



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Estudio del impacto del cambio climático en las
necesidades de agua de los principales cultivos de la
Demarcación Hidrográfica del Júcar

Presentado por

Vicent Pastor, Pablo

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2020/2021

Fecha: 31/05/2021

Tutor: Miguel Ángel Pérez Martín

ÍNDICE

1- INTRODUCCIÓN	9
2- ÁMBITO	13
2.1- SITUACIÓN ACTUAL	14
2.2- SUPERFICIE REGADA	15
2.3- DEMANDA NETA	18
3- ANTECEDENTES	19
3.1- CAMBIO CLIMÁTICO	20
3.2- ADAPTECCA	23
3.3- OTROS TRABAJOS	24
3.3.1- ANALYSIS OF CLIMATE CHANGE IMPACTS ON EU AGRICULTURE BY 2050 – JRC PESETA IV	24
3.3.2- CAMBIO CLIMÁTICO Y VIÑEDO EN ESPAÑA	26
3.3.3- ECONOMIC ANALYSIS OF SELECTED CLIMATE IMPACTS - JRC PESETA IV	27
3.4- CROPWAT	29
3.5- SOIL WATER CHARACTERISTICS	37
4- METODOLOGÍA	39
5- APLICACIÓN	41
5.1- DATOS CLIMÁTICOS ACTUALES	42
5.2- INFORMACIÓN DE CULTIVO	45
5.3- REQUERIMIENTOS ACTUALES DE RIEGO	46
5.4- PROGRAMACIÓN DE RIEGO Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	47
5.4.1- SUELOS ESTÁNDAR	47
5.4.2- PROGRAMACIÓN DE RIEGO Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN CÍTRICOS	48
5.4.3- PROGRAMACIÓN DE RIEGO Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN VID	50
5.4.4- PROGRAMACIÓN DE RIEGO Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN TRIGO	52
5.4.5 PROGRAMACIÓN DE RIEGO Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN ARROZ	54



5.5- DATOS CLIMÁTICOS FUTUROS.....	57
5.6- REQUERIMIENTOS FUTUROS DE AGUA.....	61
5.6.1- CÍTRICOS	61
5.6.2- VID	63
5.6.3- TRIGO	65
5.6.4 ARROZ.....	66
5.7- COMPARACIÓN DE DEMANDAS ACTUALES CON FUTURAS.....	68
6- CONCLUSIONES	70
7- REFERENCIAS.....	72
ANEXO AL TRABAJO FIN DE GRADO	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plantación de naranjas (cítricos). Fuente: propia.	10
Figura 2. Campos de arroz en Sueca. Fuente: propia.	11
Figura 3. Cultivo de viña en Requena. Fuente: propia.	11
Figura 4. Campos de Trigo. Fuente: BASF.	12
Figura 5. Evolución de la superficie regada de cítricos en la DHJ. Fuente: PHJ 21.	16
Figura 6. Evolución de la superficie regada de vid en la DHJ. Fuente: PHJ 21.	16
Figura 7. Evolución de la superficie regada de cereales de invierno para grano en la DHJ. Fuente: PHJ 21.	17
Figura 8. Evolución de la superficie regada de arroz en la DHJ. Fuente: PHJ 21.	17
Figura 9. Demanda neta por zona en la DHJ. Fuente: PHJ 21.	18
Figura 10. Distribución de la demanda neta en la DHJ. Fuente: PHJ.	18
Figura 11. Comparación de la concentración de CO ₂ de los distintos escenarios RCP. Fuente: IPCC.	21
Figura 12. Cambio porcentual en las precipitaciones globales por °C. Fuente: NOAA.	22
Figura 13. Pantallazo del visor de AdapteCCa. Fuente: AdapteCCa.	23
Figura 14. Rangos porcentuales del cambio en la productividad media de los cultivos en el estudio. Fuente: PESETA IV.	24
Figura 15. Cambios en la productividad media del arroz en 2050 bajo el escenario RCP 8.5. Fuente: PESETA IV.	24
Figura 16. Cambios en la productividad media del trigo en 2050 bajo el escenario RCP 8.5. Fuente: PESETA IV.	25
Figura 17. Cambios en la productividad media de la cebada en 2050 bajo el escenario RCP 8.5. Fuente: PESETA IV.	25
Figura 18. Cambios en la productividad media del maíz en 2050 bajo el escenario RCP 8.5. Fuente: PESETA IV.	25
Figura 19. Esfuerzo de adaptación necesario en los distintos índices agroclimáticos de la vid para tres escenarios distintos. Fuente: Cambio climático y viñedo en España.	27
Figura 20. Cambios en el rendimiento de los cultivos europeos en los escenarios del estudio. Fuente: PESETA IV.	28
Figura 21. Pantallazo del programa CROPWAT en la ventana Clima/ET _o . Fuente: CROPWAT. ...	30
Figura 22. Pantallazo del programa CROPWAT en la ventana de Precipitación. Fuente: CROPWAT.	31
Figura 23. Método escogido para el cálculo de la precipitación efectiva. Fuente: CROPWAT.	31
Figura 24. Pantallazo del programa CROPWAT en la ventana de Cultivo. Fuente: CROPWAT. ...	32
Figura 25. Pantallazo del programa en la ventana de "Suelo". Fuente: CROPWAT.	34
Figura 26. Pantallazo del programa en la ventana "RAC". Fuente: CROPWAT.	34
Figura 27. Pantallazo del programa en la ventana "Programación". Fuente: CROPWAT.	34
Figura 28. Procedimiento de cálculo del programa para la programación de riego. Fuente: propia. ...	35

<i>Figura 29. Pantallazo del programa Soil Water Characteristics. Fuente: Soil Water Characteristics.</i>	37
<i>Figura 30. Metodología seguida en el estudio. Fuente: Propia.</i>	39
<i>Figura 31. Aplicación de riego en campos de arroz. Fuente: propia.</i>	41
<i>Figura 32. Evolución de suelos en cítricos. Fuente: propia.</i>	50
<i>Figura 33. Evolución de suelos en vid. Fuente: propia.</i>	52
<i>Figura 34. Ciclo anual del arroz. Fuente: propia.</i>	54
<i>Figura 35. Evolución de suelos en arroz. Fuente: propia.</i>	56
<i>Figura 36. Plantación de naranjas en Sueca. Fuente: propia.</i>	61
<i>Figura 37. Cultivo de vid en Requena. Fuente: propia.</i>	63
<i>Figura 38. Cultivo de trigo. Fuente: BASF.</i>	65
<i>Figura 39. Campos de arroz en Sueca. Fuente: propia.</i>	66
<i>Figura 40. Superficie regada por UDA. Fuente: PHJ21.</i>	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Extensión de la Cuenca Hidrográfica del Júcar. Fuente: Demarcación Hidrográfica del Júcar.	13
Tabla 2. Demanda por usos en la DHJ. Fuente: DHJ.	14
Tabla 3. Superficie regada en la DHJ según el PHJ15. Fuente: PHJ 15.	15
Tabla 4. Proyecciones de aumento de la temperatura en los principales escenarios RCP. Fuente: IPCC.	21
Tabla 5. Variación de bienes por cambios en la productividad de los cultivos en Europa. Fuente: PESETA IV.	28
Tabla 6. Comparación de los datos entre AEMET y CLIMWAT en Valencia. Fuente: AEMET y CLIMWAT.	42
Tabla 7. Comparación de los datos entre AEMET y CLIMWAT en Teruel. Fuente: AEMET y CLIMWAT.	42
Tabla 8. Datos climáticos de la estación de Valencia. Fuente: AEMET.	43
Tabla 9. Datos climáticos de la estación de Teruel. Fuente: AEMET.	43
Tabla 10. Datos de precipitación en Valencia y Teruel. Fuente: AEMET.	44
Tabla 11. Datos de cultivos. Fuente: Manual 56 de la FAO.	45
Tabla 12. Requerimientos de agua de cultivos. Fuente: Propia.	46
Tabla 13. Composición de suelos. Fuente: propia.	48
Tabla 14. Parámetros de riego en cítricos. Fuente: propia.	48
Tabla 15. Programación de riego en cítricos. Fuente: propia.	49
Tabla 16. Análisis de sensibilidad en cítricos. Fuente: propia.	49
Tabla 17. Parámetros de riego de la vid. Fuente: propia.	51
Tabla 18. Programación de riego en vid. Fuente: propia.	51
Tabla 19. Análisis de sensibilidad en vid. Fuente: propia.	51
Tabla 20. Parámetros de riego en trigo. Fuente: propia.	52
Tabla 21. Programación de riego en trigo. Fuente: propia.	53
Tabla 22. Análisis de sensibilidad en trigo. Fuente: propia.	53
Tabla 23. Evolución de suelos en trigo. Fuente: propia.	53
Tabla 24. Parámetros nuevos de suelo en arroz. Fuente: propia.	55
Tabla 25. Parámetros de riego en arroz. Fuente: propia.	55
Tabla 26. Programación de riego en arroz. Fuente: propia.	55
Tabla 27. Análisis de sensibilidad en arroz. Fuente: propia.	56
Tabla 28. Datos climáticos de Valencia en el futuro cercano bajo el escenario RCP 8.5. Fuente: Adaptecca.	57
Tabla 29. Datos climáticos de Valencia en el futuro lejano bajo el escenario RCP 8.5. Fuente: Adaptecca.	58
Tabla 30. Datos climáticos de Teruel en el futuro cercano bajo el escenario RCP 8.5. Fuente: propia.	59



Tabla 31. Datos climáticos de Teruel en el futuro lejano bajo el escenario RCP 8.5. Fuente: propia.	60
Tabla 32. Evolución de los datos meteorológicos. Fuente: propia.	60
Tabla 33. Requerimientos futuros de agua en cítricos. Fuente: propia.	62
Tabla 34. Requerimientos futuros de agua en vid. Fuente: propia.	64
Tabla 35. Requerimientos de agua en trigo. Fuente: propia.	65
Tabla 36. Requerimientos futuros de agua en arroz. Fuente: propia.	67
Tabla 37. Alcance del estudio. Fuente: propia.	68
Tabla 38. Resultados del estudio. Fuente: propia.	68

1- INTRODUCCIÓN

El objetivo del trabajo será estimar de manera precisa los cambios en el requerimiento de agua de los principales cultivos de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, DHJ, (cítricos, arroz, trigo y viña, cultivos escogidos por ser los más representativos de la demarcación y representar fidedignamente el conjunto de la DHJ) por los efectos que el cambio climático pueda producir en el clima y, por lo tanto, sobre el requerimiento de riego de dichos cultivos.

Esto es relevante ya que en la DHJ casi la totalidad del agua disponible es consumida, la cuenca se encuentra en estrés hídrico, por lo que un aumento en la demanda de agua podría suponer un colapso en el sistema y provocar una crisis de agua. Dentro de ella la agricultura supone cerca del 80% de la demanda de agua (PHJ, 2021b), siendo este un sector especialmente susceptible al cambio climático.

En gran medida esta crisis podrá derivar del aumento en el riego de los cultivos. Un cultivo necesita cierta cantidad de agua para desarrollarse correctamente, a esto es a lo que llamamos evapotranspiración de cultivo (FAO,1998), ETc, y para suplir estas necesidades de agua la planta aprovecha el agua de la lluvia y, en caso de que esta no sea suficiente para cubrir la ETc, se le aplica el riego necesario.

El cambio climático en España producirá un aumento de las temperaturas sumado a un descenso en las precipitaciones. El aumento de las temperaturas influye en la evapotranspiración del cultivo ya que a mayor temperatura, mayor ETc y mayor requerimiento de agua. Si al aumento del requerimiento de agua le añadimos el descenso en las precipitaciones se deduce que el requerimiento de riego aumentará drásticamente, riego que en algunos escenarios extremos podría no ser aplicado debido a la escasez de agua.

Para poder cuantificar este aumento en el requerimiento de agua necesitamos poder medir los cambios en el clima futuro. Además, cada cultivo posee unas características únicas que lo diferencian de los demás y también se encuentra el factor del suelo. El programa CROPWAT, desarrollado por la FAO, permite caracterizar un cultivo por medio de estas tres variables (clima, cultivo y suelo) y observar como un cambio en cada variable puede afectar al cultivo de una manera u otra. CROPWAT será la herramienta principal que nos permita estimar estos cambios en los requerimientos hídricos de los cultivos y se realizará como se detalla a continuación.

En primer lugar, se precisa de datos climáticos actuales, los cuales se obtienen mediante la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). La comparación con los datos climáticos futuros se obtendrá mediante la herramienta Adaptecca, la cual dispone de un visor de escenarios de cambio climático.

A continuación, se obtienen todas las características necesarias del cultivo siguiendo el manual número 56 de la FAO: Evapotranspiración de cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

Por último, los datos de los distintos tipos de suelo se extraen del software informático Soil Water Characteristics, desarrollado por el Departamento de Agricultura Estadounidense, mediante el cual introduciendo varios datos del suelo disponible se calculan las características del mismo.

Una vez recopilados los datos, se procede a calcular el requerimiento de agua de los cultivos, el cual se calcula mediante CROPWAT. Con los datos obtenidos se puede realizar una comparación del efecto que supondría en el requerimiento de agua de cada cultivo el incremento de la temperatura a nivel global y la modificación de los patrones en las precipitaciones. De esta manera se podrá comprender mejor el impacto que tiene el cambio climático sobre los cultivos y, principalmente, sobre el agua, e introducir ciertas medidas encaminadas a reducir los riesgos, limitar los impactos, reducir las vulnerabilidades e incrementar la resiliencia frente al cambio del clima.



Figura 1. Plantación de naranjas (cítricos). Fuente: propia.

El primero de todos los cultivos a estudiar son los cítricos. Los cítricos son el principal cultivo en la demarcación, representan el 38% de la superficie regada con un total de 143.345ha. Las variedades de cítricos que existen dentro de la demarcación son el mandarino, los naranjos, el naranjo amargo, el limonero y limonero dulce y el pomelo.



Figura 2. Campos de arroz en Sueca. Fuente: propia.

El arroz es el cultivo más tradicional, especialmente en Valencia, donde se concentra principalmente el cultivo de arroz debido a la Albufera que proporciona el agua necesaria. Existen dos variedades de arroz: el arroz shenia o bahía y el arroz bomba. La superficie ocupada por arrozales asciende a 15.157 ha (PHJ,2021b).



Figura 3. Cultivo de viña en Requena. Fuente: propia.

La viña es el tercer cultivo a estudiar, también de gran importancia debido a la gran calidad de vid para vinificación alrededor de Requena, ocupa un total de 34.502ha frente a las 5.266 de vid de mesa y una parte despreciable de vid para pasificación (PHJ,2021b).



Figura 4. Campos de Trigo. Fuente: BASF.

El último cultivo que se estudiará es el trigo, un cereal muypreciado a nivel mundial. El trigo pertenece a los denominados cereales de invierno, ya que su ciclo de desarrollo se produce en los meses invernales, y dentro de la demarcación es el segundo más importante por detrás de la cebada con una superficie regada de 17.868ha.

2- ÁMBITO

El estudio tiene lugar en la Cuenca hidrográfica del Júcar, la cuál es gestionada por la Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ). La cuenca se extiende por un total de 5 comunidades autónomas y alberga una superficie de más de 42.000 km². En ella encontramos 307 masas de agua, de las cuales el 85% están clasificadas como ríos naturales, el 9% como embalses, el 5% como ríos modificados y el restante 1% son otras formaciones (PHJ, 2021a).

Provincia	Superficie (Km ²)	Comunidad Autónoma
Tarragona	88	Cataluña
Teruel	5.373,84	Aragón
Cuenca	8.680,54	Castilla-La Mancha
Albacete	7.408,80	Castilla-La Mancha
Castellón	5.785,11	Comunidad Valenciana
Valencia	10.813,30	Comunidad Valenciana
Alicante	4.521,72	Comunidad Valenciana
Murcia	64,01	Región de Murcia
Total	42.735,32	

Tabla 1. Extensión de la Cuenca Hidrográfica del Júcar. Fuente: Demarcación Hidrográfica del Júcar.

2.1- SITUACIÓN ACTUAL

El recurso renovable en la cuenca asciende a un total de 3840 hm³/año, sin embargo, este recurso no es fluyente en su totalidad, ya que una parte de el mismo se escapa al mar y a otras redes fluviales, con lo que la aportación al régimen fluvial se estima alrededor de los 3060 hm³/año y, si consideramos únicamente los principales puntos de aportación, la cantidad de agua disponible es de 2100 hm³/año (PHJ, 2021b).

Las demandas actuales en la DHJ se distribuyen de la manera que se muestra en la tabla siguiente, siendo la industria de la agricultura y la ganadería la responsable de la mayor demanda.

Escenario	Demandas									
	Urbana		Agropecuaria		Industrial		Piscifactoría consuntiva		Total DHJ	
	hm ³	%	hm ³	%	hm ³	%	hm ³	%	hm ³	%
Actual. 2018	489,50	15,98%	2.439,91	79,63%	133,95	4,37%	0,76	0,02%	3.064,12	100%

Tabla 2. Demanda por usos en la DHJ. Fuente: DHJ.

La demanda total oscila sobre los 3060 hm³/año, valor muy similar al recurso disponible anualmente que es algo superior a dicho valor, es evidente que la cuenca se encuentra en estrés hídrico ya que la demanda y la oferta están muy parejas y el equilibrio actual es muy frágil: un aumento en la demanda puede no ser suplido y provocar un colapso en el sistema. Es importante recalcar que la industria de la agricultura representa una demanda de 2300 hm³/año (PHJ,2021b) , siendo este un sector especialmente susceptible frente al cambio climático.

2.2- SUPERFICIE REGADA

Se entiende por superficie regada el espacio ocupado por cultivos que requieren de riego para su desarrollo. La superficie regada total en la DHJ asciende a más de 374.000 ha según el PHJ21 (PHJ, 2021c), valor que se redujo de aproximadamente 390.000 ha en el PHJ 15 (PHJ, 2015), y se reparte de la siguiente manera:

Cultivo	Tipo de cultivo	Superficie (ha)
Maíz y sorgo	Herbáceos	14.675
Biodiésel		236
Bioetanol		8
Cereales para grano		46.447
Cultivos forrajeros		8.111
Flores y plantas ornamentales		1.514
Hortalizas al aire libre		34.165
Arroz		16.342
Leguminosas grano		1.458
Oleaginosas		3.364
Otros cultivos herbáceos		75
Patata		2.261
Remolacha		907
Tabaco		1
Hortícolas protegidos		1.187
TOTAL CULTIVOS HERBÁCEOS		130.752
Olivar	Leñosos	14.179
viveros		609
otros cultivos leñosos		1.271
Frutales de fruto seco		11.219
Frutales de fruto carnoso no cítrico		20.158
Cítricos		169.282
Vid: uva de mesa		5.724
Vid: uva de vinificación		36.843
TOTAL CULTIVOS LEÑOSOS		259.286
TOTAL DHJ		390.038

Tabla 3. Superficie regada en la DHJ según el PHJ15. Fuente: PHJ 15.

La superficie ocupada por los cultivos del presente estudio son las siguientes: 46.000 de cereales para grano (de los cuales el trigo ocupa algo menos de 18.000 ha), 16.342 ha de arroz, 42.567 ha de vid y 169.282 ha de cítricos, siendo estos los cultivos más cultivados en la demarcación (PHJ, 2015).

En la tabla se puede observar que los cultivos estudiados ocupan más de 200.000 ha, representando más de la mitad de la superficie regada de la DHJ. Es por este motivo que se estudian dichos cultivos.

La evolución de la superficie regada de los cultivos estudiados han sufrido caminos diversos. En primer lugar, los cítricos han ido decayendo paulatinamente desde principios del siglo XXI; la vid aumentó drásticamente su superficie en los 80, cuando la práctica del regadío

se implementó; el trigo también aumentó debido a sus buenas propiedades, siendo un cereal muypreciado; por último, el arroz se ha mantenido debido a su gran tradición.

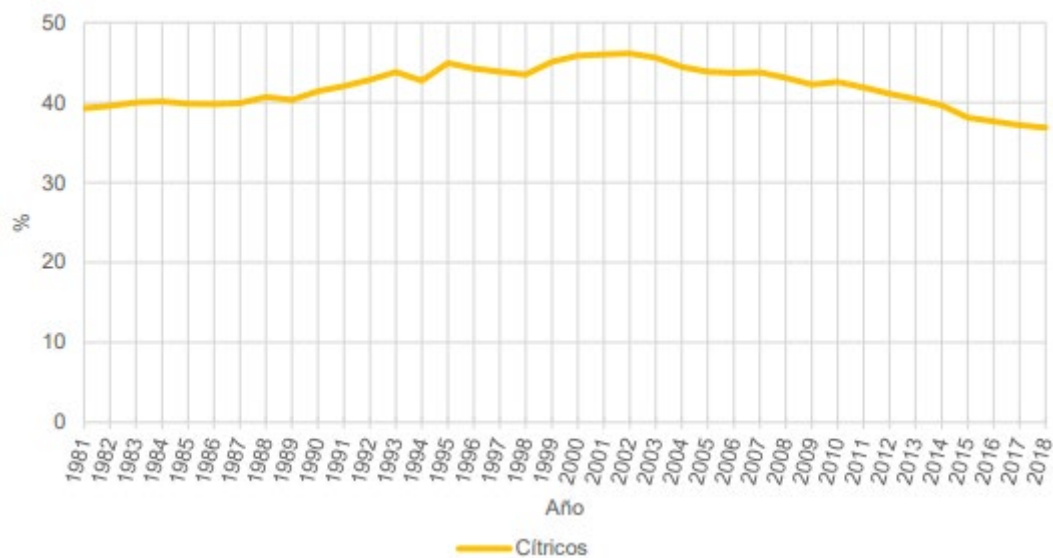


Figura 5. Evolución de la superficie regada de cítricos en la DHJ. Fuente: PHJ 21.

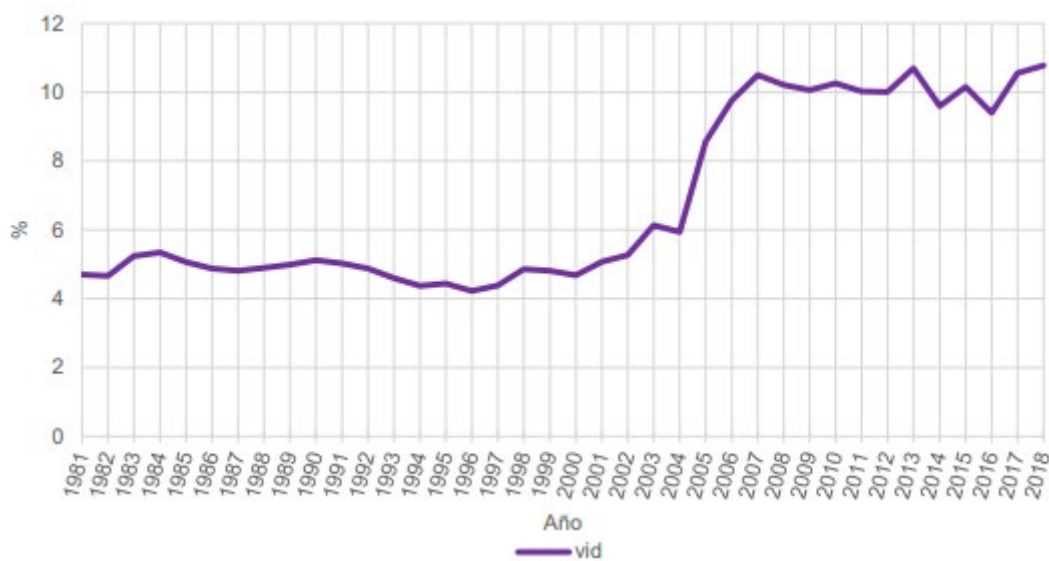


Figura 6. Evolución de la superficie regada de vid en la DHJ. Fuente: PHJ 21.

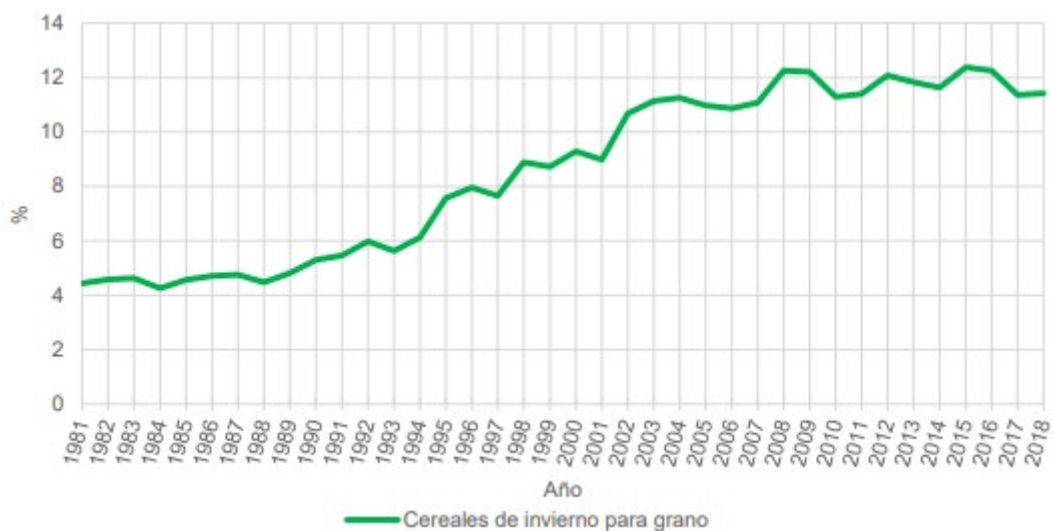


Figura 7. Evolución de la superficie regada de cereales de invierno para grano en la DHJ. Fuente: PHJ 21.

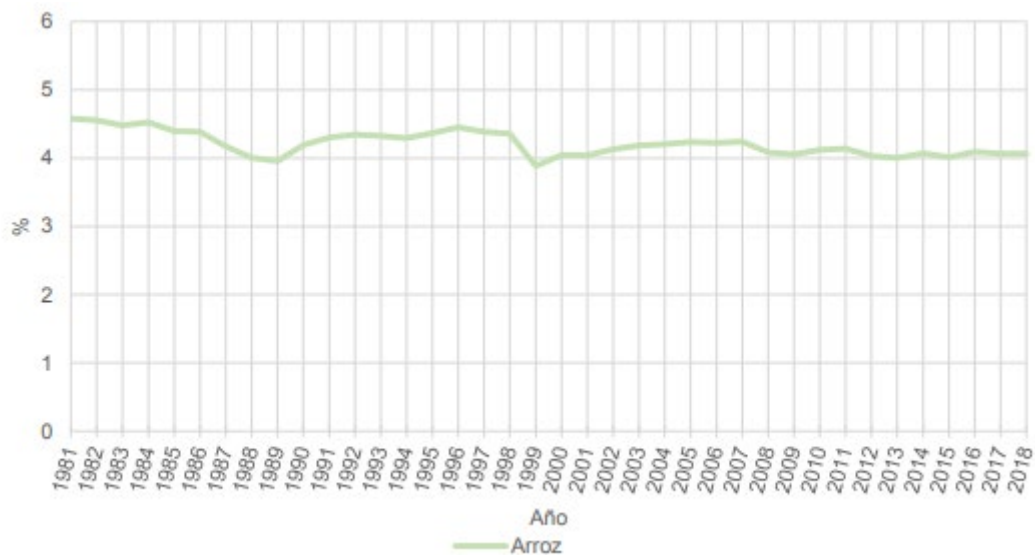


Figura 8. Evolución de la superficie regada de arroz en la DHJ. Fuente: PHJ 21.

2.3- DEMANDA NETA

La demanda neta de la DHJ asciende a un total de 1298,52 hm³/año y se distribuye de la manera que se observa en la tabla e imagen siguientes en función de los cultivos que se encuentran en cada zona dentro de la demarcación, influyendo también el tipo de clima en los cultivos que se encuentran en cada lugar (PHJ; 2021c).

Sistema de Explotación	Demanda neta (hm ³ /año)
Cenia - Maestrazgo	54,47
Mijares-Plana de Castellón	106,14
Palancia - Los Valles	39,87
Turia	175,83
Júcar	735,90
Serpis	44,90
Marina Alta	33,66
Marina Baja	13,67
Vinalopó - Alacantí	94,08
TOTAL	1.298,52

Figura 9. Demanda neta por zona en la DHJ. Fuente: PHJ 21.

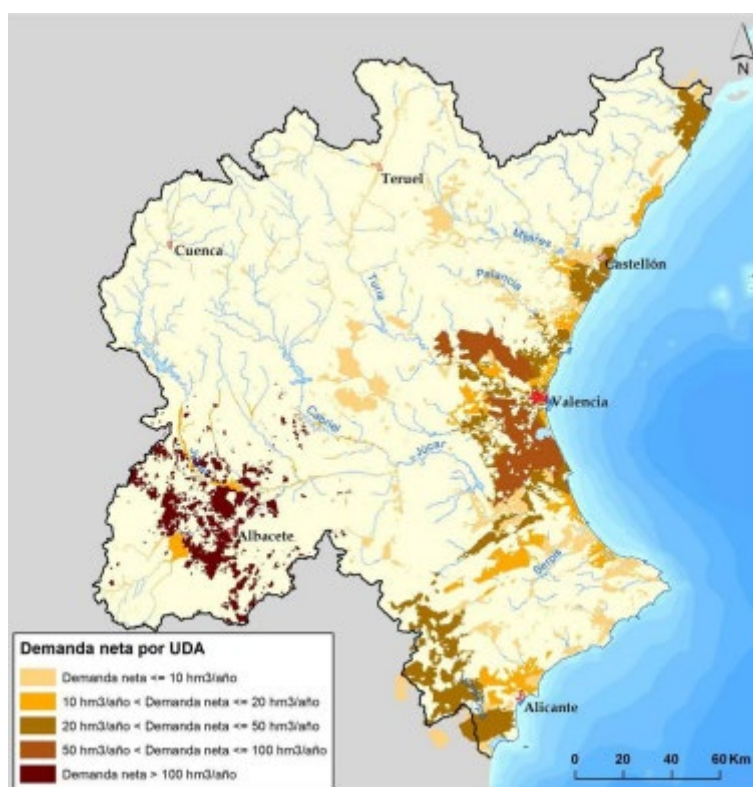


Figura 10. Distribución de la demanda neta en la DHJ. Fuente: PHJ.

3- ANTECEDENTES

Antes de explicar el desarrollo del trabajo se hace necesario exponer una serie de términos y definiciones con el fin de establecer una base para el correcto entendimiento del mismo. En este apartado se describirán todos los términos clave que sirvan para comprender la exposición ulterior, así como los programas informáticos que se van a utilizar y sus conceptos básicos.

3.1- CAMBIO CLIMÁTICO

Este documento carecería de sentido sin este concepto. El cambio climático se define como la variación en el sistema climático terrestre producida por la acción humana. Es importante la aclaración de que este fenómeno sea producido por la acción humana, ya que de por sí este sistema climático varía constantemente, pero los seres humanos actuamos sobre él acelerando esta variación, ya sea de manera positiva o negativa.

El sistema climático está compuesto por cinco componentes. Todos estos actúan conjuntamente y se encuentran estrechamente relacionados, por lo que una variación en uno de ellos repercutirá notoriamente sobre los demás. Estas cinco partes son:

1. Atmósfera: capa gaseosa que envuelve la tierra.
2. Hidrosfera: masa de agua que se encuentra sobre la superficie de la tierra sólida y parte de la que se encuentra bajo la superficie.
3. Criosfera: partes de la superficie de la Tierra donde el agua se encuentra en estado sólido (masas de hielo).
4. Litosfera: capa rocosa superior de la Tierra.
5. Biosfera: conjunto de seres vivos de la Tierra y sus interrelaciones.

El cambio climático es producido principalmente por los gases de efecto invernadero. El efecto invernadero es “el proceso mediante el cual la absorción y emisión de radiación infrarroja por los gases en la atmósfera de un planeta calientan su atmósfera interna y la superficie” y los tres principales gases causantes de este proceso son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el ozono (O_3). La mayor concentración de estos gases en la atmósfera produce un incremento paulatino del efecto invernadero y, por consiguiente, un aumento de la temperatura a nivel global. La gran emisión de gases que los humanos producimos se debe principalmente a siete fenómenos:

1. Transporte contaminante.
2. Edificios que precisan de rehabilitación energética.
3. Industria.
4. Residuos contaminantes.
5. Agricultura y ganadería.
6. Derroche de energía.
7. Deforestación.

Para controlar y cuantificar la concentración de gases, el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ha desarrollado los llamados RCP (Representative Concentration Pathways), unas trayectorias de representación de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Existen diferentes escenarios RCP, que reciben su nombre por un posible rango de valores de forzamiento radiativo (diferencia entre la insolación absorbida por la Tierra y la energía irradiada de vuelta al espacio, medida en W/m^2) en el año 2100. Los principales escenarios son los RCP2.6, 4.5, 6 y 8.5, siendo el 8.5 el escenario más extremo y catastrófico que

contempla que las emisiones continúen durante todo el siglo XXI sin sufrir ningún cambio con respecto a la situación actual. La concentración de gases en los escenarios se mide en ppm (partes por millón), llegando en el escenario RCP8.5 a una concentración de más de 1200 ppm, triplicando la concentración actual que se encuentra alrededor de las 400 ppm.

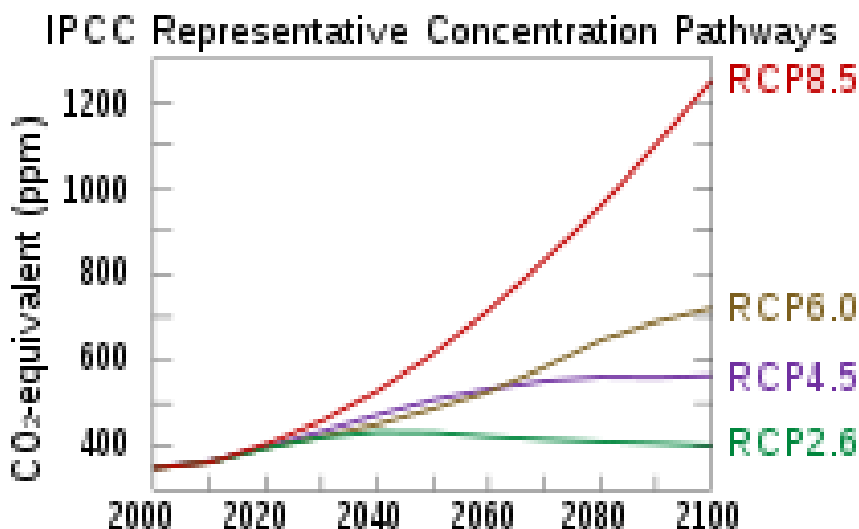


Figura 11. Comparación de la concentración de CO₂ de los distintos escenarios RCP. Fuente: IPCC.

Una mayor concentración de gases de efecto invernadero supondría un incremento en la temperatura a nivel global y una redistribución en las precipitaciones. La tabla y la figura siguientes representan las proyecciones futuras de temperatura y precipitaciones basadas en los diferentes escenarios RCP. En ellas podemos observar como la temperatura a nivel global aumentará y las precipitaciones aumentarán o disminuirán en ciertos lugares, siendo globalmente menores ya que el consiguiente incremento en la temperatura conlleva una mayor humedad del aire, el cuál retendrá una mayor cantidad de agua.

ESCENARIO\AÑO	2046-2065	2081-2100
RCP 4.5	1.4 (0.9 a 2)	1.8 (1.1 a 2.6)
RCP 6.0	1.3 (0.8 a 1.8)	2.2 (1.4 a 3.1)
RCP 8.5	2 (1.4 a 2.6)	3.7 (2.6 a 4.8)

Tabla 4. Proyecciones de aumento de la temperatura en los principales escenarios RCP. Fuente: IPCC.

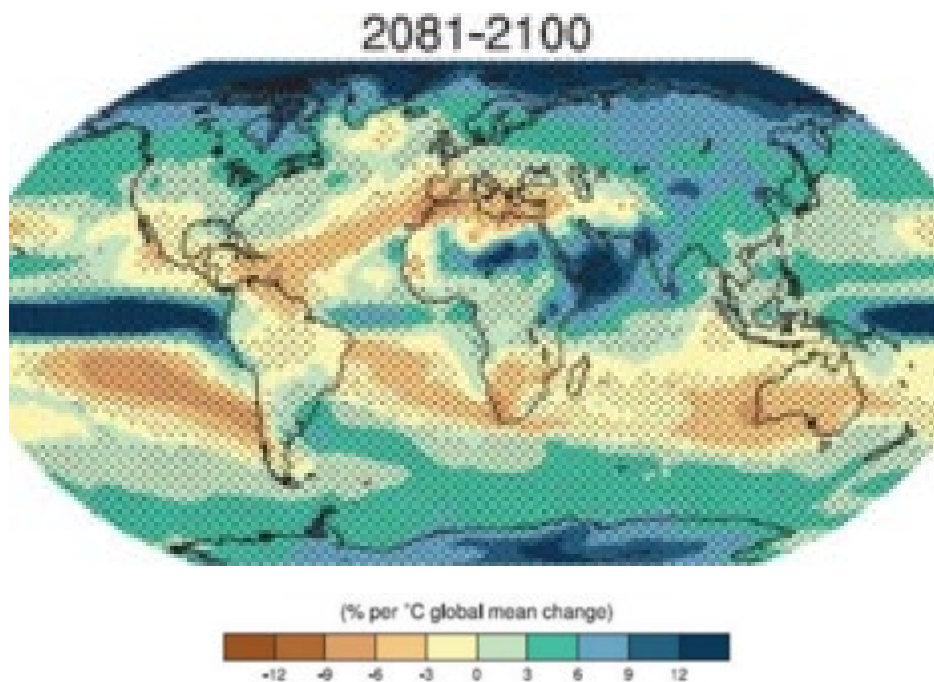


Figura 12. Cambio porcentual en las precipitaciones globales por °C. Fuente: NOAA.

En el presente documento se trabajará en el escenario 8.5. Tras observar la información anterior se puede esperar que al desenvolverse el trabajo en la Cuenca Hidrográfica del Júcar obtengamos un incremento en la temperatura acompañado de un descenso de las precipitaciones, produciendo de esta manera cierto incremento en los requerimientos de riego de los cultivos a estudiar.

3.2- ADAPTECCA

“AdapteCCa es una plataforma de consulta e intercambio de información en materia de vulnerabilidad, impactos y adaptación al cambio climático”. Esta plataforma es de gran ayuda al proporcionar un visor de escenarios de cambio climático del cual se extraerá posteriormente los datos de temperatura y precipitación de los escenarios futuros. El visor permite obtener datos de una gran cantidad de variables, de las cuales se extraerán los datos anómalos de temperatura máxima (temperatura del aire a dos metros del suelo, máxima diaria), temperatura mínima (temperatura mínima diaria a dos metros del suelo, mínima diaria) y precipitación (precipitación acumulada en un día en cualquiera de sus formas) de manera mensual en el escenario RCP 8.5.

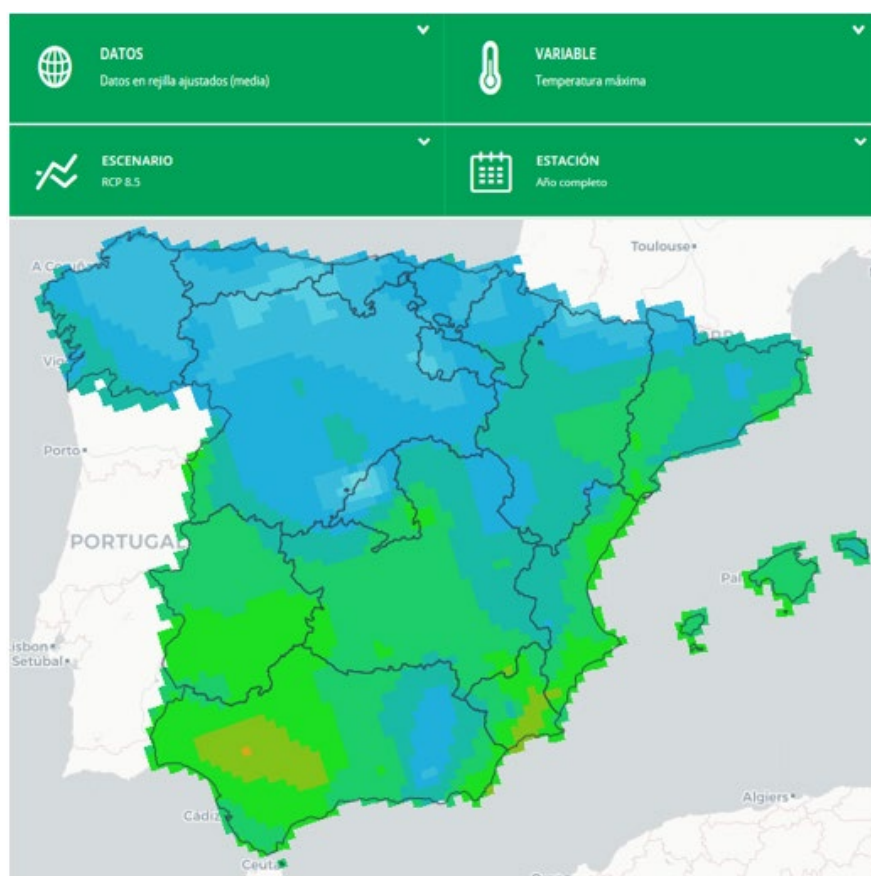


Figura 13. Pantallazo del visor de AdapteCCa. Fuente: AdapteCCa.

Esta herramienta no solo ofrece este visor, contiene distintas herramientas sobre adaptación al cambio climático, dispone de banco de imágenes e infografías, así como una gran cantidad de casos prácticos y estudios. En el siguiente apartado se exponen una serie de trabajos, todos ellos han sido extraídos de Adaptecca.

3.3- OTROS TRABAJOS

A continuación se expondrán tres trabajos de otros autores con el fin de contrastar nuestros resultados posteriormente y disponer de una base que nos permita esperar unos resultados que se encuentren en línea con las conclusiones que obtiene la comunidad científica.

3.3.1- ANALYSIS OF CLIMATE CHANGE IMPACTS ON EU AGRICULTURE BY 2050 – JRC PESETA IV

El primer estudio analiza el impacto del cambio climático en la agricultura europea hacia el año 2050. La conclusión principal que obtiene el estudio es que un incremento de 2 °C en la temperatura a nivel global reducirá las cosechas a nivel global aunque algunos lugares puedan verse beneficiados. En general, los lugares más afectados por el incremento de la temperatura en Europa serían los territorios del sur, mientras que los territorios del norte y centro europeo prácticamente no sufrirán descensos, e incluso con un incremento de 2 °C podrían ver sus cosechas incrementadas. En las siguientes imágenes se puede observar una estimación a nivel global de la variación de la productividad media en 2050 bajo el escenario RCP 8.5 de cuatro cultivos: el arroz, el trigo, la cebada y el maíz.



Figura 14. Rangos porcentuales del cambio en la productividad media de los cultivos en el estudio. Fuente: PESETA IV.

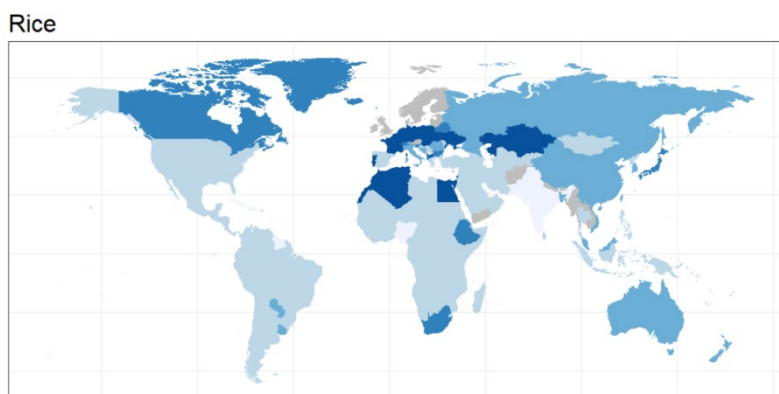


Figura 15. Cambios en la productividad media del arroz en 2050 bajo el escenario RCP 8.5. Fuente: PESETA IV.

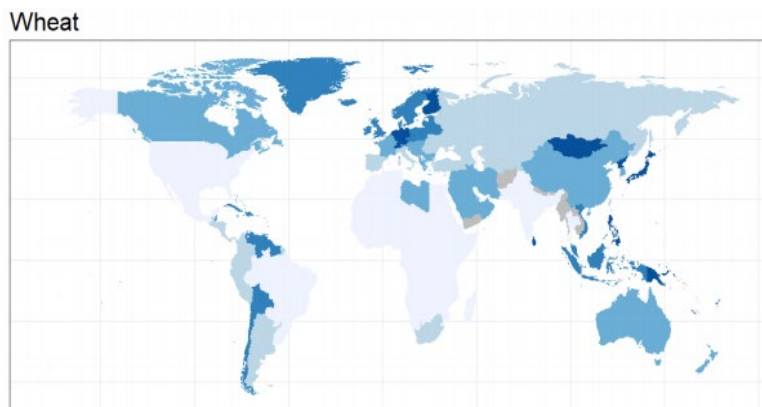


Figura 16. Cambios en la productividad media del trigo en 2050 bajo el escenario RCP 8.5. Fuente: PESETA IV.

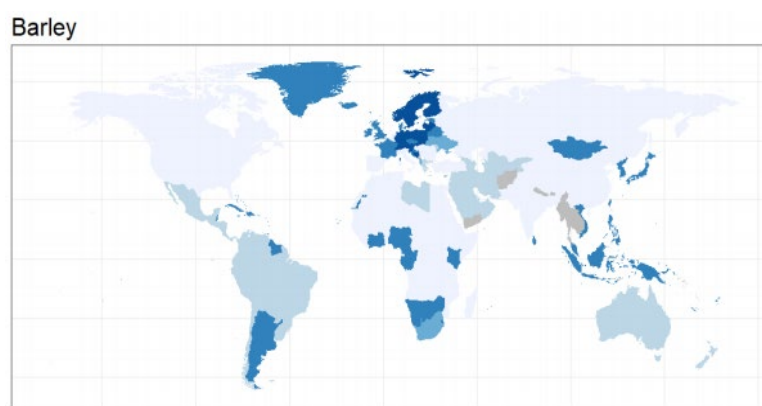


Figura 17. Cambios en la productividad media de la cebada en 2050 bajo el escenario RCP 8.5. Fuente: PESETA IV.

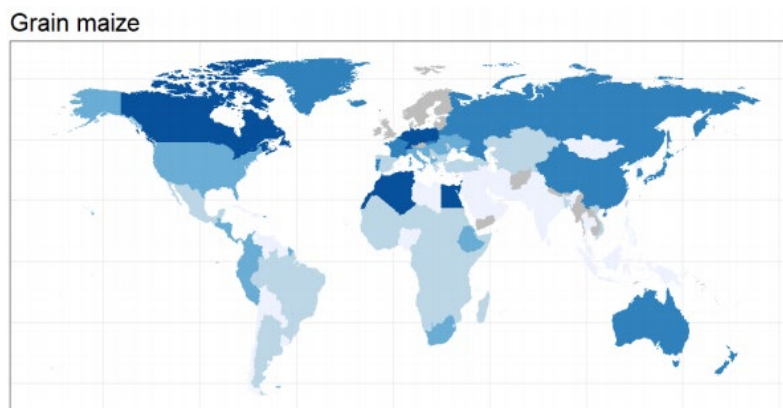


Figura 18. Cambios en la productividad media del maíz en 2050 bajo el escenario RCP 8.5. Fuente: PESETA IV.

Los colores claros indican descensos, mientras que los colores oscuros indican aumentos en la productividad media. No existe una predominancia clara en todos los cultivos, cada uno se ve afectado de manera distinta, pero si se puede intuir los territorios que más afectados resultarían y los territorios que podrían beneficiarse. En concreto, en el lugar de desarrollo del presente trabajo, la Cuenca Hidrográfica del Júcar, todos los cultivos sufren descensos en su productividad, encontrándose todos los cultivos en el rango (-13.9, -6.65), exceptuando la cebada que se encuentra aún en un rango peor, situada entre (-59, -13.9) (CE, 2020b).

3.3.2- CAMBIO CLIMÁTICO Y VIÑEDO EN ESPAÑA

El segundo estudio trata sobre como el cambio climático afectará al viñedo en España concretamente. Su conclusión principal es que en zonas húmedas podría aumentar la calidad de la vid, mientras que en zonas secas las necesidades hídricas aumentarían hasta el punto de hacer necesario el riego, algo que hoy en día ya se comienza a implementar. Esta conclusión es recurrente en la gran mayoría de estudios, siendo las zonas húmedas las zonas en las que un pequeño incremento de la temperatura puede beneficiar la producción y las zonas secas y cálidas las más afectadas por el cambio climático.

Para cuantificar el esfuerzo de adaptación necesario para mantener las condiciones actuales de producción y calidad de la vid el estudio se ayuda de tres índices agroclimáticos (indicador de un aspecto del clima con un significado agrícola específico):

- a) Índice de Huglin: El índice de Huglin muestra una buena relación entre las zonas con el potencial de azúcares de la uva y es utilizado para determinar la idoneidad del cultivo de los distintos tipos de vid en diferentes zonas. El índice de Huglin se mide mediante la siguiente ecuación:

$$\sum_{1 \text{ abr}}^{30 \text{ sept}} \frac{[(T_{media} - 10) + (T_{máx} - 10)]}{2} * d$$

Donde, Tmedia es la temperatura media diaria y Tmax es la máxima de las temperaturas diarias y d es un factor dependiente de la latitud

- b) Índice de Frescor Nocturno: pretende poner de relieve la importancia de las diferencias de temperatura entre noche y día para la maduración y caracteriza el color y aroma de la uva. Se cuantifica mediante la temperatura mínima diaria del mes de septiembre.
- c) Índice de Sequía: permite la caracterización del componente hídrico del clima en una región y se refiere al nivel de maduración de la uva y la calidad del vino. El índice de sequía (DI) se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$DI = Wo + P - Tv - Es$$

Wo es el potencial diario de evapotranspiración, P es precipitación diaria, Tv es potencial de transpiración y Es es evapotranspiración directa del suelo.

En la siguiente imagen se puede observar el esfuerzo de adaptación necesario para mantener las condiciones actuales de producción y calidad de la vid. El estudio concluye que en la cornisa cantábrica y Galicia la intervención general sería la menor, mientras que la zona del Levante, Murcia y Andalucía serán las más afectadas y requerirán de grandes esfuerzos de adaptación, tanto a nivel de bodega (cambios sencillos y baratos) como a nivel de viñedo (cambios complicados y caros). Estos esfuerzos de adaptación pasan por medidas como el

incremento del riego a medidas de gestión como la redistribución de las distintas variedades de vid por el territorio español (COAG, 2016).

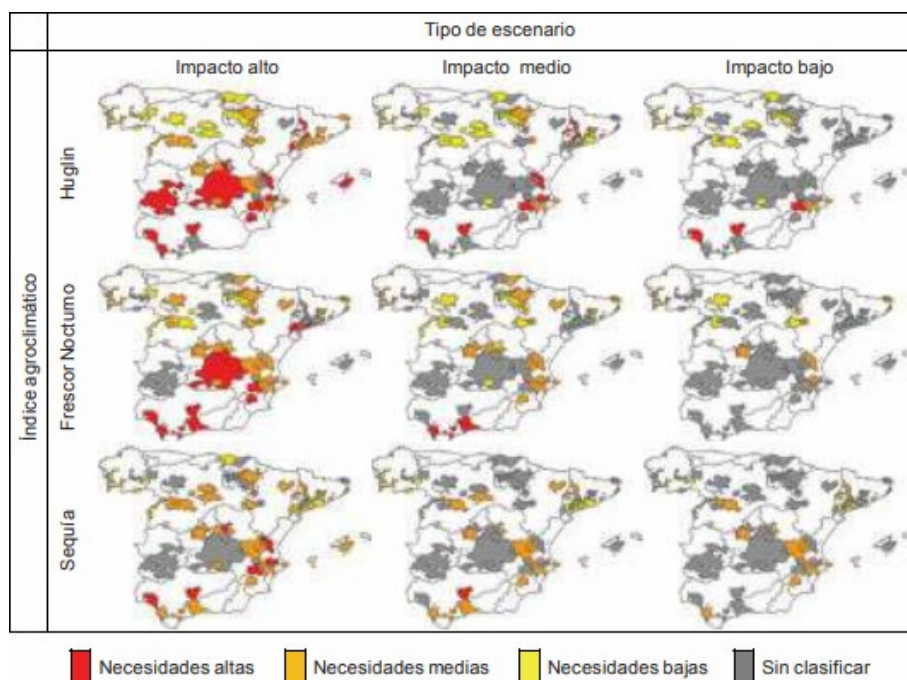


Figura 19. Esfuerzo de adaptación necesario en los distintos índices agroclimáticos de la vid para tres escenarios distintos. Fuente: Cambio climático y viñedo en España.

3.3.3- ECONOMIC ANALYSIS OF SELECTED CLIMATE IMPACTS - JRC PESETA IV

El último estudio, también perteneciente a PESETA IV, trata sobre el análisis económico de una serie de impactos climáticos. El estudio también analiza el impacto económico de tres escenarios de aumento de temperatura (1.5, 2 y 3 °C) sobre la agricultura europea. Las principales conclusiones del estudio son las siguientes:

- El resultado total en Europa es positivo en los escenarios 1.5 y 2 °C.
- En el escenario 3 °C la pérdida de bienes se estima en 4.3 Billones de euros.
- Las regiones del norte experimentan aumentos en la productividad mientras que las del sur sufren descensos.

De nuevo vemos como las regiones húmedas aumentan su producción mientras que las zonas secas y cálidas ven peligrar su producción. Sin embargo, todo parece indicar que a partir de los 3 °C de aumento de temperatura la gran mayoría de regiones verían reducida su producción con respecto a la actual, incluso las regiones húmedas. Esto refleja que la Tierra se encuentra en una franja de temperatura cercana al límite admisible, que se podría establecer en unos 3 °C superior a la media global actual.

En la siguiente imagen se reflejan los cambios en el rendimiento de los cultivos en las diferentes zonas en las que el estudio divide Europa, siendo las zonas del norte positivas en general y las zonas del sur negativas en todos los escenarios.

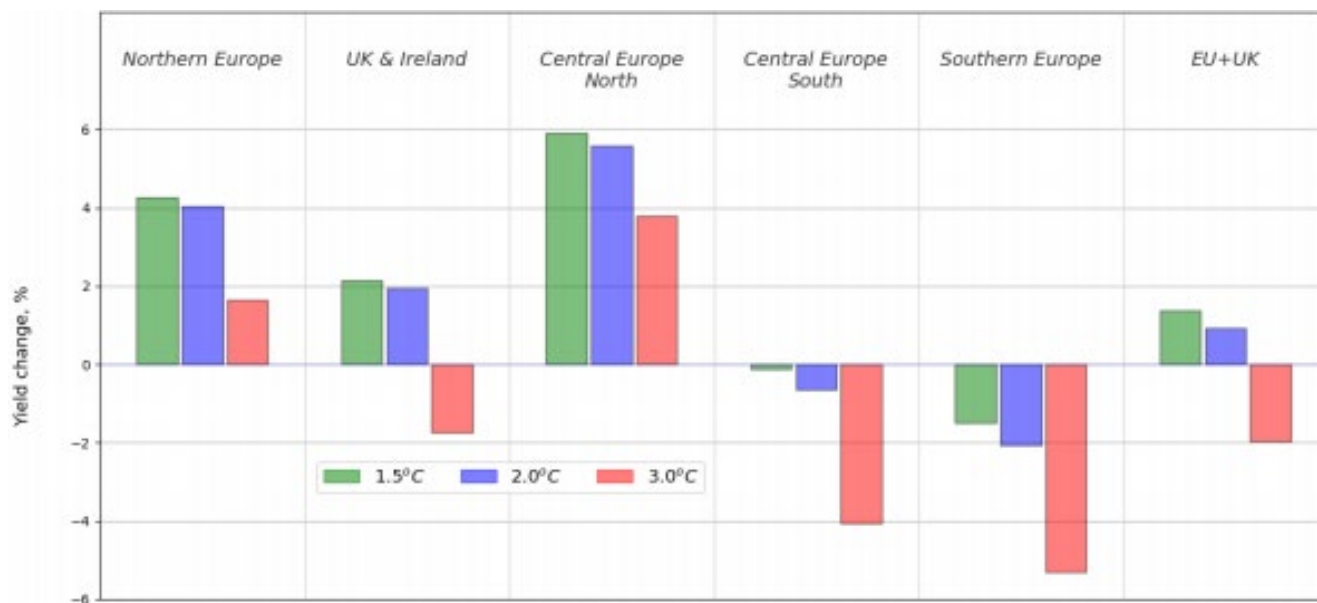


Figura 20. Cambios en el rendimiento de los cultivos europeos en los escenarios del estudio. Fuente: PESETA IV.

En España concretamente todas las simulaciones resultan negativas al pertenecer al sur de Europa, siendo esta la zona más afectada por el incremento de la temperatura. En la siguiente tabla se cuantifican las pérdidas sufridas en las distintas zonas en billones de € y en % del PIB europeo (CE, 2020b).

Region	Welfare (bn €)			Welfare (% of GDP)		
	1.5°C	2°C	3°C	1.5°C	2°C	3°C
Northern Europe	0.6	0.5	0.2	0.06	0.06	0.02
UK & Ireland	0.4	0.4	-0.3	0.02	0.02	-0.01
Central Europe North	3.5	3.3	2.0	0.09	0.08	0.05
Central Europe South	0.0	-0.3	-2.5	0.00	-0.01	-0.09
Southern Europe	-1.0	-1.4	-3.7	-0.03	-0.04	-0.12
EU + UK	3.5	2.5	-4.3	0.03	0.02	-0.03

Tabla 5. Variación de bienes por cambios en la productividad de los cultivos en Europa. Fuente: PESETA IV.

3.4- CROPWAT

CROPWAT es un programa informático desarrollado por la FAO (Food and Agriculture Organization) para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y requerimientos de riego basándose en datos de clima, cultivo y suelo. El programa también permite la programación del riego requerido por los cultivos en unas condiciones especificadas.

Este programa constituye la base del trabajo y a partir de él se calcularán todas las necesidades hídricas de los cultivos tanto presentes como futuras. La recopilación de todos los datos se introducirá en este programa que proporcionará finalmente el agua necesaria para el riego en las condiciones actuales y futuras.

El programa precisa de una serie de datos para poder calcular los requerimientos de agua de los cultivos. Éste consta en sí de cuatro ventanas de datos a introducir más otras cuatro ventanas de resultados. Las ventanas de datos a introducir son:

1. Clima/ET_o: condiciones meteorológicas del lugar en el que se realiza el estudio. En este caso, se usarán los datos de la estación meteorológica de Valencia para los cítricos, la vid y el arroz y los datos de la estación meteorológica de Teruel para el trigo.
2. Precipitación: datos de precipitación mensuales, obtenidos en sus respectivas estaciones meteorológicas.
3. Cultivo: cada cultivo tiene unas propiedades específicas que se deben introducir al programa para el correcto cálculo de su requerimiento hídrico. Para la obtención de los datos de cada cultivo se usará la publicación N° 56 de la Serie Riego y Drenaje de la FAO, titulada "Evapotranspiración del cultivo - Guías para el cálculo de los requerimientos de agua del cultivo".
4. Suelo: características específicas del suelo obtenidas a través de Soil Water Characteristics.

Mientras que las ventanas de resultados son:

1. RAC (Requerimiento de Agua de Cultivo): nos ofrece un primer resultado aproximado sin tener en cuenta las características específicas del suelo, es decir, en función de los datos de clima, precipitación y cultivo nos ofrece una estimación del agua que requiere el cultivo, el agua que obtiene a través de la lluvia (llamada precipitación efectiva) y la diferencia (calculada cada diez días) proporciona el requerimiento de riego aproximado.
2. Programación: el programa realiza un segundo cálculo más exacto, teniendo en cuenta los datos de suelo y realizando los cálculos de manera diaria. Proporciona a su vez datos más exactos de lluvia efectiva y necesidades hídricas. El requerimiento de agua del cultivo (también llamado evapotranspiración de cultivo) no se ve influido por los datos de suelo.

3. Patrón de cultivos y Sistema: dos ventanas que permiten la caracterización de un determinado área con distintos cultivos y calcular el suministro a dicho área . Carecen de interés para el presente trabajo.

Cada ventana de datos a introducir se compone a su vez de distintas variables que debemos obtener de otras fuentes de datos externas o complementarias a CROPWAT. A continuación se explican una a una las ventanas de datos a introducir y sus respectivas variables.

En primer lugar tenemos la ventana de “Clima/ETo”, que caracteriza el clima de la zona en la que se trabaja. Para la obtención de los datos es posible usar los datos proporcionados por AEMET o usar el programa complementario a CROPWAT llamado CLIMWAT, un programa muy simple que permite obtener los datos de numerosas estaciones meteorológicas alrededor del mundo. Esta ventana consta de las siguientes variables:

- Altitud: cota de la estación meteorológica.
- Latitud y longitud: coordenadas de la estación meteorológica.
- Temperatura mínima (°C): temperatura del aire a 2 metros sobre el suelo, mínima mensual (promediada de los mínimos diarios).
- Temperatura máxima (°C): temperatura del aire a 2 metros sobre el suelo, máxima mensual (promediada de las máximas diarias).
- Humedad (%): La humedad expresa el grado de saturación del aire, como la relación entre la cantidad de vapor agua que el aire realmente contiene y la cantidad máxima que puede contener a la misma temperatura.
- Viento (Km/día): velocidad del viento, medida a dos metros sobre el suelo.
- Insolación (horas): representa la insolación directa sin interferencia de las nubes.

Altitud	<input type="text"/>	m.	Latitud	<input type="text"/>	°N	Longitud	<input type="text"/>	°E
---------	----------------------	----	---------	----------------------	----	----------	----------------------	----


 Climate/ETo	Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
		°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day
	January							

Figura 21. Pantallazo del programa CROPWAT en la ventana Clima/ETo. Fuente: CROPWAT.

Todos los datos se deben presentar de manera mensual, posteriormente CROPWAT calcula con estos datos el promedio anual y dos variables adicionales (representadas en amarillo en la figura anterior):

- Radiación (MJ/m²/día): representa la cantidad de radiación extraterrestre que llega a un plano horizontal sobre la superficie del suelo. CROPWAT la estima en función de los datos de altitud, latitud, longitud e insolación.
- Evapotranspiración de referancia (ETo) (mm/día): este concepto hace referencia a la demanda evaporativa de la atmósfera independientemente del tipo de cultivo, su

desarrollo o manejo. Este concepto es importante porque a partir de él es posible relacionar el agua de los demás cultivos y superficies por medio de coeficientes estudiados, de esta manera no se hace preciso definir un nivel de evapotranspiración diferente para cada cultivo y cada etapa de crecimiento. El cálculo de este parámetro se realiza por medio de la ecuación Penman-Monteith representada a continuación.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

A continuación se encuentra la ventana de "Precipitación", la más simple de todas, en la que se introducen los datos de precipitación de manera mensual obtenidos de la misma manera que los datos de clima y con los datos introducidos CROPWAT ofrece los datos estimados de precipitación efectiva, de manera aproximada. Es posible elegir el método de cálculo para esta ventana, en este caso, se ha escogido el método propuesto por la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). Es importante resaltar que esta formulación se usa para una primera aproximación en la ventana de resultados "RAC" cada diez días, mientras que en la ventana de resultados de "Programación" CROPWAT usa una formulación mucho más exacta en la que tiene en cuenta la evolución diaria del suelo y introduce la escorrentía superficial (agua que se escapa por la superficie) y la percolación profunda (agua que se escapa por las capas inferiores del suelo).


 Rain	Rain	Eff rain
	mm	mm
January		

Figura 22. Pantallazo del programa CROPWAT en la ventana de Precipitación. Fuente: CROPWAT.

USDA servicio de conservación de s	
$P_{ef} = (P * (125 - 0.2 * P)) / 125$	para $P \leq 250$ mm
$P_{ef} = 125 + 0.1 * P$	para $P > 250$ mm

Figura 23. Método escogido para el cálculo de la precipitación efectiva. Fuente: CROPWAT.

En tercer lugar está la ventana de "Cultivo". En esta ventana se introducen los datos específicos de cada cultivo con el fin de que el programa pueda estimar adecuadamente el requerimiento de agua del cultivo a partir de los datos de ETo calculados anteriormente. Los parámetros de cultivo se extraen de la publicación N° 56 de la Serie Riego y Drenaje de la FAO, titulada "Evapotranspiración del cultivo - Guías para el cálculo de los requerimientos de agua del cultivo" y son los siguientes:

- Coeficiente de cultivo (Kc): relación entre la Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (Etc: evapotranspiración de un cultivo libre de enfermedades, bien fertilizado, que crece en campos extensos bajo condiciones hídricas óptimas y logrando producción máxima bajo las condiciones climáticas en que se desarrolla.) y la Evapotranspiración de referencia (Eto). Etc se obtiene por medio de mediciones de

campo mientras que ETo se ha calculado con anterioridad. Kc varía dependiendo de la etapa de desarrollo del cultivo, es preciso introducir tres valores distintos de Kc al programa: uno para su etapa inicial (Kc,ini), otro para su etapa media (Kc,med) y otro para la etapa final (Kc,fin). Entre las etapas el programa interpola los valores para obtener los Kc de forma decadiaria. Se encuentra en el cuadro 12.

- Etapas (días): un cultivo se desarrolla en diferentes etapas y consume una cantidad desigual de agua dependiendo de su etapa, ya que su área foliar y altura cambian constantemente, es por ello que es necesario introducir la duración de las etapas de desarrollo del cultivo para poder cuantificar el gasto hídrico de una manera más precisa. Se encuentra en el cuadro 11.
- Profundidad radicular (m): profundidad de las raíces del cultivo. Se encuentra en el cuadro 22.
- Altura de cultivo (m): altura del punto más alto del cultivo. Se encuentra en el cuadro 12.
- Fracción de agotamiento: representa el nivel crítico a partir del cual ocurre estrés por falta de agua. Se obtiene a partir del cuadro 22 y la figura 41.
- Factor de respuesta al rendimiento: reducción del rendimiento cuando el cultivo no se encuentra en condiciones óptimas. Como hipótesis se aplica riego óptimo en todo momento por lo que este factor será siempre igual a 1.

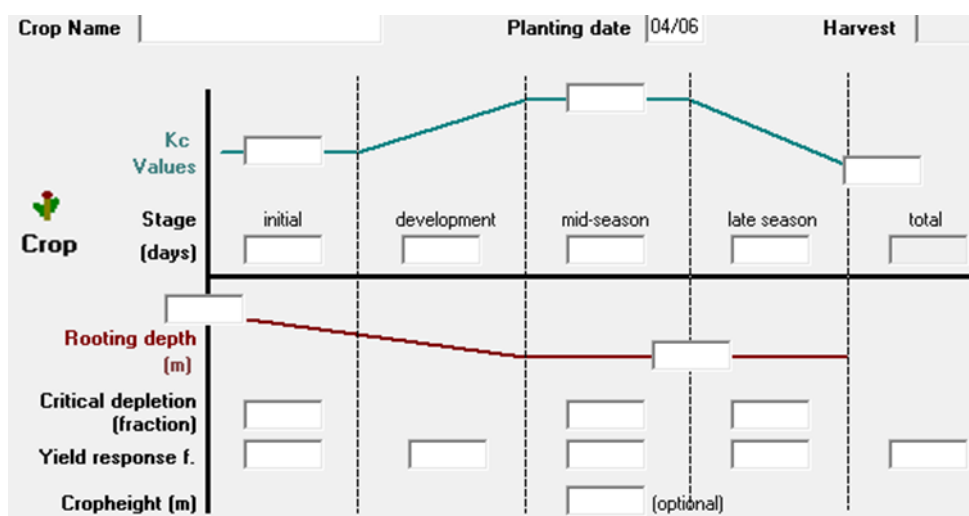


Figura 24. Pantallazo del programa CROPWAT en la ventana de Cultivo. Fuente: CROPWAT.

Por último se encuentra la ventana de "Suelo". En esta ventana se introducen los datos del suelo que se encuentre presente en la plantación, los datos se consiguen por medio de ensayos de campo, pero en este caso, al no ser un estudio de una determinada zona sino que es un estudio general, se han propuesto una serie de suelos considerados estándar cuyas características se han extraído del programa Soil Water Characteristics que será explicado en el siguiente subapartado. Los parámetros a introducir son:

- Agua Disponible Total (ADT) (mm/m): diferencia entre la capacidad de campo (CC: agua que el suelo es capaz de retener de manera natural) y el punto de marchitez

permanente (PMP: nivel crítico en el que el agua contenida en el suelo no es suficiente para mantener a las plantas y éstas se marchitan).

- Tasa Máxima de Infiltración de lluvia (mm/día): lámina de agua capaz de penetrar en el suelo en un periodo de 24h, igual a la conductividad hidráulica saturada del suelo.
- Profundidad radicular máxima (cm): de nuevo se introduce este parámetro. El programa lo requiere para poder calcular el agua disponible total en la zona radicular de la planta, de esta manera, si tenemos un suelo de 100 mm/m de ADT y un cultivo con una profundidad radicular de 150 cm, el ADT en la zona radicular será de 150 mm.
- Agotamiento Inicial del Suelo (AIS) (% de ADT): agotamiento del suelo en el momento inicial de la simulación representado como % de ADT. Para establecer un mismo punto de partida para todas las simulaciones se ha supuesto como hipótesis que el suelo se encuentra en su máxima capacidad en el momento inicial.
- Agua Disponible Inicial: este parámetro lo calcula el programa, y al ser el agotamiento del suelo siempre igual a 0, este valor siempre coincidirá en este estudio con el valor de ADT.

Además de estas características de suelo que se han de introducir en todos los cultivos, existen otras características de suelo que se usan únicamente para el arroz ya que este cultivo difiere de todos los demás por el hecho de ser un cultivo inundado, es por esto que el suelo actúa de una forma completamente diferente como se verá más adelante. Las características a introducir en suelos para arroz son las siguientes:

- Porosidad drenable (%): diferencia entre saturación (cantidad de agua que puede almacenar el suelo cuando todos los poros están llenos de agua y no existe aire en la matriz del suelo) y capacidad de campo (cantidad de agua que un suelo bien drenado retiene contra las fuerzas gravitacionales).
- Agotamiento crítico para grietas del fangueo (fracción): nivel en el que las grietas que se forman durante el secado, penetran en el suelo llegando a la profundidad de fangueo. Cuando esto ocurre, y en función de las características de drenaje de los suelos, el agua añadida puede filtrarse a través de las grietas directamente hacia el subsuelo permaneciendo muy poco dentro de la zona radicular.
- Tasa máxima de percolación tras fangueo (mm/día): lámina de agua diaria capaz de penetrar en el suelo tras el fangueo del terreno, CROPWAT la calcula automáticamente.
- Disponibilidad de agua a la siembra (como % de agotamiento): agua disponible en el momento de la siembra.
- Altura máxima de lámina de agua (mm): altura que alcanza la lámina de agua tras el riego del arroz, en Valencia es de 100 mm.

General soil data

Soil

Total available soil moisture (FC - WP) mm/meter

Maximum rain infiltration rate mm/day

Maximum rooting depth centimeters

Initial soil moisture depletion (as % TAM) %

Initial available soil moisture mm/meter

Figura 25. Pantallazo del programa en la ventana de "Suelo". Fuente: CROPWAT.

Una vez se han recopilado todos los datos y se han introducido en el programa, es posible proceder a la simulación del requerimiento hídrico de los cultivos. Las ventanas de resultados que interesan en este estudio son las ventanas "RAC" y "Programación", cuya información será utilizada posteriormente para realizar las comparaciones y análisis pertinentes. En las imágenes siguientes se pueden observar los resultados que nos ofrece el programa en ambas ventanas.

Mes	Decada	Etapas	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Jul	1	Inic	0.50	3.08	30.8	19.8	11.0
Jul	2	Des	0.84	4.77	47.7	22.1	25.6
Jul	3	Fin	1.13	6.29	69.2	24.0	45.1
Ago	1	Fin	1.05	5.85	52.6	26.1	23.6
					200.3	92.0	105.4

Figura 26. Pantallazo del programa en la ventana "RAC". Fuente: CROPWAT.

Fecha	Día	Etapas	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
2 Jul	2	Ini	0.0	1.00	100	59	42.5	0.0	0.0	60.7	3.51
21 Jul	21	Med	0.0	1.00	100	47	85.1	0.0	0.0	121.5	0.74
9 Ago	Fin	Fin	0.0	1.00	0	31					
Totales											
Lámina bruta total				182.2	mm	Precipitación total				109.3	mm
Lámina neta total				127.5	mm	Precipitación Efectiva				101.7	mm
Pérdida total de riego				0.0	mm	Pérdida tot.prec.				7.6	mm
Uso real de agua del cultivo				194.4	mm	Def. de hum. en cosecha				55.2	mm
Uso pot. de agua del cultivo				194.4	mm	Requer. reales de riego				92.8	mm
Efic. de programación de riego				100.0	%	Efic. de precipitación				93.0	%
Deficiencia de programación de riego				0.0	%						

Figura 27. Pantallazo del programa en la ventana "Programación". Fuente: CROPWAT.

En la primera ventana de resultados, RAC, el programa calcula la duración de las etapas en función de la duración que se haya introducido anteriormente. Esta duración se divide en etapas de 10 días y todos los datos son proporcionados en esta franja. Kc es interpolado entre las diferentes etapas por CROPWAT, la ETc se obtiene a partir de la relación $Kc = ETc/ETo$, la precipitación efectiva se estima con la fórmula anteriormente descrita y el requerimiento de

riego se obtiene como la diferencia entre la ET_c y la precipitación efectiva cada 10 días. Nótese que en esta ventana no se tienen en cuenta los datos de suelo.

En la segunda ventana de resultados, Programación, el programa ofrece en primer lugar una programación del riego seguido de una serie de datos sobre los requerimientos hídricos del cultivo. Es importante recalcar que en esta simulación sí se tienen en cuenta los datos de suelo y que en la precipitación efectiva se utiliza una formulación distinta a la anterior mucho más exacta que ha sido explicada con anterioridad. El riego se puede programar como quiera el usuario, en este estudio se ha considerado que el momento idóneo es cuando se alcanza el agotamiento crítico, de esta manera el cultivo siempre se encuentre en condiciones óptimas. Los resultados extra que ofrece el programa en esta ventana son la lámina bruta total (lámina de agua que se requiere para el riego en la simulación), lámina neta total (cantidad de agua necesaria para el riego del cultivo en la simulación) y déficit de humedad en cosecha (agotamiento del suelo en mm en el momento de la cosecha). El programa calcula de los resultados en este caso de manera diaria y el procedimiento es el que se detalla en la figura siguiente.

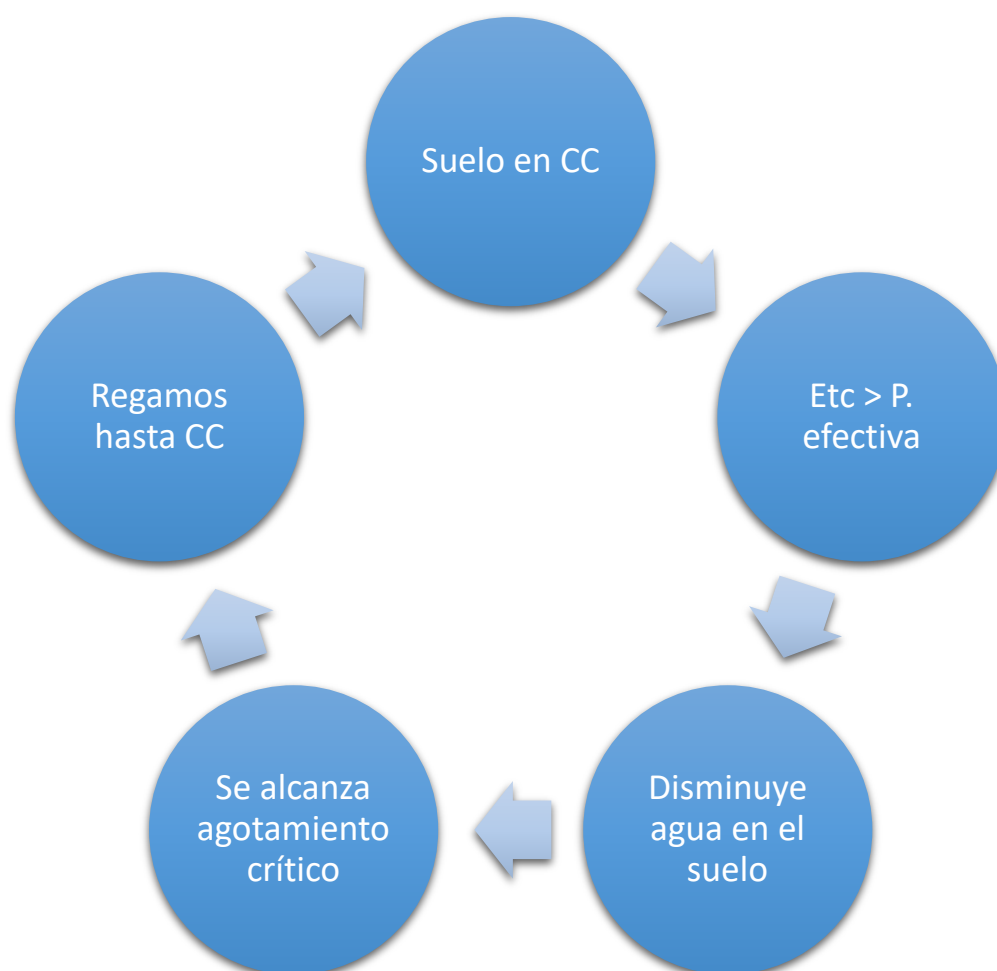


Figura 28. Procedimiento de cálculo del programa para la programación de riego. Fuente: propia.



Las últimas dos ventanas que ofrece el programa carecen de interés en el presente estudio aunque puedan ser de gran utilidad en otras situaciones.

3.5- SOIL WATER CHARACTERISTICS

Soil Water Characteristics es un programa informático desarrollado por el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) y simula las características del suelo en función de su composición. Es un programa muy simple que consta de una sola ventana en la que se introducen los datos y en ella misma se proporcionan los resultados.

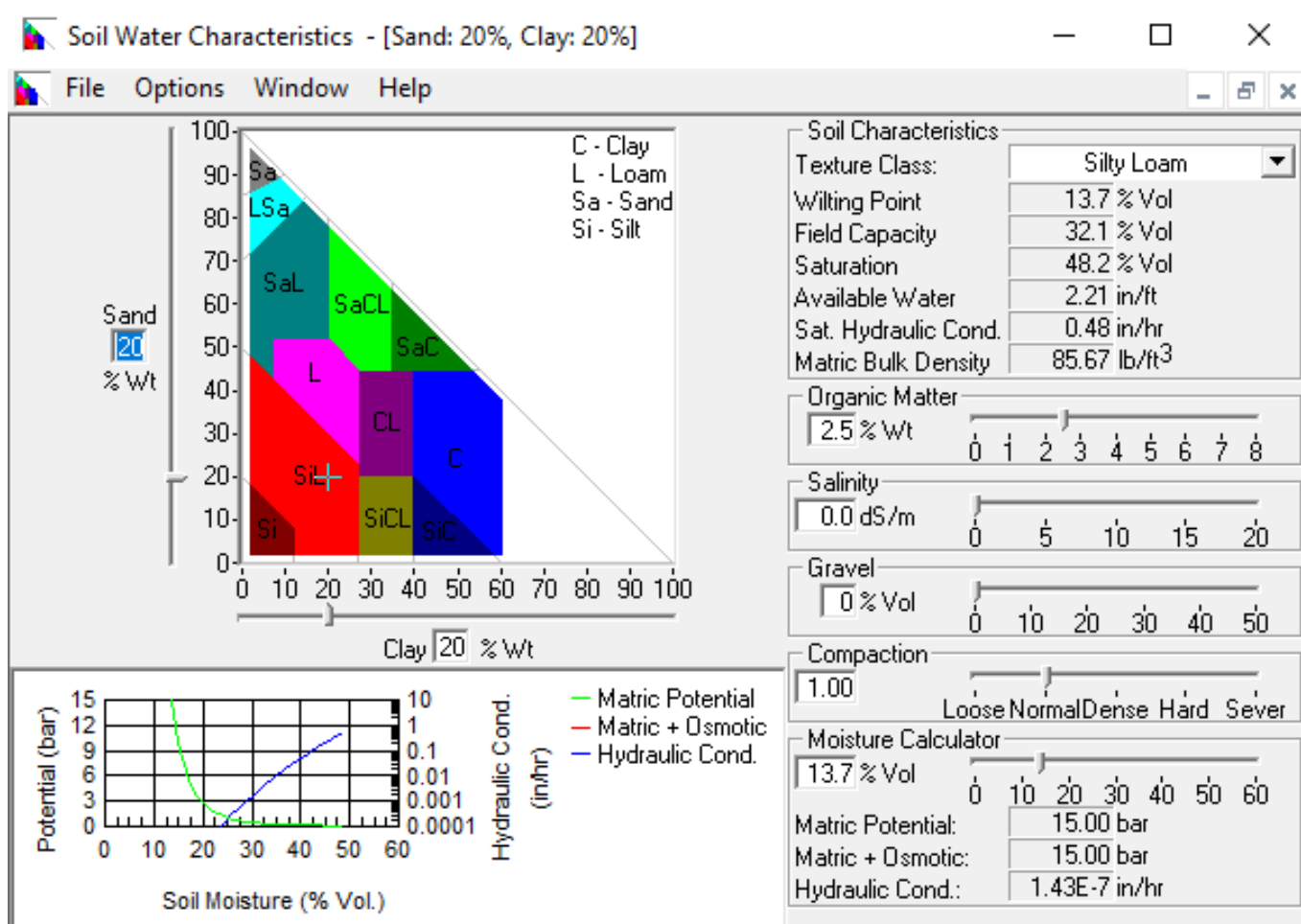


Figura 29. Pantallazo del programa Soil Water Characteristics. Fuente: Soil Water Characteristics.

Las variables a introducir en el programa son las relativas a la composición del suelo y los resultados que ofrece el programa son relativos a las características del suelo, de las cuales se escogerán las que resulten útiles para introducir en el programa CROPWAT.

Al no disponer de un lugar específico en el que se realiza el estudio, se ha estimado un suelo estándar para cada cultivo. De esta manera, se han estimado los siguientes parámetros, cuya estimación será expuesta en el apartado de “Aplicación”:

- Porcentaje en peso de arena.
- Porcentaje en peso de arcilla.
- Materia orgánica presente en el suelo.
- Salinidad (se ha supuesto que no existen sales en el suelo).
- Porcentaje en peso de grava (el programa permite también su porcentaje en volumen).

- Compactación del suelo.
- Humedad (no influye en los resultados)
- Porcentaje de limo (porcentaje en peso restante)

Ahora que todos los términos clave han sido explicados, así como los programas informáticos que van a ser utilizados, es posible proceder a la explicación de la metodología que se va a seguir en el estudio.

4- METODOLOGÍA

La metodología que se va a seguir en el estudio es la que se representa a continuación en la figura:

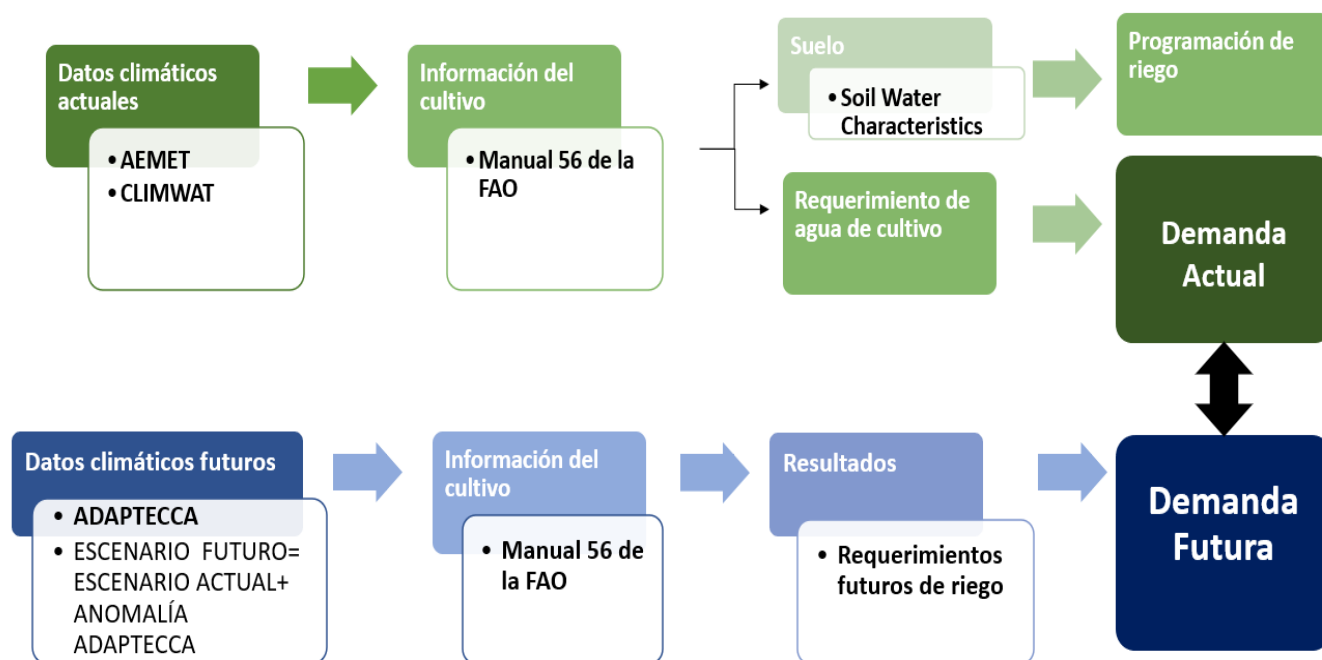


Figura 30. Metodología seguida en el estudio. Fuente: Propia.

En primer lugar, se han de recopilar los datos climáticos actuales para conseguir la evapotranspiración de referencia, esto se consigue por medio de herramientas como AEMET o CLIMWAT que proporcionan datos de diferentes estaciones meteorológicas y sus datos registrados.

Los datos que se necesitan para caracterizar el clima son las temperaturas máximas y mínimas mensuales, la humedad, la velocidad del viento, el número diario de horas de sol y la precipitación. Con estos datos climatológicos se calcula la radiación diaria con el fin de calcular la evapotranspiración de referencia, ETo , valor a partir del cual se consigue el agua que precisa el cultivo.

Siguiendo con la recopilación de datos, se han de extraer del manual 56 de la FAO las características de los cultivos a estudiar ya que cada cultivo tiene unas características que le caracterizan. El dato fundamental a recopilar es el coeficiente de cultivo Kc , ya que con el podremos relacionar la ETo con la evapotranspiración del cultivo, ETc , y determinar la cantidad de agua que necesita el cultivo. Los demás datos sirven esencialmente para la programación de riego.

Con estos datos ya podemos obtener los requerimientos actuales de agua del cultivo en las condiciones estándar y obtener a su vez la demanda actual. En este estudio además se ha realizado una simulación con distintos datos de suelo (que se han extraído con la ayuda de Soil

Water Characteristics) para poder realizar una programación del riego y un análisis de sensibilidad de la afección de los suelos en los cultivos. Se propondrá una programación de riego para cada cultivo con su suelo estándar y a continuación en el análisis de sensibilidad se explicará como afecta el suelo a cada cultivo.

Una vez se han obtenido los resultados actuales, hemos de repetir el proceso con los datos climáticos futuros, ya que las características de los cultivos se mantienen. Los datos climáticos futuros se obtienen del visor de escenarios de cambio climático que proporciona ADAPTECCA, que nos proporciona las anomalías desde el año actual hasta el año 2100 para el escenario RCP 8.5 que es el utilizado en el estudio. De esta manera el escenario futuro es igual al escenario actual más la anomalía que proporciona ADAPTECCA. Además, se obtienen resultados para el corto plazo (periodo 2020-2050) y para el largo plazo (periodo 2070-2100). Con estos datos climáticos futuros ya podemos obtener los requerimientos hídricos en el futuro y la demanda futura.

Para conseguir los resultados de las demandas actuales se recurre a los datos oficiales que ofrece el PHJ21. En cuanto al escenario futuro se realiza calculando mediante medias ponderadas que incluyen en su cálculo la dotación neta del cultivo ($\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{año}$) y su superficie regada (ha) para conseguir la dotación media conjunta de los cultivos ($\text{hm}^3/\text{año}$). Debido a que se han escogido unos cultivos representativos del conjunto, se supone el mismo cambio en la totalidad de la demarcación que en los cultivos estudiados.

Por último, con ambos resultados de demandas actuales y futuras se realiza una comparación y se extraen las conclusiones pertinentes.

5- APLICACIÓN

Una vez se ha explicado la base del estudio y la manera en que se va a realizar seguiremos el procedimiento explicado en el apartado anterior para obtener los cambios en los requerimientos hídricos de los cultivos.



Figura 31. Aplicación de riego en campos de arroz. Fuente: propia.

5.1- DATOS CLIMÁTICOS ACTUALES

La recopilación de los datos climáticos se puede realizar por medio de diferentes herramientas. En este estudio se han escogido AEMET y CLIMWAT. Ambas herramientas aportan los valores oficiales de las estaciones meteorológicas de Valencia y Teruel. Sin embargo, ofrecen valores distintos ya que AEMET ofrece los datos del periodo 1980 a 2010 mientras que CLIMWAT de 1970 a 2000, de ahí se explican las diferencias que aparecen en las siguientes tablas:

VALENCIA	AEMET	CLIMWAT
Periodo (año)	1980/ 2010	1970/ 2000
T ^a (°C)	18,3	17,5
T ^a m (°C)	13,8	13,2
T ^a M (°C)	22,8	21,8
P (mm)	475	433
H (%)	65	64,8

Tabla 6. Comparación de los datos entre AEMET y CLIMWAT en Valencia. Fuente: AEMET y CLIMWAT.

TERUEL	AEMET	CLIMWAT
Periodo (año)	1980/ 2010	1970/ 2000
T ^a (°C)	12,2	11,7
T ^a m (°C)	4,9	6,9
T ^a M (°C)	19,4	16,4
P (mm)	381	383
H (%)	65	56

Tabla 7. Comparación de los datos entre AEMET y CLIMWAT en Teruel. Fuente: AEMET y CLIMWAT.

Al ofrecer ambas fuentes datos similares se ha optado por utilizar los datos que ofrece AEMET por ser más actuales que los que ofrece CLIMWAT. Los datos finales recopilados son los siguientes:

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ET _o
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m ² /día	mm/día
Enero	7.1	16.4	64	251	6.0	8.8	1.88

Febrero	7.8	17.1	64	251	6.0	11.0	2.26
Marzo	9.6	19.3	63	251	8.0	16.3	3.10
Abril	11.5	20.8	62	242	8.0	19.3	3.80
Mayo	14.6	23.4	65	233	8.0	21.1	4.31
Junio	18.6	27.1	66	190	9.0	23.2	4.92
Julio	21.5	29.7	67	190	10.0	24.2	5.40
Agosto	21.9	30.2	68	190	9.0	21.3	4.98
Septiembre	19.1	27.9	67	233	8.0	17.3	4.23
Octubre	15.2	24.3	67	242	7.0	12.9	3.13
Noviembre	10.8	19.8	66	251	6.0	9.2	2.24
Diciembre	8.1	17.0	65	251	5.0	7.3	1.83
Promedio	13.8	22.8	65	231	7.5	16.0	3.51

Tabla 8. Datos climáticos de la estación de Valencia. Fuente: AEMET.

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	-2.3	9.7	76	251	6.0	8.5	1.11
Febrero	-1.6	12.1	68	251	6.0	10.8	1.71
Marzo	0.8	15.7	63	251	8.0	16.1	2.68
Abril	2.8	17.0	62	242	8.0	19.2	3.28
Mayo	6.8	21.8	61	233	8.0	21.1	4.15
Junio	10.5	27.0	57	190	9.0	23.1	5.04
Julio	13.0	31.3	52	190	10.0	24.1	5.88
Agosto	13.2	30.7	56	190	9.0	21.1	5.29
Septiembre	9.9	25.3	63	233	8.0	17.1	4.02
Octubre	6.0	19.3	71	242	7.0	12.7	2.50
Noviembre	0.9	13.4	74	251	6.0	9.0	1.52
Diciembre	-1.4	9.9	78	251	5.0	7.1	1.02
Promedio	4.9	19.4	65	231	7.5	15.8	3.18

Tabla 9. Datos climáticos de la estación de Teruel. Fuente: AEMET.

VALENCIA				TERUEL		
	Precipit.	Prec. efec			Precipit.	Prec. efec
	mm	mm			mm	mm
Enero	37.0	34.8		Enero	19.0	18.4
Febrero	36.0	33.9		Febrero	15.0	14.6
Marzo	33.0	31.3		Marzo	21.0	20.3
Abril	38.0	35.7		Abril	39.0	36.6
Mayo	39.0	36.6		Mayo	57.0	51.8
Junio	22.0	21.2		Junio	46.0	42.6
Julio	8.0	7.9		Julio	26.0	24.9
Agosto	20.0	19.4		Agosto	34.0	32.2
Septiembre	70.0	62.2		Septiembre	36.0	33.9
Octubre	77.0	67.5		Octubre	47.0	43.5
Noviembre	47.0	43.5		Noviembre	22.0	21.2
Diciembre	48.0	44.3		Diciembre	19.0	18.4
Total	475.0	438.2		Total	381.0	358.4

Tabla 10. Datos de precipitación en Valencia y Teruel. Fuente: AEMET.

Estos datos son los finalmente utilizados para la simulación. En ella se ha usado el clima de Valencia para cítricos, vid y arroz, mientras que el clima de Teruel se establece para el trigo.

5.2- INFORMACIÓN DE CULTIVO

A continuación se obtienen los datos respectivos de cada cultivo que se obtienen de el Manual 56 de la FAO. Los datos que ofrece el manual son una aproximación general y no representan necesariamente los valores reales de los cultivos en la DHJ. Es por ello que en viña y trigo se ha realizado una aproximación basada en los datos ofrecidos por el manual y los datos oficiales de dotaciones de riego que ofrece el PHJ para que los resultados se encontrasen en línea con la realidad. Los datos que finalmente se introducen en el programa son los siguientes:

Variables		Cítricos	Viña	Trigo	Arroz
Kc	Kc,ini	0,7	0,25	0,3	1,1
	Kc,med	0,65	0,6	1,05	1,2
	Kc.fin	0,7	0,4	0,25	0,75
Etapa (días)	Inicial	60	30	30	30
	Desarrollo	90	60	110	30
	Media	120	40	30	60
	Final	95	80	40	30
	Total	365	210	210	150
Profundidad radicular (m)		1,5	2	1,8	1
Altura de cultivo (m)		4	1,5	1	1
Agotamiento crítico (fracción)	Inicial	0,58	0,53	0,63	0,25
	Medio	0,58	0,56	0,62	0,2
	Final	0,55	0,49	0,58	0,23
Fecha de siembra/ Inicio de ciclo		1 de Octubre	1 de Abril	1 de Noviembre	1 de Abril

Tabla 11. Datos de cultivos. Fuente: Manual 56 de la FAO.

5.3- REQUERIMIENTOS ACTUALES DE RIEGO

Con la información del clima de la zona y del cultivo se obtienen los requerimientos de agua de los cultivos estudiados relacionándolos por medio del coeficiente de cultivo (K_c), obteniéndose así los siguientes resultados:

Variable (Resultados en mm)	Cítricos	Vid	Trigo	Arroz
Etc	834,5	415,8	347,8	741,6
Precipitación efectiva	438,2	242,9	178,3	106,6
Requerimiento de riego	402,3	211,4	181,9	798,5
PHJ 2021 - Dotación media	389	200	207	801,1
PHJ 2015 - Dotación media	394	183	220	946,8

Tabla 12. Requerimientos de agua de cultivos. Fuente: Propia.

La diferencia entre la Etc (el agua que necesita el cultivo) y la precipitación efectiva (cantidad de agua de lluvia que recoge el cultivo) proporciona el requerimiento de riego. Este valor es un cálculo general que no tiene en cuenta los datos del suelo específicos de cada lugar y representa únicamente el agua que necesita el cultivo en condiciones estándar. Los valores se comparan con los ofrecidos por el PHJ para comprobar que se encuentran en línea con la realidad de la DHJ.

5.4-PROGRAMACIÓN DE RIEGO Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Con el fin de realizar un análisis más exhaustivo y una simulación más realista se introducen los datos de suelo para obtener una posible programación de riego, además de realizar un análisis de sensibilidad para ver como afecta cada tipo de suelo a los cultivos.

5.4.1- SUELOS ESTÁNDAR

Cada cultivo precisa de un tipo de suelo que se adapta más a sus características y le proporciona un entorno adecuado para su crecimiento. En el estudio se han propuesto cuatro suelos distintos, un suelo estándar para cada cultivo, con el fin de estudiar suelos distintos en los cultivos y compararlos.

Las características que precisa cada cultivo son las siguientes:

- Cítricos:
 - Suelos con buen drenaje y sin agua estancada.
 - Poroso y textura ligera a media.
 - Salinidad baja y PH medio
- Viña:
 - Suelo pobre (MO), suelto y con buen drenaje.
 - Sensible a salinidades altas y PH ácidos.
 - Suelos arenosos a arcillosos
- Trigo:
 - Suelos arcillosos retienen demasiada agua
 - Suelos arenosos requieren demasiado riego
 - El suelo debe ser suelto, con buen drenaje y PH medio
- Arroz:
 - Adaptable, preferible uno con buena retención de agua por el gran aporte que necesita.
 - Tolera bien la salinidad y PH neutro

De esta manera los suelos que mejor se adaptan a cada suelo y sus características (obtenidas de Soil Water Characteristics) son las siguientes:

Suelo	Franco-arenoso	Franco-arcilloso	Arcilloso	Franco-limoso
Arena	45	10	15	2
Arcilla	15	25	55	15
Limo	24,5	17,5	19	48
Grava	14	47	20	34
MO	1,5	0,5	1	1

Compactación	Densa	Suelta/ Normal	Normal	Suelta/ Normal
Resultados de Soil Water Characteristics				
ADT (mm/m)	100	130	110	180
TMI (mm/día)	130	60	23	120
AIS (% de ADT)	0	0	0	0
ADI (mm/m)	100	130	110	180

Tabla 13. Composición de suelos. Fuente: propia.

Para obtener los resultados de Soil Water Characteristics se introducen las características del suelo a estudiar (porcentaje de arena, arcilla, grava, compactación, etc.) elegidas en función de las recomendaciones generales de suelos para los cultivos.

5.4.2- PROGRAMACIÓN DE RIEGO Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN CÍTRICOS

Para la simulación de cítricos contamos con el clima de Valencia y el suelo franco arenoso. Con las hipótesis utilizadas en el estudio la programación del riego en cítricos observamos que la evapotranspiración de cultivo no varía, cosa que va a ocurrir en todos los cultivos ya que el suelo no influye en la evapotranspiración de cultivo.

Al ser el requerimiento de riego la diferencia entre la ETc y la precipitación efectiva interesa encontrar un suelo que aproveche lo mejor posible la precipitación siempre que sea adecuado para que el cultivo se desarrolle adecuadamente.

Para satisfacer estas necesidades de riego el cultivo obtiene el agua de la lluvia, del riego y del agua que ya se encuentra contenida en el suelo (en el estudio se plantea la hipótesis de que el suelo se encuentra en máxima capacidad en todas las simulaciones), por lo que la lámina neta de riego no será igual al requerimiento de riego, ya que una parte de esta el cultivo la obtiene del suelo. El requerimiento de riego será igual a la lámina neta de riego más el déficit de humedad en cosecha, que es la cantidad de agua que falta en el suelo con respecto a su máxima capacidad.

Parámetro	m ³ /ha*año
Etc	832
Precipitación efectiva	4501
Requerimiento de riego	3818
Lámina neta de riego	3502
Déficit de agua en cosecha	316

Tabla 14. Parámetros de riego en cítricos. Fuente: propia.

La programación se podría realizar con 4 riegos repartidos como se observa en la tabla inferior.

N.º riego	m³/ha*año	Fecha
1	872	10 mayo
2	887	24 junio
3	885	22 julio
4	858	20 agosto

Tabla 15. Programación de riego en cítricos. Fuente: propia.

El análisis de sensibilidad revela que los cambios en los requerimientos de riego por causa del suelo son mínimos, y dependen de como aproveche el suelo la precipitación. De esta manera el suelo que mejor aproveche la lluvia será el que menor riego requiera.

	Franco-arenoso	Franco-arcilloso	Arcilloso	Franco-limoso
Requerimiento de riego (mm)	381,8	379,5	395,2	378,8

Tabla 16. Análisis de sensibilidad en cítricos. Fuente: propia.

El análisis de sensibilidad también revela que el suelo influye principalmente en la programación de riego. El riego se realiza antes de alcanzar el agotamiento del suelo para que el cultivo siempre se encuentre en condiciones óptimas, por lo tanto, cuando se alcanza este nivel de agua en cada suelo será cuando se produzca el riego. La programación de riego con cada suelo serán las siguientes:

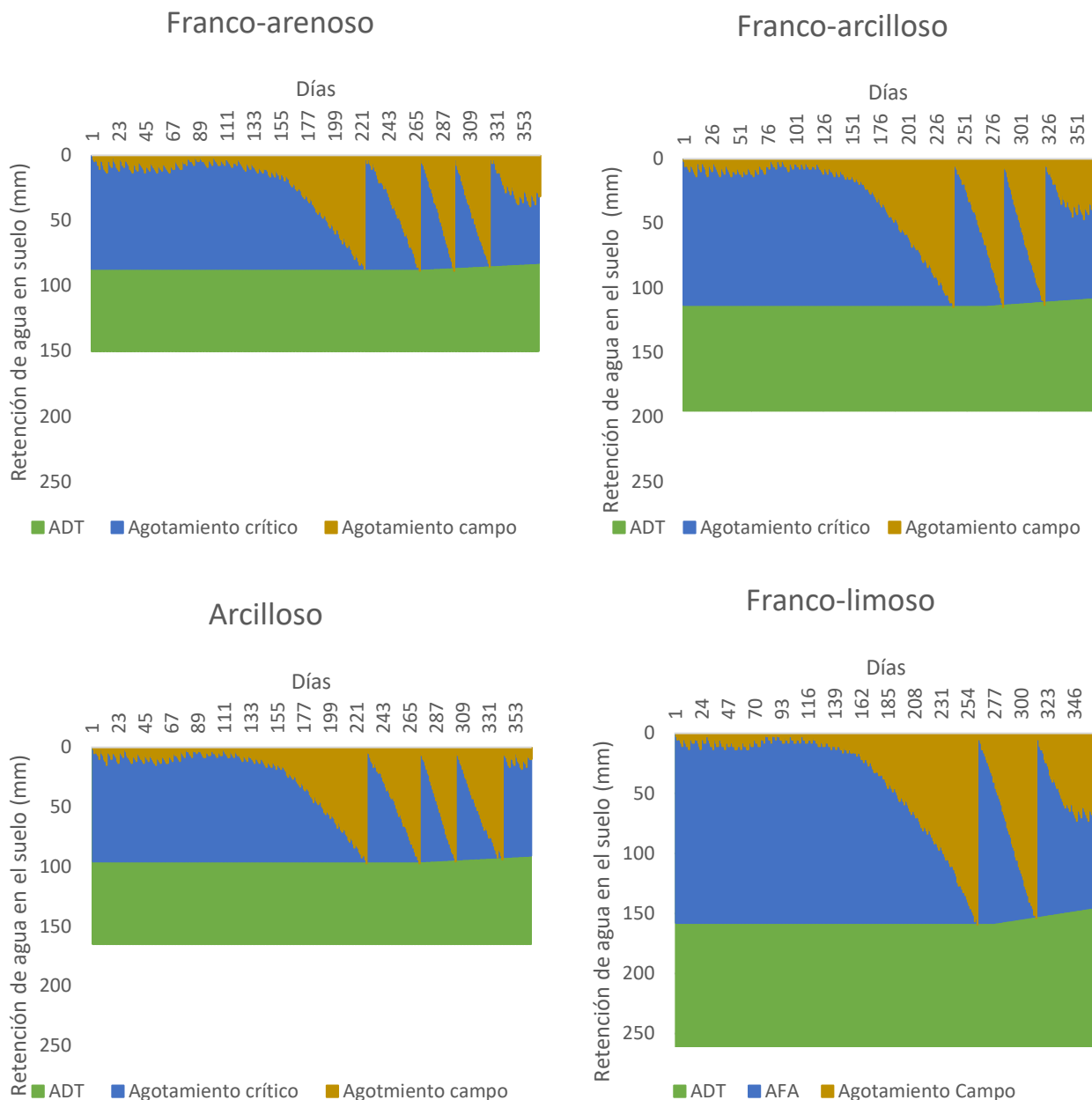


Figura 32. Evolución de suelos en cítricos. Fuente: propia.

El procedimiento de riego se ha detallado en la figura 25. Si el suelo lo permite puede ser interesante el uso de uno y otro suelo dependiendo de la programación más idónea para el riego. El suelo debe ser visto como un elemento interesante para la programación de riego, no como un elemento para maximizar el requerimiento de agua ya que los cambios en comparación a otras variables son insignificantes.

5.4.3- PROGRAMACIÓN DE RIEGO Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN VID

En la vid contamos con el clima de Valencia y el suelo franco-arcilloso. Todas las conclusiones extraídas de los cítricos se mantienen en este cultivo. Es importante remarcar que la vid tiene un periodo de latencia en el que también requiere cierta cantidad de riego, sin

embargo, esta se ha considerado nula por representar únicamente un 2% del riego que requiere el cultivo a lo largo del año, por lo que su periodo se supone más corto pese a ser un cultivo permanente. Teniendo esto en cuenta los parámetros de riego de la vid son los siguientes.

Parámetro	m ³ /ha*año
Etc	4146
Precipitación efectiva	2571
Requerimiento de riego	1575
Lámina neta de riego	1465
Déficit de agua en cosecha	111

Tabla 17. Parámetros de riego de la vid. Fuente: propia.

Estas necesidades hídricas pueden ser satisfechas con un solo riego, sin embargo, en la práctica es común realizar más riegos.

N.º riego	m ³ /ha*año	Fecha
1	1465	31 julio

Tabla 18. Programación de riego en vid. Fuente: propia.

En la simulación de la vid se ve como suelo que teóricamente son dispares tienen comportamientos similares y, de nuevo, los cambios en general son mínimos en cuanto al requerimiento de agua.

	Franco-arenoso	Franco-arcilloso	Arcilloso	Franco-limoso
Requerimiento de riego (mm)	157,5	157,5	157,5	197,4

Tabla 19. Análisis de sensibilidad en vid. Fuente: propia.

La simulación refleja como el suelo franco-arenoso y el arcilloso requieren del mismo riego. Esto se debe a que mientras un suelo pierde más agua por percolación profunda (franco-arenoso), el otro lo pierde por escorrentía superficial (arcilloso). El suelo franco-arcilloso tiene un comportamiento medio entre los anteriores y también se llega al mismo resultado de riego.

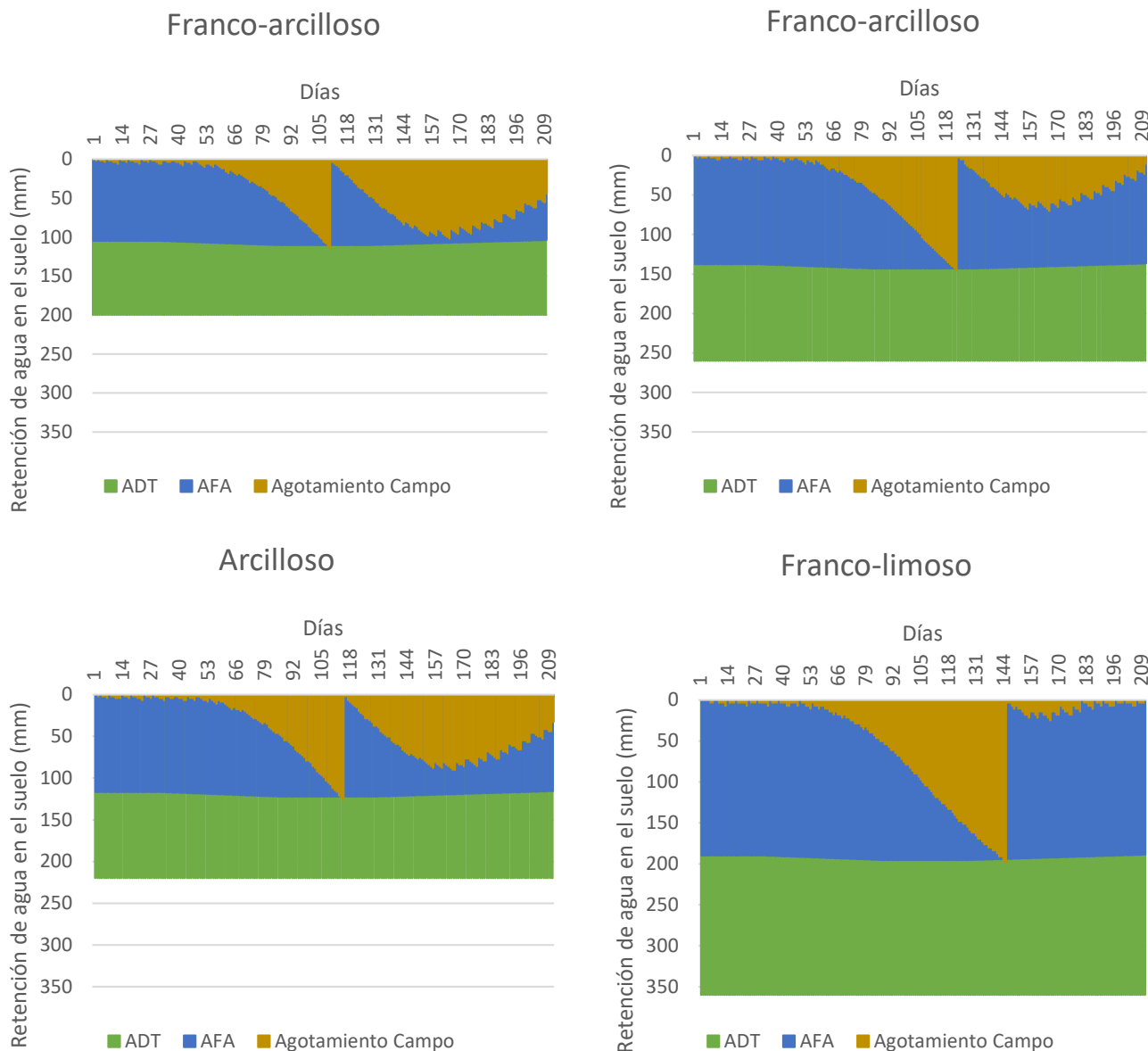


Figura 33. Evolución de suelos en vid. Fuente: propia.

5.4.4- PROGRAMACIÓN DE RIEGO Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN TRIGO

El trigo se cultiva principalmente en Teruel, por lo que para adaptar mejor la simulación se toman los datos meteorológicos de Teruel junto con un suelo franco-limoso. Las mismas conclusiones que en los anteriores cultivos se extraen en el trigo.

Parámetro	m ³ /ha*año
Etc	3463
Precipitación efectiva	1762
Requerimiento de riego	1702
Lámina neta de riego	1595
Déficit de agua en cosecha	107

Tabla 20. Parámetros de riego en trigo. Fuente: propia.

En el caso del trigo también es posible realizar un solo riego, sin embargo, en la práctica es común dividirlo en tres o cuatro riegos.

N.º riego	m³/ha*año	Fecha
1	1595	20 abril

Tabla 21. Programación de riego en trigo. Fuente: propia.

El caso del trigo es bastante similar al de los cítricos, sin grandes diferencia entre los suelos, el indicador más importante para la elección de un suelo u otro será la calidad de la cosecha. Tal y como se ve en el análisis de sensibilidad y en la evolución de suelos las diferencias entre los suelos son pequeñas.

	Franco-arenoso	Franco-arcilloso	Arcilloso	Franco-limoso
Requerimiento de riego (mm)	175,7	170,8	173,1	170,2

Tabla 22. Análisis de sensibilidad en trigo. Fuente: propia.

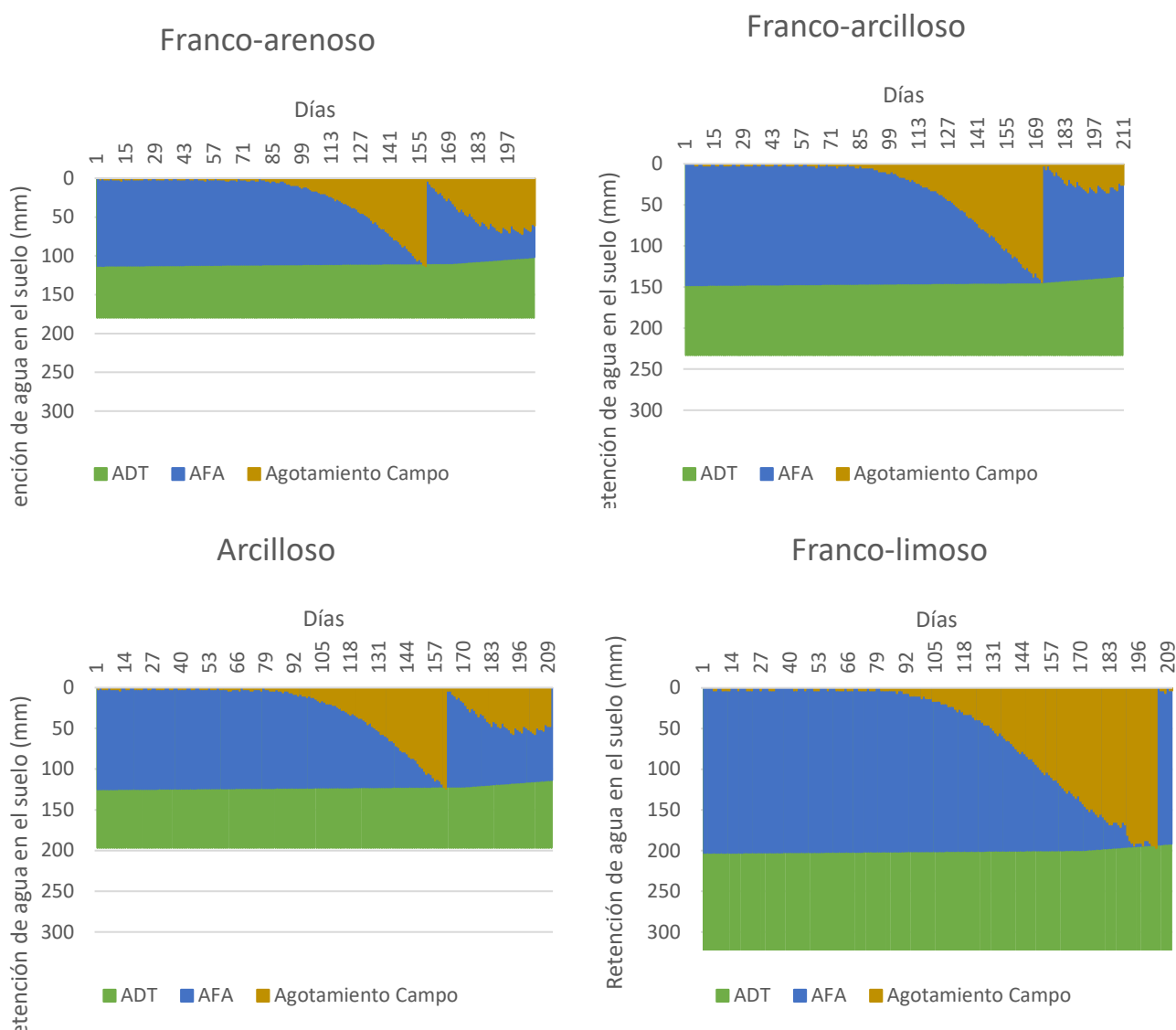


Tabla 23. Evolución de suelos en trigo. Fuente: propia.

5.4.5 PROGRAMACIÓN DE RIEGO Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN ARROZ

El último cultivo estudiado es el arroz, cuyo clima es el de Valencia y suelo el arcilloso. Este cultivo es completamente distinto a los demás debido a que es un cultivo inundado, por lo tanto, se hace necesario una pequeña explicación de las particularidades de este cultivo.

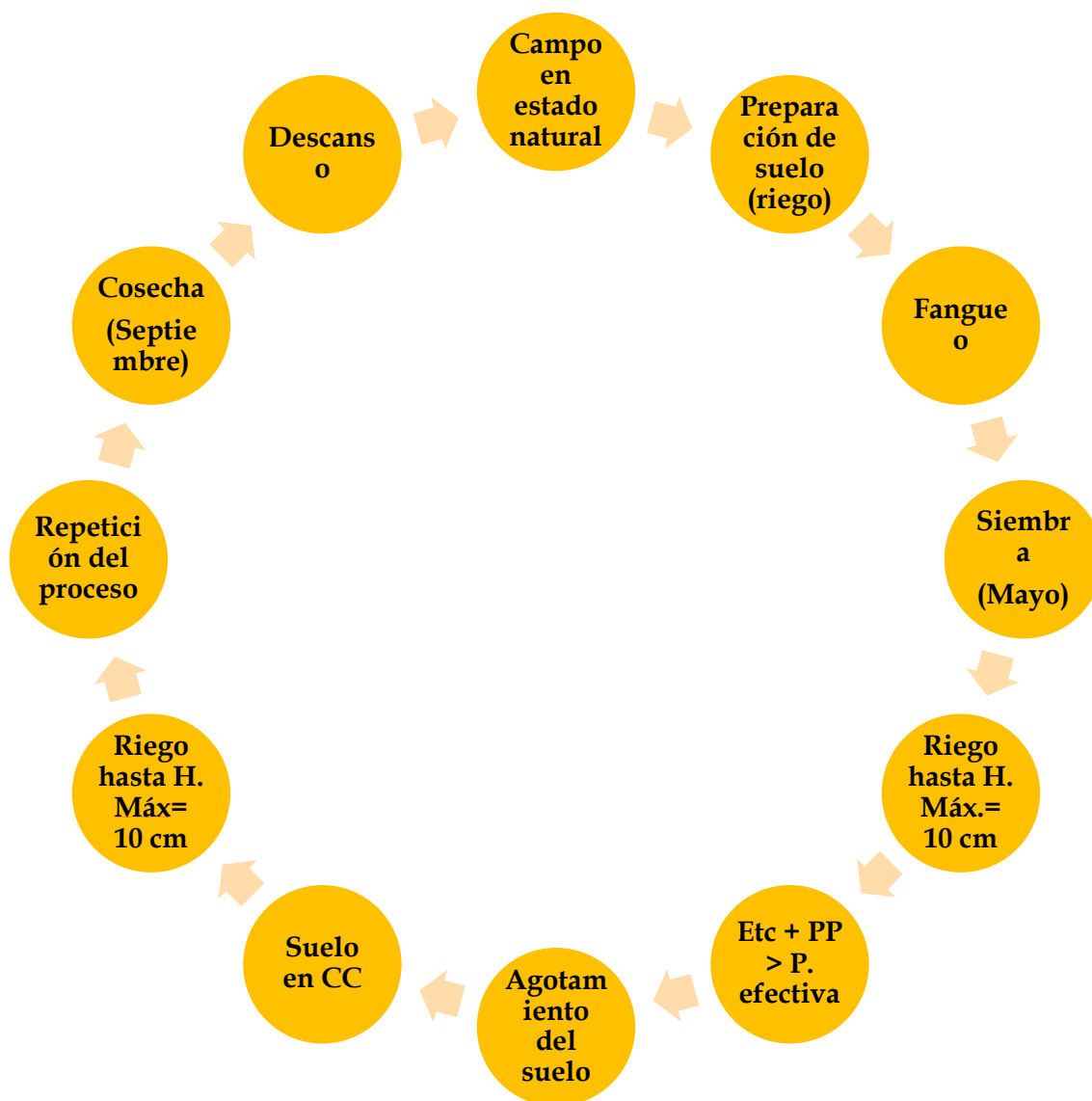


Figura 34. Ciclo anual del arroz. Fuente: propia.

El arroz es un cultivo muy tradicional en Valencia y tiene un ciclo anual muy característico. Previamente a la siembra el suelo requiere de un gran laboreo, se realizan varios riegos y cuando el suelo se encuentra inundado se procede al fangueo del suelo, que es un batido del suelo inundado para su aireación y mezcla con los restos de paja y la siega. La siembra en Valencia es directa, y una vez sembrado, el cultivo se mantiene completamente inundado bajo una lámina de agua de 10 cm. En este caso, el riego se realiza cuando el suelo se encuentra en su capacidad de campo para volver a inundar el cultivo.

El hecho de que el arroz sea un cultivo inundado hace que se tengan que introducir una nueva serie de datos de suelo que ya fueron explicados en el apartado 3.4. Los datos son los que se ven en la tabla inferior.

Parámetro	Valor
Porosidad drenable (%)	8
Agotamiento crítico para grietas del fangueo (fracción)	0,1
Tasa máxima de percolación tras fangueo (mm/día)	2,8
Disponibilidad de agua a la siembra (como % de agotamiento)	0
Altura máxima de lámina de agua (mm)	100

Tabla 24. Parámetros nuevos de suelo en arroz. Fuente: propia.

Parámetro	m ³ /ha*año
Etc	6551
Precipitación efectiva	1132
Requerimiento de riego	5419
Lámina neta de riego	10620
Déficit de agua en cosecha	107

Tabla 25. Parámetros de riego en arroz. Fuente: propia.

En el caso del arroz la lámina de riego resulta algo superior a la dotación que ofrece el PHJ para este cultivo. Esto es debido a la tasa de percolación tras fangueo del suelo escogido, que es de 2,8 mm/día, este valor suele variar entre 1 y 3 mm/día, se encuentra dentro del rango pero al ser algo alto las pérdidas por percolación también son algo altas para un cultivo como el arroz. El riego se podría realizar de la siguiente manera.

N.º riego	m ³ /ha*año	Fecha
1	1465	31 julio
1	334	11 abril
2	820	26 abril
3	509	30 abril
4	958	8 mayo
5	1025	24 mayo
6	974	7 junio
7	1024	20 junio
8	996	2 Julio
9	972	13 Julio
10	983	24 Julio
11	1024	5 agosto
12	1014	18 agosto

Tabla 26. Programación de riego en arroz. Fuente: propia.

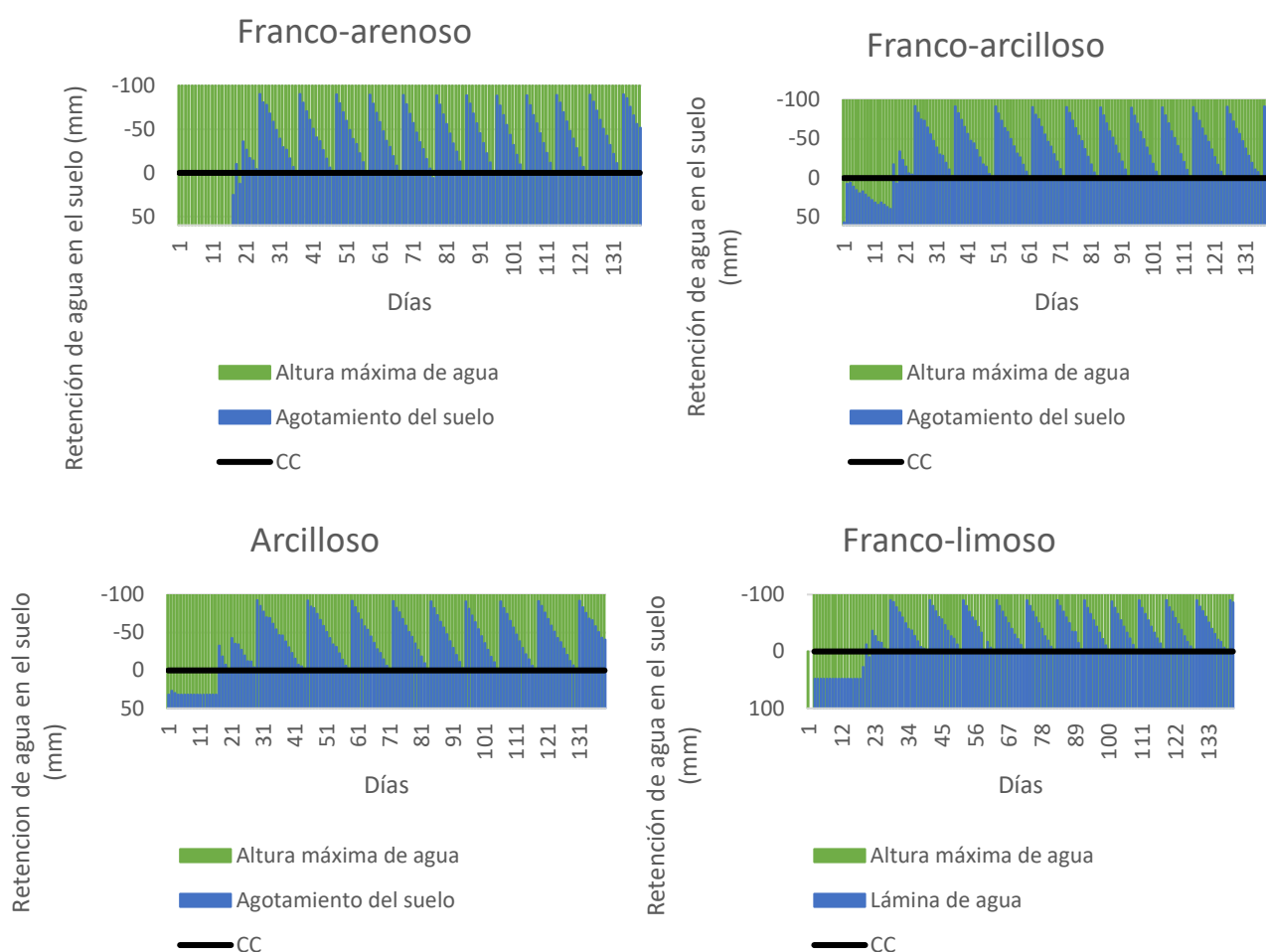
En el caso del arroz el suelo sí que influye de gran manera en la lámina de riego, ya que, como es un cultivo inundado, las pérdidas principales de agua se producen por percolación profunda, por lo tanto, habrá que reducir estas pérdidas al máximo posible.

		Franco-arenoso	Franco-arcilloso	Arcilloso	Franco-limoso
Pérdidas por percolación profunda (mm)		1643,4	588,1	410,3	1446,5

Tabla 27. Análisis de sensibilidad en arroz. Fuente: propia.

El análisis refleja como para controlar este aspecto se hace necesario disponer de un suelo arcilloso, suelos no arcillosos que retengan poca agua, como los arenosos pueden aumentar las pérdidas de agua en más de 4 veces un suelo arcilloso, aumentando drásticamente la lámina de riego.

El procedimiento de riego en arroz es distinto a los demás ya que no se espera al agotamiento del suelo, sino que cuando el campo deja de estar inundado y se acerca a la capacidad de campo se efectúa el riego de nuevo hasta una lámina de agua de 100mm. En la evolución de suelos se observa como el número de riegos es mucho mayor a los demás y aumenta si el suelo tiene grandes pérdidas.



35. Evolución de suelos en arroz. Fuente: propia.

Figura

5.5- DATOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Para la obtención de los datos climáticos futuros se recurre a la herramienta online de Adapteca: visor de escenarios de cambio climático. En este estudio se calculan dos escenarios futuros, el primer escenario es el futuro cercano que comprende el periodo de 2020 a 2050, mientras que el segundo escenario es el futuro lejano que comprende el periodo de 2070 a 2100. Ambos escenarios se realizan con la simulación RCP 8.5.

Para conseguir estos datos climáticos se extraen los datos de anomalías que ofrece el visor de Adapteca y se añaden al clima actual, tanto para las temperaturas máximas y mínimas como para los datos de precipitación, las variables restantes de humedad, viento e insolación se suponen invariables. De esta manera se obtienen los valores que aparecen en las siguientes tablas.

Mes	T. mínima anomalía (°C)	T. máxima anomalía (°C)	Precipitación anomalía (mm/mes)	T. mínima (°C)	T. máxima (°C)	Precipitación (mm/mes)
Enero	1,14	1,25	-2,44	8,24	17,65	34,56
Febrero	1,04	1,30	-4,05	8,84	18,40	31,95
Marzo	0,81	0,95	-2,12	10,41	20,25	30,88
Abril	1,05	1,41	-1,89	12,55	22,21	36,11
Mayo	1,25	1,46	-6,31	15,85	24,86	32,69
Junio	1,47	1,77	-4,38	20,07	28,87	17,62
Julio	1,65	1,83	1,24	23,15	31,53	9,24
Agosto	1,60	1,73	-0,06	23,50	31,93	19,94
Septiembre	1,82	1,97	-4,34	20,92	29,87	65,66
Octubre	1,37	1,55	2,75	16,57	25,85	79,75
Noviembre	1,43	1,55	0,60	12,23	21,35	47,60
Diciembre	1,29	1,31	1,44	9,39	18,31	49,44
			TOTAL			TOTAL
Promedio	1,33	1,51	-19,56	15,14	24,26	455,3

Tabla 28. Datos climáticos de Valencia en el futuro cercano bajo el escenario RCP 8.5. Fuente: Adapteca.

Mes	T. mínima anomalía (°C)	T. máxima anomalía (°C)	Precipitación anomalía (mm/mes)	T. mínima (°C)	T. máxima (°C)	Precipitación (mm/mes)
Enero	3,12	3,35	-2,87	10,2	19,7	34,13
Febrero	3,16	3,55	-2,98	10,9	20,6	33,02
Marzo	2,83	3,30	-3,94	12,4	22,6	29,06
Abril	2,95	3,63	-13,89	14,4	24,4	24,11
Mayo	3,44	4,06	-16,30	18	27,4	22,70
Junio	3,86	4,62	-12,02	22,4	31,7	9,98
Julio	3,97	4,88	-3,64	25,4	34,5	4,36
Agosto	3,96	4,66	-6,72	25,8	34,8	13,28
Septiembre	4,31	4,69	-8,36	23,4	32,5	61,64
Octubre	3,61	4,09	-11,09	18,8	28,4	65,91
Noviembre	3,71	3,94	4,41	14,5	23,7	51,41
Diciembre	3,68	3,62	-6,17	11,7	20,6	41,83
			TOTAL			TOTAL
Promedio	3,55	4,03	-83,56	17,3	26,7	391,44

Tabla 29. Datos climáticos de Valencia en el futuro lejano bajo el escenario RCP 8.5. Fuente: Adaptecceca.

Mes	T. mínima anomalía (°C)	T. máxima anomalía (°C)	Precipitación anomalía (mm/mes)	T. mínima (°C)	T. máxima (°C)	Precipitación (mm/mes)
Enero	1,33	1,40	1,18	-0,97	11,10	20,18
Febrero	1,17	1,33	-0,48	-0,43	13,43	14,52
Marzo	0,83	0,90	0,90	1,63	16,60	21,90
Abril	1,06	1,46	-1,99	3,86	18,46	37,01
Mayo	1,11	1,54	-7,32	7,91	23,34	49,68
Junio	1,33	1,83	-7,09	11,83	28,83	38,91
Julio	1,49	1,97	-0,84	14,49	33,27	25,16
Agosto	1,41	1,75	-2,21	14,61	32,45	31,79
Septiembre	1,81	2,20	-4,57	11,71	27,50	31,43
Octubre	1,43	1,68	0,50	7,43	20,98	47,50
Noviembre	1,50	1,61	0,06	2,40	15,01	22,06
Diciembre	1,40	1,36	2,89	0,00	11,26	21,89
			TOTAL			TOTAL
Promedio	1,32	1,59	-18,97	6,20	21,02	362,03

Tabla 30. Datos climáticos de Teruel en el futuro cercano bajo el escenario RCP 8.5. Fuente: propia.

Mes	T. mínima anomalía (°C)	T. máxima anomalía (°C)	Precipitación anomalía (mm/día)	T. mínima (°C)	T. máxima (°C)	Precipitación (mm/mes)
Enero	3,36	3,72	1,39	1,06	13,42	20,39
Febrero	3,36	3,56	0,52	1,76	15,66	15,52
Marzo	2,91	3,26	0,23	3,71	18,96	21,23
Abril	2,81	3,86	-11,43	5,61	20,86	27,57
Mayo	3,16	4,51	-20,00	9,96	26,31	37,00
Junio	3,72	5,02	-17,40	14,22	32,02	28,60
Julio	3,95	5,34	-9,06	16,95	36,64	16,94
Agosto	3,99	4,99	-9,88	17,19	35,69	24,12
Septiembre	4,47	5,41	-6,90	14,37	30,71	29,10
Octubre	3,78	4,17	-7,30	9,78	23,47	39,70

Noviembre	3,93	4,18	1,86	4,83	17,58	23,86
Diciembre	3,91	3,98	-1,16	2,51	13,88	17,84
			TOTAL			TOTAL
Promedio	3,61	4,33	-79,13	8,50	23,77	301,87

Tabla 31. Datos climáticos de Teruel en el futuro lejano bajo el escenario RCP 8.5. Fuente: propia.

	Variable	CLIMA ACTUAL (1980-2010)	FUTURO CERCANO (2020- 2050)	FUTURO LEJANO (2070-2100)
Valencia	T. MÍN (media anual, °C)	13,8	15,1 (+1,3)	17,3 (+3,5)
	T. MÁX (media anual, °C)	22,8	24,3 (+1,5)	26,7 (+3,9)
	PRECIPITACIÓN (anual, mm)	475	455,3 (-19,7)	391,4 (-83,6)
Teruel	T. MÍN (media anual, °C)	4,9	6,2 (+1,3)	8,5 (+3,6)
	T. MÁX (media anual, °C)	19,4	21 (+1,6)	23,8 (+4,4)
	PRECIPITACIÓN (anual, mm)	378	362 (-16)	301,9 (-76,1)

Tabla 32. Evolución de los datos meteorológicos. Fuente: propia.

En las tablas se refleja como la temperatura aumentará en todos los casos, tanto en Valencia como en Teruel. Las precipitaciones, pese a esperarse que en algunos meses aumenten, tienden a decaer en gran cantidad. Los meses de verano serán los más afectados y los invernales los que menos, tanto en temperaturas como en precipitaciones.

5.6- REQUERIMIENTOS FUTUROS DE AGUA

Los resultados muestran que en el futuro las mayores temperaturas junto con un descenso en las precipitaciones provocarán un gran aumento en las necesidades de riego de todos los cultivos. Las tablas de resultados constan de una primera fila que expone los resultados que ofrece el CEDEX (CEDEX, 2012) para el aumento de la ETc (en su estudio “Efectos potenciales del cambio climático en las demandas de agua y estrategias de adaptación”) que se compara con el aumento de la ETc obtenido en el presente estudio. Las siguientes filas muestran los resultados que se obtienen para la precipitación efectiva y el requerimiento final de riego.

5.6.1- CÍTRICOS



Figura 36. Plantación de naranjas en Sueca. Fuente: propia.

Los cítricos verán un aumento notable en sus requerimientos de riego, especialmente en los meses estivales, ya que en estos meses la temperatura aumentará más que en los meses invernales y las precipitaciones descenderán más, propiciando de esta manera un aumento en la ETc y un descenso de la precipitación efectiva mayor en verano que en invierno.

Al ser un cultivo permanente, el aumento neto del riego es el mayor de todos los cultivos estudiados, siendo su aumento de más de 1700 m³/ha*año.

Variable	CLIMA ACTUAL (1980-2010)	FUTURO CERCANO (2020-2050)	FUTURO LEJANO (2070-2100)
ETc CEDEX. 2012 (mm)	-	De +1% a +13%	De +5% a +25%
ETc (mm)	834,5	863,7 (+3,5%)	960,6 (+15,1%)
Precipitación efectiva (mm)	438,2	420,9 (-4,1%)	364,3 (-16,9%)
Riego (mm)	402,3	497,1 (+23,5%)	572,6 (+42,3%)
Riego (m³/ha*año)	4023	4971	5726

Tabla 33. Requerimientos futuros de agua en cítricos. Fuente: propia.

Los resultados se encuentran en línea con lo ofrecido por el CEDEX, en ambos periodos la ETc se encuentra dentro del rango, en el futuro cercano por la franja inferior y en el lejano por la superior, esto va a ser recurrente en todas las simulaciones posteriores ya que el periodo lejano en el estudio del CEDEX (CEDEX, 2012) propone un futuro cercano comprendido entre 2040 y 2070 y un periodo lejano entre 2070 y 2100.

5.6.2- VID



Figura 37. Cultivo de vid en Requena. Fuente: propia.

La vid sufrirá el mayor aumento en cuanto al requerimiento de riego. Como se ha explicado anteriormente, los meses estivales se verán más afectados tanto en el aumento de la temperatura como en el descenso de la precipitación, al ser la vid un cultivo cuyo desarrollo se da en verano, su ciclo coincide con los meses más severos para el desarrollo de los cultivos. De esta manera, el requerimiento de riego de la vid aumentará casi hasta un 50% más de lo requerido actualmente.

Variable	CLIMA ACTUAL (1980-2010)	FUTURO CERCANO (2020-2050)	FUTURO LEJANO (2070-2100)
ETc CEDEX, 2012 (mm)	-	De 0% a +12%	De +2% a +15%
ETc (mm)	415,8	446,9 (+7,5%)	484,6 (+16,5%)
Precipitación efectiva (mm)	242,9	231 (-5%)	180 (-25,9%)

Riego (mm)	211,4	248,4 (+17,5%)	312,9 (+48%)
Riego (m³/ha*año)	2114	2484	3129

Tabla 34. Requerimientos futuros de agua en vid. Fuente: propia.

Los resultados se encuentran dentro del rango en el futuro cercano y exceden ligeramente el rango superior en el futuro lejano. Probablemente debido al ciclo en el que se desarrolla la vid, que al coincidir con los meses estivales, meses más castigados por el cambio climático, eleva su requerimiento de agua en gran cantidad.

5.6.3- TRIGO



Figura 38. Cultivo de trigo. Fuente: BASF.

Al contrario que la vid, cuyo ciclo se desarrolla en verano, el trigo es un tipo de cultivo que se incluye en los llamados cereales de invierno. Este tipo de cultivos suelen ser sembrados entre octubre y noviembre y cosechados en los meses de primavera, por lo tanto su ciclo no coincide con los meses estivales. De ello se deduce que los cultivos de invierno serán los menos afectados en el futuro pese a que el aumento en las necesidades hídricas sea también notable.

Variable	CLIMA ACTUAL (1980-2010)	FUTURO CERCANO (2020-2050)	FUTURO LEJANO (2070-2100)
ETc CEDEX, 2012 (mm)	No se encuentra en el estudio		
ETc (mm)	347,8	364,2 (+4,7%)	397,6 (+14,3%)
Precipitación efectiva (mm)	178,3	174,8 (-2%)	154,9 (-15,1%)
Riego (mm)	181,9	200,5 (+10,2%)	249 (+36,9)
Riego (m³/ha*año)	1819	2005	2490

Tabla 35. Requerimientos de agua en trigo. Fuente: propia.

El trigo no se encuentra en el estudio del CEDEX (CEDEX, 2012). Tampoco se encuentra ningún cereal de invierno, los cuales tienen características semejantes, por lo que no es posible realizar una comparación adecuada.

5.6.4 ARROZ



Figura 39. Campos de arroz en Sueca. Fuente: propia.

El arroz será el cultivo menos afectado de todos, esto se debe a su particularidad de ser un cultivo inundado. El mayor requerimiento de agua en el arroz proviene de la necesidad de inundar el campo para el desarrollo del cultivo. Esto provoca que el cultivo no sea el mayor demandante de agua, sino que las pérdidas de agua por percolación profunda sean las que caracterizan sus requerimientos hídricos, siendo este un factor que no varía con el cambio climático.

Variable	CLIMA ACTUAL (1980-2010)	FUTURO CERCANO (2020-2050)	FUTURO LEJANO (2070-2100)
ETc CEDEX, 2012 (mm)	-	De +2% a +5%	De +5% a +13%

ETc (mm)	741,6	782 (+5,4%)	838,9 (+13,1%)
Precipitación efectiva (mm)	106,6	96,9 (-10%)	62,2 (-41,7%)
Riego (mm)	798,5	848,8 (+6,3%)	948,6 (+18,8%)
Riego (m³/ha* año)	7985	8488	9486

Tabla 36. Requerimientos futuros de agua en arroz. Fuente: propia.

El arroz se adecúa bastante bien a los rangos superiores que ofrece el CEDEX (CEDEX, 2012) aunque en ambos excede ligeramente. Los resultados son satisfactorios.

5.7- COMPARACIÓN DE DEMANDAS ACTUALES CON FUTURAS

La dotación media anual de los cultivos estudiados en el estudio es de 3767,1 m³/ha*año, que se asemeja bastante a la dotación media de la DHJ, la cual se encuentra alrededor de los 3468 m³/ha*año. Si multiplicamos este valor por la superficie regada de dichos cultivos que es de 216.156 ha (representando el 57,7% de la superficie regada de la DHJ), podemos obtener la demanda neta que se ha estudiado en el presente trabajo que es de 814,26 hm³/año.

	Cítricos, vid, trigo y arroz	Total DHJ	% Estudiado
Dotación media (m³/ha*año)	3767,1	3468	-
Superficie regada (ha)	216.156	374.434	57,7
Demanda neta (hm³/año)	814,26	1298,52	62,8

Tabla 37. Alcance del estudio. Fuente: propia.

Debido a la cercanía entre la dotación media del estudio y la total de la DHJ, se concluye que el estudio es representativo del conjunto y se calculan los cambios futuros suponiendo el mismo cambio en la totalidad de la demarcación que en los cultivos estudiados. Para obtener las dotaciones medias futuras se calcula la media ponderada de las dotaciones futuras obtenidas en el apartado anterior y con esta nueva dotación media se calcula la demanda neta en los distintos escenarios.

	Actual	Futuro cercano (2020-2050)	Futuro lejano (2070-2100)
Dotación media (m³/ha*año)	3468	4156 (+688)	4827 (+1360)
Demanda neta (hm³/año)	1298	1556 (+258)	1808 (+510)

Tabla 38. Resultados del estudio. Fuente: propia.

Los resultados son realmente impactantes. La dotación neta aumenta un 20% en el escenario cercano y casi un 40% en el escenario lejano, esto supone un aumento de 258 hm³/año en el escenario cercano y de 510 hm³/año en el escenario lejano. Debido al estrés hídrico en el que se encuentra la cuenca, esto podría no ser sostenible y provocar una demanda mayor que la oferta, provocando una crisis de agua ya que la nueva demanda total de la DHJ (suponiendo que las demandas urbanas e industriales se mantuviesen) sería de 3354,94 hm³/año en el escenario cercano y de 3785,05 hm³/año en el escenario lejano. Es necesario recordar que el recurso renovable de la cuenca es de 3840 hm³/año, por lo que en un escenario como el escenario futuro se debería extraer la totalidad del recurso renovable para poder hacer frente a las demandas, siendo esto algo muy complicado ya que el recurso renovable no es fluyente en su totalidad.

Según el PHJ la demanda neta actual de la industria de la agricultura asciende a 1298 hm³/año, mientras que la demanda bruta es de 2296 hm³/año. Esto significa que la eficiencia actual es del 57% aproximadamente (PHJ, 2021c). Si se quiere mantener la demanda bruta constante en los escenarios futuros significa que debemos mejorar la eficiencia del conjunto de la demarcación, en el escenario cercano con una demanda de 1556 hm³/año se debería conseguir una eficiencia del 68%, mientras que en el escenario lejano con la demanda neta de 1808 hm³/año la eficiencia debería llegar al 78% para mantener la demanda bruta constante.

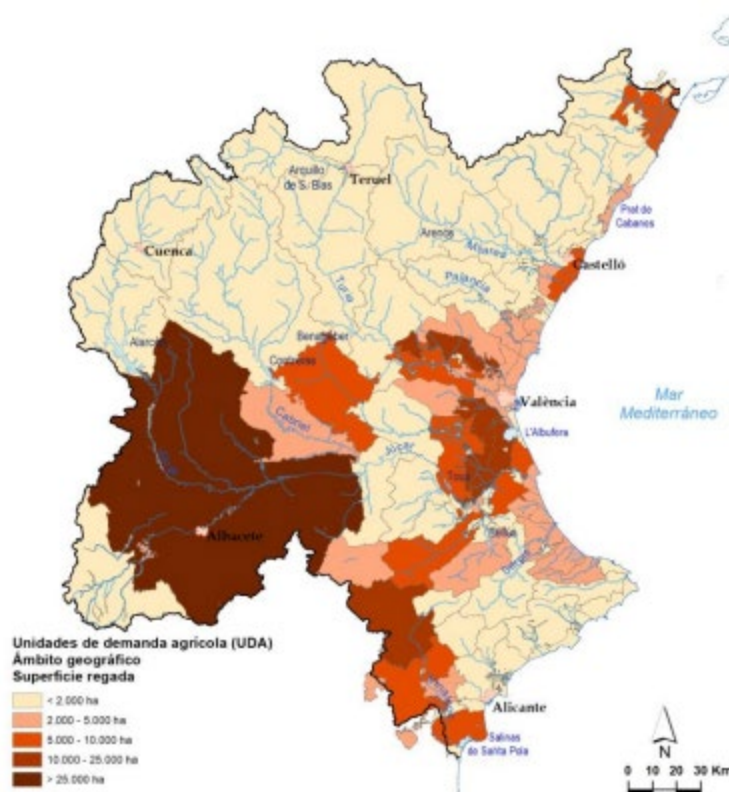


Figura 40. Superficie regada por UDA. Fuente: PHJ21.

Para hacer frente al ascenso en la demanda que se sufrirá en el futuro se puede actuar de dos maneras: aumentando el recurso disponible o mejorando las eficiencias. Para aumentar el recurso disponible se podrían mejorar las captaciones de agua por medio de más y mejores infraestructuras, aprovechando mejor el recurso renovable del que se dispone, el cual es de 3840 hm³/año, o también es posible la instalación de desaladoras que capten y traten el agua proveniente del mar. La otra opción es la mejora de la eficiencia global en el transporte y riego de los cultivos por medio de la gestión y control del agua, mejora de las infraestructuras y uso de nuevas tecnologías. Es interesante también aumentar el uso de agua reutilizada.

6- CONCLUSIONES

La cuenca hidrográfica del Júcar se encuentra en estrés hídrico ya que casi la totalidad del agua de la que se dispone es utilizada. Dentro de ella la agricultura supone cerca del 80% de la demanda de agua en la DHJ, siendo este un sector especialmente susceptible al cambio climático.

La literatura existente previa al presente estudio recoge ciertas conclusiones respecto al tema que se trata. Concluye que un incremento de más de 2 °C reducirá las cosechas a nivel mundial de manera generalizada, aunque algunos lugares puedan verse beneficiados, y aumentos superiores a 3°C supondrían descensos muy grandes en el rendimiento medio de los cultivos. Concretamente en Europa, las regiones del Norte verían aumentos en su producción con aumentos de temperatura inferiores a 2°C mientras que las regiones del sur sufrirán descensos en todos los escenarios.

El análisis de sensibilidad refleja que el suelo no influye en la evapotranspiración de cultivo (ETc), sino que el suelo influye principalmente en la programación de riego. En el arroz, el suelo también influye en la cantidad de agua necesaria ya que es un cultivo inundado y gran parte del agua se pierde por percolación profunda. El único suelo aceptable en el caso del arroz es un suelo arcilloso, ya que suelos no arcillosos poco compactados pueden perder más de cuatro veces el agua que pierde un suelo arcilloso bien compactado.

En el futuro se espera que el cambio climático provoque el aumento de las temperaturas y el descenso de las precipitaciones en España. Concretamente en el futuro cercano bajo el escenario RCP 8.5 la temperatura en Valencia aumentará 1,4°C de media y 1,5°C en Teruel y en el futuro lejano la temperatura en Valencia aumentará 3,7°C de media y 4°C en Teruel. En cuanto a las precipitaciones, en el futuro cercano bajo el escenario RCP 8.5 la precipitación descenderá un 4% en Valencia y Teruel, mientras que en el futuro lejano bajo el escenario RCP 8.5 la precipitación descenderá un 18% en Valencia y un 20% en Teruel. En general, la temperatura aumentará más en los meses de verano que en los de invierno, al igual que las precipitaciones que descenderán más durante los meses estivales.

Mayores temperaturas suponen mayor requerimiento de agua al elevar la evapotranspiración del cultivo. Este aumento de la temperatura unido a la bajada en las precipitaciones supondrá incrementos muy grandes en los riegos requeridos. Todos los cultivos estudiados verán incrementadas sus necesidades de riego en el futuro si la temperatura aumenta: los cítricos verán un aumento notable en sus necesidades de riego, especialmente en los meses estivales, llegando a aumentar su riego anual un 42% ; la vid será el cultivo más afectado ya que su ciclo de desarrollo sucede en verano, su riego anual ascenderá un 48%; los cereales de invierno serán los cultivos menos afectados debido a que su desarrollo se produce en la época invernal, el trigo concretamente precisará de un 37% extra de riego anual; el arroz

será el cultivo menos afectado ya que el principal consumo de agua en este cultivo es debido a las pérdidas por percolación profunda, factor que no varía y depende del suelo, y así su riego se verá incrementado un 19%.

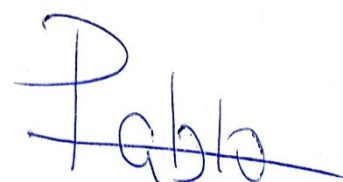
Las dotaciones se verán incrementadas en gran medida, los cítricos pasarán de 4023 m³/ha*año a 4971 m³/ha*año en el corto plazo y 5726 m³/ha*año en el largo plazo. La vid aumentará de 2114 m³/ha*año a 2484 m³/ha*año en el corto plazo y 3129 m³/ha*año en el largo plazo. El trigo pasará de 1819 m³/ha*año a 2005 m³/ha*año en el corto plazo y 2490 m³/ha*año en el largo plazo. Por último, el arroz subirá de 7985 m³/ha*año a 8488 m³/ha*año en el corto plazo y 9486 m³/ha*año en el largo plazo.

En estas condiciones de cambio climático, globalmente se estima que la dotación neta aumentará un 20% en el futuro cercano (2020-2050), siendo la demanda neta de 1556 hm³/año, y casi un 40% en el futuro lejano (2070-2100), llegando a una demanda neta de 1808 hm³/año. Para satisfacer las demandas futuras, es posible actuar desde el aumento del recurso disponible (por medio de mejorar las captaciones y el uso de desaladoras) o desde la mejora de la eficiencia global dentro de la demarcación. La eficiencia en la DHJ debería ascender del 57% actual a un 68% en el futuro cercano y un 78% en el futuro lejano. La mejora en las eficiencias se puede conseguir por medio de: reutilización del agua, mejora de las infraestructuras, adoptando nuevas tecnologías.

Si las eficiencias se mantuviesen constantes las demandas brutas en el corto plazo aumentarían hasta 3355 hm³/año y hasta 3785 hm³/año. Si el recurso disponible disminuyese en el futuro debido al cambio climático las demandas no podrían ser suplidas por falta de agua.

Es de vital importancia abordar este tema lo antes posible ya que las consecuencias de no actuar frente a la posible crisis climática podrían derivar en una crisis del agua donde las consecuencias pueden ser catastróficas. El agua tiene presencia en la gran mayoría de las actividades que realizamos y es de gran importancia para la salud y bienestar de las personas. Es, probablemente, el bien más preciado que exista. Por lo tanto, es necesario que la protejamos.

Pablo Vicent Pastor



7- REFERENCIAS

Adaptecca, 2021. *Visor de escenarios del cambio climático*. Disponible en: http://escenarios.adaptecca.es/#&model=EURO-CORDEX-EQM.average&variable=tasmax&scenario=rcp85&temporalFilter=year&layers=AREAS&period=MEDIUM_FUTURE&anomaly=RAW_VALUE

CE, 2020a. *Analysis of climate change impacts on EU agriculture by 2050 – JRC PESETA IV*. Disponible en: https://www.adaptecca.es/sites/default/files/documentos/pesetaiv_task_3_agriculture_final_report.pdf

CE, 2020b. *Economic analysis of selected climate impacts - JRC PESETA IV*. Disponible en: <https://op.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/0cc1b6b3-99ba-11ea-aac4-01aa75ed71a1/language-en>

CEDEX, 2012. *Efectos potenciales del cambio climático en las demandas de agua y estrategias de adaptación*. Disponible en: http://www.cedex.es/CEDEX/LANG_CASTELLANO/ORGANISMO/CENTYLAB/CEH/Documentos_Descargas/ImpactosCC_2012.htm

COAG, 2016. *Cambio climático y viñedo en España*. Disponible en: https://www.adaptecca.es/sites/default/files/documentos/cambio_climatico_y_vinedo_en_espana_2016.pdf

FAO, 1998. *Estudio FAO riego y drenaje N°56: Evapotranspiración del cultivo: guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Disponible en: <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>

PHJ, 2015. *Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Memoria – Anejo 3 usos y demandas de agua*. Disponible en: <https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Paginas/PHC-2022-2027-Plan-Hidrologico-cuenca.aspx>

PHJ, 2021a. *Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Memoria*. Disponible en: <https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Paginas/PHC-2022-2027-Plan-Hidrologico-cuenca.aspx>

PHJ, 2021b. *Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Memoria – Anejo 2: Inventario de recursos hídricos*. Disponible en: <https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Paginas/PHC-2022-2027-Plan-Hidrologico-cuenca.aspx>

PHJ, 2021c. *Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Memoria – Anejo 3: Usos y demandas de agua*. Disponible en: <https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Paginas/PHC-2022-2027-Plan-Hidrologico-cuenca.aspx>

ANEXO AL TRABAJO FIN DE GRADO

Relación del TFG “Estudio del impacto del cambio climático en las necesidades de agua de los principales cultivos de la Demarcación Hidrográfica del Júcar” con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.		X		
ODS 2. Hambre cero.	X			
ODS 3. Salud y bienestar.		X		
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.	X			
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.			X	
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.			X	
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.		X		
ODS 10. Reducción de las desigualdades.		X		
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.	X			
ODS 12. Producción y consumo responsables.	X			
ODS 13. Acción por el clima.	X			
ODS 14. Vida submarina.			X	
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.		X		
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

Descripción de la alineación del TFG con los ODS con un grado de relación más alto.

--

***Utilice tantas páginas como sea necesario.

El TFG habla sobre como el cambio climático afectará en las necesidades de agua de los principales cultivos (cítricos, arroz, trigo y viña) de la Demarcación Hidrográfica del Júcar y concluye que el aumento en las temperaturas y descenso en las precipitaciones que provocará el cambio climático en esta demarcación provocará un gran aumento del agua para riego que se utiliza actualmente en estos cultivos. Esto es algo preocupante ya que casi la totalidad del agua disponible en la demarcación es utilizada, por lo tanto, un aumento drástico en la demanda de agua podría provocar la escasez de este recurso esencial para la vida y el desarrollo de la sociedad.

El estudio se encuentra muy alineado con los ODS. Como su propio nombre indica, la sostenibilidad es un aspecto crucial en estos objetivos, aspecto muy presente en el estudio.

En primer lugar, el ODS 2 “Hambre cero” tiene un alto grado de relación. En el estudio se refleja como por consecuencia del cambio climático el agua en la Demarcación Hidrográfica del Júcar podría escasear hasta tal punto que no existiese la suficiente como para regar los cultivos, lo que provocaría unas cosechas insuficientes y de mala calidad derivando en una crisis tanto hídrica como alimenticia. El agua y los alimentos van unidos: si se quiere acabar con el hambre, se debe proteger el agua.

El ODS 6 es, obviamente, otro objetivo de gran relación con el estudio. “Garantizar la disponibilidad del agua y su gestión sostenible y saneamiento para todos” se encuentra en la misma línea que las conclusiones obtenidas del estudio. La escasez de agua afecta a más del 40% de la población y se prevé que este porcentaje aumente, por consiguiente, es indispensable una gestión sostenible del agua para garantizar la disponibilidad de este recurso en todo momento. El agua es el recurso más preciado del que se dispone y en muchas ocasiones se malgasta, por lo tanto, se hace indispensable una correcta gestión de este recurso.

La palabra gestión va unida al término “sostenible”. Una ciudad sostenible es aquella que es compatible con los recursos que dispone. Se ha demostrado que en la DHJ se utiliza casi la totalidad del agua de la que se dispone y que en un futuro es posible que exista un déficit de agua, por lo tanto, hay diferentes estrategias que debemos implementar para que esto no suceda, es por ello por lo que el ODS 11 “Ciudades y comunidades sostenibles” también tiene un grado de relación alto con el estudio al igual que el ODS 12 “Producción y consumo responsables”.

Por último, el ODS 13 “Acción por el clima” también está estrechamente coordinado con el estudio. La ONU dice en su informe que “el 2019 fue el año más caluroso de todos y marcó el fin de la década más calurosa jamás registrada. Los niveles de dióxido de carbono (CO2) y otros

gases de efecto invernadero aumentaron hasta niveles récord en 2019". En el estudio se refleja como el aumento de concentración de gases de efecto invernadero provocará un aumento en las temperaturas y una redistribución en los patrones de lluvia que tendrá unas consecuencias nefastas sobre todos los seres vivos. El alto grado de relación del estudio con este ODS se entiende cuando leemos el primero de los datos destacables que propone la ONU en este ODS: "Entre 1880 y 2012, la temperatura media mundial aumentó 0,85 grados centígrados. Esto quiere decir que por cada grado que aumenta la temperatura, la producción de cereales se reduce un 5% aproximadamente. Se ha producido una reducción significativa en la producción de maíz, trigo y otros cultivos importantes, de 40 megatonnes anuales a nivel mundial entre 1981 y 2002 debido a un clima más cálido".

Para evitar esta crisis del agua se proponen una serie de medidas que también se encuentran en línea con lo propuesto por la ONU. Es posible actuar desde el aumento del recurso disponible (por medio de mejorar las captaciones y el uso de desaladoras) o desde la mejora de la eficiencia global dentro de la demarcación (se estima que para satisfacer las demandas futuras la eficiencia debería aumentar del 57% actual al 68% en el corto plazo y al 78% en el largo plazo). Sin embargo, estas medidas tienen cierto límite ya que el agua es un recurso limitado, es por ello que el objetivo principal debería ser la correcta gestión del agua siendo responsables con el consumo y llevando un estilo de vida sostenible que se adapte al mundo en el que vivimos.