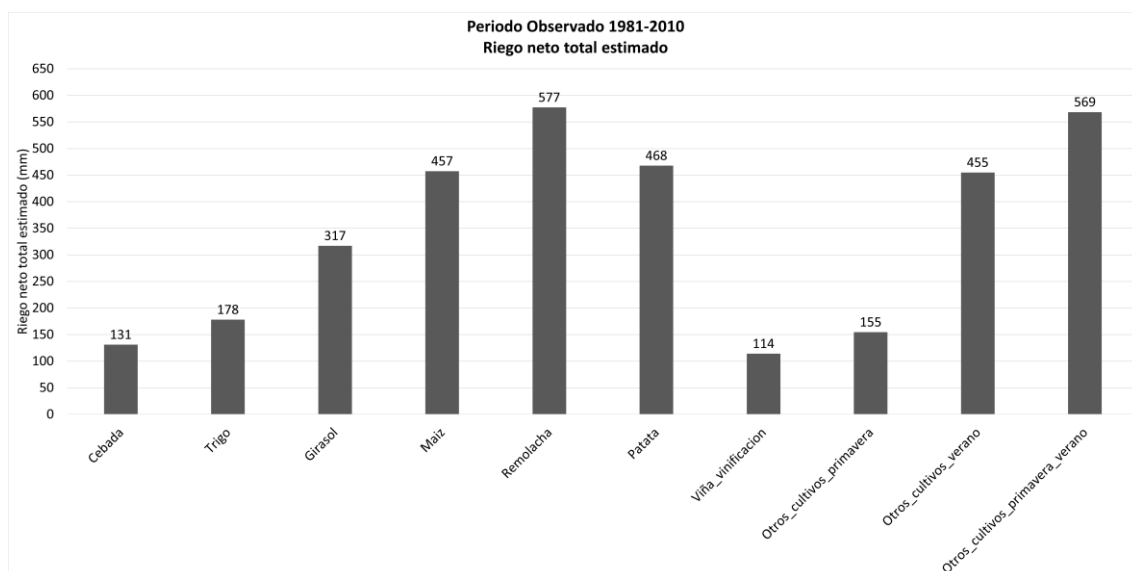


Figura XVIII-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 14 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla XVIII-4 y Tabla XVIII-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XVIII-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 14, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cebada	2021-2050	334	346	324	6	337	350	325	8
	2041-2070	342	355	332	7	350	361	335	8
	2071-2100	350	370	333	10	384	407	357	15
Trigo	2021-2050	401	416	387	8	405	420	387	10
	2041-2070	411	428	400	9	421	434	402	10
	2071-2100	422	445	401	11	463	493	433	17
Girasol	2021-2050	468	477	458	7	474	487	463	7
	2041-2070	478	490	465	8	491	502	479	7
	2071-2100	489	505	474	9	521	537	505	11
Maíz	2021-2050	670	684	655	10	679	700	667	9
	2041-2070	686	706	665	12	706	719	691	9
	2071-2100	703	720	678	12	759	782	727	17
Remolacha	2021-2050	877	905	856	14	890	916	872	12
	2041-2070	900	931	875	17	924	948	898	16
	2071-2100	925	958	888	19	1003	1044	957	25
Patata	2021-2050	640	655	627	9	650	669	632	10
	2041-2070	656	673	640	10	675	688	657	10
	2071-2100	674	688	649	11	727	745	698	16
Viña_vinificación	2021-2050	385	396	376	7	386	405	374	8
	2041-2070	388	400	376	7	395	410	384	8
	2071-2100	394	411	380	10	413	427	398	9
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	368	381	356	7	371	385	356	9
	2041-2070	376	392	366	8	386	397	368	9
	2071-2100	386	407	367	10	424	450	395	16
Otros_cultivos_verano	2021-2050	664	680	649	10	673	693	658	9
	2041-2070	680	699	661	11	699	712	681	10
	2071-2100	698	717	673	12	752	776	722	17
Otros_cultivos_primavera_verano	2021-2050	985	1021	964	17	998	1024	967	18
	2041-2070	1013	1059	985	21	1043	1077	1004	22
	2071-2100	1044	1098	991	27	1150	1214	1082	34

Tabla XVIII-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 14, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cebada	2021-2050	148	162	132	8	155	190	137	15
	2041-2070	157	169	148	7	170	188	151	12
	2071-2100	169	188	144	13	213	234	184	17
Trigo	2021-2050	200	218	181	10	210	245	187	16
	2041-2070	212	227	192	10	229	253	203	14
	2071-2100	228	255	202	15	282	307	247	21
Girasol	2021-2050	349	376	330	12	361	383	342	11
	2041-2070	364	386	340	13	383	401	366	12
	2071-2100	382	401	360	13	429	453	398	15
Maíz	2021-2050	508	541	481	16	521	545	501	15
	2041-2070	528	558	493	19	552	576	532	17
	2071-2100	551	578	513	17	621	652	571	21
Remolacha	2021-2050	642	703	606	25	662	703	635	22
	2041-2070	673	730	629	29	706	755	667	27
	2071-2100	707	765	648	28	807	877	732	35
Patata	2021-2050	510	540	485	14	524	552	500	17
	2041-2070	530	559	499	18	554	574	531	16
	2071-2100	554	579	519	17	618	647	566	22
Viña_vinificación	2021-2050	138	170	126	12	145	164	133	9
	2041-2070	149	176	131	13	161	185	145	12
	2071-2100	161	188	139	13	199	233	171	16
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	174	190	157	9	183	218	162	15
	2041-2070	185	198	170	8	200	220	177	13
	2071-2100	198	221	173	14	248	270	217	19
Otros_cultivos_verano	2021-2050	502	540	477	16	517	541	495	16
	2041-2070	523	558	491	20	548	575	527	18
	2071-2100	549	580	510	18	619	657	566	23
Otros_cultivos_primavera_verano	2021-2050	635	695	598	25	656	699	626	24
	2041-2070	667	719	619	28	705	752	670	29
	2071-2100	706	773	638	31	827	903	740	41

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla XVIII-1).

En la Figura XVIII-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla XVIII-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura XVIII-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

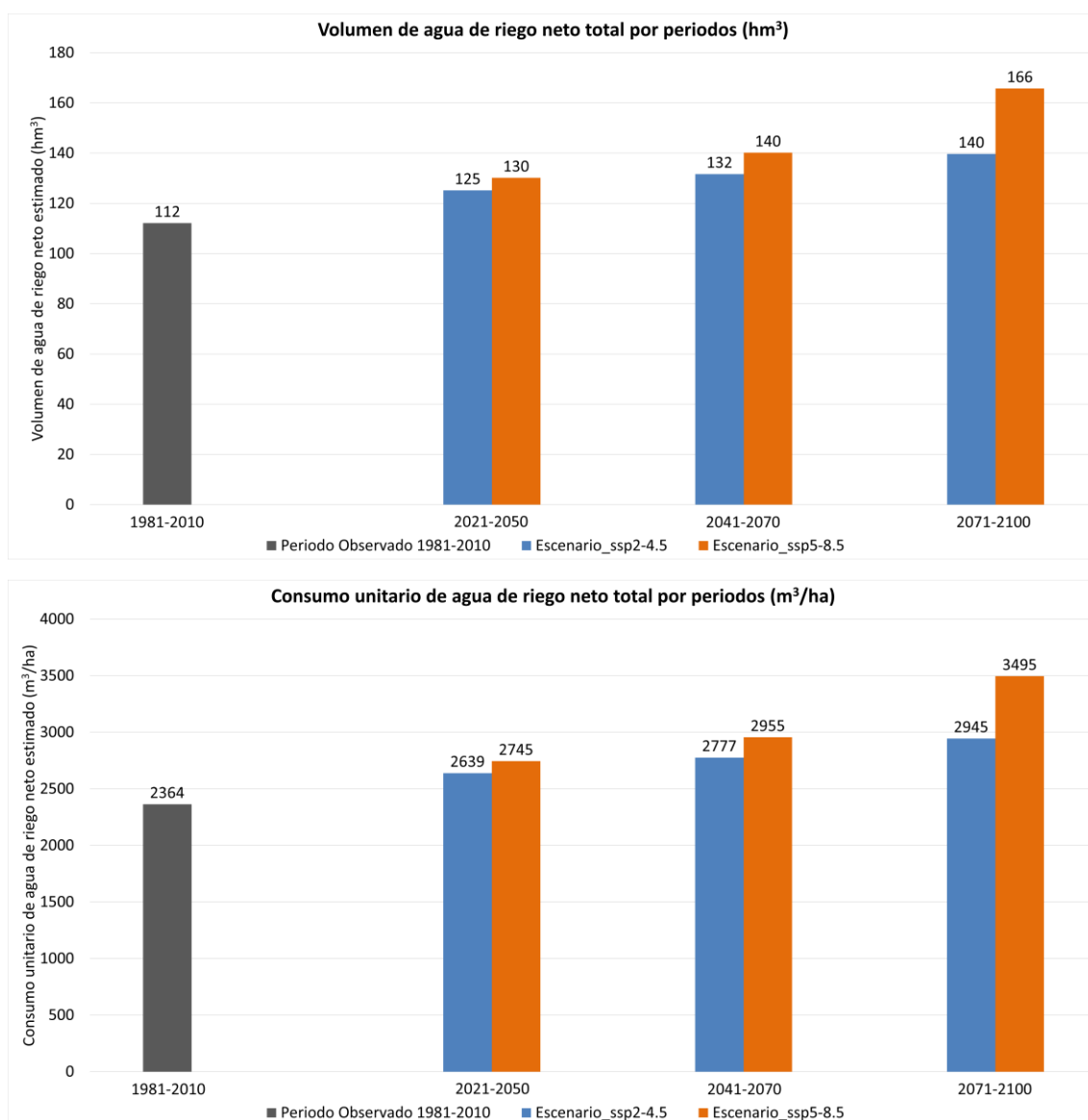


Figura XVIII-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XVIII-1 para la Zona 14. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

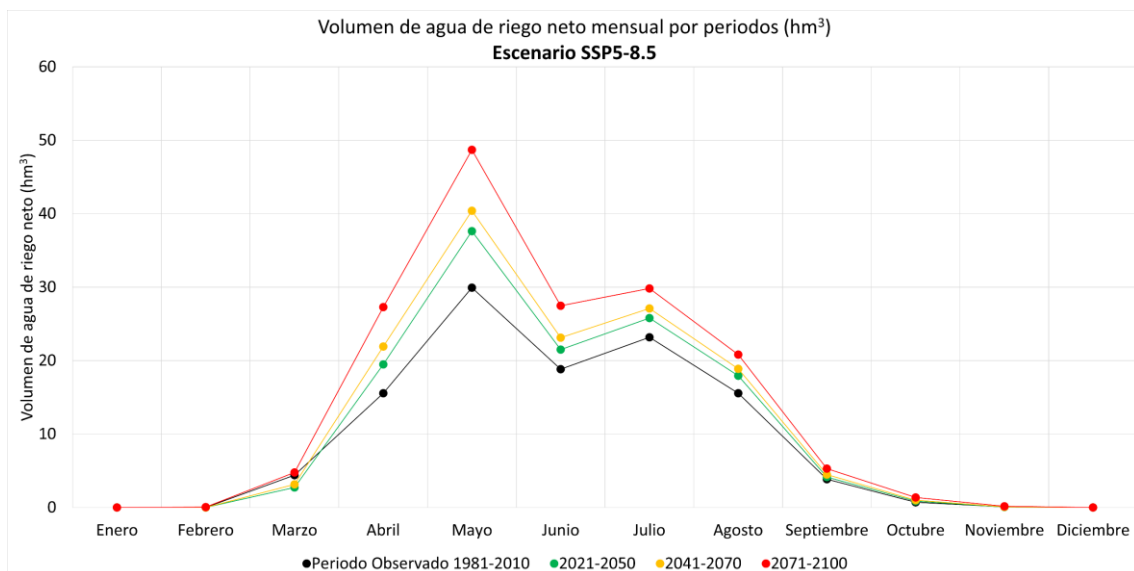
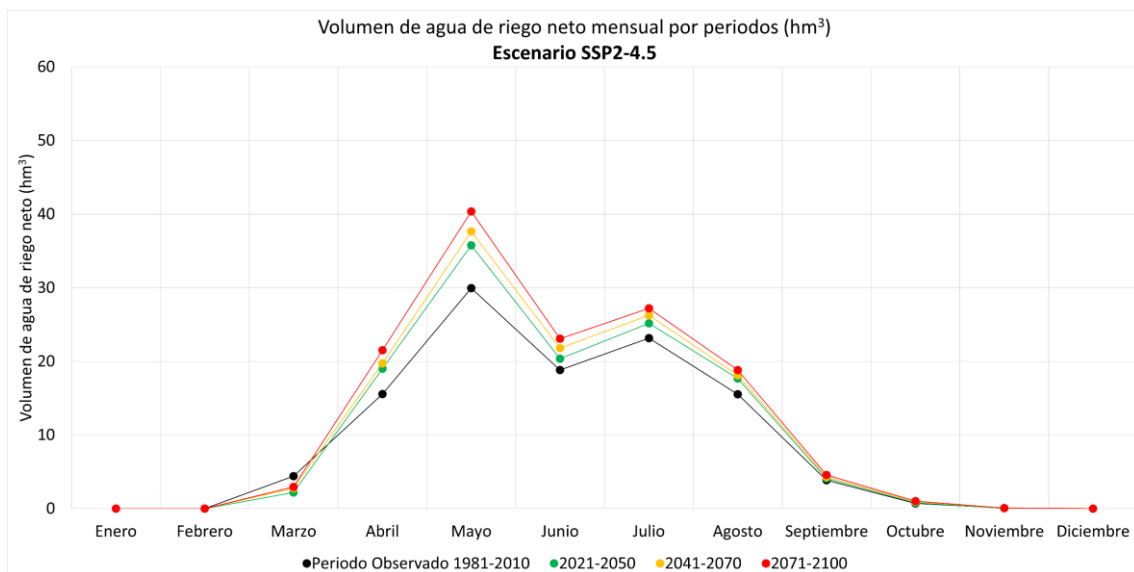
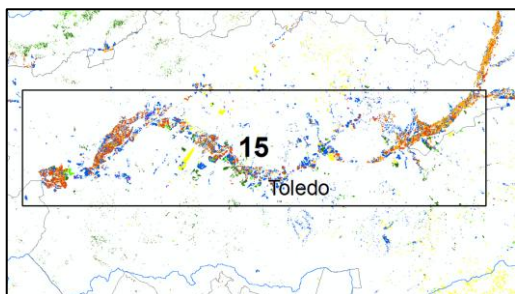


Figura XVIII-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XVIII-1 para la Zona 14. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

XIX. Zona 15. Toledo-Demarcación Hidrográfica del Tajo

ECLIMAR

**DEMANDA DE AGUA, ETc,
Y DEMANDA DE AGUA DE
RIEGO, R, EN EL
HORIZONTE 2015-2100**



Zona 15. Toledo-Demarcación Hidrográfica del Tajo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	197
RESULTADOS	198
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	198
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	199
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	202
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo..	204
E.- Demandas de agua de riego globales.....	207

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 15. Toledo-Demarcación Hidrográfica del Tajo, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo, a excepción del cultivo de la viña de vinificación que se ha considerado que se maneja con un cierto grado de estrés hídrico. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los periodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura XIX-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

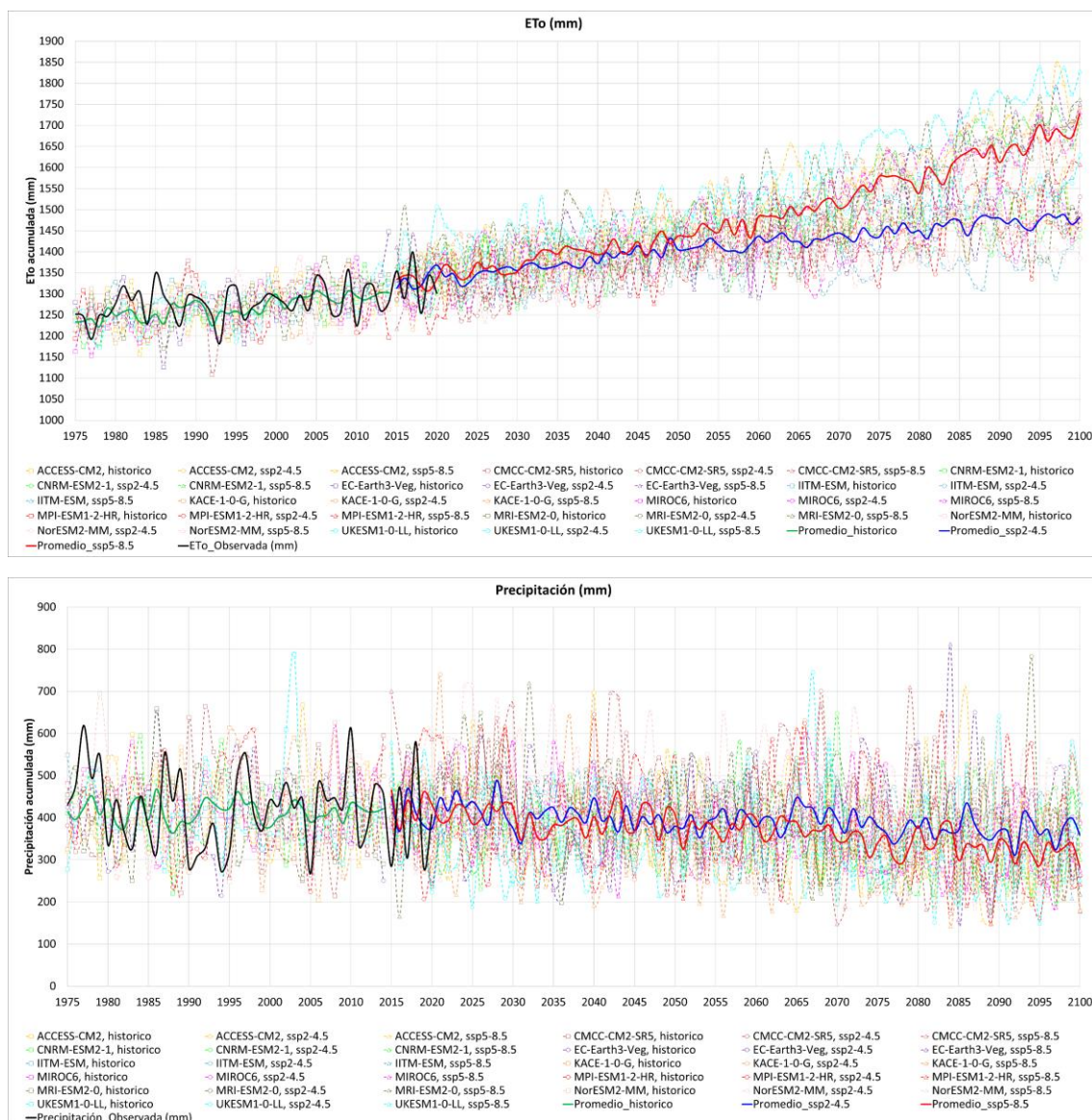


Figura XIX-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 15 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

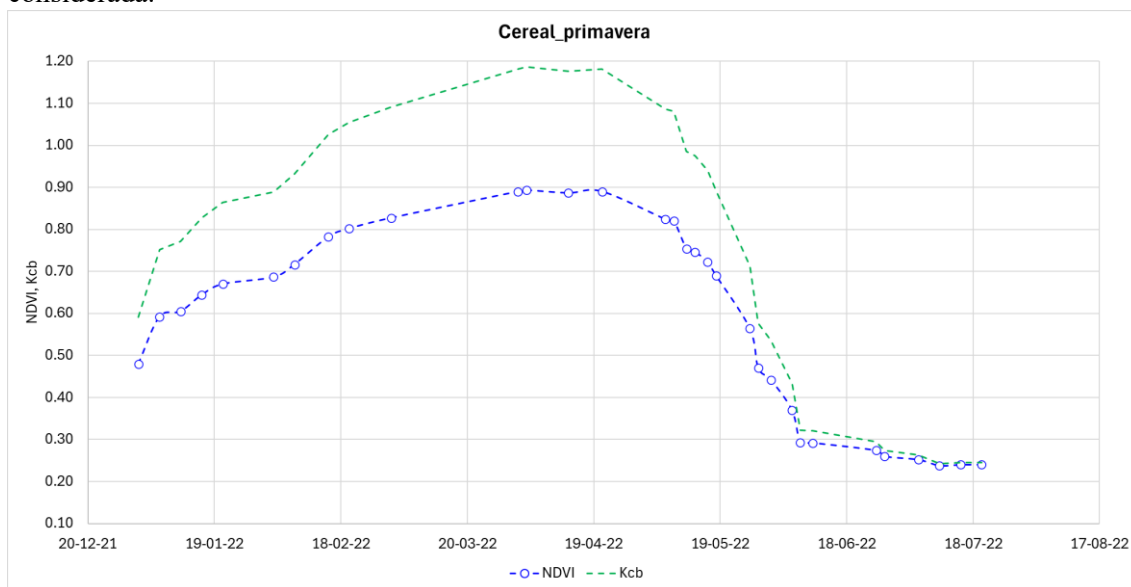
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

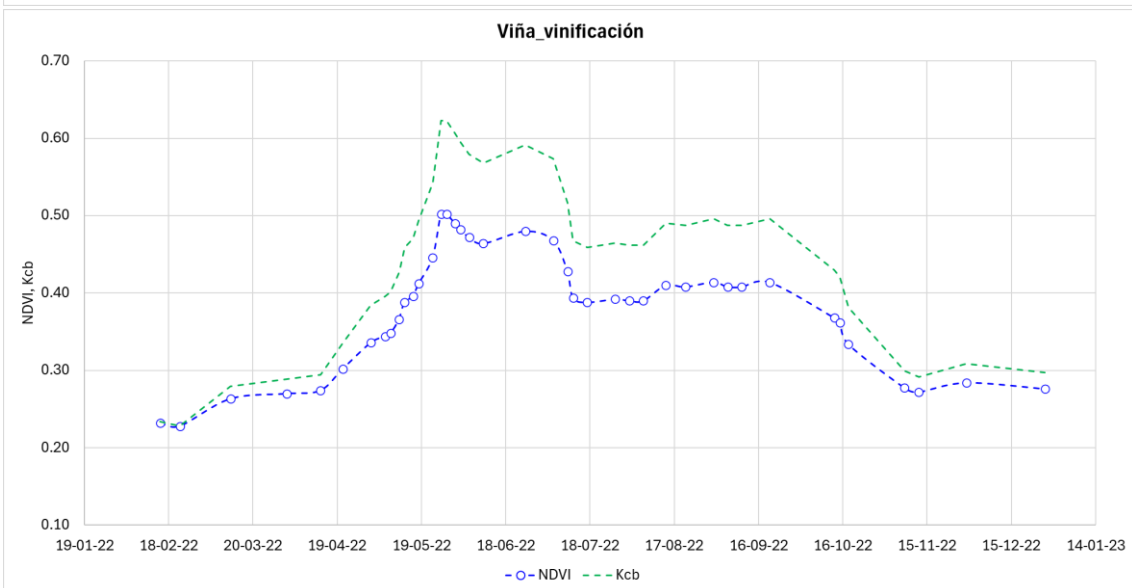
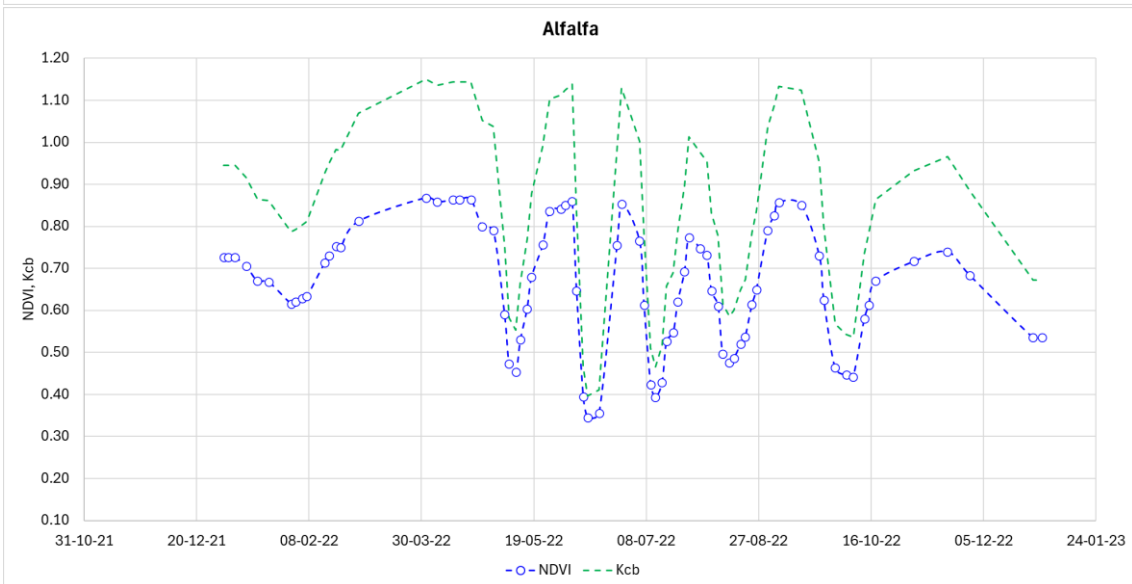
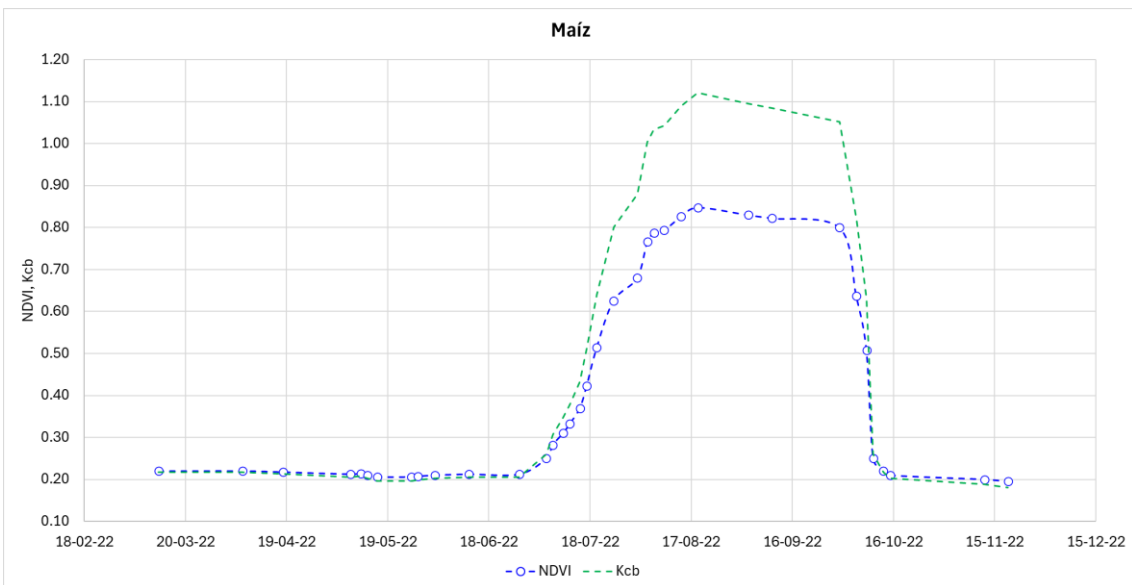
Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla XIX-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla XIX-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 15.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Cereal primavera	10114	21.4
Otros cultivos primavera	8188	17.3
Maíz	4602	9.7
Otros cultivos verano	1488	3.1
Alfalfa	6706	14.2
Viña vinificación	2735	5.8
Olivo	8990	19.0
Frutal cáscara	4443	9.4

La Figura XIX-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.





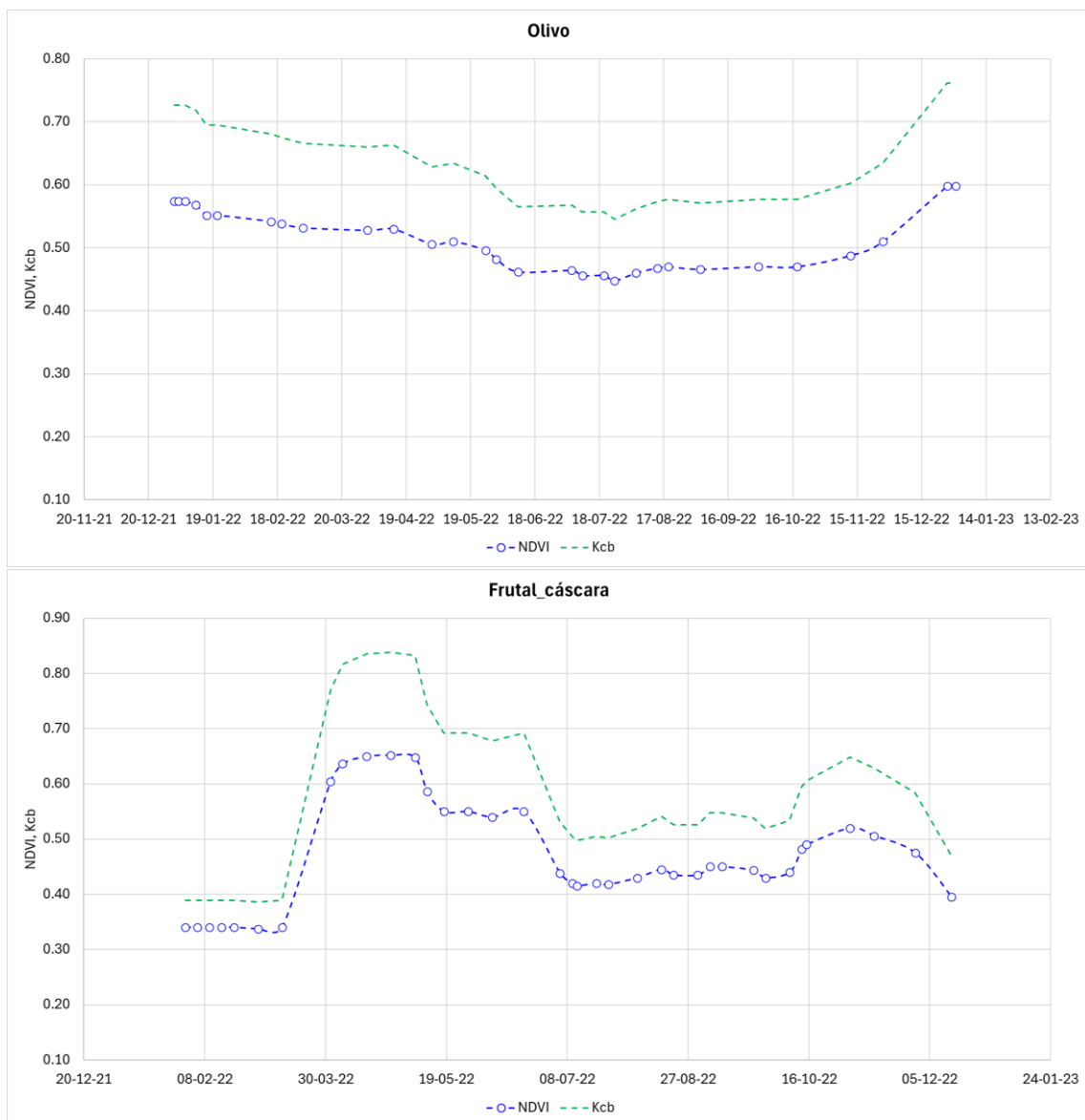


Figura XIX-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 15.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla XIX-2 y Tabla XIX-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XIX-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 15, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	7	11	4	2	8	13	4	2
	2041-2070	9	14	7	2	12	17	8	3
	2071-2100	13	20	6	3	24	32	16	5
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	7	11	4	2	8	13	4	2
	2041-2070	9	14	7	2	12	17	8	3
	2071-2100	13	20	6	3	24	32	16	5
Maíz	2021-2050	8	12	5	2	9	15	6	2
	2041-2070	11	16	6	3	15	19	10	3
	2071-2100	15	20	8	3	25	31	16	4
Otros_cultivos_verano	2021-2050	8	12	5	2	9	15	6	2
	2041-2070	11	16	6	3	15	19	10	3
	2071-2100	15	20	8	3	25	31	16	4
Alfalfa	2021-2050	8	12	5	2	9	13	6	2
	2041-2070	11	17	7	2	15	19	10	3
	2071-2100	15	21	8	3	27	35	18	4
Viña_vinificación	2021-2050	6	8	4	1	7	11	4	2
	2041-2070	8	11	5	2	11	13	7	2
	2071-2100	11	14	5	2	19	23	14	3
Olivo	2021-2050	7	10	5	2	8	11	5	2
	2041-2070	10	14	6	2	12	16	9	2
	2071-2100	12	17	6	3	22	29	15	4
Frutal_cáscara	2021-2050	7	10	5	2	8	11	5	2
	2041-2070	10	14	6	2	12	15	9	2
	2071-2100	13	17	6	3	23	30	15	4

Tabla XIX-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 15, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	11	18	6	4	17	32	9	6
	2041-2070	17	26	10	4	26	33	15	5
	2071-2100	25	34	10	7	52	66	36	10
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	11	18	6	4	17	32	9	6
	2041-2070	17	26	10	4	26	33	15	5
	2071-2100	25	34	10	7	52	66	36	10
Maíz	2021-2050	11	18	5	4	13	19	6	4
	2041-2070	15	23	8	4	19	28	13	4
	2071-2100	20	28	14	4	32	42	23	6
Otros_cultivos_verano	2021-2050	11	18	5	4	13	19	6	4
	2041-2070	15	23	8	4	19	28	13	4
	2071-2100	20	28	14	4	32	42	23	6
Alfalfa	2021-2050	11	20	5	4	15	22	10	4
	2041-2070	17	24	10	4	23	32	16	5
	2071-2100	24	34	14	5	43	54	30	7
Viña_vinificación	2021-2050	14	28	5	6	18	27	12	4
	2041-2070	21	33	9	6	28	40	19	6
	2071-2100	29	42	21	6	51	69	34	8
Olivo	2021-2050	13	25	6	5	18	26	12	4
	2041-2070	20	28	11	5	28	39	20	6
	2071-2100	28	41	17	5	51	65	35	8
Frutal_cáscara	2021-2050	12	22	5	4	16	23	9	4
	2041-2070	18	26	9	5	25	33	17	5
	2071-2100	25	36	15	5	46	58	31	7

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura XIX-3 y la Figura XIX-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

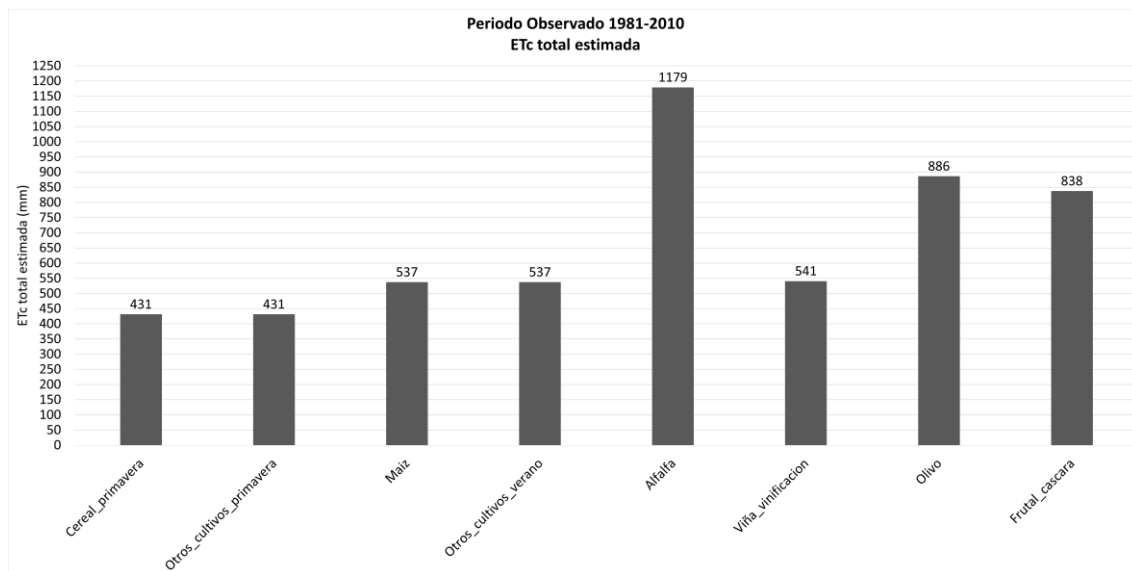


Figura XIX-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 15 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

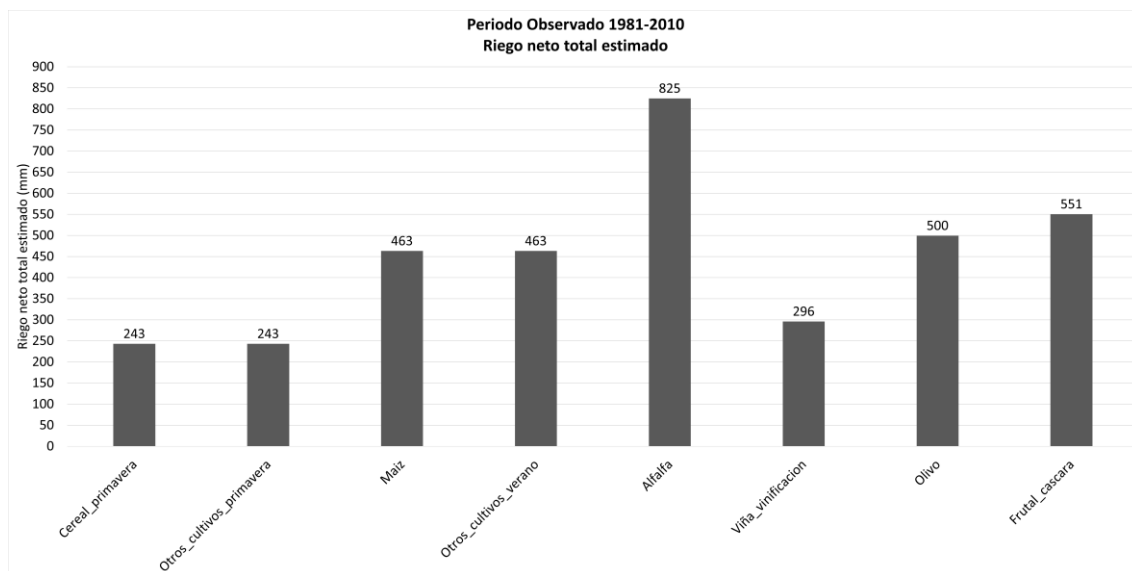


Figura XIX-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 15 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla XIX-4 y Tabla XIX-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XIX-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 15, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	461	477	450	7	465	487	449	11
	2041-2070	472	491	464	8	485	504	464	12
	2071-2100	486	516	459	15	537	571	502	20
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	461	477	450	7	465	487	449	11
	2041-2070	472	491	464	8	485	504	464	12
	2071-2100	486	516	459	15	537	571	502	20
Maíz	2021-2050	582	600	564	12	588	615	569	13
	2041-2070	598	625	571	15	615	640	590	16
	2071-2100	616	643	581	16	671	706	624	24
Otros_cultivos_verano	2021-2050	582	600	564	12	588	615	569	13
	2041-2070	598	625	571	15	615	640	590	16
	2071-2100	616	643	581	16	671	706	624	24
Alfalfa	2021-2050	1273	1325	1240	24	1289	1329	1254	25
	2041-2070	1312	1374	1267	29	1351	1404	1302	32
	2071-2100	1354	1429	1273	37	1495	1590	1395	50
Viña_vinificación	2021-2050	575	583	563	7	578	599	562	9
	2041-2070	586	599	568	9	598	611	580	9
	2071-2100	598	615	568	13	643	667	617	15
Olivo	2021-2050	949	977	931	15	956	986	933	16
	2041-2070	971	1010	943	19	995	1024	965	20
	2071-2100	996	1040	940	26	1083	1145	1022	32
Frutal_cáscara	2021-2050	897	921	877	15	904	930	880	16
	2041-2070	919	956	890	19	942	966	910	20
	2071-2100	943	983	889	24	1029	1086	966	31

Tabla XIX-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 15, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	270	286	258	9	284	321	264	15
	2041-2070	284	306	267	11	306	323	279	13
	2071-2100	304	327	267	18	370	403	330	23
Otros_cultivos_primavera	2021-2050	270	286	258	9	284	321	264	15
	2041-2070	284	306	267	11	306	323	279	13
	2071-2100	304	327	267	18	370	403	330	23
Maíz	2021-2050	515	548	486	19	524	552	489	18
	2041-2070	534	570	501	20	552	593	522	20
	2071-2100	556	594	528	18	611	655	568	27
Otros_cultivos_verano	2021-2050	515	548	486	19	524	552	489	18
	2041-2070	534	570	501	20	552	593	522	20
	2071-2100	556	594	528	18	611	655	568	27
Alfalfa	2021-2050	919	993	865	32	947	1004	907	31
	2041-2070	965	1024	908	34	1016	1088	961	37
	2071-2100	1019	1107	940	37	1179	1274	1069	55
Viña_vinificación	2021-2050	338	379	309	17	350	375	332	12
	2041-2070	359	393	322	19	379	413	353	17
	2071-2100	383	421	357	17	447	499	397	25
Olivo	2021-2050	567	623	528	23	588	629	557	22
	2041-2070	599	642	553	25	637	692	597	28
	2071-2100	639	702	582	27	754	824	676	39
Frutal_cáscara	2021-2050	617	669	580	22	637	675	600	22
	2041-2070	650	692	602	25	687	735	646	27
	2071-2100	688	749	634	26	801	871	721	38

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla XIX-1).

En la Figura XIX-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla XIX-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura XIX-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

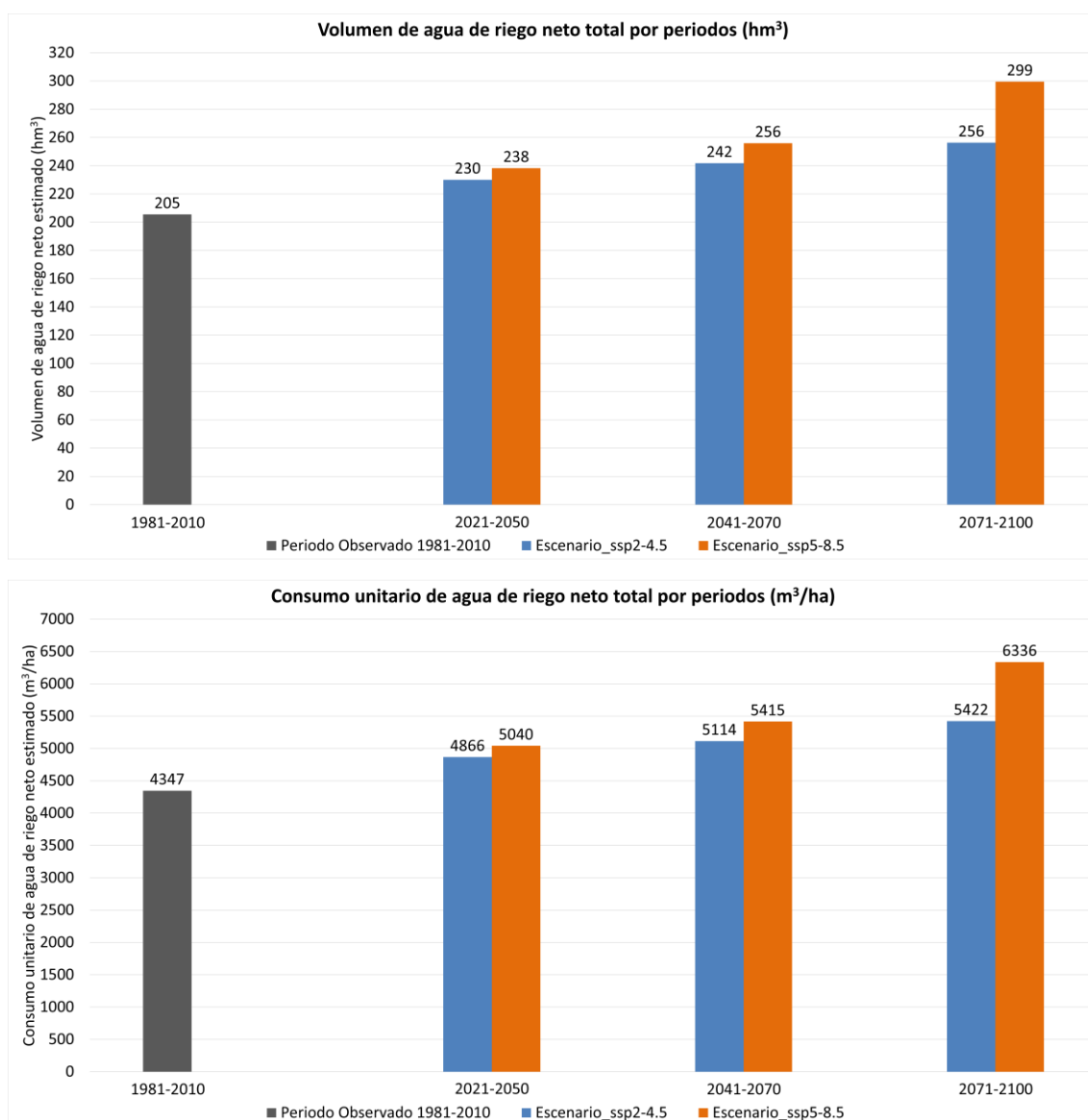


Figura XIX-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XIX-1 para la Zona 15. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

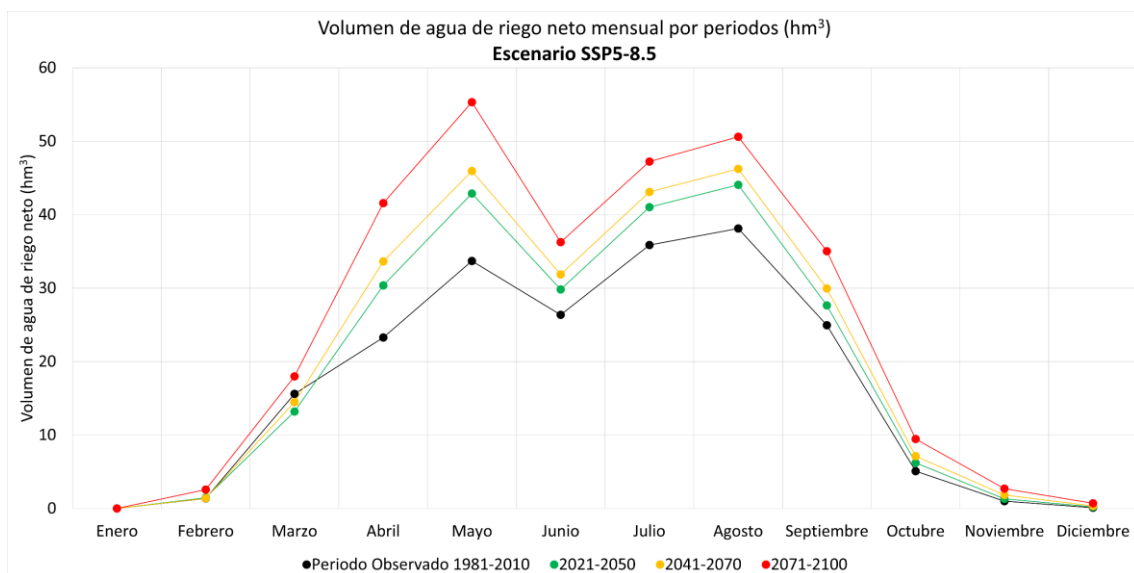
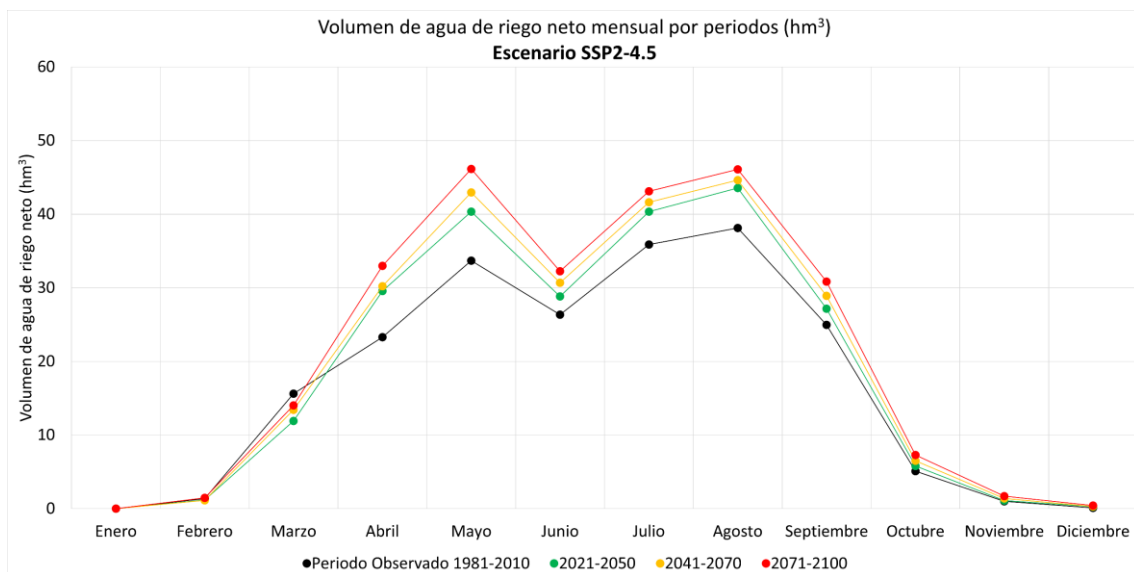
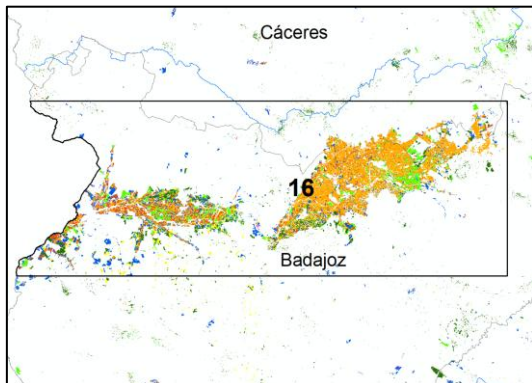


Figura XIX-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XIX-1 para la Zona 15. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

XX. Zona 16. Badajoz-Demarcación Hidrográfica del Guadiana



ECLIMAR

DEMANDA DE AGUA,
ETc, Y DEMANDA DE
AGUA DE RIEGO, R, EN
EL HORIZONTE 2015-2100

Zona 16. Badajoz-
Demarcación Hidrográfica
del Guadiana

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	210
RESULTADOS	211
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	211
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	212
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	216
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo..	219
E.- Demandas de agua de riego globales.....	222

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 16. Badajoz-Demarcación Hidrográfica del Guadiana, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo, a excepción del cultivo de la viña de vinificación que se ha considerado que se maneja con un cierto grado de estrés hídrico. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los periodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura XX-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

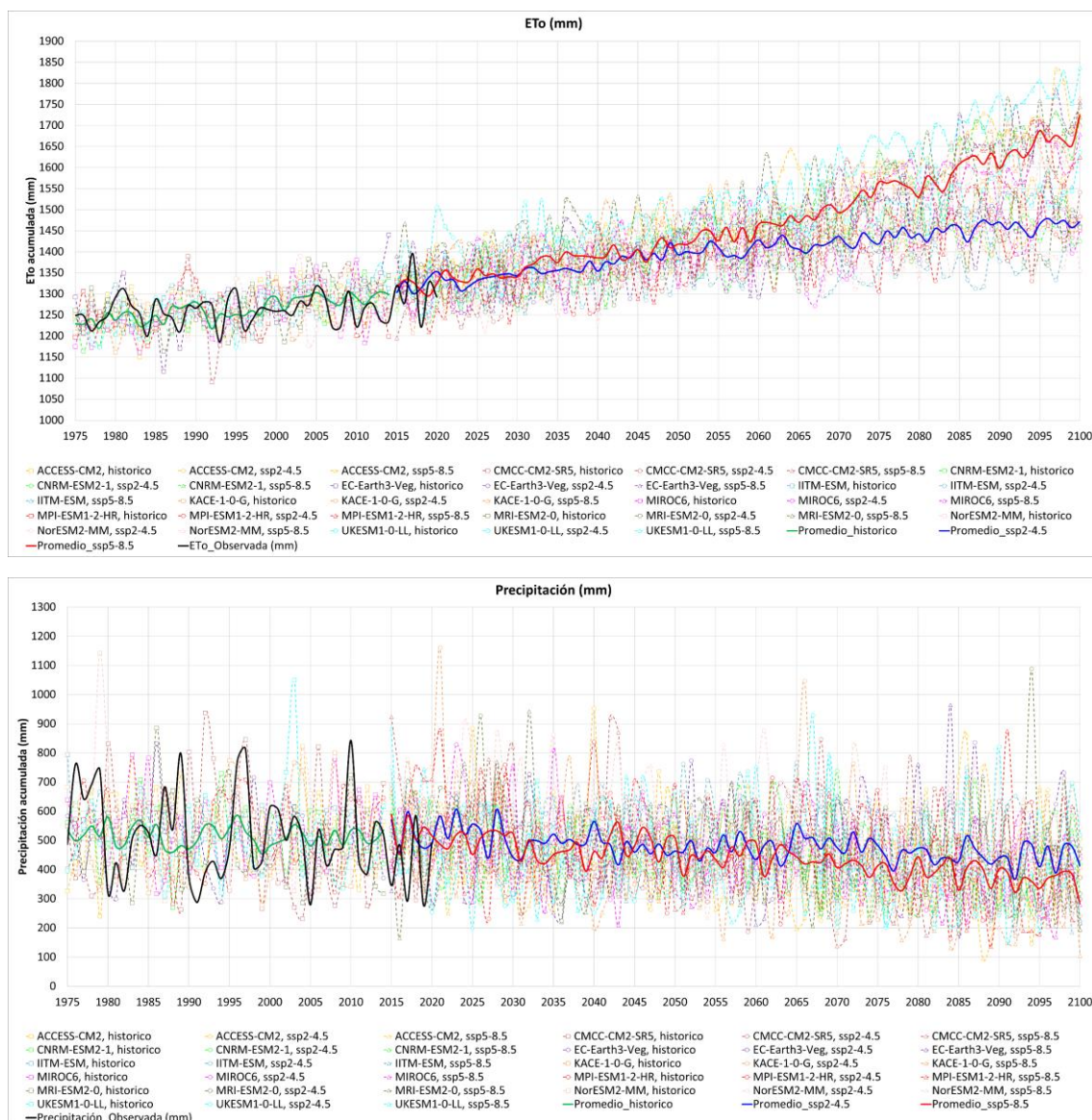


Figura XX-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 16 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

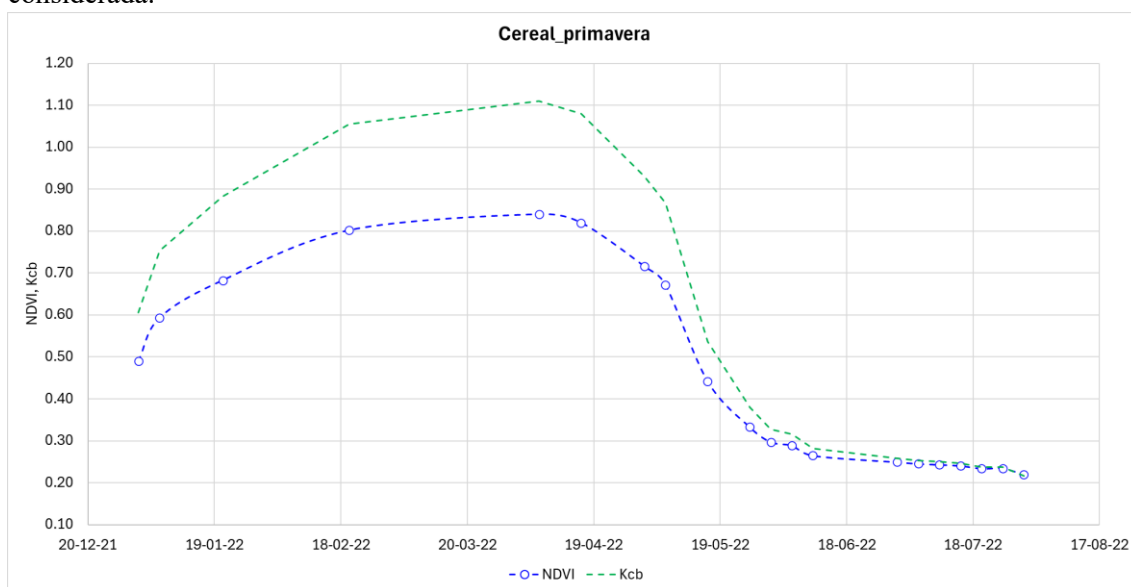
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

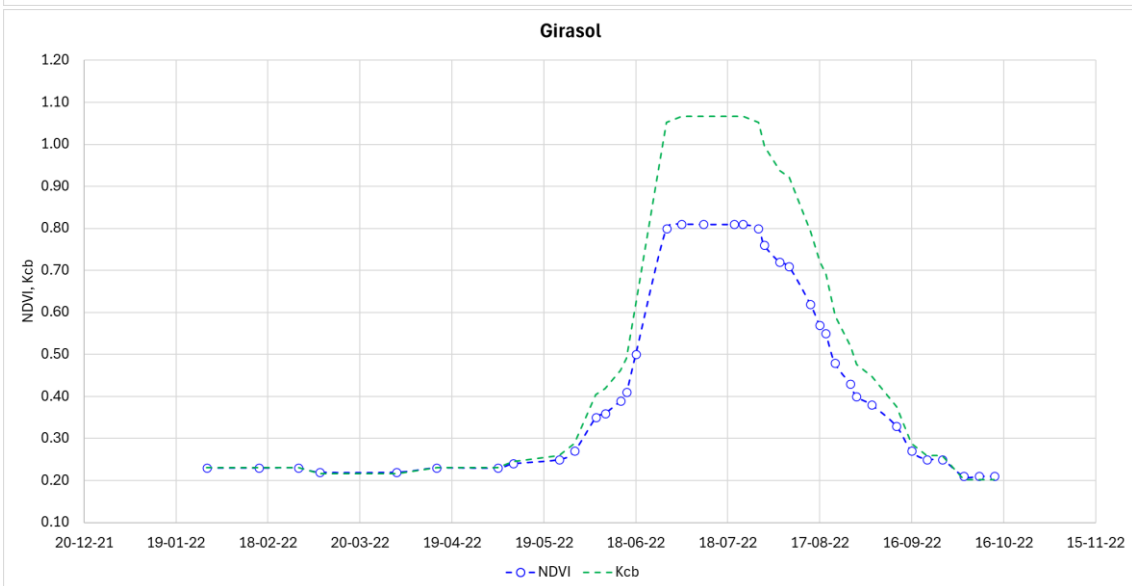
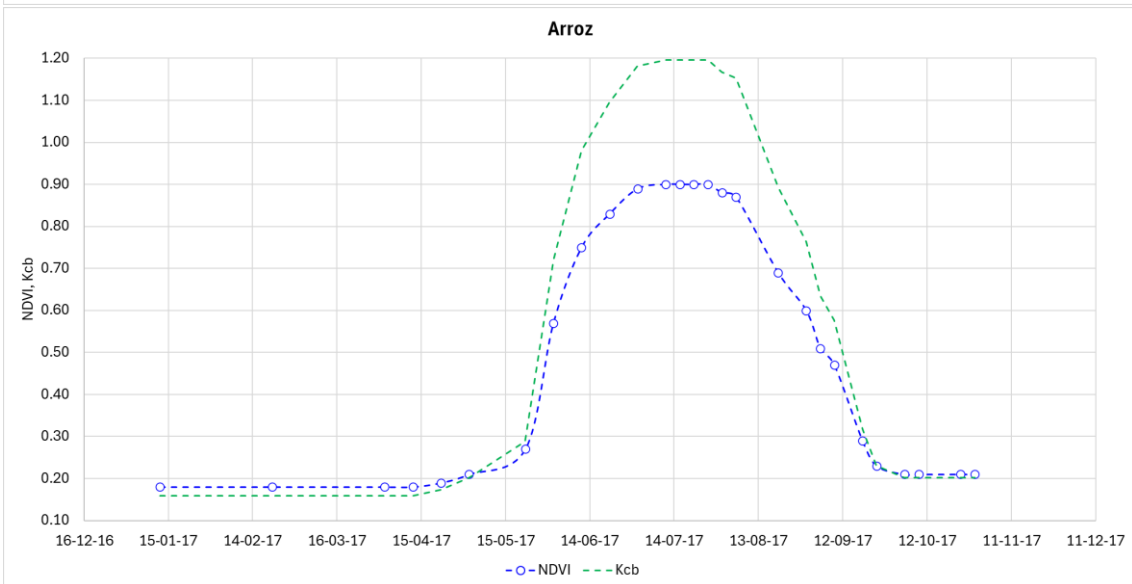
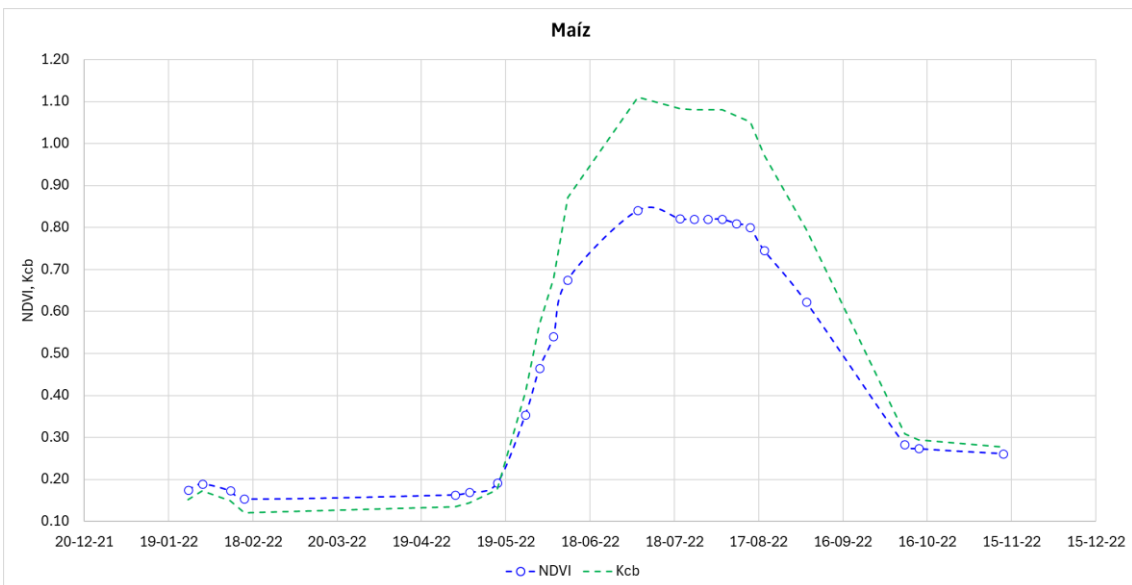
Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla XX-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

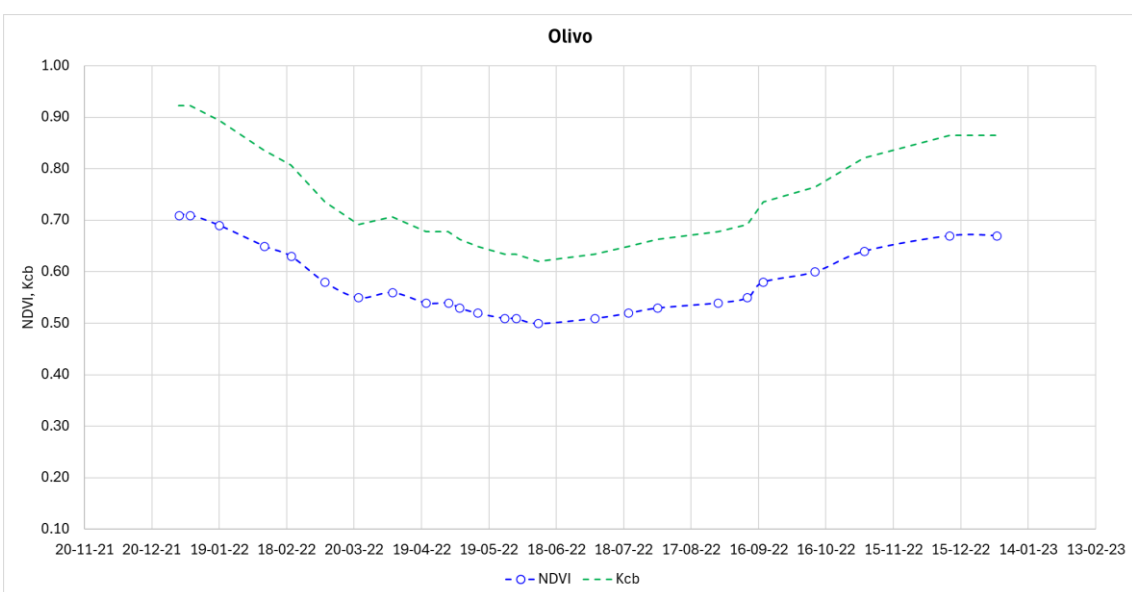
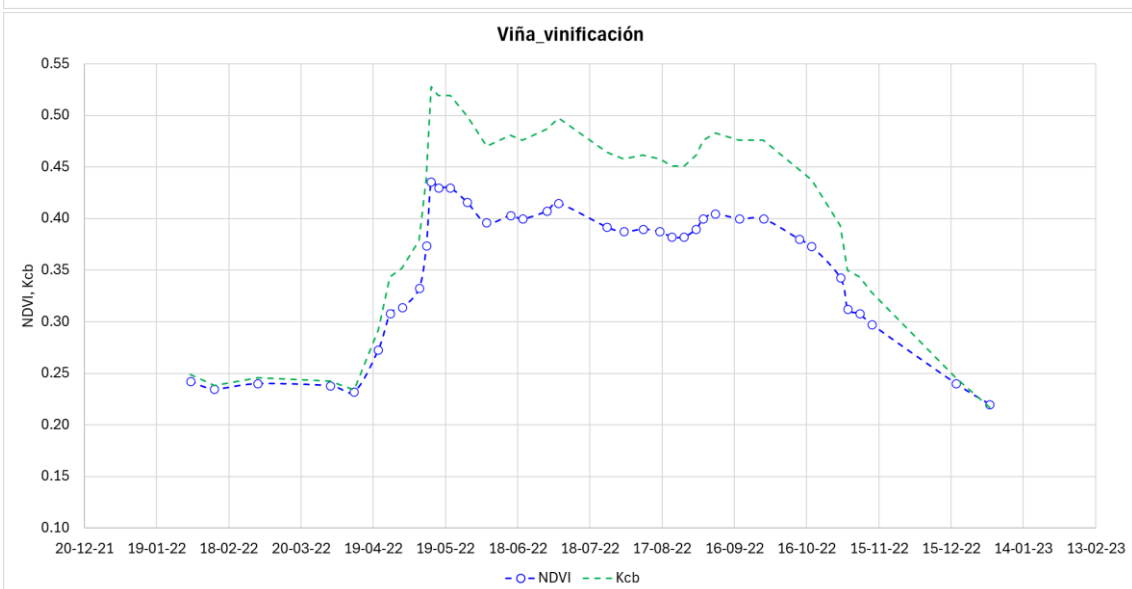
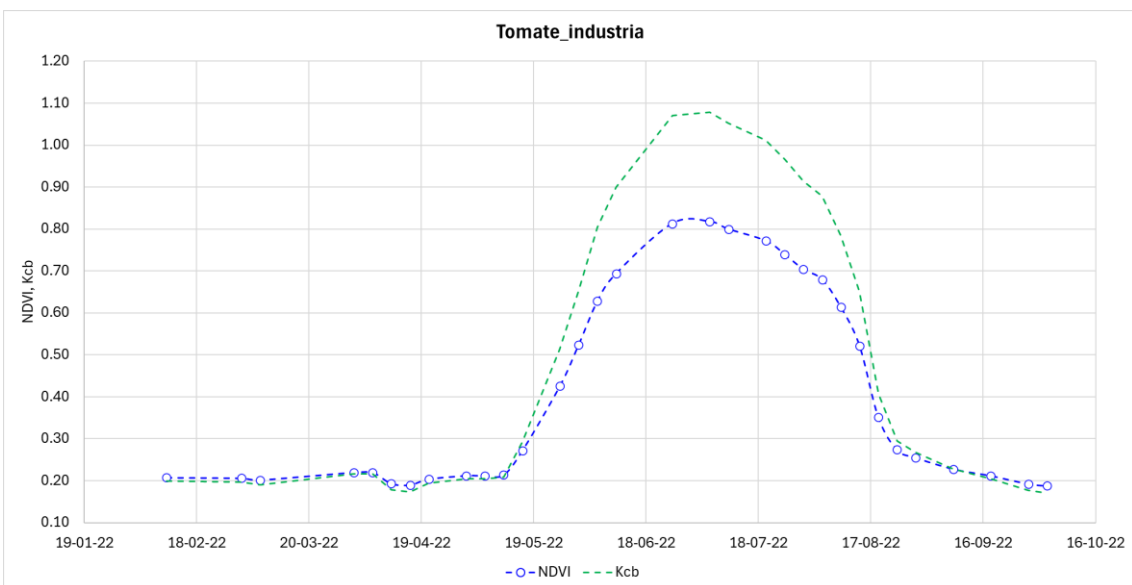
Tabla XX-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 16.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Cereal_primavera	1975	1.1
Maíz	12782	7.0
Arroz	13520	7.4
Girasol	1193	0.7
Tomate_industria	22170	12.2
Viña_vinificación	29228	16.1
Olivo	69894	38.5
Frutal_cáscara	20025	11.0
Melocotonero_ciruelo	10717	5.9

La Figura XX-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.







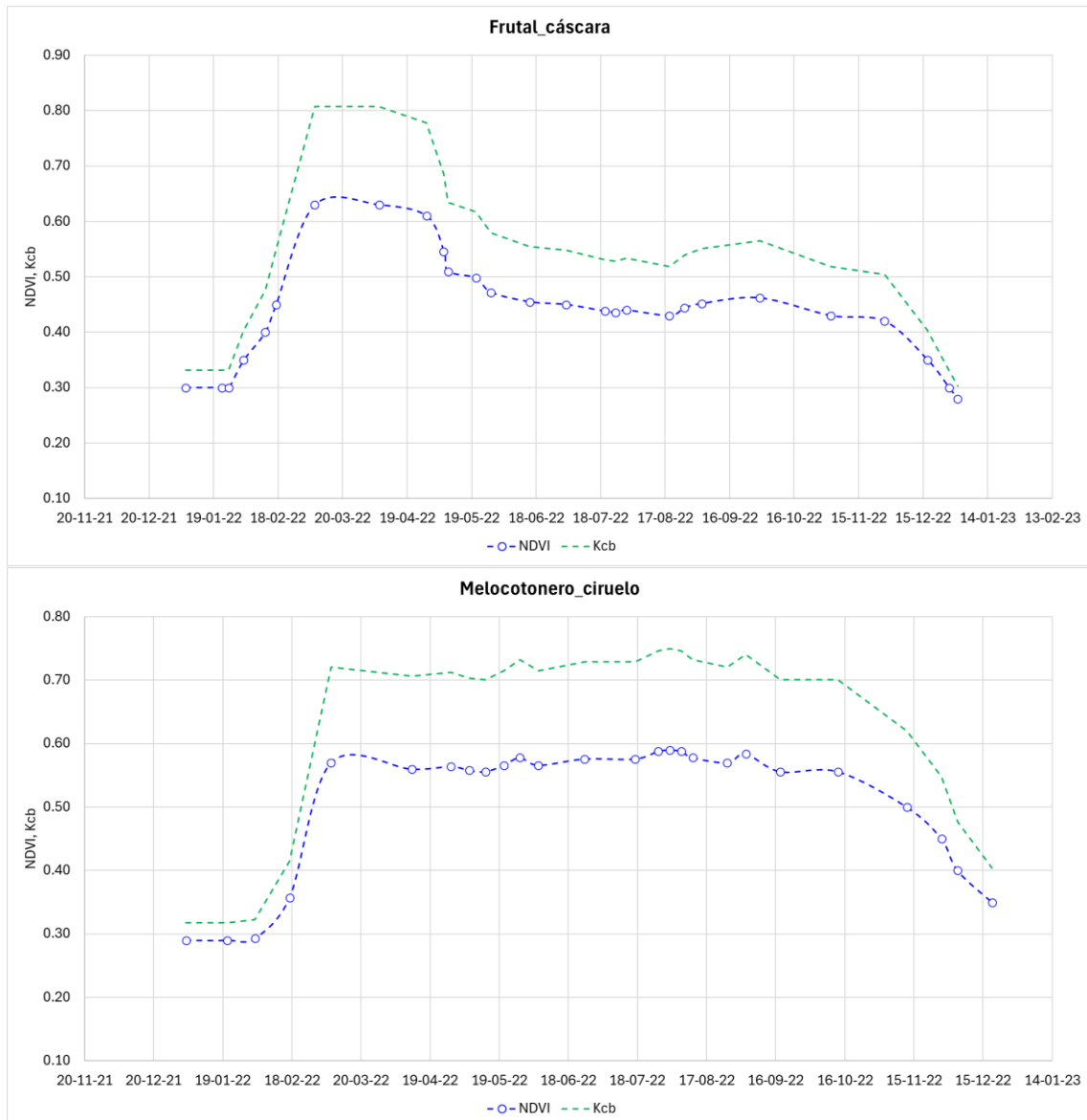


Figura XX-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 16.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Cuadro 1. Cultivo ARROZ. Observaciones en relación con la estimación de las demandas de agua ETc y las demandas de agua de riego R.

Simular el consumo de agua del cultivo del arroz requiere tener en cuenta sus especiales características en el caso de manejo por inundación, pues la cantidad de agua requerida en este manejo depende fuertemente de las características del suelo en cuanto a infiltración y percolación profunda, como consecuencia de la permanencia de la lámina de agua en superficie. El agua percolada a capas profundas produce servicios ecosistémicos y retorna a ríos y acuíferos.

Teniendo en cuenta el objetivo del trabajo en ECLIMAR, para el caso del arroz se ha procedido a simular las demandas de agua y demandas de agua de riego, considerando principalmente la transpiración de la cubierta vegetal a lo largo de su ciclo de cultivo, estimando el valor de la evaporación desde la lámina de agua sobre 150 mm adicionales a la transpiración. No se considera pues la lámina de agua infiltrada ni percolada en el suelo, y cuya cuantía no se vería afectada por las condiciones de la demanda evaporativa de la atmósfera.

FAO 66, Rice, Bouman et al. pp 102-111.

Bouman, .A., Lampayan, R.. & Tuong, T.P. 2007. Water management in rice: coping with water scarcity. Los Baños, (Philippines): International Rice Research Institute, 54 pp

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla XX-2 y Tabla XX-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XX-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 16, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal primavera	2021-2050	6	10	4	2	7	11	3	2
	2041-2070	9	13	6	2	11	17	4	3
	2071-2100	12	20	6	4	24	33	16	5
Maíz	2021-2050	7	10	4	2	8	12	5	2
	2041-2070	10	13	7	2	12	16	9	2
	2071-2100	12	16	8	2	22	26	16	3
Arroz	2021-2050	5	8	3	2	7	10	4	2
	2041-2070	8	10	5	2	10	13	8	2
	2071-2100	10	13	7	2	18	22	13	3
Girasol	2021-2050	6	9	3	2	8	12	5	2
	2041-2070	9	12	7	2	12	16	9	2
	2071-2100	12	15	8	2	20	26	15	3

Tomate_industria	2021-2050	6	10	3	2	8	12	4	2
	2041-2070	9	13	7	2	12	16	9	2
	2071-2100	12	16	8	2	21	25	16	3
Viña_vinificación	2021-2050	6	8	4	1	7	11	4	2
	2041-2070	8	10	5	1	9	12	7	1
	2071-2100	10	12	7	2	17	20	12	2
Olivo	2021-2050	7	10	5	2	8	11	5	2
	2041-2070	10	14	7	2	12	16	9	2
	2071-2100	13	19	7	3	23	31	16	4
Frutal_cáscara	2021-2050	7	9	5	1	7	11	5	2
	2041-2070	9	13	6	2	12	14	8	2
	2071-2100	12	16	7	3	22	28	15	3
Melocotonero_ciruelo	2021-2050	7	10	5	2	8	12	5	2
	2041-2070	10	14	7	2	12	15	9	2
	2071-2100	13	18	8	3	23	30	16	3

Tabla XX-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 16, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	12	23	3	6	18	30	6	7
	2041-2070	20	38	9	8	30	37	9	8
	2071-2100	29	41	9	11	65	87	32	15
Maíz	2021-2050	8	14	4	2	10	14	6	2
	2041-2070	12	16	8	3	16	20	13	2
	2071-2100	16	21	11	3	28	34	20	4
Arroz	2021-2050	7	11	3	2	8	12	4	2
	2041-2070	10	13	6	2	13	17	10	2
	2071-2100	13	17	8	2	23	28	16	3
Girasol	2021-2050	8	14	4	3	10	14	6	2
	2041-2070	12	16	8	3	15	20	12	3
	2071-2100	16	20	11	2	27	32	19	4
Tomate_industria	2021-2050	8	14	4	3	10	14	5	3
	2041-2070	12	17	8	3	16	21	12	3
	2071-2100	17	21	11	3	29	35	20	4
Viña_vinificación	2021-2050	13	26	8	5	17	25	8	5
	2041-2070	21	30	14	5	27	36	19	5
	2071-2100	28	41	15	6	51	66	33	8
Olivo	2021-2050	12	23	7	4	16	23	9	4
	2041-2070	19	26	12	4	26	35	19	5
	2071-2100	26	39	13	6	50	62	36	7
Frutal_cáscara	2021-2050	11	21	6	4	15	21	8	4
	2041-2070	18	24	12	3	24	32	17	5

	2071-2100	24	35	13	5	46	56	33	6
Melocotonero_ciruelo	2021-2050	11	20	6	4	14	19	8	4
	2041-2070	17	23	12	3	23	30	17	4
	2071-2100	23	33	13	5	44	54	31	6

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura XX-3 y la Figura XX-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

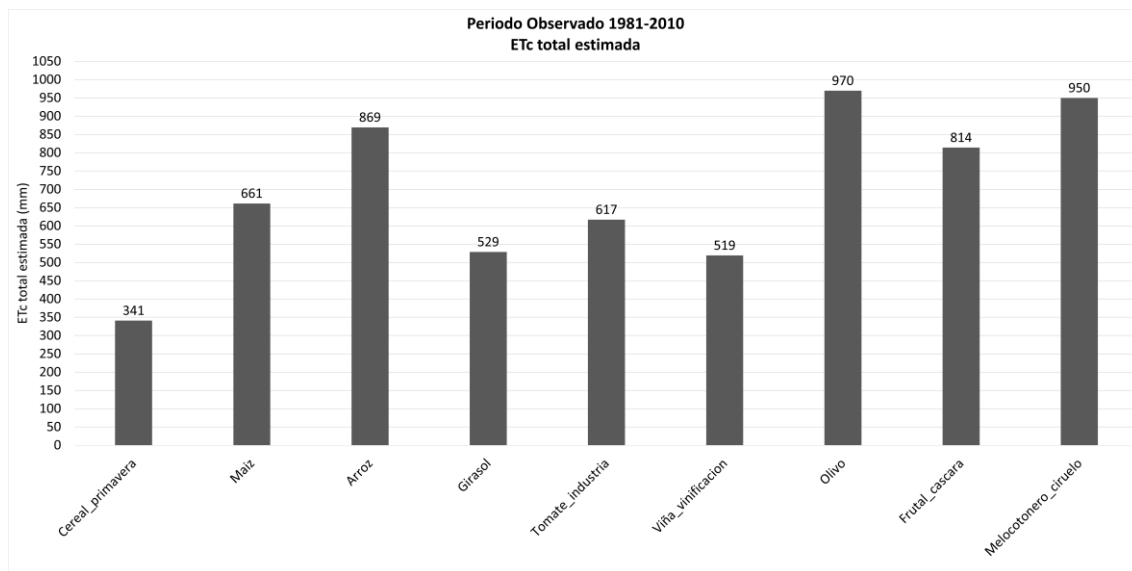


Figura XX-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 16 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

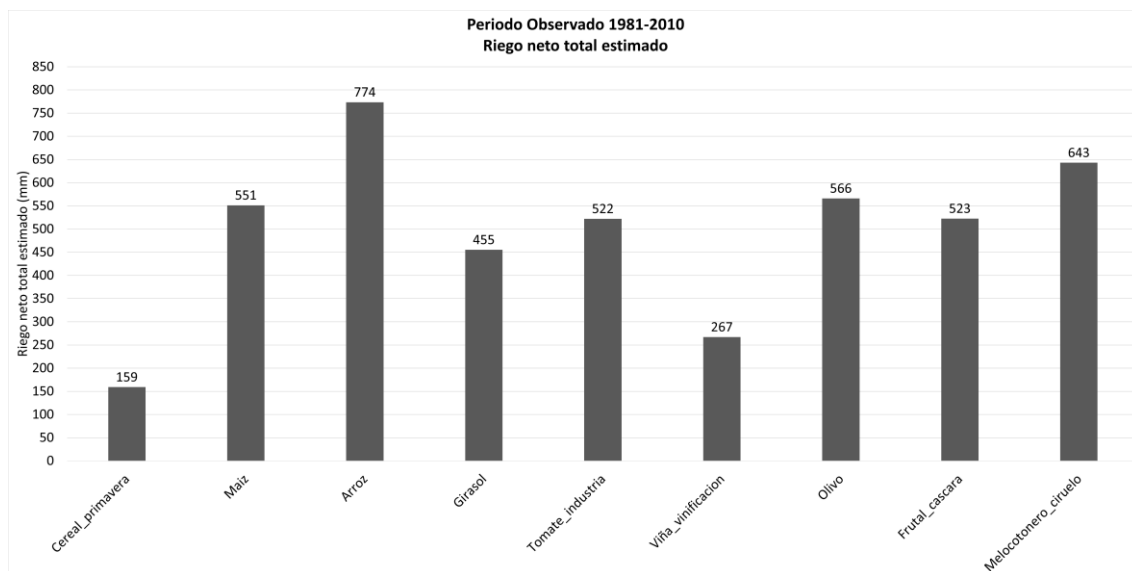


Figura XX-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 16 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla XX-4 y Tabla XX-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XX-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 16, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	362	374	354	6	364	378	350	8
	2041-2070	371	386	360	7	380	398	356	11
	2071-2100	381	407	361	14	422	454	397	18
Maíz	2021-2050	706	727	685	12	714	743	693	13
	2041-2070	724	746	705	12	743	766	721	12
	2071-2100	744	768	715	14	805	834	768	20
Arroz	2021-2050	916	939	892	14	926	958	907	14
	2041-2070	938	960	912	15	957	985	936	14
	2071-2100	958	979	926	16	1022	1063	980	23
Girasol	2021-2050	562	578	544	9	569	593	553	10
	2041-2070	578	593	563	10	590	613	574	10
	2071-2100	591	606	571	11	636	664	610	15
Tomate_industria	2021-2050	656	680	637	11	664	692	645	12
	2041-2070	674	695	659	11	690	715	672	12
	2071-2100	691	713	665	13	746	774	713	18
Viña_vinificación	2021-2050	549	561	541	6	553	576	542	9
	2041-2070	558	568	547	8	568	583	556	8
	2071-2100	571	584	553	10	607	625	580	13
Olivo	2021-2050	1037	1071	1016	17	1046	1080	1022	18
	2041-2070	1063	1109	1033	22	1089	1125	1054	23
	2071-2100	1094	1149	1039	29	1195	1270	1123	37
Frutal_cáscara	2021-2050	867	888	852	12	875	901	854	14
	2041-2070	888	918	865	15	908	929	876	17
	2071-2100	912	948	873	21	991	1040	935	27
Melocotonero_ciruelo	2021-2050	1015	1044	995	16	1025	1060	1000	18
	2041-2070	1042	1081	1014	20	1067	1095	1032	21
	2071-2100	1073	1118	1024	25	1169	1230	1100	33

Tabla XX-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 16, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Cereal_primavera	2021-2050	177	196	163	9	188	206	168	11
	2041-2070	192	219	174	13	206	217	173	13
	2071-2100	205	224	173	17	262	298	210	23
Maíz	2021-2050	597	627	572	14	609	631	585	14
	2041-2070	619	642	596	14	640	661	623	14
	2071-2100	642	666	610	14	707	736	660	20
Arroz	2021-2050	826	859	794	17	838	866	806	17
	2041-2070	852	878	821	18	875	904	848	17
	2071-2100	878	901	839	17	951	990	896	25
Girasol	2021-2050	491	518	474	11	500	521	482	11
	2041-2070	510	529	490	12	526	547	511	12
	2071-2100	527	545	505	11	578	602	541	16
Tomate_industria	2021-2050	564	597	542	14	577	597	548	14
	2041-2070	587	612	565	14	606	631	587	14
	2071-2100	609	633	579	14	672	704	627	20
Viña_vinificación	2021-2050	303	337	288	13	313	333	289	13
	2041-2070	322	348	304	13	340	364	318	14
	2071-2100	341	376	308	15	402	443	356	21
Olivo	2021-2050	636	694	607	23	658	695	616	24
	2041-2070	674	713	634	21	714	765	672	28
	2071-2100	715	787	638	33	846	916	768	41
Frutal_cáscara	2021-2050	582	631	554	19	600	633	567	21
	2041-2070	615	646	587	16	647	688	610	24
	2071-2100	648	706	588	26	760	816	695	34
Melocotonero_ciruelo	2021-2050	714	770	684	23	735	768	695	25
	2041-2070	754	794	719	21	792	837	750	28
	2071-2100	793	858	725	30	923	991	844	40

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla XX-1).

En la Figura XX-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla XX-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura XX-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

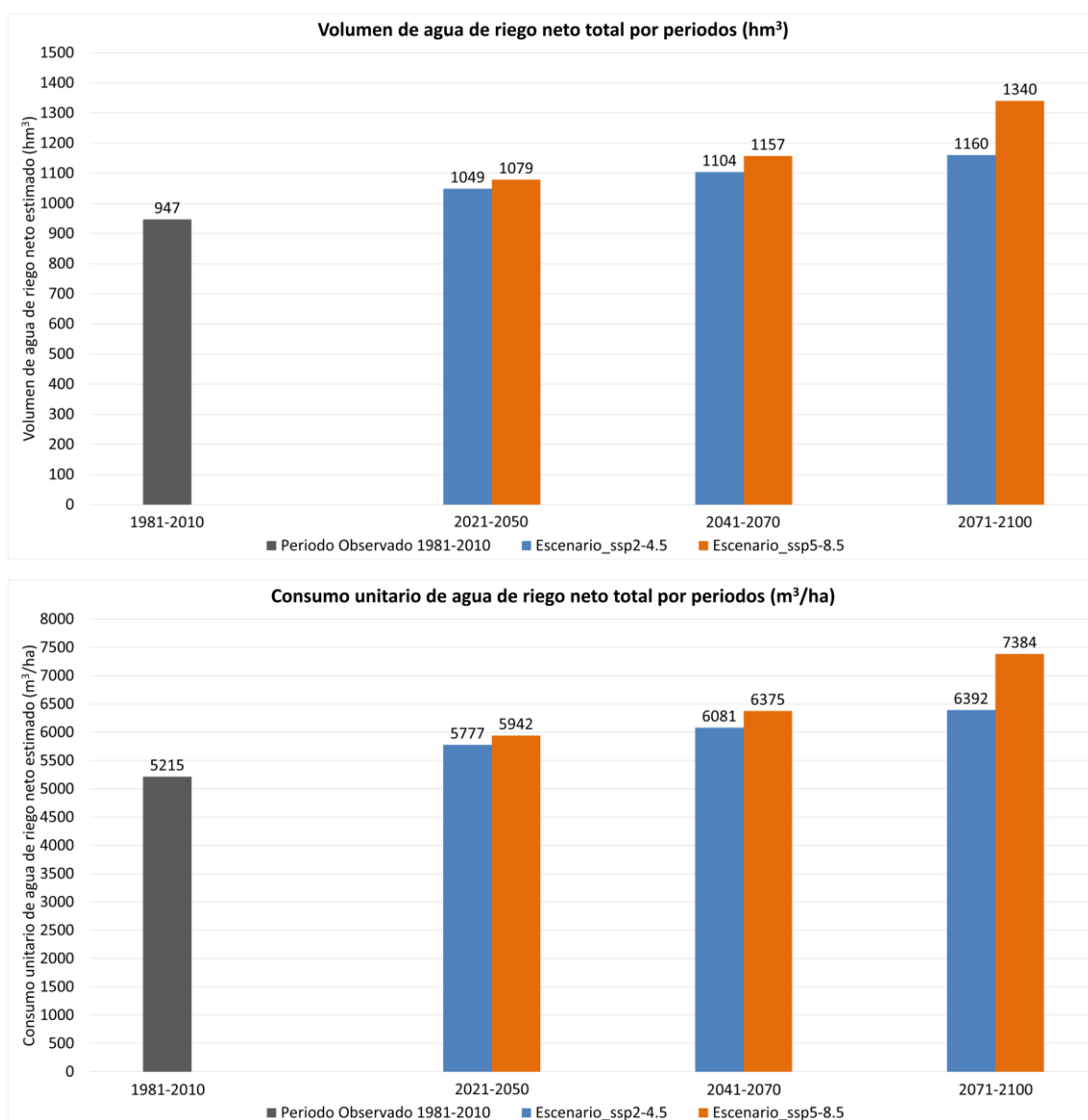


Figura XX-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XX-1 para la Zona 16. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

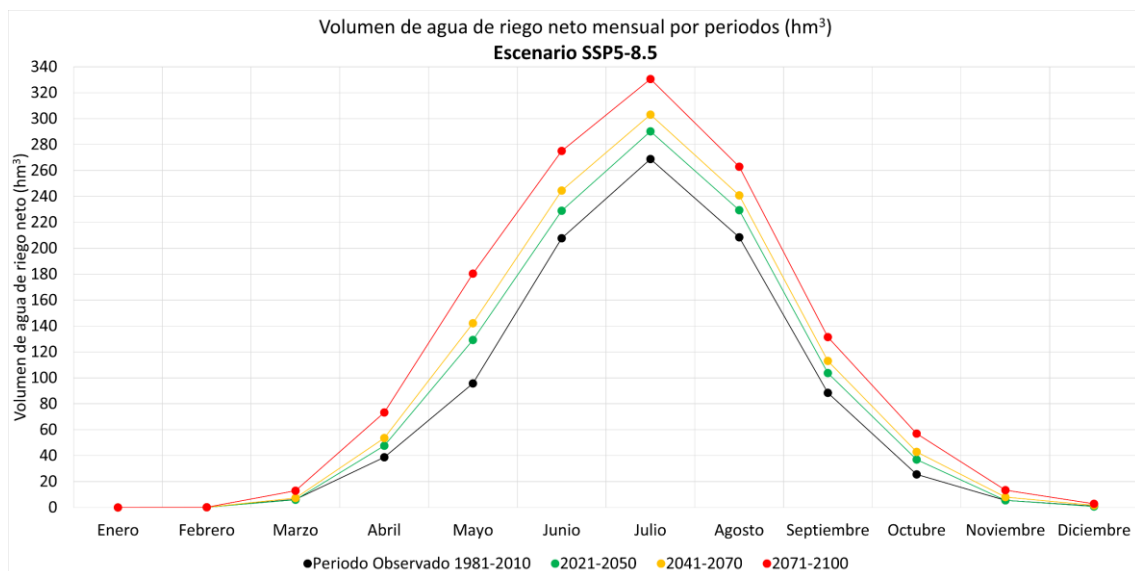
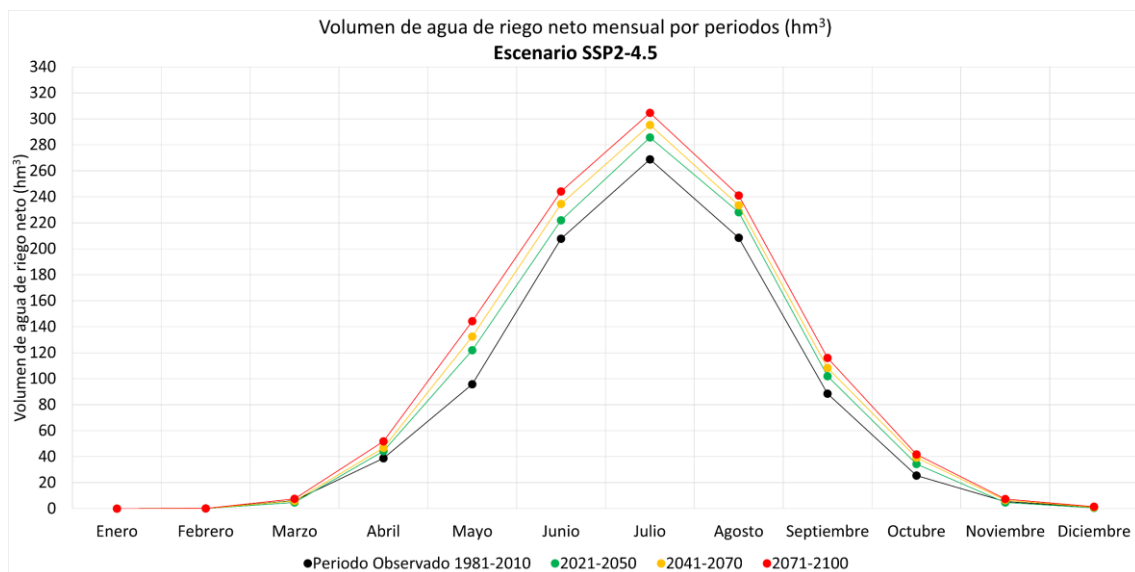


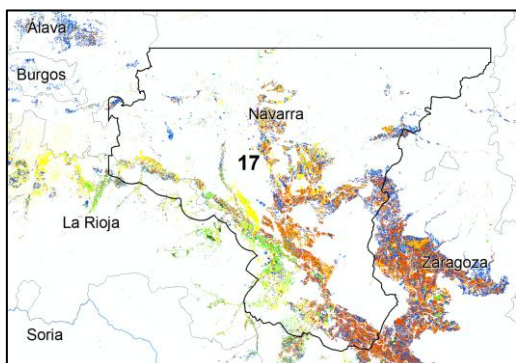
Figura XX-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XX-1 para la Zona 16. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

XXI. Zona 17. Navarra-Demarcación Hidrográfica del Ebro

ECLIMAR

DEMANDA DE AGUA, ETc, Y DEMANDA DE AGUA DE RIEGO, R, EN EL HORIZONTE 2015-2100

Zona 17. Navarra- Demarcación Hidrográfica del Ebro



ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	225
RESULTADOS	226
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	226
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	227
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	230
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo..	232
E.- Demandas de agua de riego globales.....	235

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 17. Navarra-Demarcación Hidrográfica del Ebro, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo, a excepción del cultivo de la viña de vinificación que se ha considerado que se maneja con un cierto grado de estrés hídrico. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los periodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura XXI-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

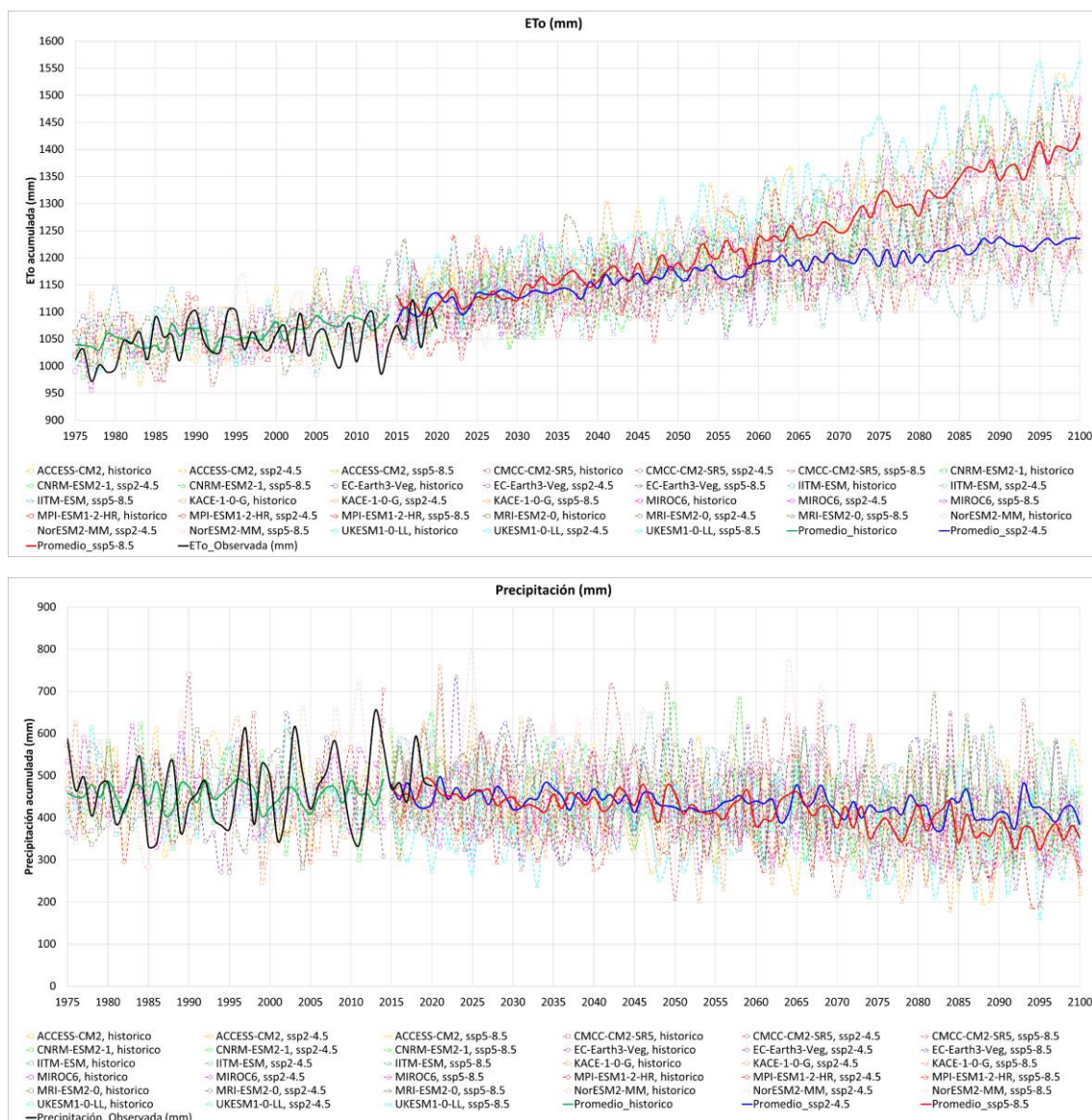


Figura XXI-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 17 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

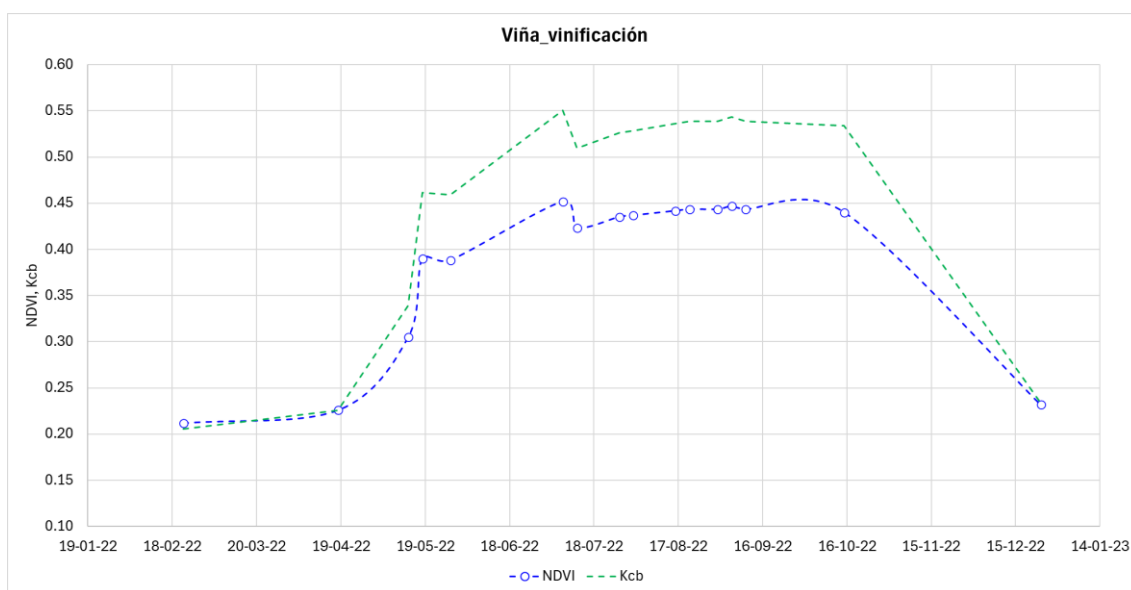
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

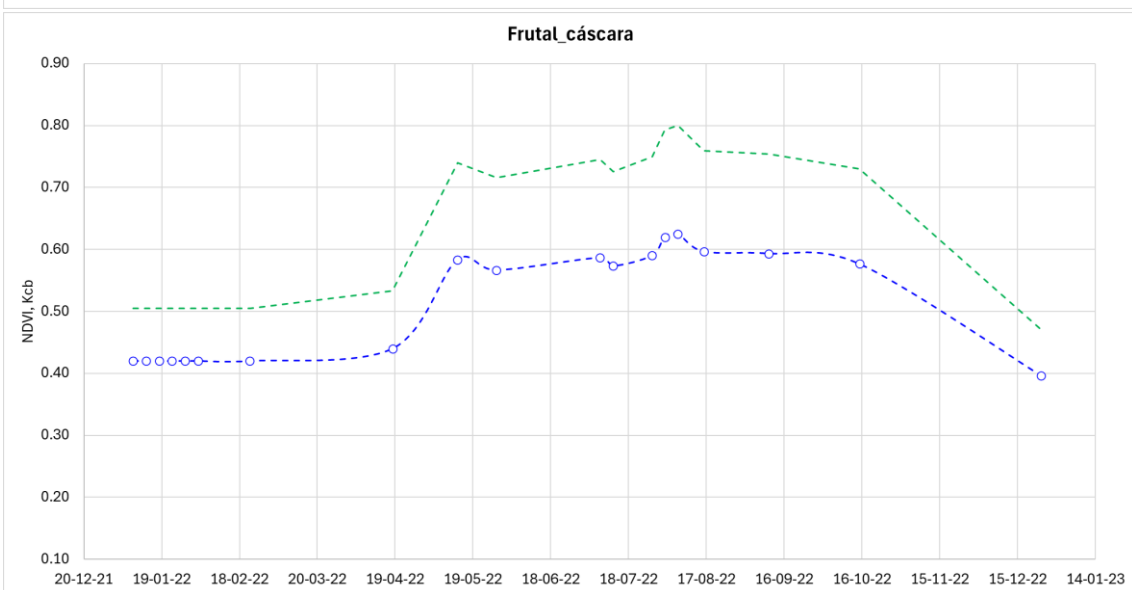
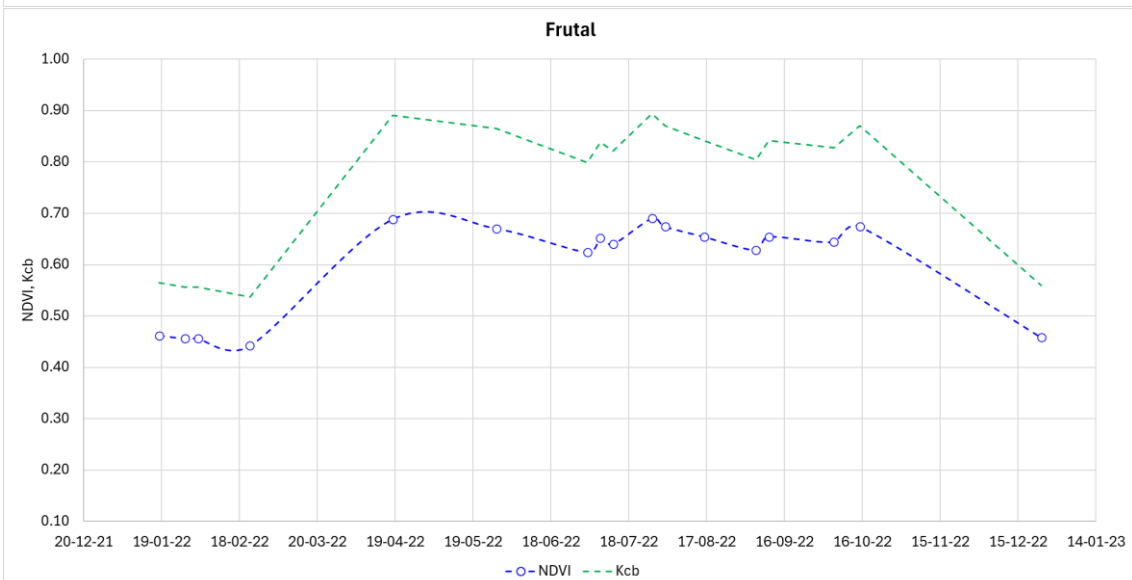
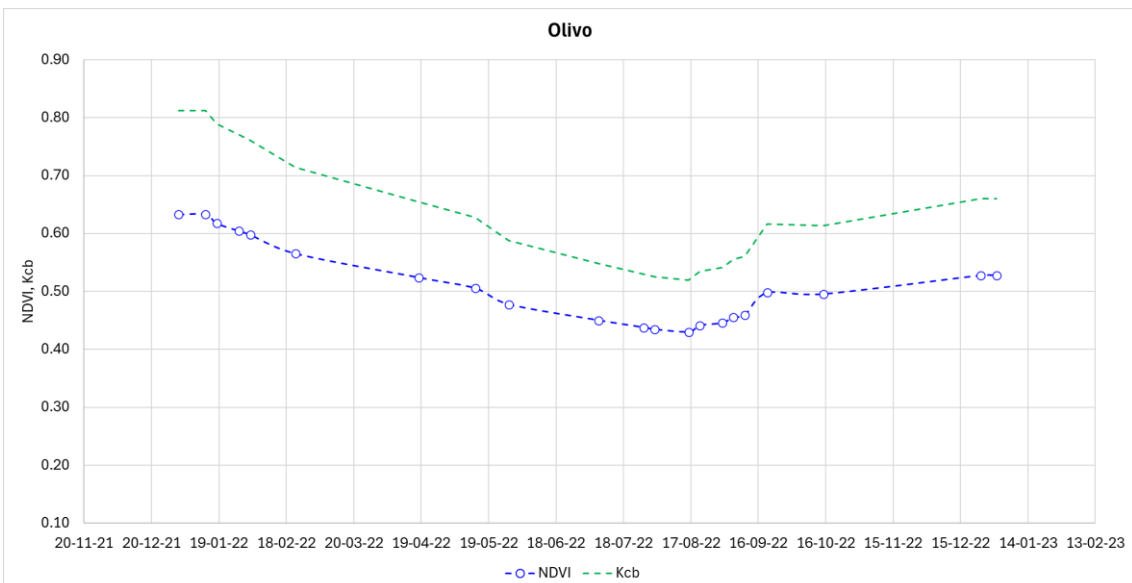
Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla XXI-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla XXI-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 17.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Viña_vinificación	10397	16.6
Olivo	7686	12.2
Frutal	1207	1.9
Frutal cáscara	3014	4.8
Alfalfa	5359	8.5
Cereal primavera	21785	34.7
Maíz	13326	21.2

La Figura XXI-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.





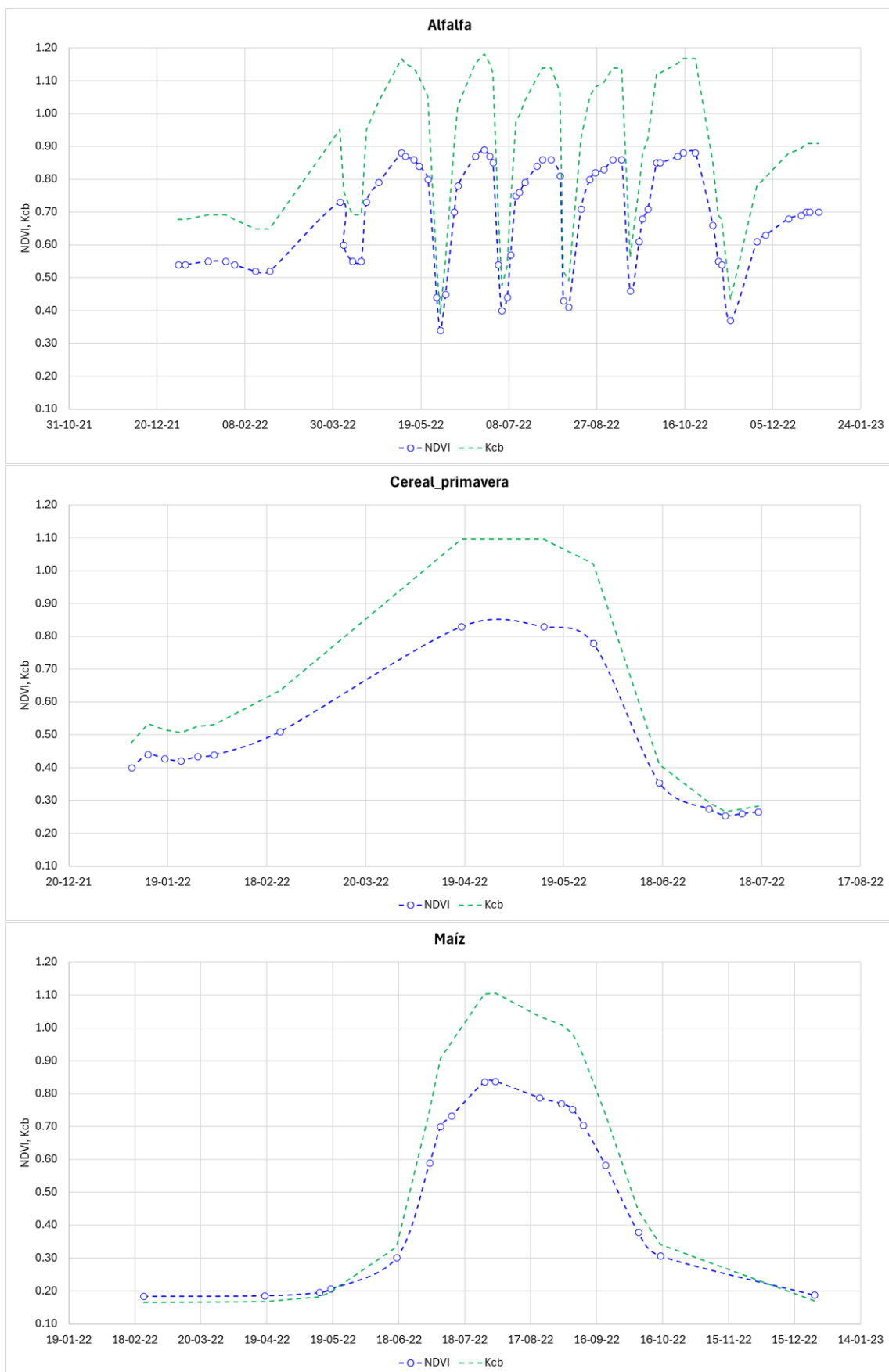


Figura XXI-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 17.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla XXI-2 y Tabla XXI-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XXI-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 17, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Viña_vinificación	2021-2050	6	8	3	1	6	9	2	2
	2041-2070	7	10	3	2	9	11	5	2
	2071-2100	9	12	4	2	16	20	10	3
Olivo	2021-2050	7	10	4	2	7	10	4	2
	2041-2070	9	14	6	2	11	15	7	2
	2071-2100	11	17	7	3	20	28	14	4
Frutal	2021-2050	7	11	5	2	8	11	6	2
	2041-2070	10	15	7	2	13	17	9	2
	2071-2100	13	20	8	3	24	32	15	4
Frutal_cáscara	2021-2050	7	10	5	2	8	11	5	2
	2041-2070	10	15	7	2	12	17	8	2
	2071-2100	13	19	8	3	22	31	14	4
Alfalfa	2021-2050	8	12	6	2	9	12	6	2
	2041-2070	11	17	8	3	14	19	10	3
	2071-2100	14	22	8	3	26	36	17	5
Cereal_primavera	2021-2050	7	10	3	2	7	11	2	3
	2041-2070	9	14	5	3	11	16	6	2
	2071-2100	11	17	7	3	22	29	13	5
Maíz	2021-2050	7	9	2	2	8	12	4	2
	2041-2070	10	14	5	2	13	17	7	2
	2071-2100	13	18	7	3	23	29	13	4

Tabla XXI-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 17, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Viña_vinificación	2021-2050	18	35	3	8	25	41	11	10
	2041-2070	28	51	11	13	38	58	24	10
	2071-2100	40	61	16	11	72	106	38	16
Olivo	2021-2050	16	31	2	7	21	37	9	8
	2041-2070	25	43	9	10	34	50	24	8
	2071-2100	36	58	13	10	67	96	38	14
Frutal	2021-2050	13	23	4	5	16	27	7	6
	2041-2070	20	33	9	7	27	39	18	6
	2071-2100	28	43	12	7	51	72	28	10
Frutal_cáscara	2021-2050	13	24	5	5	17	28	8	6
	2041-2070	20	34	9	8	28	40	19	6
	2071-2100	29	45	12	7	52	74	29	10
Alfalfa	2021-2050	12	22	4	4	16	25	8	5
	2041-2070	19	32	8	7	26	36	18	5
	2071-2100	27	42	11	7	49	68	29	10
Cereal_primavera	2021-2050	12	19	7	4	15	26	4	7
	2041-2070	18	25	9	5	26	42	17	7
	2071-2100	26	38	8	8	56	69	29	12
Maíz	2021-2050	11	19	2	4	14	20	5	4
	2041-2070	16	27	6	6	21	32	12	5
	2071-2100	23	32	10	5	38	51	21	7

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura XXI-3 y la Figura XXI-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

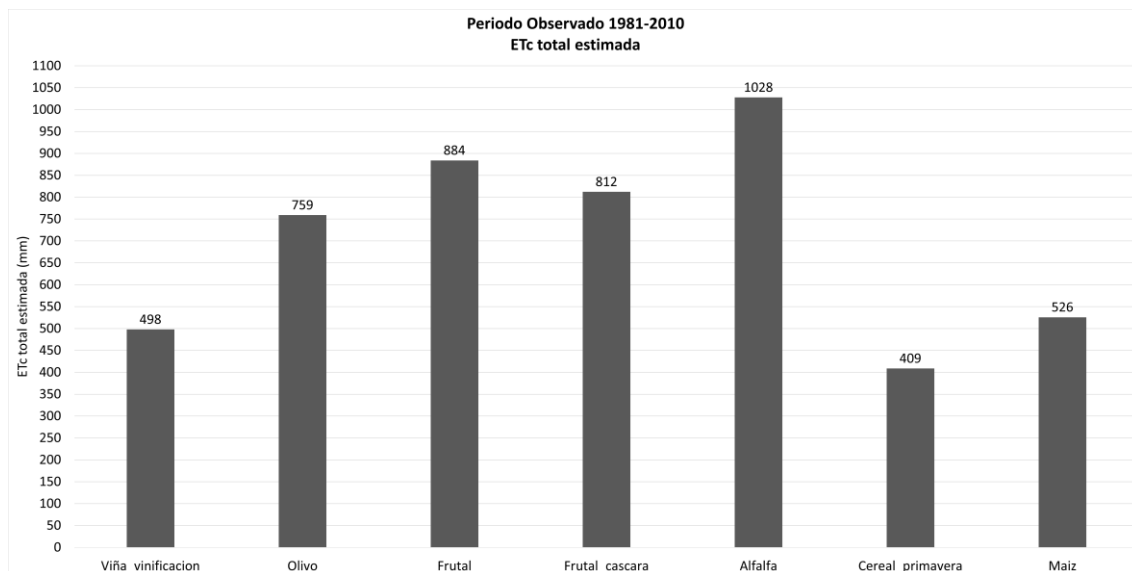


Figura XXI-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 17 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

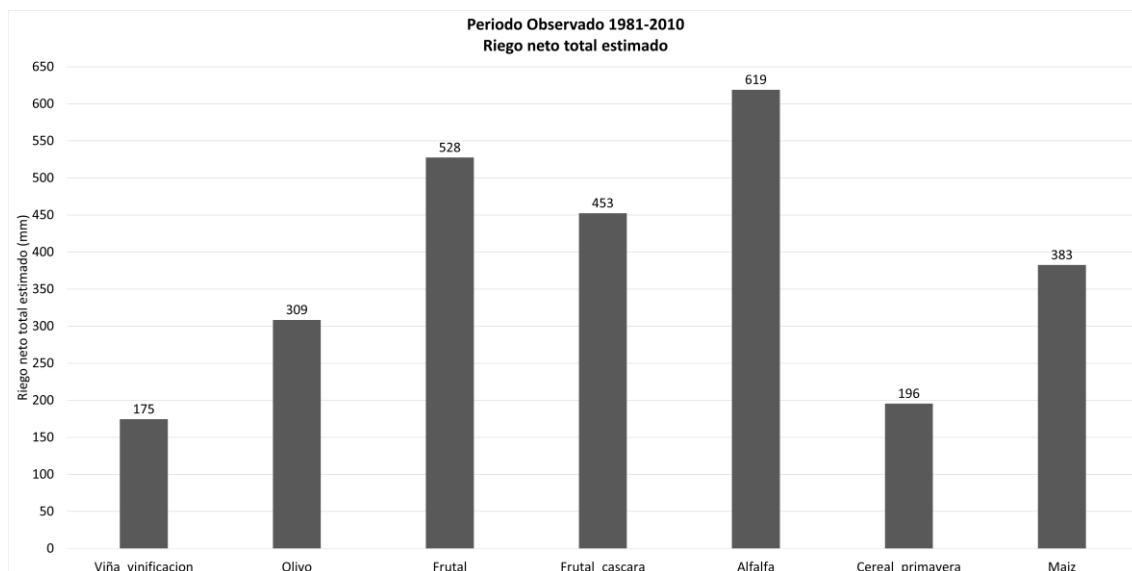


Figura XXI-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 17 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla XXI-4 y Tabla XXI-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XXI-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 17, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Viña_vinificación	2021-2050	527	537	514	6	529	545	510	9
	2041-2070	533	548	512	10	544	555	522	9
	2071-2100	542	558	520	12	576	597	548	14
Olivo	2021-2050	809	832	791	12	814	833	791	11
	2041-2070	826	863	805	16	844	874	814	16
	2071-2100	844	890	810	23	913	974	864	29
Frutal	2021-2050	950	977	932	14	958	980	933	15
	2041-2070	975	1021	945	21	1000	1037	964	21
	2071-2100	1003	1057	953	28	1096	1170	1019	38
Frutal_cáscara	2021-2050	870	895	855	13	877	898	854	13
	2041-2070	891	934	871	19	913	947	881	19
	2071-2100	914	963	876	25	993	1060	929	33
Alfalfa	2021-2050	1108	1147	1085	19	1117	1146	1088	19
	2041-2070	1141	1204	1106	27	1172	1224	1128	27
	2071-2100	1176	1250	1113	35	1296	1395	1199	49
Cereal_primavera	2021-2050	436	449	422	8	437	453	416	10
	2041-2070	446	464	427	11	455	473	435	10
	2071-2100	455	480	436	12	498	528	463	19
Maíz	2021-2050	561	574	538	9	568	587	544	10
	2041-2070	577	599	551	12	593	613	564	13
	2071-2100	593	619	561	17	644	679	595	22

Tabla XXI-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 17, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Viña_vinificación	2021-2050	206	235	180	15	218	246	194	17
	2041-2070	223	263	194	22	241	276	216	17
	2071-2100	245	281	202	19	301	359	240	28
Olivo	2021-2050	357	405	315	22	372	421	337	25
	2041-2070	385	442	338	31	413	463	381	25
	2071-2100	419	487	348	32	514	603	425	43
Frutal	2021-2050	595	648	550	24	613	670	567	30
	2041-2070	631	702	577	37	669	732	625	31
	2071-2100	676	755	593	37	795	907	676	54
Frutal_cáscara	2021-2050	512	562	473	22	529	581	490	27
	2041-2070	544	607	495	34	577	635	539	28
	2071-2100	583	654	508	34	688	787	584	47
Alfalfa	2021-2050	696	753	644	27	717	774	666	31
	2041-2070	738	814	671	41	778	842	729	33
	2071-2100	786	878	690	43	924	1041	796	59
Cereal_primavera	2021-2050	218	234	209	8	224	246	204	13
	2041-2070	231	244	214	10	246	277	229	14
	2071-2100	247	269	210	16	304	331	253	24
Maíz	2021-2050	425	455	391	17	435	458	402	15
	2041-2070	444	487	406	24	464	504	427	19
	2071-2100	469	505	420	19	528	577	464	26

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla XXI-1).

En la Figura XXI-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla XXI-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura XXI-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

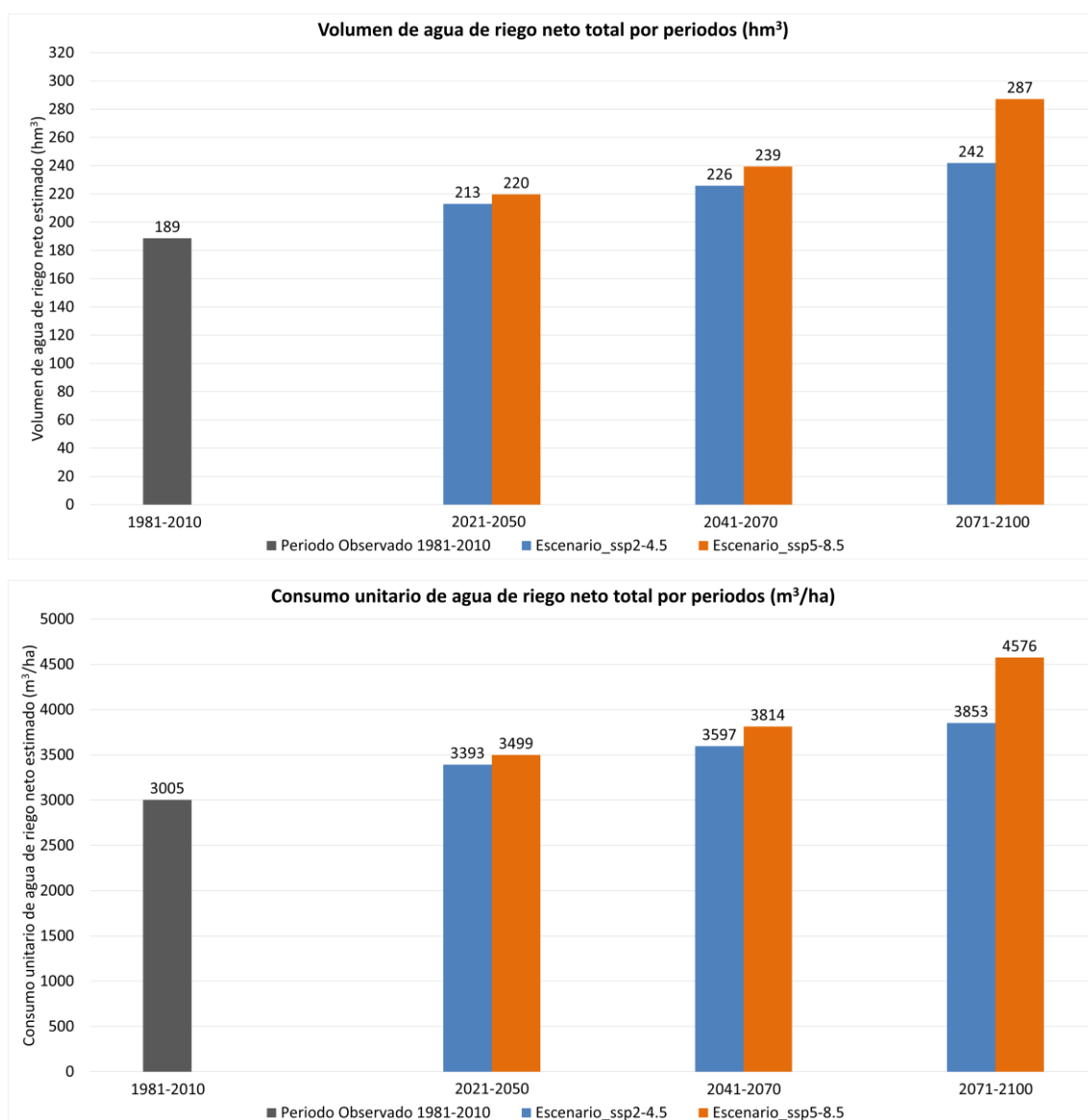


Figura XXI-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XXI-1 para la Zona 17. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

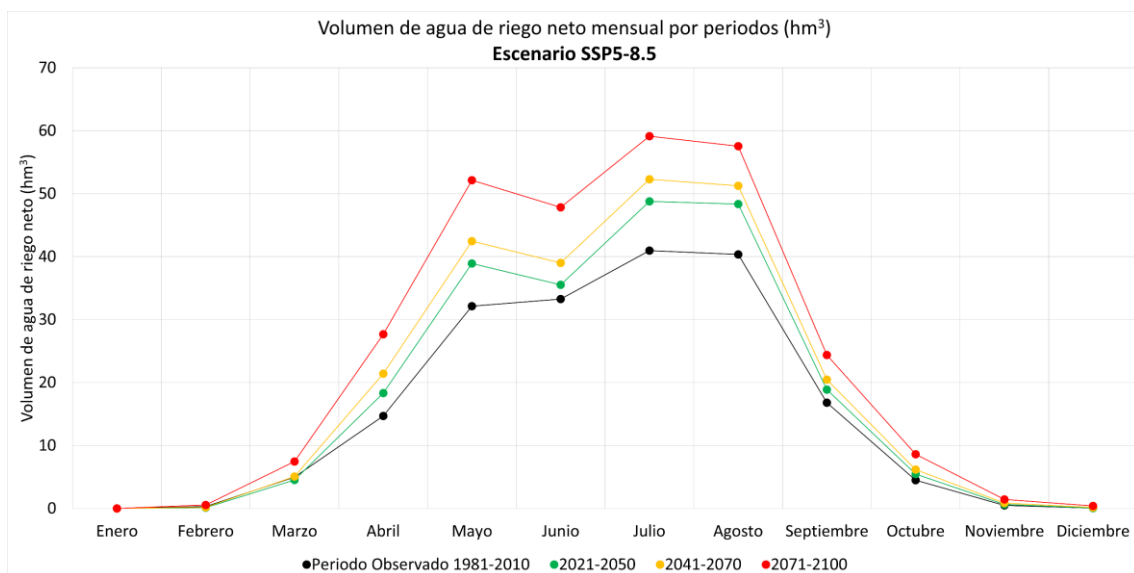
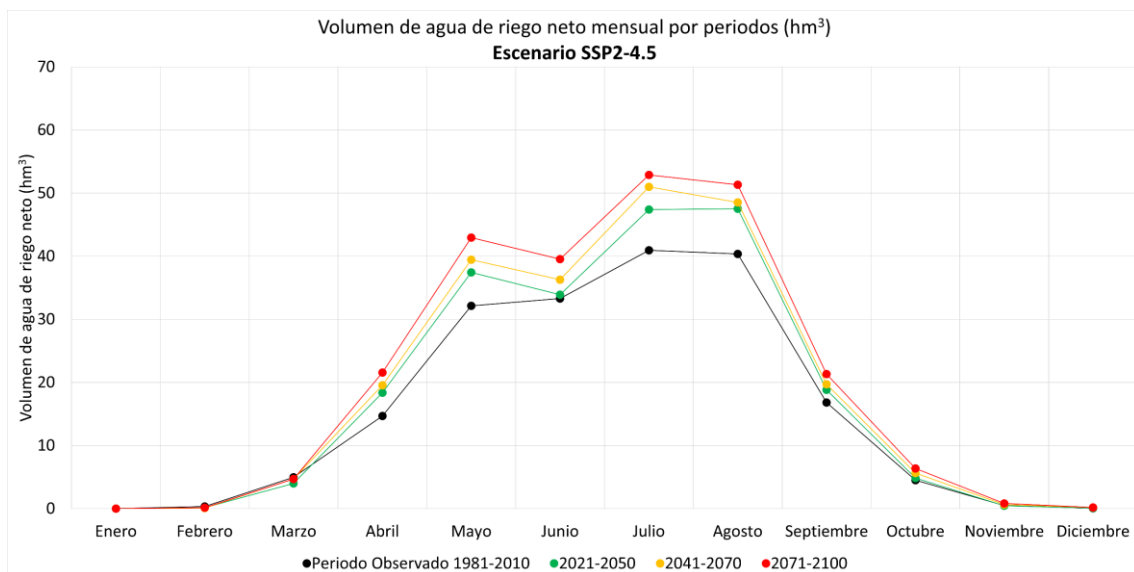
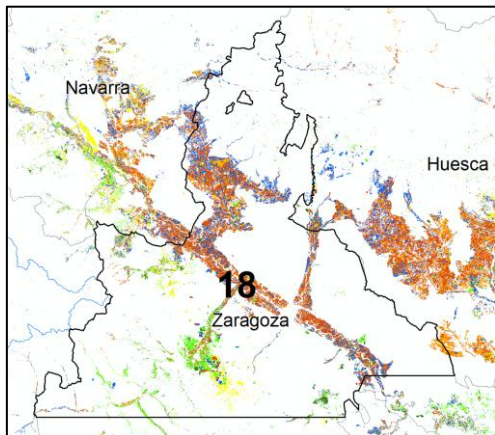


Figura XXI-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XXI-1 para la Zona 17. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

XXII. Zona 18. Zaragoza-Demarcación Hidrográfica del Ebro



ECLIMAR

DEMANDA DE AGUA, ETc,
Y DEMANDA DE AGUA DE
RIEGO, R, EN EL
HORIZONTE 2015-2100

Zona 18. Zaragoza-
Demarcación Hidrográfica del
Ebro

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	238
RESULTADOS	239
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	239
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	240
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	243
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo..	245
E.- Demandas de agua de riego globales.....	248

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 18. Zaragoza-Demarcación Hidrográfica del Ebro, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo, a excepción del cultivo de la viña de vinificación que se ha considerado que se maneja con un cierto grado de estrés hídrico. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los periodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura XXII-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

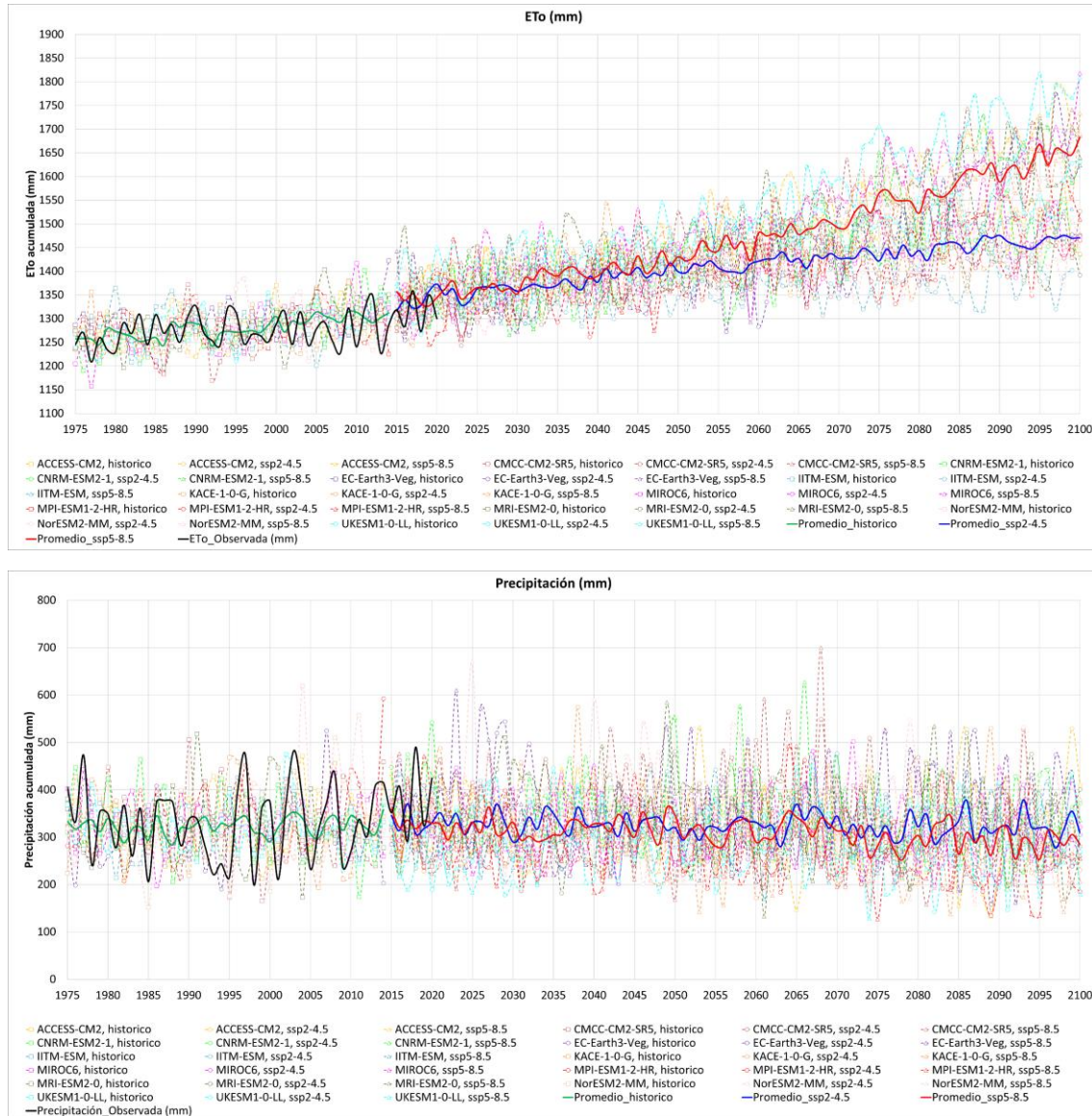


Figura XXII-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 18 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

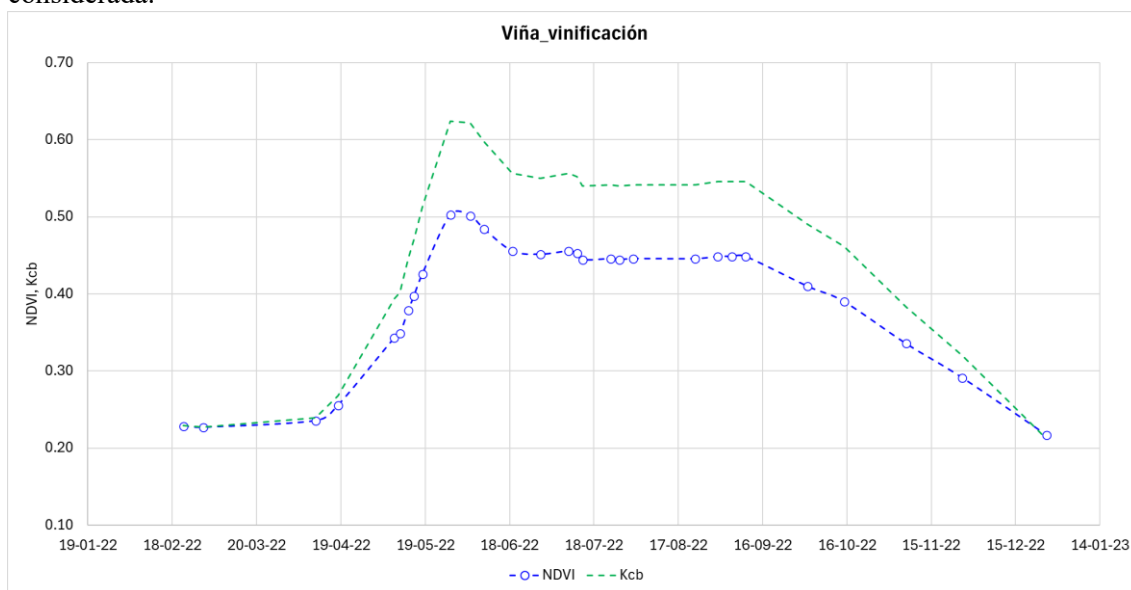
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

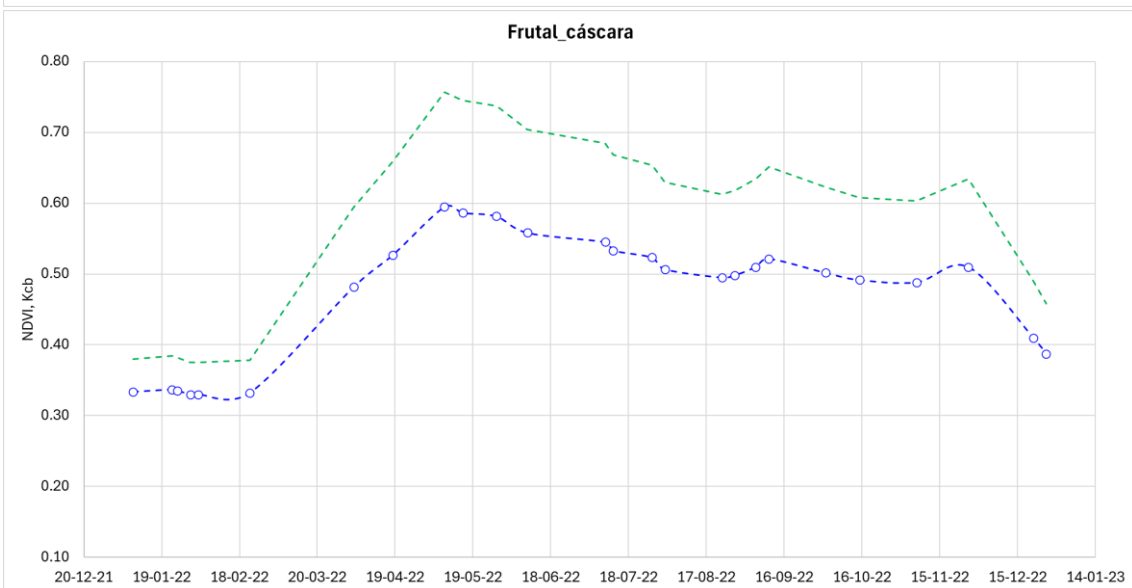
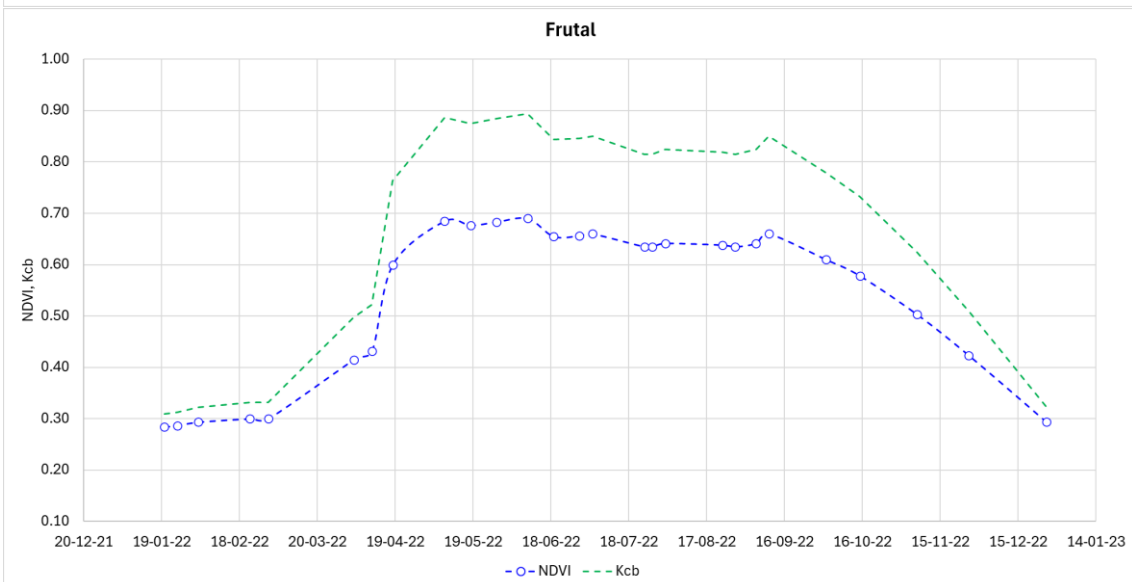
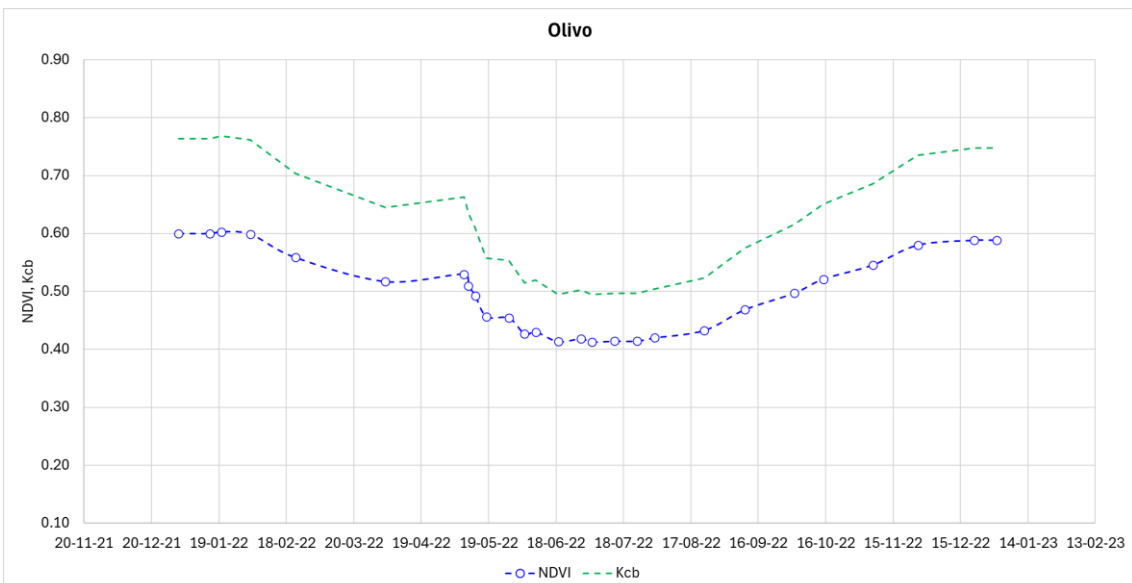
Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla XXII-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla XXII-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 18.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Viña_vinificación	8132	5.0
Olivo	8799	5.4
Frutal	23024	14.1
Frutal cáscara	16960	10.4
Alfalfa	37543	22.9
Cereal primavera	59233	36.2
Maíz	10013	6.1

La Figura XXII-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.





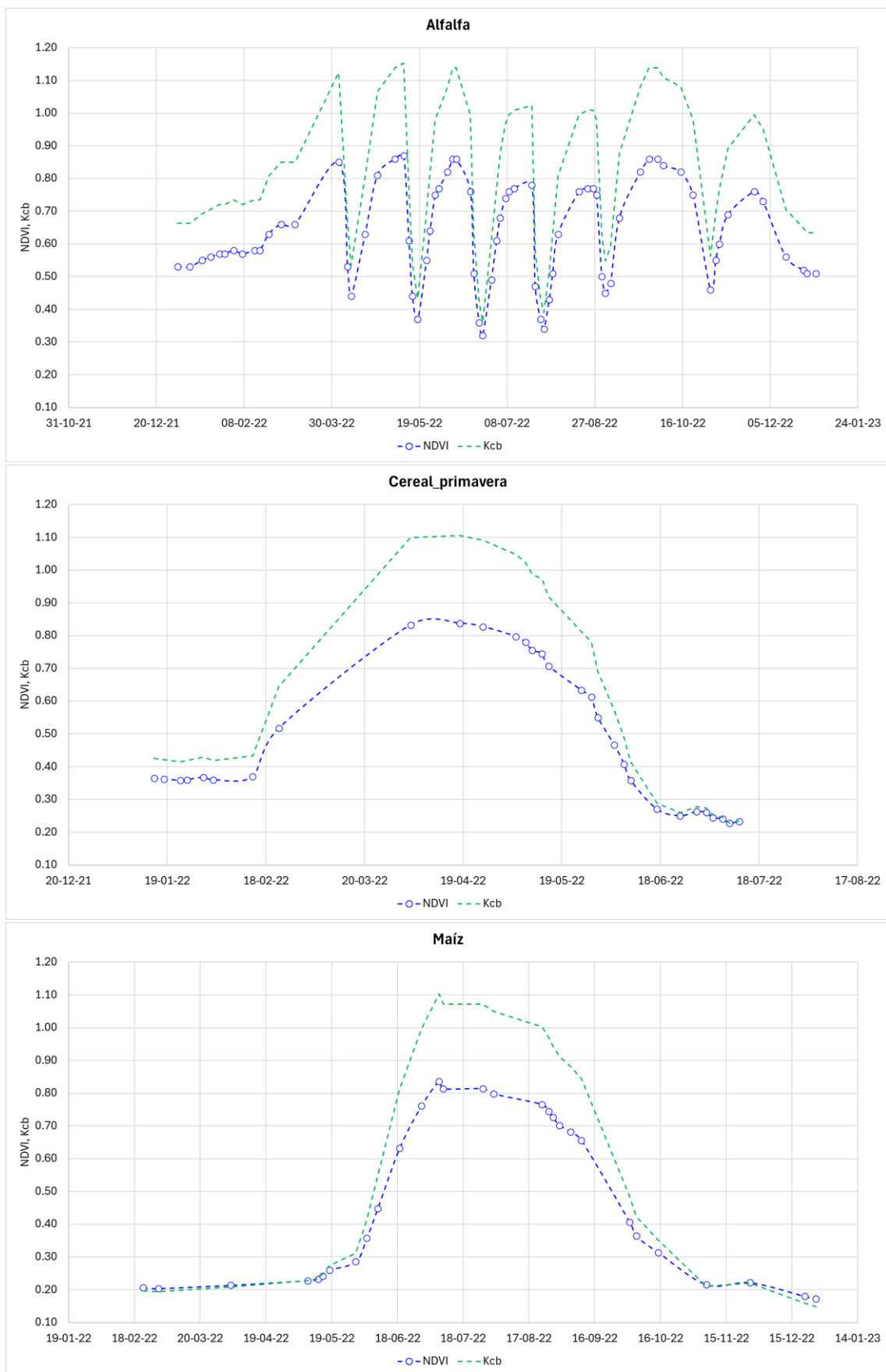


Figura XXII-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 18.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla XXII-2 y Tabla XXII-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XXII-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 18, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Viña_vinificación	2021-2050	7	9	5	1	7	11	4	2
	2041-2070	9	12	5	2	11	13	7	2
	2071-2100	11	15	6	3	19	24	12	4
Olivo	2021-2050	6	9	5	1	7	11	4	2
	2041-2070	9	13	6	2	11	14	7	2
	2071-2100	11	16	6	3	20	27	14	4
Frutal	2021-2050	7	10	5	1	8	11	6	2
	2041-2070	10	14	7	2	13	16	8	2
	2071-2100	13	18	7	3	23	30	14	4
Frutal_cáscara	2021-2050	7	9	5	1	8	11	5	2
	2041-2070	9	14	7	2	12	15	8	2
	2071-2100	12	17	7	3	21	28	13	4
Alfalfa	2021-2050	7	11	5	2	8	11	6	2
	2041-2070	10	16	7	2	13	17	9	2
	2071-2100	13	19	7	3	24	32	15	4
Cereal_primavera	2021-2050	6	8	3	2	6	10	3	2
	2041-2070	8	12	5	2	10	15	6	2
	2071-2100	10	15	6	3	19	25	11	4
Maíz	2021-2050	7	9	4	1	8	11	5	2
	2041-2070	10	13	6	2	13	16	8	2
	2071-2100	12	16	7	3	22	27	13	4

Tabla XXII-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 18, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Viña_vinificación	2021-2050	11	19	6	4	15	23	6	5
	2041-2070	16	25	5	6	22	32	16	5
	2071-2100	22	33	14	6	41	60	18	10
Olivo	2021-2050	10	19	6	4	14	21	7	4
	2041-2070	15	24	8	5	21	29	15	5
	2071-2100	21	33	11	6	41	56	25	8
Frutal	2021-2050	10	15	6	3	12	18	7	4
	2041-2070	14	21	7	5	19	25	14	4
	2071-2100	19	28	11	4	35	48	17	7
Frutal_cáscara	2021-2050	9	15	6	3	13	19	7	4
	2041-2070	14	21	7	5	19	24	14	4
	2071-2100	19	27	10	4	36	48	18	7
Alfalfa	2021-2050	9	16	5	3	12	18	7	4
	2041-2070	13	21	8	4	18	25	14	4
	2071-2100	18	28	10	4	35	48	21	7
Cereal_primavera	2021-2050	8	12	3	3	12	21	1	6
	2041-2070	13	17	7	3	19	27	11	5
	2071-2100	17	28	6	6	37	51	26	7
Maíz	2021-2050	8	11	4	2	10	14	6	3
	2041-2070	11	16	6	3	15	20	9	3
	2071-2100	15	19	9	3	27	35	11	6

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura XXII-3 y la Figura XXII-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

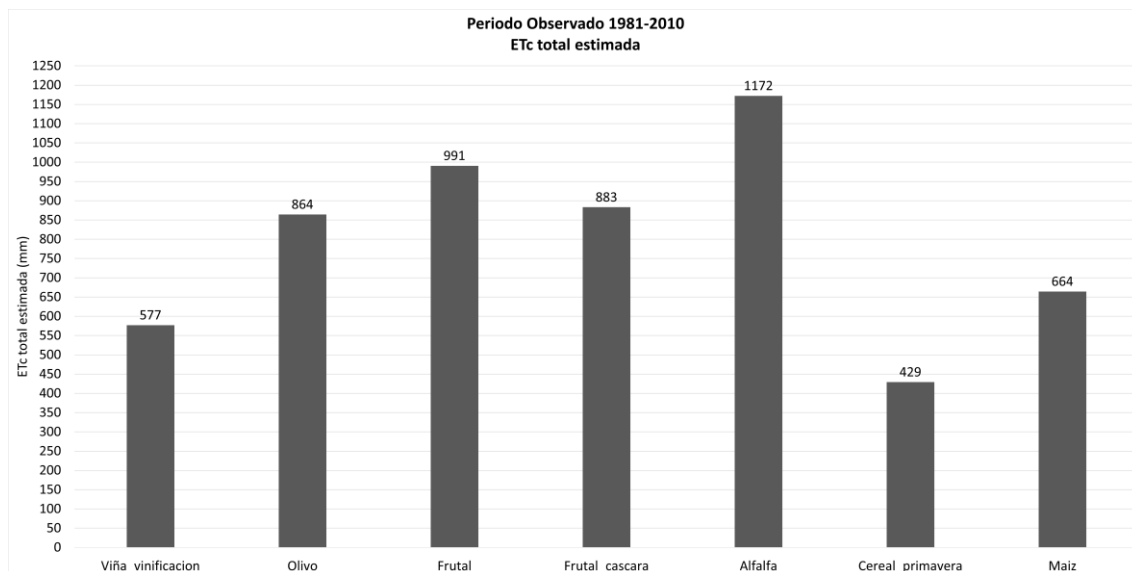


Figura XXII-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 18 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

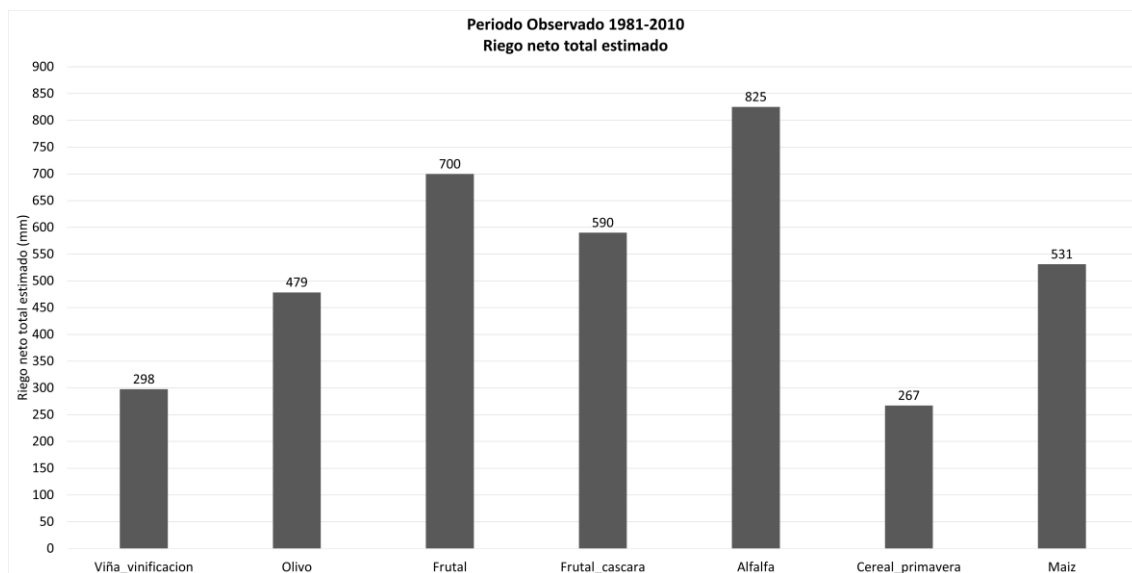


Figura XXII-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 18 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla XXII-4 y Tabla XXII-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XXII-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 18, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Viña_vinificación	2021-2050	616	629	604	7	619	642	600	10
	2041-2070	627	644	608	11	641	655	617	13
	2071-2100	640	661	613	17	684	714	647	21
Olivo	2021-2050	920	945	905	12	926	955	903	14
	2041-2070	939	979	920	17	960	989	928	19
	2071-2100	960	1005	916	26	1035	1096	983	32
Frutal	2021-2050	1064	1090	1045	14	1075	1100	1047	17
	2041-2070	1089	1131	1055	21	1118	1147	1072	23
	2071-2100	1119	1166	1062	28	1214	1284	1127	42
Frutal_cáscara	2021-2050	945	966	930	12	953	978	928	16
	2041-2070	966	1003	943	18	989	1014	951	21
	2071-2100	990	1030	943	25	1071	1130	1000	35
Alfalfa	2021-2050	1258	1300	1236	20	1271	1296	1239	22
	2041-2070	1291	1354	1253	28	1326	1373	1282	29
	2071-2100	1327	1398	1256	37	1451	1550	1350	52
Cereal_primavera	2021-2050	454	465	444	7	456	474	440	10
	2041-2070	463	480	451	8	473	492	455	10
	2071-2100	473	495	455	11	512	534	478	17
Maíz	2021-2050	710	723	689	9	720	739	699	11
	2041-2070	728	751	702	13	749	769	719	15
	2071-2100	747	771	709	19	808	846	749	28

Tabla XXII-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 18, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Viña_vinificación	2021-2050	330	354	314	11	341	367	316	16
	2041-2070	345	372	311	19	364	394	345	16
	2071-2100	363	396	339	16	419	475	350	30
Olivo	2021-2050	528	568	505	17	544	580	511	21
	2041-2070	551	593	515	24	579	616	548	22
	2071-2100	579	638	529	26	676	748	600	38
Frutal	2021-2050	766	806	742	19	786	822	746	25
	2041-2070	796	845	749	32	832	875	799	26
	2071-2100	832	896	776	29	944	1032	821	51
Frutal_cáscara	2021-2050	646	678	624	16	664	699	629	21
	2041-2070	671	712	629	27	702	733	673	21
	2071-2100	701	751	652	25	800	871	699	43
Alfalfa	2021-2050	900	958	868	24	923	970	879	30
	2041-2070	935	998	887	35	975	1029	939	32
	2071-2100	975	1060	906	37	1112	1217	995	56
Cereal_primavera	2021-2050	289	300	274	7	299	324	270	15
	2041-2070	301	312	285	8	317	338	297	13
	2071-2100	313	341	282	15	365	403	336	20
Maíz	2021-2050	572	590	552	10	584	607	565	15
	2041-2070	588	618	565	18	610	639	581	17
	2071-2100	609	631	577	16	672	718	589	30

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla XXII-1).

En la Figura XXII-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla XXII-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura XXII-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

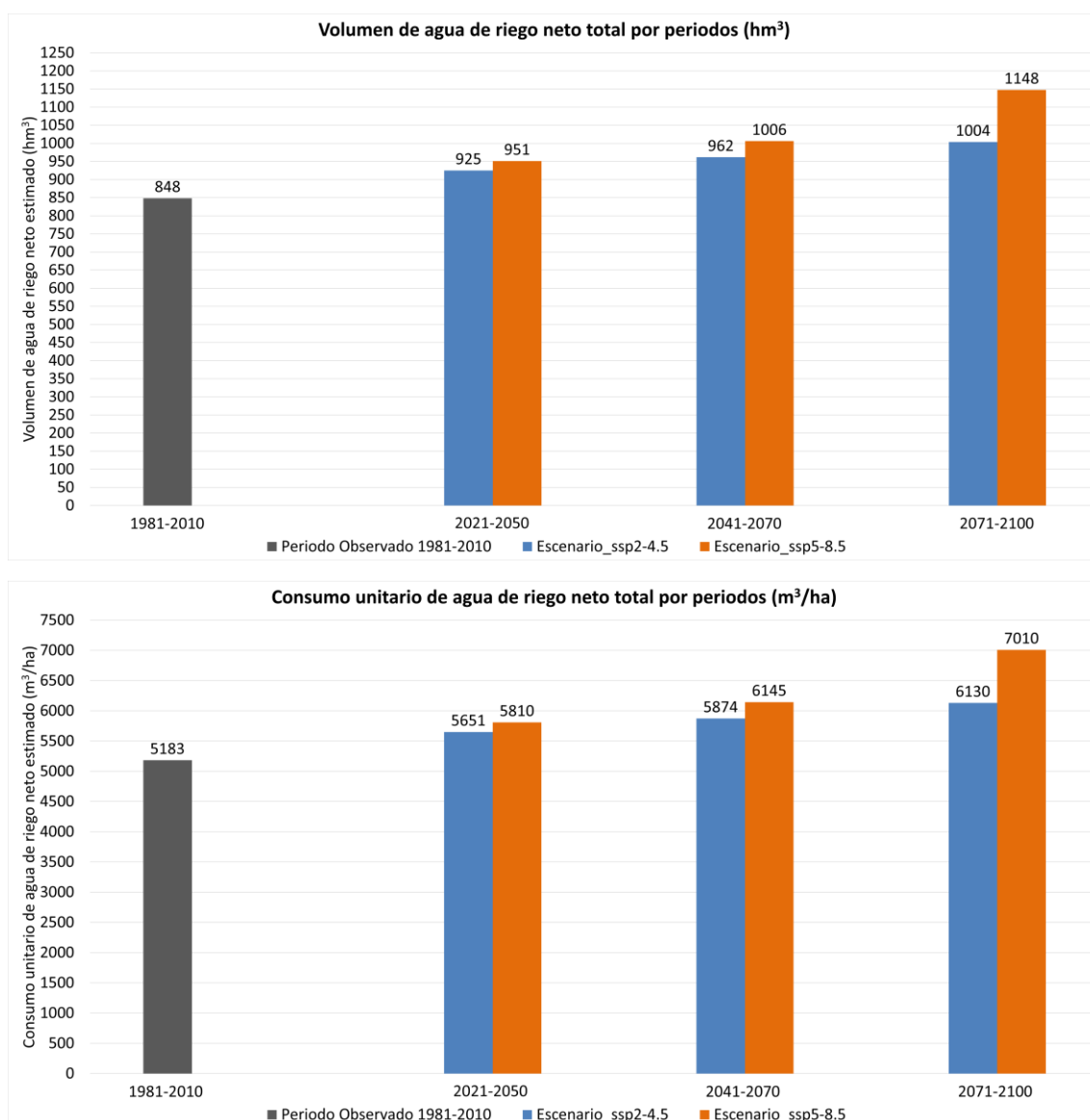


Figura XXII-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XXII-1 para la Zona 18. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

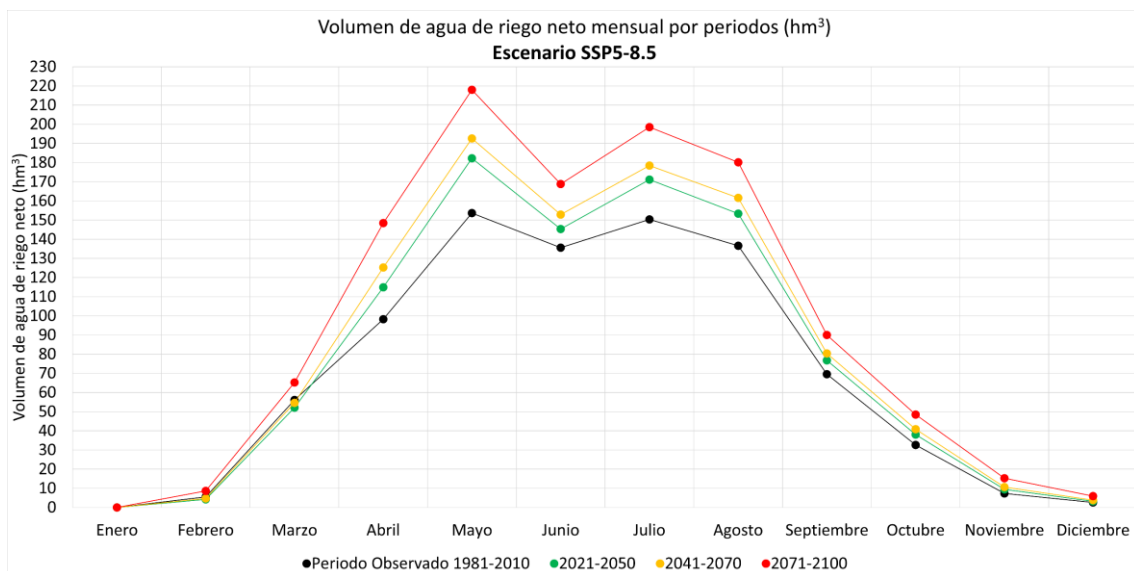
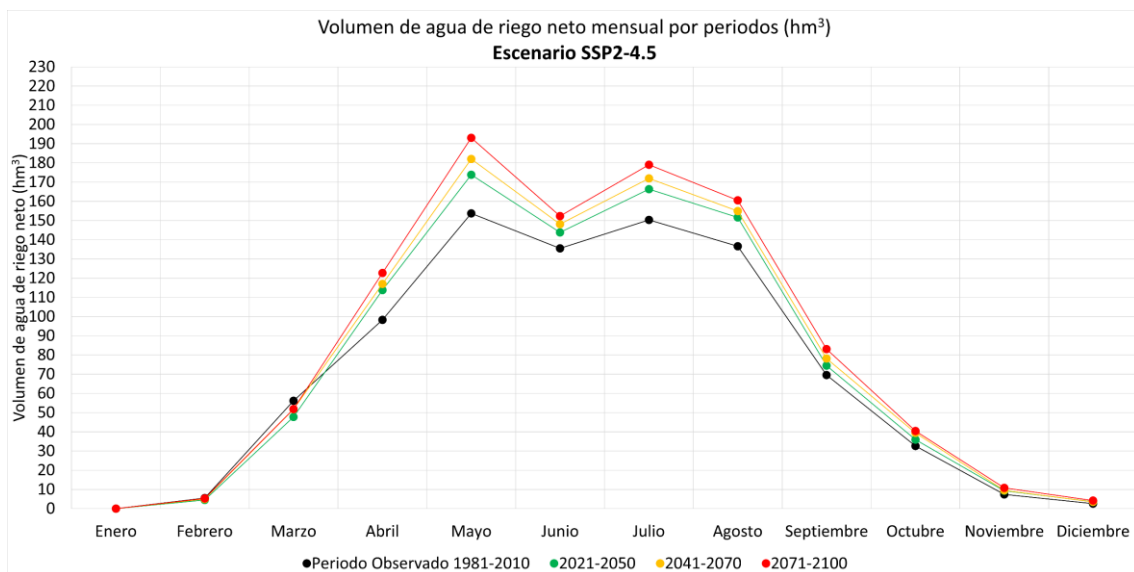
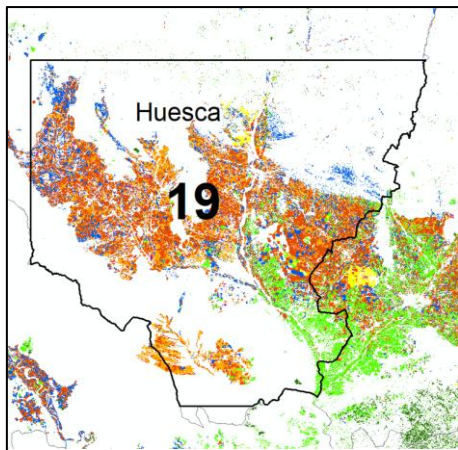


Figura XXII-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XXII-1 para la Zona 18. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

XXIII. Zona 19. Huesca-Demarcación Hidrográfica del Ebro



ECLIMAR

DEMANDA DE AGUA, ETc, Y DEMANDA DE AGUA DE RIEGO, R, EN EL HORIZONTE 2015-2100

Zona 19. Huesca-Demarcación Hidrográfica del Ebro

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	251
RESULTADOS	252
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	252
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	253
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	256
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo..	258
E.- Demandas de agua de riego globales.....	261

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 19. Huesca-Demarcación Hidrográfica del Ebro, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo, a excepción del cultivo de la viña de vinificación que se ha considerado que se maneja con un cierto grado de estrés hídrico. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los periodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura XXIII-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

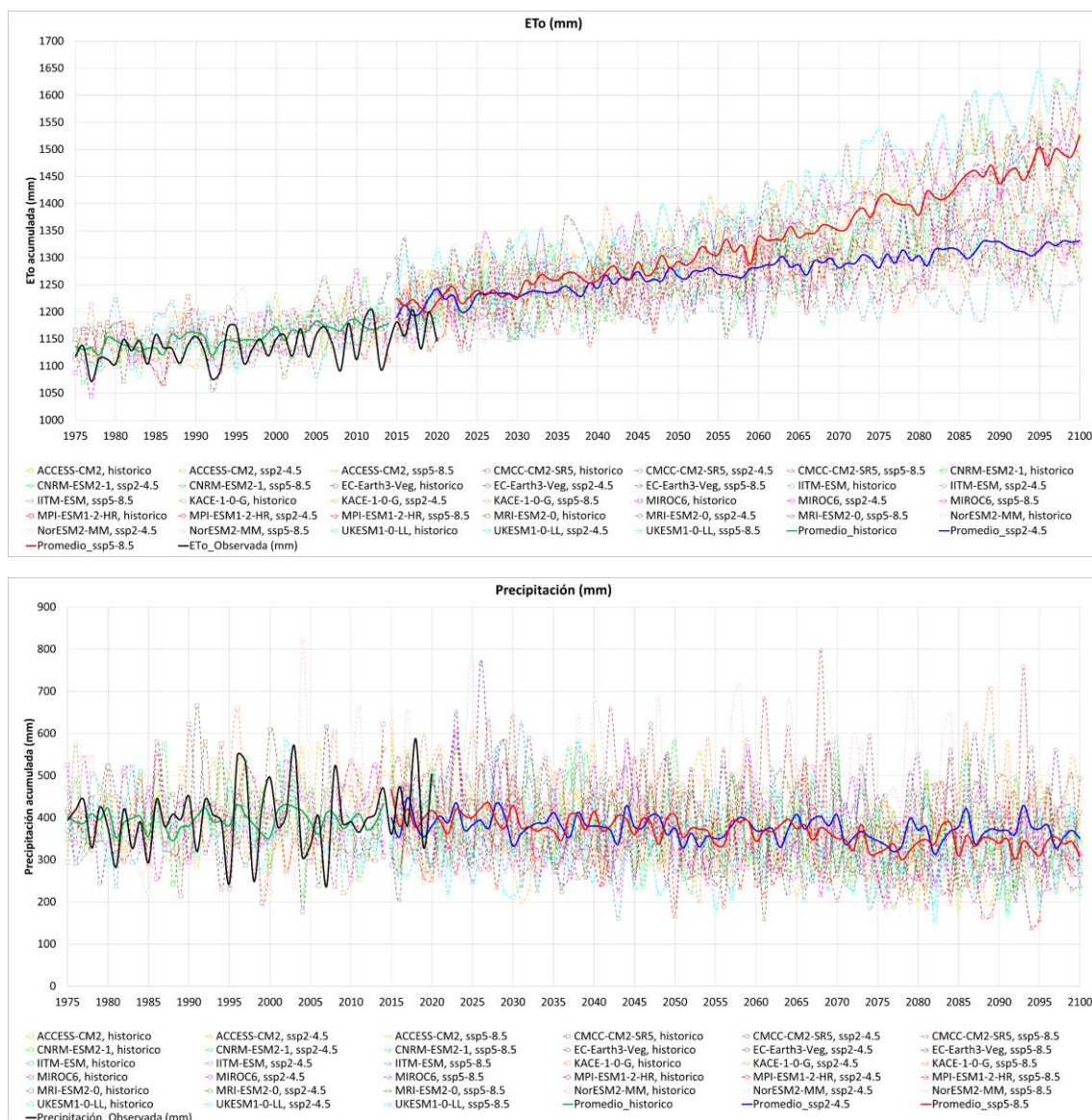


Figura XXIII-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 19 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

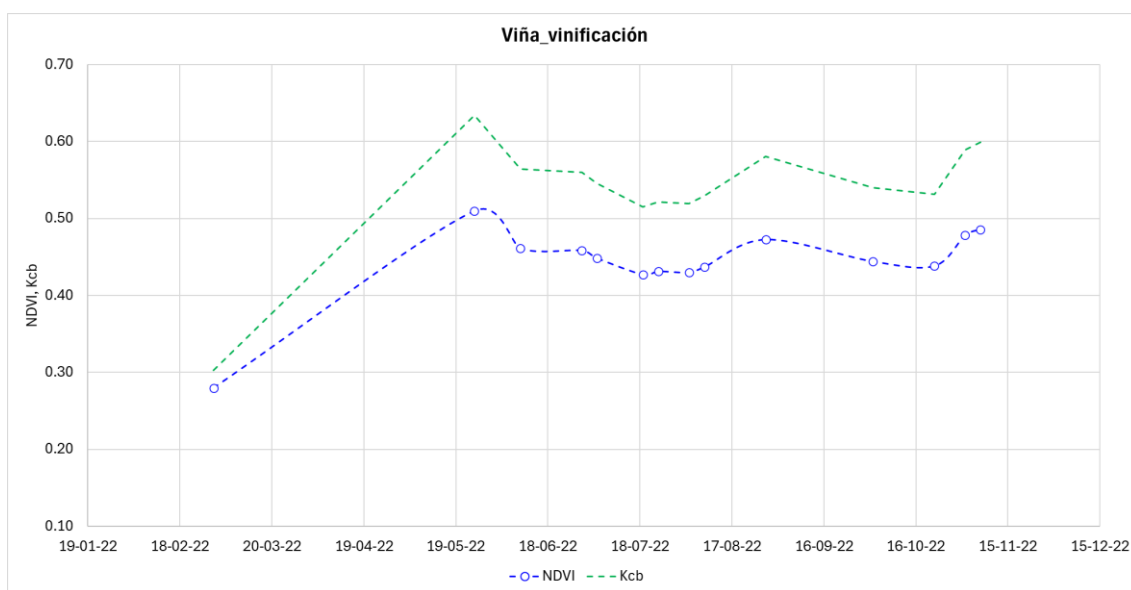
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

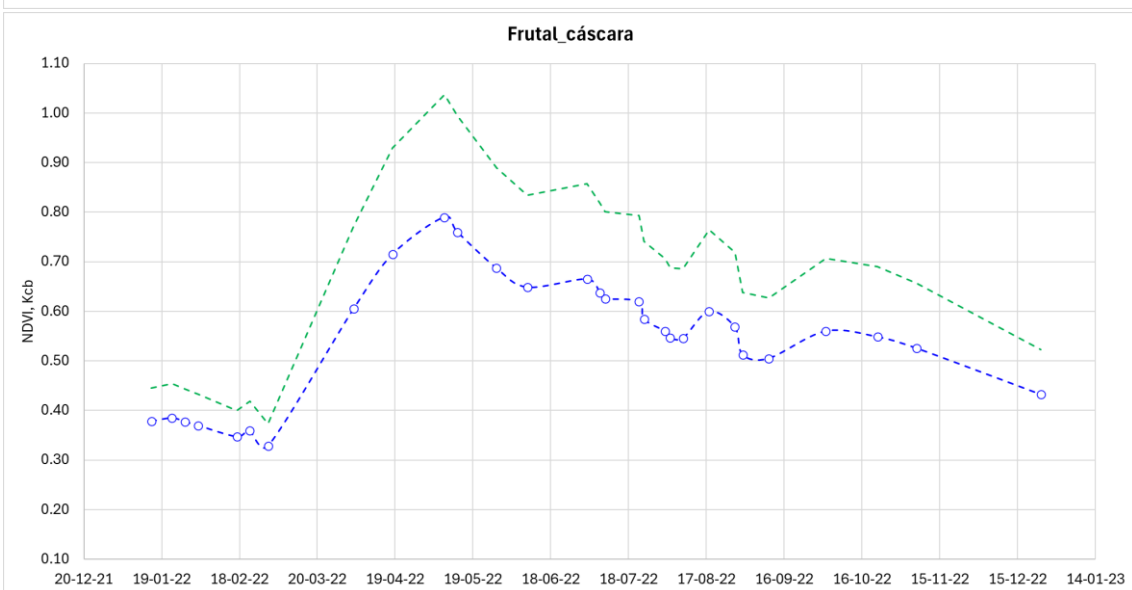
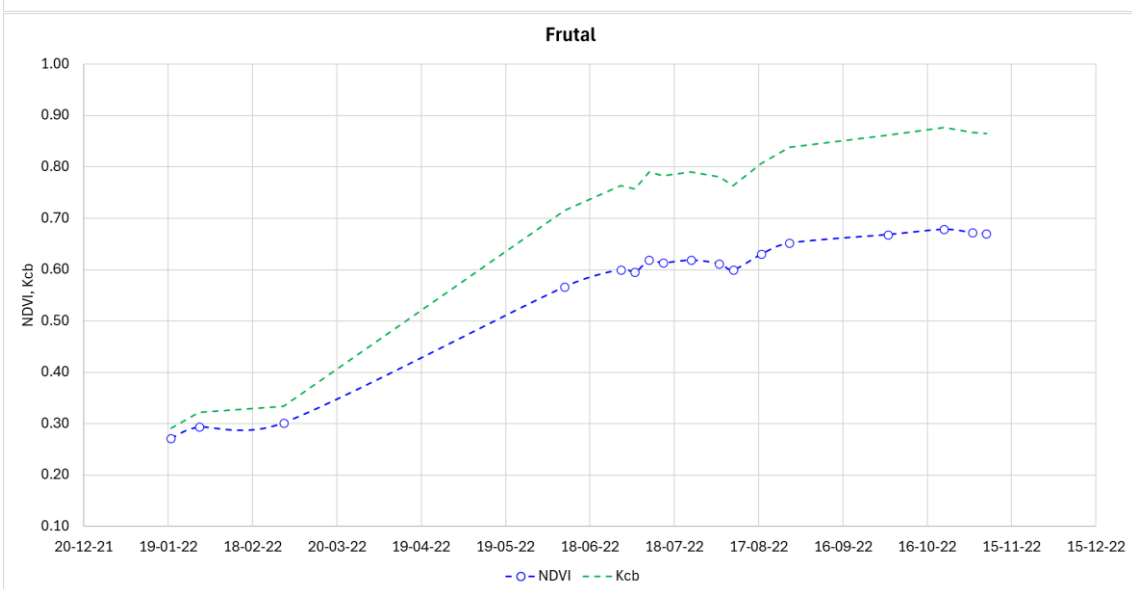
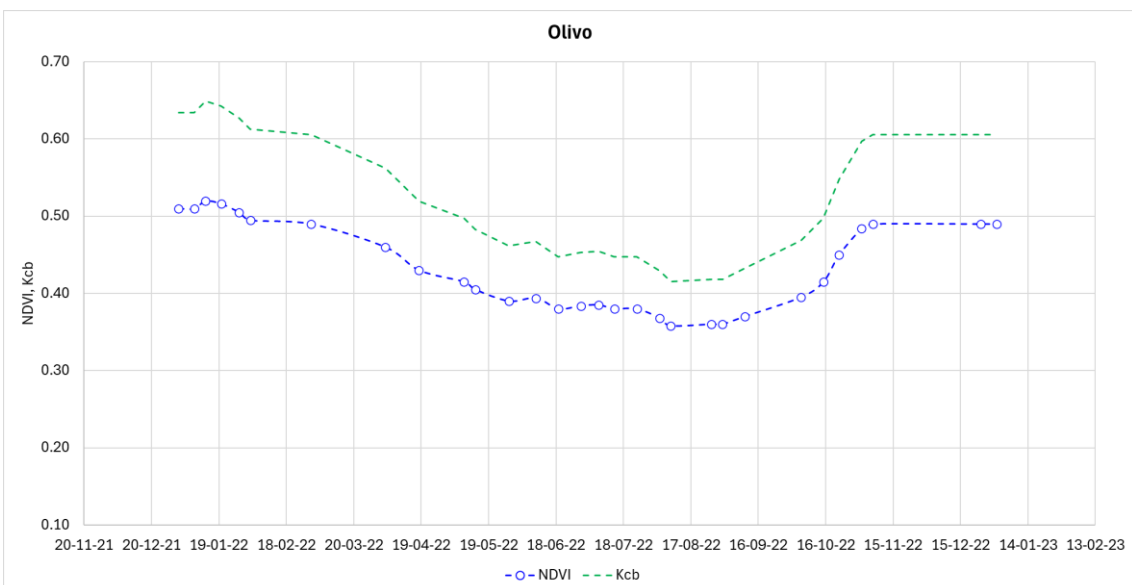
Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla XXIII-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla XXIII-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 19.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Viña vinificación	2649	1.5
Olivo	2547	1.5
Frutal	16397	9.4
Frutal cáscara	12609	7.2
Alfalfa	27417	15.7
Cereal primavera	74074	42.3
Maíz	39402	22.5

La Figura XXIII-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.





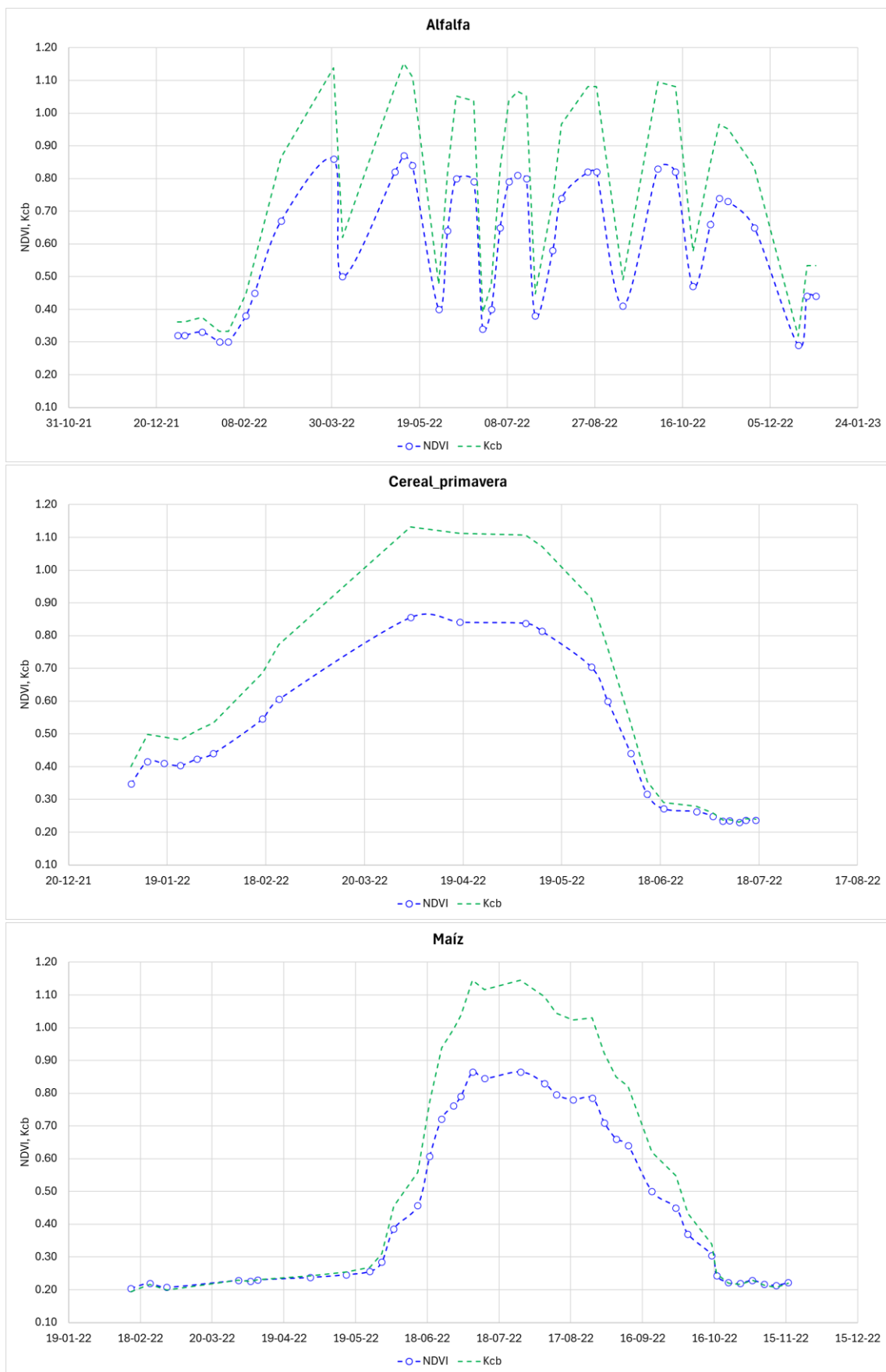


Figura XXIII-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 19.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla XXIII-2 y Tabla XXIII-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XXIII-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 19, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Viña_vinificación	2021-2050	6	9	4	2	7	11	5	2
	2041-2070	8	11	5	2	11	13	6	2
	2071-2100	10	14	4	3	18	24	10	4
Olivo	2021-2050	6	9	4	2	7	10	4	2
	2041-2070	8	12	4	2	10	13	6	2
	2071-2100	10	14	3	3	18	24	10	4
Frutal	2021-2050	7	11	4	2	9	12	5	2
	2041-2070	10	14	5	2	13	16	7	3
	2071-2100	12	18	6	3	22	29	12	4
Frutal_cáscara	2021-2050	7	10	5	2	8	11	5	2
	2041-2070	9	15	6	2	12	16	7	3
	2071-2100	12	18	6	3	22	29	12	4
Alfalfa	2021-2050	8	11	5	2	9	12	6	2
	2041-2070	10	16	7	3	14	18	9	3
	2071-2100	13	20	7	3	24	33	14	5
Cereal_primavera	2021-2050	6	9	3	2	6	10	3	2
	2041-2070	8	12	5	2	10	14	7	2
	2071-2100	10	16	5	3	19	26	11	4
Maíz	2021-2050	7	10	3	2	9	12	5	2
	2041-2070	10	13	5	2	13	16	7	3
	2071-2100	12	16	6	3	22	27	12	4

Tabla XXIII-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 19, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Viña_vinificación	2021-2050	14	26	7	5	17	32	5	8
	2041-2070	21	34	10	7	27	42	18	8
	2071-2100	28	45	18	8	48	72	24	13
Olivo	2021-2050	15	29	8	5	18	29	8	7
	2041-2070	23	36	16	6	29	43	18	8
	2071-2100	30	49	17	9	54	77	31	13
Frutal	2021-2050	13	21	7	4	15	25	8	6
	2041-2070	18	29	11	5	24	35	17	6
	2071-2100	24	38	16	6	42	59	23	9
Frutal_cáscara	2021-2050	12	20	7	3	14	22	7	5
	2041-2070	17	26	11	4	22	31	16	5
	2071-2100	22	35	15	6	39	55	22	9
Alfalfa	2021-2050	12	21	7	4	14	22	8	5
	2041-2070	17	28	12	5	22	31	16	5
	2071-2100	23	36	16	6	40	57	24	8
Cereal_primavera	2021-2050	10	15	1	4	12	23	1	7
	2041-2070	16	21	6	4	20	34	14	6
	2071-2100	22	32	14	6	43	62	20	12
Maíz	2021-2050	10	15	6	3	13	21	7	4
	2041-2070	14	21	8	4	18	25	12	4
	2071-2100	18	25	12	4	30	41	17	7

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura XXIII-3 y la Figura XXIII-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

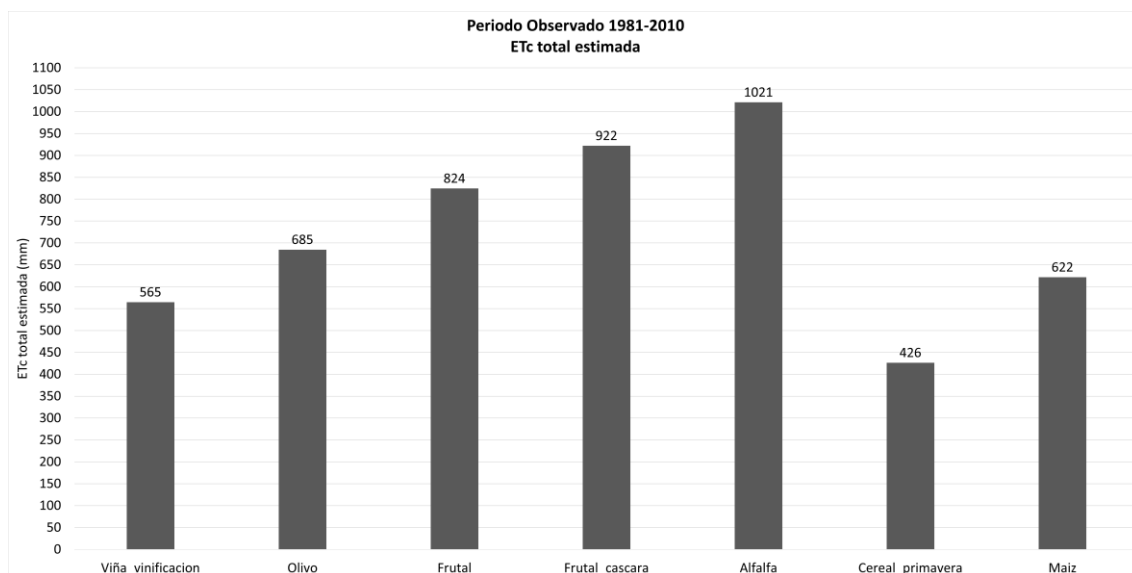


Figura XXIII-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 19 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

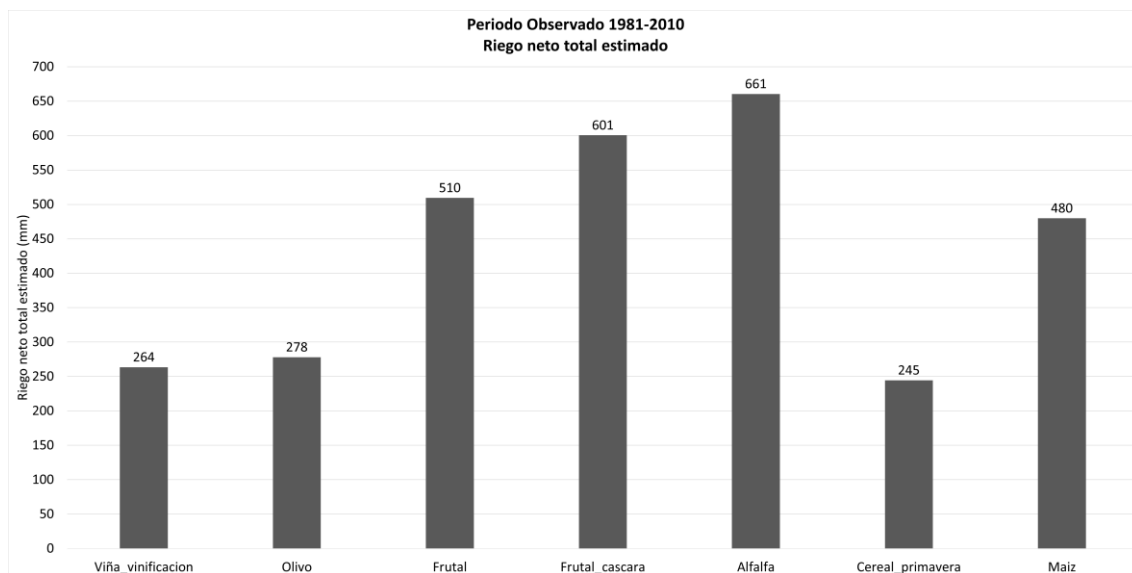


Figura XXIII-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 19 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla XXIII-4 y Tabla XXIII-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XXIII-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 19, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Viña_vinificación	2021-2050	600	614	587	9	606	627	591	11
	2041-2070	609	626	591	12	624	639	600	13
	2071-2100	621	645	588	15	667	699	623	21
Olivo	2021-2050	725	743	709	11	732	751	715	11
	2041-2070	737	765	715	14	754	775	724	15
	2071-2100	750	784	707	21	806	849	756	25
Frutal	2021-2050	885	912	861	15	896	920	868	17
	2041-2070	904	943	869	19	929	960	883	22
	2071-2100	926	971	872	25	1004	1067	925	36
Frutal_cáscara	2021-2050	987	1017	966	16	999	1026	970	20
	2041-2070	1009	1056	977	22	1037	1068	991	24
	2071-2100	1034	1084	976	28	1122	1193	1032	41
Alfalfa	2021-2050	1099	1139	1074	19	1112	1140	1082	22
	2041-2070	1127	1187	1089	26	1160	1204	1112	28
	2071-2100	1157	1225	1091	33	1266	1357	1164	48
Cereal_primavera	2021-2050	451	464	439	7	454	469	438	10
	2041-2070	460	479	447	9	470	488	455	10
	2071-2100	470	494	448	13	509	538	472	19
Maíz	2021-2050	667	681	642	11	678	697	654	13
	2041-2070	682	704	651	14	703	723	668	16
	2071-2100	698	722	657	18	756	790	693	26

Tabla XXIII-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 19, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Viña_vinificación	2021-2050	302	332	281	12	310	348	276	22
	2041-2070	318	352	291	18	335	374	312	21
	2071-2100	337	382	310	20	390	454	326	34
Olivo	2021-2050	321	358	300	14	328	360	300	20
	2041-2070	342	377	322	17	358	397	327	23
	2071-2100	363	414	326	25	429	493	364	35
Frutal	2021-2050	574	619	546	18	588	636	548	28
	2041-2070	603	656	568	26	631	687	595	31
	2071-2100	634	704	591	33	722	811	628	47
Frutal_cáscara	2021-2050	670	720	642	20	684	735	640	31
	2041-2070	701	758	666	27	731	790	695	32
	2071-2100	735	810	692	34	836	933	731	51
Alfalfa	2021-2050	738	800	704	24	754	807	710	32
	2041-2070	775	842	737	30	806	865	763	34
	2071-2100	812	900	765	38	926	1039	820	55
Cereal_primavera	2021-2050	269	282	246	9	274	300	248	17
	2041-2070	283	297	259	10	295	329	279	15
	2071-2100	298	324	280	14	349	396	294	29
Maíz	2021-2050	529	554	508	12	540	581	514	21
	2041-2070	547	583	521	18	567	602	536	22
	2071-2100	565	601	536	20	624	679	560	34

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla XXIII-1).

En la Figura XXIII-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla XXIII-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura XXIII-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

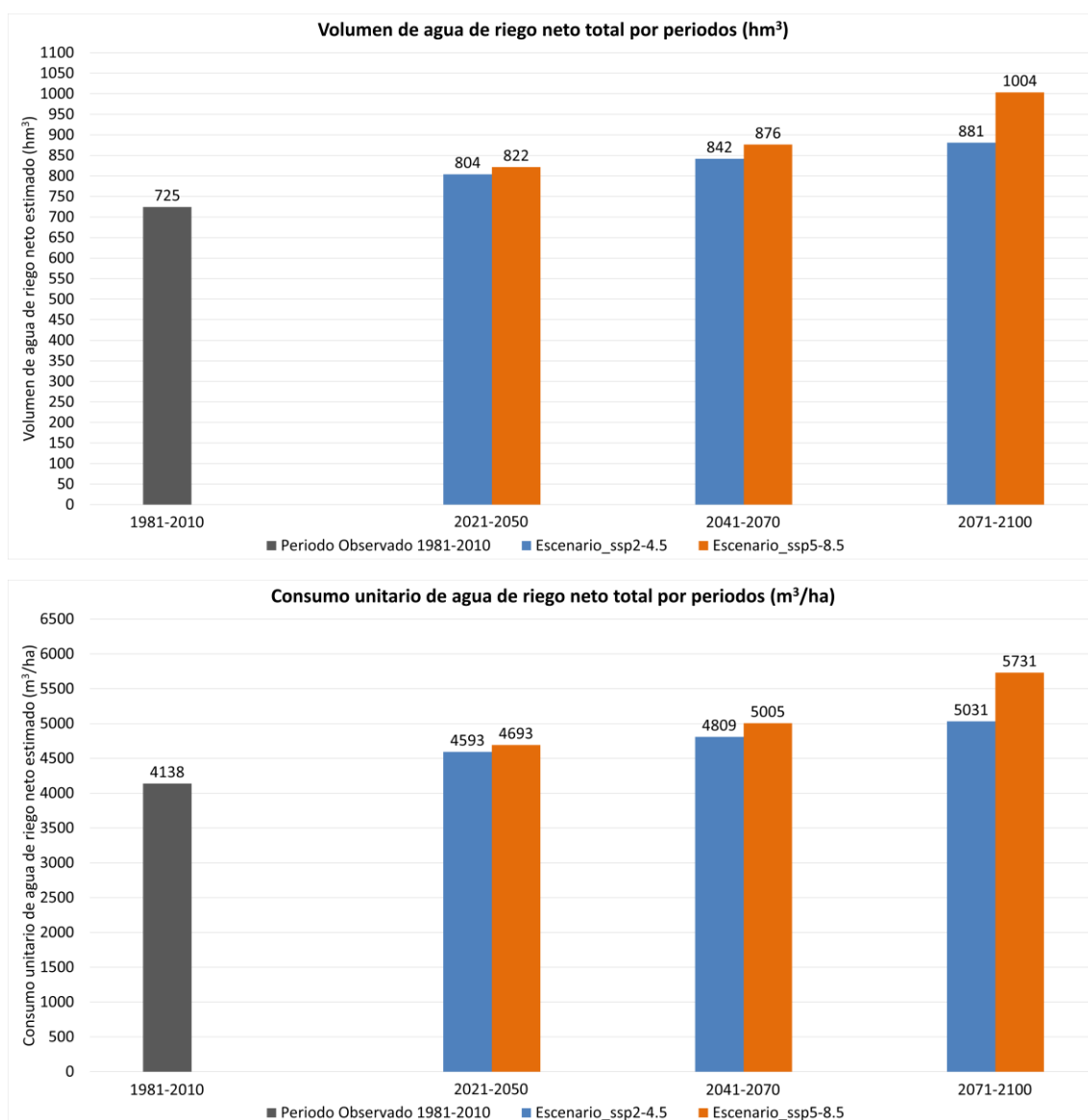


Figura XXIII-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XXIII-1 para la Zona 19. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

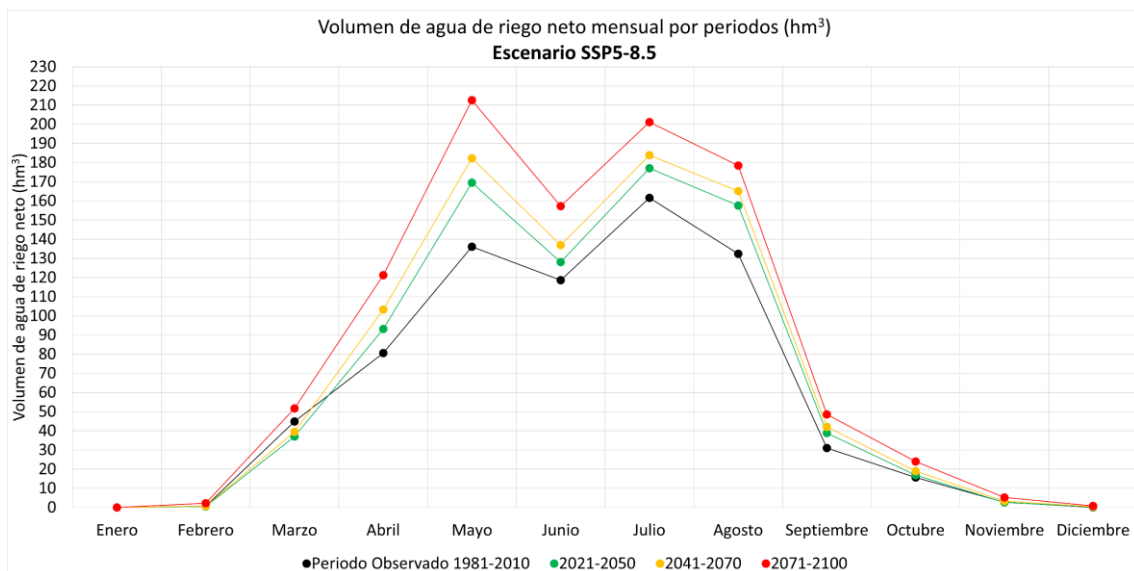
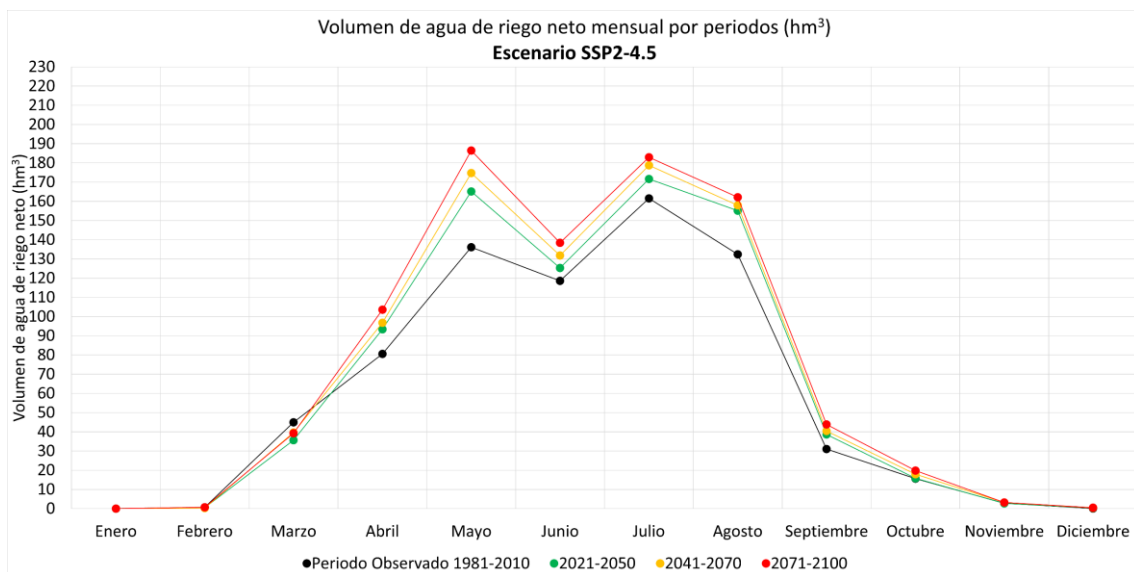
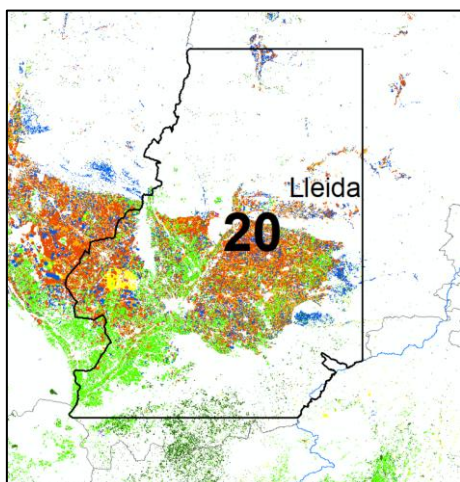


Figura XXIII-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XXIII-1 para la Zona 19. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

XXIV. Zona 20. Lleida-Demarcación Hidrográfica del Ebro



ECLIMAR

DEMANDA DE AGUA, ETc, Y DEMANDA DE AGUA DE RIEGO, R, EN EL HORIZONTE 2015-2100

Zona 20. Lleida-Demarcación Hidrográfica del Ebro

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	264
RESULTADOS	265
A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio.....	265
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio	266
C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo	269
D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo..	271
E.- Demandas de agua de riego globales.....	274

INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los resultados más destacados en el cálculo de las demandas de agua ETc y de las demandas de agua de riego R, en el horizonte 2015-2100 en los cultivos regados principales del ámbito geográfico denominado Zona 20. Lleida-Demarcación Hidrográfica del Ebro, zona que se considera en su conjunto cuasi-homogénea en cuanto a las proyecciones climáticas.

La metodología propuesta para la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y necesidades de agua de riego neto (R) es el modelo de balance diario de agua en el suelo explorado por las raíces descrito en el manual de FAO 56 y asistido por teledetección. Dicho modelo integra el coeficiente basal de cultivo derivado de la serie temporal de imágenes de satélite en el balance de agua. Se trata de una metodología ampliamente aceptada y bien documentada en la literatura científica.

La demanda de agua ETc (mm) se refiere a la evapotranspiración del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento en condiciones de un óptimo manejo, a excepción del cultivo de la viña de vinificación que se ha considerado que se maneja con un cierto grado de estrés hídrico. ETc es el agua que en forma de vapor pasaría de la superficie ocupada por el cultivo a la atmósfera. La demanda de agua de riego R (mm) se refiere al valor neto de la cantidad de agua a aplicar a lo largo del ciclo del cultivo. Ese valor neto de R corresponde al agua que efectivamente llega a las raíces y es utilizada por la planta. No se consideran en este cálculo las eficiencias del sistema de riego, la compensación por la no uniformidad del cultivo, la de conducción en canales, y la debida a cualquier otro elemento como lavados por salinidad, etc.

El balance de agua realizado utiliza como inputs los valores diarios de la precipitación P, y la Evapotranspiración de Referencia ETo, para el periodo observado y para cada uno de los 11 modelos de proyecciones climáticas del sistema AR6 para el escenario histórico y para los dos escenarios futuros considerados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). A estos inputs se unen las curvas-patrón de los ciclos de crecimiento de los principales cultivos de la zona, que determinan la métrica temporal en la que el cultivo se desarrolla. Además, las características básicas del sistema suelo explorado por las raíces y cultivo se parametrizan de forma adecuada en el propio balance.

Las demandas de agua del cultivo y el riego neto (mensual y anual) se estiman para cada uno de los 11 modelos en el escenario histórico, obteniendo los promedios correspondientes al período de control (1981-2010). Posteriormente, se realiza el mismo cálculo para los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100) en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Posteriormente, se determina la señal de cambio, es decir, la variación porcentual de las proyecciones futuras en comparación con el período de control, para cada modelo, cultivo y escenario. Una vez obtenida la señal de cambio para cada cultivo y periodo, se calculan los valores absolutos de ETc y riego neto para los periodos futuros, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

Finalmente, se estima el volumen total de agua requerido para cada uno de los periodos futuros, considerando la distribución actual de la superficie de los cultivos en la zona de estudio.

RESULTADOS

A.- Proyecciones climáticas en la zona de estudio

La Figura XXIV-1 muestra la Evapotranspiración de referencia, ETo , y la Precipitación, P , acumulada anual en la zona de estudio, el de cada uno de los 11 modelos utilizados, y el de su valor promedio para el escenario histórico y escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En la gráfica se han superpuesto los valores observados en el período 1975-2020.

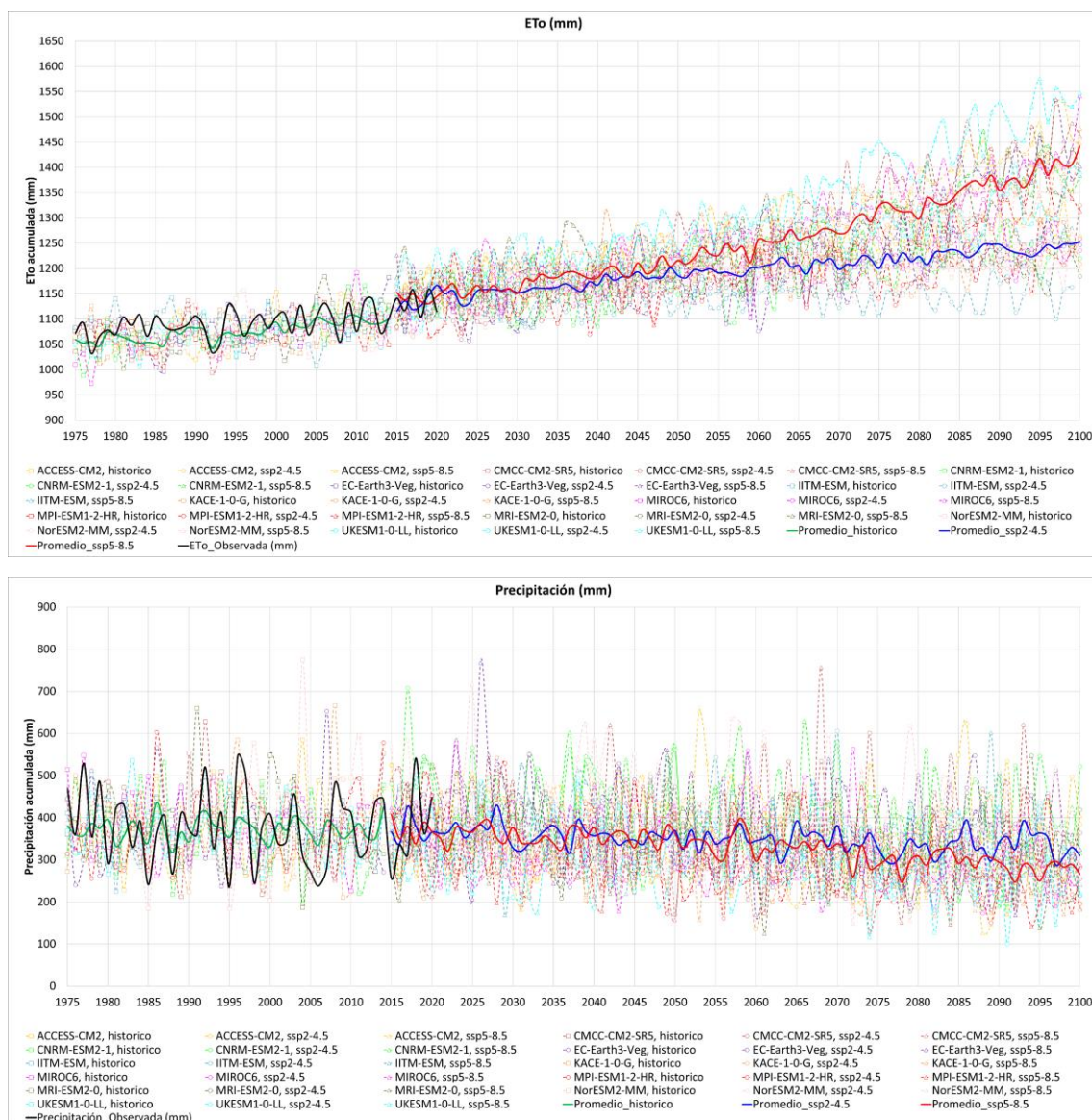


Figura XXIV-1. Evapotranspiración de referencia, ETo , y Precipitación, P , acumulada anual en la Zona 20 en la que se muestra el valor promedio y el de cada uno de los 11 modelos utilizados en el escenario histórico y escenario futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) junto con los valores observados.

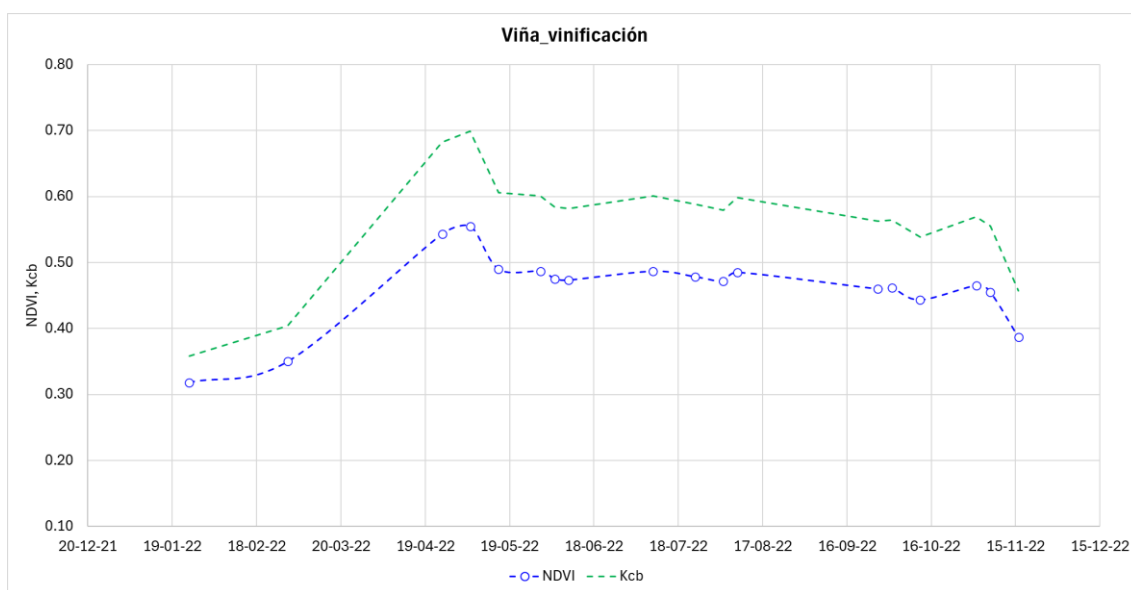
B.- Curvas patrón de los cultivos principales de la zona de estudio

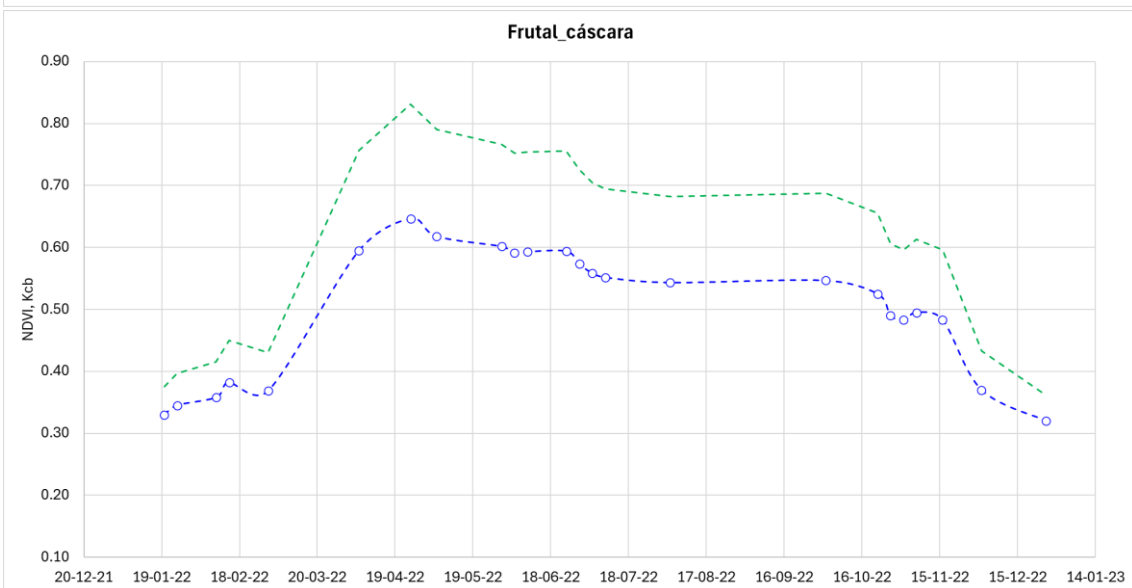
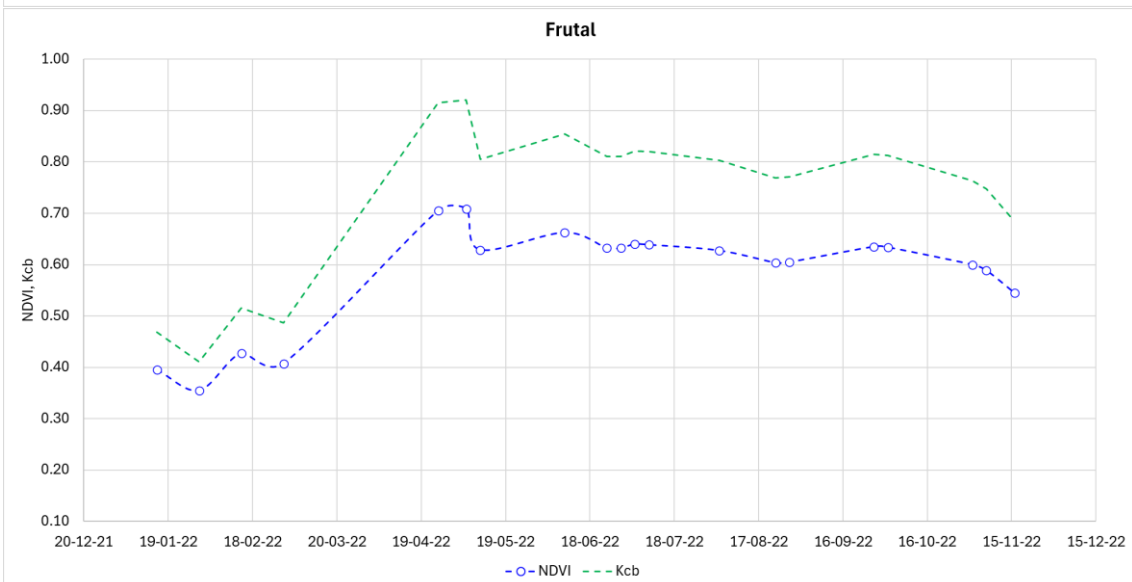
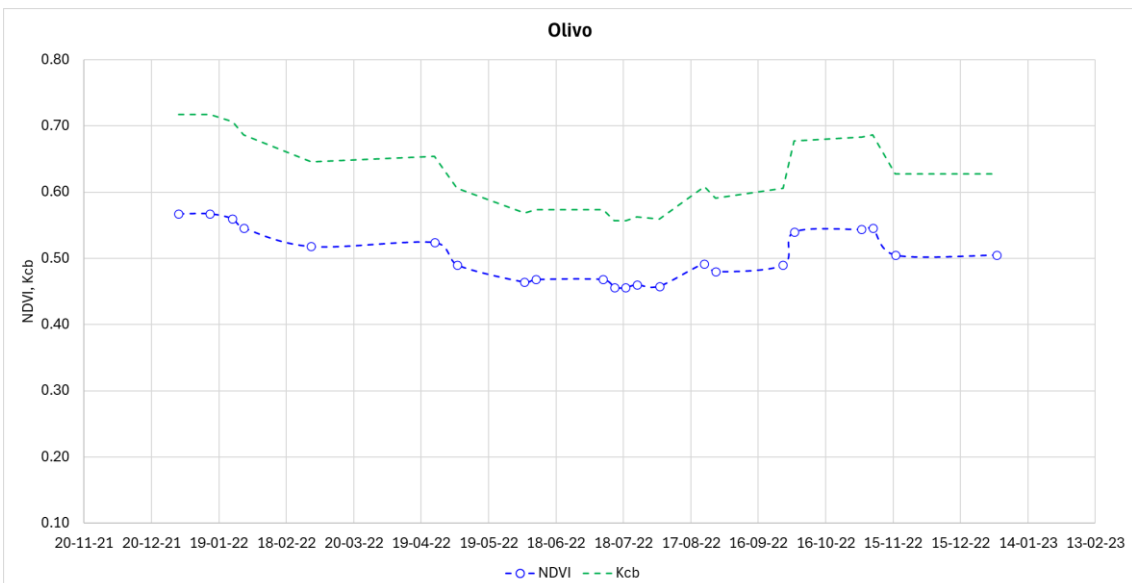
Los cultivos principales se han determinado en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio. De esta manera, en la Tabla XXIV-1 se muestran los cultivos principales sobre los cuales se ha obtenido su curva patrón, con sus respectivas superficies.

Tabla XXIV-1. Cultivos principales, superficie dedicada a cada uno de ellos y su peso correspondiente, en la Zona 20.

Cultivos principales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Viña_vinificación	3885	2.8
Olivo	12018	8.6
Frutal	31780	22.7
Frutal_cáscara	15200	10.8
Alfalfa	13654	9.7
Cereal_primavera	55163	39.4
Maíz	8411	6.0

La Figura XXIV-2 muestra las curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la zona considerada.





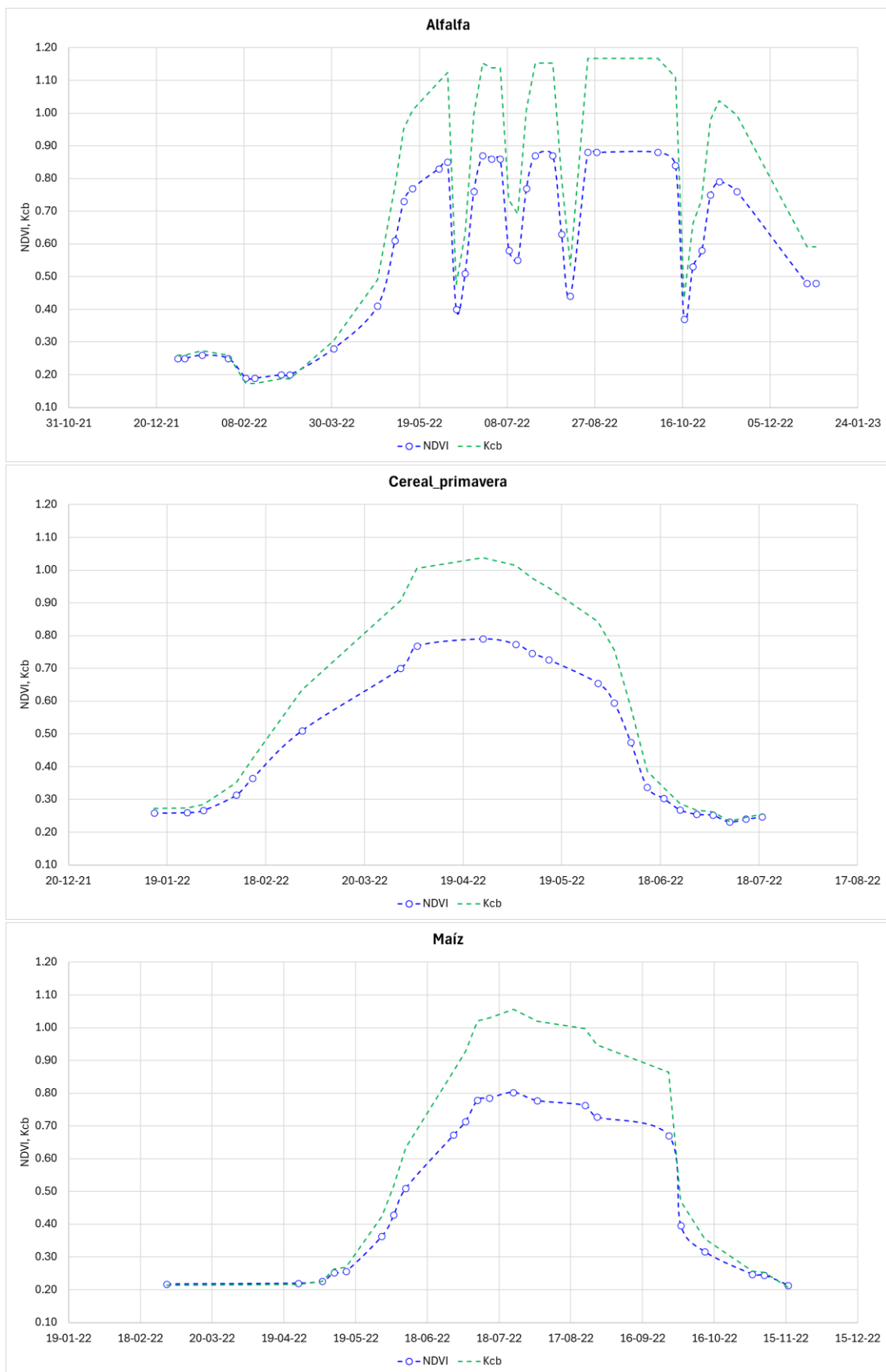


Figura XXIV-2. Curvas patrón de los cultivos de regadío principales de la Zona 20.

C.- Señal de cambio de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Para cada cultivo principal, se ha calculado la señal de cambio o variación porcentual de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, para cada periodo futuro respecto al de control y para cada uno de los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La Tabla XXIV-2 y Tabla XXIV-3 presentan la señal de cambio estimada de la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XXIV-2. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua ETc calculada para cada cultivo de la Zona 20, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Viña_vinificación	2021-2050	6	8	4	1	7	11	4	2
	2041-2070	8	11	5	2	10	13	5	2
	2071-2100	9	14	4	3	17	23	8	4
Olivo	2021-2050	7	10	5	2	8	11	5	2
	2041-2070	9	14	6	2	12	16	6	2
	2071-2100	11	17	5	3	20	28	11	4
Frutal	2021-2050	8	11	5	2	9	12	6	2
	2041-2070	10	15	6	2	13	17	7	3
	2071-2100	13	18	6	3	23	31	12	5
Frutal_cáscara	2021-2050	8	11	5	2	9	12	5	2
	2041-2070	10	15	6	2	13	16	7	3
	2071-2100	12	17	6	3	21	29	11	5
Alfalfa	2021-2050	9	13	6	2	10	13	6	2
	2041-2070	11	17	7	3	15	20	9	3
	2071-2100	14	21	7	4	25	35	14	5
Cereal_primavera	2021-2050	6	9	4	2	7	11	3	2
	2041-2070	8	13	6	2	11	15	7	2
	2071-2100	11	16	6	3	20	27	10	5
Maíz	2021-2050	8	11	4	2	10	13	6	2
	2041-2070	10	14	5	2	14	17	7	3
	2071-2100	13	18	6	3	22	29	11	4

Tabla XXIV-3. Señal de cambio (en %) de la demanda de agua de riego R calculada para cada cultivo de la Zona 20, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Viña_vinificación	2021-2050	16	26	8	6	20	32	6	8
	2041-2070	22	35	10	7	30	44	20	8
	2071-2100	30	47	15	8	53	75	27	12
Olivo	2021-2050	17	29	9	6	21	31	9	7
	2041-2070	23	37	10	7	31	42	23	7
	2071-2100	32	49	16	8	56	79	31	12
Frutal	2021-2050	14	23	9	4	17	26	7	6
	2041-2070	19	31	11	5	26	37	20	6
	2071-2100	26	39	14	6	46	64	25	10
Frutal_cáscara	2021-2050	14	22	8	4	17	26	7	6
	2041-2070	19	30	10	6	26	37	19	6
	2071-2100	26	39	14	6	46	63	25	10
Alfalfa	2021-2050	14	23	8	5	17	25	8	5
	2041-2070	19	30	10	5	25	34	19	5
	2071-2100	25	37	13	6	44	63	26	9
Cereal_primavera	2021-2050	11	15	4	3	14	26	1	7
	2041-2070	16	22	6	5	23	40	13	7
	2071-2100	23	33	7	7	45	61	18	12
Maíz	2021-2050	12	19	5	4	16	22	8	5
	2041-2070	17	25	8	5	22	30	15	5
	2071-2100	22	30	12	5	37	49	20	7

D.- Demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, por cultivo y periodo

Los valores absolutos de ETc y R son calculados para cada cultivo y periodo futuro en cada uno de los escenarios establecidos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, aplicando la señal de cambio a las estimaciones realizadas con los datos observados del período 1981-2010.

La Figura XXIV-3 y la Figura XXIV-4 muestran la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculada para cada uno de los cultivos principales a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

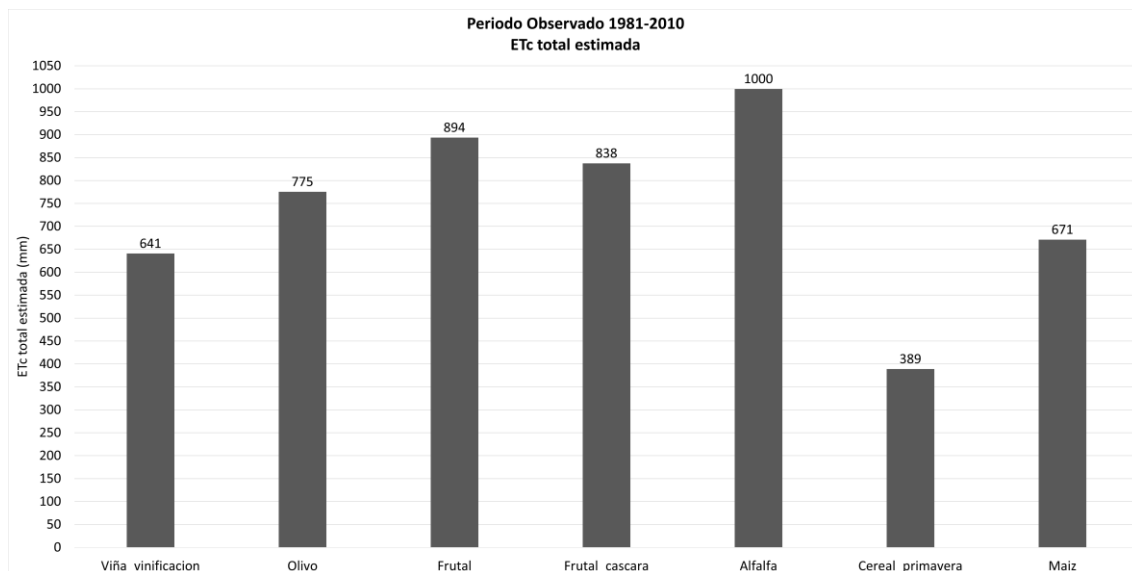


Figura XXIV-3. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 20 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

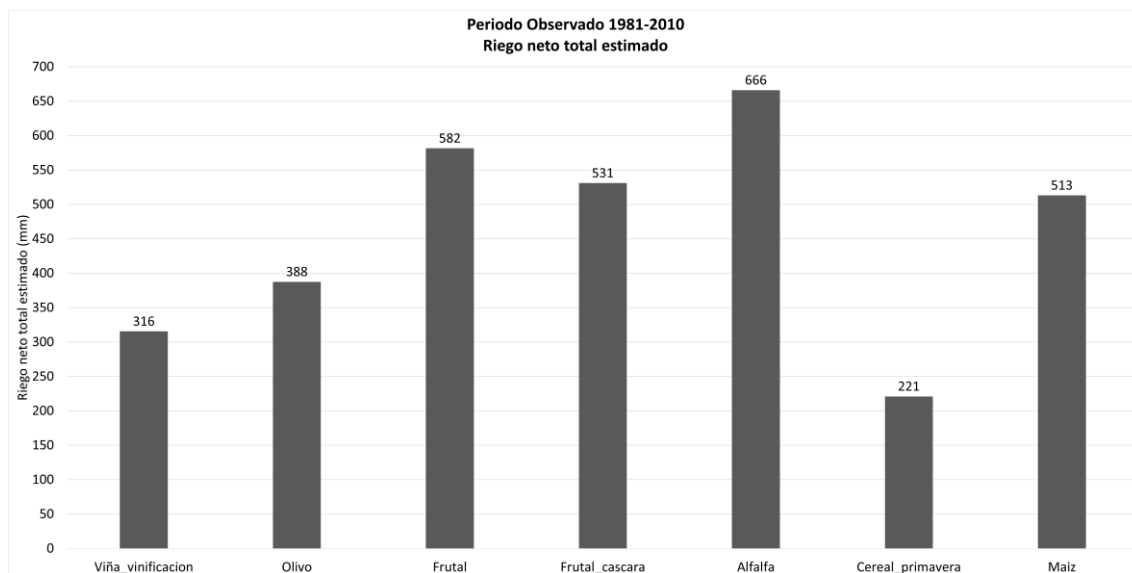


Figura XXIV-4. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada uno de los cultivos principales de la Zona 20 a partir de los datos observados del periodo 1981-2010.

La Tabla XXIV-4 y Tabla XXIV-5 presentan la demanda de agua ETc y demanda de agua de riego R, respectivamente, calculadas para cada uno de los cultivos principales y para cada periodo futuro considerado para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Tabla XXIV-4. Demanda de agua ETc (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 20, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Viña_vinificación	2021-2050	682	694	669	9	687	710	669	12
	2041-2070	691	710	672	12	706	721	671	15
	2071-2100	701	728	665	18	749	789	693	24
Olivo	2021-2050	831	857	816	13	838	864	816	14
	2041-2070	845	883	821	17	865	896	825	19
	2071-2100	862	908	815	25	931	993	862	33
Frutal	2021-2050	964	995	941	16	976	1002	946	20
	2041-2070	984	1029	948	21	1012	1047	960	25
	2071-2100	1007	1059	947	29	1095	1171	1000	42
Frutal_cáscara	2021-2050	901	927	881	14	911	938	883	18
	2041-2070	918	959	887	20	943	973	895	23
	2071-2100	938	983	887	26	1016	1083	929	38
Alfalfa	2021-2050	1085	1126	1059	21	1101	1135	1064	25
	2041-2070	1112	1170	1071	27	1147	1195	1086	30
	2071-2100	1141	1208	1068	35	1250	1350	1135	52
Cereal_primavera	2021-2050	414	426	405	7	417	430	401	9
	2041-2070	422	440	411	9	432	446	416	10
	2071-2100	431	450	412	12	466	492	429	18
Maíz	2021-2050	724	743	699	14	736	757	712	14
	2041-2070	738	767	708	16	762	786	721	18
	2071-2100	756	789	713	20	819	866	748	30

Tabla XXIV-5. Demanda de agua de riego R (en mm) calculada para cada cultivo de la Zona 20, para cada periodo futuro considerado (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) y para los dos escenarios futuros (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). Se representan el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar de los modelos utilizados.

Cultivo	Periodo	Escenario_ssp2-4.5				Escenario_ssp5-8.5			
		Prom.	Max.	Min.	Desv.	Prom.	Max.	Min.	Desv.
Viña_vinificación	2021-2050	365	399	340	18	378	416	334	27
	2041-2070	385	427	348	22	411	455	379	24
	2071-2100	410	463	363	24	483	551	401	38
Olivo	2021-2050	452	499	424	24	467	509	422	27
	2041-2070	477	531	428	27	508	552	476	26
	2071-2100	510	579	448	31	605	695	509	48
Frutal	2021-2050	662	713	634	25	682	735	624	36
	2041-2070	694	760	644	32	734	798	696	34
	2071-2100	733	810	664	35	848	951	729	57
Frutal_cáscara	2021-2050	605	650	575	24	623	669	570	33
	2041-2070	633	689	582	30	670	725	634	31
	2071-2100	669	738	603	33	773	868	662	52
Alfalfa	2021-2050	757	817	719	30	778	834	721	36
	2041-2070	791	865	735	36	834	894	794	35
	2071-2100	834	915	755	38	960	1085	839	61
Cereal_primavera	2021-2050	245	255	231	8	251	278	224	16
	2041-2070	257	270	235	11	271	310	249	15
	2071-2100	272	294	235	16	321	357	260	26
Maíz	2021-2050	576	609	540	22	593	627	554	26
	2041-2070	598	641	557	25	628	669	589	26
	2071-2100	626	666	575	23	702	764	618	36

E.- Demandas de agua de riego globales

En este apartado se presentan las demandas de agua de riego globales para la zona de estudio. Para su cálculo se considera la superficie de los cultivos regados de la zona de estudio (ver Tabla XXIV-1).

En la Figura XXIV-5 se muestran los resultados en cuanto al volumen de agua total requerido (hm^3) y al consumo unitario (m^3/ha), teniendo en cuenta las superficies de los cultivos principales indicadas en la Tabla XXIV-1, calculadas para el periodo observado y periodos futuros con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Asimismo, la Figura XXIV-6 muestra la distribución por meses de dicha demanda (hm^3), todo ello calculado en valores medios para el periodo observado y periodos futuros para cada uno de los escenarios considerados.

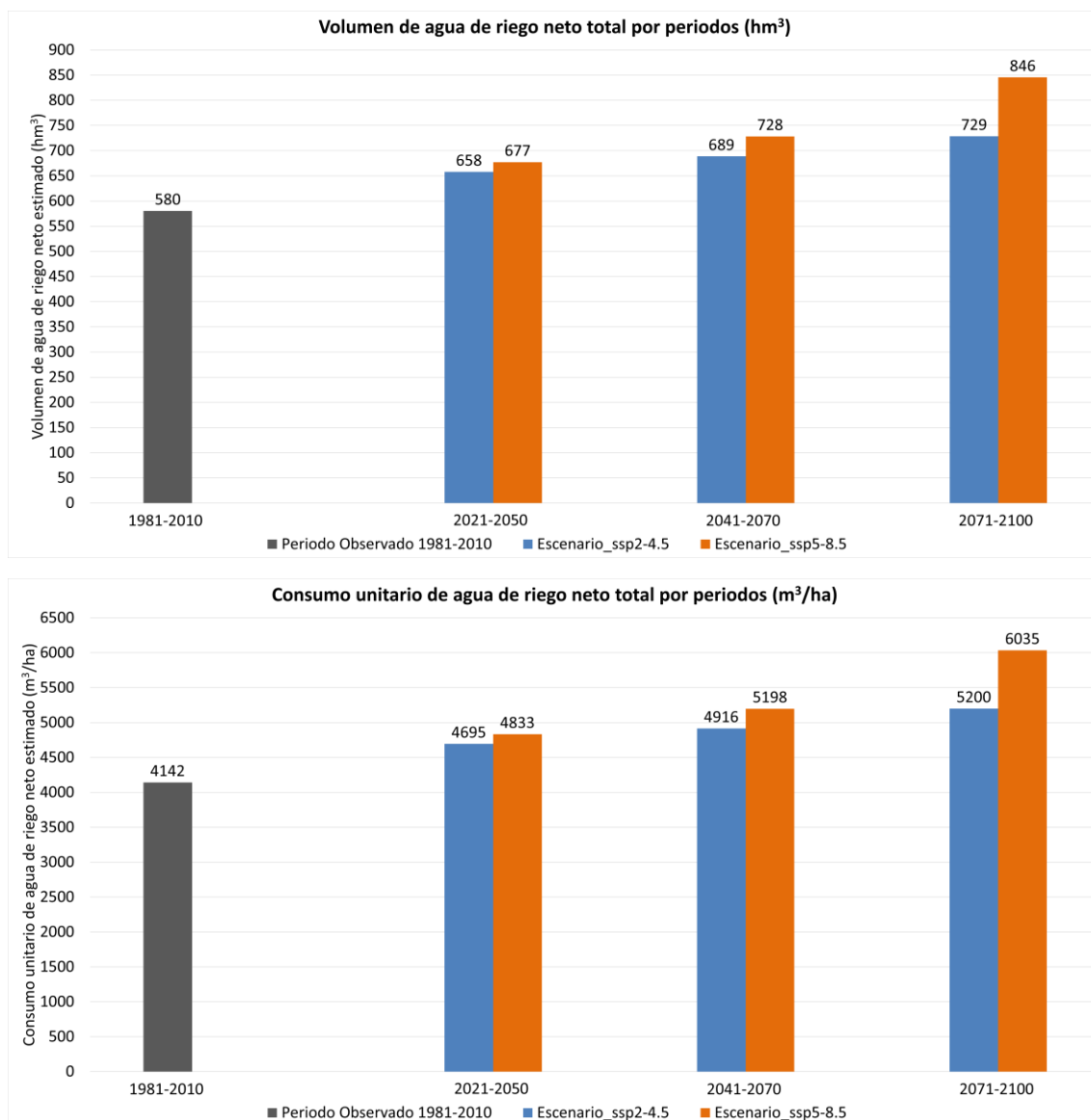


Figura XXIV-5. Volumen de agua total requerido, en hm^3 (figura superior) y el consumo unitario, en m^3/ha (figura inferior), teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XXIV-1 para la Zona 20. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

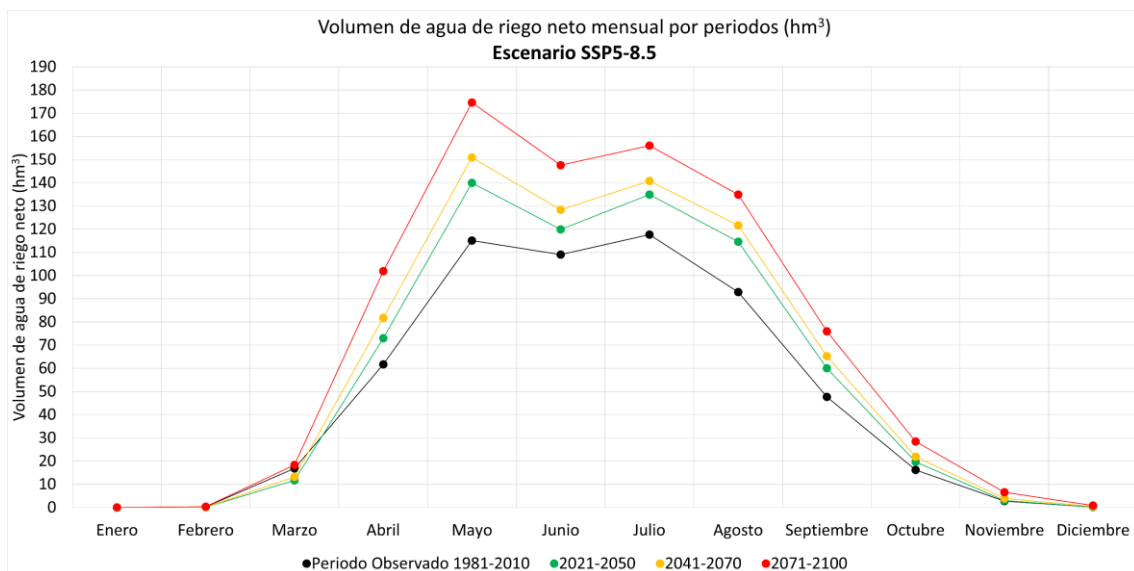
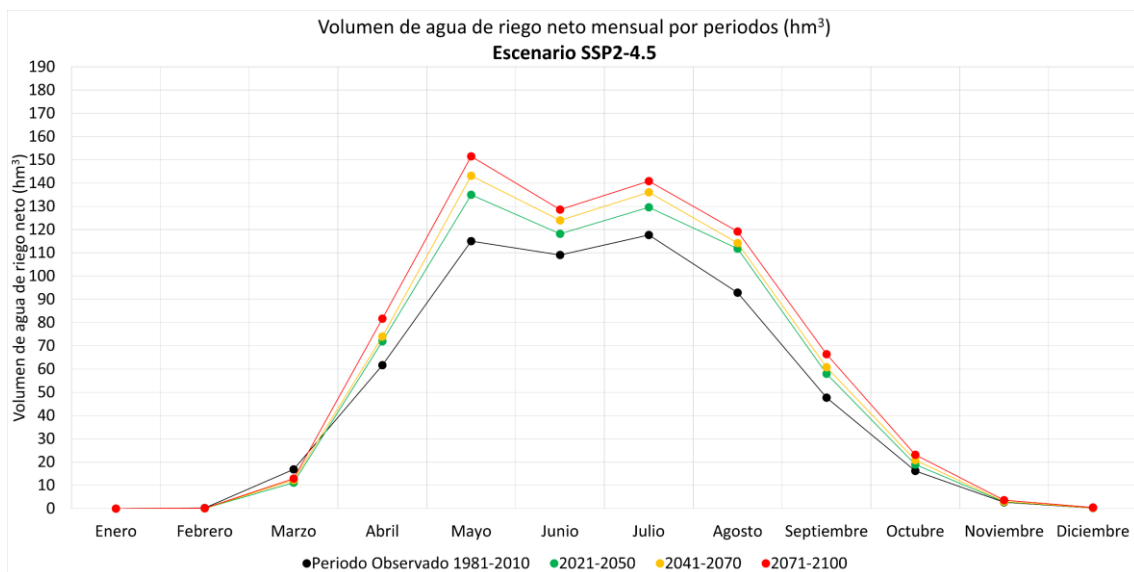


Figura XXIV-6. Distribución mensual del volumen de agua requerido, en hm³, teniendo en cuenta las superficies indicadas en la Tabla XXIV-1 para la Zona 20. Las figuras muestran los resultados calculados para el periodo observado (1981-2010) y los periodos futuros (2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) con los escenarios considerados SSP2-4.5 (figura superior) y SSP5-8.5 (figura inferior).

Anexo 1. Datos meteorológicos

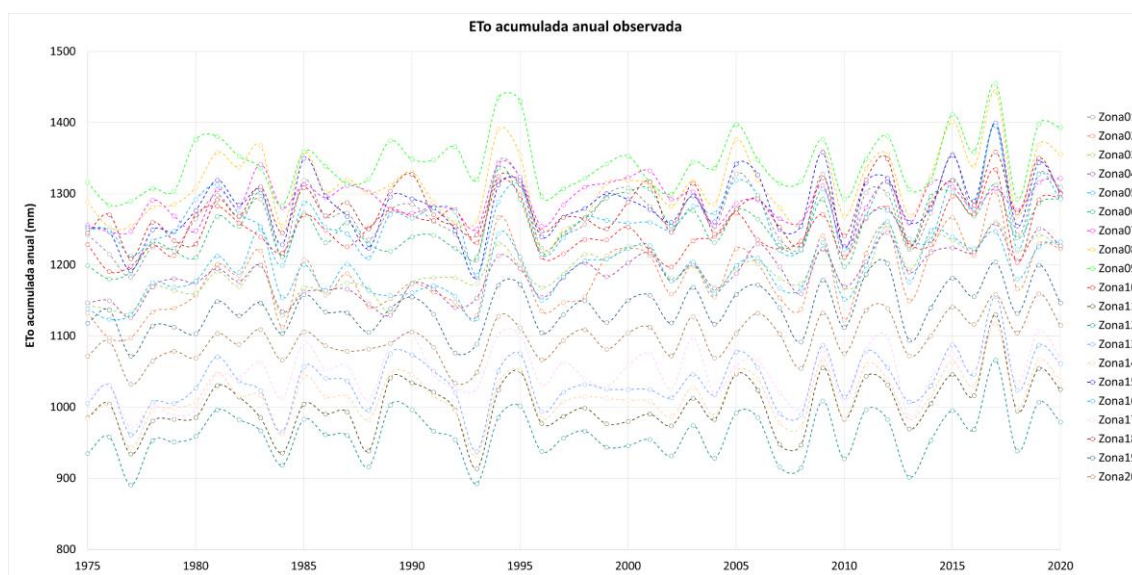


Figura A 1. Evapotranspiración de referencia acumulada anual observada en cada zona de estudio para el periodo 1975-2020.

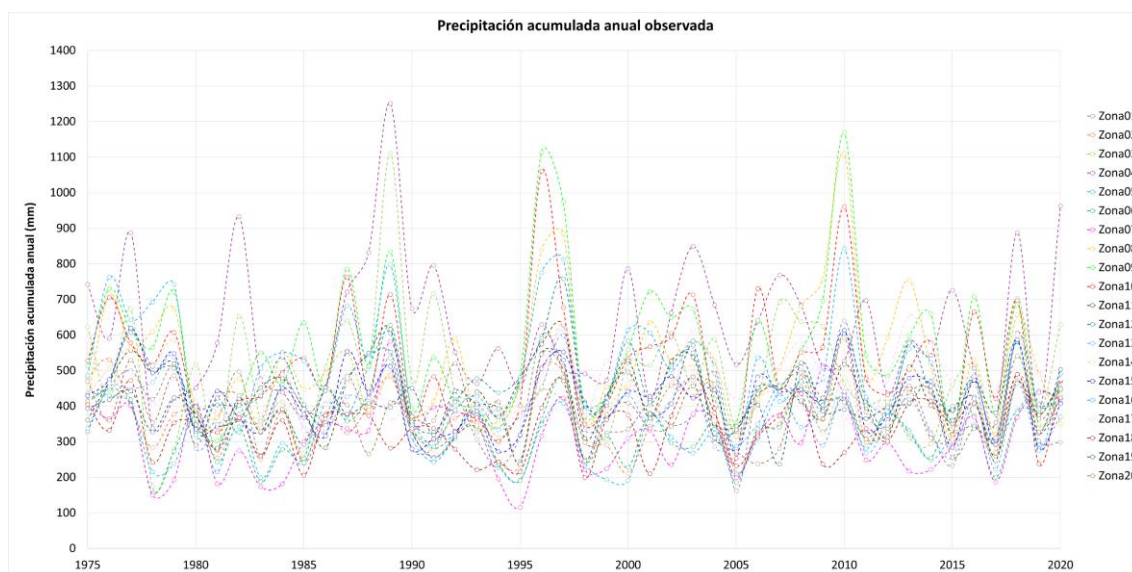


Figura A 2. Precipitación acumulada anual observada en cada zona de estudio para el periodo 1975-2020.

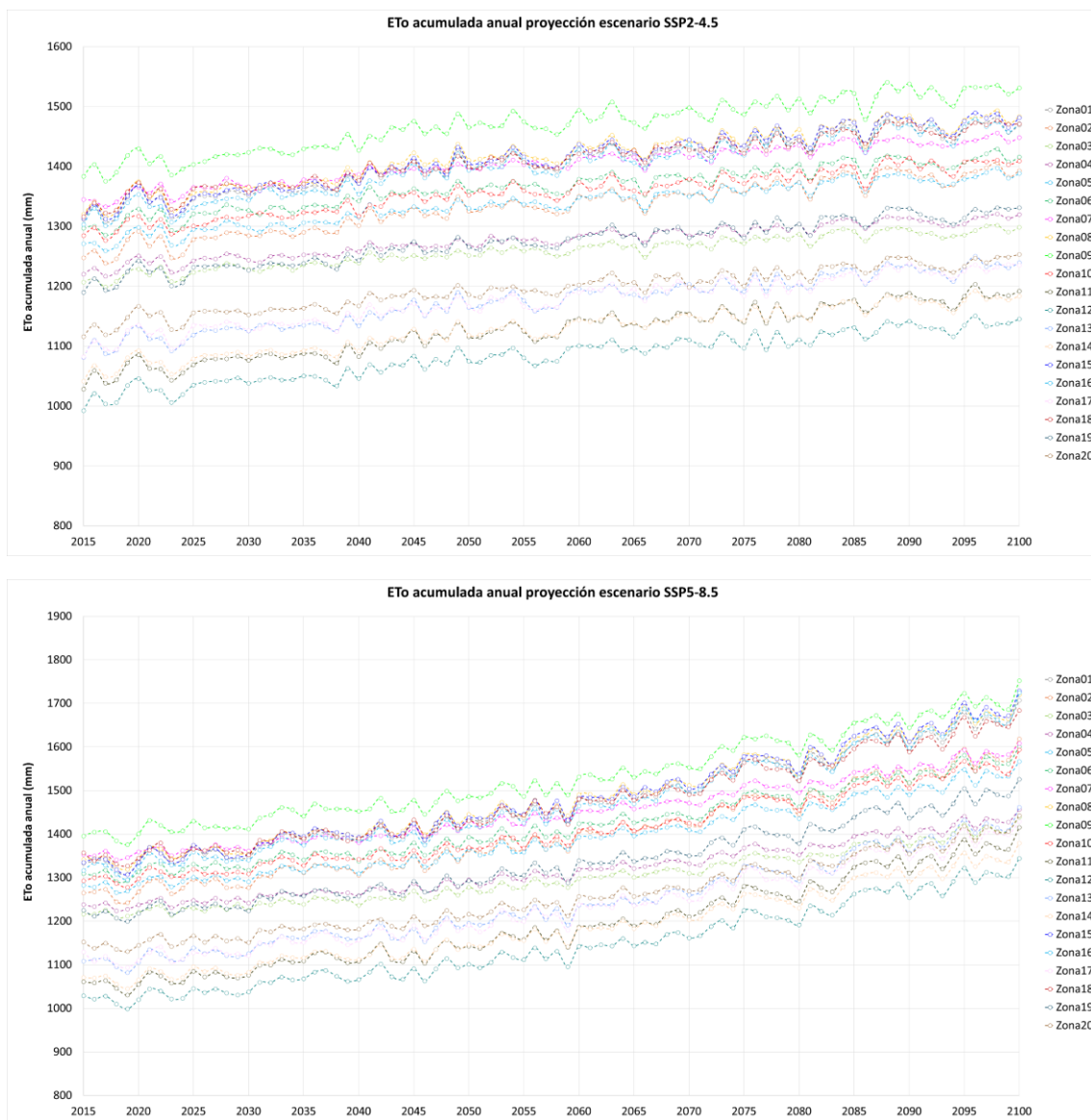


Figura A 3. Evapotranspiración de referencia acumulada anual en cada zona de estudio, calculada como el valor promedio de los 11 modelos climáticos para los escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5, para el periodo 2015-2100.

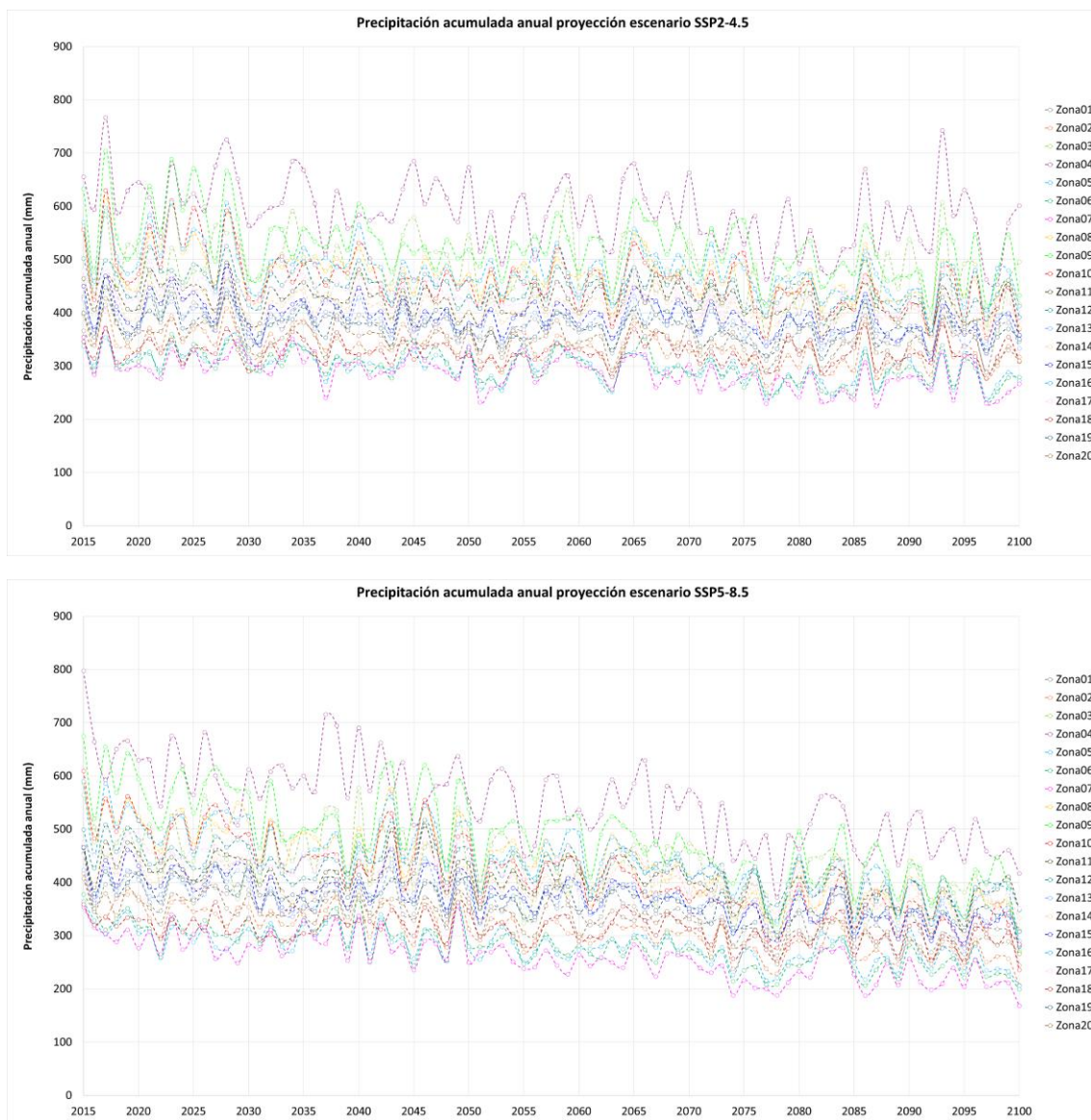


Figura A 4. Precipitación acumulada anual en cada zona de estudio, calculada como el valor promedio de los 11 modelos climáticos para los escenarios futuros SSP2-4.5 y SSP5-8.5, para el periodo 2015-2100.

Referencias bibliográficas

- Abatzoglou, J.T., Parker, L.E., Viers, J.H., Medellín-Azuara, J., Escrivá-Bou, A., Huntington, J.L., Williams, E.L., Rajagopalan, K., 2025. Shorter growing seasons may moderate climate change effects on crop water demands. *Environmental Research Letters* 20. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/adb1f5>
- Allen, R.G., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Requirements, Irrig. Drain. Pap. No. 56, FAO, Rome, Italy. <https://doi.org/M-56>
- Arbonès, G., De Stefano, L., Garrido, A., 2024. Agricultural Land Use Change and Intensification in Spain: Drivers and Trends (2004-2023). SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4963512>
- Bellvert, J., Pamies-Sans, M., Quintana-Seguí, P., Casadesús, J., 2024. Analysis and forecast of crop water demand in irrigation districts across the eastern part of the Ebro river basin (Catalonia, Spain): estimation of evapotranspiration through copernicus-based inputs. *Irrig Sci.* <https://doi.org/10.1007/s00271-024-00971-1>
- Calera, A., Garrido, J., Bravo, R., Cilleros, I., Escudero, R., 2018. Informe Final del Proyecto Espacio SIAR año 2018. Determinación de las necesidades hídricas en el regadío español mediante herramientas basadas en el SIAR, la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P.W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W.W.L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., Jotzo, F., Krug, T., Lasco, R., Lee, Y.-Y., Masson-Delmotte, V., Meinshausen, M., Mintenbeck, K., Mokssit, A., Otto, F.E.L., Pathak, M., Pirani, A., Poloczanska, E., Pörtner, H.-O., Revi, A., Roberts, D.C., Roy, J., Ruane, A.C., Skea, J., Shukla, P.R., Slade, R., Slangen, A., Sokona, Y., Sörensson, A.A., Tignor, M., van Vuuren, D., Wei, Y.-M., Winkler, H., Zhai, P., Zommers, Z., Hourcade, J.-C., Johnson, F.X., Pachauri, S., Simpson, N.P., Singh, C., Thomas, A., Totin, E., Alegría, A., Armour, K., Bednar-Fiedl, B., Blok, K., Cissé, G., Dentener, F., Eriksen, S., Fischer, E., Garner, G., Guivarch, C., Haasnoot, M., Hansen, G., Hauser, M., Hawkins, E., Hermans, T., Kopp, R., Leprince-Ringuet, N., Lewis, J., Ley, D., Ludden, C., Niamir, L., Nicholls, Z., Some, S., Szopa, S., Trewin, B., van der Wijst, K.-I., Winter, G., Witting, M., Birt, A., Ha, M., 2023. IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Campos, I., Neale, C.M.U., Calera, A., Balbontín, C., González-Piqueras, J., 2010. Assessing satellite-based basal crop coefficients for irrigated grapes (*Vitis vinifera* L.). *Agric Water Manag* 98, 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.07.011>
- Campos, I., Neale, C.M.U., Suyker, A.E., Arkebauer, T.J., Gonçalves, I.Z., 2017. Reflectance-based crop coefficients REDUX: For operational evapotranspiration estimates in the age of high producing hybrid varieties. *Agric Water Manag* 187, 140–153. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.03.022>
- Campoy, J., Campos, I., Villodre, J., Bodas, V., Osann, A., Calera, A., 2023. Remote Sensing-based crop yield model at field and within-field scales in wheat and barley crops. *European Journal of Agronomy* 143, 126720. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126720>
- Cañadas, D., Campoy, J., Molina, A., González, A., Calera, A., 2025. Variabilidad en el ciclo de crecimiento y en la fenología, en cultivos regados de maíz, trigo y cebada, y su descripción mediante series temporales de imágenes de satélite del año 2016 al año 2024, in: AERYD (Ed.), 40 Congreso Nacional de Riegos. Asociación Española de Riegos y Drenajes (AERYD), Albacete (España).
- CEDEX, 2012. Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Efectos potenciales del cambio climático en las demandas de agua y estrategias de adaptación. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, España.

- Chen, X., Vierling, L., Deering, D., 2005. A simple and effective radiometric correction method to improve landscape change detection across sensors and across time. *Remote Sens Environ* 98, 63–79. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.05.021>
- Döll, P., Siebert, S., 2002. Global modeling of irrigation water requirements. *Water Resour Res* 38, 8-1-8–10. <https://doi.org/10.1029/2001WR000355>
- Estrella, N., Sparks, T.H., Menzel, A., 2007. Trends and temperature response in the phenology of crops in Germany. *Glob Chang Biol* 13, 1737–1747. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01374.x>
- Gabr, M.E., 2023. Impact of climatic changes on future irrigation water requirement in the Middle East and North Africa's region: a case study of upper Egypt. *Appl Water Sci* 13, 158. <https://doi.org/10.1007/s13201-023-01961-y>
- Gao, F., Anderson, M., Daughtry, C., Karnieli, A., Hively, D., Kustas, W., 2020. A within-season approach for detecting early growth stages in corn and soybean using high temporal and spatial resolution imagery. *Remote Sens Environ* 242, 111752. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111752>
- Gonzalez-Dugo, M.P., Neale, C.M.U., Mateos, L., Kustas, W.P., Prueger, J.H., Anderson, M.C., Li, F., 2009. A comparison of operational remote sensing-based models for estimating crop evapotranspiration. *Agric For Meteorol* 149, 1843–1853. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.06.012>
- González-Gómez, L., Campos, I., Calera, A., 2018. Use of different temporal scales to monitor phenology and its relationship with temporal evolution of normalized difference vegetation index in wheat. *J Appl Remote Sens* 12, 1–18. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.12.026010>
- Greenpeace, 2024. ¿Cuánto podremos regar? Análisis del agua disponible en una España con cambio climático.
- Lobell, D.B., Ortiz-Monasterio, J.I., Sibley, A.M., Sohu, V.S., 2013. Satellite detection of earlier wheat sowing in India and implications for yield trends. *Agric Syst* 115, 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2012.09.003>
- MAPA, 2025. El regadío en España.
- Molina, A., Campoy, J., Cañadas, D., González, J., Calera, A., 2025. Demanda de agua de riego en Maíz, Trigo y Cebada mediante HIDROMOREweb y su comparación con datos de campo, in: AERYD (Ed.), 40 Congreso Nacional de Riegos. Asociación Española de Riegos y Drenajes (AERYD), Albacete (España).
- Neale, C.M.U., Bausch, W.C., Heermann, D.F., 1989. Development of reflectance-based crop coefficients for corn. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 32, 1891–1899. <https://doi.org/10.13031/2013.31240>
- Paredes, P., Pereira, L.S., Almorox, J., Darouich, H., 2020. Reference grass evapotranspiration with reduced data sets: Parameterization of the FAO Penman-Monteith temperature approach and the Hargeaves-Samani equation using local climatic variables. *Agric Water Manag* 240. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106210>
- Sánchez, J.M., Beltrán, A., Calera, A., Campoy, J., Galve, J.M., Rodríguez, E., Romero, R., 2025. Proyecciones climáticas de la evapotranspiración de referencia en España, como principal factor de las demandas de agua en regadíos, in: XIII Congreso de La AEC. Cambio Climático y Sociedad: De La Ciencia Básica a Los Servicios Climáticos. San Lorenzo de El Escorial (Madrid), 22 al 24 Enero de 2025.
- Vicente-Serrano, S.M., Trambay, Y., Reig, F., González-Hidalgo, J.C., Beguería, S., Brunetti, M., Kalin, K.C., Patalen, L., Kržič, A., Lionello, P., Lima, M.M., Trigo, R.M., El-Kenawy, A.M., Eddenjal, A., Türkes, M., Koutroulis, A., Manara, V., Maugeri, M., Badi, W., Mathbout, S., Bertalanič, R., Bocheva, L., Dabanli, I., Dumitrescu, A., Dubuisson, B., Sahabi-Abed, S., Abdulla, F., Fayad, A., Hodzic, S., Ivanov, M., Radevski, I., Peña-Angulo, D., Lorenzo-Lacruz, J., Domínguez-Castro, F., Gimeno-Sotelo, L., García-Herrera, R., Franquesa, M., Halifa-Marín, A., Adell-Michavila, M., Noguera, I., Barriopedro, D., Garrido-Perez, J.M., Azorin-Molina, C., Andres-Martin, M., Gimeno, L., Nieto, R., Llasat, M.C., Markonis, Y., Selmi, R., Ben Rached, S., Radovanović, S., Soubeyroux, J.-M., Ribes,

A., Saidi, M.E., Bataineh, S., El Khalki, E.M., Robaa, S., Boucetta, A., Alsafadi, K., Mamassis, N., Mohammed, S., Fernández-Duque, B., Cheval, S., Moutia, S., Stevkov, A., Stevkova, S., Luna, M.Y., Potopová, V., 2025. High temporal variability not trend dominates Mediterranean precipitation. *Nature* 639, 658–666. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08576-6>