

Trabajo Fin de Máster

PROPOSTA METODOLÒGICA PER A ESTIMAR LES NECESSITATS HÍDRIQUES DE REG EN LA PLANIFICACIÓ HIDROLÒGICA: APLICACIÓ A LA DEMARCACIÓ HIDROGRÀFICA DEL XÚQUER

Intensificación:

ANÁLISIS DE SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS

Autor:

MIQUEL ÀNGEL MARTÍNEZ MEDINA

Tutor:

DR. ABEL SOLERA SOLERA

Cotutor/es:

DR. TEODORO ESTRELA MONREAL

ARÁNZAZU FIDALGO PELARDA

JUNY, 2021



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título del TFM en español: PROPUESTA METODOLÓGICA PARA ESTIMAR LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE RIEGO EN LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA: APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR

Título del TFM en inglés: METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR ESTIMATING IRRIGATION WATER NEEDS IN HYDROLOGICAL PLANNING: APPLICATION IN THE XÚQUER RIVER BASIN DISTRICT

Título del TFM en Valenciano: PROPOSTA METODOLÒGICA PER A ESTIMAR LES NECESSITATS HÍDRIQUES DE REG EN LA PLANIFICACIÓ HIDROLÒGICA: APLICACIÓ A LA DEMARCACIÓ HIDROGRÀFICA DEL XÚQUER

Alumno: MIQUEL ÀNGEL MARTÍNEZ MEDINA

Tutor: DR. ABEL SOLERA SOLERA

Cotutor/es:

DR. TEODORO ESTRELA MONREAL

ARÁNZAZU FIDALGO PELARDA

Director experimental:

Fecha de Lectura: JUNIO, 2021

Resumen

En español

La agricultura es la actividad humana que mayor cantidad de agua necesita. De hecho, en la Demarcación Hidrográfica del Júcar representa, aproximadamente, un 80% del consumo total del agua empleada en los usos consuntivos. La cantidad de agua usada por el sector agrícola depende, por un lado, de la superficie total cultivada y, por otro, del cultivo que se desarrolle, puesto que cada cultivo tiene unas necesidades hídricas específicas. Aun así, estas necesidades hídricas del cultivo presentan una destacable variabilidad tanto espacial como temporal causadas por la variabilidad climatológica territorial y por la variabilidad meteorológica temporal.

En la planificación hidrológica, las necesidades hídricas de riego intervienen a través de un doble enfoque. Un primer enfoque, descriptivo, puesto que un conocimiento preciso de las necesidades hídricas de riego de los cultivos redundaría en una estimación cuidadosa del uso del agua en la agricultura y, por lo tanto, en una mejor evaluación de las presiones sobre las masas de agua. Y un segundo enfoque, normativo, puesto que el Reglamento del dominio público hidráulico establece que, a la hora de tramitar una concesión administrativa que autorice el uso privativo de recursos hídricos, hay que tener en cuenta las dotaciones de referencia que vienen establecidas en la parte normativa del plan hidrológico.

El vigente Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar fija un conjunto de dotaciones normativas a partir de estudios básicos desarrollados por el anterior Ministerio de Medio Ambiente y Medio

Rural y Marino y de las que propone la Instrucción de planificación hidrológica. Este conjunto de dotaciones, organizado en 25 grupos de cultivos en 63 zonas agrarias, corresponde, en un buen número de casos, al valor medio del rango propuesto en la Instrucción de Planificación Hidrológica y sólo en aquellas zonas agrarias donde un determinado grupo de cultivos tiene una presencia significativa, se establece un valor específico.

A pesar de que a efectos normativos la desagregación espacial y el número de grupos considerados son suficientes, no resulta este nivel de detalle del todo adecuado a la hora de estimar los usos de agua para agricultura a escala de demarcación hidrográfica dado que se prescinde de la variación temporal de las necesidades hídricas de riego. Además, si bien se examinan los grupos de cultivos considerados, se incluye en el Plan hidrológico grupos para cultivos que actualmente no se encuentran presentes en la Demarcación o que tienen una presencia testimonial.

El objetivo del trabajo ha sido desarrollar una formulación, a partir de los métodos propuestos a la Guía 56 de la FAO, que permitiera estimar las necesidades hídricas de riego a escala de demarcación hidrográfica, con suficiente desagregación temporal y espacial para que fuera útil a los futuros trabajos de planificación. El ámbito de estudio donde se ha aplicado y se evaluado la formulación desarrollada es la Demarcación Hidrográfica del Júcar dado que es una demarcación diversa climática y agronómicamente y dispone de suficiente información de contraste para poder evaluar los resultados obtenidos.

Para hacerlo se ha calculado las dotaciones netas de riego a la inmensa mayoría de cultivos identificados, en concreto 149, se ha comparado los resultados con las fuentes de referencia y, al resultar satisfactorios, se ha realizado una propuesta de grupos de cultivos con dotaciones homogéneas que sirvieran como dotaciones de referencia en la normativa del Plan hidrológico del tercer ciclo de planificación. En este trabajo, además, también se ha realizado una primera propuesta metodológica para asignar un valor de dotación a cada uno de los grupos de cultivos.

El análisis se ha realizado en formato raster, lo que ha permitido obtener resultados puntuales en cualquier punto de la Demarcación u otro ámbito espacial que se considere más adecuado. En cuanto a la desagregación temporal, la metodología se ha aplicado en el periodo comprendido entre octubre de 1980 y septiembre de 2018 –38 años hidrológicos completos– con un paso temporal mensual.

En valenciano

L'agricultura és l'activitat humana que major quantitat d'aigua necessita. De fet, a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer representa, aproximadament, un 80% del consum total de l'aigua emprada als usos consumptius. La quantitat d'aigua usada pel sector agrícola depèn, per una banda, de la superfície total conreada i, per una altra, del cultiu que es desenvolupa, ja que cada conreu té unes necessitats hídriques específiques. Tanmateix, aquestes necessitats hídriques del conreu presenten una destacable variabilitat tant espacial com temporal causades per la variabilitat climatològica territorial i per la variabilitat meteorològica temporal.

A la planificació hidrològica, les necessitats hídriques de reg intervenen a través d'un doble enfocament. Un primer enfocament, descriptiu, ja que un coneixement acurat de les necessitats hídriques de reg dels conreus redunda en una estimació acurada de l'ús de l'aigua en l'agricultura i, per tant, en una millor avaluació de les pressions sobre les masses d'aigua. I un segon enfocament, normatiu, ja que el Reglament del domini públic hidràulic estableix que, a l'hora de tramitar una concessió administrativa que autoritze l'ús privatiu de recursos hídrics, cal tenir en compte les dotacions de referència que vénen establertes a la part normativa del pla hidrològic.

El vigent Pla hidrològic de la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer fixa un conjunt de dotacions normatives a partir d'estudis bàsics desenvolupats per l'anterior Ministeri de Medi Ambient i Medi Rural i Marí i de les que proposa la Instrucció de planificació hidrològica. Aquest conjunt de dotacions, organitzat en 25 grups de conreus en 63 zones agràries, correspon, en un bon nombre de casos, al valor mitjà del rang proposat a la Instrucció de Planificació Hidrològica i només en aquelles zones agràries on un determinat grup de

conreus té una presència significativa, s'estableix un valor específic.

Malgrat que a efectes normatius la desagregació espacial i el nombre de grups considerats són suficients, no resulta aquest nivell de detall del tot adequat a l'hora d'estimar els usos d'aigua per a agricultura a escala de demarcació hidrogràfica en prescindir de la variació temporal de les necessitats hídriques de reg. A més, si bé s'examinen els grups de conreus considerats, s'inclou al Pla hidrològic grups per a cultius que actualment no es conreen a la Demarcació o que hi tenen una presència testimonial.

L'objectiu del treball ha estat desenvolupar una formulació, a partir dels mètodes proposats a la Guia 56 de la FAO, que permetera estimar les necessitats hídriques de reg a escala de demarcació hidrogràfica, amb suficient desagregació temporal i espacial per què fóra útil als futurs treballs de planificació. L'àmbit d'estudi on s'ha aplicat i s'avaluat la formulació desenvolupada és la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer ja que és una demarcació diversa climàticament i agronòmica i disposa de suficient informació de contrast per a poder avaluar els resultats obtinguts.

Per fer-ho s'ha calculat les dotacions netes de reg a la immensa majoria de conreus identificats, en concret 149, s'ha comparat els resultats amb les fonts de referència i, en resultar satisfactoris, s'ha realitzat una proposta de grups de conreus amb dotacions homogènies que serviren com a dotacions de referència a la normativa del Pla hidrològic del tercer cicle de planificació. En aquest treball, a més, també s'ha realitzat una primera proposta metodològica per assignar un valor de dotació a cadascun dels grups de conreus. L'anàlisi s'ha realitzat en format ràster, cosa que ha permés obtenir resultats puntuals a qualsevol punt de la Demarcació o mitjans a l'àmbit espacial que es considere més adequat. Pel que fa a la desagregació temporal, la metodologia s'ha aplicat al període comprés entre octubre de 1980 i setembre de 2018 –38 anys hidrològics complets– amb un pas temporal mensual.

En inglés

Agriculture is the human activity that needs the most water. In fact, the Xúquer River Basin District accounts for approximately 80% of total water consumption for consumer usage. The amount of water used by the agricultural sector depends, on the one hand, on the total cultivated area and, on the other, on the crop being grown, as each crop has specific water needs. Furthermore, these water needs of the crop present a remarkable variability both in space and time due to the territorial climate variability and the time meteorological variability.

In hydrological planning, irrigation water needs intervene through a double approach. The first approach is descriptive, given that a thorough knowledge of the irrigation water needs of crops leads to a careful estimate of water use in agriculture and, therefore, a better assessment of the pressures on water bodies. The second approach is regulatory, given that the Reglamento de dominio público hidráulico (Hydraulic Public Domain Regulations) establish that when processing an administrative concession authorising the private use of water resources, the reference allocations established in the regulatory section of the hydrological plan must be taken into account.

The current Hydrological Plan of the Júcar River Basin District establishes a set of regulatory allocations based on basic studies carried out by the previous Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino and those proposed by the Instrucción de planificación hidrológica (Hydrological Planning Instruction). This set of provisions, organized into 25 groups of crops in 63 agricultural areas, corresponds, in a good number of cases, to the average value of the category proposed in the Instrucción de planificación hidrológica and only in those agricultural areas where a certain group of crops has a significant presence is a specific value established.

Despite the fact that for regulatory purposes the spatial breakdown and the number of groups considered are sufficient, this level of detail is not entirely adequate when estimating water usage for agriculture on a river basin district scale as it does not take into account the time variation in irrigation water requirements. Furthermore, although the groups of crops considered are examined, the Hydrological Plan includes groups

for crops which are not currently cultivated in the river basin district or which have a token presence. The aim of the work is to develop a formulation, based on the methods proposed by FAO Guide 56, which will make it possible to estimate irrigation water requirements on a river basin district scale, with sufficient temporal and spatial disaggregation to be useful for future planning work. The area of study where the formulation developed will be applied and evaluated is the Xúquer River Basin District, given that it is a climatically and agronomically diverse district and has sufficient contrasting information to be able to evaluate the results obtained.

To do this, the net irrigation allocations to the vast majority of identified crops were calculated, specifically 149, the results were compared with the reference sources and, as they were satisfactory, a proposal was made for groups of crops with homogeneous allocations which would serve as reference allocations for the regulations of the Hydrological Plan for the third planning cycle. This work also included a first methodological proposal to assign an allocation value to each of the crop groups.

The analysis has been carried out in raster format, which allows specific results to be obtained at any point in the territory or averages in any considered spatial area. With regard to the time breakdown, the methodology has been applied in the period between October 1980 and September 2018 -38 full hydrological years- with a monthly temporal step.

Palabras clave español: Dotación, planificación hidrológica

Palabras clave valenciano: Dotació, planificació hidrològica

Palabras clave inglés: Irrigation water needs, hydrological planning

***PROPOSTA METODOLÒGICA PER
A ESTIMAR LES NECESSITATS
HÍDRIQUES DE REG EN LA
PLANIFICACIÓ HIDROLÒGICA:
APLICACIÓ A LA DEMARCACIÓ
HIDROGRÀFICA DEL XÚQUER***

MEMÒRIA

Agraïments:

A Teo, a Arancha, a Abel, els meus tutors: que novament tant m'heu aconsellat, tant m'heu animat, tant m'heu ajudat;

A Antonio, a Francesc, a Pasqual: grans professionals, grans persones, millors amics, perquè m'heu escoltat i m'heu recolzat quan les forces mancaven;

A Josep, a Jesús: que em mostreu facetes de la vida *aldilà degli ettometri e degli etimi*;

Als meus pares, al meu germà, a la meua estimadíssima neboda: que tot ho doneu i res espereu;

I a Carlos: que és i sap ésser aquell que sempre hi és;

A vosaltres i a tots aquells de qui sentint-me deutor no he inclòs: GRÀCIES.

Índex

1.	Objectiu, introducció i àmbit d'estudi.....	1
1.1	Objectiu	1
1.2	Les dotacions d'aigua de reg en la planificació hidrològica	1
1.3	L'aigua i les plantes	3
1.4	Àmbit espacial i temporal de l'estudi.....	5
2.	Estat de l'art	9
3.	Proposta metodològica	14
3.1	Conceptes i metodologia.....	14
3.1.1.	Conceptes.....	14
3.1.2.	Metodologia	16
3.2	Dades emprades.....	31
3.2.1.	Evapotranspiració del conreu	31
3.2.2.	Dèficit d'humitat al sòl	53
3.2.3.	Precipitació, escurriment superficial i percolació profunda	58
3.2.4.	Fracció d'esgotament.....	62
3.3	Formulació i desenvolupament matemàtic del model plantejat.....	64
3.3.1.	Consideracions generals del model.....	64
3.3.2.	Dades necessàries	67
3.3.3.	Procés de càlcul a la zona conreada.....	68
3.3.4.	Procés de càlcul a la zona no conreada.....	71
3.3.5.	Combinació dels resultats	74
3.3.6.	Programari utilitzat	75
4.	Cas d'estudi: Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.....	81
4.1	Necessitats hídriques dels conreus al vigent Pla hidrològic de la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.	81
4.2	Resultats obtinguts i validació.....	82
4.2.1.	Resultats obtinguts.....	82
4.2.2.	Validació dels resultats.....	95
4.3	Obtenció de grups de conreus per a la planificació hidrològica	109
4.3.1.	Els grups de conreus: situació actual i necessitat	109
4.3.2.	Metodologia seguida.....	111
4.3.3.	Propostes de grups dotacionals	114
4.3.4.	Proposta de dotacions.....	121
5.	Resum, conclusions i línies futures	130
6.	Referències.....	134

Índex d'equacions

(1) Balanç d'humitat d'aigua al sòl expressat com a dèficit d'humitat a la zona conreada.....	17
(2) Balanç d'humitat d'aigua al sòl expressat com a dèficit d'humitat a la zona no conreada...	17
(3) Evapotranspiració del conreu	18
(4) Equació FAO Penman-Monteith, escala de temps diària, de deu dies i mensual	19
(5) Aigua disponible total	23
(6) Profunditat radicular per estadi de desenvolupament	24
(7) Aigua evaporable total.....	24
(8) Precipitació efectiva.....	25
(9) Excedent hídric segons el mètode de Témez	27
(10) Precipitació efectiva segons el mètode de Témez.....	27
(11) Balanç d'humitat al sòl i necessitats hídriques de reg.....	29
(12) Aigua fàcilment aprofitable	30
(13) Fracció d'esgotament	30
(14) Profunditat de la capa superior del sòl.....	68
(15) Profunditat de la capa inferior del sòl	68
(16) Aigua disponible total a la capa superior del sòl	68
(17) Fracció d'esgotament de la capa superior del sòl	69
(18) Aigua fàcilment aprofitable a la capa superior del sòl	69
(19) Dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 a la profunditat de la capa superior del sòl al mes t a la zona conreada	69
(20) Dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl al mes t-1 a la profunditat de la capa inferior del sòl al mes t a la zona conreada	69
(21) Excedent hídric a la zona conreada	70
(22) Humitat que la precipitació aporta al sòl a la zona conreada	70
(23) Capacitat màxima de retenció d'humitat a la capa superior del sòl a la zona conreada	70
(24) Humitat que la precipitació aporta a cadascuna de les capes de sòl a la zona conreada ...	70
(25) Humitat en la capa superior del sòl i de les necessitats hídriques de reg.....	71
(26) Humitat en la capa inferior del sòl a la zona conreada	71
(27) Aigua evaporable total.....	72
(28) Coeficient d'evaporació	72
(29) Dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 a la zona no conreada.....	72
(30) Dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl al mes t-1 a la zona no conreada.....	72
(31) Excedent hídric a la zona no conreada	72
(32) Humitat que la precipitació aporta al sòl a la zona no conreada	73
(33) Capacitat màxima de retenció d'humitat a la capa superior del sòl a la zona no conreada	73
(34) Humitat que la precipitació aporta a cadascuna de les capes de sòl a la zona no conreada	73

(35) Humitat a la capa superior del sòl a la zona no conreada	73
(36) Humitat a la capa inferior del sòl a la zona no conreada	74
(37) Màscara de conreu	75
(38) Dèficit d'humitat a la capa superior del sòl	75
(39) Dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl.....	75
(40) Necessitats hídriques de reg.....	75
(41) Dotació obtinguda com a mitjana ponderada amb coeficients fixos	123
(42) Dotació obtinguda com a mitjana ponderada amb coeficients variables	123
(43) Dotació obtinguda com a percentatge fixe	124
(44) Dotació obtinguda com a percentil fixe.....	124
(45) Dotació obtinguda com a màxima dotació dels conreus representatius	124

Índex de figures

Figura 1. Mapa físic de la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer	6
Figura 2. Àrea coberta per les unitats de demanda agrícola definides en el Pla hidrològic	7
Figura 3. Demarcació i Demarcació estesa	7
Figura 4. Distribució dels conreus considerats als treballs d'identificació de la superfície regada per família	9
Figura 6. Balanç d'aigua a la zona radicular del sòl	16
Figura 7. Corba generalitzada del coeficient de conreu, corresponent al procediment del coeficient únic de conreu	20
Figura 8. Coeficient d'estrés hídric	29
Figura 8. Evolució de l'evapotranspiració anual de la Demarcació al període 1980/18	32
Figura 9. Distribució intraanual de la evapotranspiració de referència mitjana a la Demarcació	32
Figura 10. Distribució espacial de l'evapotranspiració de referència mitjana al període 1980/18 a la Demarcació	33
Figura 11. Distribució espacial de l'evapotranspiració de referència mitjana al període 1980/18 a la Demarcació	34
Figura 12. Comarques agràries definides pel MAPA a la Demarcació estesa	37
Figura 13. Comarques agràries adoptades a la Demarcació estesa	38
Figura 14. Classificació climàtica de Köppen-Geiger en la Demarcació estesa	40
Figura 15. Hidroregions adaptades als sistemes d'explotació	40
Figura 16. Regions hidroclimàtiques definides a la Demarcació estesa	41
Figura 17. Distribució de l'origen de les dades del coeficient de conreu per nombre de cultius	49
Figura 18. Distribució de l'origen de les dades del coeficient de conreu per superfície regada de cada cultiu en 2015	49
Figura 19. Coeficients de conreu mensuals de l'alfals per a les comarques agràries Centre, Vinalopó, la Plana, Serrania Mitjana, Foia de Terol i l'Horta de València	51
Figura 20. Coeficients de conreu mensuals del raïm de vinificació per a les comarques agràries Centre, Vinalopó, la Plana, Serrania Mitjana, Foia de Terol i l'Horta de València	52
Figura 21. Textura de l'USDA de la capa superior del sòl de la Demarcació estesa a partir de l'ESDD	55
Figura 22. Textura de l'USDA de la capa inferior del sòl de la Demarcació estesa a partir de l'ESDD	55
Figura 24. Humitat en capacitat de camp adoptada en la Demarcació estesa	57
Figura 25. Humitat al punt de marcescència permanent adoptada en la Demarcació estesa	57
Figura 26. Evolució de la precipitació en la Demarcació al període 1980/18	59
Figura 27. Distribució intraanual de la precipitació mitjana a la Demarcació	60
Figura 28. Distribució espacial de la precipitació mitjana al període 1980/18 a la Demarcació	61
Figura 29. Distribució espacial de la precipitació mitjana al període 1980/18 a la Demarcació estesa	62

Figura 31. Representació de l'evolució de la profunditat de les arrels en dos estadis evolutius d'un conreu herbaci anual	65
Figura 32. Evolució de les necessitats hídriques de reg de la dacsa durant el període d'escalfament amb diferents dèficits d'humitat inicial.....	66
Figura 33. Evolució de les necessitats hídriques de reg del taronger dolç durant el període d'escalfament amb diferents dèficits d'humitat inicial.....	67
Figura 34. Esquema del procés implementat per al càlcul de les necessitats hídriques d'un conreu a tota la sèrie temporal.....	77
Figura 35. Esquema del procés implementat per al càlcul de les necessitats hídriques de múltiples conreus a tota la sèrie temporal	78
Figura 36. Esquema de l'eina implementada per introduir els valors dels coeficients de conreu	78
Figura 37. Esquema de l'eina implementada per introduir els valors del màxim coeficient de conreu	79
Figura 38. Esquema de l'eina implementada per introduir els valors del coeficient de conreu inicial	79
Figura 39. Esquema de l'eina implementada per introduir els valors de la fracció d'esgotament bàsica del conreu	80
Figura 40. Esquema de l'eina implementada per introduir els valors de la profunditat màxima radicular del conreu	80
Figura 41. Esquema de l'eina implementada per convertir les dades d'evapotranspiració de referència al format ràster de càlcul.....	81
Figura 42. Zones agràries establertes a la Demarcació hidrogràfica del Xúquer	82
Figura 43. Sèrie mensual de necessitats hídriques de reg de la dacsa durant l'any 2017/18	84
Figura 44. Sèrie mensual de necessitats hídriques de reg del taronger dolç durant l'any 2017/18	86
Figura 45. Unitats de demanda agrícola proposades en la revisió del Pla hidrològic.....	87
Figura 46. Evolució mensual de les necessitats hídriques de reg de la dacsa a la unitat de demanda agrícola Regadius de la Manxa Oriental.....	88
Figura 47. Evolució mensual de les necessitats hídriques de reg del taronger dolç a la unitat de demanda agrícola CR Real Acequia de Moncada.....	88
Figura 48. Evolució de les necessitats hídriques de reg anuals de la dacsa a la unitat de demanda agrícola Regadius de la Manxa Oriental i del taronger dolç a la unitat de demanda agrícola CR Real Acequia de Moncada	90
Figura 49. Any mitjà de les necessitats hídriques de reg de la dacsa a la unitat de demanda agrícola Regadius de la Manxa Oriental i del taronger dolç a la unitat de demanda agrícola CR Real Acequia de Moncada.....	91
Figura 52. Necessitats hídriques de reg anuals mitjanes de la dacsa de la Demarcació i a les unitats de demanda agrícola Regadius de la Serra d'Albarracín, Regadius de la Manxa Oriental i CR Carrizales de Elche i regadius d'El Progreso i El Porvenir	94
Figura 53. Necessitats hídriques de reg anuals mitjanes del taronger dolç de la Demarcació i a les unitats de demanda agrícola Regadius de la Serra d'Albarracín, CR Real Acequia de Moncada i CR Carrizales de Elche i regadius d'El Progreso i El Porvenir	95
Figura 54. Distribució de la superfície regada a 2015 entre els principals conreus.....	97

Figura 55. Situació dels punts en què es realitzarà la validació dels resultats.....	98
Figura 56. Dades de l'evapotranspiració de referència a l'estació agroclimàtica de Vila-real EEA obtingudes de diferents fonts.....	102
Figura 57. Dades de precipitació a l'estació agroclimàtica de Vila-real EEA obtingudes de diferents fonts.....	103

Índex de taules

Taula 1. Percentatge de superfície sembrada i de quantitat collida per mes de l'enciam varietat romà a les províncies en què s'estén la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer	21
Taula 2. Desagregació espacial i temporal de la informació que es pot obtenir dels fulls web dels organismes públics d'assessorament al regant	35
Taula 3. Comarca agrària, clima dominant, hidroregió i regió climàtica assignada.....	42
Taula 4. Data de plantació, durada i coeficients de conreu de les etapes dels cultius la font d'informació dels quals prové de FAO, 2006	46
Taula 5. Data de plantació, durada i coeficients de conreu de les etapes dels cultius obtinguts amb articles científics.....	47
Taula 6. Criteris d'adaptació utilitzats per a estendre els coeficients de conreu d'uns cultius a uns altres de la mateixa família.....	49
Taula 7. Característiques d'humitat típiques del sòl en funció del tipus atenent a la classificació textural del sòl de la USDA en m^3/m^3	53
Taula 8. Característiques d'humitat típiques del sòl en funció del tipus atenent a la classificació textural del sòl de la USDA en m^3/m^3 usades de forma complementària	54
Taula 9. Textura, classe textural de l'USDA i valor del factor de correcció de la fracció d'esgotament per efecte de les característiques del sòl considerat	63
Taula 10. Estadístics bàsics calculats sobre les necessitats hídriques de reg de la dacsa a la unitat de demanda agrícola Regadius de la Manxa Oriental i del taronger dolç a la unitat de demanda agrícola CR Real Acequia de Moncada.....	92
Taula 11. Rang de dotacions netes admissibles per als grups de conreus establerts per la Instrucció de planificació hidrològica per a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer	101
Taula 12. Valors mitjans en diferents períodes de l'evapotranspiració de referència i de la precipitació als punts de validació obtingudes de diferents fonts (inici).....	105
Taula 13. Valors mitjans en diferents períodes de l'evapotranspiració de referència i de la precipitació als punts de validació obtingudes de diferents fonts (continuació)	106
Taula 14. Valors mitjans en diferents períodes de l'evapotranspiració de referència i de la precipitació al punts de validació obtingudes de diferents fonts (finalització)	107
Taula 15. Quadre resum de la validació dels resultats.....	109
Taula 16. Comarca agrària i pes de cadascuna en la dotació mitjana de la Demarcació.....	113
Taula 17. Proposta 1 de grups dotacionals a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer	116
Taula 18. Proposta 2 de grups dotacionals a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer	116
Taula 19. Proposta 3 de grups dotacionals a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer	118
Taula 20. Assignació dels conreus als grups dotacionals proposats	121
Taula 21. Superfície regada el 2015 i valors de dotació obtinguts de les diferents metodologies per als diferents grups dotacionals a la unitat de demanda Regadius tradicionals del Millars	125

Índex d'annexos

Annex 1: recull i anàlisi de diferents mètodes d'estimació de la pluja efectiva

Annex 2: annex de dades

Annex 2.1: coeficients de conreu

Annex 2.2: coeficient d'evaporació en guaret o sense activitat fenològica

Annex 2.3: característiques del sòl

Annex 2.4: profunditat radicular efectiva màxima

Annex 2.5: fracció d'esgotament bàsica del conreu

Annex 3: annex de models (digital)

Annex 4: annex de resultats

Annex 4.1: resultats anuals per a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer

Annex 4.2: any mitjà per a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer

Annex 4.2: mapes ràster de resultats (digital)

Annex 4.3: resultats per a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer (digital)

Annex 4.4: resultats per unitat de demanda (digital)

Annex 5: validació dels resultats

Annex 6: anàlisi complementària sobre els grups dotacionals

Annex 6.1: anàlisi dels grups dotacionals a les diferents categories de conreus

Annex 6.2: resultats dels diferents mètodes d'assignació de dotació a les unitats de demanda assajades.

Annex 7: dotació proposada per unitat de demanda i grup dotacional.

1. Objectiu, introducció i àmbit d'estudi

1.1 Objectiu

L'objectiu d'aquest treball és desenvolupar una formulació que permeti estimar les necessitats hídriques del reg –també anomenades dotacions netes– a escala de demarcació hidrogràfica amb suficient desagregació temporal i espacial per què siga útil als futurs treballs de planificació que estan desenvolupant-se dintre del marc de la revisió dels plans hidrològics vigents.

L'àmbit d'estudi on s'aplicarà i s'avaluarà la formulació desenvolupada és la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer ja que és una demarcació diversa climàticament i agronòmica i disposa de suficient informació de contrast per a poder avaluar els resultats obtinguts. Per fer-ho es calcularà les dotacions netes de reg dels principals conreus, es compararan els resultats i, si aquests són satisfactoris, es realitzarà una primera proposta de grups de conreus amb dotacions homogènies que serveixen com a dotacions de referència a la normativa del Pla hidrològic del tercer cicle de planificació.

1.2 Les dotacions d'aigua de reg en la planificació hidrològica

La planificació hidrològica s'aproxima a les dotacions d'aigua de reg mitjançant dos enfocaments complementaris. Per una banda un de descriptiu, mitjançant el qual es pretén conèixer quanta aigua s'usa en la demarcació en un moment donat –en general al moment actual– i estimar, dintre d'allò raonable, quanta aigua pot necessitar-se als «diferents horitzons del pla», ço és, en escenaris futurs més o menys allunyats. Aquest enfocament descriptiu ve principalment recollit al Reglament de la planificació hidrològica (Reial Decret 907/2007, de 6 de juliol, pel qual s'aprova el Reglament de la Planificació Hidrològica) i ampliat a la Instrucció de planificació hidrològica (Ordre ARM/2656/2008, de 10 de setembre, per la qual s'aprova la Instrucció de planificació hidrològica).

L'altre enfocament, que hom podria anomenar legislatiu o normatiu, està relacionat amb la concessió per a l'aprofitament privat de recursos hídrics i de l'ús responsable que en cal fer. És el Reglament del domini públic hidràulic (Reial Decret 849/1986, d'11 d'abril, pel qual s'aprova el Reglament del Domini Públic Hidràulic, que desenvolupa els títols preliminar, I, IV, V, VI i VII de la Llei 29/1985, de 2 d'agost, d'Aigües) el text legal que desenvolupa aquest enfocament.

Pel que fa a l'enfocament descriptiu, les dotacions de reg no són, en si mateix, un contingut mínim a incloure en els plans hidrològics. De fet, la màxima aproximació que el Reglament de la planificació hidrològica aporta a les necessitats hídriques de reg dels conreus és l'article 4.b bis.a' on s'indica que el pla hidrològic ha d'incloure «Els usos i demandes actuals i previsibles als diferents horitzons del pla» i l'article 14.1 on es recull un seguit de criteris a aplicar a l'hora de estimar les demandes actuals i previsibles; l'apartat b) dedicat a la demanda agrària indica: «L'estimació de la demanda agrària ha d'incloure la demanda agrícola, forestal i ramadera, que s'ha d'estimar d'acord amb les previsions de cada sector i les polítiques territorials i de desenvolupament rural. L'estimació de la demanda agrícola ha de tenir en compte les previsions d'evolució de la superfície de regs i dels tipus de cultius, els sistemes i eficiències de reg, l'estalvi d'aigua com a conseqüència de la implantació de noves tècniques de reg o millora d'infraestructures, les possibilitats de reutilització d'aigües, la revisió concessional a l'empara de l'article 65, apartats a) i b), i la disposició transitòria sisena del text refós de la Llei d'aigües i la previsió per a l'atenció d'aprofitaments aïllats. [...]».

La Instrucció de planificació hidrològica desenvolupa amb major profunditat aquest tractament de les dotacions d'aigua de reg ja que estableix, per als principals grups de conreus, un rang de dotacions admissibles (taula 52 de l'annex IV del document al·ludit) que cal usar posteriorment bé per validar les dotacions reals obtingudes en aquelles zones agrícoles on es disposa d'informació bé per estimar l'ús d'aigua en aquelles zones agrícoles d'on no es disposa d'informació (apartat 3.1.2.3.2.1).

El segon enfocament, el que hom ha anomenat legislatiu o normatiu, ve recollit al Reglament del domini públic hidràulic en diferents articles. El text recull a l'article 106, a l'hora de sol·licitar una concessió d'aigües, la obligatorietat d'incloure un «estudi agronòmic que ha de contenir com a mínim un càlcul de la dotació d'aigua»; a l'article 156 bis.1 que, a l'hora de revisar una concessió, «[...] es tindrà en compte, entre uns altres, els criteris següents: a) Les dotacions màximes establertes en el Pla hidrològic»; a l'article 193 indica que dintre de les característiques de l'aprofitament que ha de tenir la inscripció s'ha d'incloure «la dotació, en metres cúbics per hectàrea i any, emprada per al càlcul del volum màxim anual concedit»; a l'article 326 bis, a l'hora d'estimar el volum d'aigua per tal de valorar els danys per extracció il·legal d'aigua, en cas de no disposar d'informació real procedent d'un comptador volumètric, caldrà determinar el

volum d'acord «amb les dotacions per als diferents usos indicades al corresponent pla hidrològic de conca, o en defecte seu, a l'annex IV de la Instrucció de planificació hidrològica, aprovada per Ordre ARM/2566/2008, de 10 de setembre i a la informació disponible a l'organisme de conca [...]» i a l'article 345, dedicat als contractes de cessió de drets, on s'indica que un dels criteris que es podrà tenir en compte a l'hora d'establir el volum anual que pot ser susceptible d'ésser cedit és «la dotació objectiu que fixe el pla hidrològic».

1.3 L'aigua i les plantes

L'aigua és imprescindible per a la vida. De fet és el component majoritari de la matèria viva i és en ambient aquós on es desenvolupen la major part de les reaccions biològiques. El contingut d'aigua als teixits vegetals és especialment important. Tant és així que, com indiquen Botella Miralles, O. i Campos Garaulet, I. (Martín de Santa Olalla Mañas, F. et alii, 2005) recollint estudis de diferents autors, «un 80% del pes fresc de moltes plantes herbàcies i fins a un 90% d'alguns òrgans en creixement, com les fulles, les fruites i els àpexs caulinar i radicular, és aigua». En general, hom pot afirmar que el desenvolupament biològic necessita la presència d'aigua i que disminucions de la quantitat d'aigua disponible al sòl on s'assenten les plantes poden causar l'aturada del creixement així com canvis metabòlics i estructurals indesitjables, cosa que podria implicar una reducció, en alguns casos notable, de la productivitat.

Les plantes utilitzen l'aigua en múltiples processos vitals i és un component bàsic en la fisiologia vegetal. Tant és així que (Martín de Santa Olalla Mañas, F. et alii, 2005): «és la forma en què s'absorbeix l'àtom d'hidrogen en la fotosíntesi [...]; és un dissolvent de gran quantitat de substàncies i el mitjà on es realitzen les reaccions bioquímiques; és essencial per al transport de nutrients i metabòlits [i] permet mantenir la turgència dels òrgans vegetals [...]»

A les plantes superiors terrestres es pot diferenciar dues estructures fonamentals. Per una banda les arrels, que situades generalment davall de terra, s'encarreguen, entre unes altres funcions, de fixar la planta al substrat, d'absorbir l'aigua i els nutrients necessaris i, en alguns casos, d'emmagatzemar substàncies de reserva. Per una altra banda la brosta, formada per la tija i per les fulles, on la primera té la funció de transportar les substàncies captades a les arrels i de sostenir les fulles en posició

favorable i les segones, que s'ocupen de les funcions de respiració, de transpiració i de fotosíntesi.

Tanmateix, la major part de l'aigua que absorbeixen les plantes del sòl s'emet a l'atmosfera mitjançant la transpiració ja que només una xicoteta part s'usa als processos fotosintètics i un altre xicotet percentatge resta en la planta per als processos de creixement. De fet, «de l'aigua absorbida, al voltant del 95% es perd per transpiració i el 5% o inclús menys s'empra a l'interior de la planta» (Martín de Santa Olalla Mañas, F. et alii, 2005).

La transpiració és el procés mitjançant el qual es perd aigua continguda als teixits vegetals cap a l'atmosfera que l'envolta en forma de vapor. La major part de la transpiració es produeix a través dels estomes, que són estructures epidèrmiques que cobreixen els òrgans aeris de les plantes i comuniquen els espais intercel·lulars de la part interior de les fulles amb l'atmosfera que les envolta. Al seu interior hi circulen tant el vapor d'aigua com altres gasos, principalment CO_2 i O_2 .

La transpiració dels vegetals és un mal inevitable ja que la necessitat que tenen les plantes de realitzar l'intercanvi de CO_2 i O_2 amb l'atmosfera les obliga a mantenir els estomes oberts i, en mantenir-los en aqueixa situació, s'acompleixen les condicions per què es produeixi la transpiració. Malgrat tot, la transpiració té efectes positius i negatius: entre els positius cal indicar que proporciona a la planta l'energia que necessita per a transportar l'aigua, els minerals i els nutrients de les arrels a les fulles, a més de permetre la refrigeració de les fulles exposades al sòl; entre els negatius, és la principal font de pèrdua d'aigua de les plantes, pèrdua que pot amenaçar-ne la supervivència especialment en climes àrids i càlids.

La velocitat de transpiració de les plantes no és, ni molt menys constant. Hi influeixen tant factors externs com interns a la planta, on destaca, dintre dels darrers, les característiques pròpies de l'espècie. Entre els factors externs relacionats amb el medi on es desenvolupa el vegetal destaquen la llum, la concentració de CO_2 als espais intercel·lulars de l'interior de les fulles, la temperatura, la humitat de l'aire, la velocitat del vent i la humitat del sòl; entre els factors interns la relació entre la superfície absorbent i la superfície transpirant, el desenvolupament de la superfície transpirant i l'estructura de les fulles.

Tanmateix, l'escala en què es planteja aquest treball, tant espacialment com temporal, necessita considerar a l'hora d'avaluar la transpiració dels conreus la importància de la coberta vegetal: (Martín de Santa Olalla Mañas, F. et alii, 2005) «A més de considerar els factors associats a la transpiració de les plantes individuals, és necessari tenir en compte aquells que estan associats a la presència del dosser vegetal que conforma la coberta vegetal. Paràmetres biofísics de l'esmentada coberta com són l'estat de la vegetació dintre del seu cicle de creixement, l'índex d'àrea foliar, la cobertura vegetal i l'ombreig del sòl, l'orientació i la distància entre fileres, l'albedo de la coberta, l'altura, influeixen poderosament en la determinació del ritme d'evapotranspiració, ja que interaccionen amb els factors associats a la presència d'aigua al sòl i amb els factors associats a l'atmosfera”.

1.4 Àmbit espacial i temporal de l'estudi

Com s'ha esmentat anteriorment, en aquest treball es pretén desenvolupar una metodologia general que permeti estimar les necessitats hídriques de reg a nivell de demarcació hidrogràfica de forma que resulte útil en la planificació hidrològica. Desenvolupada aquesta formulació general s'obtidrà resultats a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.

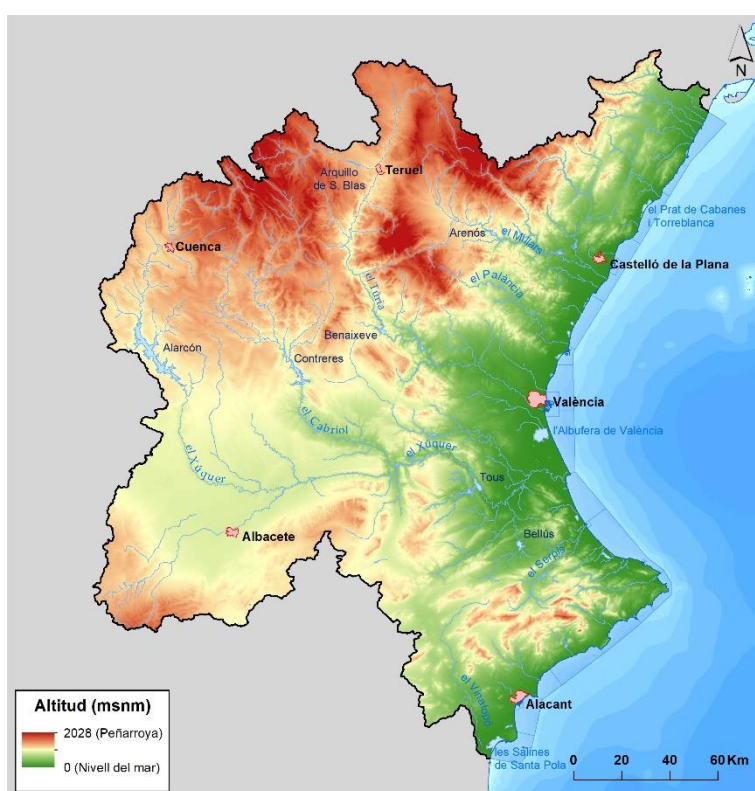
La Demarcació Hidrogràfica del Xúquer (d'ara endavant Demarcació) és una de les vint-i-cinc demarcacions hidrogràfiques establertes a l'Estat espanyol. L'àmbit territorial de les demarcacions hidrogràfiques ve fixat pel Reial Decret 127/2007, de 2 de febrer, pel qual es fixa l'àmbit territorial de les demarcacions hidrogràfiques que, després de la darrera modificació a l'agost de 2015, queda redactat així en el cas de la Demarcació: «Article 2. Delimitació de l'àmbit territorial de les demarcacions hidrogràfiques amb conques intercomunitàries situades en territori espanyol. [...]

3. Demarcació Hidrogràfica del Xúquer. Comprén el territori de les conques hidrogràfiques intercomunitàries i, provisionalment, en tant s'efectua el corresponent traspàs de funcions i serveis en matèria de recursos i aprofitaments hidràulics, el territori de les conques hidrogràfiques intracomunitàries comprès entre el marge esquerre de la Gola del Segura en la seva desembocadura i la desembocadura del riu de la Sénia, inclosa la seua conca; i a més la conca endorreica de Pozohondo i l'endorreisme natural format pel sistema que constitueixen els rius Quejola, Jardín i Lezuza i la zona de Los Llanos,

Proposta metodològica per a estimar les necessitats hídriques de reg en la planificació hidrològica: aplicació a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.

juntament amb les aigües de transició. Les aigües costaneres tenen com a límit sud la línia amb orientació 100° que passa pel límit costaner entre els termes municipals d'Elx i Guardamar del Segura i com a límit nord la línia amb orientació 122,5° que passa per l'extrem meridional de la platja d'Alcanar. [...]»

A grans trets inclou les conques hidrogràfiques de tres rius principals –el Xúquer, el Túria i el Millars– als quals s'uneixen les conques d'altres rius de menor entitat –la Sénia, el Palància, el Serpis, l'Algar, l'Amadòrio i el Vinalopó– juntament amb les subconques litorals entre els dos punts extrems esmentats anteriorment. La Figura 1 mostra el mapa físic de la Demarcació incloent-hi els principals cursos fluvials.



Font: CHJ, 2019.

Figura 1. Mapa físic de la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer

Atenent a la informació continguda als *Documentos iniciales. Programa, calendario, estudio general sobre la Demarcación y fórmulas de consulta. Memoria. Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Revisión del tercer ciclo (2021-2027)* (CHJ, 2019), la superfície total de la Demarcació, excloses les masses d'aigua costaneres, és de 42.756 km²; té una població d'uns 5.000.000 habitants i una superfície regada d'aproximadament 390.000 ha. Quant als usos de l'aigua, el volum d'ús consumptiu estimat en 2016/17 per a tota la Demarcació és de 3.145,03 hm³/any, dels quals es

Proposta metodològica per a estimar les necessitats hídriques de reg en la planificació hidrològica: aplicació a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.

dedica a atendre usos urbans el 15,9% (499,07 hm³/any) i als usos agrícoles el 79,4% (2.497,33 hm³/any), cosa que mostra la rellevància que les activitats agrícoles tenen en el total dels usos de l'aigua a la Demarcació i la importància que pren, per tant, disposar de un mètode acurat per estimar-los.

La Figura 2 mostra l'àrea coberta per les unitats de demanda agrícola –unitats de gestió en què s'agrupen zones agrícoles de regadiu amb característiques semblants– definides en la Demarcació al vigent Pla Hidrològic de conca de la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer (Reial Decret 1/2016, de 8 de gener, pel qual s'aprova la revisió dels plans hidrològics de les demarcacions hidrogràfiques del Cantàbric Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura i Xúquer, i de la part espanyola de les demarcacions hidrogràfiques del Cantàbric Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana i Ebre) –d'ara endavant Pla hidrològic– on s'observa que al nord i al sud de la Demarcació existeixen zones agrícoles que reben recursos de la Demarcació malgrat situar-se'n fora. És per això que s'ha ampliat l'àmbit en què s'obtindrà resultats de forma que s'hi ha considerat també tots els municipis de la Comunitat Valenciana i la totalitat del terme municipal dels municipis que s'inclouen parcialment a la Demarcació. Aquest nou àmbit d'estudi serà anomenat en aquest treball Demarcació estesa. La Figura 3 mostra la Demarcació juntament amb la Demarcació estesa, àmbit en què s'aplica la formulació desenvolupada.

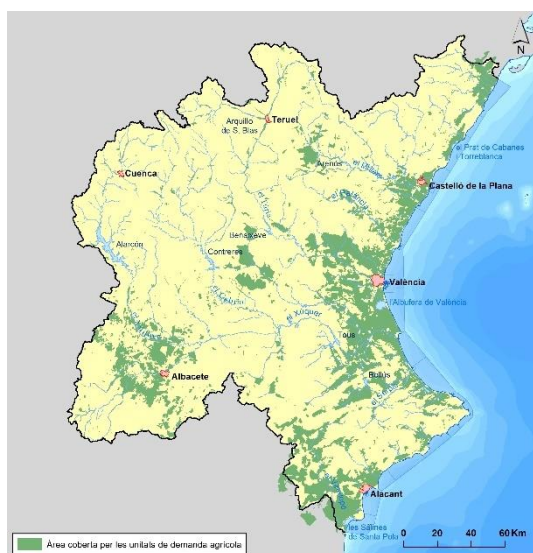


Figura 2. Àrea coberta per les unitats de demanda agrícola definides en el Pla hidrològic

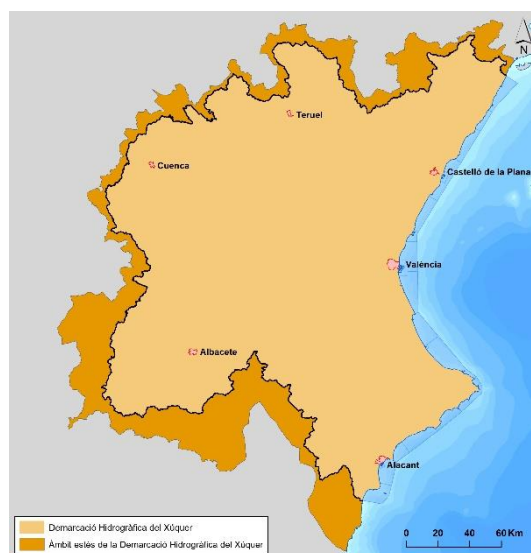


Figura 3. Demarcació i Demarcació estesa

Pel que fa a la sèrie temporal, s'ha d'avaluar les necessitats hídriques de reg al període 1980-81 a 2017/18, comunament anomenada sèrie recent, aplicant el mateix criteri que recomana la Instrucció de planificació hidrològica (article 3.5.2) en allò referent a la realització de balanços: «Els balanços han de realitzar-se amb les sèries de recursos hídrics corresponents als períodes 1940-2005 [1940/41-2005/06] i 1980-2005 [1980/81-2005/06].

[...]

L'esmentat horitzó temporal ha d'incrementar-se en sis anys a les successives actualitzacions dels Plans”.

El període temporal de càlcul serà mensual, període habitual que s'empra als treballs de planificació hidrològica dintre dels quals s'emmarca aquest estudi. És rellevant, a més, reflectir ací allò que s'indica a la Guia 56 de la FAO de la sèrie *Reg i Drenatge* anomenada *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (FAO, 2006) sobre l'enfocament del coeficient de conreu únic, enfocament que s'aplica a la formulació que s'hi planteja: «Atès que el coeficient únic K_c representa una mitjana de l'evaporació en el sòl i la transpiració, aquest procediment s'usa per a estimar ET_c per a períodes de temps setmanal i majors, malgrat que els càlculs puguin realitzar-se a escala diària. El coeficient únic K_c mitjà en el temps s'usa per a estudis a escala de planificació i per al disseny de sistemes de reg on siga raonable i pertinent considerar els efectes mitjans del humitejament del sòl. [...]»

Quant al nombre de conreus utilitzats, en treballs previs realitzats sobre les dades publicades a les diferents edicions anuals del *Anuario de Estadística* del Ministeri d'Agricultura, Pesca i Alimentació (MAPA, 1980-2020) s'ha identificat en el període de càlcul dintre de la Demarcació 151 tipus de conreu, tipus que poden correspondre a un únic conreu principal o a agrupacions de conreus generalment menors. La figura següent mostra la distribució dels 151 tipus de conreus entre les diferents famílies on s'observa que en aquest treball es considera conreus de tota mena, tant conreus herbacis de caràcter anual com llenyosos perennes o amb parada vegetativa hivernal.

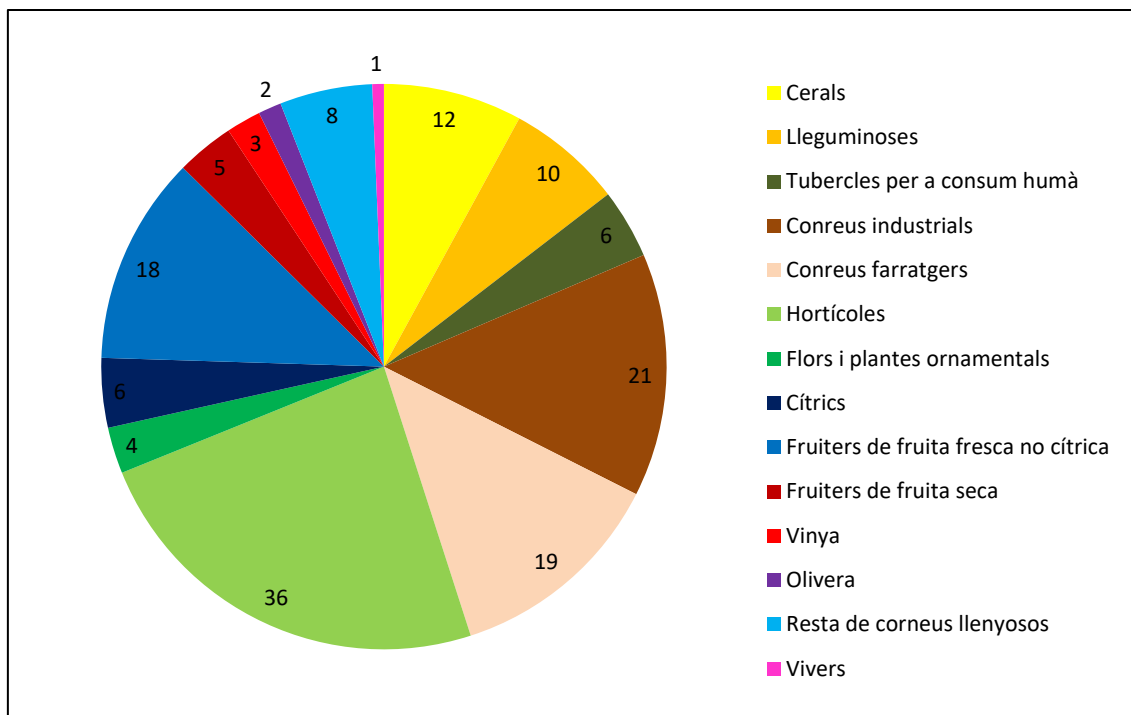


Figura 4. Distribució dels conreus considerats als treballs d'identificació de la superfície regada per família

Tot i amb això, la formulació aplicada, com es veurà, parteix de la premissa que els conreus es troben a la intempèrie ja que les dades climàtiques emprades, principalment l'evapotranspiració de referència i la pluja, tenen aquesta procedència. Els resultats obtinguts, per tant, queden limitats a conreus que es desenvolupen a l'aire lliure, cosa que comporta excloure els cultius conreats en hivernacles i, especialment, el xampinyó i la resta dels bolets, que només es conreen arrecerats. Els resultats s'obtidran, per tant, per a 149 tipus de conreu.

El format més adequat per aplicar la metodologia són les cobertures en format ràster la resolució de les quals serà d'1 km per 1 km, resolució que ve fixada per el model hidrològic del qual procedeixen les dades de pluja. En qualsevol cas és una resolució suficient per als objectius que es pretenen en aquest treball amb un temps de computació assumible.

2. Estat de l'art

Conèixer quan i quanta aigua cal aplicar a un conreu per evitar l'estrès hídric i maximitzar-ne la producció és un fet d'importància capital en l'agricultura de regadiu i, a causa de l'escassetat i de la irregularitat dels recursos hídrics, aquesta importància

transcendeix de l'àmbit d'estudi de l'agronomia i es relaciona parcialment amb la hidrologia i completament amb la gestió dels recursos hídrics.

Per aquesta mateixa raó és causa del desenvolupament de nombrosos mètodes orientats a la programació de regs. Atenent a les dades de partida necessàries, els diferents mètodes poden classificar-se en les següents tres categories (Martín de Santa Olalla Mañas, F. et alii, 2005): determinació del contingut d'aigua al sòl, determinació de l'estat hídric de la planta i determinació del balanç hídric del sistema sòl-planta-atmosfera.

Al primer conjunt de mètodes es concep que el sòl actua com un reservori d'aigua i que per què el conreu es desenvolupe en condicions òptimes cal mantenir l'aigua disponible al sòl dintre d'un rang determinat; aquestes metodologies poden ser directes –com la gravimetria mitjançant l'assecat en estufa– o indirectes –com la sonda de neutrons o el mètode de capacitància. Els mètodes fonamentats en l'estat hídric de la planta permeten avaluar quan és necessari regar però no quina és la quantitat d'aigua que cal aplicar-hi; es distingeixen també mètodes directes –gravimetria i potencial hídric– i indirectes –temperatura de la coberta vegetal, mesures qualitatives de l'estat hídric de la planta... El tercer conjunt de mètodes es fonamenta en realitzar el balanç hídric del sistema sòl-planta-atmosfera. Aquests mètodes consideren que la zona radicular del conreu actua com un dipòsit on s'emmagatzema l'aigua que s'hi troba accessible i que, en quantificar els diferents fluxos que hi aporten o en detrauen aigua, es pot estimar quanta en resta a disposició de la vegetació i quanta en cal aportar per a evitar que el conreu pateixca estrès hídric.

Tant els mètodes fonamentats en la determinació d'aigua al sòl com els fonamentats en l'estat hídric de la planta necessiten bé de mostres per què siguin analitzades al laboratori bé la instal·lació de sensors que faciliten la informació requerida, raó per la qual aquests mètodes tenen un major interès en àrees xicotetes i mitjanes. És aquest la causa per la qual els mètodes basats en el balanç hídric del sistema sòl-planta-atmosfera són més adequats per a estudiar la programació de regs en grans superfícies o, el que és el mateix, per a estimar les necessitats hídriques dels conreus a gran escala. Dintre dels fluxos d'entrada i d'eixida d'aigua al sòl, el paràmetre de major importància que cal estimar és l'evapotranspiració del conreu (ET_c), flux que inclou tant la quantitat d'aigua que s'evapora directament com la que transpira la vegetació.

Dos són els enfocaments bàsics que es planteja a l'hora d'estimar l'evapotranspiració del conreu: l'enfocament del « $K_c ET_o$ » (FAO, 2006) –que aprofita dades meteorològiques recollides a la superfície terrestre per a estimar el valor de l' ET_o i considera les diferències entre el conreu analitzat i el conreu de referència mitjançant el coeficient K_c – i un segon enfocament que aprofita la gran quantitat d'informació que s'obté de les tècniques d'observació de la Terra, tècniques comunament anomenades teledetecció.

La teledetecció ve definida de forma clàssica com «la mesura o l'adquisició d'informació d'alguna propietat d'un objecte o fenomen mitjançant un instrument que no està en contacte físic directe amb l'objecte o fenomen sota estudi» (Colwell, R.N., 1983). La teledetecció pot aprofitar-se bé directament per a estimar els valors dels paràmetres de l'equació de Penman-Monteith; bé per a estimar el coeficient de conreu K_c a partir d'imatges de satèl·lit; bé per a estimar directament l'evapotranspiració del conreu aplicant l'equació del balanç de l'energia a la superfície de la Terra observada. Cal també esmentar que estan desenvolupant-se metodologies mixtes amb la intenció d'aprofitar els avantatges que plantegen els dos darrers enfocaments (Neale, C. *et alii*, 2012).

Pel que fa al primer, tracta de determinar les propietats del conreu que determinen l'evapotranspiració del conreu atenent a l'equació de Penman-Monteith, ço és, l'alçària del conreu, l'albedo superficial i l'índex d'àrea foliar (D'Urso, G. i Mementi, M., 1995; Mementi, M. *et alii*, 1999; D'Urso, G. *et alii*, 1999). Aquesta tècnica presenta l'avantatge de no necessitar la identificació del conreu però presenta certes dificultats en l'aplicació i se n'extreuen resultats semblants als que s'obté aplicant el mètode d'estimació del coeficient de conreu a partir d'índex de vegetació (Calera Belmonte, A. *et alii*, 2005), conclusió a la que també aplega Akdim, N. *et alii* (Akdim, N. *et alii*, 2014) si bé, indica, que aquest enfocament permet obtenir una major variabilitat espacial en els resultats.

Quant al segon cas, l'anàlisi es fonamenta en la semblança que s'observa entre l'evolució temporal del coeficient de conreu que afecta l'evapotranspiració de referència calculada amb dades meteorològiques i diferents índex de vegetació (Heclman J.L. *et alii*, 1982; Singh, R.K. i Irmak, A., 2009). Dos dels índex de vegetació més usats són el *Normalized Difference Vegetation Index* [índex normalitzat de vegetació per diferències] (NDVI, Tucker, C. J. *et alii*, 1979) o el *Soil Adjusted Vegetation Index* [Índex de vegetació ajustat al sòl] (SAVI, Huete, A. R., 1988) derivats de les respostes en les regions de l'espectre visible i de l'infraroig proper. Aquest enfocament presenta l'avantatge que, en

aproximar el coeficient de conreu a partir d'índex de vegetació, el resultat que se n'obté representa de forma efectiva el valor del coeficient (Bausch, W.C. i Neale, C.M.U., 1987), en temps real, i permet conèixer amb certesa la data d'inici i final de les diferents etapes amb què es pot sintetitzar la seua evolució fenològica. A més, diferents autors assenyalen que entre el coeficient basal de conreu i el NDVI o el SAVI es pot establir una relació lineal (Neale, C. *et alii*, 1989 i D'Urso, G. i Calera, A. 2006) mentre que altres resultats apunten que, en determinats conreus i sota determinades condicions, la relació entre el NDVI i el coeficient de conreu s'ajusta millor a una corba exponencial (Chattaraj, S. *et alii*, 2013). No obstant això, amb aquestes metodologies s'estima el coeficient basal de conreu i és per això que els valors que se n'obtenen no s'ajusten de forma completament satisfactòria a les etapes d'inici i final de temporada (Tasumi, M. *et alii*, 2005). Una tècnica emprada per a evitar aquest efecte (Neale, C.M.U *et alii*, 2003) és suposar un valor mitjà per a l'evaporació del sòl si bé una línia d'investigació proposa d'estimar el coeficient d'evaporació mitjançant un balanç acoblat de la humitat al sòl (Pôças, I. *et alii*, 2015) o aplicant el model d'evaporació proposat a la Guia 56 de la FAO (Campos, I. *et alii*, 2010). Aquestes tècniques, tanmateix, permeten un major ajust del coeficient de conreu a les condicions locals dels conreus o a condicions no estàndard diferents de les proposades a la bibliografia (Tasumi, M. *et alii*, 2005) i han estat aplicades per a estimar l'evapotranspiració en diferents tipus de conreus –cereals (Er-Raki, S. *et alii*, 2007; Kharrou, M.H. *et alii*, 2021), conreus hortícoles (Vanino, S. *et alii*, 2018) i llenyosos (Kharrou, M.H. *et alii*, 2021; Campos, I. *et alii*, 2010)– i en grans àrees, com per exemple en àmbit estatal (Garrido-Rubio, J. *et alii*, 2018).

Al tercer cas, l'estimació de l'evapotranspiració del conreu es realitza com un terme residual del balanç d'energia en entendre que l'energia disponible per als processos d'evapotranspiració pot ésser avaluada com l'energia que entra al sistema menys la que s'usa en escalfar el sòl i l'atmosfera més la que es reflecteix a l'espai, cosa que permet d'estimar la ET sense conèixer inicialment en quines condicions es troba ni el sòl, ni el conreu ni la gestió que d'ells se'n fa (Bastiaansen, W.G.M *et alii*, 2005). Aquesta aproximació menysté les resistència de la superfície i la resistència que en resulten difícils de quantificar (Bastiaansen, W.G.M, 1998).

Per realitzar aquest balanç cal estimar els diferents fluxos d'energia que hi intervenen. Així cal obtenir els valors de la radiació neta solar i la radiació neta d'ona llarga. Té també

relació el flux de calor del sòl, especialment quant els conreus no el cobreixen completament.

Quan un conreu es troba en bones condicions de desenvolupament, la major part de l'energia disponible s'usa al procés d'evapotranspiració. Per contra, quan en un conreu la disponibilitat d'aigua és insuficient apareix el fenomen de l'estrès hídric i els estomes es tanquen, raó per la qual el ritme de transpiració es redueix i la temperatura de la cobertura vegetal és major que si es compara amb la d'un conreu amb disponibilitat suficient d'aigua. El flux de calor sensible és proporcional a la diferència de temperatures existent entre la cobertura vegetal i l'aire que l'envolta.

Amb l'objectiu d'obtenir l'evapotranspiració d'una superfície vegetal en aplicació d'aquestes tècniques s'ha desenvolupat alguns procediments operatius, com per exemple el SEBAL (Bastiaansen, W.G.M *et alii*, 1996), el METRIC (Allen, R.G. *et alii*, 2007) i els anomenats models de dues fonts (Norman, J.M. *et alii*, 1995).

Pel que fa al SEBAL (acrònim de *The Surface Energy Balance Algorithm for Land*) emprades procedents de teledetecció (en concret la reflectivitat a l'espectre visible, l'infraroig proper i l'infraroig tèrmic) per estimar l'albedo, l'índex d'àrea foliar, l'índex de vegetació; tanmateix necessita el suport d'informació meteorològica com són la humitat, la radiació solar i la temperatura de l'aire (aquesta darrera dada no és obligatòria (Tang, R. *et alii*, 2013)) per a tancar el balanç instantani al moment de la presa de dades pel satèl·lit i mitjançant extrapolacions s'obté l'evapotranspiració diària. A més, per poder autocalibrar-se, el model requereix la presència de zones «seques» i «humides» amb les quals determinar les condicions extremes. Si es disposa d'una sèrie temporal suficient d'imatges de satèl·lit i de dades meteorològiques és possible avaluar l'evapotranspiració en períodes temporals més dilatats, cosa que permet de millorar la precisió de les estimacions –si bé a escala diària la precisió és de l'ordre del 85%, s'incrementa fins al 95% a escala estacional i fins al 96% a escala anual (Bastiaansen, W.G.M *et alii*, 2005; Tang, R. *et alii*, 2013). Aquest algorisme ha estat aplicat per estimar les dotacions netes en condicions reals per a nombrosos conreus i localitzacions, com per exemple el cacau a Xipre (Papadavid, G *et alii*, 2012).

Quant al METRIC (que significa *Mapping EvapoTranspiration at high Resolution with Internalized Calibration*), no necessita emprar dades meteorològiques de temperatura de la superfície (com necessita SEBAL) ja que aquesta informació s'obté, de forma

aproximada, a partir de dades de temperatura radiomètrica i funcions de transferència. A més, el balanç energètic de la superfície del sòl es calibra internament a partir d'un conjunt de dades d'evapotranspiració de referència obtingudes amb informació meteorològica. Així el model avalua, principalment a partir d'imatges tèrmiques d'ona llarga i d'ona curta procedents de teledetecció, mapes d'evapotranspiració real en grans àrees, mapes amb què es pot identificar reduccions en l'evapotranspiració causades per dèficits hídrics. És aquesta capacitat d'avaluar l'evapotranspiració real la que en fomenta l'ús en grans àrees per gestionar l'ús de l'aigua a l'agricultura, especialment en climes semiàrids (Folhes, M.T. *et alii*, 2009).

Finalment, els models de dues fonts divideixen els fluxos de energia superficials en dos: aquells que estan relacionats amb el sòl i aquells relacionats amb el dosser vegetal. Aquesta aproximació té un major fonament físic i no necessita ésser calibrada si bé la en majoria de desenvolupaments cal disposar de mesures precises de la temperatura radiomètrica (Calera, A. *et alii*, 2017).

3. Proposta metodològica

3.1 Conceptes i metodologia

3.1.1. Conceptes

Com anteriorment s'ha indicat, l'aigua és fonamental per al correcte desenvolupament de les plantes fins al punt que la manca d'aigua té importants repercussions en la producció agrícola. Vist que la intenció de l'agricultura, en general, és obtenir la màxima producció d'un conreu, en aquest treball es desenvoluparà una metodologia amb la finalitat d'estimar les necessitats d'aigua dels conreus en condicions estàndard, condicions que es compleixen, segons la definició donada a FAO, 2006, quan un conreu «es troba exempt de malalties, amb una bona fertilització i que es desenvolupa en parcel·les amples en condicions òptimes de sòl i d'aigua, i que assoleix la màxima producció atès a les condicions climàtiques existents».

La quantitat d'aigua que necessita un conreu per desenvolupar-se en condicions estàndard s'anomena necessitats hídriques del conreu, concepte que pot ser definit (Martín de Santa Olalla Mañas, F. *et alii*, 2005) com «l'aigua que es perd mitjançant evapotranspiració i, en un període temporal, és igual a l'evapotranspiració del conreu».

Trobem ací, per primera vegada, un concepte fonamental per a avaluar les necessitats hídriques de les plantes: el concepte d'evapotranspiració. Recorrent novament a les definicions incloses a FAO, 2006, l'evapotranspiració és «la combinació de dos processos separats mitjançant els quals l'aigua es perd a través de la superfície del sòl per evaporació i, per un altra banda, per transpiració del conreu». Aquestos dos processos, que tenen lloc simultàniament, no són fàcilment separables ni fàcilment distingibles, raó per la qual és habitual tractar-los conjuntament. L'evaporació (FAO, 2006) «és el procés mitjançant el qual l'aigua líquida es converteix en vapor d'aigua i és eliminada de la superfície evaporant»; la transpiració (FAO, 2006), en canvi, «consisteix en la vaporització de l'aigua líquida continguda als teixits de la planta i en la seua eliminació cap a l'atmosfera». Aquestos dos processos depenen de múltiples factors com les condicions climàtiques, la disponibilitat d'aigua, el tipus de conreu...

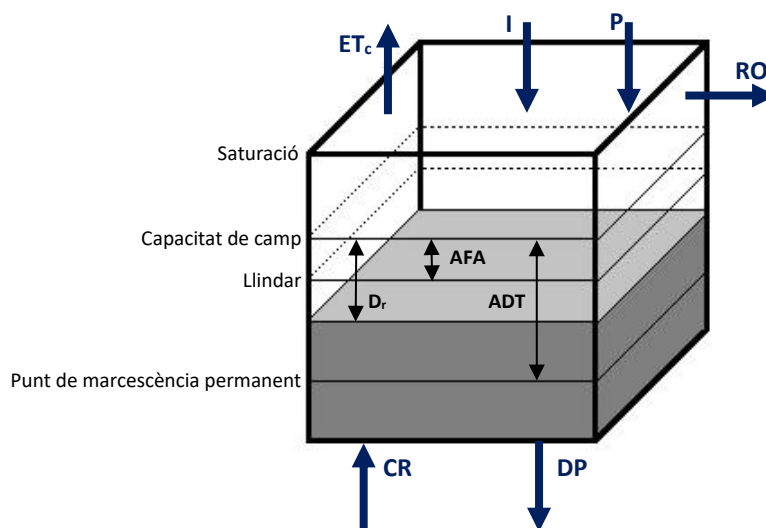
La pluja i la resta de processos que aporten humitat al sòl, en ser fenòmens naturals, són, evidentment, incontrolables. Per tant, l'única forma de garantir que un conreu disposa d'una quantitat d'aigua suficient per a desenvolupar-se en condicions òptimes és aplicant aigua al sòl mitjançant el reg. La quantitat d'aigua que cal aportar amb el reg per què les plantes disposen de la quantitat d'humitat suficient rep el nom de necessitats hídriques de reg (o dotació neta) i pot ser definida de la següent forma (Martín de Santa Olalla Mañas, F. et alii, 2005): «La quantitat d'aigua que expressa les necessitats hídriques de reg és la diferència entre les necessitats hídriques del conreu i la precipitació efectiva. Les necessitats hídriques de reg han d'incloure quantitats addicionals per al llavat de sals i per a compensar la no uniformitat de l'aplicació de l'aigua als sistemes de reg». Com que l'àmbit de càlcul en aquest treball és la demarcació hidrogràfica, no s'ha considerat aquests dos factors, més propis de la determinació de les necessitats de reg a escala de comunitat de regants o, fins i tot, de parcel·la.

Tanmateix la superfície agrícola no es troba sempre conreada. En l'agricultura de conreus herbacis anuals s'alternen períodes conreats amb períodes no conreats – guaret, períodes en què el sòl només està sotmès als efectes de l'evaporació i en què l'única aportació d'aigua al sòl es produeix per efecte de la precipitació; en l'agricultura de conreus llenyosos de fulla caduca el sòl està sotmès únicament al procés d'evaporació als períodes en què els conreus no presenten activitat fenològica.

L'avaluació de la humitat al sòl als períodes de guaret o sense activitat fenològica és rellevant a l'hora d'avaluar les necessitats hídriques dels conreus ja que l'aigua retinguda pel sòl en aquesta època pot representar un aportació d'humitat important en aquells conreus amb requeriments hídrics menuts i amb una rellevant profunditat radicular.

3.1.2. Metodologia

En aquest treball s'ha usat l'enfocament metodològic habitual en aquest tipus d'estudis, enfocament que correspon al proposat al capítol 8 de la Guia 56 de la FAO (FAO, 2006) dedicat a l'obtenció de l'evapotranspiració del conreu sota condicions d'estrés hídric. La metodologia proposada es fonamenta en avaluar la humitat disponible a la zona radicular del sòl al llarg d'un període de temps, al cas d'estudi des d'octubre de 1980 a setembre de 2018 –38 anys hidrològics complets, amb un període de càlcul mensual, període habitual als treballs desenvolupats en la planificació hidrològica. La figura següent, adaptada i traduïda de FAO, 2006, presenta els principals processos a què està sotmesa una fracció de sòl conreat. En concret, hom pot diferenciar fluxos d'entrada d'aigua al sòl –precipitació (P), reg (I) i ascens capil·lar (CR)– i fluxos d'eixida –escorriment superficial (RO), percolació profunda (DP) i evapotranspiració del conreu (ET_c).



Font: FAO, 2006

Figura 5. Balanç d'aigua a la zona radicular del sòl

En compte de representar la quantitat d'aigua s'ha preferit representar el dèficit d'humitat del sòl –esgotament– que no és més que la quantitat d'aigua necessària per què el sòl assoleisca la humitat a capacitat de camp.

$$D_r^t = D_r^{t-1} - (P - RO)^t - I^t - CR^t + ET_c^t + DP^t \quad (1)$$

amb:	D_r^t	esgotament d'humitat a la zona radicular del sòl al final del mes t [mm]
	D_r^{t-1}	esgotament d'humitat a la zona radicular del sòl al final del mes t-1 [mm]
	P^t	precipitació al mes t [mm]
	RO^t	escorriment superficial al mes t [mm]
	I^t	làmina neta de reg que infiltra al sòl al mes t [mm]
	CR^t	ascens capil·lar procedent de la massa d'aigua subterrània al mes t [mm]
	ET_c^t	evapotranspiració del conreu al mes t [mm]
	DP^t	pèrdues d'aigua a la zona radicular per percolació profunda al mes t [mm]

Font: FAO, 2006.

A l'equació anterior, la quantitat d'aigua que cal aportar amb reg (I^t) és el valor que es pretén obtenir en aquest estudi.

Als mesos de guaret o en els quals els conreus no presenten activitat fenològica, el sòl només està sotmès a la pèrdua d'humitat per evaporació i únicament rep aigua per efecte de la pluja llevat de casos molt concrets en què s'aporta aigua als camps per millorar determinades característiques per a la següent collita. Un exemple d'aquesta pràctica és la denominada «perellonà», procés mitjançant el qual s'inunden els arrossars principalment de la Ribera Baixa amb l'objectiu de rebaixar el contingut de sals del sòl. L'equació del balanç del sòl no conreat es simplifica en eliminar-se el component del reg i es canvia la referència a la zona radicular del sòl (amb el subíndex r) per la capa del sòl afectada per l'evaporació (amb el subíndex e).

$$D_e^t = D_e^{t-1} - (P - RO)^t - CR^t + ET_e^t + DP^t \quad (2)$$

amb:	D_e^t	esgotament d'humitat a la capa del sòl afectada per l'evaporació al final del mes t [mm]
	D_e^{t-1}	esgotament d'humitat a la capa del sòl afectada per l'evaporació al final del mes t-1 [mm]
	P^t	precipitació al mes t [mm]
	RO^t	escorriment superficial al mes t [mm]
	CR^t	ascens capil·lar procedent de la massa d'aigua subterrània al mes t [mm]
	ET_e^t	evaporació al mes t [mm]
	DP^t	pèrdues d'aigua a la zona radicular del sòl per percolació profunda al mes t [mm]

Font: Adaptació de FAO, 2006.

La metodologia plantejada en aquest treball preveu la realització del balanç d'humitat al sòl en ambdós estadis alternatius –amb conreu i sense conreu– a tot el territori ja que, com es veurà, per a un mateix conreu no tot el territori es troba conreat simultàniament.

Finalitzats ambdós processos, els resultats són acoblats en funció de l'estadi en què es troba cada cel·la.

Als subapartats següents s'analitza cadascuna de les incògnites i dels fluxos d'humitat que intervenen a l'expressió anterior en ambdós estadis analitzats.

Evapotranspiració del conreu

L'evapotranspiració del conreu representa les necessitats hídriques del cultiu i és el flux principal que intervé en el balanç d'humitat al sòl. En aquest treball s'ha seguit la metodologia proposada en FAO, 2006 anomenada « $K_c ET_o$ » on «els efectes del clima sobre els requeriments d'aigua del conreu vénen reflectits en l'evaporació del conreu de referència ET_o i l'efecte del conreu s'incorpora al coeficient de conreu K_c ». Així l'evapotranspiració del conreu s'obté mitjançant la següent expressió:

$$ET_c = K_c ET_o \quad (3)$$

amb: ET_c evapotranspiració del conreu [mm/dia]
 K_c coeficient de conreu
 ET_o evapotranspiració del conreu de referència [mm/dia]

Font: FAO, 2006

L'equació anterior, desenvolupada per a valors diaris, és d'aplicació immediata a escala mensual sense més que emprar el valor de l'evapotranspiració de referència en aquesta escala temporal.

L'evapotranspiració de referència es defineix com (FAO, 2006) «la taxa d'evapotranspiració d'una superfície de referència que es produeix sense restriccions d'aigua». La superfície de referència és una superfície hipotètica de «pastura, amb una alçària assumida de 0,12 m, amb una resistència superficial fixa de 70 s/m i un albedo de 0,23». És, per tant, (FAO, 2006) «un paràmetre climàtic que pot ser calculat a partir de dades meteorològiques. ET_o expressa el poder evaporant de l'atmosfera en una localitat i època específiques, i no considera ni les característiques del conreu ni els factors del sòl».

Les dades climàtiques emprades per a determinar l'evapotranspiració de referència són la radiació solar, la temperatura de l'aire, la humitat i la velocitat del vent, tal i com ve recollit a l'expressió següent. Aquesta equació és d'aplicació en diferents períodes temporals (generalment un dia, deu dies o un mes), en funció del període temporal de les dades emprades.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)} \quad (4)$$

amb:	ET _o	evapotranspiració de referència [mm/dia]
	R _n	radiació neta a la superfície del conreu [MJ /m ² dia]
	G	flux de calor del sòl [MJ /m ² dia]
	T	temperatura mitjana de l'aire a 2 m d'altura [°C]
	u ₂	velocitat del vent a 2 m d'altura [m/s]
	e _a	pressió de vapor de saturació [kPa]
	e _s -e _a	dèficit de pressió de vapor [kPa]
	Δ	pendent de la corba de pressió de vapor [kPa/°C]
	γ	constant psicomètrica [kPa/°C]

Font: FAO, 2006

El coeficient de conreu (K_c) permet incorporar les característiques que diferencien el conreu analitzat de la pastura de referència. De fet, el valor d'aquest coeficient depèn fonamentalment de les característiques particulars del conreu –l'alçària, l'albedo, la resistència del conreu i l'evaporació directa del sòl a la zona exposada– i només influeixen les característiques climàtiques en una proporció menuda.

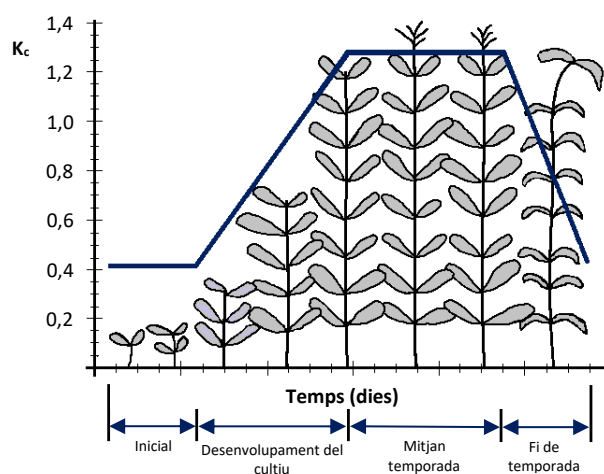
A FAO, 2006 es proposa dues aproximacions al valor del coeficient de conreu, sia mitjançant un coeficient únic (K_c) –que integra tant els efectes de l'evaporació com de la transpiració– sia a través d'un coeficient doble, un per a tenir en compte els efectes del conreu –coeficient basal del conreu (K_{cb})– i un altre per a considerar l'evaporació del sòl –K_e. En aquest treball, en què l'escala de treball és mensual, és suficient emprar un coeficient de conreu únic seguint les recomanacions indicades al document de referència.

El procés de creixement i de desenvolupament dels conreus modifica considerablement les característiques de l'alçària, de la resistència aerodinàmica, de l'albedo així com també la superfície no ombrejada del sòl, raó per la qual el valor del coeficient de conreu també hi canviarà. Aquest procés, en un conreu extensiu, pot sintetitzar-se en les següents quatre etapes temporals, a les quals s'associa una durada i un coeficient de conreu específic –excepte en el cas de l'etapa de desenvolupament del conreu que només porta associada la durada:

- Etapa inicial: des de la sembra fins que el conreu ombreja un 10% de la superfície conreada. En aquesta etapa el coeficient de conreu (K_{c ini}) és menut i sensiblement constant.

- Etapa de desenvolupament del cultiu: des de la fi de l'etapa inicial fins que el conreu cobreix el 70-80% de la superfície. Fase de creixement ràpid del conreu fins que assoleix el màxim desenvolupament. Pot assumir-se un creixement quasilineal entre els valors del coeficient de conreu entre les etapes precedent i posterior.
- Etapa de mitjan temporada: des de la fi de l'etapa de desenvolupament del cultiu fins que s'inicia la senescència de les fulles. El conreu es manté completament desenvolupat, fet que implica que l'evapotranspiració és màxima i sensiblement constant. El coeficient de conreu específic ($K_{c \text{ mit}}$) roman, consegüentment, també constant.
- Etapa de fi de temporada: des de l'inici de la senescència de les fulles fins a la maduració o recol·lecció. El valor del coeficient de conreu disminueix fins al valor mínim de final de temporada ($K_{c \text{ fi}}$).

Les etapes anteriors així com la relació que presenten amb els diferents coeficients de conreu específics es mostren amb major claredat a la figura següent.



Font: FAO, 2006

Figura 6. Corba generalitzada del coeficient de conreu, corresponent al procediment del coeficient únic de conreu

En aquest treball, en què el període temporal de càlcul és mensual, cal transformar els valors anteriors de coeficient de conreu per etapa en coeficients de conreus mensuals. Aquesta transformació ve determinada no només per la durada dels diferents cicles – que en certs casos depèn també de pràctiques culturals i del destí de la producció (collida en verd o en sec)– sinó també per l'època de la plantació ja que, per exemple,

alguns conreus d'hivern en zones càlides són d'estiu en unes altres zones que pateixen gelades hivernals.

Es mostra, com a exemple, el percentatge de superfície plantada i la quantitat collida d'enciam de varietat romà a les províncies en què s'estén la Demarcació extret del *Calendario de Siembra, Recolección y Comercialización 2014-2016* (MAPA, 2019) que es presenta a la taula següent. S'observa que a la província de Conca, província en què són habituals les gelades hivernals, la plantació de l'enciam comença al mes de març i s'allarga fins al mes de juliol, essent, per tant, un conreu de primavera i d'estiu. A la província d'Alacant, per contra, les primeres plantacions es realitzen al mes de setembre i el conreu s'estén al llarg de tota la tardor i l'hivern i els primers mesos de primavera.

Província	Dada	Mes											
		gen.	febr.	març	abr.	maig	juny	jul.	ag.	set.	oct.	nov.	des.
ALBACETE													
Sembra	601 ha			10	15	15	15	15	15	15			
Collida	34.015 t				5	15	15	15	15	15	15	5	
ALACANT													
Sembra	188 ha	20	10	10	10					10	10	10	20
Collida	5.385 t	20	15	15	10						10	10	20
CASTELLÓ													
Sembra	636 ha	15	15	10	5	5	3	3	3	10	8	8	15
Collida	13.318 t	8	10	15	15	10	5	3	3	3	10	10	8
CONCA													
Sembra	18 ha			10	20	25	25	20					
Collida	240 t				15	20	25	15	15	10			
MÚRCIA													
Sembra	2.684 ha	15	10	5	5	5	5	5	5	10	10	10	15
Collida	28.150 t	5	10	10	10	15	5	5	5	5	10	10	10
TARRAGONA													
Sembra	68 ha		15	15	15	15		10	15	15			
Collida	1.746 t			15	15	15	15		10	15	15		
TEROL													
Sembra	3 ha	5	10	10	10	20	5	5	5	10	10	5	5
Collita	45 t	5	10	10	10	20	5	5	5	10	10	5	5
VALÈNCIA													
Sembra	285 ha	10	10						10	20	20	20	10
Collita	9.447 t	20	15	10	10						10	15	20

Font: MAPA, 2009

Taula 1. Percentatge de superfície sembrada i de quantitat collida per mes de l'enciam varietat romà a les províncies en què s'estén la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer

Cal indicar, en darrer lloc, que el valor final dels coeficients de conreu de cada etapa també vénen condicionats per circumstàncies climàtiques i culturals. En concret, el

coeficient de conreu de l'etapa inicial, en conreus anuals, està molt condicionat per l'evaporació a causa del limitat desenvolupament vegetatiu raó per la qual es proposa realitzar diferents correccions en funció del mètode d'aplicació de l'aigua de reg. Respecte al coeficient de conreu de mitjan temporada, el valor ve condicionat per les característiques climàtiques –principalment per la velocitat del vent i la humitat mitjana– així com també per l'alçària del conreu. Finalment, el coeficient de conreu de fi de temporada depèn fonamentalment de les pràctiques culturals en la collita, ja que pren valors molt diferents si el conreu es cull en verd o en deixa marcir en el camp durant un període llarg de temps.

Per les raons esmentades anteriorment es recomana a FAO, 2006 que, en la mesura de les possibilitats, s'adopti als càlculs valors dels coeficients de conreus ajustats a les condicions regionals i culturals. En quant al mètode d'aplicació, el marc espacial en què es realitza aquest treball i tenint en compte que, en la majoria dels casos, conviuen en una mateixa zona agrícola diferents mètodes d'aplicació, no pot ser considerat aquest factor en el resultat. És per això que caldrà tenir-lo en compte a l'hora d'estimar les eficiències de reg a les diferents unitats de demanda agrícola.

Pel que fa al coeficient de conreu als mesos de guaret (K_e), es recomana a FAO, 2006, a l'escala de planificació en què es desenvolupa aquest treball, utilitzar el valor del coeficient de conreu a l'etapa inicial de conreu ($K_{c\ ini}$), recomanació que s'ha seguit. Aquest valor pot ser lleugerament minorat si el sòl, després de la collita, es deixa cobert per vegetació morta, o bé majorat si el sòl es cobreix per vegetació viva. A l'escala temporal i espacial en què s'aborda aquest treball no resulta adequat prejudicar la presència de vegetació viva o morta en funció del tipus de conreu analitzat –l'aparició de vegetació adventícia depèn de múltiples factors com la meteorologia anual o les pràctiques culturals– raó per la qual s'adopta ací la hipòtesi que una vegada finalitzat el cicle del conreu el sòl resta nu fins al proper cicle, cosa que permet adoptar una hipòtesi intermèdia entre ambdós extrems.

Dèficit d'humitat del sòl

El dèficit d'humitat del sòl (D_r) és la quantitat d'aigua que manca en un sòl per què assoleix la capacitat de camp, entenent que la capacitat de camp (θ_{FC}) és la màxima quantitat d'aigua que pot retenir un sòl en drenatge lliure. Aquest paràmetre assolirà el

valor zero després d'un esdeveniment de pluja intensa o de reg pesant en què el sòl haja rebut una gran quantitat d'aigua i es trobe saturat; per contra, serà màxim si el sòl es troba completament sec. Aquests valors depenen, com es vorà, de característiques pròpies del terreny entre les quals destaquen la granulometria i la quantitat de matèria orgànica. No obstant això, un sòl conreat difícilment s'assecarà completament ja que la vegetació no pot extreure'n tota l'aigua retinguda sinó només una fracció.

En aquest sentit cal tenir en compte l'anomenat punt de marcescència permanent (θ_{WP}), valor que representa la quantitat d'aigua que un sòl conté en el moment en què les plantes comencen a marcir-se de forma irreversible en no poder extreure més aigua del sòl. El dèficit d'humitat del sòl en un terreny conreat, en general, difícilment serà inferior a la diferència entre la humitat a capacitat de camp i la humitat en el punt de marcescència permanent. És per això que es defineix a FAO, 2006 el concepte anomenat aigua disponible total (ADT) d'un sòl com la quantitat total d'aigua disponible a la zona radicular del sòl. Aquest valor es calcula amb l'expressió següent:

$$ADT = 1000(\theta_{FC} - \theta_{WP}) Z_r \quad (5)$$

amb:	ADT	aigua total disponible a la zona radicular del sòl [mm]
	θ_{FC}	humitat a capacitat de camp [m^3/m^3]
	θ_{WP}	humitat al punt de marcescència permanent [m^3/m^3]
	Z_r	profunditat de les arrels [m]

Font: FAO, 2006

Com s'observa, l'aigua disponible total depèn no només de les característiques de sòl sinó també del tipus de conreu a través de la profunditat radicular. Tanmateix la profunditat radicular és variable en el temps, fet que és més patent a les plantes herbàcies de cicle anual ja que la profunditat radicular pot prendre valors nuls o de pocs centímetres en el moment de la sembra o la plantació fins a valors superiors a 1 m en algunes espècies d'arrels profundes.

Per a estimar la profunditat radicular efectiva en un moment donat del cicle vegetatiu d'un conreu (z_r^t) s'ha recorregut a la següent expressió referenciada en Martín de Santa Olalla Mañas, F. et alii, 2005 que relaciona aquest valor respecte la profunditat radicular màxima ($Z_r^{m\grave{a}x}$) amb el valor del coeficient de conreu al mateix moment del cicle vegetatiu (k_c^t) respecte el valor màxim del coeficient de conreu ($K_c^{m\grave{a}x}$):

$$z_r^t = Z_{r \max} \frac{K_c^t}{K_{c \max}} \quad (6)$$

amb:	z_r^t	profunditat radicular efectiva al mes t [m]
	$Z_{r \max}$	profunditat radicular efectiva màxima [m]
	K_c^t	coeficient de conreu al mes t
	$K_{c \max}$	coeficient de conreu màxim

Font: FAO, 2006

L'expressió anterior és vàlida (Martín de Santa Olalla Mañas, F. et alii, 2005) «des de l'inici del cicle del conreu fins que el K_c assoleix el valor màxim. A partir d'aleshores se suposa que la profunditat radicular és màxima, sempre que no hi haja hagut cap limitació al seu desenvolupament, fins que el cicle aplega a la fi». En aquest treball, amb l'objectiu de simplificar els càlculs, no s'ha tingut en compte la consideració anterior.

Hom arriba, doncs, a què per a un determinat moment de desenvolupament d'un conreu es pot definir un valor d'aigua disponible total estacional (adt) i un màxim d'aigua disponible total (ADT) que s'assoleix al període de màxim desenvolupament, cosa que ocorre a l'estació de mitjan temporada.

Paral·lelament, a les èpoques de guaret o quan els conreus no tenen activitat vegetativa, la capa superficial del sòl perd humitat per efecte de l'evaporació. Tanmateix, la quantitat d'aigua màxima que pot perdre el sòl per efecte exclusiu de l'evaporació s'anomena aigua evaporable total i pot aproximar-se amb la següent:

$$AET = 1000(\theta_{FC} - 0,5 \theta_{WP}) Z_e \quad (7)$$

amb:	AET	aigua evaporable total [mm]
	θ_{FC}	humitat a capacitat de camp [m^3/m^3]
	θ_{WP}	humitat al punt de marcescència permanent [m^3/m^3]
	Z_e	profunditat de la capa del sòl subjecta a l'eixugó per efecte de l'evaporació [m]

Font: FAO, 2006

Precipitació, escurriments superficials i percolació profunda

La precipitació (P) pot ser definida, segons definició donada per Servei Meteorològic de Catalunya al seu full web –www.meteo.cat– com «tota l'aigua caiguda dels núvols amb velocitat apreciable i directament sobre la superfície».

Depenent del tipus de conreu i de les característiques climàtiques i meteorològiques, la precipitació pot representar la principal font d'humitat de què pot disposar un cultiu. De fet, als conreus que s'exploten en secà, aquesta és l'única font de proveïment d'aigua. No obstant això, com és sabut, després d'un esdeveniment de precipitació de certa

importància no tota l'aigua caiguda queda retinguda al sòl ja que una fracció escorre lliurement per superfície fins a la xarxa fluvial –escorriment superficial (RO)– mentre que la humitat que havent-se infiltrat al sòl no hi pot ésser retinguda drena fins a les capes profundes del sòl on esdevé part de l'aigua subterrània –percolació profunda (DP).

La precipitació és una dada registrada a les diferents estacions climàtiques repartides al territori mentre que tant l'escorriment superficial com la percolació profunda, poden ésser estimades mitjançant diferents mètodes. En agronomia s'empra habitualment el concepte de precipitació efectiva que inclou els tres conceptes anteriors.

La precipitació efectiva (P_e) es defineix (MAPA, 2020) com «la fracció de la precipitació total utilitzada per a satisfer les necessitats d'aigua del conreu; queden per tant excloses la infiltració profunda, l'escorriment superficial i l'evaporació de la superfície del sòl». Aquest paràmetre resulta difícil d'estimar ja que depèn de diferents factors que no són senzills de quantificar, com per exemple, «la intensitat de la pluja, el contingut en humitat del sòl, la velocitat d'infiltració així com l'orografia del terreny» (Martín de Santa Olalla Mañas, F. et alii, 2005). Tots els factors es poden condensar en l'equació següent:

$$P_e^t = P^t - RO^t - DP^t - E^t \quad (8)$$

amb:	P_e^t	precipitació efectiva al mes t [mm]
	P^t	precipitació al mes t [mm]
	RO^t	escorriment superficial al mes t [mm]
	DP^t	pèrdues d'aigua a la zona radicular per percolació profunda al mes t [mm]
	E^t	evaporació de la superfície del sòl al mes t [mm]

Font: Adaptada de Martín de Santa Olalla Mañas, F. et alii, 2005

Existeixen diferents mètodes per estimar la precipitació efectiva, mètodes que fan servir un diferent nombre de variables. Així alguns empen només la precipitació, uns altres la precipitació i l'evapotranspiració del conreu mentre que els més complexos utilitzen la precipitació, l'evapotranspiració del conreu i la capacitat màxima de retenció d'aigua al sòl.

En aquest treball s'ha recopilat alguns dels mètodes d'estimació de la pluja efectiva més habituals i se n'ha avaluat els resultats en una estació de control amb l'objectiu de seleccionar-ne un i aplicar-lo a la formulació desenvolupada. En concret s'ha avaluat els resultats produïts pels mètodes del percentatge fixe, de la precipitació fiable, de l'USDA SCS (P), de l'IVIA, del percentatge fixe per escalons, de l'USDA SCS (P, ET), de

Doorembos-Pruitt i de Témez; l'estació on s'ha analitzat els resultats ha estat la de Montcada IVIA.

Estudiats els avantatges i els inconvenients de cada mètode de càlcul es pren en aquest estudi com a mètode de càlcul de la precipitació efectiva –o millor dit, de l'escorriment superficial i de la percolació subterrània– el mètode de Témez ja que es tracta d'un mètode robust, amplament utilitzat a nivell de planificació hidrològica i que no necessita coeficients addicionals que puguin introduir biaixos entre conreus o entre zones agrícoles. Tanmateix caldrà analitzar-se posteriorment els resultats que s'obtinguen ja que s'ha observat que aquest mètode considera un major aprofitament de les pluges de menor entitat, cosa que podria conduir a una infraestimació de les dotacions resultants especialment als anys amb menor pluviometria. Podria ser convenient, per tant, analitzar en treballs posteriors la conveniència d'introduir un llindar mínim d'evaporació inicial que, sense modificar els valors de l'excedent, permeten reduir la quantitat d'aigua que resta disponible per a la vegetació seguint les recomanacions indicades a FAO, 2006. Seguidament es descriu breument la formulació del mètode seleccionat.

El model de Témez planteja l'existència de dues capes de terreny superposades: una superior formada per la part del sòl fins on arriben les arrels de les plantes –que correspon a la zona d'interès d'aquest treball– i una zona inferior, on es produeix l'emmagatzemament als aqüífers. Així, si a la capa superior del sòl la precipitació mensual (P) és inferior que un cert llindar (P_0) no es produirà excedent hídric (T) i tota l'aigua precipitada quedarà retinguda al sòl de forma que podrà ser aprofitada per la vegetació. Si per contra la precipitació (P) és superior al llindar esmentat anteriorment (P_0), una part de la pluja esdevindrà excedent hídric (T). Aplicant aquest plantejament la precipitació efectiva serà, per tant, la diferència entre la precipitació mensual i l'excedent hídric. Cal posar en evidència que aquest mètode, respecte altres més senzills, té en compte a l'hora de calcular la precipitació efectiva la disponibilitat d'aigua prèvia al sòl, cosa que té rellevància en conreus amb menors necessitats hídriques.

La llei de generació d'excedents s'expressa matemàticament de la forma següent:

$$\begin{aligned} \text{Si } P^t \leq P_0^t &\rightarrow T^t = 0 \\ \text{Si } P^t > P_0^t &\rightarrow T^t = \frac{(P^t - P_0^t)^2}{P^t + \delta^t - 2P_0^t} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\delta^t = D_r^{t-1} + ET_c^t$$

$$P_0^t = CD_r^{t-1}$$

amb:	P^t	precipitació mensual en el mes t [mm]
	P_0^t	llindar de generació d'excident hídric [mm]
	T^t	excident hídric al mes t [mm]
	D_r^{t-1}	dèficit d'humitat al mes t-1 [mm]
	C	coeficient d'excident

Font: adaptat de Pérez Martín, M. A, 2005

$$P_e^t = P^t - T^t \quad (10)$$

amb:	P_e^t	precipitació efectiva al mes t [mm]
	P^t	precipitació mensual en el mes t [mm]
	T^t	excident hídric al mes t [mm]

Font: elaboració pròpia

Als mesos de guaret o en què el conreu no té activitat vegetativa, els valors de l'evapotranspiració mensual del conreu se substitueixen per l'evaporació directa del sòl com ja ha estat indicat anteriorment.

Cal indicar que a l'annex 1 d'aquesta memòria es pot consultar tant el recull de mètodes hidrològics com l'anàlisi realitzada.

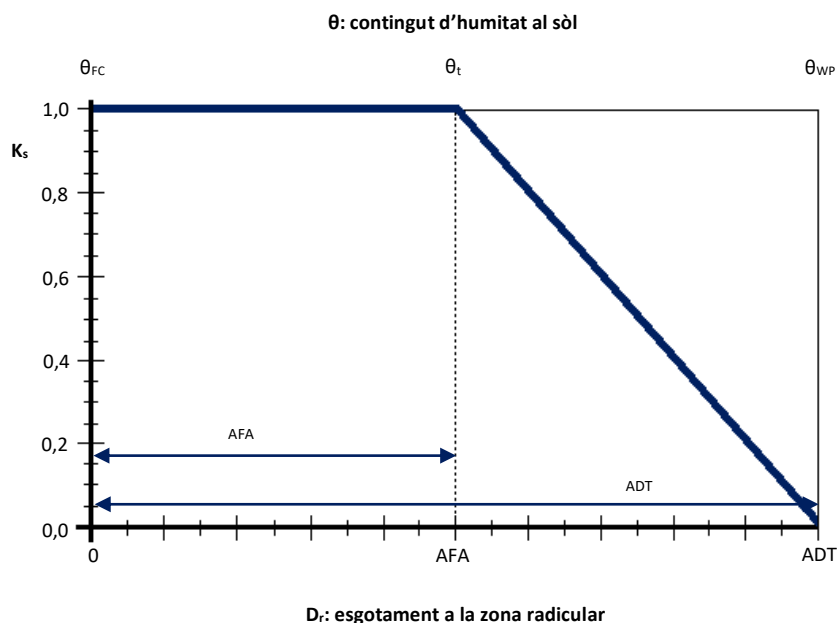
Ascens capil·lar

L'ascens capil·lar (CR) és la quantitat d'aigua que, en la columna de sòl, es mou verticalment en sentit ascendent des de la capa freàtica a la capa radicular. La quantitat d'aigua que es capaç de posar en disposició de les plantes aquest efecte depèn de múltiples factors entre els quals cal esmentar el tipus de sòl, la profunditat de la capa freàtica respecte la capa radicular i la quantitat d'humitat a la capa radicular del sòl. Tanmateix, a FAO, 2006 s'indica que «s'assumeix normalment que el valor de l'ascens capil·lar és igual a zero quan el nivell freàtic es troba a més d'un metre per davall de la zona radicular». En aquest treball s'assumeix que en tots els casos la hipòtesi anterior, cosa que permet considerar que l'ascens capil·lar serà zero en tots els casos. Negligir aquest efecte suposarà un lleuger increment en les necessitats hídriques de reg sobretot en zones costaneres on els nivells freàtics se situen habitualment a poca profunditat.

Reg

Malgrat que el dèficit d'humitat del sòl pot assolir en vegetació natural o conreus en secà valors propers a la diferència entre la humitat a capacitat de camp i la humitat en el punt de marcescència permanent, en l'agricultura de regadiu els valors admissibles del dèficit d'humitat són sensiblement menors i estan condicionats per l'aparició de l'anomenat estrés hídic i, en concret, per les pròpies condicions en què es desenvolupa l'agricultura de regadiu. L'estrés hídic es defineix com el moment en el qual la mancança d'aigua disponible al sòl comença a condicionar el desenvolupament fenològic de les plantes. En aquest treball, en què s'ha assumit que els conreus es desenvolupen en condicions estàndard, serà aquest l'esgotament màxim admissible ja que, en cas que els fluxos d'entrada d'origen natural no puguin aportar la humitat necessària per al correcte desenvolupament del conreu, serà necessari aplicar aigua de reg (I). La quantitat d'aigua que pot extreure un conreu del sòl abans de patir els efectes de l'estrés hídic depèn tant del tipus de sòl com de les característiques fisiològiques del conreu analitzat. A FAO, 2006 aquesta quantitat d'aigua s'anomena aigua fàcilment aprofitable (AFA).

La figura següent mostra l'evolució del coeficient d'estrés hídic en funció de l'esgotament d'aigua a la zona radicular del sòl que si bé no és de directa aplicació en aquest treball és útil per a mostrar els límits d'humitat admissibles en l'agricultura de regadiu. Com s'observa, mentre l'esgotament d'aigua al sòl és inferior a l'aigua fàcilment aprofitable, el coeficient d'estrés hídic pren el valor 1 i els conreus no estan sotmesos als fenòmens de manca d'humitat; per contra, quan el dèficit d'humitat ultrapassa el llindar de l'aigua fàcilment aprofitable el coeficient d'estrés hídic pren valors inferiors a 1.



Font: FAO, 2006

Figura 7. Coeficient d'estrés hídric

Conseqüentment, amb l'objectiu d'evitar l'aparició de l'estrés hídric als conreus, l'esgotament a la zona radicular del sòl estarà comprès entre un mínim de zero quan el sòl estiga saturat i un màxim igual a l'AFA. Com ja s'ha esmentat, en aquells mesos en què de forma natural ni el sòl ni la precipitació poden aportar una quantitat d'aigua suficient que permeti que l'esgotament a la zona radicular del sòl al final del mes siga, com a molt, igual a l'AFA serà necessari aplicar aigua de reg. En forma d'equació, el balanç d'humitat pot expressar-se de la següent forma on ja s'ha considerat que la precipitació efectiva s'obté aplicant el mètode de Témez i que no es produeix aportació d'humitat a la zona radicular per ascens capil·lar:

$$\begin{aligned}
 & \text{Si } D_r^{t-1} - (P - T)^t + ET_c^t \leq AFA^t \rightarrow \\
 & \rightarrow \begin{cases} D_r^t = D_r^{t-1} - (P - T)^t + ET_c^t \\ I^t = 0 \end{cases} \\
 & \text{Si } D_r^{t-1} - (P - T)^t + ET_c^t > AFA^t \rightarrow
 \end{aligned} \tag{11}$$

$$\rightarrow \begin{cases} D_r^t = AFA^t \\ I^t = AFA^t - D_r^{t-1} + (P - T)^t - ET_c^t \end{cases}$$

- amb:
- D_r^{t-1} esgotament d'humitat a la zona radicular del sòl al final del mes t-1 [mm]
 - D_r^t esgotament d'humitat a la zona radicular del sòl al final del mes t [mm]
 - $(P-T)^t$ precipitació efectiva al mes t [mm]
 - ET_c^t evapotranspiració del conreu al mes t [mm]

AFA^t aigua fàcilment aprofitable al mes t [mm]
 I^t aigua aportada per reg al mes t [mm]

Font: Elaboració pròpia a partir de FAO, 2006

El coeficient d'estrés hídric (FAO, 2006) es calcula com una fracció de l'aigua disponible total amb la següent expressió:

$$AFA^t = p^t ADT^t \quad (12)$$

amb: AFA^t aigua fàcilment aprofitable al mes t [mm]
 p^t fracció d'esgotament al mes t
 ADT^t aigua disponible total al mes t [mm]

Font: FAO, 2006

La fracció d'esgotament de la humitat en el sòl en condicions sense estrés hídric (o simplement fracció d'esgotament) és un paràmetre que representa la capacitat que té un conreu per aprofitar l'aigua disponible en el sòl i, per tant, és una característica pròpia de cada conreu. No obstant això, presenta també variabilitat en funció tant de les característiques físiques del sòl com de les característiques meteorològiques del mes analitzat. Tant és així que cal corregir el valor bàsic característic del conreu amb determinats coeficients que depenen de l'evapotranspiració de referència mensual i de les característiques del sòl mitjançant la següent expressió:

$$p^t = p_c + 0,04 \left(5 - \frac{ET_o^t}{N^t} \right) + p_{sol} \quad (13)$$

amb: p^t fracció d'esgotament al mes t
 p_c fracció d'esgotament bàsica del conreu
 ET_o^t evapotranspiració de referència al mes t [mm]
 N^t nombre de dies del mes t
 p_{sol} factor de correcció de la fracció d'esgotament per efecte de les característiques del sòl

Font: FAO, 2006

Atès que l'aigua disponible total (adt) és un valor variable amb el temps i que el valor de la fracció d'esgotament (p) necessita també de ser ajustat en funció de les característiques meteorològiques mensuals, el valor de l'aigua fàcilment aprofitable (afa) també ho serà. Només a l'etapa de mitjan estació, en què l'aigua disponible total assoleix el valor màxim (ADT) l'aigua fàcilment aprofitable també l'assolirà (AFA).

3.2 Dades emprades

Als apartats següents s'explica l'origen de les dades utilitzades a les expressions recollides a l'apartat anterior, de forma que es dona compte, motivadament, perquè s'ha elegit unes fonts i no unes altres.

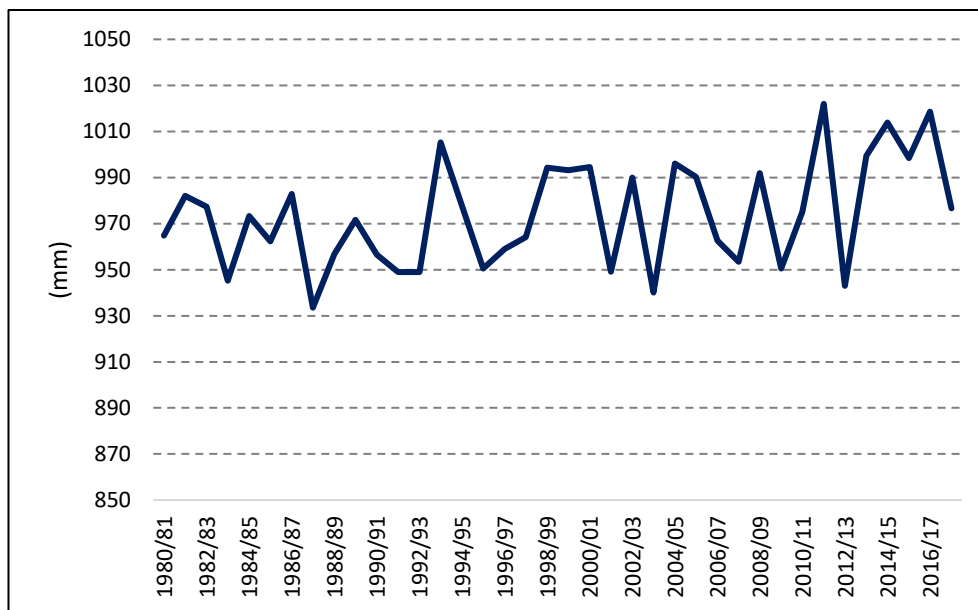
3.2.1. Evapotranspiració del conreu

Evapotranspiració de referència

L'obtenció del valor de l'evapotranspiració de referència de forma distribuïda al territori és una tasca complexa a causa de la gran quantitat d'informació necessària i de la dificultat intrínseca que comporta passar dels valors puntuals que es mesuren a les diferents estacions meteorològiques a valors distribuïts espacialment.

Malgrat aquesta dificultat, l'evapotranspiració de referència és una dada necessària en els anomenats models precipitació-aportació que reproduïxen els diferents processos i variables del cicle hidrològic amb l'objectiu d'avaluar els recursos hídrics. En la Confederació Hidrogràfica del Xúquer, en les tasques de planificació que estan portant-se a terme en el marc del tercer cicle de planificació hidrològica, s'usen els mapes d'evapotranspiració desenvolupats pel Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX en la actualització que del model SIMPA (Ruiz, 1998) que s'utilitzà en els treballs del *Libro Blanco del Agua* (MIMAM, 2000), està realitzant per al tercer cicle de planificació hidrològica (CEDEX, 2020). Aquesta informació és la que s'usa com a dada en aquest treball.

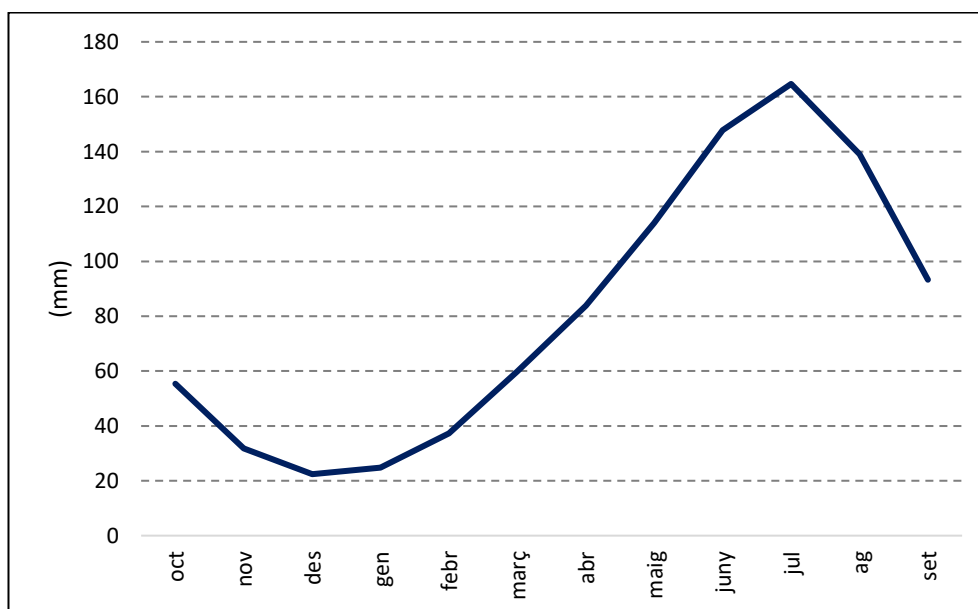
La Figura 8 presenta l'evolució anual de l'evapotranspiració de referència al conjunt de la Demarcació entre els anys hidrològics 1980/81 i 2017/18. S'observa que els valors mostren variacions relativament menudes ($CV = 2,4\%$) i varien entre un màxim de 1 022 mm (2011/12) i un mínim de 933,5 (1987/88). L'evapotranspiració de referència anual mitjana a la Demarcació en el període 1980/18 és de 976,7 mm a l'any.



Font: elaboració pròpia a partir de CEDEX, 2020

Figura 8. Evolució de l'evapotranspiració anual de la Demarcació al període 1980/18

El màxim anual, com s'observa a la Figura 9, s'assoleix al mes de juliol –mes en què es registren les majors temperatures– amb un valor proper als 165 mm/mes mentre que el mínim té lloc al mes de desembre –amb 22,4 mm/mes– mes en què es produeix la combinació de temperatures baixes i menor nombre d'hores insolació.

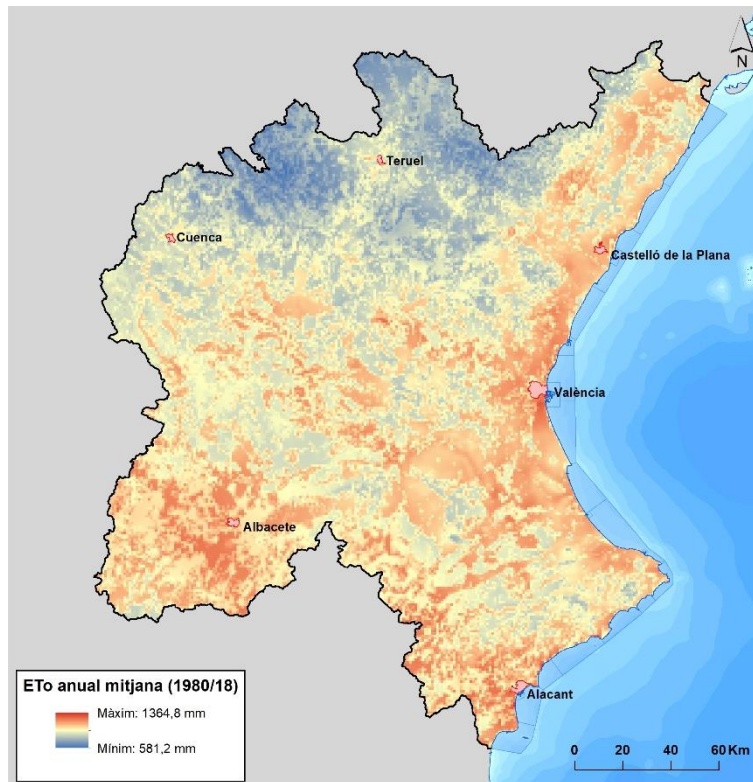


Font: elaboració pròpia a partir de CEDEX, 2020

Figura 9. Distribució intraanual de la evapotranspiració de referència mitjana a la Demarcació

Pel que fa a la distribució espacial dels valors mitjans, hom localitza els majors a la planura manxega i a la vall del Vinalopó, amb un màxim de 1 365 mm a l'entorn del

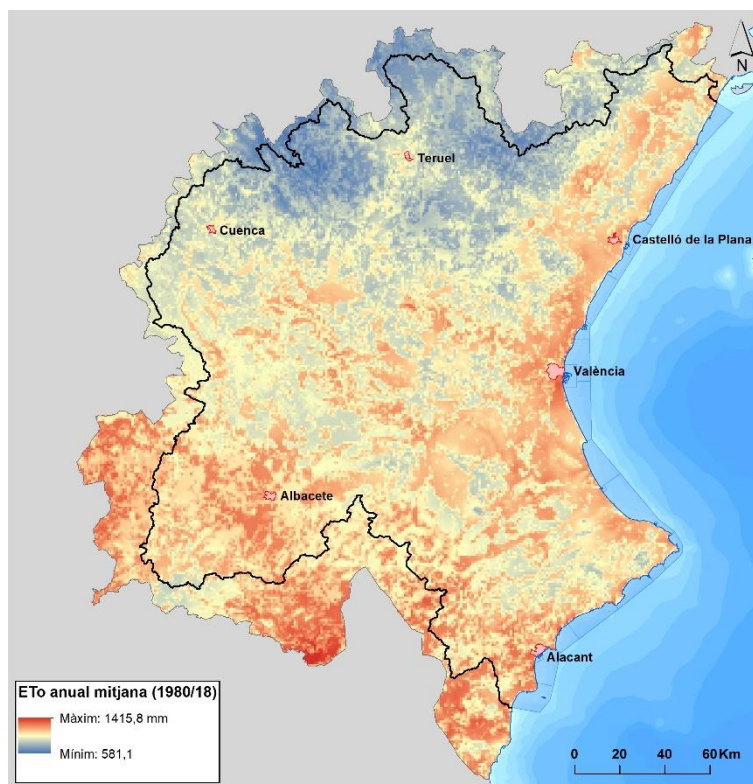
paratge d'Aigua Amarga en Alacant. Els menors, per contra, es troben a les zones de major altitud de la Demarcació. El valor mínim es de 581 mm i es localitza entre els municipis de Griegos (TE) i Guadalaviar (TE). La Figura 10 mostra la distribució espacial de l'evapotranspiració de referència mitjana al període considerat.



Font: elaboració pròpia a partir de les dades de CEDEX, 2020

Figura 10. Distribució espacial de l'evapotranspiració de referència mitjana al període 1980/18 a la Demarcació

La font de dades emprada a la Demarcació estesa és la mateixa. Es mostra a la figura següent el valor de l'evapotranspiració de referència mitjana en aquest àmbit ampliat. La distribució espacial a la zona ampliada reproduïx els patrons esmentats anteriorment a la Demarcació però cal afegir que tant el valor màxim com el valor mínim es localitzen ara justament en aquesta zona ampliada: el valor màxim uns 50 mm superior a Hellín (AB) i el valor mínim, pràcticament igual, al TM de Griegos (TE).



Font: elaboració pròpia a partir de les dades de CEDEX, 2020

Figura 11. Distribució espacial de l'evapotranspiració de referència mitjana al període 1980/18 a la Demarcació

Coeficient de conreu

El coeficient de conreu, com s'ha indicat anteriorment, introdueix al càlcul de l'evapotranspiració els diferents factors que diferencien el conreu analitzat del conreu de referència. La selecció dels valors adequats d'aquest coeficient condicionarà en gran mesura els resultats que se n'obtingran.

Es troba disponible a la literatura científica i agronòmica un destacable conjunt de coeficients de conreu. Així, a més dels coeficients i de les longituds de cada etapa de conreu que s'inclouen a FAO, 2006, i dels que hi ha disponibles a diferents treballs científics, cal destacar a nivell domèstic els valors que es proposen al full web del Sistema de Informació Agroclimàtica para el Regadío (SIAR) del Ministeri d'Agricultura, Pesca i Alimentació –<http://eportal.mapa.gob.es/websiar/Inicio.aspx>– o els que es poden obtenir de les recomanacions de reg dels diferents serveis d'assessorament a l'agricultor de les comunitats autònomes en què major presència té la Demarcació: l'Institut Valencià d'Investigacions Agràries –<http://www.ivia.gva.es/va/>– a la Comunitat Valenciana, el Centro Regional de Estudios del Agua –<http://crea.uclm.es/siar/>– a Castella-la Manxa i la Sociedad Aragonesa de Gestión Agroambiental –

<http://www.sarga.es/>– a l’Aragó. Cal també fer menció de la informació de què disposa l’Institut Técnico Agronómico Provincial de Albacete –<http://www.itap.es/>– que, depenent de la Diputació provincial d’Albacete, conté al seu full web una gran quantitat d’informació sobre les necessitats de reg en diferents campanyes dels principals conreus presents al seu àmbit d’actuació.

Cadascun dels organismes indicats facilita la informació amb un grau diferent de desagregació –tant temporal com espacial– a més de considerar un diferent grup de conreus en funció de la importància relativa que cada cultiu té al seu àmbit d’acció. La Taula 2 mostra, de forma sintètica, la informació que es pot obtenir dels fulls web dels diferents organismes públics consultats en relació amb la desagregació temporal i espacial i la mena de conreus que s’hi caracteritzen.

Organisme	Desagregació espacial	Desagregació temporal	Tipus de conreu considerat	Observacions
SIAR	Comarca agrària	Diària, setmanal o mensual	Els principals de cada comarca agrària	
IVIA	Estació meteorològica	Setmanal, quinzenal o mensual	Hortícoles i principals llenyosos	
CREA	Zona regable	Setmanal	Herbacs extensius, hortícoles i principals llenyosos	No inclou explícitament el valor de K_c però es pot obtenir a partir de la informació facilitada
SARGA	Comarca agrària	Mensual	Herbacs extensius i hortícoles	
ITAP	Zona de conreu	Diària	Herbacs extensius, hortícoles i principals llenyosos	No inclou explícitament el valor de K_c però es pot obtenir a partir de la informació facilitada

Taula 2. Desagregació espacial i temporal de la informació que es pot obtenir dels fulls web dels organismes públics d’assessorament al regant

A la taula anterior es fa referència, a la columna desagregació espacial, a una unitat territorial anomenada comarca agrària (la zona regable i la zona de conreu responen al mateix concepte). Aquesta unitat territorial, segons la informació procedent del full web del MAPA, tenen l’origen en estudis desenvolupats als anys 70 del segle passat i foren creades com a «unitats espacials intermèdies entre la província i el municipi que, sense cap personalitat jurídic-administrativa, tingueren un caràcter uniforme des del punt de vista agrari, que permetés utilitzar-les com a unitats per a la plantació i execució de

l'activitat del Ministeri i per a la coordinació dels seus diferents centres directius». Les actualment vigents daten de 1996, any en què la Secretaria General Tècnica del Ministeri d'Agricultura, Pesca i Alimentació publicà una nova comarcalització al document *Comarcalización Agraria* (MAPA, 1996).

La selecció d'uns coeficients de conreu o uns altres no és obvia ja que està condicionada per dos enfocaments contraposats. Per una banda, l'abast territorial de l'àrea d'estudi, amb una gran varietat de climes i de pràctiques agrícoles, aconsella emprar coeficients de conreu específics, centrats en cada zona agrícola, de forma que representen el més adequadament possible la realitat climàtica, agrícola i cultural del territori. Altrament, la necessitat d'obtenir valors coherents entre les diferents zones de la Demarcació recomana prioritzar coeficients de conreu d'àmbit general de forma que puguin ser aplicables a la major part del territori.

Aquest enfocament contraposat pot ser resolt satisfactòriament emprant els coeficients de conreu proposats pel SIAR, coeficients que tenen en compte les característiques climàtiques i culturals de les diferents comarques agràries i, en procedir de la mateixa font, s'evita incloure biaixos en els resultats. Tanmateix, l'ús com a font d'informació primària del SIAR no resol completament la necessitat de recórrer a fonts d'informació complementàries a causa del gran nombre de conreus que es tracten en aquest treball. Com anteriorment s'ha fet esment, la unitat territorial emprada pel SIAR és la comarca agrària, formada per agrupació de diferents municipis. En la Demarcació estesa, atès a la informació disponible al full web del MAPA, s'ha definit les següent 46 comarques agràries –Figura 12 i Taula 3:

- 5 a l'Aragó, totes a la província de Terol –Conca del Jiloca, Foia de Terol, Maestrat, Serrania d'Albarrasí i Serrania de Montalbán–
- 13 a Castella-La Manxa: 6 a la província d'Albacete –Almansa, Centre, Hellín, Manxa, Manxuela i Serra d'Alcaraz– i 7 a la província de Conca –Alcàrria, Manxa Alta, Manxa Baixa, Manxuela, Serrania Alta, Serrania Baixa i Serrania Mitjana–
- 2 a Catalunya, totes a la província de Tarragona –el Baix Ebre i el Montsià–
- 1 a Múrcia –Nord-est–
- 25 a la Comunitat Valenciana: 5 a la província d'Alacant –Central, el Marquesat, Meridional, la Muntanya i el Vinalopó; 7 a la província de Castelló –l'Alt Maestrat, el Baix Maestrat, el Litoral Nord, el Penyalgosa, la Plana i les Valls Centrals– i 13

a la província de València –l’Alt Túria, el Camp de Llíria, la Costera de Xàtiva, Énguera i la Canal, la Foia de Bunyol, Gandia, l’Horta de València, el Racó d’Ademús, Requena-Utiel, la Ribera del Xúquer, Sagunt, la Vall d’Aiora i la Vall d’Albaida–



Figura 12. Comarques agràries definides pel MAPA a la Demarcació estesa

Tot i així, l’anàlisi de la informació gràfica de les comarques agràries descarregada del MAPA planteja els següents dubtes: el municipi de València ve inclòs a la comarca de Sagunt en compte de en la comarca de l’Horta de València, cosa que crea un perllongament artificios de la primera comarca dintre de la segona, a més de separar el municipi de València de la comarca on habitualment resta inclòs; el municipi de Xàtiva es troba separat de la seua comarca habitual i ve considerat dins de la comarca de la Ribera del Xúquer, fet que divideix la comarca de la Costera de Xàtiva en dues parts inconnexes; considerar el municipi de Conca dins de la comarca de la Serrania Alta introdueix nombrosos enclavaments a la comarca agrària de la Serrania Mitjana i, finalment, la comarca del Palància es troba dividida en dues parts, una major a la província de Castelló i una altra de menor superfície –el municipi de Gátova– a la província de València.

Al terme municipal de València es practica una agricultura de regadiu especialment dinàmica amb característiques compartides amb els municipis limítrofes. És per això que les tècniques agrícoles i pràctiques culturals presenten una major relació amb els municipis de l’Horta de València que no amb els de la comarca agrària de Sagunt, cosa que és especialment rellevant en el cas del conreu de l’arròs a l’entorn de l’Albufera. Cas semblant pot adduir-se en el cas del Xàtiva, les característiques agrícoles del qual són compartides amb els municipis de l’Horta de Xàtiva (a la comarca de la Costera) més que a la comarca de la Ribera del Xúquer. És per això que, en aquest treball, s’ha modificat els límits de les comarques agrícoles de l’Horta de València i la Costera de Xàtiva per incloure-hi, respectivament, els termes municipals de València i de Xàtiva. Per contra, el cas de Conca no presentarà una especial transcendència en els resultats ja que els enclavaments que el seu terme municipal introdueixen a la comarca agrària de la Serrania Mitjana són, fonamentalment, zones agrestes on l’agricultura de regadiu, si es practica, té caire testimonial, raó per la qual no s’ha realitzat cap modificació de les comarques agràries en aquest sentit. Finalment s’ha unit el municipi de Gàtova a la comarca del Palància com s’indica a la informació gràfica descarregada. Amb aquestos canvis, les 26 comarques agràries usades en aquest treball es mostren en la Figura 13.

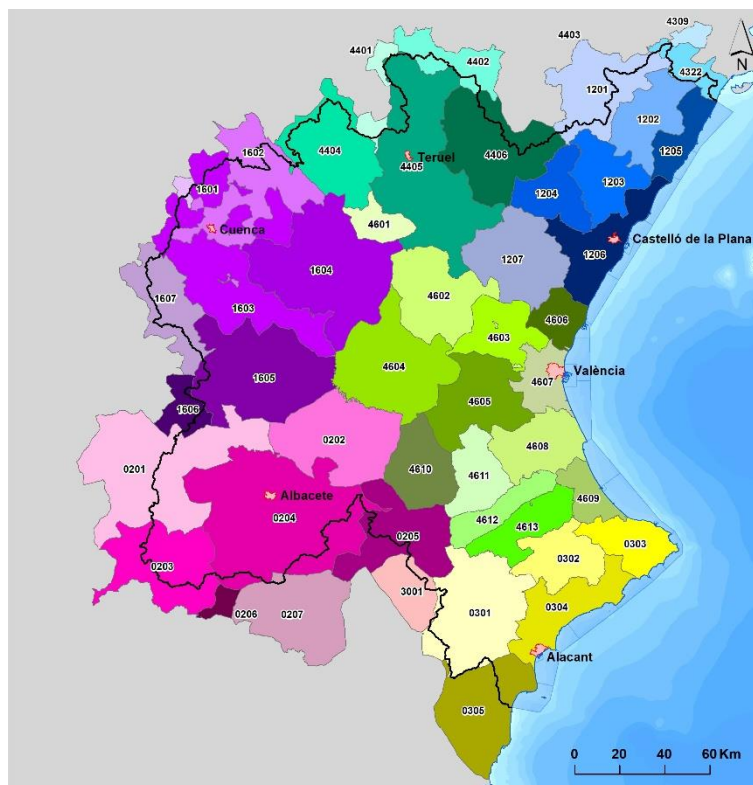


Figura 13. Comarques agràries adoptades a la Demarcació estesa

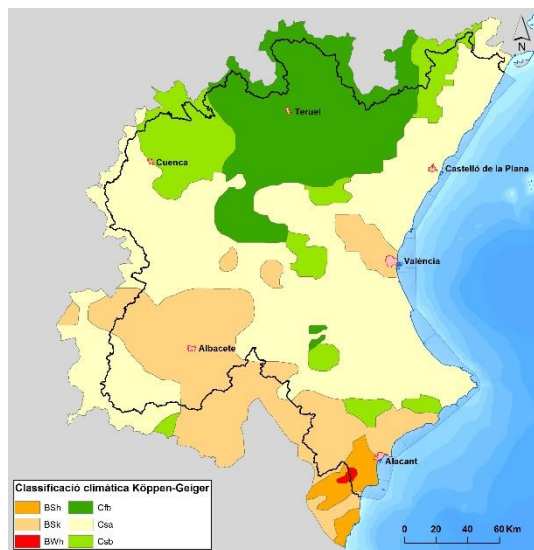
El SIAR facilita informació del coeficient mensual de conreu en aquells cultius amb una superfície conreada significativa en una comarca agrària; per exemple, si bé no preveu coeficients de conreu per als cítrics a la comarca agrària de la Serrania Baixa tampoc preveu coeficients per als cereals d'hivern per a farratge a la comarca de la Ribera del Xúquer. Per contra, hi ha conreus, com l'alfals o la ceba, amb una presència significativa a tot el territori i és per ço que el SIAR proposa valors per a quasi totes les comarques. No obstant això, és un objectiu d'aquest treball obtenir les dotacions de reg de tots els conreus a tota la Demarcació, fet pel qual cal completar els valors de tots els coeficients a totes les comarques agràries.

El completat de valors s'ha realitzat aplicant, en la mesura de les possibilitats, criteris de veïnat, atès que les característiques climàtiques i les pràctiques culturals en una comarca agrària seran més semblants a les de les comarques properes que no a les de les comarques més allunyades. Per a aplicar aquest criteri de veïnat d'una forma ordenada i partint de la base que les condicions climàtiques són fonamentals a l'hora de determinar els diferents coeficients de conreu que són aplicables, s'ha classificat les diferents comarques agràries en funció de les característiques climatològiques a partir de la informació disponible a l'*Atlas Climático Ibérico* (AEMET-IM, 2011) –Figura 14. Així mateix, també s'ha classificat les comarques agràries en funció de la seua situació dintre de la xarxa fluvial a partir dels de les hidroregions definides pel CEDEX (CEDEX, 2011) adaptades als sistemes d'explotació –Figura 15.

En relació amb la classificació climàtica s'observa que la major part de la Demarcació es caracteritza per tenir un clima temperat. Tant és així que els territoris costaners del nord i centre de la Demarcació, la zona franja intermèdia entre la Serrania de Conca i la Manxa així com les muntanyes del sud de la província d'Albacete i el nord de la província d'Alacant presenten un clima temperat amb estius secs i calorosos (Csa); la província de Terol i la zona d'alta muntanya de la província de Castelló un clima temperat sense estació seca i estiu temperat (Cfb) i la resta de zones muntanyoses de la província de Castelló i Conca i les serralades de major altura de les serres bètiques valencianes gaudeixen d'un clima temperat amb estiu sec i temperat (Csb). El clima al sud del territori, la planura manxega i una àrea al tram final del Túria ve classificat amb climes de tipus sec: estepa freda (BSk) a la planura manxega, tram final del Túria, la Marina

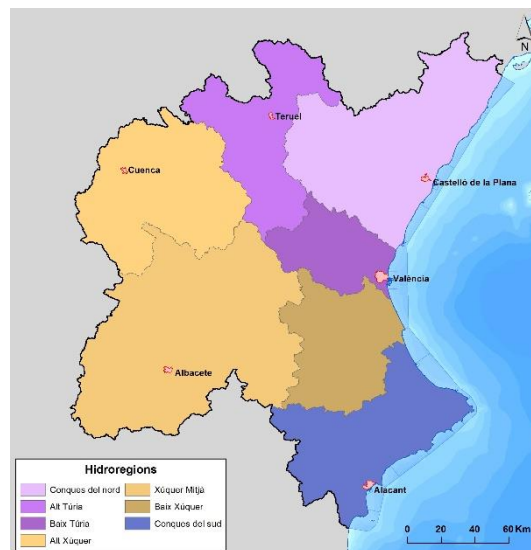
Proposta metodològica per a estimar les necessitats hídriques de reg en la planificació hidrològica: aplicació a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.

Baixa i conca alta i mitjana del riu Vinalopó; estepa càlida (BSh) al Baix Vinalopó i sud de l'Alacantí i desert càlid (BWh) a una xicoteta àrea del terme municipal d'Elx.



Font: AEMET-IM, 2011

Figura 14. Classificació climàtica de Köppen-Geiger en la Demarcació estesa



Font: Adaptació de CEDEX, 2011

Figura 15. Hidroregions adaptades als sistemes d'explotació

Pel que fa a les hidroregions, han estat considerades dintre de les conques del nord els sistemes d'explotació Sénia-Maestrat, Millars-Plana de Castelló i Palància-les Valls; a l'Alt Túria la part del sistema d'explotació Túria situat aigua amunt de l'embassament de Benaixeve; al Baix Túria la resta del sistema de explotació Túria; a l'Alt Xúquer les capçaleres del Xúquer fins a l'embassament d'Alarcón i del Cabriol fins a l'embassament de Contreras; al Xúquer Mitjà la conca del Xúquer fins a la cua de l'embassament de Cortes II i la capçalera del Magre fins a l'embassament de Forata; al Baix Xúquer la resta del sistema de explotació Xúquer i a les conques del sud els sistemes d'explotació Serpis, Marina Alta, Marina Baixa i Vinalopó-l'Alacantí.

Associant les diferents comarques agràries en funció de les característiques climàtiques en tres categories –clima temperat amb estius temperats (Cfb i Csb), clima temperat amb estius calorosos (Csa) i clima sec (BSk, BSh i BWh)–, usant com a criteris de regionalització les hidroregions i aplicant el criteri d'evitar enclavaments es defineixen les sis regions hidroclimàtiques que es mostren en la Figura 16.

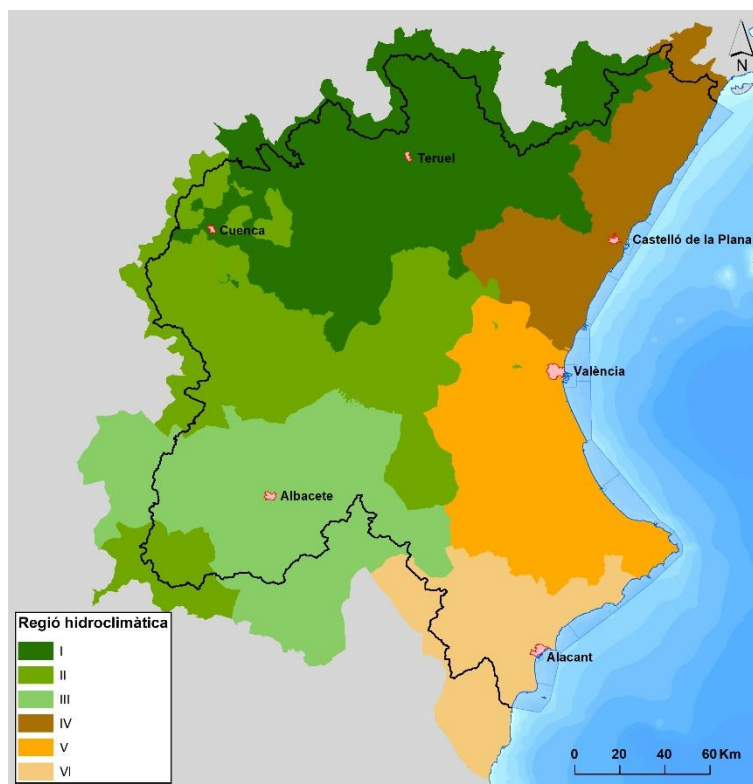


Figura 16. Regions hidroclimàtiques definides a la Demarcació estesa

S'observa que a l'interior de l'àrea d'estudi s'ha definit tres regions: una al nord amb les comarques de major altitud; una al sud amb les comarques de la planura manxega i una altra intermèdia entre les dues anteriors amb les comarques de clima intermedi que inclou també les comarques muntanyoses del sud de la província d'Albacete. En quant a les regions litorals, s'ha dividit també en tres: una al nord amb les conques dels rius de la Sénia, el Maestrat, el Baix Millars i el Palància; una al centre amb els cursos baixos del Túria i del Xúquer, el Serpis i la Marina Alta i una regió més al sud que inclou les comarques de clima sec situades a la cara sud de les serralades bètiques.

La Taula 3 presenta, per a cada comarca agrària, el clima o climes dominants, la hidroregió o hidroregions en què es troben així com la regió hidroclimàtica a què ha estat assignada. S'indica, així mateix, si es tracta d'una regió interior o litoral. Cal fer notar que la comarca agrària d'Hellín no ha estat associada a cap hidroregió perquè no es troba a la Demarcació.

Comarca agrària		Clima dominant	Hidroregió	Regió hidroclimàtica	Zona
0201	la Manxa	BSk	Xúquer Mitjà	III	Interior
0202	Manxuela	BSk-Csa	Xúquer Mitjà	III	Interior
0203	Serra l'Alcaraz	Csa	Xúquer Mitjà	II	Interior
0204	Centre	BSk	Xúquer Mitjà	III	Interior

	Comarca agrària	Clima dominant	Hidroregió	Regió hidroclimàtica	Zona
0205	Almansa	BSk-Csa	Xúquer Mitjà	III	Interior
0207	Hellín	BSk	-	III	Interior
0301	el Vinalopó	BSk	Conques del sud	VI	Litoral
0302	la Muntanya	Csa	Conques del sud	V	Litoral
0303	el Marquesat	Csa	Conques del sud	V	Litoral
0304	Central	BSk	Conques del sud	VI	Litoral
0305	Meridional	BSh	Conques del sud	VI	Litoral
1201	l'Alt Maestrat	Csb	Conques del nord	I	Interior
1202	el Baix Maestrat	Csa	Conques del nord	IV	Litoral
1203	les Valls centrals	Csa	Conques del nord	IV	Litoral
1204	el Penyagolosa	Cfb	Conques del nord	I	Interior
1205	el Litoral nord	Csa	Conques del nord	IV	Litoral
1206	la Plana	Csa	Conques del nord	IV	Litoral
1207	el Palància	Csa	Conques del nord	IV	Litoral
1601	La Alcarria	Csa	Alt Xúquer	I	Interior
1602	Serrania Alta	Csb	Alt Xúquer	I	Interior
1603	Serrania Mitjana	Csa-Csb	Alt Xúquer	II	Interior
1604	Serrania Baixa	Cfb-Csa	Xúquer Mitjà	II	Interior
1605	Manxuela	Csa	Xúquer Mitjà	II	Interior
1606	Manxa Baixa	BSk	Xúquer Mitjà	II	Interior
1607	Manxa Alta	Csa	Xúquer Mitjà	II	Interior
3001	Nord-est	BSk	Conques del sud	VI	Litoral
4309	el Baix Ebre	Csa	Conques del nord	IV	Litoral
4322	el Montsià	Csa	Conques del nord	IV	Litoral
4401	Conca del Jiloca	Cfb	Alt Túria	I	Interior
4402	Serrania de Montalbán	Cfb	Alt Túria	I	Interior
4404	Serrania d'Albarrasí	Cfb	Alt Túria	I	Interior
4405	Foia de Terol	Cfb	Alt Túria	I	Interior
4406	el Maestrat	Cfb	Conques del nord	I	Interior
4601	el Racó d'Ademús	Cfb	Alt Túria	I	Interior
4602	l'Alt Túria	Csa	Alt Túria-Baix Túria	II	Interior
4603	el Camp de Llíria	BSk	Baix Túria	V	Litoral
4604	Requena-Utiel	Csa	Xúquer Mitjà	II	Interior
4605	la Foia de Bunyol	Csa	Baix Xúquer	V	Litoral
4606	Sagunt	Csa	Conques del nord	IV	Litoral
4607	L'Horta de València	BSk-Csa	Baix Túria	V	Litoral
4608	la Ribera del Xúquer	Csa	Baix Xúquer	V	Litoral
4609	Gandia	Csa	Conques del sud	V	Litoral
4610	la Vall d'Aiora	Csa	Xúquer Mitjà	II	Interior
4611	Énguera i la Canal	Csa	Baix Xúquer	V	Litoral
4612	la Costera de Xàtiva	Csa	Baix Xúquer	V	Litoral
4613	la Vall d'Albaida	Csa	Baix Xúquer	V	Litoral

Taula 3. Comarca agrària, clima dominant, hidroregió i regió climàtica assignada

El procés de completat de les dades es realitza seguint el procediment que es descriu a continuació, on es dona prioritat a les dades regionals sobre les generals. El procés és el següent:

- 1) Si es possible s'adopta el coeficients de comarques agràries veïnes dins de la mateixa regió hidroclimàtica.

- 2) Si cap de les comarques veïnes disposa de valors o si resulten incoherents es pren la mitjana dels valors dels coeficients de conreu de les comarques de la mateixa regió hidroclimàtica.
- 3) Si cap comarca de la regió hidroclimàtica disposa de valors dels coeficients de conreu es pren la mitjana de les comarques amb dades de la resta de regions hidroclimàtiques de la mateixa zona.
- 4) Si cap comarca de les regions de la mateixa zona presenta dades es pren el valor de la mitjana de les comarques amb dades de la Demarcació estesa.

Aquesta metodologia ha permés disposar de valors de coeficients mensuals de conreu en 103 dels 149 tipus de conreu necessaris, és a dir, en aproximadament un 70% dels casos.

Amb l'objectiu d'aconseguir caracteritzar els coeficients de conreu mensuals de la resta de cultius considerats en aquest treball, s'ha cercat fonts d'informació alternativa a la continguda al SIAR a les comarques de la Demarcació estesa.

En primer lloc s'ha intentat obtenir del SIAR coeficients de conreus que, si bé hui són minoritaris en la Demarcació o tingueren presència en el passat, són encara rellevants en altres comarques agràries de l'Estat. S'ha consultat el llistat de conreus disponibles en cada comarca i s'ha obtingut coeficients per als 13 conreus següents: escaiola, creïlla extraprimerenca, canya de sucre, lli oleaginós, menta, llúpol, raigràs italià, card i resta de farratges, cogombret, cebollí gal·lès, codonyer, raïm de pansificació i taperera. En general, els coeficients proposats són els mateixos a totes les comarques agràries excepte al raïm de pansificació en què hi ha dos conjunts de coeficients. En aquest darrer cas els valors adoptats depenen de les característiques climàtiques tant de la comarca agrària d'origen de les dades com les de la comarca de destí. Recórrer a la informació proposada per a les altres comarques agràries de l'Estat tampoc ha permés completar la totalitat de coeficients de conreus necessaris.

Com a segona font d'informació s'ha emprat la facilitada pels serveis d'assessorament agraris de les diferents comunitats autònomes o diputacions provincials en què té presència la Demarcació, especialment l'IVIA i l'ITAP. Pel que fa a la informació procedent de l'IVIA, a l'apartat «*Riegosivia*» del seu lloc web s'hi posa a disposició del públic informació sobre les necessitats hídriques de reg dels conreus més representatius de l'agricultura valenciana. Així, una vegada elegida l'estació agrometeorològica d'on es

prendrà les dades meteorològiques, cal seleccionar el conreu sobre el que es realitzarà la consulta a un menú desplegable. Si el conreu seleccionat és llenyós, cal inserir-hi obligatòriament dades del diàmetre de la capçada i del marc de plantació, a més d'unes altres característiques del sistema de reg localitzat (no permet considerar cap altre sistema de reg). L'aplicació també permet considerar, facultativament, uns altres paràmetres auxiliars que no intervenen en els resultats de les necessitats hídriques dels conreus. Finalment s'ha d'indicar el període de càlcul en què es desitja obtenir resultats. Amb l'aplicació s'obté, als mesos compresos en el període de càlcul, els valors de l'evapotranspiració de referència, el coeficient mensual de conreu, l'evapotranspiració de conreu, la precipitació, la precipitació útil, la precipitació efectiva, les necessitats de reg brutes, els litres per planta i les hores de reg.

Si en canvi es desitja obtenir resultats per a un conreu hortícola, a més del marc de plantació, cal inserir-hi la data en què té lloc la plantació, si el conreu es realitza a l'aire lliure o en hivernacle, el sistema de reg (localitzat o aspersió) i les diferents característiques tècniques del sistema de reg. En aquest cas l'aplicació facilita els resultats amb una desagregació setmanal.

Els coeficients de conreu que s'obté de l'aplicació són independents tant de l'estació agroclimàtica seleccionada com del sistema de reg però no del marc de plantació i, en alguns casos, tampoc del diàmetre de la capçada. Aquesta informació, en aquest treball, s'ha obtingut a partir de la informació continguda al *Prontuario de agricultura* (Mateo Box, J.M., 2005) obra que recull de forma exhaustiva les característiques biològiques i agronòmiques dels principals conreus presents a l'Estat espanyol.

Els conreus els coeficients de conreu dels quals provenen d'aquesta font d'informació són l'api, el kiwi i la classe conjunta formada pel ginjoler, el caqui i la resta de fruiters de fruita carnosa no cítrica. En aquesta darrera classe, en particular, s'ha assimilat tota la classe al caqui ja que la superfície conreada d'aquest conreu respecte el total és absolutament dominant.

Quant a la informació procedent de l'ITAP, al seu lloc web s'hi posa a disposició pública les necessitats hídriques històriques per zona agrícola dels conreus amb major implantació a la província d'Albacete des de la campanya de regs 2011, entre els quals es troben conreus herbacis extensius, hortícoles i alguns llenyosos de fulla caduca. En

concret hom obté les necessitats hídriques dels conreus a escala diària durant tot el cicle fenològic del conreu.

Així, coneguda l'evapotranspiració potencial mitjana de cada zona o comarca agrària procedent de les estacions agrometeorològiques del SIAR i les necessitats hídriques de cada conreu, es calcula el coeficient de conreu diari sense més que calcular el quocient de la segona dada respecte la primera. Així mateix, en realitzant la mitjana aritmètica de tots els dies del mes –als dies del mes anteriors a la plantació o posteriors a la collita s'ha considerat que el coeficient de conreu és nul– s'avalua el coeficient de conreu mensual de cada campanya de reg per a cada comarca agrària. El valor final adoptat correspon a la mitjana aritmètica dels valors mensuals calculats amb la informació de les campanyes entre 2011 i 2017, anys que estaven disponibles en el moment en què es van realitzar els càlculs.

De tot l'elenc de conreus dels quals l'ITAP facilita informació s'ha aprofitat el del cascall, conreu molt rellevant a la província d'Albacete però pràcticament inexistent a la resta de la Demarcació, raó per la qual s'ha adoptat el valor corresponent a aquest conreu com a representatiu de la classe genèrica cascall i resta de conreus industrials.

La tercera font d'informació utilitzada, exhaurides les possibilitats que ofereixen les dues anteriors, ha estat els valors generals proposats a FAO, 2006. Aquest document conté informació indicativa sobre la durada de les etapes de creixement per a diferents períodes de sembra i regions climàtiques –quadre 11 del document de referència– així com valors del coeficient únic del conreu –quadre 12 del document de referència– en una important relació de conreus, entre els quals es troba alguns dels quals no es disposa d'informació: en aquest cas el mill i el mill perlat, el còrtam, l'espinaç, el rave i el festuc. Pel que fa a l'època de sembra i les durades dels períodes, s'ha seleccionat entre les opcions disponibles, aquelles que corresponen a zones climàtiques més semblants a les de la Demarcació. Així per al mill i el mill perlat s'ha considerat els valors de Pakistan, per al còrtam els valors de Califòrnia i per al rave i el festuc els de la regió mediterrània. El cas de l'espinaç, per al qual s'ha pres els valors corresponents a la regió mediterrània, és lleugerament diferent perquè a les comarques amb gelades hivernals és un conreu d'estiu mentre que a les comarques en què no es produeixen gelades és un conreu d'hivern; depenent d'aquest factor s'ha seleccionat tant la data d'inici del cicle vegetatiu

com la durada. Indicat a Mateo Box, J.M., 2005 que els cicles de l'espinaç i de l'enciam són molt semblants, s'ha fet coincidir els cicles d'ambdós conreus.

Els coeficients de conreu per a cada fase s'obtenen de FAO, 2006 si bé, per a cada comarca agrària, s'ha ajustat el valor del coeficient de conreu de mitjan estació en funció de les condicions climàtiques i l'altura del conreu com es proposa al document de referència. La Taula 4 presenta, per a cada conreu la font d'informació del qual és FAO, 2006, les durades dels cicles així com els coeficients de conreu de cada etapa i la data de plantació.

Conreu		Data de plantació	L (dies)				K _c			
			L _{ini}	L _{des}	L _{mit}	L _{fi}	K _{c ini}	K _{c mit}	K _{c fi}	
CCU11204	Mill i mill perlat	1 abr.	15	25	40	25	0,4	1	0,3	
CCU14306	Càrtam	1 abr.	30	35	45	25	0,35	1,15	0,25	
CCU16105	Espinaç	Hivern	1 oct.	20	20	25	5	0,7	1	0,95
		Estiu	1 juny	20	20	15	5	0,7	1	0,95
CCU16407	Rave	1 abr.	5	10	15	5	0,7	0,9	0,85	
CCU23005	Festuc	1 febr.	20	60	30	40	0,4	1,1	0,45	

Font: FAO, 2006

Taula 4. Data de plantació, durada i coeficients de conreu de les etapes dels cultius la font d'informació dels quals prové de FAO, 2006

Els coeficients de conreu mensuals es calculen realitzant la mitjana mensual dels valors diaris del coeficient si bé cal tenir en compte que als dies posterior a la collita fins completar el mes se'ls assigna el valor del coeficient de conreu zero.

Finalment cal indicar que per al sumac, conreu del tot residual a la Demarcació –al voltant d'1 hectàrea regada als tres primers anys de la sèrie– s'ha adoptat els valors del festuc.

Hi ha una sèrie de conreus locals o amb poca implantació als quals no ha estat possible assignar coeficients mensuals de conreu. Per a completar aquesta manca d'informació, s'ha cercat a diferents bases de dades d'articles científics d'àmbit internacional informació diversa que permetés estimar tant la durada dels diferents períodes de creixement com els coeficients de conreu. En alguns casos s'ha obtingut tota la informació necessària de la mateixa font bibliogràfica mentre que en uns altres, de les diferents fonts, només ha estat possible obtenir informació parcial i ha estat necessari, per tant, completar-la amb alguna altra font o, inclús, amb informació de conreus de la mateixa família.

Els cultius els coeficients de conreu dels quals provenen o han estat obtinguts a partir d'articles científics i tècnics són: la xufa, el cànem tèxtil, el cànem per a llavor, el safrà, l'espígol i la classe genèrica pataca, xirivia i resta d'arrels i tubercles farratgers. En aquest darrer cas el valor del coeficients de conreu de la classe ha estat calculat com a mitjana dels valors de la pataca i la xirivia.

La Taula 5 mostra, per a cadascun dels conreus anteriors, les durades dels cicles així com els coeficients de conreu de cada etapa i la data de plantació considerats. També s'inclou les fonts bibliogràfiques emprades en cada cas. No s'ha considerat oportú incorporar ací, per concisió, la descripció completa dels càlculs realitzats, informació que pot consultar-se amb major detall a l'apartat 1 de l'annex 2.

Conreu		Data de plantació	L (dies)				K _c			Font	
			L _{ini}	L _{des}	L _{mit}	L _{fi}	K _{c ini}	K _{c mit}	K _{c fi}		
CCU13006	Xufa	1 abr.	21	77	43	29	0,25	1,43	0,75	Matute, M., 2017	
CCU14206	Cànem tèxtil	1 abr.	35	130	20	0	0,6	1,2		García-Tejero, I.F. <i>et alii</i> , 2014 Mateo Box, J.M., 2005	
CCU14307	Cànem per a llavor	1 abr.	35	130	60	35	0,6	1,2	0,35	García-Tejero, I.F. <i>et alii</i> , 2014 Mateo Box, J.M., 2005	
CCU14402	Safrà	1 jul.	30	40	70	60	0,43	0,99	0,3	FAO, 2006 Herrero Sánchez, G., 2002 Yarami N. <i>et alii</i> , 2011	
CCU14504	Espígol	perenne	90	92	92	91	0,18	1,18	0,18	Noorollahi, M. <i>et alii</i> , 2016	
CCU15404	Pataca, xirivia i resta d'arrels i tubercles farratgers	Pataca	1 abr.	30	123	30	61	0,35	1,15	0,35	FAO, 2006. Mateo Box, J.M., 2005
		Xirivia	1 març	30	40	60	20	0,5	1,05	0,95	FAO, 2006

Taula 5. Data de plantació, durada i coeficients de conreu de les etapes dels cultius obtinguts amb articles científics

Per a obtenir els valors mensuals s'ha realitzat la mitjana aritmètica dels valors diaris essent d'aplicació allò indicat anteriorment per als coeficients als dies posteriors a la collida. A causa de la manca d'informació concreta sobre aquests conreus, s'ha

considerat, en ordre de no introduir biaixos als resultats, els mateixos coeficients de conreu a totes les comarques agràries.

En darrera instància, resta una sèrie de conreus amb escassa superfície conreada als quals no ha estat possible assignar valors dels coeficients a partir de les fonts d'informació anteriors. En aquestos casos s'ha tractat adaptat els valors oferts pel SIAR per a conreus de la mateixa família aprofitant la informació de què es disposés. Es mostra a la taula següent el criteri que s'ha aplicat per a obtenir els diferents valors. En aquest cas, la distribució territorial dels diferents valors depén de la font d'informació i de la metodologia emprades.

Conreu		Criteri d'adaptació
CCU11106	Barreges de cereals d'hivern	Mitjana dels coeficients de la resta de cereals d'hivern
CCU11301	Resta de cereals	Valors de la classe del SIAR resta de gramínies
CCU12007	Erb	Valors de la classe del SIAR resta de lleguminoses avançada al mes de març, data d'inici del conreu de l'erba (Mateo Box, J.M., 2005)
CCU12008	Tramús	Valors de la classe del SIAR resta de lleguminoses avançada al mes de març a les regions d'interior (I,II i III) i retardada al mes d'octubre a regions costaneres (IV, V i VI), data d'inici del conreu del tramús (Mateo Box, J.M., 2005)
CCU12009	Guixera	S'adopta els valors calculats per a l'erba
CCU12010	Resta de lleguminoses per a gra	Valors de la classe del SIAR resta de lleguminoses
CCU14404	Anís, comí, regalíssia i resta de condiments	Valors de la classe del SIAR resta de conreus industrials
CCU15204	Esparcet	Valors de l'alfals ja que també és un conreu lleguminós perenne farratger
CCU15205	Enclova	Valors de l'alfals ja que també és un conreu lleguminós perenne farratger
CCU15206	Faves, pèsols i resta de lleguminoses per a farratge	Valors de la classe del SIAR resta de lleguminoses
CCU16106	Bleda	Mitjana dels valors de l'enciam, l'espinaç i l'escarola, conreus de la mateixa família i característiques molt semblants
CCU16110	Resta d'hortalisses de fulla o tija	Mitjana dels valors dels conreus de la mateixa classe amb excepció de la bleda, ja que també és un valor calculat
CCU21006	Llimera dolça i resta de cítrics	Mateo Box, J.M., 2005 considera les necessitats hídriques del cítrics de forma unitària. El SIAR proposa els mateixos valors –els del mandariner– per a tots els cítrics excepte per al taronger a les comarques del nord i del sud de la Demarcació. S'adopta els valors del mandariner que són més generals
CCU23004	Castanyer	S'adopta els coeficients de la noguera però perllongant-la un mes (a octubre) per a tenir en compte les majors necessitats hídriques del castanyer en aqueix mes

Conreu		Criteri d'adaptació
CCU26008	Resta de conreus llenyosos	Valors de la classe del SIAR morera i resta de llenyosos

Taula 6. Criteris d'adaptació utilitzats per a estendre els coeficients de conreu d'uns cultius a uns altres de la mateixa família

Amb l'objectiu de recollir tot allò que s'ha dit, es mostra a continuació dues figures en què es representa l'origen de les dades dels coeficients de conreu mensual obtinguts. A la figura de l'esquerra –Figura 17– es presenta la distribució per nombre de conreus; a la figura de la dreta –Figura 18–, la distribució en funció de la superfície regada de cada conreu en 2015.

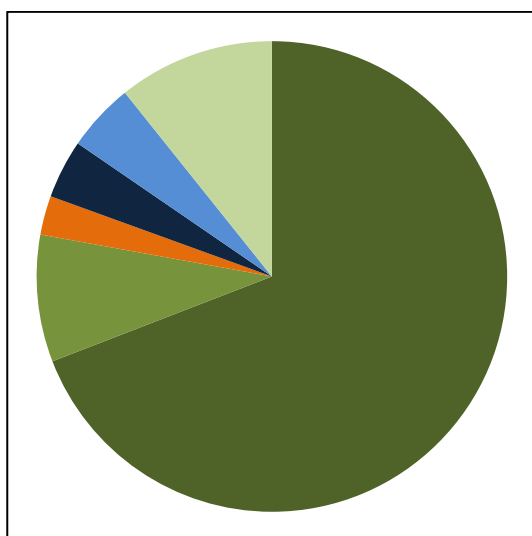


Figura 17. Distribució de l'origen de les dades del coeficient de conreu per nombre de cultius

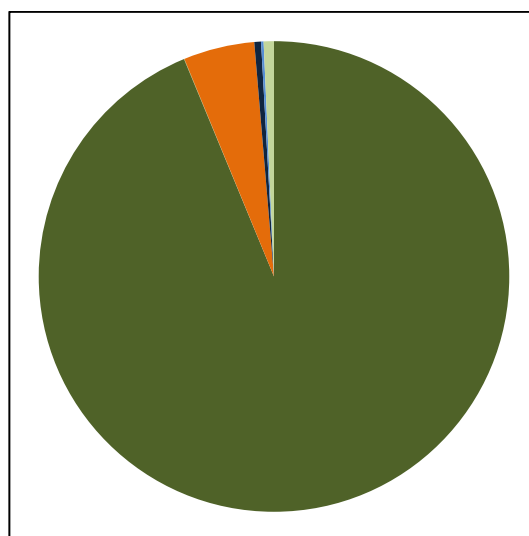
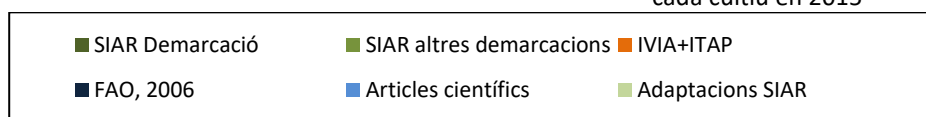


Figura 18. Distribució de l'origen de les dades del coeficient de conreu per superfície regada de cada cultiu en 2015



En concret, s'observa que els coeficients de 103 conreus provenen de valors del SIAR per a comarques de la Demarcació (69,1%), 13 de valors del SIAR de comarques d'altres demarcacions hidrogràfiques (8,7%), 4 dels serveis d'assessorament al regant de les comunitats autònomes o diputacions provincials (2,7%), 6 d'informació procedent a FAO, 2006 (4%), 7 d'informació procedent de treballs tècnics i articles científics (4,7%) i 13 d'adaptacions dels valors de conreus de la mateixa família (8,7%) cosa que mostra que els coeficients emprats en la majoria de conreus (71,8%) provenen d'informació centrada en la Demarcació –SIAR en comarques de la Demarcació, IVIA i ITAP–. Si

aquesta mateixa anàlisi es repeteix tenint en compte la superfície conreada a l'any 2015 que s'ha pres de referència, s'obté que els conreus els coeficients dels quals provenen del SIAR per a comarques de la Demarcació ocuparen 353.158 ha (93,8%) i 18.393 ha (4,9%) els conreus els coeficients dels quals provenen dels serveis d'assessorament al regant de les comunitats autònomes o diputacions provincials cosa que implica que s'ha emprat coeficients de conreu obtinguts de fonts centrades en la Demarcació per a un 98,6% de la superfície regada.

D'aquesta forma s'ha obtingut els coeficients de conreu mensuals (12) per als 149 conreus considerats a les 46 comarques agràries, cosa que resulta un conjunt de 82.248 coeficients.

A continuació es presenta els valors adoptats per a 2 dels 13 conreus amb major superfície regada a 2015 (l'alfals i el raïm de vinificació) a les comarques agràries en què es troben les estacions agroclimàtiques d'Albacete (Centre), Monforte del Cid (Vinalopó), Vila-real EEA (la Plana), Mariana (Serrania Mitjana), Teruel (Foia de Terol) i Montcada IVIA (l'Horta de València). La totalitat de valors obtinguts així com els criteris emprats per obtenir-los es poden consultar a l'apartat 1 de l'annex 2.

En el primer dels casos s'observa que a dues de les comarques –la Serrania Mitjana i la Foia de Terol, el conreu presenta un comportament anual amb una parada hivernal entre els mesos de novembre i febrer. Passat aquest període, l'activitat es reprèn de forma immediata ja que en un o dos mesos s'assoleix la capacitat màxima de 0,9. En la resta de casos la parada hivernal no és tan acusada atès que el coeficient se situa en valors propers a 0,5.

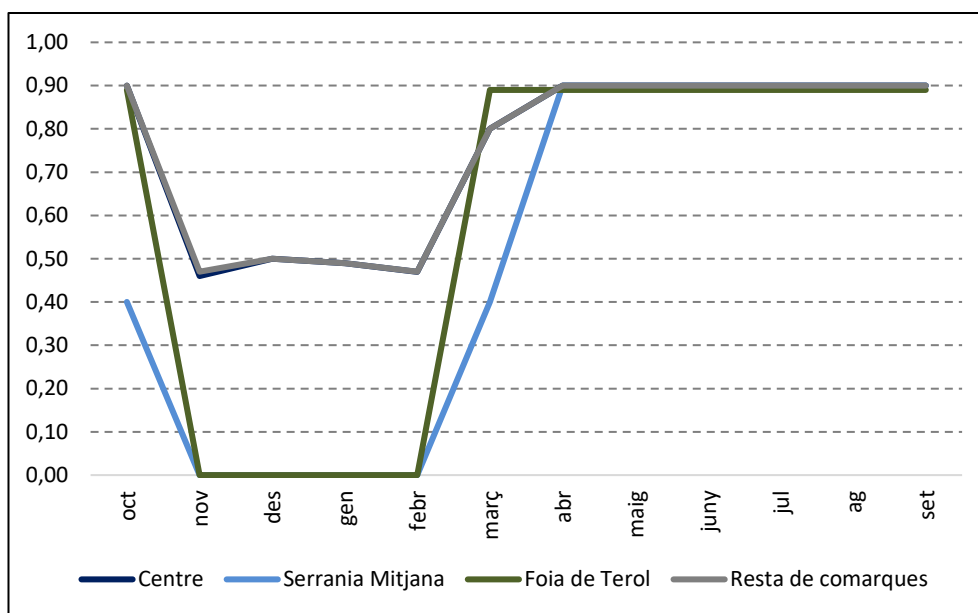


Figura 19. Coeficients de conreu mensuals de l'alfals per a les comarques agràries Centre, Vinalopó, la Plana, Serrania Mitjana, Foia de Terol i l'Horta de València

En quant a la vinya dedicada al raïm de vinificació s'observa que, després de la parada hivernal que es fa palesa en el conreu a partir del mes d'octubre, la recuperació de l'activitat depèn de la comarca. Així la primera comarca en què el coeficient de conreu pren valors decididament majors que zero és en la comarca Centre (en Albacete), ja que al mes d'abril el coeficient ja adopta el valor 0,45, moment a partir del qual el coeficient de conreu s'incrementa fins al mes de juny en què assoleix el màxim de 0,65. A partir d'aquest moment l'activitat del conreu disminueix fins al mes de setembre en què el coeficient té un valor de 0,25. En la resta de les comarques costaneres –la Plana, l'Horta de València i el Vinalopó– el comportament és similar: inici de l'activitat al mes d'abril, màxim també en juny amb un valor de 0,65 i mínim en agost amb un coeficient igual a 0,5, cosa que indica un cicle de conreu dos mesos més curt que a la comarca de la Manxa. Destacables són els casos de la Serrania Mitjana, que adopta un valor màxim al mes de juliol de 0,68 –el major de tots– i el de la Foia de Terol, en que se retarda l'activitat fins al mes de juny i presenta un comportament pla amb activitat màxima i un final de cicle bruscat.

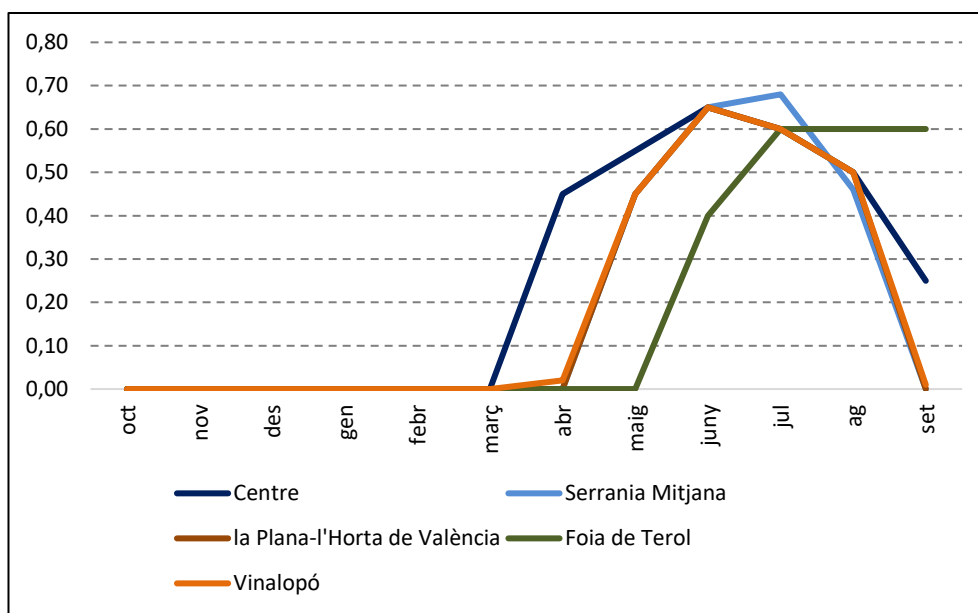


Figura 20. Coeficients de conreu mensuals del raïm de vinificació per a les comarques agràries Centre, Vinalopó, la Plana, Serrania Mitjana, Foia de Terol i l'Horta de València

Als mesos en què no hi ha conreu o aquest no presenta activitat fenològica, el sòl està sotmès només a l'evaporació directa de la humitat que conté la capa superficial del sòl, situació en què, com s'ha esmentat prèviament, s'ha pres com a K_e el valor de $K_{c\text{ ini}}$.

Desafortunadament el SIAR, font de la major part de coeficients de conreu utilitzats, no facilita informació del $K_{c\text{ ini}}$ de cada conreu sinó directament el valor mensual. Del valor mensual no es pot obtenir ni sistemàticament ni directa el valor del $K_{c\text{ ini}}$.

És per això i vista la gran heterogeneïtat que aquest valor pot prendre en funció de les pràctiques agrícoles adoptades, s'ha pres com a referència els valors proposats al quadre 12 de FAO, 2006 o, en els conreus que no s'hi troben, els proposats per a conreus amb característiques semblants. Cal destacar que la publicació *Requerimientos agroecológicos de cultivos* (Ruiz Corral, J.A. et alii, 2013) inclou alguns aclariments i modificacions d'alguns coeficients en determinats cultius, valors que s'han adoptat en el cas del blat, els cítrics i l'olivera. Açò ha conduït, per exemple, a què en el cas dels cítrics s'haja pogut distingir un coeficient inicial de conreu per al mandariner (0,5) lleugerament inferior al del taronger (0,65).

Tota la informació, organitzada gràficament en 1789 mapes (149 conreus per 12 mesos més un mapa addicional per al coeficient utilitzat al càlcul el guaret) s'ha convertit a format ràster mitjançant una eina construïda en la utilitat Modelbuilder del programa

ArcMap amb els paràmetres de càlcul indicats anteriorment, eina que es troba inclosa a l'annex 3 d'aquest treball.

3.2.2. Dèficit d'humitat al sòl

A l'hora d'estimar el dèficit d'humitat al sòl (D_r) en un instant donat cal conèixer la quantitat d'aigua que un conreu pot extreure de la zona radicular. Aquesta magnitud, denominada aigua disponible total (ADT), depèn del tipus de sòl i de la profunditat de la zona radicular.

Característiques del sòl

Les dues característiques del sòl que intervenen en la estimació de l'aigua disponible total són la humitat del sòl a capacitat de camp (θ_{FC}) i la humitat del sòl en el punt de marcescència permanent (θ_{WP}). La diferència entre ambdós valors es denomina capacitat d'aigua disponible (AWC en anglés).

A FAO, 2006 s'inclou informació de les característiques d'humitat típiques del sòl en funció dels diferents tipus, atenent a la classificació de la textura del sòl de l'USDA. Aquesta informació es reproduïx a la Taula 7.

Tipus de sòl (classificació de la textura del sòl de la USDA)		θ_{FC}	θ_{WP}	$\theta_{FC} - \theta_{WP}$
A	Arenós	0,07-0,17	0,02-0,07	0,05-0,11
aF	Arenós franc	0,11-0,19	0,03-0,10	0,06-0,12
Fa	Franc arenós	0,18-0,28	0,06-0,16	0,11-0,15
F	Franc	0,20-0,30	0,07-0,17	0,13-0,18
FL	Franc llimós	0,22-0,36	0,09-0,21	0,13-0,19
L	Llimós	0,28-0,36	0,12-0,22	0,16-0,20
FAL	Franc argilós llimós	0,30-0,47	0,17-0,24	0,13-0,18
AL	Argilós llimós	0,30-0,42	0,17-0,29	0,13-0,19
A	Argilós	0,32-0,40	0,20-0,24	0,12-0,20

Font: FAO, 2006

Taula 7. Característiques d'humitat típiques del sòl en funció del tipus atenent a la classificació textural del sòl de la USDA en m^3/m^3

S'observa en el quadre anterior que FAO, 2006 no inclou informació per als sòls de textura argilosa arenosa (Aa), franca argilosa arenosa (FAa) i franca argilosa (FA). Aquesta informació, de forma complementària, s'ha extret de Saxton, K. E. i Rawls, W. J., 2006 i es recull a la Taula 8.

Tipus de sòl (classificació de la textura del sòl de la USDA)		θ_{FC}	θ_{WP}	$\theta_{FC} - \theta_{WP}$
Aa	Argilós arenós	0,36	0,25	0,11
FAa	Franc argilós arenós	0,27	0,17	0,10
FA	Franc argilós	0,36	0,22	0,14

Font: Saxton, K. E. i Rawls, W. J., 2006

Taula 8. Característiques d'humitat típiques del sòl en funció del tipus atenent a la classificació textural del sòl de la USDA en m^3/m^3 usades de forma complementària

Amb l'objectiu de mantenir una major coherència i generalitat en les dades emprades, s'ha preferit usar en aquest treball els valors proposats en FAO, 2006 sobre uns altres que pogueren estar disponibles a les diferents fonts bibliogràfiques consultades.

Diferents fonts científiques i bibliogràfiques faciliten informació distribuïda al territori que permet ésser correlacionada amb les diferents classes texturals del sòl de la USDA i, a partir d'aquesta es poden obtenir les característiques del sòl cercades. En concret s'ha avaluat la informació procedent de les següents quatre fonts d'informació: *The Digital Soil Map of the World* (FAO, 2003), *Análisis de nuevas Fuentes de datos para la estimación del parámetro del número de curva del modelo hidrológico del SCS: datos de perfiles de suelos y teledetección* (Ferrer i Julià, M., 2002), *European Soil Database v2.0* (EC-ESBN, 2004) i *European Soil Database Derived data* (Hiederer, R. 2013).

Després d'analitzar la informació facilitada a cadascuna de les fonts cal indicar que el fet de condicionar que el valor adoptat de l'AWC haja de provenir en tots els casos dels valors mínims proposats a FAO, 2006 i, complementàriament, de Saxton, K. E. i Rawls, W. J., 2006, implica que l'ús d'una font d'informació o d'una altra no introduezca grans variacions en el resultats mitjans excepte en el cas de la xicoteta zona de Bronchales (TE) en què algunes fonts indiquen que hi ha sòl gruixut. A més, el valor de l'AWC no condiona de forma transcendent els resultats de la formulació desenvolupada ja que aquestos valors no són aplicats directament sinó que vénen afectats pel paràmetre de la fracció d'esgotament, paràmetre que, com es vorà, pren un valors bàsics propers a 0,5. És per això que la principal diferència entre unes fonts d'informació i unes altres és la resolució espacial i la desagregació en classes texturals.

Atès que l'ESDD conté un major detall espacial i que, com es veurà, permet deduir directament les classes texturals de la USDA i, per tant, també treballar amb un major nombre de classes, s'ha seleccionat com a font d'informació la *European Soil Database*

Derived data, font que seguidament es descriu. Una avaluació més exhaustiva de tota la informació analitzada es troba recollida a l'annex 2 de dades.

En concret, la *European Soil Database Derived data* (Hiederer, R. 2013) conté una sèrie de capes en format ràster de les principals propietats del sòl. Aquestes capes han estat obtingudes a partir de la informació procedent de la *European Soil Database v2.0* en combinació amb altres fonts de documentació edàfica mitjançant funcions d'edafotransferència. La informació que d'aquesta font s'aprofita en aquest treball és la granulometria (proporció d'arena, llim i argila) tenint en qualsevol cas en compte allò indicat al full web de presentació de la informació – <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/european-soil-database-derived-data>: «Les capes de les propietats del sòl de les unitats tipològiques del sòl (STU) només estan destinades a facilitar els propòsits de modelatge. El resultat final de l'activitat de modelatge ha de ser agregat a SMU o una altra unitat de mapatge més gran.»

Coneguda la granulometria dels sòls, s'ha establert la classe textural de l'USDA a les dues capes en què se subdivideix el sòl, resultats que es mostren a la Figura 21 per a la capa superior i a la Figura 22 per a la capa inferior. En concret s'ha identificat a la Demarcació estesa 6 classes texturals.

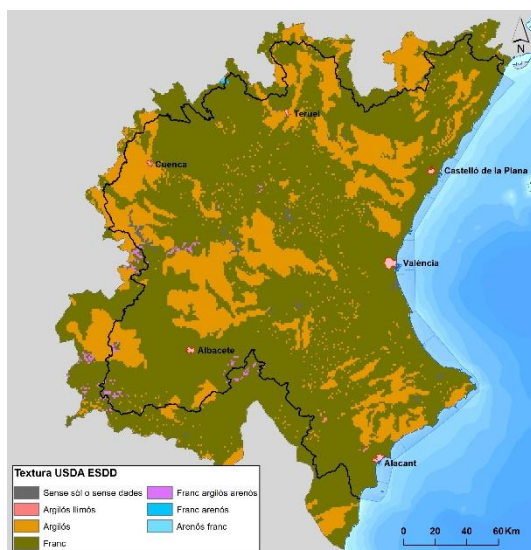


Figura 21. Textura de l'USDA de la capa superior del sòl de la Demarcació estesa a partir de l'ESDD

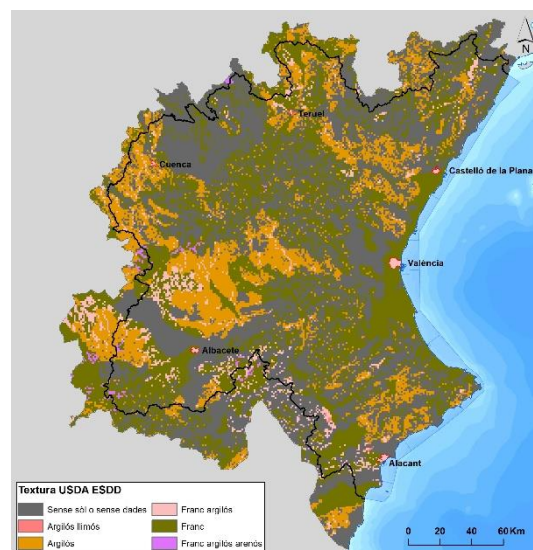


Figura 22. Textura de l'USDA de la capa inferior del sòl de la Demarcació estesa a partir de l'ESDD

Com s'observa, a la capa superior la gran majoria de sòls són bé argil·losos bé francs, amb una mínima presència de sòls argil·losos llimosos i francs argil·losos llimosos de forma

dispersa. Sí que cal remarcar que al nord de la Demarcació, a l'entorn de Bronchales (TE) hi ha una xicoteta àrea amb sòls de textura gruixuda, concretament arenosos francs i francs arenosos. En la capa inferior del sòl, la major part dels sòls són de textura argilosa o franca, amb una certa presència de sòls de textura franca argilosa dispersos pel territori.

De la comparació entre ambdues capes es pot concloure que, en general, la classificació textural dels sòls en ambdues capes coincideix llevat de en zones disperses. Cal fer notar que a l'ESDD hi ha extenses zones de la capa inferior del sòl on no ha estat possible realitzar la classificació textural perquè les tres capes que indiquen els percentatges d'arena, argila i llims ofereixen un valor nul. Aquesta situació sembla entrar en contradicció amb la informació consultada de l'ESDB v2.0 en què la superfície sense dades o sense sòl era molt menor i haurà de ser validada en futurs treballs.

Cada zona, classificada amb les classes texturals de la USDA, permet realitzar una assignació directa amb la informació continguda en la Taula 7 i en la Taula 8. Els resultats de les dues capes mostren que no existeixen diferències en l'AWC entre ambdues capes –llevat de la presència d'extenses zones sense informació– que justifiquen mantenir aquesta diferència en la formulació desenvolupada. A més, el paràmetre de canvi de textura apunta que no hi ha diferències en aquesta característica del sòl entre els 20 i els 120 cm llevat d'àrees marginals fora de la Demarcació o zones disperses. En qualsevol cas cal posar de manifest que la presència de sòls prims no pot ser tinguda en compte en la metodologia ja que contravindria una hipòtesi bàsica assumida en el procés de càlcul, que és que el conreu es desenvolupa en condicions estàndard. Resta l'anàlisi d'aquest fet per a estudis posteriors a aquest treball.

Es mostra, a la figura següent, l'AWC a la Demarcació estesa considerada en aquest treball on s'observa que la major part del territori presenta valors de $0,13 \text{ m}^3/\text{m}^{-3}$ mentre que a les zones més muntanyoses el valor de l'AWC es de $0,11 \text{ m}^3/\text{m}^{-3}$. A la zona de Bronchales (TE), en què es localitza una xicoteta zona de sòl gruixut, el valor de l'AWC és de $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^{-3}$.

Proposta metodològica per a estimar les necessitats hídriques de reg en la planificació hidrològica: aplicació a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.

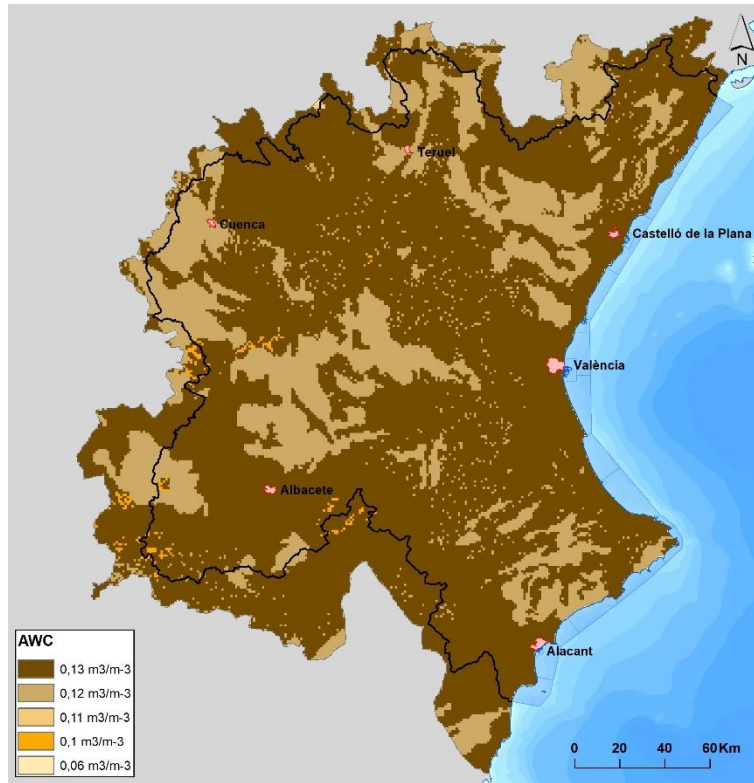


Figura 23. AWC adoptada a la Demarcació estesa

Finalment es mostren els mapes corresponents a la humitat en capacitat de camp i la humitat en el punt de marcescència permanent que són els valors que, de fet, s'usen a la formulació plantejada.

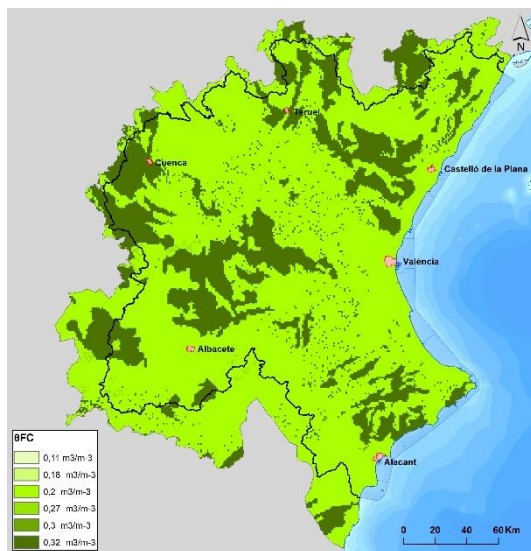


Figura 24. Humitat en capacitat de camp adoptada en la Demarcació estesa

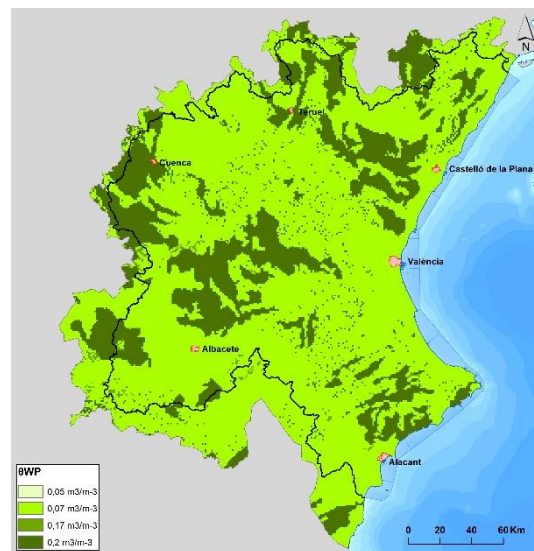


Figura 25. Humitat al punt de marcescència permanent adoptada en la Demarcació estesa

Profunditat radicular efectiva màxima

La profunditat radicular efectiva màxima ($Z_{r \max}$) és el paràmetre que expressa la profunditat a la qual un conreu pot extreure aigua del sòl. És un paràmetre que depèn del tipus de conreu raó per la qual conreus de la mateixa família tenen profunditats radiculars efectives màximes semblants.

Els valors adoptats en aquest treball provenen principalment de la informació continguda en FAO, 2006. No obstant això, en alguns casos s'ha utilitzat informació procedent de *Knott's Handbook for Vegetable Growers* (Maynard, D. N. i Hochmuth, G. J., 2007), del *Prontuario de agricultura* (Mateo Box, J.M., 2005) o d'articles científics específics amb la finalitat de completar la informació no disponible. Als casos en què no ha estat possible trobar informació específica, s'ha adoptat el valor de conreus de la mateixa família o amb característiques semblants.

Els valors adoptats a cada conreu i la procedència de la dada s'inclouen a l'annex 2.

Profunditat de la capa del sòl subjecta a l'eixugó per evaporació

La profunditat de la capa del sòl subjecta a l'eixugó per evaporació (Z_e) representa aquella capa de sòl que perd humitat pel sol efecte d'estar exposada a la radiació solar. Atès a la manca d'informació d'àmbit general disponible, s'ha pres un valor constant per a tota la Demarcació estesa de 0,15 m seguint les indicacions de FAO, 2006: «Quan no es dispose d'informació apropiada, es recomana assumir un valor de profunditat efectiva de la capa evaporant del sòl entre 0,1 i 0,15 m.»

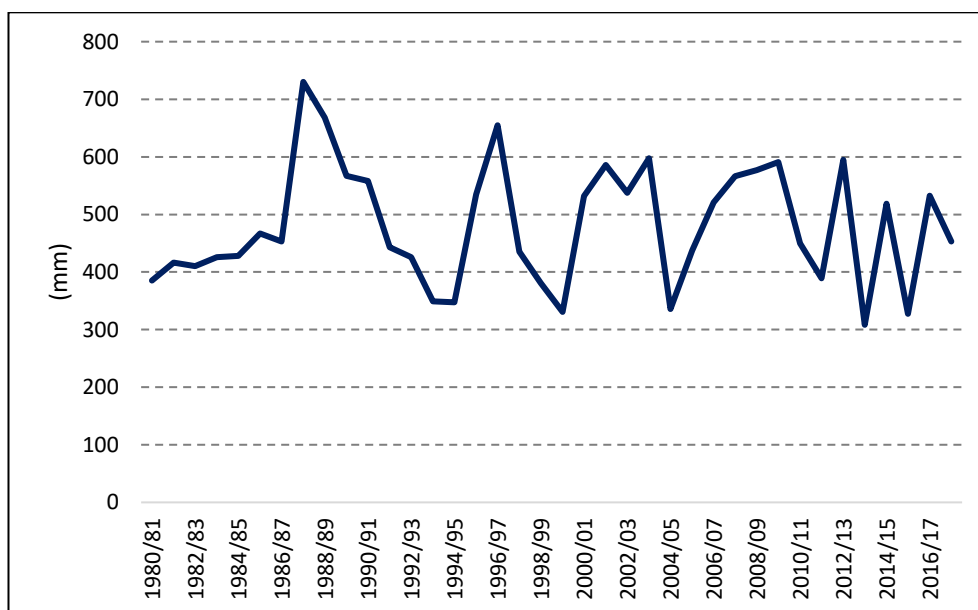
3.2.3. Precipitació, escurriment superficial i percolació profunda

Precipitació

La precipitació (P) és, juntament amb el reg, una de les fonts que aporten humitat al sòl. D'igual manera que l'evapotranspiració de referència, obtenir el valor de la precipitació de forma distribuïda al territori és una tasca complexa. Amb tot, també la precipitació és una dada necessària en els anomenats models precipitació-aportació raó per la qual la Confederació Hidrogràfica del Xúquer obté aquesta informació utilitzant diferents tècniques tant per als informes de seguiment del Pla hidrològic com en les tasques de planificació que estan portant-se a terme en el marc del tercer cicle de planificació hidrològica. En concret, el valor de la precipitació que s'ha emprat en aquest treball

prové de l'actualització que, del model PATRICAL (Pérez Martín, M.A, 2005), està realitzant-se per a la propera revisió del Pla hidrològic (CHJ, 2021).

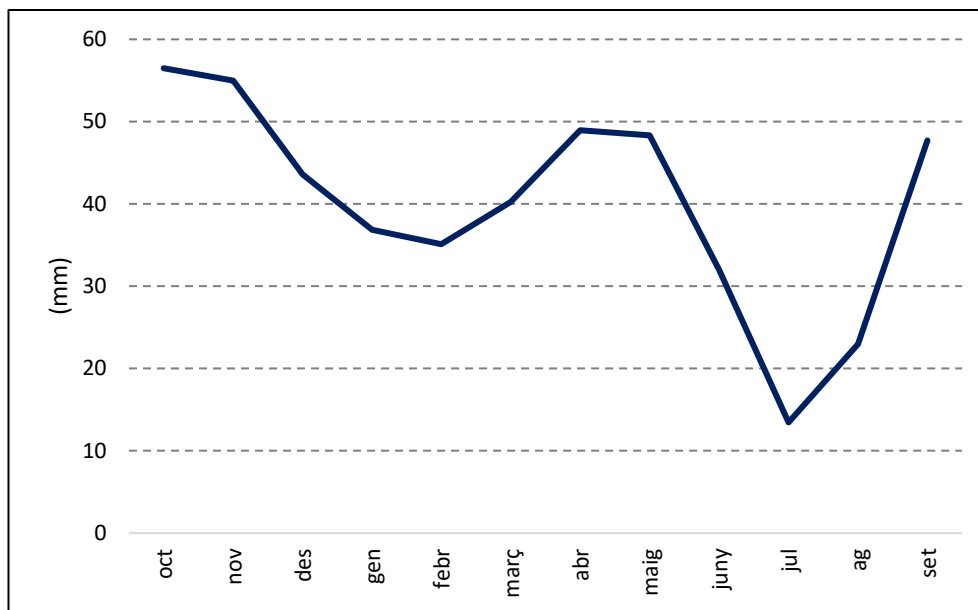
La Figura 26 presenta l'evolució anual de la precipitació al conjunt de la Demarcació entre els anys hidrològics 1980/81 i 2017/18. S'observa que els valors presenten variacions importants (CV = 21,82%) i varien entre un màxim de 730,2 mm (1987/88) i un mínim de 308,3 (2013/14). La precipitació anual mitjana a la Demarcació en el període 1980/18 és de 480,7 mm a l'any.



Font: elaboració pròpia a partir d'actualització de PATRICAL ()

Figura 26. Evolució de la precipitació en la Demarcació al període 1980/18

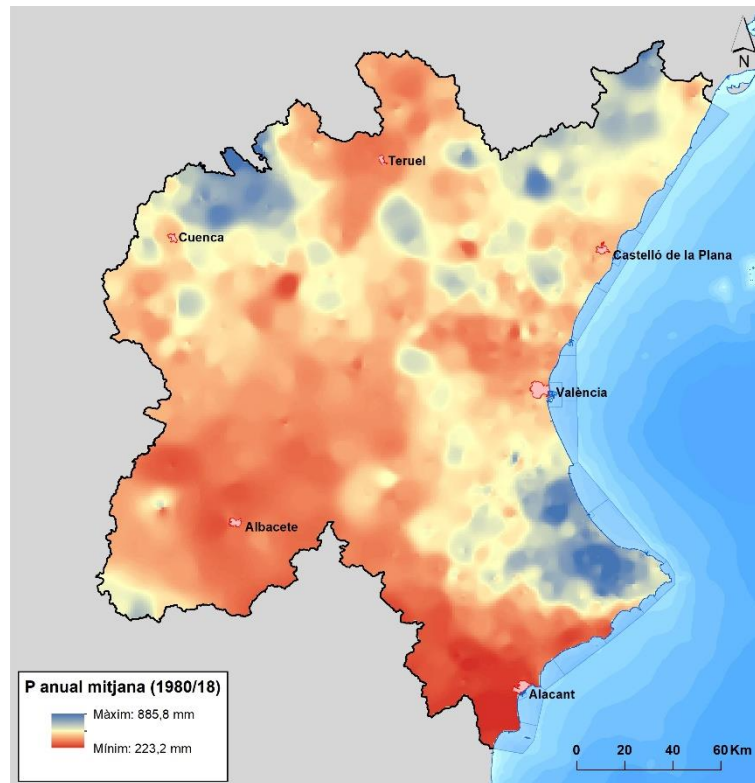
La Figura 27 presenta la distribució intraanual mitjana de la precipitació, on s'observa que les principals precipitacions es concentren als mesos de tardor i primavera, amb el màxim absolut en el mes d'octubre –56,5 mm– i un màxim secundari en abril –48,9 mm. L'estació més seca és l'estiu i el mes més sec juliol, amb una precipitació mitjana en la Demarcació que a penes ultrapassa els 10 mm.



Font: Elaboració pròpia a partir d'actualització de PATRICAL (CHJ, 2021)

Figura 27. Distribució intraanual de la precipitació mitjana a la Demarcació

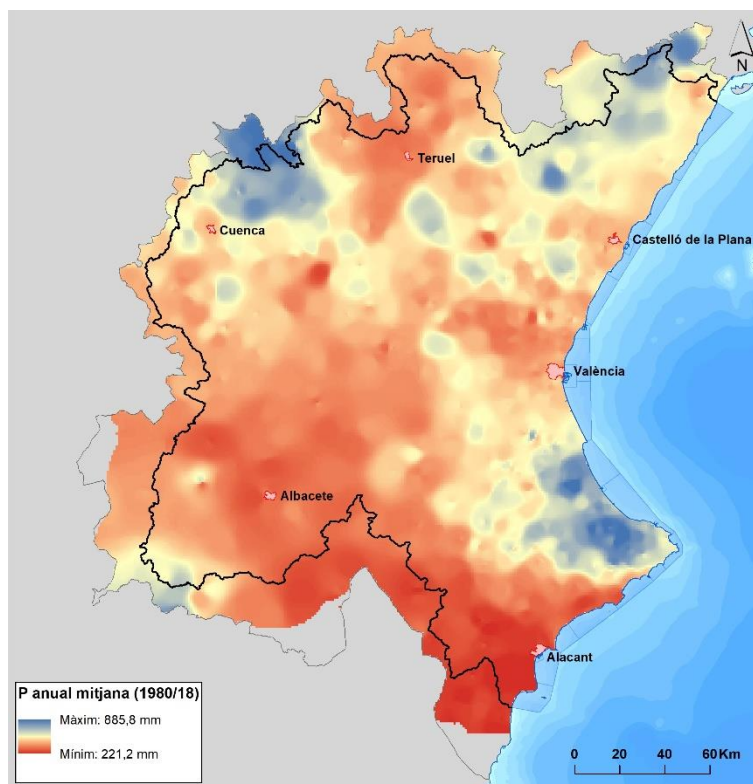
Pel que fa a la distribució espacial dels valors mitjans, hom localitza els majors a les capçaleres dels rius Cabriol, Túria i Xúquer i als contraforts de la serralada Bètica a la Safor i la Marina Alta; hom troba els valors mínims principalment a la planura manxega i al sud de la Demarcació. El valor màxim, de 885,8 mm, es localitza a Barx (V), mentre que el mínim, de poc més de 220 mm, cal cercar-lo al terme municipal d'Elx (A). La Figura 28 mostra la distribució espacial de la precipitació mitjana a la Demarcació al període considerat.



Font: elaboració pròpia a partir d'actualització de PATRICAL (CHJ, 2021)

Figura 28. Distribució espacial de la precipitació mitjana al període 1980/18 a la Demarcació

La font de dades emprada a la Demarcació estesa és, evidentment, la mateixa que abans s'ha mostrat. De manera paral·lela es poden extrapolar les conclusions extretes anteriorment en allò referent a la distribució espacial sense més que esmentar que, en aquest cas, el valor mínim és lleugerament inferior i s'assoleix a Torrevieja (A), fora de la Demarcació. Cal afegir, endemés, que les dades de precipitació no cobreixen tota la Demarcació estesa si bé aquesta situació no afectarà als resultats ja que les zones no cobertes són zones que no aprofiten recursos propis de la Demarcació.



Font: elaboració pròpia a partir d'actualització de PATRICAL (CHJ, 2021)

Figura 29. Distribució espacial de la precipitació mitjana al període 1980/18 a la Demarcació estesa

Coefficient d'excident

El valor del coeficient d'excident s'utilitza per establir el llindar d'escorriment en funció de l'estat d'humitat inicial. Seguint allò indicat a Pérez Martín, M.A, 2005, s'ha considerat constant en tota la Demarcació i, per extensió, a tota la Demarcació estesa. El valor adoptat, que procedeix novament de Pérez Martín, M.A, 2005, és de 0,3.

3.2.4. Fracció d'esgotament

La fracció d'esgotament (p), que com s'ha vist és la part de l'aigua disponible total del sòl que una planta pot extreure sense patir els efectes de l'estrés hídric, depèn de l'espècie vegetal (p_c), de les característiques del sòl (p_{sol}) i de l'evapotranspiració mensual del mes analitzat. Als subapartats següents es mostra els valors que depenen de l'espècie vegetal i de les característiques del sòl ja que els valors de l'evapotranspiració potencial ja han estat analitzats anteriorment.

Fracció d'esgotament bàsica del conreu

Sobre el valor de la fracció d'esgotament bàsica de la humitat en el sòl del conreu per a condicions sense estrés hídric (p_c), a FAO, 2006 s'indica «el factor p varia normalment

entre 0,30 per a plantes d'arrels poc profundes, amb taxes grans d' ET_c (> 8 mm/dia), fins a 0,7 per a plantes d'arrels profundes i taxes menudes d' ET_c (< 3 mm/dia). Hom emprà comunament per a p un valor de 0,5 per a una gran varietat de conreus».

A FAO, 2006 es troba disponible informació sobre la fracció d'esgotament bàsica del conreu per a un destacable nombre de cultius; la majoria de les dades utilitzades hi provenen. Als conreus sense informació, s'ha procurat emprar els valors que s'hi proposen per a conreus de la mateixa família i, si açò no ha estat possible, s'ha pres genèricament un valor de 0,5.

Els valors adoptats a cada conreu i la procedència de la dada s'inclouen a l'annex 2.

Factor de correcció de la fracció d'esgotament per efecte de les característiques del sòl

Aquest factor de correcció (p_{sol}) s'introdueix per a tenir en compte, a l'hora de calcular la fracció d'esgotament, l'efecte de les característiques del sòl. A FAO, 2006 s'hi proposa «que per a sòls de textura fina (argila) els valors de p recollits al Quadre 22 [es refereix als valors que en aquest treball s'anomenen p_c] poden ésser reduïts en un 5-10%, mentre que per a sòls de textura més pesant (arenosos), aquestos poden incrementar-se en un 5-10%». En apartats anteriors s'ha caracteritzat els sòls de la Demarcació estesa en funció de la textura de l'USDA. Seguint les recomanacions de FAO, 2006 indicades anteriorment, s'ha assignat un coeficient p_{sol} als sòls de textura fina de -0,05 mentre que als sòls de textura gruixuda el valor assignat ha estat de 0,05. Als sòls de textura mitjana el valor del factor de correcció és, consegüentment, zero. A la Taula 9 es presenta l'associació entre els diferents tipus de sòl, les textures de l'USDA i el valor del factor de correcció de la fracció d'esgotament adoptat.

Textura	Classe textural USDA	p_{sol}
Gruixuda	Arenós	0,05
	Arenós franc	
Mitjana	Franc arenós	0,00
	Franc	
	Franc llimós	
	Franc arenós argilós	
Fina	Franc argilós	-0,05
	Franc llimós argilós	
	Llimós	
	Argilós arenós	
	Argilós llimós	
	Argilós	

Taula 9. Textura, classe textural de l'USDA i valor del factor de correcció de la fracció d'esgotament per efecte de les característiques del sòl considerat

A la Figura 30 es mostra el valor de p_{sol} a la Demarcació estesa on s'observa que a la major part del territori el tipus de sòl no introdueix cap variació en el valor de la fracció d'esgotament i només en les zones muntanyoses de la Demarcació i en els confins de les províncies d'Albacete, Conca i València es localitzen àrees on el factor de correcció pren valor de -0,05. Només al TM de Bronchales (TE), on anteriorment s'ha esmentat que el sòl és de natura arenosa, el factor de correcció pren el valor de 0,05.

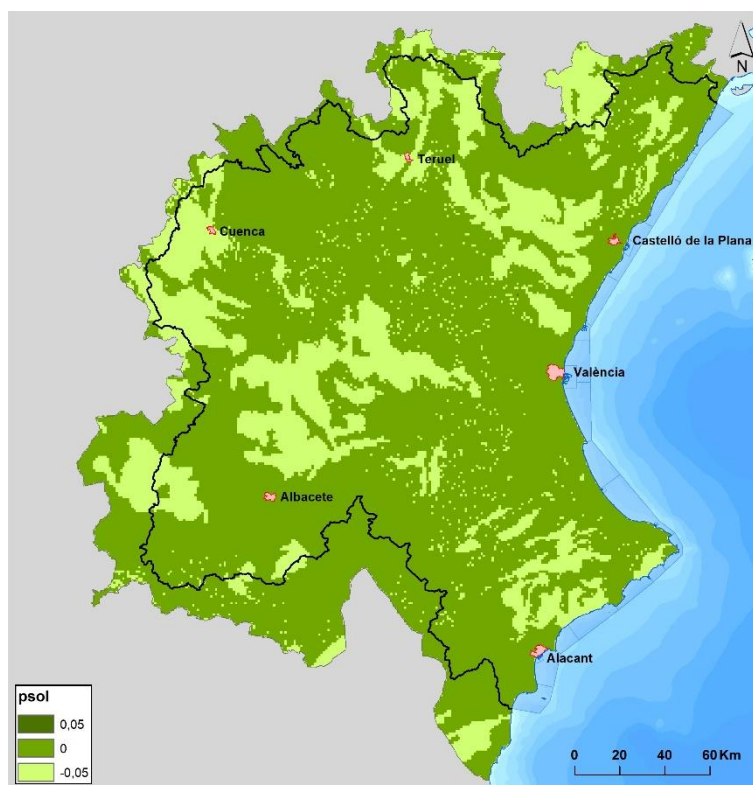


Figura 30. Factor de correcció de la fracció d'esgotament per efecte de les característiques del sòl

3.3 Formulació i desenvolupament matemàtic del model plantejat

3.3.1. Consideracions generals del model

En aquest apartat es desenvolupa la formulació matemàtica del model plantejat. A cada mes es realitza el balanç d'humitat al sòl en dues capes superposades: una superior, de profunditat variable mes a mes, que representa la zona del sòl de la qual pot ser extreta aigua per efecte de l'evaporació o de l'evapotranspiració i una inferior, que representa la zona del sòl compresa entre la capa superior i la màxima profunditat que assoleixen les arrels durant el cicle vegetatiu de la planta.

Com anteriorment s'ha indicat, la màxima profunditat de les arrels es produeix a l'època de mitjan estació, període durant el qual la capa superior del sòl n'ocuparà tota la columna i la capa inferior, per tant, serà nul·la.

En aquest treball, per diferenciar a quina capa fa referència cada paràmetre, s'ha identificat amb lletres minúscules quan el valor es refereix a la capa superior del sòl; amb lletres minúscules i un asterisc quan es fa referència a la capa inferior del sòl i amb lletres majúscules quan es fa referència la columna de sòl completa.

A cada mes t s'avalua el dèficit d'humitat a les dues capes de sòl tant com si el sòl estigués conreat com si estigués en guaret o en parada vegetativa. Al final d'ambdós processos s'avalua la humitat final del sòl, moment en el qual es componen els resultats. La figura següent mostra gràficament les dues capes definides en el sòl en dos estadis de desenvolupament d'un conreu herbaci anual i hi inclou, per il·lustrar, la terminologia adoptada en el cas de la profunditat radicular. A l'estadi primerenc de desenvolupament (representació de l'esquerra), la capa fins on arriben les arrels (capa superior) té una profunditat z^t mentre que la resta de la columna del sòl on de moment no arriben les arrels (capa inferior) té una profunditat z^{*t} . A l'estadi de mitjan temporada (representació de la dreta), les arrels ocupen la màxima profunditat raó per la qual la capa superior del sòl n'ocupa tota la columna ($z^t = Z_{r \max}$); la capa inferior del sòl, òbviament, ha desaparegut.

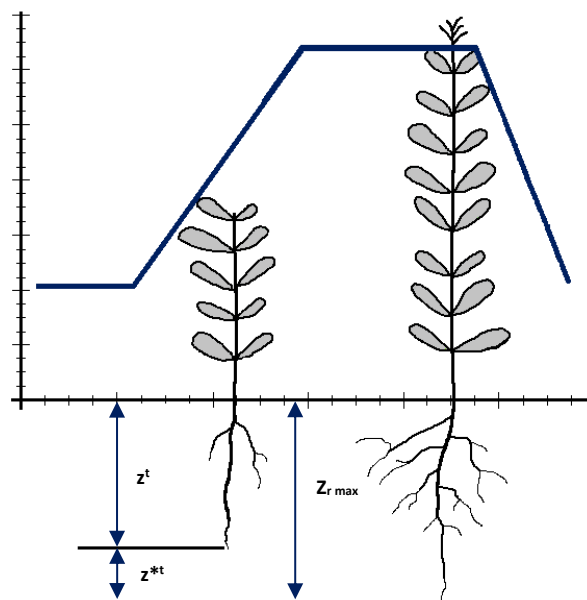


Figura 31. Representació de l'evolució de la profunditat de les arrels en dos estadis evolutius d'un conreu herbaci anual

Com ja s'ha vist, els resultats en un mes depenen dels resultats del mes anterior, és per això que existeix una dependència de la condició inicial d'humitat en què es trobe el sòl.

Desafortunadament no es coneix l'estat d'humitat del sòl a octubre de 1980 (inici del període de simulació) raó per la qual s'ha de prendre per condició inicial un estat d'humitat arbitrari suficientment allunyat del període de càlcul per què es produeixi alguna de les dues condicions que permeten independitzar els resultats en un mes dels resultats dels mesos anteriors: bé la condició de sòl saturat (dèficit d'humitat nul) bé quan es dóna la condició d'humitat en el sòl en què s'aplica aigua de reg (dèficit d'humitat igual a l'aigua fàcilment aprofitable). Amb aquesta finalitat s'ha avançat l'inici del procés de càlcul a octubre de 1975 de forma que durant aquestos cinc anys d'escalfament s'evite l'efecte de la condició inicial.

Les tres figures següents mostren, per a dos conreus representatius en la Demarcació amb diferents necessitats hídriques (un herbaci amb grans necessitats –la dacsà– i un llenyós de necessitats mitjanes –el taronger dolç) l'evolució de les necessitats hídriques de reg durant el període d'escalfament en dues condicions inicials alternatives: una amb el sòl en capacitat de camp i una altra amb un dèficit d'humitat de 58,5 mm, humitat propera al punt de marcescència permanent. Els resultats mostrats corresponen al punt de control de Montcada IVIA.

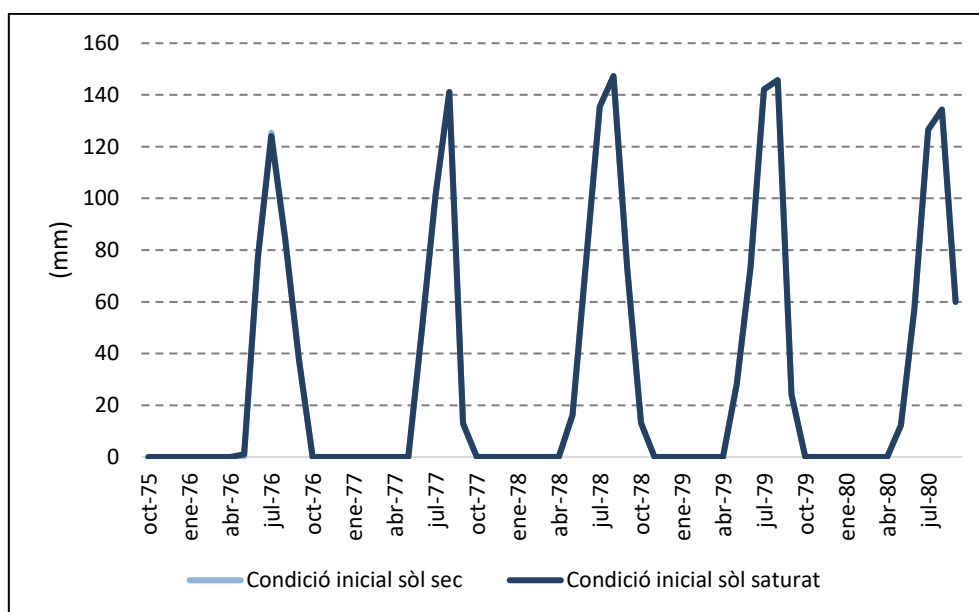


Figura 32. Evolució de les necessitats hídriques de reg de la dacsà durant el període d'escalfament amb diferents dèficits d'humitat inicial

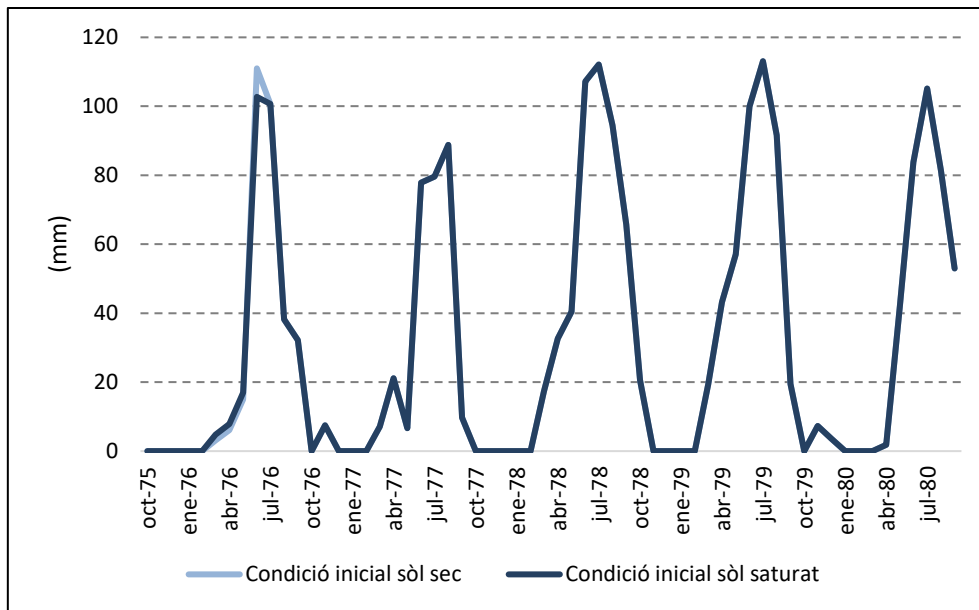


Figura 33. Evolució de les necessitats hídriques de reg del taronger dolç durant el període d'escalfament amb diferents dèficits d'humitat inicial

En els dos casos s'observa com les diferències entre els resultats considerant la condició inicial de sòl sec o de sòl saturat són molt menudes i se circumscriuen al primer any de simulació, ja que, una vegada assolida la condició d'humitat al sòl en què és necessari aportar aigua de reg en l'etapa de mitjan estació (que cobreix tota la columna de sòl) els resultats només depenen de la precipitació i l'evapotranspiració al propi mes, cosa que independitza els resultats dels valors dels mesos anteriors.

Aquest resultat permet afirmar que el període d'escalfament utilitzat de 5 anys és suficient.

3.3.2. Dades necessàries

Les dades necessàries per a avaluar el dèficit d'humitat al sòl a la zona conreada i obtenir les necessitats hídriques de reg són les següents:

- CCU: conreu que se simula
- t: mes que se simula
- Z_e : profunditat màxima del sòl que pot ser afectada per l'evaporació directa del sol [m]
- $Z_{r\max}^{CCU}$: profunditat màxima radicular del conreu que se simula [m]
- $K_{c\max}^{CCU}$: valor màxim del coeficient de cultiu del conreu que se simula
- $K_{c\text{ini}}^{CCU}$: valor del coeficient de cultiu en la fase inicial del conreu que se simula
- $K_c^{t,CCU}$: coeficient de cultiu al mes t del conreu que se simula

- θ_{FC} : màxima humitat que pot retenir el sòl quan es troba en capacitat de camp [mm]
- θ_{WP} : humitat del sòl en el punt de marcescència permanent [mm]
- p_c^{CCU} : fracció d'esgotament bàsica del conreu que se simula
- p_{sol} : factor de correcció de la fracció d'esgotament en funció del tipus de sòl
- N^t : nombre de dies del mes t
- C: coeficient d'excedent hídric
- P^t : precipitació al mes t [mm]
- ET_o^t : valor de l'evapotranspiració de referència al mes t [mm]

3.3.3. Procés de càlcul a la zona conreada

Per a un conreu CCU i un mes t, el procés de càlcul seguit és el que es mostra a la successió de passos següent:

- Càlcul de la profunditat de la capa superior del sòl. Es fixa una profunditat mínima igual a la profunditat del terreny afectada pels processos d'evaporació directa

$$z^{t,CCU} = \max\left(z_e, \frac{Z_r^{CCU}}{K_c^{CCU}} K_c^{t,CCU}\right) \quad (14)$$

amb: $z^{t,CCU}$ profunditat de la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [m]

- Càlcul de la profunditat de la capa inferior del sòl

$$z^{*t,CCU} = Z_r^{CCU} - z^{t,CCU} \quad (15)$$

amb: $z^{*t,CCU}$ profunditat de la capa inferior del sòl al mes t del conreu que se simula [m]
 $z^{t,CCU}$ profunditat de la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [m]

- Càlcul de l'aigua disponible total a la capa superior del sòl

$$adt^{t,CCU} = 1000(\theta_{FC} - \theta_{WP})z^{t,CCU} \quad (16)$$

amb: $adt^{t,CCU}$ aigua disponible total a la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
 $z^{t,CCU}$ profunditat de la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [m]

- Càlcul de la fracció d'esgotament de la capa superior del sòl

$$p^{t,CCU} = p_c^{CCU} + 0,04 \left(5 - \frac{ET_o^t}{N^t} \right) + p_{sol} \quad (17)$$

amb: $p^{t,CCU}$ fracció d'esgotament de la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula

- Càlcul de l'aigua fàcilment aprofitable a la capa superior del sòl

$$afa^{t,CCU} = p^{t,CCU} adt^{t,CCU} \quad (18)$$

amb: $afa^{t,CCU}$ aigua fàcilment aprofitable a la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
 $p^{t,CCU}$ fracció d'esgotament de la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula
 $adt^{t,CCU}$ aigua disponible total a la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]

- Càlcul del dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 a la profunditat de la capa superior del sòl al mes t

$$\begin{aligned} \text{Si } z^{t,CCU} > z^{t-1,CCU} &\rightarrow d_{rz^t}^{t-1,CCU} \\ &= d^{t-1,CCU} + d^{*t-1,CCU} \frac{z^{t,CCU} - z^{t-1,CCU}}{z^{*t-1,CCU}} \end{aligned} \quad (19)$$

$$\text{Si } z^{t,CCU} \leq z^{t-1,CCU} \rightarrow d_{rz^t}^{t-1,CCU} = d^{t-1,CCU} \frac{z^{t,CCU}}{z^{t-1,CCU}}$$

amb: $z^{t,CCU}$ profunditat de la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [m]
 $z^{t-1,CCU}$ profunditat de la capa superior del sòl al mes t-1 del conreu que se simula [m]
 $d_{rz^t}^{t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 a la profunditat del mes t del conreu que se simula [mm]
 $d^{t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 a la profunditat del mes t-1 del conreu que se simula [mm]
 $d^{*t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl al mes t-1 a la profunditat del mes t-1 del conreu que se simula [mm]
 $z^{*t-1,CCU}$ profunditat de la capa inferior del sòl al mes t-1 del conreu que se simula [m]

- Càlcul del dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl al mes t-1 a la profunditat de la capa inferior del sòl al mes t

$$d_{rz^{*t}}^{*t-1,CCU} = d^{t-1,CCU} + d^{*t-1,CCU} - d_{rz^t}^{t-1,CCU} \quad (20)$$

amb: $d_{rz^{*t}}^{*t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl al mes t-1 a la profunditat del mes t del conreu que se simula [mm]
 $d^{t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 a la profunditat del mes t-1 del conreu que se simula [mm]
 $d_{rz^t}^{t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 a la profunditat del mes t-1 del conreu que se simula [mm]

$d_{rzt}^{t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 a la profunditat del mes t del conreu que se simula [mm]

- Càlcul de l'excedent hídric

$$\delta_r^{t,CCU} = d^{t-1,CCU} + d^{*t-1,CCU} + K_c^{t,CCU} ET_o^t$$

$$P_o^{t,CCU} = C (d^{t-1,CCU} + d^{*t-1,CCU})$$

$$\text{Si } P^t \leq P_o^{t,CCU} \rightarrow T_r^{t,CCU} = 0 \quad (21)$$

$$\text{Si } P^t > P_o^{t,CCU} \rightarrow T_r^{t,CCU} = \frac{(P^t - P_o^{t,CCU})^2}{P^t + \delta_r^{t,CCU} - 2P_o^{t,CCU}}$$

amb: $d^{t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 del conreu que se simula [mm]
 $d^{*t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl al mes t-1 del conreu que se simula [mm]
 $P_o^{t,CCU}$ llindar de generació d'excedent hídric al mes t del conreu que se simula [mm]
 $T_r^{t,CCU}$ excedent hídric al mes t del conreu que se simula [mm]

- Càlcul de la humitat que la precipitació aporta al sòl

$$(P - T_r)^{t,CCU} = P^t - T_r^{t,CCU} \quad (22)$$

amb: $(P-T_r)^{t,CCU}$ humitat que la precipitació aporta al sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
 $T_r^{t,CCU}$ excedent hídric al mes t del conreu que se simula [mm]

El repartiment de la humitat aportada per la precipitació al sòl no es realitza uniformement: només es transfereix humitat a la capa inferior del sòl si la capa superior es troba saturada.

- Càlcul de la capacitat màxima de retenció d'humitat a la capa superior del sòl

$$(p - t_r)_{max}^{t,CCU} = d_{rzt}^{t-1,CCU} + K_c^{t,CCU} ET_o^t \quad (23)$$

amb: $(p-t_r)_{max}^{t,CCU}$ màxima retenció d'humitat a la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
 $d_{rzt}^{t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 a la profunditat del mes t del conreu que se simula [mm]

- Càlcul, per balanç, de la humitat que la precipitació aporta a cadascuna de les capes de sòl:

$$\begin{aligned} & \text{Si } (P - T_r)^{t,CCU} > (p - t_r)_{max}^{t,CCU} \\ & \rightarrow \begin{cases} (p - t_r)^{t,CCU} = (p - t_r)_{max}^{t,CCU} \\ (p - t_r)^{*t,CCU} = (P - T_r)^{t,CCU} - (p - t_r)_{max}^{t,CCU} \end{cases} \quad (24) \end{aligned}$$

$$Si (P - T_r)^{t,CCU} \leq (p - t_r)_{max}^{t,CCU}$$

$$\rightarrow \begin{cases} (p - t_r)^{t,CCU} = (P - T_r)^{t,CCU} \\ (p - t_r)^{*t,CCU} = 0 \end{cases}$$

amb:	$(P - T_r)^{t,CCU}$	humitat que la precipitació aporta al sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
	$(p - t_r)_{max}^{t,CCU}$	màxima retenció d'humitat a la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
	$(p - t_r)^{t,CCU}$	humitat que la precipitació aporta a la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
	$(p - t_r)^{*t,CCU}$	humitat que la precipitació aporta a la capa inferior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]

- Càlcul, per balanç, de la humitat en la capa superior del sòl i de les necessitats hídriques de reg:

$$Si d_{rzt}^{t-1,CCU} - (p - t_r)^{t,CCU} + K_c^{t,CCU} ET_0^t \leq afa^{t,CCU}$$

$$\rightarrow \begin{cases} d_r^{t,CCU} = d_{rzt}^{t-1,CCU} - (p - t_r)^{t,CCU} + K_c^{t,CCU} ET_0^t \\ I^{t,CCU} = 0 \end{cases} \quad (25)$$

$$Si d_{rzt}^{t-1,CCU} - (p - t_r)^{t,CCU} + K_c^{t,CCU} ET_0^t > afa^{t,CCU}$$

$$\rightarrow \begin{cases} d_r^{t,CCU} = afa^{t,CCU} \\ I^{t,CCU} = d_{rzt}^{t-1,CCU} - (p - t_r)^{t,CCU} + K_c^{t,CCU} ET_0^t - afa^{t,CCU} \end{cases}$$

amb:	$d_{rzt}^{t-1,CCU}$	dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 a la profunditat del mes t del conreu que se simula [mm]
	$d_r^{t,CCU}$	dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t a la profunditat del mes t del conreu que se simula [mm]
	$(p - t_r)^{t,CCU}$	humitat que la precipitació aporta a la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
	$afa^{t,CCU}$	aigua fàcilment aprofitable a la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
	$I^{t,CCU}$	Necessitats hídriques de reg al mes t del conreu que se simula [mm]

- Càlcul, per balanç, de la humitat en la capa inferior del sòl:

$$d_r^{*t,CCU} = d_{rzt}^{*t-1,CCU} - (p - t_r)^{*t,CCU} \quad (26)$$

amb:	$d_r^{*t,CCU}$	dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl al mes t a la profunditat del mes t del conreu que se simula [mm]
	$d_{rzt}^{*t-1,CCU}$	dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl al mes t-1 a la profunditat del mes t del conreu que se simula [mm]
	$(p - t_r)^{*t,CCU}$	humitat que la precipitació aporta a la capa inferior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]

3.3.4. Procés de càlcul a la zona no conreada

Per a un conreu CCU i un mes t, el procés de càlcul que se segueix és el que es mostra a la successió de passos següent, on el tipus de conreu que se simula només influeix a l'hora de considerar el coeficient de conreu a l'etapa inicial:

- Càlcul de l'aigua evaporable total

$$AET = 1000(\theta_{FC} - 0,5 \theta_{WP})Z_e \quad (27)$$

amb: AET aigua evaporable total a la capa superior del sòl [mm]

- Càlcul de del coeficient d'evaporació

$$K_e^{CCU} = K_{c\ ini}^{CCU} \quad (28)$$

amb: K_e^{CCU} coeficient d'evaporació del conreu que se simula

- Càlcul del dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1

$$d_e^{t-1,CCU} = d^{t-1,CCU} \frac{Z_e}{z^{t-1,CCU}} \quad (29)$$

amb: $d_e^{t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 del conreu que se simula [mm]
 $z^{t-1,CCU}$ profunditat de la capa superior del sòl al mes t-1 del conreu que se simula [m]
 $d^{t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 a la profunditat del mes t-1 del conreu que se simula [mm]

- Càlcul del dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl al mes t-1

$$d_e^{*t-1,CCU} = d^{t-1,CCU} + d^{*t-1,CCU} - d_e^{t-1,CCU} \quad (30)$$

amb: $d_e^{*t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl al mes t-1 del conreu que se simula [mm]
 $d^{t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 a la profunditat del mes t-1 del conreu que se simula [mm]
 $d^{*t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 a la profunditat del mes t-1 del conreu que se simula [mm]
 $d_e^{t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl al mes t-1 del conreu que se simula [mm]

- Càlcul de l'excedent hídric

$$\delta_e^{t,CCU} = d_e^{t-1,CCU} + d_e^{*t-1,CCU} + K_e^{CCU} ET_o^t$$

$$P_o^{t,CCU} = C (d_e^{t-1,CCU} + d_e^{*t-1,CCU})$$

$$\text{Si } P^t \leq P_o^{t,CCU} \rightarrow T_e^{t,CCU} = 0 \quad (31)$$

$$\text{Si } P^t > P_o^{t,CCU} \rightarrow T_e^{t,CCU} = \frac{(P^t - P_o^{t,CCU})^2}{P^t + \delta_e^{t,CCU} - 2P_o^{t,CCU}}$$

amb: $d_e^{t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 del conreu que se simula [mm]
 $d_e^{*t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl al mes t-1 del conreu que se simula [mm]
 $P_o^{t,CCU}$ llindar de generació d'excedent hídric al mes t del conreu que se simula [mm]
 $T_e^{t,CCU}$ excedent hídric al mes t del conreu que se simula [mm]

- Càlcul de la humitat que la precipitació aporta al sòl

$$(P - T_e)^{t,CCU} = P^t - T_e^{t,CCU} \quad (32)$$

- amb: $(P - T_e)^{t,CCU}$ Humitat que la precipitació aporta al sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
 $T_e^{t,CCU}$ Excedent hídric al mes t del conreu que se simula [mm]

El repartiment de la humitat aportada per la precipitació al sòl no es realitza uniformement: només es transfereix humitat a la capa inferior del sòl si la capa superior es troba saturada.

- Càlcul de la capacitat màxima de retenció d'humitat a la capa superior del sòl

$$(p - t_e)_{max}^{t,CCU} = d_e^{t-1,CCU} + K_e^{CCU} ET_0^t \quad (33)$$

- amb: $(p - t_e)_{max}^{t,CCU}$ màxima retenció d'humitat a la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
 $d_e^{t-1,CCU}$ dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 del conreu que se simula [mm]
 K_e^{CCU} coeficient d'evaporació del conreu que se simula

- Càlcul, per balanç, de la humitat que la precipitació aporta a cadascuna de les capes de sòl:

$$\begin{aligned} & Si (P - T_e)^{t,CCU} > (p - t_e)_{max}^{t,CCU} \\ & \rightarrow \begin{cases} (p - t_e)^{t,CCU} = (p - t_e)_{max}^{t,CCU} \\ (p - t_e)^{*t,CCU} = (P - T_e)^{t,CCU} - (p - t_e)_{max}^{t,CCU} \end{cases} \\ & Si (P - T_e)^{t,CCU} \leq (p - t_e)_{max}^{t,CCU} \\ & \rightarrow \begin{cases} (p - t_e)^{t,CCU} = (P - T_e)^{t,CCU} \\ (p - t_e)^{*t,CCU} = 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (34)$$

- amb: $(P - T_e)^{t,CCU}$ humitat que la precipitació aporta al sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
 $(p - t_e)_{max}^{t,CCU}$ màxima retenció d'humitat a la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
 $(p - t_e)^{t,CCU}$ humitat que la precipitació aporta a la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
 $(p - t_e)^{*t,CCU}$ humitat que la precipitació aporta a la capa inferior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]

- Càlcul, per balanç, de la humitat en la capa superior del sòl:

$$\begin{aligned} & Si d_e^{t-1,CCU} - (p - t_e)^{t,CCU} + K_e^{CCU} ET_0^t \leq AET \rightarrow d_e^{t,CCU} \\ & \quad = d_e^{t-1,CCU} - (p - t_e)^{t,CCU} + K_e^{CCU} ET_0^t \\ & Si d_e^{t-1,CCU} - (p - t_e)^{t,CCU} + K_e^{CCU} ET_0^t > AET \rightarrow d_e^{t,CCU} \\ & \quad = AET \end{aligned} \quad (35)$$

amb:	$d_e^{t-1,CCU}$	dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t-1 del conreu que se simula [mm]
	$d_e^{t,CCU}$	dèficit d'humitat a la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
	$(p-t_e)^{t,CCU}$	humitat que la precipitació aporta a la capa superior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
	AET	aigua evaporable total [mm]

- Càlcul, per balanç, de la humitat en la capa inferior del sòl:

$$d_e^{*t,CCU} = d_e^{*t-1,CCU} - (p - t_e)^{*t,CCU} \quad (36)$$

amb:	$d_e^{*t,CCU}$	dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]
	$d_e^{*t-1,CCU}$	dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl al mes t-1 del conreu que se simula [mm]
	$(p-t_e)^{*t,CCU}$	humitat que la precipitació aporta a la capa inferior del sòl al mes t del conreu que se simula [mm]

3.3.5. Combinació dels resultats

En apartats anteriors s'ha indicat que, generalment, el cicle fenològic dels conreus herbacis no cobreix tots els mesos de l'any, raó per la qual es succeeixen períodes amb conreu amb períodes en guaret. D'igual forma els conreus llenyosos de fulla caduca presenten una parada hivernal de l'activitat fenològica. Tant si el sòl es troba en guaret com si els conreus anuals no tenen activitat, aquesta parada en l'activitat vegetativa implica que el sòl només estiga sotmès a l'efecte de l'evaporació directa del sòl.

Cal també indicar que no a totes les comarques agrícoles els cicles vegetatius dels conreus coincideixen en el temps; hi ha conreus que presenten un desfasament temporal i, inclús, hi ha cultius que es conreen a l'hivern a les zones costaneres però es conreen a l'estiu a les d'interior. Com a mostra de la primera situació baste veure el cas del raïm de vinificació a la Figura 20 i, de la segona, el cas de l'enciam a la Taula 1. Aquesta aturada en l'activitat fenològica dels conreus pot identificar-se en aquells mesos en què el coeficient de conreu és nul.

A l'hora de combinar els resultats obtinguts en un mes ha de tenir-se en compte la situació descrita anteriorment de forma que només s'apliquen els resultats del model de zona conreada a la zona en conreu i del model de zona no conreada a les zones en guaret o en parada vegetativa.

Per fer-ho s'ha creat dues màscares complementàries que identifiquen la presència –i l'absència– de conreu en funció del valor de coeficient mensual del conreu.

- Càlcul de la màscara de conreu:

$$\begin{aligned} \text{Si } K_c^{t,CCU} > 0 &\rightarrow zc^{t,CCU} = 1 \\ \text{Si } K_c^{t,CCU} = 0 &\rightarrow znc^{t,CCU} = 1 \end{aligned} \quad (37)$$

amb: zc^t màscara que identifica les zones conreades al mes t del conreu que se simula
 znc^t màscara que identifica les zones no conreades al mes t del conreu que se simula

Els tres valors que cal combinar són els dèficits d'humitat a les dues capes del sòl així com les necessitats hídriques de reg. Els processos són els següents:

- Càlcul del dèficit d'humitat a la capa superior del sòl:

$$d^{t,CCU} = zc^{t,CCU} d_r^{t,CCU} + znc^{t,CCU} d_e^{t,CCU} \quad (38)$$

amb: zc^t màscara que identifica les zones conreades al mes t del conreu que se simula
 znc^t màscara que identifica les zones no conreades al mes t del conreu que se simula
 $d_r^{t,CCU}$ dèficit d'humitat en la zona superior del sòl al mes t del conreu que se simula en zona conreada [mm]
 $d_e^{t,CCU}$ dèficit d'humitat en la zona superior del sòl al mes t del conreu que se simula en zona no conreada [mm]

- Càlcul del dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl:

$$d^{*t,CCU} = zc^{t,CCU} d_r^{*t,CCU} + znc^{t,CCU} d_e^{*t,CCU} \quad (39)$$

amb: $zc^{t,CCU}$ màscara que identifica les zones conreades al mes t del conreu que se simula
 $znc^{t,CCU}$ màscara que identifica les zones no conreades al mes t del conreu que se simula
 $d_r^{*t,CCU}$ dèficit d'humitat en la zona inferior del sòl al mes t del conreu que se simula en zona conreada [mm]
 $d_e^{*t,CCU}$ dèficit d'humitat en la zona inferior del sòl al mes t del conreu que se simula en zona no conreada [mm]

- Càlcul de les necessitats hídriques de reg:

$$NHR^{t,CCU} = zc^{t,CCU} I^{t,CCU} \quad (40)$$

amb: $NHR^{t,CCU}$ necessitats hídriques de reg al mes t del conreu que se simula a la zona conreada [mm]
 $zc^{t,CCU}$ màscara que identifica les zones conreades al mes t del conreu que se simula
 $I^{t,CCU}$ Necessitats hídriques de reg al mes t del conreu que se simula [mm]

3.3.6. Programari utilitzat

La formulació desenvolupada, de caràcter general, pot ser aplicada amb qualsevol programari bé de càlcul matricial bé de sistemes d'informació geogràfica. En aquest

treball la formulació ha estat implementada aprofitant el mòdul ModelBuilder d'ArcMap, programa desenvolupat per Esri Inc.

Aquesta plataforma disposa d'una funcionalitat que s'anomena *substitució en línia de variables* que permet canviar el nom d'un fitxer de càlcul emprat al procés.

Amb l'objectiu d'aprofitar aquesta potencialitat i ordenar el procés de càlcul s'ha creat una taula amb els següents paràmetres:

- Pas: indica el número de mes dintre del procés de càlcul (1, 2, 3,... 516)
- Pas anterior: número de mes anterior al mes de càlcul. Com s'ha esmentat, aquest paràmetre és necessari perquè el resultat d'un mes depèn del resultat del mes anterior (0, 1, 2,... 515)
- Mes_any: variable que relaciona el pas amb l'identificador de la data dels fitxers de precipitació i d'evapotranspiració (1975_10, 1975_11, 1975_12,... 2018_9)
- Mes: variable que identifica el pas amb el mes de l'any, informació necessària per a identificar les característiques del conreu (1, 2, 3,...12)

Per què la plataforma pugui iniciar el procés de càlcul, cal definir prèviament el valor de la condició inicial en què es troba el sòl tant en allò referent al dèficit d'humitat com en la profunditat de les dues capes de sòl. Els valors adoptats, que com s'ha mostrat no condicionen els resultats una vegada transcorregut el període d'escalfament, han estat els següents:

- Profunditat de la capa superior del sòl a l'instant inicial (z_r^0): ràster constant per a tota la Demarcació estesa de valor 0,15 m
- Profunditat de la capa inferior del sòl a l'instant inicial (z_r^{*0}): ràster constant per a tota la Demarcació estesa de valor 0,85 m
- Dèficit d'humitat a la capa superior del sòl a l'instant inicial (d^0): ràster constant per a tota la Demarcació estesa de valor 0 mm. Condició de sòl saturat.
- Dèficit d'humitat a la capa inferior del sòl a l'instant inicial (d^{*0}): ràster constant per a tota la Demarcació estesa de valor 0 mm. Condició de sòl saturat.

D'igual forma, per què la plataforma pugui reconèixer les variables d'evapotranspiració i precipitació, cal definir unes variables en què l'identificador de la data siga, en compte de la parella mes_any, el valor 1. Aquestes dues dades, que es prenen iguals a les d'octubre de 1975, no tenen cap influència en els resultats ja que el programa, una

vegada iniciat, selecciona correctament les variables corresponents al mes i a l'any analitzats.

En primer lloc s'usa una eina d'iteració que recorre cada una de les files de la taula anteriorment descrita, cosa que equival a analitzar tota la sèrie temporal. La figura següent mostra l'esquema de càlcul on s'ha implementat la formulació i que permet obtenir resultats per a un únic conreu.

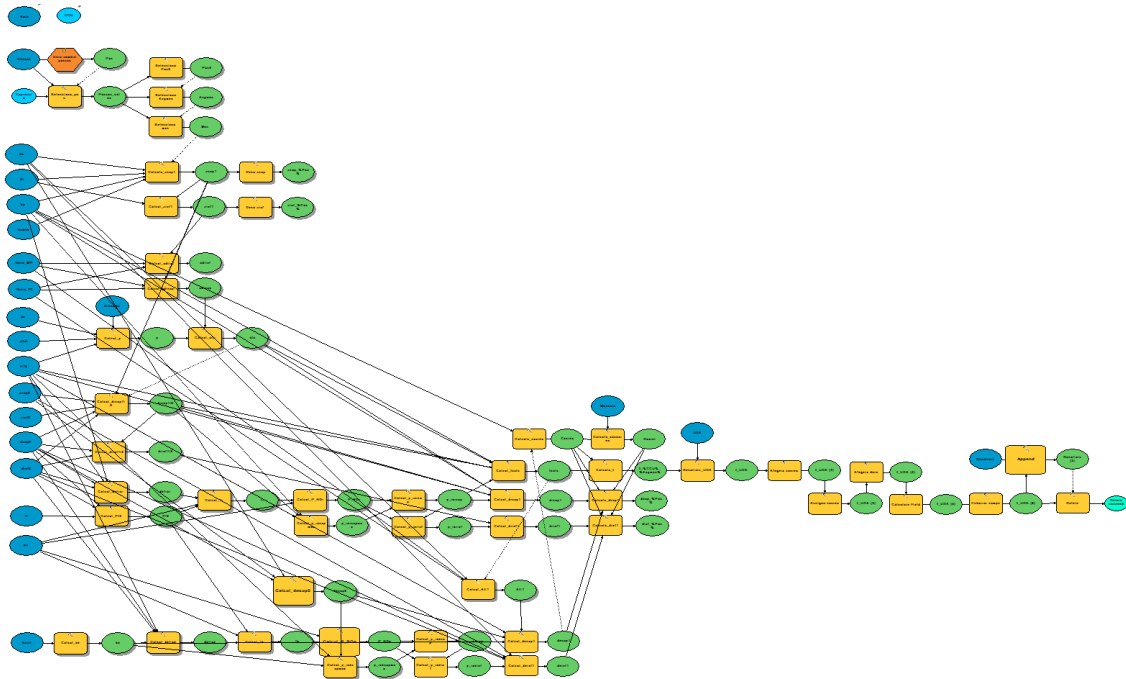


Figura 34. Esquema del procés implementat per al càlcul de les necessitats hídriques d'un conreu a tota la sèrie temporal

Posteriorment s'ha construït un model senzill que, mitjançant un bucle, executa el model anterior per a cadascun dels 149 conreus definits, de forma que el procés de càlcul resta completament automatitzat. L'esquema d'aquest model senzill es presenta a la figura següent.

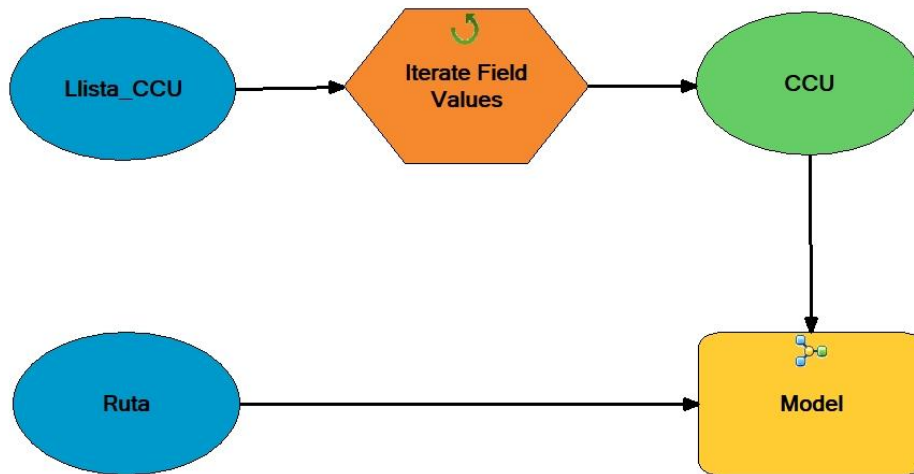


Figura 35. Esquema del procés implementat per al càlcul de les necessitats hídriques de múltiples conreus a tota la sèrie temporal

Cal igualment indicar, que s’ha desenvolupat utilitats senzilles a la mateixa plataforma de càlcul que han permès automatitzar la transformació de les dades numèriques a dades en format ràster així com importar les dades meteorològiques que es presentaven en formats diferents, en aquest cas, l’evapotranspiració de referència. Els esquemes de les eines desenvolupades es mostren a continuació.

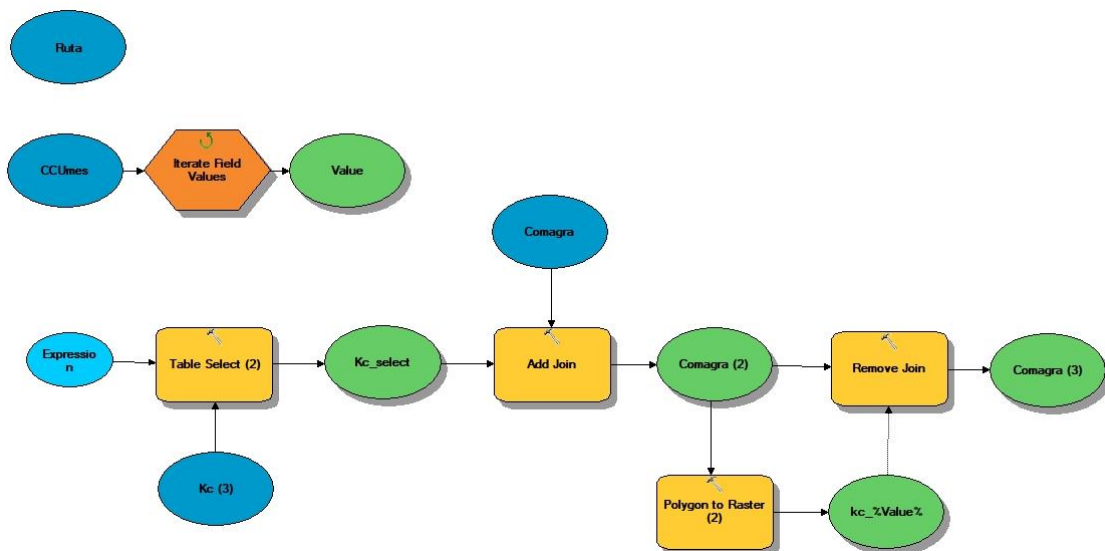


Figura 36. Esquema de l’eina implementada per introduir els valors dels coeficients de conreu

Proposta metodològica per a estimar les necessitats hídriques de reg en la planificació hidrològica: aplicació a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.

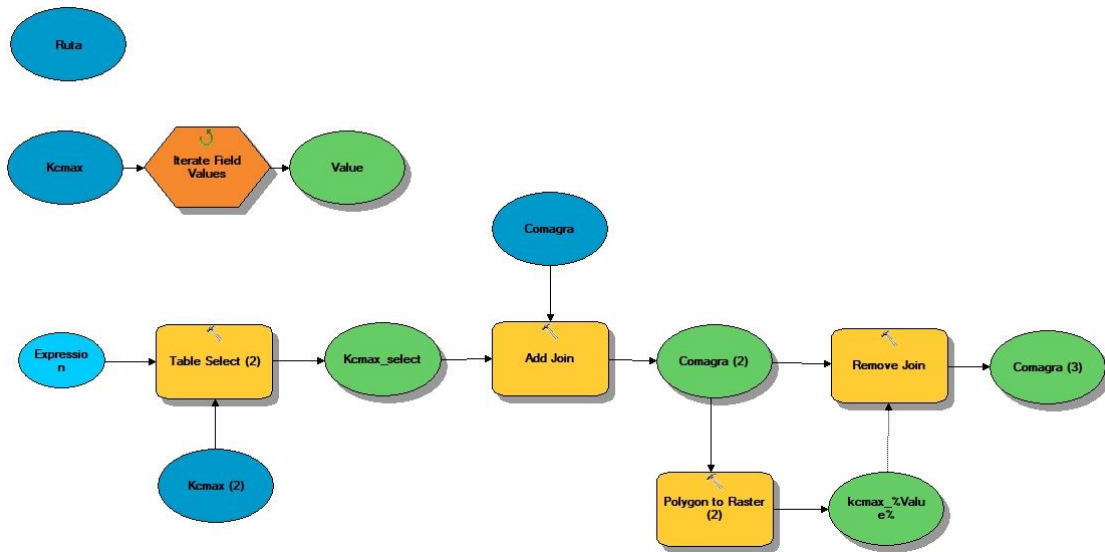


Figura 37. Esquema de l'eina implementada per introduir els valors del màxim coeficient de conreu

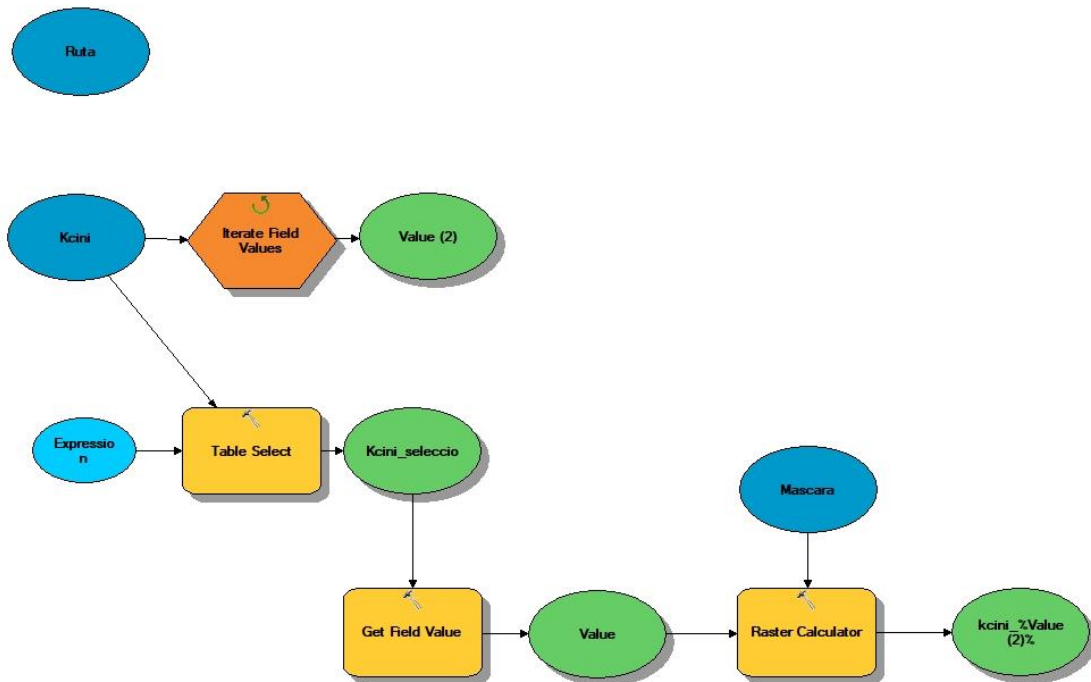


Figura 38. Esquema de l'eina implementada per introduir els valors del coeficient de conreu inicial

Proposta metodològica per a estimar les necessitats hídriques de reg en la planificació hidrològica: aplicació a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.

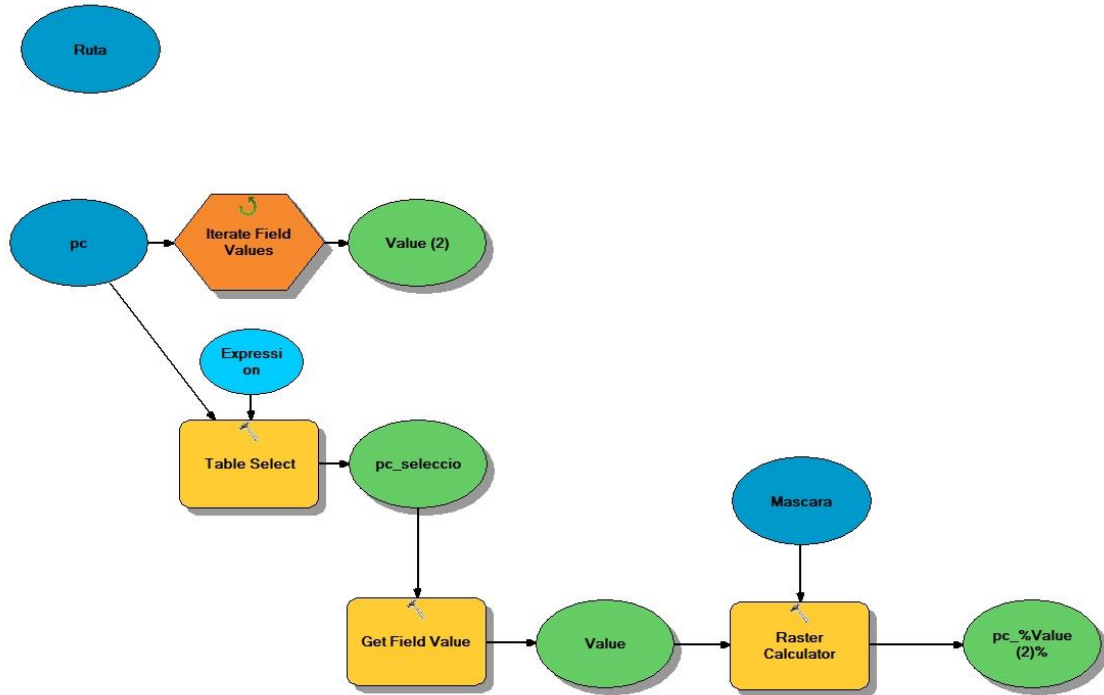


Figura 39. Esquema de l'eina implementada per introduir els valors de la fracció d'esgotament bàsica del conreu

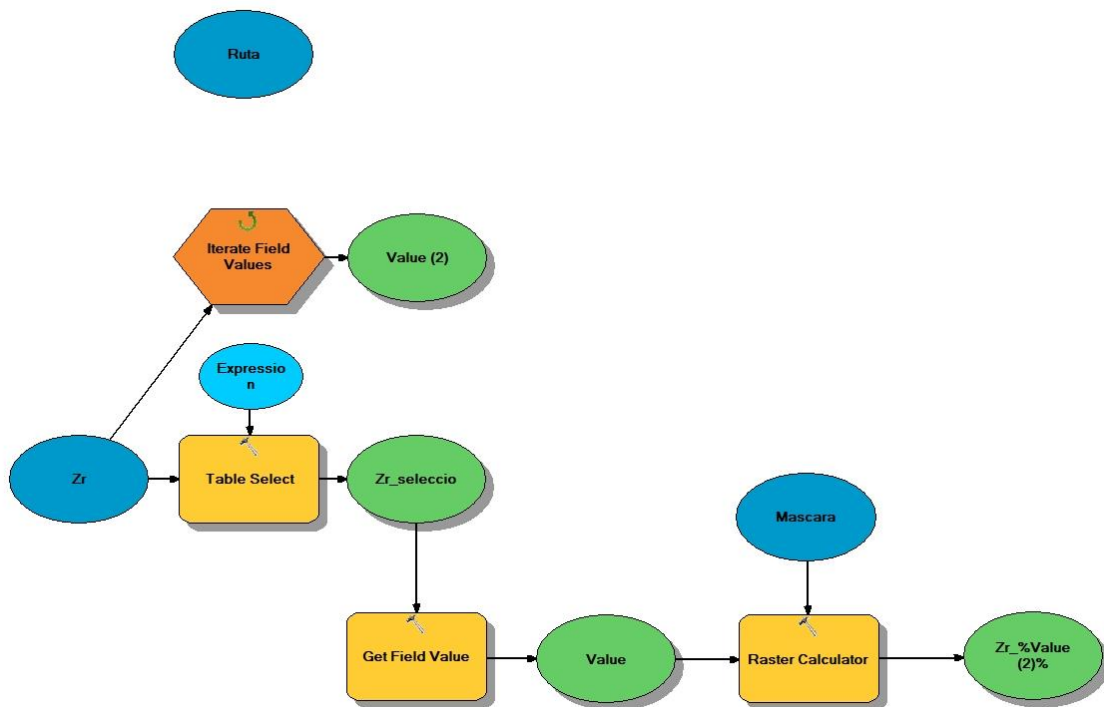


Figura 40. Esquema de l'eina implementada per introduir els valors de la profunditat màxima radicular del conreu

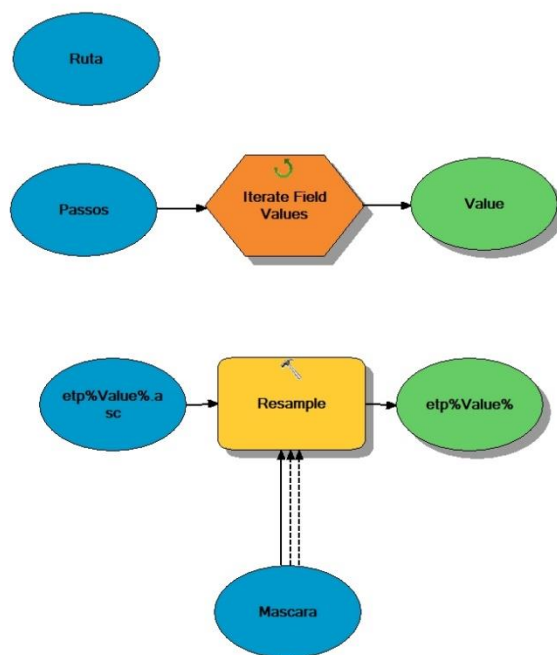


Figura 41. Esquema de l'eina implementada per convertir les dades d'evapotranspiració de referència al format raster de càlcul

Totes aquestes eines s'inclouen electrònicament a l'annex de models.

4. Cas d'estudi: Demarcació Hidrogràfica del Xúquer

4.1 *Necessitats hídriques dels conreus al vigent Pla hidrològic de la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.*

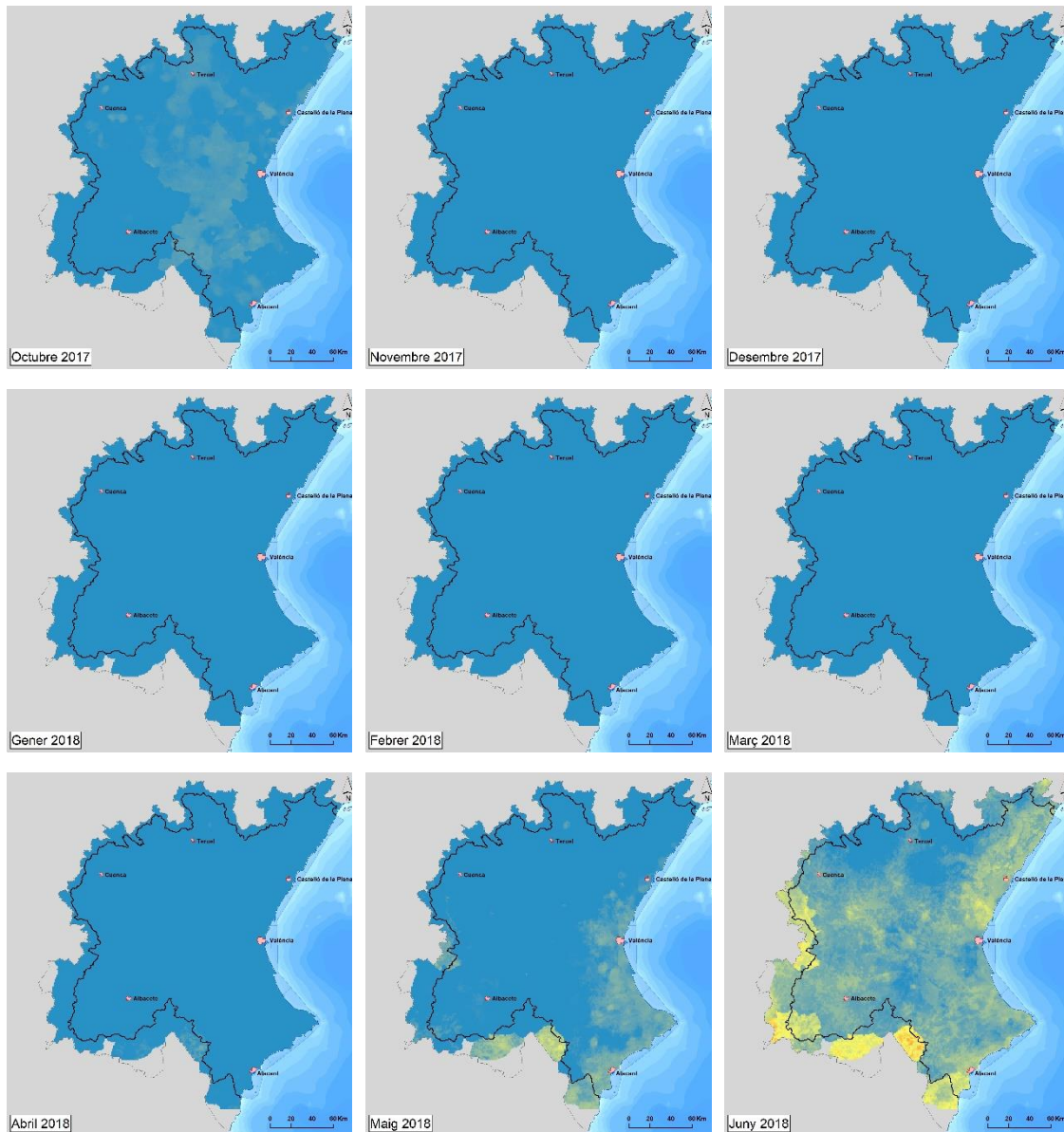
El Pla hidrològic estableix a l'article 36.4 que «En els expedients de concessió o revisió de característiques, i llevat de justificació en contrari, s'utilitzaran les dotacions netes de cultiu per zona agrària establertes en l'apèndix 10.2. La dotació bruta real s'obtindrà dividint la dotació neta per l'eficiència global del reg, que inclou al seu torn les eficiències de conducció, distribució i aplicació en parcel·la».

A l'esmentat apèndix 10.2, específicament dedicat a establir les dotacions netes agrícoles, s'estableix, atenent als criteris de la Instrucció de planificació hidrològica i d'informació procedent del Ministeri d'Agricultura, Pesca i Alimentació, les dotacions netes a considerar per als diferents conreus organitzats en 25 grups –els establerts per la Instrucció de planificació hidrològica més la vinya de taula, els vivers i dues classes addicionals per tenir en compte la resta de conreus llenyosos i la resta de conreus herbacis– i distribuïts al territori en les seixanta-tres zones agràries que es mostren a la figura següent.

Proposta metodològica per a estimar les necessitats hídriques de reg en la planificació hidrològica: aplicació a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.

l'octubre de 1980 fins al setembre de 2018 amb un pas mensual, s'ha calculat un total de 66 156 cobertures.

A mode d'exemple es presenta a la sèrie de figures següents –Figura 43 i Figura 44, respectivament, la sèrie de les necessitats hídriques de la dacsa i del taronger dolç a l'any hidrològic 2017/18, on els colors freds representen necessitats menors mentre que els càlids representen necessitats majors.



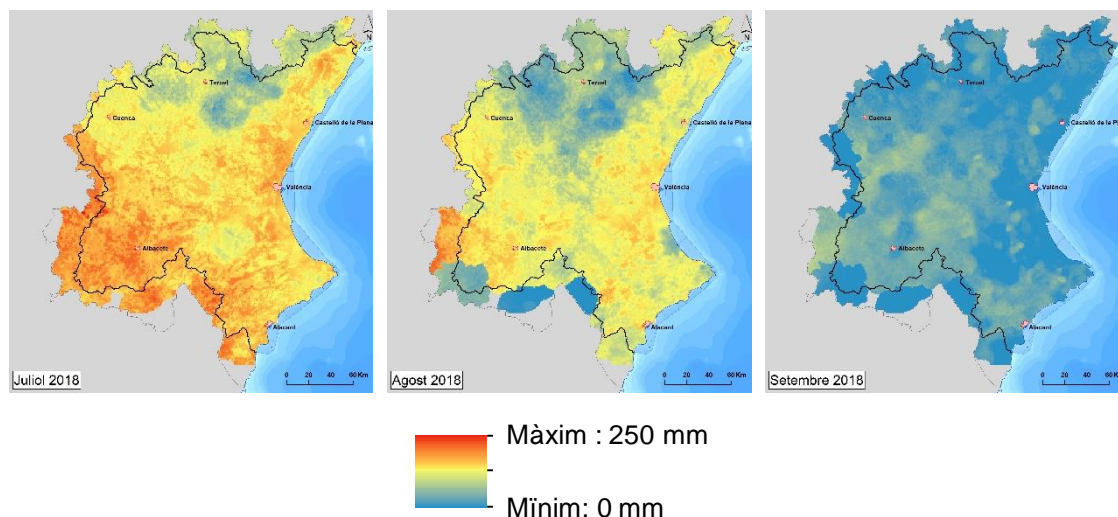


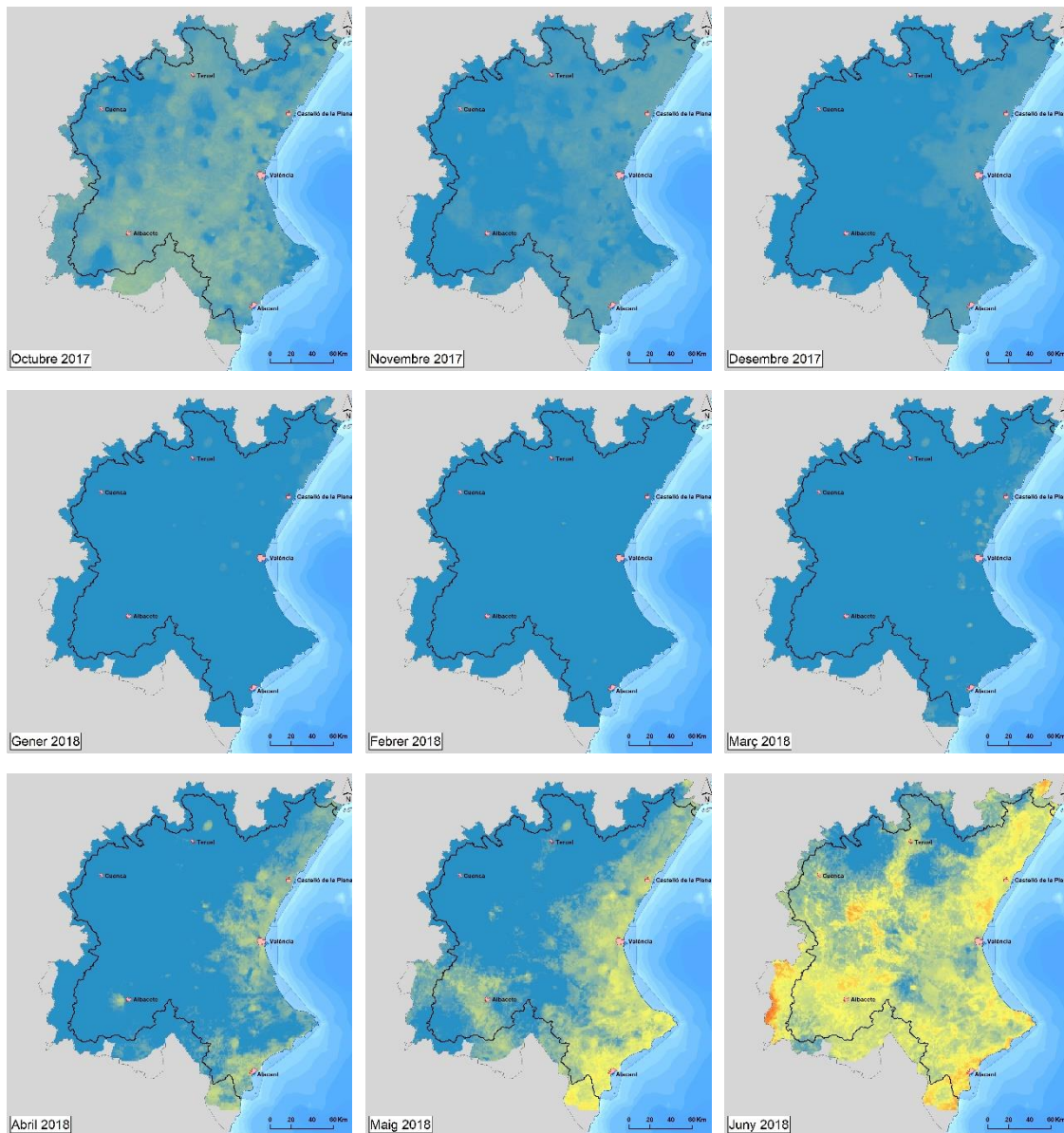
Figura 43. Sèrie mensual de necessitats hídriques de reg de la dacsa durant l'any 2017/18

La sèrie s'inicia al mes d'octubre de 2017 amb valors de necessitats molts baixes; de fet només les comarques de la província de Terol i de l'interior de la província de València, amb cicles de conreu més tardans, presenten necessitats no nul·les amb valors màxims inferiors als 30 mm. Durant els mesos de novembre, desembre, gener, febrer i març el conreu de la dacsa no presenta necessitats hídriques de reg per l'efecte combinat del guaret (als primers mesos) i de la escassa activitat vegetativa que durant els primers mesos té el conreu, necessitats que són cobertes amb l'aigua emmagatzemada al sòl durant els mesos de l'hivern i amb la precipitació caiguda durant el mes. Només al mes d'abril, a les comarques amb menor pluviometria i major evapotranspiració potencial com són la de Múrcia i les del sud d'Albacete caldria començar a regar. A partir de maig i, sobretot, de juny, el desenvolupament del conreu i la major evapotranspiració potencial fa incrementar notablement les necessitats hídriques de reg, especialment al les contrades més meridionals. El mes de juliol, com s'observa amb el predomini dels tons rojos de la figura, és el mes en què s'assoleixen les majors necessitats si bé cal posar de manifest que a les zones situades a major altura de la Demarcació les necessitats hídriques són molt inferiors a les situades al sud pel fet de comptar amb una major precipitació i una menor evapotranspiració de referència. A partir d'aquest moment disminueix novament la necessitat d'aportacions d'aigua al conreu als mesos d'agost i de setembre.

La sèrie següent, com s'ha dit, mostra l'evolució de les necessitats hídriques de reg del taronger dolç a la Demarcació estesa. Independentment de l'evolució pròpia d'aquest

Proposta metodològica per a estimar les necessitats hídriques de reg en la planificació hidrològica: aplicació a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.

conreu que es comentarà seguidament, cal fer esment de dos aspectes que s'observen comparant aquesta sèrie amb l'anterior. El primer és que la dotació màxima mensual necessària del taronger dolç és sensiblement menor que la de la dacsa: el màxim a la dacsa és de l'ordre de 250 mm mentre que en el taronger dolç és, aproximadament, de 175 mm. L'altre aspecte és que el taronger, pel fet de ser un conreu de fulla perenne, té necessitat d'aigua durant tots els mesos de l'any cosa que produeix que, en alguns territoris, s'identifique la necessitat d'aplicar aigua al conreu inclús als mesos més freds o amb major precipitació.



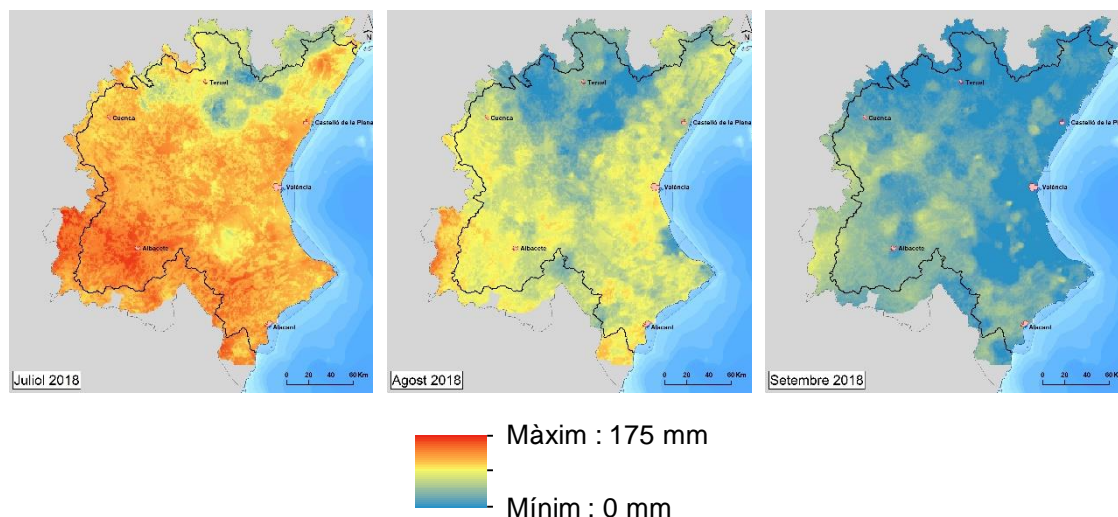


Figura 44. Sèrie mensual de necessitats hídriques de reg del taronger dolç durant l'any 2017/18

L'evolució de les necessitats hídriques de reg del taronger dolç comencen en setembre amb unes necessitats moderades que poc a poc, conforme se succeeixen els mesos amb menors temperatures i menors hores de sol, disminueixen progressivament fins assolir el mínim, aproximadament, als mesos de gener o de febrer. A partir del mes de març, amb la recuperació tèrmica, s'incrementa novament les necessitats hídriques del conreu i, per tant, també les de reg en aquelles contrades amb menor precipitació. Les dotacions creixen mes rere mes fins al juliol, data en què coincideix la menor pluviometria i la major evapotranspiració, raó per la qual es necessiten les majors dotacions. A partir d'ací les necessitats de reg disminueixen novament en agost i molt especialment en setembre, on ja es produeixen pluges que aporten aigua al sòl.

El format dels resultats permet agrupar-los tant espacialment com temporal en la forma que resulte més adient sense més que usar senzilles eines de sistemes d'informació geogràfica: temporalment es pot obtenir els resultats mensuals, anuals o realitzar diferents estadístics; espacialment es pot extreure la informació en un punt, en una àrea concreta o per a tota la Demarcació.

És especialment rellevant obtenir la informació mitjana dins de les ja esmentades unitats de demanda agrícola ja que agrupen regadius amb característiques comunes. Donada la proximitat de l'aprovació de la propera revisió del Pla hidrològic, l'Organisme de conca ha desenvolupat un destacable treball d'actualització de les vigents unitats de demanda agrícola, treball en què s'ha millorat no només la definició geogràfica sinó també l'agrupació de les diferents comunitats de regants i la identificació dels orígens de

l'aigua. És per això que s'ha preferit en aquest treball emprar aquestes noves unitats conscients que poden patir modificacions com a resultat de la consulta pública del projecte de Pla hidrològic i del posterior procés d'aprovació. Es presenten en la figura següent les 121 unitats de demanda agrícola proposades en la revisió del Pla hidrològic.

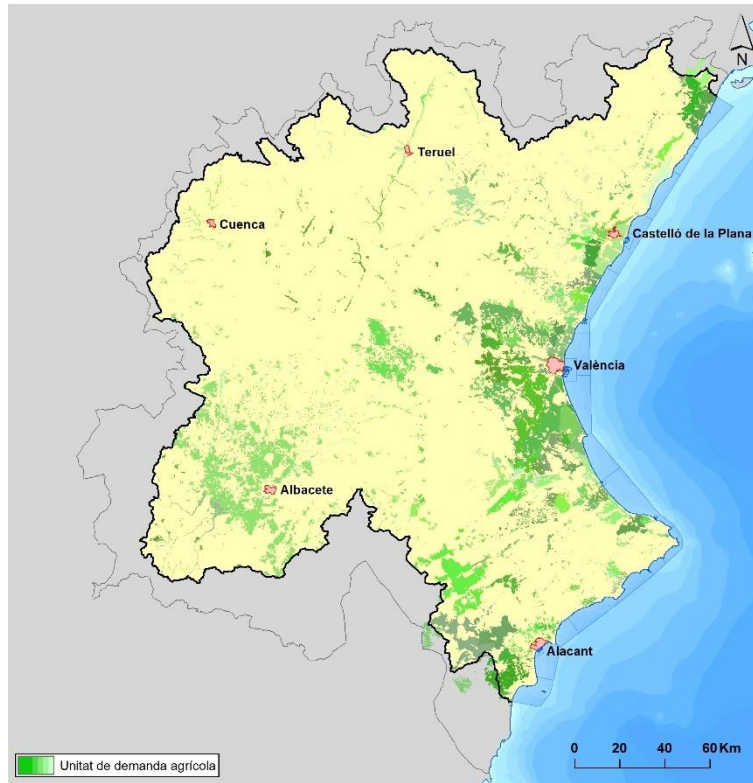


Figura 45. Unitats de demanda agrícola proposades en la revisió del Pla hidrològic

Continuant amb els exemples anteriors es mostra a les figures següents l'evolució mensual de les necessitats hídriques de reg de la dacsa a la unitat de demanda agrícola Regadius de la Manxa Oriental –situada a l'entorn de la ciutat d'Albacete– i del taronger dolç la CR Real Acequia de Moncada –que s'estén aproximadament des del nord de la ciutat de València fins al terme municipal de Puçol.

En el primer cas s'observa clarament la successió d'etapes amb conreu i etapes sense conreu amb valors màxims que, habitualment, es troben entre els 150 i els 200 mm llevat de casos com el 1997 en què el valor màxim del mes de juliol fou de 128 mm.

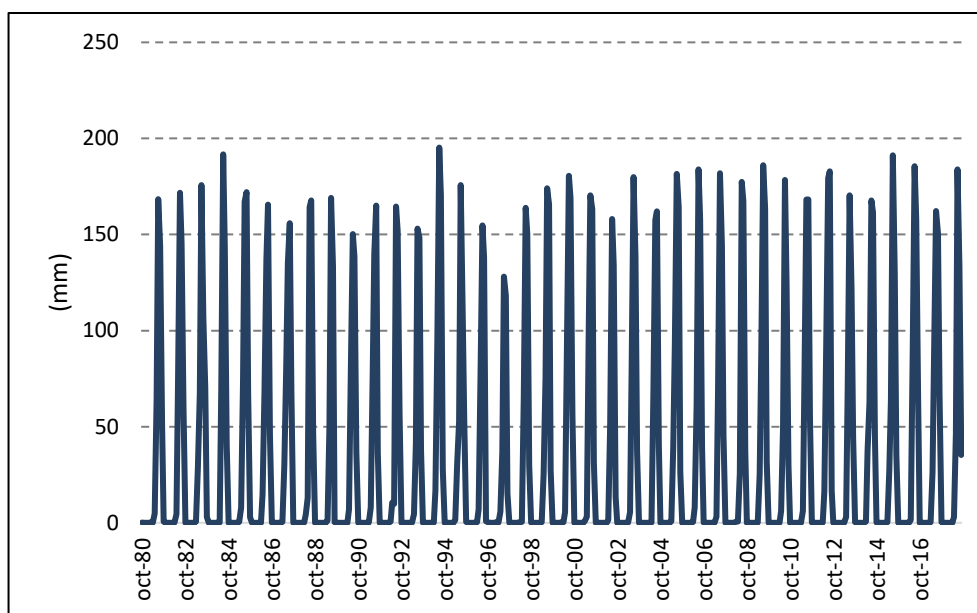


Figura 46. Evolució mensual de les necessitats hídriques de reg de la dacsxa a la unitat de demanda agrícola Regadius de la Manxa Oriental

Al gràfic següent, dedicat a les necessitats mitjanes del taronger dolç a la unitat de demanda CR Real Acequia de Moncada, s'observa els cicles de conreu que ocasiona la variació de l'evapotranspiració potencial (màxims en estiu i mínims en hivern) però amb un comportament més erràtic ja que es tracta d'un conreu perenne. De fet, si bé no és el comportament habitual, en períodes especialment secs (com entre maig de 2013 i octubre de 2014) les necessitats hídriques de regadiu no són mai nul·les.

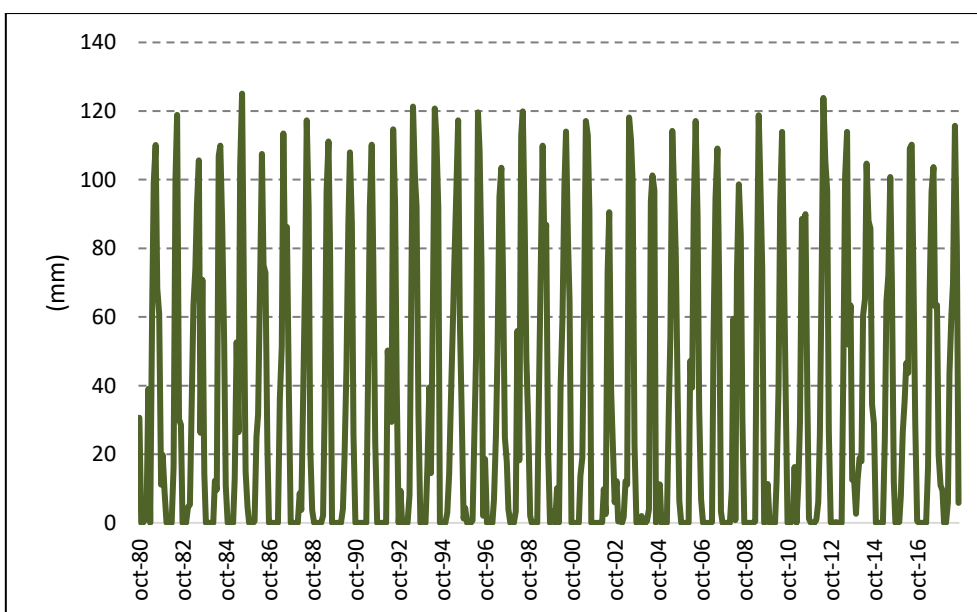


Figura 47. Evolució mensual de les necessitats hídriques de reg del taronger dolç a la unitat de demanda agrícola CR Real Acequia de Moncada

La informació mensual anterior pot ser agrupada temporalment en dos resultats que són d'interés en la planificació hidrològica: les necessitats hídriques de reg anuals i l'any mitjà. El primer s'obté sumant les necessitats de tots els mesos d'un any hidrològic; les segones calculant la mitjana dels valors del mateix mes a tots els anys de la sèrie.

Agrupant els valors mostrats a les figures anteriors s'ha obtingut les necessitats hídriques de reg anuals de la dacsa i del taronger dolç a les unitats de demanda esmentades –Figura 48; altrament s'obté l'any mitjà per als mateixos conreus i unitats de demanda –Figura 49.

En el primer gràfic, dedicat a les necessitats anuals, s'observa que la dotació de la dacsa a la unitat de demanda considerada se situa entre un mínim de 300 mm a l'any hidrològic 1996/97 i un màxim de 500 mm que s'assoleix en diversos anys de la sèrie, com per exemple als anys hidrològics 1993/94 i 1999/00. Les necessitats hídriques de reg del taronger a la unitat de demanda CR Real Acequia de Moncada presenten una major dispersió que allò mostrat a l'exemple anterior ja que el valor màxim, a l'any hidrològic 2013/14, és de 516 mm mentre que el mínim és de només 238 mm a l'any 2001/02, amb un valor mitjà de 400,8 mm, fruit del major nombre de mesos amb activitat fenològica. A les sèries s'observa una important variabilitat temporal a causa de, sobretot, la variabilitat temporal de la pluja ja que, com s'ha vist, l'evapotranspiració de referència té un comportament relativament estable. Cal així mateix destacar que si bé les dotacions als seus respectius àmbits tenen comportaments semblants no són sempre coincidents. Prenga's per exemple, l'any 1996/97, any que fou especialment humit per al conreu de la dacsa als Regadius de la Manxa Oriental però només mitjà per al conreu del taronger dolç a la CR Real Acequia de Moncada.

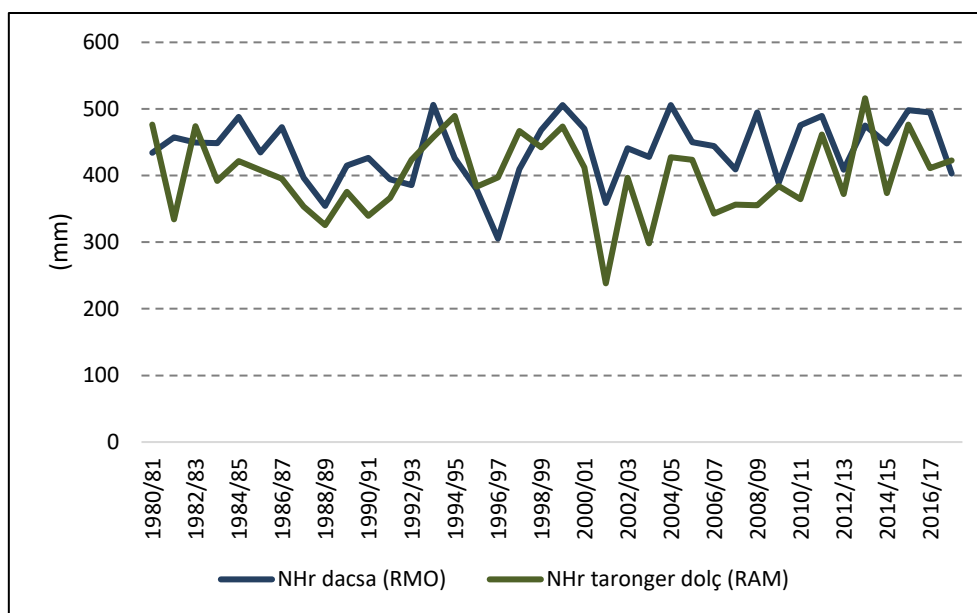


Figura 48. Evolució de les necessitats hídriques de reg anuals de la dacsa a la unitat de demanda agrícola Regadius de la Manxa Oriental i del taronger dolç a la unitat de demanda agrícola CR Real Acequia de Moncada

En allò que respecta a l'any mitjà s'observa com la dacsa té unes necessitats hídriques més exigents, ja que una vegada sembrada les dotacions creixen brusquement fins assolir el màxim de més de 160 mm al mes de juliol, mes en què coincideixen el màxim desenvolupament del conreu, el màxim de l'evapotranspiració i el mínim de la precipitació; a partir d'aquest moment disminueixen lleugerament en agost –es manté el moment fenològic però minva l'evapotranspiració– però també brusquement en setembre, fruit d'una menor evapotranspiració, de majors precipitacions i de l'esgotament del cycle vital del conreu. Pel que fa al taronger, els coeficients de conreu del qual són pràcticament constants al llarg de l'any, la corba presenta també un clar comportament estacional conseqüència de la combinació de precipitació i d'evapotranspiració; així les necessitats hídriques durant els mesos finals de la tardor, l'hivern i inici de la primavera són menudes però s'incrementen progressivament fins al mes de juliol en què, pels mateixos motius al·ludits anteriorment, s'assoleix el valor màxim lleugerament superior a 100 mm; a partir d'aquest moment decreixen també les necessitats hídriques en registrar-se una menor evapotranspiració i una major aportació d'humitat atmosfèrica.

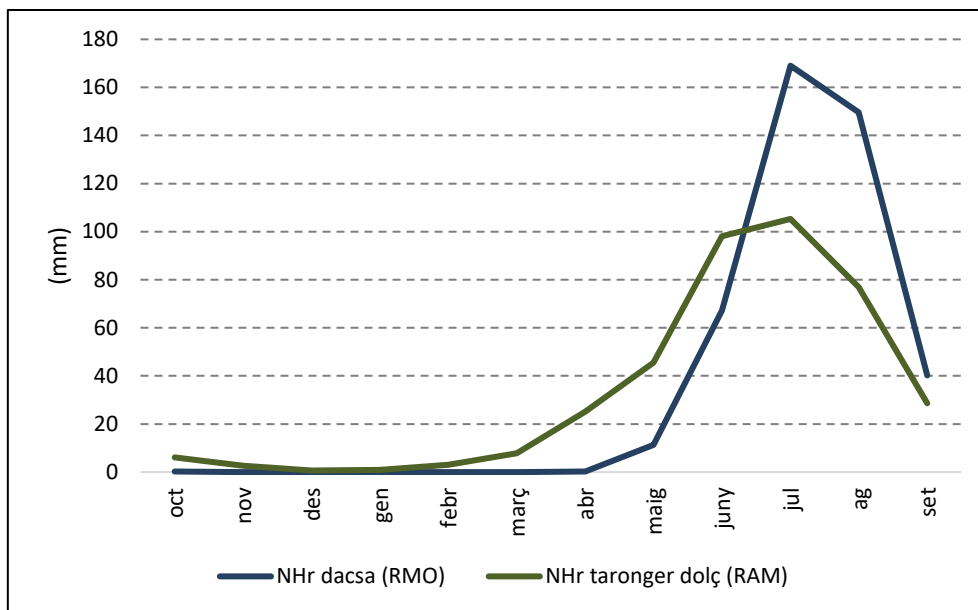


Figura 49. Any mitjà de les necessitats hídriques de reg de la dacsas a la unitat de demanda agrícola Regadius de la Manxa Oriental i del taronger dolç a la unitat de demanda agrícola CR Real Acequia de Moncada

És d'interés obtenir dels valors anuals de quatre estadístics bàsics que permetran avaluar mínimament les principals característiques dels resultats. En concret es tracta de la mitjana, la mediana, la desviació estàndard i el percentil 90. Els dos primers permeten situar el valor central de la sèrie, el tercer la dispersió de les dades i el darrer el valor que deixa el 90% de les dades per davall. Com a exemple es mostra a la taula següent els valors obtinguts als conreus i unitats de demanda que s'usen d'exemple en aquest apartat.

Vist que els valors de la mitjana i la mediana són semblants i que la desviació estàndard és moderada, l'estadístic amb major interès és el percentil 90 ja que podria ser indicatiu d'un valor màxim de la dotació en representar aquelles necessitats hídriques de reg que serien suficients per a abastir adequadament un conreu a la major part dels anys llevat d'aquells de sequera extrema. Considerar aquest valor en compte de la mitjana pel que fa a les dotacions normatives permetria adequar-se millor a l'esperit de la concessió d'aigües per a l'agricultura ja que en aquest instrument administratiu s'estableix un volum màxim d'aigua que no pot ser ultrapassat en cap circumstància, cosa que contravé el significat de la mitjana, que aproximadament deixaria els conreus la meitat dels anys amb una dotació inferior a la necessària.

Respecte aquest valor s'observa que si bé als conreus i unitats de demanda considerades és major que la mitjana entre un 10 i un 20% en funció de la dispersió de les dades, al

conjunt de conreus i de unitats de demanda el percentatge d'increment de les dotacions de considerar el percentil 90 a la mitjana presenta grans diferències. Així, pel que fa al conreu, oscil·la entre el 8% de la xufa fins al 120% del tramús, amb valors menors als conreus d'estiu i profunditat radicular menuda menys sensibles a la variabilitat de la precipitació. Quant a la unitat de demanda, el comportament és molt més estable ja que el percentatge d'increment mínim és del 14% a la CR Carrizales de Elche i regadius d'El Progreso i El Porvenir i el màxim del 42% als Regadius de la Serra d'Albarracín, menor, en general, a les unitats de demanda de on el clima és més àrid i la pluviometria menor.

Conreu	Unitat de demanda	Mitjana (mm)	Mediana (mm)	Desviació estàndard (mm)	Percentil 90 (mm)
Dacsa	Regadius de la Manxa Oriental	438,0	442,8	47,5	498,8
Taronger dolç	CR Real Acequia de Moncada	400,8	397,0	58,1	476,4

Taula 10. Estadístics bàsics calculats sobre les necessitats hídriques de reg de la dacsa a la unitat de demanda agrícola Regadius de la Manxa Oriental i del taronger dolç a la unitat de demanda agrícola CR Real Acequia de Moncada

Tanmateix, aquest aspecte cal que siga valorat amb prudència ja que contravé la pràctica habitual del tràmit concessional raó per la qual en aquest treball s'ha mantingut com a proposta de valor normatiu la mitjana aritmètica malgrat les limitacions que, com s'ha vist, presenta.

Pel que fa a la distribució espacial de les necessitats hídriques, les figures següents mostren per als 2 cultius que s'ha pres d'exemple l'any mitjà distribuït al territori. S'observa que, més enllà del valor absolut que està condicionat pel tipus de conreu, les dotacions majors tendeixen a concentrar-se a l'àrea de la Manxa i del sud de la Demarcació on es registren els majors valors d'evapotranspiració i menor precipitació mentre que les àrees amb menors necessitats es localitzen a les capçaleres dels rius Millars, Túria i Xúquer situades a major cota, on l'evapotranspiració és menor i la pluviometria major.

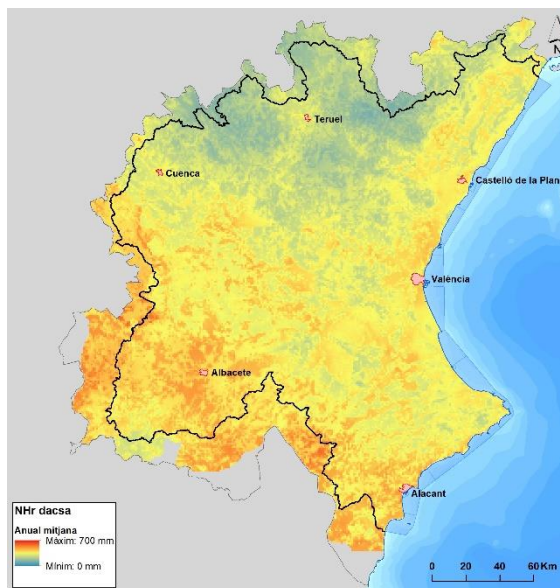


Figura 50. Mitjana anual de les necessitats hídriques de reg de la dacsa a la Demarcació

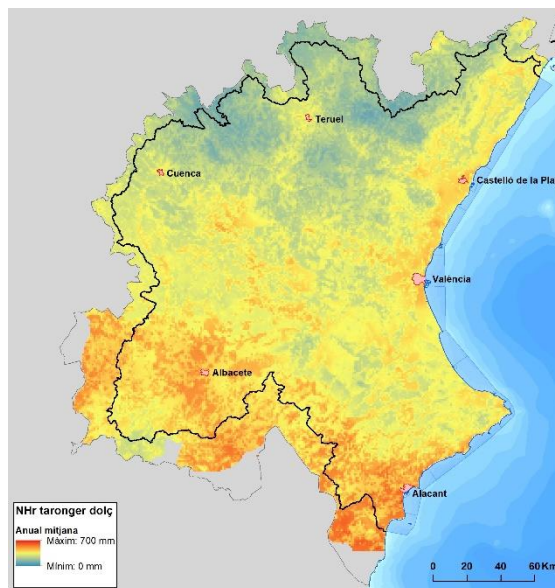


Figura 51. Mitjana anual de les necessitats hídriques de reg del taronger dolç a la Demarcació

Un altre resultat que presenta un destacable interès és conèixer el valor mitjà de les necessitats hídriques de reg d'un conreu al conjunt de la Demarcació. El resultat més immediat, que s'obtidria sense més que realitzar la mitjana del valor a tot l'àmbit, ha d'ésser rebutjat ja que vindrien considerades al càlcul no només les zones de regadiu sinó juntament amb les zones de secà també s'hi inclourien zones boscoses, urbanes, inundades... cosa que comprometria la precisió i la representativitat del resultat. És per això que, en aquest treball, ha estat considerat com a valor mitjà de les necessitats hídriques de reg d'un conreu a la Demarcació el valor mitjà d'aquelles zones conreades en regadiu, entenent que les zones de regadiu a la Demarcació estan incloses en les unitats de demanda agrícola presentades anteriorment. De fet, es podria definir la dotació mitjana com el valor mitjà de les dotacions que caldria aplicar-hi si totes les zones de regadiu de la Demarcació estigueren dedicades al mateix cultiu.

Si bé és cert que aquest procediment incorpora al resultat una variable addicional que és la màscara de regadiu, també és cert que no es preveu que a la Demarcació es desenvolupen noves zones de regadiu suficients que puguin comprometre'n la representativitat.

Per acabar, es mostra a les figures següents les necessitats hídriques de reg anuals mitjanes dels dos conreus emprats com a exemple a la Demarcació, juntament amb les sèries de les dues unitats de demanda agrícola on s'assoleixen el valor màxim –CR

Carrizales de Elche i regadius d'El Progreso i El Porvenir– i el valor mínim –Regadius de la Serra d'Albarracín– on cal tenir present que les dotacions del taronger dolç, en aquesta darrera unitat de demanda, no deixen de ser un producte del càlcul, ja que en aquestes contrades no es possible conrear cítrics a causa de la baixa temperatura hivernal. S'inclou també, com a referència, el valor de la unitat de demanda emprada com a exemple en l'anàlisi realitzada a cada conreu.

En la primera figura s'observa que les necessitats de reg anuals de la dacsa a la Demarcació presenten una important variabilitat, entre valors mínims inferiors als 100 mm fins a valors màxims superiors als 500 mm. El valor mitjà de la Demarcació se situa en 372 mm amb valors superiors als 400 mm als anys més secs (1993/94, 1999/00, 2015/16) i valors inferiors als 300 mm als anys més humits (1996/97, 2001/02).

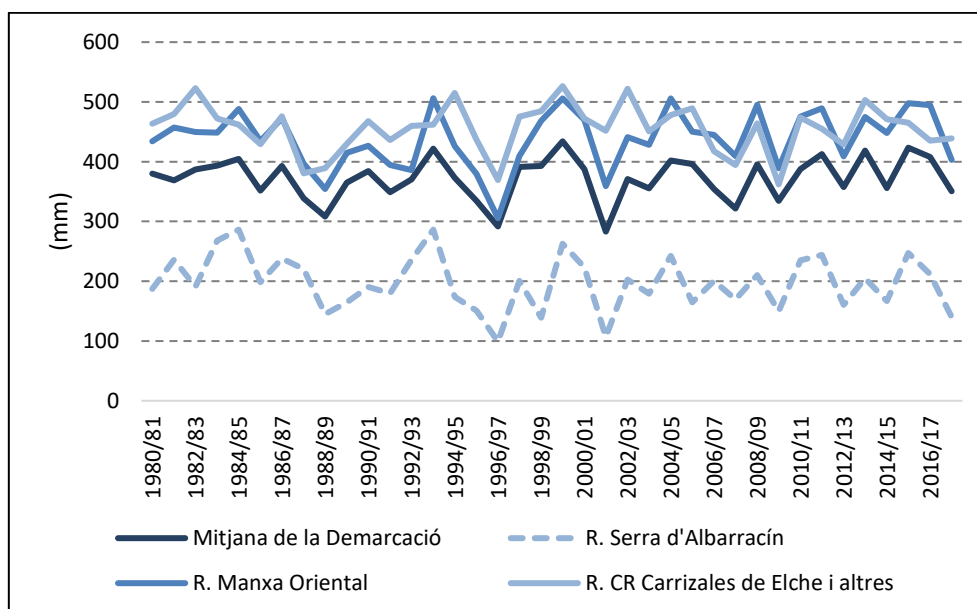


Figura 52. Necessitats hídriques de reg anuals mitjanes de la dacsa de la Demarcació i a les unitats de demanda agrícola Regadius de la Serra d'Albarracín, Regadius de la Manxa Oriental i CR Carrizales de Elche i regadius d'El Progreso i El Porvenir

En aquesta segona figura s'observa que les necessitats de reg anuals del taronger dolç a la Demarcació presenten una variabilitat major que la de la dacsa, entre valors mínims inferiors als 90 mm fins a valors màxims superiors als 600 mm, fruit del major temps d'activitat vegetativa del conreu. El valor mitjà de la Demarcació se situa en 376 mm amb valors propers o superiors als 450 mm als anys més secs (1993/94, 1999/00, 2013/14, 2015/16) i valors inferiors als 300 mm als anys més humits (1988/89, 2001/02).

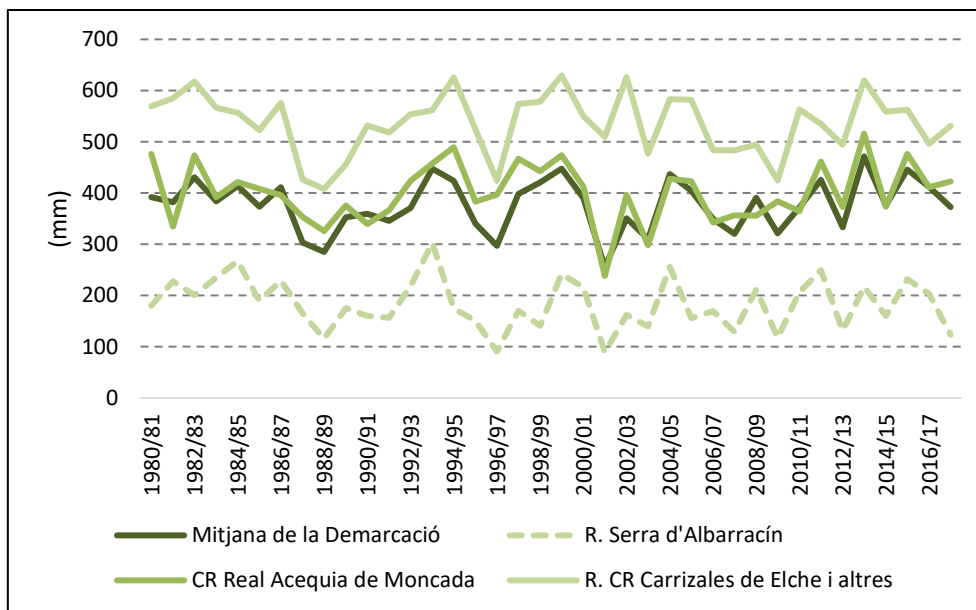


Figura 53. Necessitats hídriques de reg anuals mitjanes del taronger dolç de la Demarcació i a les unitats de demanda agrícola Regadius de la Serra d'Albarracín, CR Real Acequia de Moncada i CR Carrizales de Elche i regadius d'El Progreso i El Porvenir

Donada la gran quantitat d'informació generada, s'inclou a l'annex 4 de resultats anuals de la Demarcació de tots els conreus així com l'any mitjà, mentre que en format digital es recull, a més, tant els mapes ràster primaris com els valors mensuals, anuals i l'any mitjà per a cada una de les unitats de demanda agrícola definides als treballs de planificació.

4.2.2. Validació dels resultats

En aquest subapartat es donarà compte de com s'ha realitzat el procés de validació dels resultats generats per la metodologia proposada, primerament amb una descripció del procés per seguir, posteriorment, amb la pròpia validació.

Procés de validació

La formulació que es proposa en aquest treball, mitjançant la sistematització de la informació i l'aplicació del mètode « $K_c ET_0$ » de la FAO per a estimar les necessitats hídriques dels conreus i del mètode de Témez a l'hora de calcular la pluja efectiva, es planteja com una eina que permeti obtenir les necessitats hídriques de reg a escala de demarcació hidrogràfica però que mantinga l'essència dels mètodes habituals d'estimació de les dotacions de reg. És per això que la validació dels resultats obtinguts s'ha realitzat per comparació amb els valors que es proposen als serveis

d'assessorament al regant de les diferents comunitats autònomes o ens provincials, a estudis específics desenvolupats amb anterioritat i, evidentment, amb les fonts primàries de referència en les tasques de planificació hidrològica que són la Instrucció de planificació hidrològica i el Pla hidrològic de la Demarcació.

Com es veurà posteriorment, cada font d'informació utilitza unes dades i una metodologia diferents raó per la qual els resultats ací obtinguts, per a ésser vàlids, han de resultar raonablement semblants a aquelles fonts d'informació amb dades i metodologies semblants i raonablement diferents a aquelles fonts d'informació amb dades i metodologies diferents.

No és possible ni factible comparar la totalitat d'informació generada per la metodologia ja que no es troba disponible informació suficientment desagregada ni espacialment ni temporal, ni tampoc en allò referent al nombre de conreus disponible. A més, convé remarcar que si aquesta font d'informació existís aquest treball perdria gran part del seu interès. És per això s'ha seleccionat del conjunt d'informació aquells conreus que, el 2015 –darrer any del qual es disposa d'una millor estimació de la superfície regada, ocuparen una superfície de regadiu superior a les 5 000 ha. Aquests conreus són: el blat, l'ordi, l'arròs, la dacsa, l'alfals, la ceba, el taronger dolç, el mandariner, el caqui (juntament amb el ginjoler i la resta de fruiters de fruita carnosa no cítrica), l'ametller, el raïm de taula, el raïm de vinificació i l'oliva d'almàssera. Aquests 13 conreus, com s'observa a la Figura 54, ocuparen conjuntament més del 80% de la superfície regada.

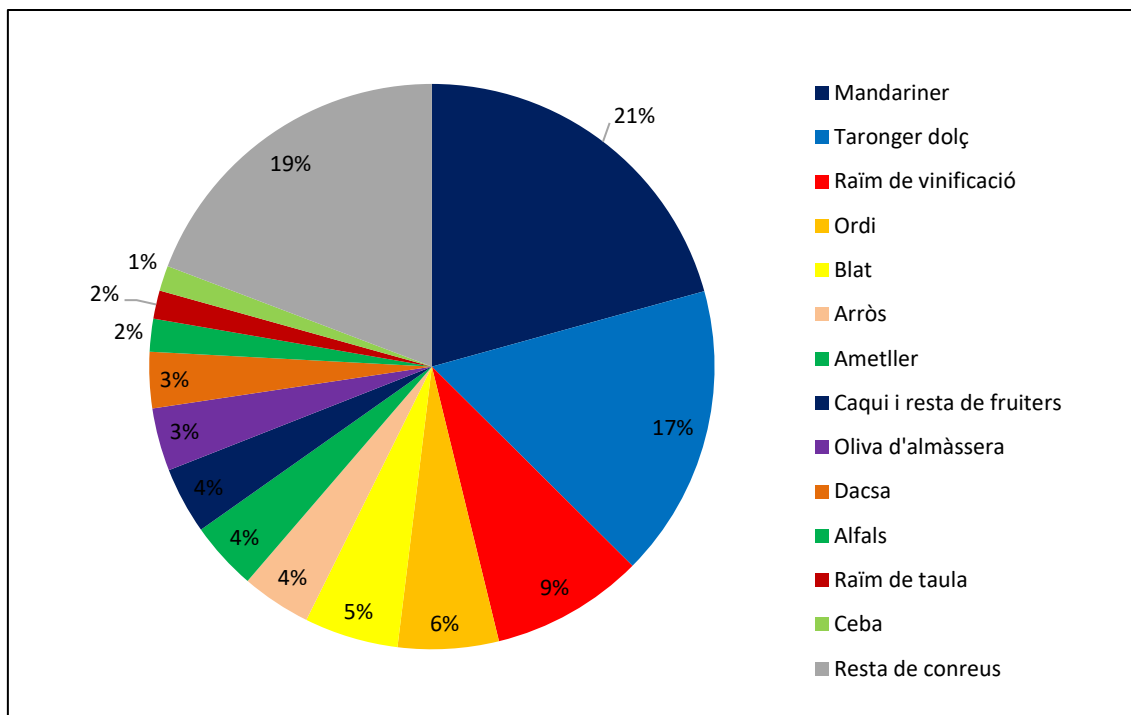


Figura 54. Distribució de la superfície regada a 2015 entre els principals conreus

Espacialment, al procés de validació es compararà les dotacions de referència i les obtingudes del model a 9 punts seleccionats d'entre les estacions agrometeorològiques del SIAR ja que és, en aquestos punts, on els diferents serveis d'assessorament al regant realitzen les estimacions. La selecció dels punts s'ha realitzat de forma que, d'una banda, cobresquen tot el territori i, d'una altra, es localitzen a les principals àrees agrícoles de la Demarcació. Així s'ha elegit les estacions de Monforte del Cid (A) al Vinalopó Mitjà, Albacete a la Manxa Oriental, San Rafael (CS) a la plana de Vinaròs, Vila-real EEA (CS) a la Plana de Castelló, Mariana (CU) a la capçalera del Xúquer, Teruel a la capçalera del Túria, Montcada IVIA (V) als regadius tradicionals del Túria, Carcaixent EEA (V) als regadius tradicionals del Xúquer i Campo Arcís (V) a la Plana d'Utiel. La figura següent en mostra la situació.

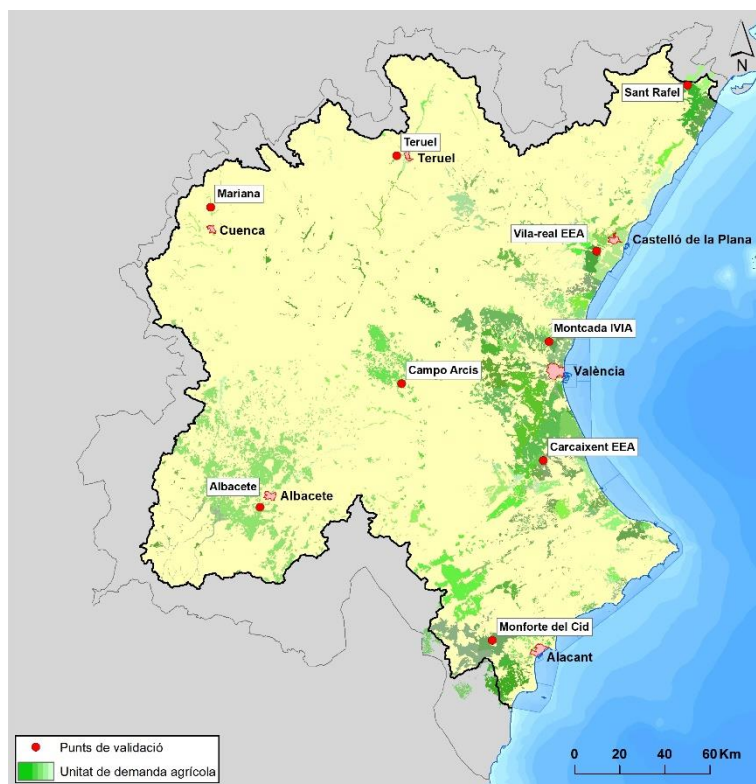


Figura 55. Situació dels punts en què es realitzarà la validació dels resultats

Les fonts d'informació utilitzades són les següents:

- SIAR

El SIAR ofereix informació sobre les necessitats hídriques de reg –necessitats netes segons el full web– per estació agroclimàtica per als conreus més transcendents en la comarca agrària en què es localitza l'estació. El mètode que aplica per obtenir la pluja és el mètode de l'USDA SCS (P, ET) però no té en compte l'efecte d'emmagatzemament d'aigua al sòl, cosa que podria sobreestimar els resultats. Cal recordar que aquest treball ha pres la major part dels coeficients de conreu d'aquesta font d'informació.

- IVIA

L'IVIA facilita informació de les necessitats hídriques de reg –necessitats netes segons el full web– per estació agroclimàtica per als conreus més transcendents de la Comunitat Valenciana si bé s'indica quins conreus són de referència a cadascuna d'elles. Aplica un mètode propi per obtenir la pluja efectiva i no té en compte l'efecte d'emmagatzemament d'aigua al sòl, fet que, com al cas anterior, podria sobreestimar els resultats. En aquesta font d'informació cal introduir al formulari en línia el marc de plantació dels conreus, valor que s'indicarà en cada cas però que han estat obtinguts de

Mateo Box, J.M., 2005. En aquest treball s'ha pres el coeficient de conreu del caqui d'aquesta font d'informació.

- ITAP

L'ITAP emet regularment informació sobre el consum setmanal i l'acumulat a la campanya dels principals conreus de la província d'Albacete, tant en temps real com amb informació històrica des de 2011. Les dades es faciliten per zona de conreu i no tenen en compte la pluja ni l'efecte d'emmagatzemament al sòl si bé a la informació històrica es facilita les dues dades de forma que poden estimar-se les necessitats hídriques de reg per diferència. Com als casos vistos anteriorment, la informació obtinguda d'aquesta font podria ésser superior als valors generats pel model proposat.

- SARGA

La SARGA, al seu full web, posa a disposició dels regants una aplicació que permet obtenir les necessitats hídriques de reg dels conreus més destacats dels que es cultiven a l'Aragó. Els resultats s'obtenen per estació agroclimàtica i si bé es té en compte l'efecte de la pluja –no s'explica quin mètode s'usa per estimar-la– no es considera l'efecte d'emmagatzemament d'aigua al sòl. Només ha estat possible, tanmateix, obtenir dades històriques per a un any, en concret per a l'any 2001. Aplicable és ací també el mateix comentari fet als casos anterior sobre la possible sobreestimació de les necessitats hídriques de reg.

- CREA

El CREA disposa al seu full web de diferents reports que resumeixen les necessitats hídriques dels principals conreus de les zones regables definides en Castella-La Manxa. Ofereix informació de les campanyes de reg des de 2001 a 2014, ambdós anys inclosos. Cal fer atenció que als reports s'indica explícitament que «la pluja o l'aigua emmagatzemada a la zona radicular del sòl pot cobrir part d'aquestes necessitats», cosa de la qual es dedueix que aquests valors no són directament comparables amb els resultats de la formulació proposada. Tanmateix, coneguda la pluja de l'estació agroclimàtica de Mariana, pot obtenir-se una primera aproximació a les necessitats hídriques de reg sense tenir en compte l'efecte d'emmagatzemament del sòl.

- *Determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la cuenca del Júcar*

El Centro de Estudios Hidrográficos realitzà en 1994 l'estudi anomenat *Determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la cuenca del Júcar* (CEH, 1994) amb l'objectiu d'estimar les dotacions netes dels principals conreus a la Demarcació. Aquest treball aplica la metodologia « $K_c ET_o$ » de la FAO però estima l'evapotranspiració de referència mitjançant tres mètodes –Blaney-Criddle, Penman modificat i Penman-Monteith, mètodes que en alguns casos produeixen resultats força diferents i que, consegüentment, condueixen a tres sèries de resultats. Pel que fa a la pluja efectiva, aplica el mètode de l'USDA SCS (P, ET) i té en compte l'emmagatzemament d'aigua al sòl. Els resultats s'obtenen per comarca agrària i s'empra, en cada cas, les millors dades meteorològiques disponibles a l'entorn de l'àrea d'estudi, cosa que pot conduir a usar dades d'estacions meteorològiques allunyades de la comarca objectiu. El període de càlcul depèn de la informació meteorològica disponible i, en el millor dels casos, s'estén des de 1975 fins a 1990, si bé hi ha mesos sense resultats per manca de dades.

- Estudi bàsic del MARM per a la IPH

L'antic Ministeri de Medi Ambient, Medi Rural i Marí realitzà una sèrie d'estudis bàsics amb l'objectiu d'estimar les dotacions netes dels principals conreus a les diferents demarcacions hidrogràfiques en vistes als treballs de la Instrucció de planificació hidrològica i els diferents plans hidrològics del primer cicle de planificació. En aquest estudi es va dividir el territori en unes zones agrícoles diferents de les comarques agrícoles del MAPA en què es tingué en compte, entre altres criteris, l'origen de les aigües i l'organització en comunitats i juntes centrals de regants. A cada zona agrícola li s'associa una o diverses estacions meteorològiques amb les dades de les quals s'obtenen els valors de l'evapotranspiració de referència i la pluja efectiva mensuals en un any mitjà.

Per als principals conreus de cada zona agrícola a l'estudi es realitza el balanç mensual entre l'evapotranspiració del conreu i la pluja efectiva, i es considera l'efecte d'acumulació en el sòl en les èpoques de guaret o sense activitat vegetativa amb una capacitat de retenció màxima d'aigua al sòl variable en funció de la tipologia de conreu.

- Instrucció de planificació hidrològica

La Instrucció de planificació hidrològica estableix un rang de necessitats hídriques de reg admissibles per als principals grups de conreu per a cadascuna de les demarcacions hidrogràfiques intercomunitàries. Aquestos rangs presenten una doble funció a l'hora

d'estimar les demandes d'aigua de reg: per una part, si es disposa d'informació dels volums consumits reals en una unitat de demanda, els valors de dotació calculats han de comparar-se –i s'entén que ésser compatibles– amb el rang proposat; si per el contrari no es pot conèixer el volums realment consumits i cal estimar-los a partir de l'avaluació de la superfície regada, s'ha d'aplicar dotacions que es troben compreses dintre del rang establert. Es reproduïx seguidament els valors relatius a la Demarcació procedents la taula 52 de l'annex IV del text al·ludit en aquest apartat.

Grup de conreus	Dotació (m ³ /ha · any)	
	Mínim	Màxim
Arròs	9400	12150
Conreus bioenergètics: biodièsel	1500	3900
Conreus bioenergètics: bioetanol	2500	4400
Cereals gra d'hivern	1500	2650
Cítrics	2750	5200
Conreus forestals	< 5000	
Conreus farratgers	2300	7100
Flors i plantes ornamentals	4700	5500
Fruiters de fruita seca	1350	2700
Hortalisses aire lliure	2750	4150
Dacs i canyota	3150	5500
Oleaginoses	1900	4850
Olivera	400	2200
Creïlla	850	5250
Vinya de vinificació	1650	3100

Les dotacions de la taula estan referides només a una collita.

A les explotacions agrícoles on es practiquen conreus de forma intensiva a l'aire lliure o en hivernacle aquestos valors se podran afectar per un coeficient en el rang de 1,5 a 1,7.

Fruiters de fruita seca, olivera i vinya: reg de recolzament.

Arròs: el valor màxim correspon a la dotació neta del conreu sembrat sobre làmina d'aigua.

Font: Instrucció de planificació hidrològica

Taula 11. Rang de dotacions netes admissibles per als grups de conreus establerts per la Instrucció de planificació hidrològica per a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer

- Pla hidrològic de la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer

Com és evident, un element de comparació bàsic dels resultats d'aquest treball és el valor de la dotació que prescriu el Pla hidrològic a la zona agrària on es troba cada punt de validació. A l'apartat 4.1 d'aquest treball es descriu els valors establerts i d'on provenen. En síntesi, els valors establerts al Pla hidrològic no són valors estimats directament sinó que adapten els de l'estudi bàsic del MARM o els de la Instrucció de planificació hidrològica. És per aquest motiu que no es tindrà en compte aquesta font com una font de dades de validació però sí que es compararà amb la dotació obtinguda.

Anàlisi de la informació meteorològica

Molt més important que la metodologia a l'hora de validar els resultats és l'anàlisi dels valors meteorològics considerats. Per molt acurada que siga la metodologia que es planteja en aquest treball, els resultats no seran comparables amb les fonts de referència si les dades d'entrada no ho són. És per això que seguidament es compara les dades de l'evapotranspiració de referència i de la precipitació de les diferents fonts d'informació amb les ací emprades. Altrament cal fer notar que tant el SIAR com els serveis d'assessorament al regant de les comunitats autònomes empen la mateixa informació, raó per la qual s'agruparan en aquesta anàlisi de forma genèrica sota l'etiqueta de SIAR. Les altres dues fonts de què es disposa d'informació són el CEH, 1994 i els estudis bàsics del MARM. Cal indicar, tanmateix, que les dades de precipitació recollides als estudis bàsics del MARM són, en realitat, precipitacions efectives, raó per la qual tampoc són incloses en aquesta anàlisi.

Es mostra a continuació l'anàlisi completa realitzada per a l'estació de Vila-real EEA i, posteriorment, només els resultats mitjans de la resta d'estacions.

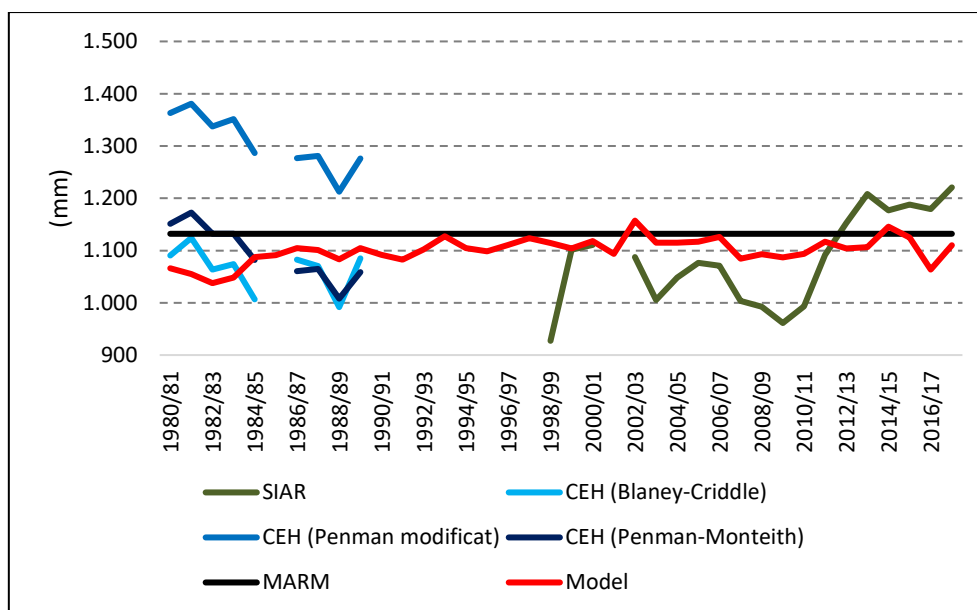


Figura 56. Dades de l'evapotranspiració de referència a l'estació agroclimàtica de Vila-real EEA obtingudes de diferents fonts

Pel que fa a l'evapotranspiració de referència, s'observa que el valor utilitzat en el model té un comportament estable al llarg de la sèrie, amb una mitjana de 1.100 mm, valor lleugerament inferior que el valor mitjà adoptat a l'estudi bàsic del MARM que és de 1.132 mm. El valor del model se situa dintre dels rangs obtinguts a l'estudi del CEH

excepte els primers anys de la sèrie, encara que més a prop dels valors menors –que s’obtenen amb els mètodes de Blaney-Criddle i Penman-Monteith– que del valor màxim –obtingut amb Penman modificat. Finalment cal destacar el comportament de la sèrie del SIAR, sèrie que presenta un creixement sobtat entre els anys 2009/10 i 2011/12 ja que la mitjana a la primera part de la sèrie és d’uns 1 050 mm mentre que la de la segona part la mitjana creix fins als 1 175 mm, per més que el valor mitjà de la sèrie completa siga comparable amb els emprats al model proposat.

El gràfic següent, que mostra la comparació entre la precipitació emprada en el model i les del CEH i del SIAR, no mostra diferències rellevants entre les tres sèries si bé, en ambdós casos, la precipitació del model és lleugerament superior a la de l’estudi del CEH –28 mm de mitjana– com a la del SIAR –47 mm.

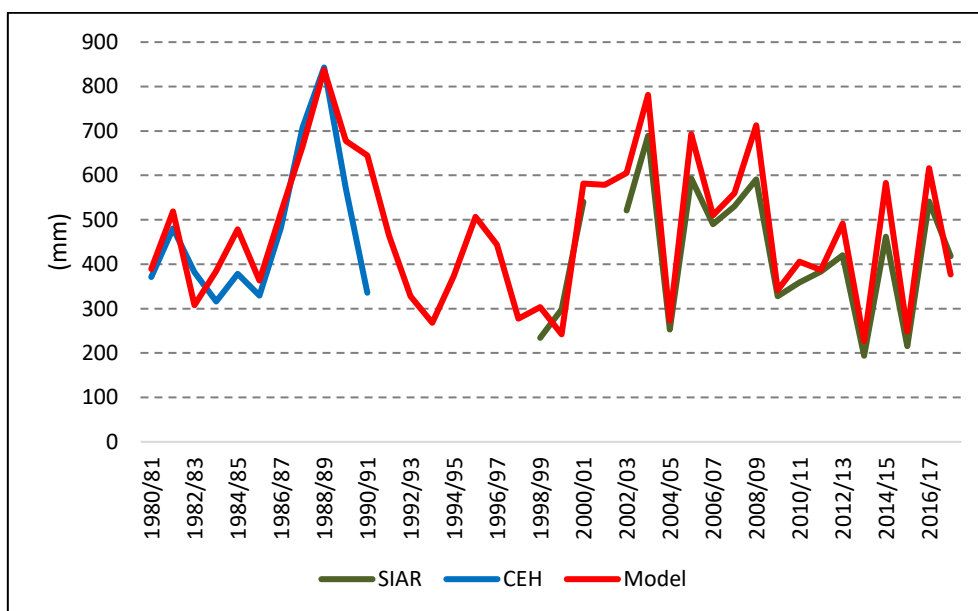


Figura 57. Dades de precipitació a l’estació agroclimàtica de Vila-real EEA obtingudes de diferents fonts

En vista de l’anàlisi anterior, no sembla que les dades meteorològiques hagen de tenir una influència transcendent a l’hora d’explicar les possibles diferències en els resultats que puguem observar-se.

A continuació es mostra al conjunt de taules següents les dades mitjanes anuals de l’evapotranspiració de referència i de la precipitació als punts de validació on s’ha adoptat sèries de durada variable en funció de l’estudi de comparació: 1980/90 per a l’estudi del CEH, 1999/18 per al SIAR (en funció de la disponibilitat de dades) i tota la sèrie per a l’estudi bàsic del MARM.

La Taula 12 inclou els resultats per a les estacions d'Albacete, Mariana i Teruel; la Taula 13 els valors mitjans de les estacions de Vila-real EEA, San Rafael i Monforte del Cid mentre que Taula 14 presenta les dades de Montcada IVIA, Carcaixent EEA i Campo Arcís.

Respecte als valors de l'estació d'Albacete, s'observa que l'evapotranspiració de referència de la primera part de la sèrie es troba dintre dels valors extrems que defineixen les metodologies de Penman modificat i Blaney-Criddle de l'estudi del CEH mentre que els valors a la part final són lleugerament inferiors als que facilita el SIAR, amb un valor mitjà uns 70 mm inferior. El valor mitjà per a tota la sèrie és semblant al que adopta l'estudi bàsic del MARM. Quant a la pluja no s'observa a les dades diferències significatives entre les diferents fonts. Es pot indicar, per tant, que els valors meteorològics de l'estació d'Albacete podrien introduir un lleuger biaix inferior en els resultats de les dotacions, fet que caldrà analitzar conjuntament amb les diferències en la metodologia emprada.

Els valors de l'estació de Mariana mostren que l'evapotranspiració de referència emprada al model és inferior en tots els casos al de les fonts consultades excepte en el cas del SIAR: és lleugerament inferior al valor obtingut a l'estudi del CEH amb la metodologia de Penman-Monteith però fins a 300 mm inferior a la que s'obté amb la metodologia de Penman modificat i és uns 160 mm inferior al valor mitjà de la zona agrícola on es troba l'estació segons l'estudi bàsic del MARM. No obstant això, és uns 60 mm superior al valor mitjà obtingut amb les dades del SIAR. Pel que fa al valor de la pluja, és superior tant al que s'empra a l'estudi del CEH –uns 80 mm– com al del SIAR – 23,9 mm. Aquests resultats podrien justificar que les necessitats hídriques de reg obtingudes amb la formulació foren inferiors a les proposades als altres estudis ja que ambdós valors de la meteorologia actuen en el mateix sentit –menors necessitats i major aportació d'humitat per part de l'atmosfera– excepte en el cas del SIAR, on els efectes de les dues variables atmosfèriques tenen efectes oposats.

Comentari semblant pot realitzar-se de l'evapotranspiració de referència a l'estació de Teruel; el valor considerat al model és inferior uns 70 mm al valor mínim emprat a l'estudi del CEH –si bé aquí només es disposa del valor d'un any hidrològic complet, també inferior amb un valor semblant respecte la mitjana del SIAR i amb el del valor mitjà considerat a l'estudi bàsic del MARM. En allò que respecta a la pluja, el valor emprat a

l'estudi del CEH resulta novament major en més de 80 mm però, en canvi, la pluja emprada al model és lleugerament superior a la del SIAR. Caldrà veure l'efecte que aquestes diferències tenen sobre les dotacions calculades en cada mètode però sembla que la major incidència de les dades d'evapotranspiració potencial podria indicar que els resultats del model deurien ser menors.

Sèrie	Origen de les dades	Albacete		Mariana		Teruel		
		ET _o	P	ET _o	P	ET _o	P	
1980/90	Model	1 194,0	321,7	967,8	568,9	916,9	353,2	
	CEH	Blaney-Criddle	1 090,1	318,3	1 096,2	482,4	987,8	434,7
		Penman modificat	1 361,6		1 261,5		1 224,3	
		Penman-Monteith	1 115,6		992,4		988,1	
1999/18	Model	1 234,3	345,9	998,4	563,0	940,6	372,2	
	SIAR	1 302,8	330,5	939,8	539,1	1 012,5	336,4	
1980/18	Model	1 213,8	343,7	984,2	565,2	928,9	357,9	
	Estudi bàsic MARM	1 217,0		1 140,0		956,7		

Taula 12. Valors mitjans en diferents períodes de l'evapotranspiració de referència i de la precipitació als punts de validació obtingudes de diferents fonts (inici)

La taula següent inclou els valors mitjans per a les estacions de Vila-real EEA, San Rafael i Monforte del Cid. Respecte la segona –el cas de Vila-real EEA ja ha estat analitzat amb anterioritat amb major detall, els valors de l'evapotranspiració de referència tornen a ser menors que en la resta d'estimacions. De fet el valor emprat al model és inferior a les estimacions realitzades a l'estudi del CEH –el valor considerat és 48 mm inferior al resultat de la metodologia de Blaney-Criddle, inferior en aproximadament 100 mm a la mitjana dels valors del SIAR i quasi 70 mm inferior al valor mitjà considerat a l'estudi bàsic del MARM. La comparació dels valors de la pluja són especialment cridaners en el cas de la comparació amb el CEH ja que en aquest estudi s'obté una precipitació mitjana de 741,3 mm mentre que amb la font de dades emprada en aquest treball s'obté una precipitació de 536 mm. Tanmateix, els valors considerats en el model i els del SIAR són molt semblants. Si bé la diferència en les dades meteorològiques en aquesta estació podria explicar dotacions de reg menors respecte a les dades ofertes per SIAR i per l'estudi bàsic del MARM, la destacable dissemblança en l'estimació de l'evapotranspiració del CEH i, sobretot, el valor molt major que aporta aquest estudi en allò que respecta a la pluja, pot produir resultats tant en un sentit com en l'altre en funció de l'aprofitament que, de la precipitació pugui realitzar el conreu.

La comparació en les dades meteorològiques a l'estació agroclimàtica de Monforte del Cid repeteix les conclusions de l'estació de Mariana: mentre que els valors de la pluja

són comparables, els valors de l'evapotranspiració de referència són menors en tots els casos: uns 70 mm respecte la mínima estimació de l'estudi del CEH, més de 220 mm respecte les dades del SIAR i aproximadament 150 mm que el valor mitjà que s'empra a l'estudi bàsic del MARM. Amb aquestes dades meteorològiques els resultats que s'obtindran del model seran inferiors als de les tres fonts indicades.

Sèrie	Origen de les dades	Vila-real EEA		San Rafael		Monforte del Cid		
		ET _o	P	ET _o	P	ET _o	P	
1980/90	Model	1 077,9	513,9	894,7	536,0	1 023,3	337,7	
	CEH	Blaney-Criddle	1 065,4	486,0	942,7	741,3	1 094,8	366,8
		Penman modificat	1 307,3		1 209,1		1 341,4	
		Penman-Monteith	1 095,7		1 017,3		1 123,6	
1999/18	Model	1 109,2	485,0	899,3	475,3	1 002,2	273,9	
	SIAR	1 082,2	437,9	1 088,3	505,5	1 223,0	291,2	
1980/18	Model	1 100,2	472,7	891,1	490,6	1 003,1	284,9	
	Estudi bàsic MARM	1 132,0		1 065,0		1 146,2		

Taula 13. Valors mitjans en diferents períodes de l'evapotranspiració de referència i de la precipitació als punts de validació obtingudes de diferents fonts (continuació)

En aquesta darrera taula de comparació de les dades meteorològiques s'inclou els valors de les estacions agroclimàtiques de Montcada IVIA, de Carcaixent EEA i de Campo Arcís. En relació amb la primera de les estacions, l'evapotranspiració de referència és similar a la que obté el CEH amb els mètodes de Blaney-Criddle i Penman-Monteith i pràcticament coincident amb la del SIAR i amb la de l'estudi bàsic del MARM. D'igual forma els valors de la precipitació són comparables en totes les fonts cosa que apunta que no hi ha diferències significatives entre les dades meteorològiques que justifiquen diferències als resultats, diferències que, de produir-se, estaran causades per diferències metodològiques.

En segon lloc, les dades de l'evapotranspiració de referència a l'estació de Carcaixent EEA resulten lleugerament inferiors –de l'ordre de 50 mm– a les dades dels mètodes emprats pel CEH de Blaney-Criddle i Penman-Monteith. Major diferència –més de 100 mm– s'observa entre les dades del SIAR i les emprades al model si bé, en aquest cas, les dades del model són superiors. Finalment els valors emprats a l'estudi bàsic del MARM són també superiors als adoptats pel model, en aquest cas més de 100 mm. Pel que fa a la pluja, en ambdós casos s'hi presenten diferències: la pluja adoptada en el model és molt superior a la emprada al model del CEH –més de 200 mm– si bé cal esmentar que en aquest darrer cas només es disposa de dades de precipitació de dos anys hidrològics complets; la pluja emprada en el model també és superior a la registrada pel SIAR,

encara que ara la diferència és, d'aproximadament, 80 mm a favor del model. Caldrà analitzar amb precaució els resultats que s'obtinguen en aquest punt de validació, especialment en allò que respecta a l'estudi del CEH, ja que els valors de la pluja són molt inferiors als emprats en aquest treball.

Al darrer punt de validació, el de Campo Arcís, les diferències entre els valors de l'evapotranspiració no són rellevants ja que se situen dintre del rang proposat a l'estudi del CEH, són semblants a les del SIAR i només lleugerament superiors a la mitjana de l'estudi bàsic del MARM. Quant a la pluja, les diferències són aproximadament d'uns 50 mm, superiors a les emprades a la formulació en el cas de l'estudi del CEH i inferiors en el cas del SIAR. Amb aquestos resultats no s'espera que la meteorologia siga un factor important a tenir en compte en la comparació dels resultats si bé els oferts pel SIAR seran superiors en emprar una evapotranspiració de referència major i una pluja menor.

Sèrie	Origen de les dades		Montcada IVIA		Carcaixent EEA		Campo Arcís	
			ET _o	P	ET _o	P	ET _o	P
1980/90	Model		1 114,2	455,7	1 103,4	602,5	1 097,2	404,0
	CEH	Blaney-Criddle	1 073,1	444,7	1 145,3	380,0	953,3	449,9
		Penman modificat	1 323,4		1 384,2		1 246,2	
		Penman-Monteith	1 095,7		1 152,0		1 102,5	
1999/18	Model		1 152,9	383,4	1 164,5	664,5	1 146,8	413,4
	SIAR		1 131,4	400,5	1 057,0	582,5	1 208,8	359,8
1980/18	Model		1 138,4	395,3	1 136,8	628,1	1 126,7	398,6
	Estudi bàsic MARM		1 132,0		1 246,0		1 052,3	

Taula 14. Valors mitjans en diferents períodes de l'evapotranspiració de referència i de la precipitació al punts de validació obtingudes de diferents fonts (finalització)

En síntesi no s'observen diferències destacables en les dades meteorològiques als punts de validació de Vila-real EEA, de Montcada IVIA i de Campo Arcís mentre que s'empren estimacions netament inferiors en l'evapotranspiració de referència a l'estació de Monforte del Cid raó per la qual les necessitats hídriques de reg obtingudes per la metodologia deurien ser inferiors a les dels estudis de referència. Caldrà també fer atenció amb els valors que s'obtinguen amb l'estudi del CEH als punts de validació de San Rafael i Carcaixent EEA, ja que la precipitació és molt diferent a la que empran la resta de fonts –superior en el cas de San Rafael i inferior en el cas de Carcaixent.

Validació dels resultats

Amb l'únic objectiu d'alleugerir aquest document s'inclou ací únicament el resum i les conclusions finals del procés de validació; la descripció completa es troba disponible a l'annex 5.

Al procés de validació seguit s'ha comparat els resultats facilitats a quatre fonts d'informació disponible –estudi del CEH, SIAR, IVIA-ITAP-CREA i estudi bàsic del MARM– a nou punts de validació seleccionats al territori.

De les 13 classes de conreu analitzades s'ha considerat que en 12 els resultats produïts pel model són favorables ja que o bé a la majoria d'estacions els resultats són adequats o les dissemblances entre els conjunts de valors poden ésser explicades satisfactòriament per diferències en la metodologia o en les dades meteorològiques emprades. Només en un cas, l'alfals, els resultats no han estat considerats acceptables ja que els valors obtinguts són, en general, menors que els de les fonts de contrast conseqüència, en part, del mètode hidrològic emprat. Tanmateix cal indicar que si bé en general els resultats a les estacions no són favorables, sí que ho són a l'estació d'Albacete, estació que es localitza a la unitat de demanda on es dona la major part d'aquest conreu farratger.

Pel que fa a les fonts d'informació, en general, l'ajustament amb els valors presos dels llocs web del SIAR i l'IVIA són adequats ja que les diferències poden ser satisfactòriament explicades; quant a les dades procedent de l'ITAP i del CREA, els resultats són dispars, en ésser en alguns conreus satisfactori però en uns altres no. En darrer terme, els valors que s'obté amb la formulació desenvolupada tendeixen a ser lleugerament inferiors als que es proposen als estudis del CEH i del MARM en aquells conreus en què els coeficients de conreu són comparables.

A la taula següent es mostra, en forma de resum, els resultats de la validació, on s'ha indicat amb una escala de colors la qualitat de l'ajustament i les conclusions. Els colors verds representen un ajustament positiu, el groc positiu amb reserves i el roig no positiu. S'observa nítidament a la taula que, llevat de l'alfals, la majoria de comparacions entre els valors de contrast i els obtinguts per la metodologia són favorables, fet que permet concloure que, en general, els resultats produïts per la formulació desenvolupada són adequats.

Conreu	Albacete	Mariana	Teruel	San Rafael	Vila-real EEA	Monforte del Cid	Montcada IVIA	Carcaixent EEA	Campo Arcís	Resum	Conclusió
Blat	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ordi	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Arròs	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Dacsa	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Alfals	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ceba	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Taronger dolç	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mandariner	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Caqui i resta	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ametller	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Raïm de taula	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Raïm de vinificació	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Olivera d'almàssera	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

CEH	SIAR	<table border="1"> <tr> <td>■</td> <td>Resultats adequats</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>Resultats acceptables amb diferències explicables</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>Resultats acceptables amb reserves</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>Resultats no adequats</td> </tr> </table>	■	Resultats adequats	■	Resultats acceptables amb diferències explicables	■	Resultats acceptables amb reserves	■	Resultats no adequats
■	Resultats adequats									
■	Resultats acceptables amb diferències explicables									
■	Resultats acceptables amb reserves									
■	Resultats no adequats									
ITAP/IVIA/CREA	MARM									
■	Validació conforme	<table border="1"> <tr> <td>■</td> <td>Validació conforme</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>Validació no conforme</td> </tr> </table>	■	Validació conforme	■	Validació no conforme				
■	Validació conforme									
■	Validació no conforme									
■	Validació no conforme									

Taula 15. Quadre resum de la validació dels resultats

4.3 Obtenció de grups de conreus per a la planificació hidrològica

4.3.1. Els grups de conreus: situació actual i necessitat

Com s'ha vist, la planificació hidrològica emprà els valors de les dotacions dels conreus amb dues finalitats complementàries: una primera, descriptiva, amb què es pretén estimar l'ús de l'aigua de reg en un determinat període i una altra, normativa, mitjançant la qual, principalment, s'estableixen les dotacions de referència necessàries per a fixar els volums màxims que un usuari pot usar en una concessió d'aigua per a agricultura.

Si bé en la primera finalitat és plausible i inclús desitjable emprar la major desagregació possible pel que fa al nombre de conreus utilitzats amb l'objectiu de millorar les

estimacions, el nombre de classes de conreus emprats a l'enfocament normatiu ha d'ésser, per força, molt més reduït tant perquè és un contingut que ve explícitament recollit a la normativa del Pla hidrològic com per la pròpia dinàmica de l'agricultura, en la qual és habitual la pràctica de les rotacions i els canvis de conreu dintre de la mateixa parcel·la.

És per això que en aquest apartat s'avaluarà els resultats produïts per la metodologia proposada en vista a agrupar conreus que, amb característiques semblants, presenten necessitats hídriques de regadius semblants, partint de la base que els grups de conreu obtinguts cal que siguin uniformes a totes les unitats de demanda de la Demarcació però que els valors que s'hi assignen puguin presentar variacions. Aquests grups de conreus amb dotacions semblants seran anomenats, a partir d'ara, grups dotacionals.

El vigent Pla hidrològic prescriu al document normatiu, com s'ha esmentat a anteriorment, vint-i-cinc grups dotacionals, grups que procedeixen de la Instrucció de planificació hidrològica amb la diferència que el grup del raïm ha estat dividit en dues classes en funció del destí de la producció: consum en fresc o taula i vinificació i que s'ha inclòs dos grups residuals per a la resta de conreus llenyosos i herbacis.

Deixant de banda els grups dels conreus forestals i els hortícoles protegits per als quals la metodologia desenvolupada no ofereix cap proposta –cometari extensible també als bolets, s'observa que els grups considerats actualment procedents d'un estudi d'àmbit general no s'adapten suficientment bé als conreus existents actualment a la Demarcació. Tant és així que es mantenen tres grups que inclouen cultius que si bé pogueren tindre en el passat una certa implantació, el 2015 no es van conrear: el cotó, el tabac i la remolatxa sucrera. D'igual forma es mantenen dintre del mateix grup conreus amb necessitats hídriques de reg completament diferents: baste indicar com a exemple el grup dels conreus farratgers, on s'inclou conreus farratgers de primavera amb una dotació mitjana a la Demarcació lleugerament superior a 100 mm juntament amb l'alfals o les praderies polifilètiques, amb necessitats hídriques de reg superiors als 500 mm. Aquesta manca d'adaptació dels grups dotacionals normatius a la realitat agrícola de la Demarcació podria provocar desajustos tant a l'alça com a la baixa a l'hora de fer servir les dotacions normatives en les tasques en què són necessàries.

4.3.2. Metodologia seguida

Com s'ha indicat anteriorment en aquesta memòria, les necessitats hídriques de reg d'un conreu depenen, fonamentalment, de les característiques climàtiques del lloc –a través de l'evapotranspiració de referència, del tipus de conreu –que es tenen en compte amb els coeficients de conreu– i de la quantitat i de la distribució de la precipitació.

Atès que els grups dotacionals han d'ésser uniformes per a totes les unitats de demanda i que la variabilitat climàtica s'inclourà posteriorment en l'assignació del valor concret de la dotació a cada grup, els tres factors anteriors es poden transformar, a grans trets, en els següents:

- Durada del cicle de conreu: un conreu consumirà una major quantitat de recursos hídrics com més llarg siga el procés de desenvolupament. Així un conreu llenyós de fulla perenne tindrà unes majors necessitats hídriques que no un conreu hortícola de cicle ràpid que només és conreat durant un mes.
- Cobertura: aquest paràmetre, que agrupa factors com el tipus de conreu i el marc de plantació, pot ser avaluat indirectament mitjançant el coeficient de conreu. Així un cultiu amb un coeficient de conreu major tindrà unes necessitats hídriques de conreu majors i, consegüentment, unes necessitats hídriques de reg superiors a un altre conreu amb uns coeficients de conreu menors.
- Època de conreu: les necessitats hídriques de reg d'un conreu que es desenvolupa en hivern seran inferiors a les d'un altre que es desenvolupa en estiu, pel fet que és en aquesta estació quan es registra la major evapotranspiració i les menors precipitacions.

Seguint els criteris anteriors i amb l'objectiu de facilitar-ne l'agrupament, s'ha emprat els coeficients de conreu mensuals per assignar a cada conreu unes característiques de durada del cicle, cobertura i època de conreu. Cal indicar ara que per a realitzar la classificació de la durada del cicle i de l'època de conreu només s'ha considerat aquells coeficients de conreu majors que 0,1 amb la finalitat de reduir la variabilitat de resultats. A partir dels valors anteriors dels cereals per a gra s'ha ajustat els valors de les durades del cicle curt i mitjà –de forma que correspongués als cereals per a gra d'hivern un cicle de conreu curt i als de primavera un cicle de conreu mitjà– i la cobertura –on s'ha fixat

el llindar per què tots dos conreus s'inclogueren en la categoria de gran cobertura. Pel que fa a la cobertura menuda, s'ha observat els valors de conreus llenyosos amb menors necessitats hídriques –fruiters de fruita seca, vinya i olivera principalment, de forma que a aquests conreus se'ls assignés una cobertura menuda. La resta de llindars han estat obtinguts per analogia.

En primer terme, i respecte a la durada del cicle, s'ha classificat en conreus de cicle curt, cicle mitjà, cicle llarg o any complet si el nombre de mesos en què el coeficient de conreu és igual o superior a 0,1 és, respectivament, igual o inferior a tres, entre quatre i sis, entre set i nou i major o igual que deu. En segon lloc, i pel que fa a la cobertura, s'ha considerat que un conreu té una cobertura gran si el màxim coeficient de conreu és major o igual que 0,95, cobertura mitjana si és inferior a 0,95 i major que 0,6 i menuda si és inferior a 0,6. Finalment s'ha caracteritzat l'època de conreu identificant la o les estacions en què el conreu presenta necessitats hídriques; així es considera que un conreu es desenvolupa en una estació si el coeficient de conreu és major o igual que 0,1 en al menys dos dels tres mesos de cadascuna de les estacions. Aquest procediment permet trobar-se amb conreus que només ocupen una estació –primavera, estiu, tardor o hivern, que n'ocupen dues –primavera-estiu, estiu-tardor, tardor-hivern i, rarament, hivern-primavera– i així successivament fins arribar a l'any complet. Les diferents estacions considerades en aquest treball, a la vista de l'evolució dels valors de l'evapotranspiració de referència, han estat les estacions meteorològiques en què es considera hivern els mesos de desembre a febrer, primavera de març a maig, estiu de juny a agost i tardor de setembre fins a novembre. Addicionalment també s'ha calculat la suma de tots els valors del coeficient de conreu a l'any hidrològic ja que és un indicador de les necessitats hídriques del conreu.

A causa de les diferents pràctiques culturals amb què es conrea cadascun dels conreus, no ha estat possible obtenir una sola terna de valors de classificació, raó per la qual ha estat necessari considerar totes les situacions possibles.

Atès que la classificació en grups dotacionals ha d'ésser necessàriament única per a totes les unitats de demanda de la Demarcació, s'ha treballat amb les necessitats hídriques de reg mitjanes de la Demarcació al període 1980/18, tal i com han estat definides anteriorment. Les zones agrícoles de regadiu considerades corresponen a la cobertura de detall de les unitats de demanda agrícola definides en els treballs de planificació del

cicle 2022-2027. Essent aquest paràmetre de càlcul fixe i havent-se introduït a la metodologia les característiques culturals i de cobertura a través de les comarques agràries, es pot obtenir el pes de cada comarca als resultats mitjans de la Demarcació sense més que interseccionar la cobertura de detall de les unitats de demanda amb la de les comarques considerades. El resultat es mostra a la Taula 16 en què s'observa, per una banda, la gran distribució dels resultats, amb un pes mitjà de cada comarca que a penes supera el 2% i, per una altra, que la introducció de la cobertura de la zona regable redueix molt el pes de les comarques de capçalera ja que es tracta, en general, de zones d'orografia abrupta on només es practica l'agricultura de regadiu a les riberes dels rius. Només les comarques Centre, la Plana, el Camp de Llíria i la Ribera del Xúquer – comarques grans on es desenvolupa una destacable activitat agrícola de regadiu– tenen un pes superior al 5% mentre que la comarca perifèrica de La Alcarria no contribueix al resultat mitjà de la Demarcació.

Comarca agrària		Pes	Comarca agrària		Pes
0201	la Manxa	3,94%	1606	Manxa Baixa	0,57%
0202	Manxuela	2,45%	1607	Manxa Alta	0,40%
0203	Serra l'Alcaraz	0,63%	3001	Nord-est	0,05%
0204	Centre	14,35%	4309	el Baix Ebre	1,02%
0205	Almansa	1,50%	4322	el Montsià	0,01%
0207	Hellín	0,23%	4401	Conca del Jiloca	0,01%
0301	el Vinalopó	4,96%	4402	Serrania de Montalbán	0,18%
0302	la Muntanya	0,33%	4404	Serrania d'Albarrasí	2,46%
0303	el Marquesat	1,98%	4405	Foia de Terol	0,56%
0304	Central	1,82%	4406	el Maestrat	0,16%
0305	Meridional	2,17%	4601	el Racó d'Ademús	1,34%
1201	l'Alt Maestrat	0,03%	4602	l'Alt Túria	5,55%
1202	el Baix Maestrat	0,92%	4603	el Camp de Llíria	4,20%
1203	les Valls centrals	0,52%	4604	Requena-Utiel	4,04%
1204	el Penyalosa	0,44%	4605	la Foia de Bunyol	3,05%
1205	el Litoral nord	3,47%	4606	Sagunt	4,77%
1206	la Plana	7,50%	4607	l'Horta de València	9,97%
1207	el Palància	1,69%	4608	la Ribera del Xúquer	2,85%
1601	La Alcarria	0,00%	4609	Gandia	0,46%
1602	Serrania Alta	0,15%	4610	la Vall d'Aiora	1,06%
1603	Serrania Mitjana	0,54%	4611	Énguera i la Canal	2,50%
1604	Serrania Baixa	0,80%	4612	la Costera de Xàtiva	1,71%
1605	Manxuela	2,65%	4613	la Vall d'Albaida	0,57%

Taula 16. Comarca agrària i pes de cadascuna en la dotació mitjana de la Demarcació

Vist que el conjunt de valors durada del cicle-cobertura-època de conreu es presenten per comarca agrària i els pesos anteriors també, és possible quantificar el pes agregat

de cada conjunt de valors respecte el total. D'aquesta forma es simplifica notablement l'anàlisi en negligir aquells conjunts de valors poc representatius.

Juntament amb els valors de la dotació mitjana de la Demarcació al període d'anàlisi, s'inclourà també la dada de la superfície regada a 2015. Açò permetrà valorar l'oportunitat o no de considerar separatament conreus en funció de la implantació al territori, tenint en compte que el nombre de grups de conreu proposats no deuria ser significativament diferent als que hi ha ara: 25.

En darrer terme cal esmentar que l'anàlisi es realitzarà en funció dels grups de conreu seguits a l'*Anuario de estadística* (MAPA, 1980-2020). Aquesta agrupació de conreus, en la qual s'ha tingut més en compte el destí de la producció que la filiació vegetal, és usada comunament en la bibliografia agronòmica a l'hora de descriure les característiques dels conreus i serà, per tant, una referència primària a l'hora d'agrupar els diferents conreus en grups de dotació. Seguidament, per tant, s'analitzaran les necessitats hídriques de reg obtingudes i es proposarà diferents grups de dotacionals a partir de les característiques dels conreus i de les dotacions produïdes per la metodologia.

4.3.3. Propostes de grups dotacionals

Seguint la metodologia explicada al subapartat anterior, s'ha analitzat categoria rere categoria les diferents possibilitats de conformar grups de conreus amb dotacions semblants, anàlisi que amb l'objectiu d'alleugerir aquest document, ha estat inclòs a l'annex 6 d'aquesta memòria de forma que només s'ha mantingut el resum dels resultats i les principals conclusions.

En concret s'ha realitzat a la major part dels casos dues propostes alternatives: una proposta 1, on s'ha tingut en compte, com a criteri principal, el valor de la dotació mitjana a la Demarcació i una proposta 2, on també s'ha considerat la superfície regada a l'any de referència, cosa que ha permès reordenar els diferents grups dotacionals de la proposta 1. Les taules següents mostren ambdues propostes, amb la dotació mitjana ponderada de cada grup i la superfície regada que, el 2015, ocuparen els conreus que en formen part.

En aquesta primera taula s'observa que a la proposta 1 es consideren 29 grups dotacionals amb necessitats hídriques de reg que van des dels 95,9 mm de l'olivera fins als 780,4 mm de l'arròs i amb superfícies des de 0 ha als grups dels conreus industrials

d'estiu i primavera-estiu amb grans necessitats hídriques i dels vivers fins a les 143 598 ha regades dels cítrics.

Aquesta proposta de grups dotacionals té com a principal avantatge la destacable homogeneïtat a l'hora de distribuir els conreus a dintre de les classes. Així s'observa que, en general, la diferència entre les diferents dotacions mitjanes dels grups definits a cada categoria és de l'ordre de 150-200 mm llevat de casos particulars com l'arròs i les classes definides als conreus hortícoles on s'ha adoptat una distribució més espessa en integrar un major nombre de conreus. En canvi s'incrementa el nombre de grups respecte els 25 fixats actualment a la normativa del Pla hidrològic i es manté grups dotacionals amb superfícies testimonials o nul·les.

Grup dotacional		Dotació mitjana (mm)	Superfície regada 2015 (ha)
GD111	Blat, ordi i resta de cereals d'hivern	138,7	46 713
GD112	Arròs	780,4	15 005
GD113	Dacsa i resta de cereals de primavera	368,6	12 125
GD121	Lleguminoses per a gra de primavera	177,1	5 819
GD122	Lleguminoses per a gra d'estiu	324,9	851
GD131	Creïlla i resta de tubercles per a consum humà	417,9	2 916
GD132	Xufa	645,7	491
GD141	Cascall, colza i resta de conreus industrials de primavera	150,8	5 135
GD142	Gira-sol i resta de conreus industrials d'estiu i primavera-estiu amb necessitats hídriques moderades	334,9	3 141
GD143	Conreus industrials d'estiu i primavera-estiu amb grans necessitats hídriques	400-450	0
GD144	Conreus industrials de cicle llarg o temporada completa	705,4	101
GD151	Conreus farratgers de primavera	144,4	1 432
GD152	Conreus farratgers d'estiu i primavera-estiu	367,7	1 042
GD153	Conreus farratgers de cicle llarg	567,7	7 425
GD161	Hortalisses de tardor i d'hivern o de cicle curt	166,9	6 531
GD162	Hortalisses de primavera	249,8	4 401
GD163	Hortalisses de mitjan estació de cobertura mitjana	346,7	10 557
GD164	Hortalisses de mitjan estació de cobertura gran	453,0	8 542
GD170	Flors i plantes ornamentals	483,4	1 367
GD210	Cítrics	365,2	143 598
GD221	Magraner i fruiters de fruita carnosa no cítrica de dotació menuda	248,7	2 843
GD222	Fruiters de fruita carnosa no cítrica de dotació mitjana	428,3	27 779
GD223	Kiwi i fruiters de fruita carnosa no cítrica de dotació gran	617,9	552
GD230	Fruiters de fruita seca	178,3	16 506
GD240	Vinya	225,7	38 395
GD250	Olivera	95,9	13 760
GD261	Resta de conreus llenyosos amb dotació menuda o mitjana	113,9	265

Proposta metodològica per a estimar les necessitats hídriques de reg en la planificació hidrològica: aplicació a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.

Grup dotacional		Dotació mitjana (mm)	Superfície regada 2015 (ha)
GD261	Resta de conreus llenyosos amb dotació gran	420,1	27
GD270	Vivers	440,8	0

Taula 17. Proposta 1 de grups dotacionals a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer

La proposta 2, que es resumeix a la taula que acompanya aquest paràgraf, corregeix els dos aspectes negatius esmentats anteriorment en reduir el nombre de grups a 20 i en haver limitat el nombre de grups amb superfícies testimonials només a 2, grups que conformen, per si mateix, dues categories de conreus. Per contra, aquesta aproximació tan sintètica als grups dotacionals limita la diversitat i la representativitat en reunir dintre del mateix grup dotacional conreus amb necessitats hídriques de reg dissemblants, cosa que pot condicionar la representativitat d'alguns grups.

Grup dotacional		Dotació mitjana (mm)	Superfície regada 2015 (ha)
GD111	Blat, ordi i resta de cereals d'hivern	138,7	12 125
GD112	Arròs	780,4	46 713
GD113	Dacsa i resta de cereals de primavera	368,6	15 005
GD120	Lleguminoses per a gra	196,5	6 670
GD130	Tubercles per a consum humà	450,8	3 407
GD141	Cascall, colza i resta de conreus industrials de primavera	150,8	5 135
GD142	Gira-sol i resta de conreus industrials d'estiu i primavera-estiu	346,4	3 242
GD151	Conreus farratgers de cicle curt i mitjà	230,0	2 474
GD152	Conreus farratgers de cicle llarg	567,7	7 245
GD161	Resta d'hortalisses	178,2	8 020
GD162	Hortalisses de mitjan estació	376,6	22 012
GD170	Flors i plantes ornamentals	483,4	1 367
GD210	Cítrics	365,2	143 598
GD220	Fruiters de fruita carnosa no cítrica de dotació menuda	248,7	2 843
GD222	Fruiters de fruita carnosa no cítrica de dotació mitjana	432,0	28 331
GD230	Fruiters de fruita seca	178,3	16 506
GD240	Vinya	225,7	38 395
GD250	Olivera	95,9	13 760
GD260	Resta de conreus llenyosos	142,3	292
GD270	Vivers	440,8	0

Taula 18. Proposta 2 de grups dotacionals a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer

És per això que es planteja una proposta intermèdia entre les dues anteriors –proposta 3– amb l'objectiu de mantenir la major representativitat possible i un nombre raonable de grups amb una destacable superfície regada. En aquesta proposta 3 es conserva, com

a la proposta 2, grups dotacionals únics per a tots els conreus inclosos a les categories de les lleguminoses per a gra i els tubercles per a consum humà i dos grups per als fruiters de fruita carnosa no cítrica –separadament els grups resultants presentaven superfícies regades excessivament menudes, inferiors a 1 000 ha– però es mantenen els 4 grups dotacionals de la proposta 1 per als conreus hortícoles, ja que és una categoria de conreus molt variada i amb una destacable superfície regada a la Demarcació.

La principal novetat en aquesta proposta 3 ha estat considerar conjuntament les categories dels conreus industrials i els conreus farratgers, categories de natura heterogènia que inclouen conreus herbacis de filiacions diverses. Açò permet, respecte a la proposta 2, una distribució més homogènia dels grups pel que fa a les dotacions mitjanes en mantenir 3 grups dotacionals: conreus de primavera amb conreus amb una dotació d'uns 150 mm, conreus d'estiu i primavera-estiu o de mitjan estació amb una dotació mitjana de l'ordre de 350 mm i conreus de cicle llarg o any complet amb dotacions superiors als 550 mm. Respecte a la proposta 1 se suprimeixen grups dotacionals amb superfícies regades testimonials o nul·les. A més, s'ha suprimit també el grup dotacional específic dels vivers i s'ha unit aquest conreu a les flors i les plantes ornamentals, grup amb característiques semblants en allò referent a les tècniques productives i en les necessitats hídriques de reg.

Aquesta proposta, que es presenta a la Taula 19 juntament amb la superfície regada el 2015 i la dotació mitjana, inclou finalment 20 grups dotacionals, amb una dotació mínima de 95,9 mm del grup de l'olivera i una màxima de 780,4 mm de l'arròs i una superfície mínima de 292 ha que correspon a la resta de conreus llenyosos i una màxima de 143 598 ha dels cítrics.

Grup dotacional proposat		Dotació mitjana (mm)	Superfície regada 2015 (ha)
GD111	Blat, ordi i resta de cereals d'hivern	138,7	46 713
GD112	Arròs	780,4	15 005
GD113	Dacsa i resta de cereals de primavera	368,6	12 125
GD120	Lleguminoses per a gra	196,5	6 670
GD130	Tubercles per a consum humà	450,8	3 407
GD141	Conreus industrials i farratgers de primavera	149,4	6.568
GD142	Conreus industrials i farratgers d'estiu i de primavera-estiu	338,1	4.183
GD143	Conreus industrials i farratgers de cicle llarg o temporada completa	569,6	7.346
GD161	Hortalisses de tardor i d'hivern o de cicle curt	166,9	6 531

Proposta metodològica per a estimar les necessitats hídriques de reg en la planificació hidrològica: aplicació a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.

Grup dotacional proposat		Dotació mitjana (mm)	Superfície regada 2015 (ha)
GD162	Hortalisses de primavera	249,8	4 401
GD163	Hortalisses de mitjan estació de cobertura mitjana	346,7	10 557
GD164	Hortalisses de mitjan estació de cobertura gran	453,0	8 542
GD170	Flors, plantes ornamentals i vivers	483,4	1 367
GD210	Cítrics	365,2	143 598
GD220	Fruiters de fruita carnosa no cítrica de dotació menuda	248,7	2 843
GD222	Fruiters de fruita carnosa no cítrica de dotació mitjana	432,0	28 331
GD230	Fruiters de fruita seca	178,3	16 506
GD240	Vinya	225,7	38 395
GD250	Olivera	95,9	13 760
GD260	Resta de conreus llenyosos	142,3	292

Taula 19. Proposta 3 de grups dotacionals a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer

A La taula següent mostra, per concloure, quins conreus s'inclou a cada grup dotacional.

Grup dotacional proposat		Conreu	
GD111	Blat, ordi i resta de cereals d'hivern	CCU11101	Blat
		CCU11102	Ordi
		CCU11103	Civada
		CCU11104	Sègol
		CCU11105	Espelta petita i tritcale
		CCU11106	Barreges de cereals d'hivern
		CCU11301	Resta de cereals
GD112	Arròs	CCU11201	Arròs
GD113	Dacsa i resta de cereals de primavera	CCU11202	Dacsa
		CCU11203	Canyota
		CCU11204	Mill i mill perlat
		CCU11205	Escaiola
GD120	Lleguminoses per a gra	CCU12001	Fesol sec
		CCU12002	Fava seca
		CCU12003	Llentilla
		CCU12004	Cigró
		CCU12005	Pésol sec
		CCU12006	Veça
		CCU12007	Erb
		CCU12008	Tramús
		CCU12009	Guixera
		CCU12010	Resta de lleguminoses per a gra
GD130	Tubercles per a consum humà	CCU13001	Creïlla extraprimerenca
		CCU13002	Creïlla primerenca
		CCU13003	Creïlla de mitjana estació
		CCU13004	Creïlla tardana
		CCU13005	Moniato i batata
		CCU13006	Xufa
GD141	Conreus industrials i farratgers de primavera	CCU14304	Colza
		CCU14402	Safrà
		CCU14505	Cascall i resta de conreus industrials
		CCU15101	Cereals d'hivern per a farratge
		CCU15104	Raigràs italià

Grup dotacional proposat		Conreu	
		CCU15105	Resta de gramínies farratgeres
GD142	Conreus industrials i farratgers d'estiu i de primavera-estiu	CCU14102	Remolatxa sucrera
		CCU14202	Lli tèxtil
		CCU14301	Gira-sol
		CCU14302	Soia
		CCU14303	Lli oleaginós
		CCU14305	Cacau
		CCU14306	Càrtam
		CCU14401	Pimentó per a pebre roig
		CCU14403	Menta
		CCU14404	Anís, comí, regalíssia i resta de condiments
		CCU14501	Tabac (sec no fermentat)
		CCU14502	Llúpol
		CCU15102	Dacsa farratgera
		CCU15103	Canyota farratgera
		CCU15202	Veça per a farratge
		CCU15203	Trèvol
		CCU15206	Faves, pésols i resta de lleguminoses per a farratge
		CCU15401	Nap farratger
		CCU15402	Remolatxa farratgera
		CCU15403	Safanòria farratgera
		CCU15404	Pataca, xirivia i resta d'arrels i tubercles farratgers
		CCU15502	Carabassa farratgera
CCU15503	Card i resta de farratges		
GD143	Conreus industrials i farratgers de cycle llarg o temporada completa	CCU14101	Canya de sucre
		CCU14201	Cotó
		CCU14203	Cànem tèxtil
		CCU14307	Cànem per a llavor
		CCU14503	Xicoira verda, endívia i borrajia
		CCU14504	Espígol
		CCU15201	Alfals
		CCU15204	Esparcet
		CCU15205	Enclova
		CCU15301	Praderies polifilètiques
CCU15501	Col farratgera		
GD161	Hortalisses de tardor i d'hivern o de cycle curt	CCU16102	Espàrrec
		CCU16103	Enciam
		CCU16105	Espinac
		CCU16106	Bleda
		CCU16301	Carxofa
		CCU16407	Rave
		CCU16501	Bajoqueta
		CCU16503	Fava tendra
GD162	Hortalisses de primavera	CCU16201	Meló d'Alger
		CCU16210	Fraula i fraga
		CCU16408	Nap
		CCU16502	Pésol tendre
		CCU16601	Resta d'hortalisses
GD163	Hortalisses de mitjan estació de cobertura mitjana	CCU16101	Col
		CCU16104	Escarola
		CCU16107	Card
		CCU16108	Col geganta
		CCU16110	Resta d'hortalisses de fulla o tija
		CCU16202	Meló de tot l'any

Proposta metodològica per a estimar les necessitats hídriques de reg en la planificació hidrològica: aplicació a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.

Grup dotacional proposat		Conreu	
		CCU16203	Carabassa i carabasseta
		CCU16204	Cogombre
		CCU16205	Cogombret
		CCU16209	Vitet
		CCU16302	Coliflor i bròcoli
		CCU16401	All
		CCU16403	Cebollí gal·lès
		CCU16404	All porro
GD164	Hortalisses de mitjan estació de cobertura gran	CCU16109	Api
		CCU16206	Albergínia
		CCU16207	Tomaca
		CCU16208	Pimentó
		CCU16402	Ceba
		CCU16405	Remolatxa de taula
		CCU16406	Carlota
GD170	Flors, plantes ornamentals i vivers	CCU17101	Clavells
		CCU17102	Roses
		CCU17103	Resta de flors
		CCU17104	Plantes ornamentals i esqueixos
		CCU27000	Vivers
GD210	Cítrics	CCU21001	Taronger dolç
		CCU21002	Taronger amarg
		CCU21003	Mandariner
		CCU21004	Llimera
		CCU21005	Aranger gros
		CCU21006	Llimera dolça i resta de cítrics
GD221	Fruiters de fruita carnosa no cítrica de dotació menuda	CCU22303	Magraner
		CCU22308	Figuera de pala
GD222	Fruiters de fruita carnosa no cítrica de dotació mitjana	CCU22101	Pomera
		CCU22102	Perera
		CCU22103	Nesprer del Japó
		CCU22104	Codonyer
		CCU22105	Resta de fruiters de llavor
		CCU22201	Albercoquer
		CCU22202	Cirerer i guinder
		CCU22203	Bresquiller i nectariner
		CCU22204	Prunera
		CCU22301	Figuera
		CCU22302	Xirimoia
		CCU22304	Alvocat
		CCU22305	Platanera
		CCU22306	Kiwi
CCU22307	Palmera datilera		
CCU22309	Ginjoler, caqui i resta de fruiters de fruita carnosa no cítrica		
GD230	Fruiters de fruita seca	CCU23001	Ametller
		CCU23002	Avellaner
		CCU23003	Noguera
		CCU23004	Castanyer
		CCU23005	Festuc
GD240	Vinya	CCU24001	Raïm de taula
		CCU24002	Raïm de vinificació
		CCU24003	Raïm de pansificació

Grup dotacional proposat		Conreu	
GD250	Olivera	CCU25001	Oliva de taula
		CCU25002	Oliva d'almàssera
GD260	Resta de conreus llenyosos	CCU26001	Garrofera
		CCU26002	Taperera
		CCU26003	Canya vulgar
		CCU26004	Vimetera
		CCU26005	Morera i altres
		CCU26006	Agave, atzavara i ràfia
		CCU26007	Sumac
		CCU26008	Resta de conreus llenyosos

Taula 20. Assignació dels conreus als grups dotacionals proposats

4.3.4. Proposta de dotacions

El següent punt a considerar, una vegada fixada la relació de conreus en cada grup dotacional, és establir el valor final de la dotació normativa a cadascun dels grups definits tenint en compte que aquesta assignació ha de ser consistent, harmònica i representativa. Consistent perquè ha d'estar fonamentada en les dades i no ha de crear ni valors estranys ni no naturals; harmònica perquè a un grup dotacional ha de correspondre, aproximadament, valors semblants arreu de la Demarcació i representativa perquè ha d'adaptar-se al territori, de forma que respecte les peculiaritats de cada unitat de demanda.

Cal tenir present que malgrat que les necessitats hídriques de reg dels conreus inclosos en un grup són semblants, el fet d'adoptar un valor o un altre condicionarà el seu adequat desenvolupament ja que assignar valors baixos a la dotació d'un grup pot causar infradotacions en conreus que, dintre del mateix grup, tenen necessitats que se situen en la part alta del rang definit.

Es planteja analitzar les següents 5 propostes:

- Mitjana ponderada amb pesos fixes: la dotació d'un grup dotacional s'obté com la mitjana ponderada de les necessitats hídriques de reg dels conreus que en formen part. En aquesta proposta s'empra com a pesos la superfície regada de cada conreu respecte el total del grup calculats a tota la Demarcació. Els pesos, per tant, són els mateixos per a totes les unitats de demanda.
- Mitjana ponderada amb pesos variables: igual que a la proposta anterior però en aquesta proposta s'empra com a pesos la superfície regada de cada conreu respecte el total del grup calculats exclusivament a la unitat de demanda; els pesos resulten variables entre les diferents unitats. Com no a totes les unitats de

demanda es conreen cultius de tots els grups cal emprar en aquesta proposta, de forma subsidiària, els pesos calculats a la Demarcació.

- Percentatge fix: la dotació d'un grup dotacional s'obté sumant a la dotació mínima dels conreus del grup un percentatge fix del rang definit per la dotació màxima i la dotació mínima. En concret, es planteja en aquest treball adoptar el 80% del rang de dotacions.
- Percentil fix: aquesta proposta és semblant a l'anterior però s'adopta el percentil 80% dels valors de les dotacions dels conreus del grup.
- Dotació màxima dels conreus representatius: aquest mètode assigna al grup la dotació màxima d'aquells conreus d'un grup que, dintre d'una unitat de demanda, es consideraren representatius. És a dir, per cada grup i unitat de demanda se selecciona aquells conreus que es consideraren representatius i dintre d'aquest subgrup s'elegeix la dotació major. Aquest mètode en ser discret i dependre dels valors de la superfície regada en una unitat de demanda, necessita emprar els valors de la Demarcació de forma subsidiària, de forma que cal identificar els conreus representatius a cada grup dotacional tenint en compte el total de la superfície regada a la Demarcació. En aquest treball s'ha considerat que un conreu és representatiu d'un grup dotacional si ocupa més del 20% o 1 000 ha de la superfície total del grup a la unitat de demanda. Si a una unitat de demanda la superfície regada de tots els conreus inclosos en un grup dotacional és inferior al 10% de la superfície regada total de la unitat de demanda i inferior a 100 ha, es pren la dotació del conreu representatiu del grup dotacional de la Demarcació.

Es mostra seguidament un exemple dels 5 mètodes proposats d'un grup dotacional genèric format per 5 conreus:

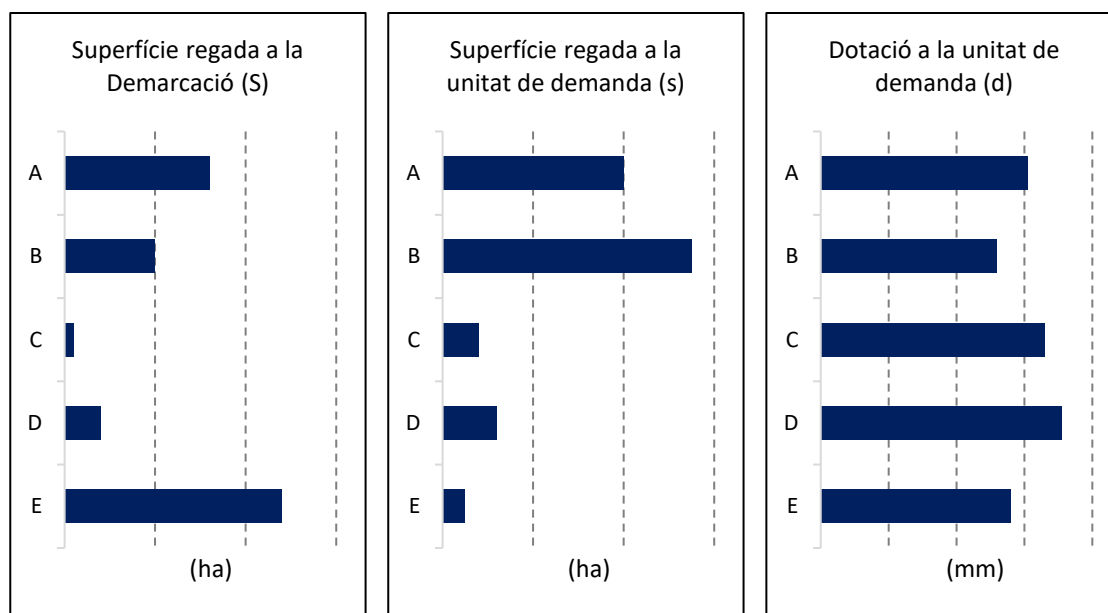


Figura 58. Gràfics de l'exemple d'aplicació de les diferents metodologies s'assignació de la dotació a un grup dotacional

El següent d'equacions següents presenta com s'aplicarien els diferents mètodes per a l'assignació de la dotació a un grup dotacional. En primer lloc la mitjana ponderada amb coeficients fixos, on s'observa que els pesos emprats corresponen a la superfície regada de cada conreu al conjunt de la Demarcació:

$$d^{UD} = \frac{S_A \cdot d_A^{UD} + S_B \cdot d_B^{UD} + S_C \cdot d_C^{UD} + S_D \cdot d_D^{UD} + S_E \cdot d_E^{UD}}{S_A + S_B + S_C + S_D + S_E} \quad (41)$$

amb: d^{UD} dotació assignada al grup a la unitat de demanda UD [mm]
 S_i superfície regada del conreu i a la Demarcació [ha]
 d_i^{UD} dotació del conreu i a la unitat de demanda UD [mm]

En segon lloc el mètode de la mitjana ponderada amb coeficients variables, on s'usa com a pesos la superfície regada de cada conreu a la unitat de demanda on es calcula la dotació:

$$d^{UD} = \frac{s_A^{UD} \cdot d_A^{UD} + s_B^{UD} \cdot d_B^{UD} + s_C^{UD} \cdot d_C^{UD} + s_D^{UD} \cdot d_D^{UD} + s_E^{UD} \cdot d_E^{UD}}{s_A^{UD} + s_B^{UD} + s_C^{UD} + s_D^{UD} + s_E^{UD}} \quad (42)$$

amb: d^{UD} dotació assignada al grup a la unitat de demanda UD [mm]
 s_i^{UD} superfície regada del conreu i a la unitat de demanda UD [ha]
 d_i^{UD} dotació del conreu i a la unitat de demanda UD [mm]

En tercer lloc el mètode del percentatge fixe, on cal identificar els conreus que amb una major i una menor dotació dintre del grup, al cas d'exemple el conreu E i el B respectivament:

$$d^{UD} = d_B^{UD} + 0,8(d_E^{UD} - d_B^{UD}) \quad (43)$$

amb:	d^{UD}	dotació assignada al grup a la unitat de demanda UD [mm]
	d_B^{UD}	dotació del conreu B, mínima dotació dels conreus del grup a la unitat de demanda UD [mm]
	d_E^{UD}	dotació del conreu E, màxima dotació dels conreus del grup a la unitat de demanda UD [mm]

En quart lloc el mètode del percentil fixe, on s'identifica aquell valor que superior al 80% de les dotacions dels conreus del grup:

$$d^{UD} = P_{80}(d_i^{UD}) = d_C^{UD} \quad (44)$$

amb:	d^{UD}	dotació assignada al grup a la unitat de demanda UD [mm]
	d_i^{UD}	dotació del conreu i a la unitat de demanda UD [mm]
	d_C^{UD}	dotació del conreu C, dotació superior al 80% de les a la unitat de demanda UD [mm]

En cinquè i darrer lloc el mètode de la dotació màxima dels conreus representatius, ha estat necessari identificar aquells conreus que representen més d'un 20% de la superfície regada del grup a la unitat de demanda, al cas de l'exemple els conreus A i B:

$$d^{UD} = \max(d_A^{UD}, d_B^{UD}) = d_A^{UD} \quad (45)$$

amb:	d^{UD}	dotació assignada al grup a la unitat de demanda UD [mm]
	d_i^{UD}	dotació del conreu i a la unitat de demanda UD [mm]
	d_A^{UD}	dotació del conreu A a la unitat de demanda UD [mm]
	d_B^{UD}	dotació del conreu B a la unitat de demanda UD [mm]

Amb l'objectiu d'analitzar els resultats que ofereix cadascun dels mètodes proposats, s'ha obtingut els diferents valors en cinc unitats de demanda seleccionades perquè presenten diferències important en quant al mosaic de conreus. Així s'ha triat els Regadius tradicionals del Millars on predomina el conreu del mandariner, els regadius de la CR Real Acequia de Moncada amb un pes important de la xufa i les hortalisses, els Regadius de la Manxa Oriental on es conrea la major part dels cereals per a gra i dels conreus industrials de la Demarcació, els regadius de la CR Acequia Real del Júcar amb una destacable superfície regada de conreus de fruita carnosa no cítrica i els Regadius del Vinalopó Mitjà: extraccions de l'Alt, on es dona la major part del conreu del raïm de taula de la Demarcació. Amb l'objectiu d'alleugerir aquest document, s'analitzarà seguidament els resultats obtinguts per a la unitat de demanda Regadius tradicionals del Millars – Taula 21–. Els resultats per a la resta de unitats de demanda assajades s'inclouen a l'annex 6. La taula presenta, juntament amb la superfície regada per grup dotacional a l'any de referència, el valor de la dotació assignada emprant cadascun dels mètodes proposats a la unitat de demanda Regadius tradicionals del Millars. En general

s'observa que el mètode del percentatge fix tendeix a produir les dotacions majors mentre que pel que fa a les dotacions mínimes es reparteixen aproximadament a parts iguals entre tots els mètodes, sense que pugui concloure's que cap tendeix a assignar les dotacions menors. El major interès que presenta aquesta unitat de demanda és el cas dels cítrics, grup que concentra més del 95% del total de la superfície. Com s'observa amb el mètode de la dotació màxima dels conreus representatius s'obté la dotació major en adoptar les necessitats hídriques de reg del taronger, superiors a les del mandariner malgrat que aquest conreu ocupa unes 6 600 ha en front de les 1 100 ha del segon, fet que es manifesta en el valor ofert pel mètode de la mitjana ponderada amb pesos fixos.

Grup dotacional		S. regada 2015 (ha)	Dotació proposada (mm)				
			MP _{PF}	MP _{PV}	PTF	PLF	DMCR
GD111	Blat, ordi i resta de cereals d'hivern	0	142,6	133,6	155,7	148,6	149,0
GD112	Arròs		776,7	776,7	776,7	776,7	776,7
GD113	Dacsa i resta de cereals de primavera	0	357,1	376,1	354,8	364,7	357,1
GD120	Lleguminoses per a gra		167,0	167,0	284,8	335,4	138,8
GD130	Tubercles per a consum humà	6	482,9	448,8	588,7	471,2	439,8
GD141	Conreus industrials i farratgers de primavera	3	155,9	132,1	234,4	170,0	170,0
GD142	Conreus industrials i farratgers d'estiu i de primavera-estiu	6	347,2	314,3	419,9	416,5	376,2
GD143	Conreus industrials i farratgers de cycle llarg o temporada completa	16	577,1	575,5	671,3	624,4	575,5
GD161	Hortalisses de tardor i d'hivern o de cycle curt	46	151,5	213,0	289,8	220,0	246,0
GD162	Hortalisses de primavera	9	183,8	224,5	253,9	258,9	236,2
GD163	Hortalisses de mitjan estació de cobertura mitjana	22	299,3	302,0	339,1	377,0	313,7
GD164	Hortalisses de mitjan estació de cobertura gran	25	470,5	489,4	490,5	483,8	510,0
GD170	Flors, plantes ornamentals i vivers	10	482,5	482,6	515,5	500,7	482,6
GD210	Cítrics	7 760	377,9	370,6	384,4	366,7	392,8
GD221	Fruiters de fruita carnosa no cítrica de dotació menuda	36	439,9	436,2	576,8	503,9	429,5
GD222	Fruiters de fruita carnosa no cítrica de dotació mitjana	5	247,1	247,2	238,2	238,2	247,2
GD230	Fruiters de fruita seca	2	179,4	179,9	234,1	207,9	179,9
GD240	Vinya		227,8	227,8	229,6	243,1	223,0
GD250	Olivera	9	91,1	91,1	91,1	91,1	91,1
GD260	Resta de conreus llenyosos		137,9	137,9	542,6	481,4	110,3
Total		7 956					
Dotació mitjana			376,7	370,0	385,1	367,0	392,0

MP_{PF}: mitjana ponderada amb pesos fixos. MP_{PV}: mitjana ponderada amb pesos variables. PTF: percentatge fix. PLF: percentil fix. MCR: màxim conreu representatiu.

Taula 21. Superfície regada el 2015 i valors de dotació obtinguts de les diferents metodologies per als diferents grups dotacionals a la unitat de demanda Regadius tradicionals del Millars

Analitzats els resultats, es poden treure les següents conclusions:

- El mètode de la mitjana ponderada amb pesos fixos és un mètode intuïtiu, robust, continu i homogeni a tot el territori, que no introdueix diferències en els valors resultants a les diferents unitats de demanda llevat dels causats per la pròpia variabilitat de les dotacions. No obstant això, la uniformitat del mètode impedeix tractar adequadament els diferents localismes en el mosaic de conreus cosa que produeix en determinats casos siguen assignades dotacions molt inferiors o molt superiors a les necessàries per als conreus específics d'una unitat de demanda. A més, si bé el canvi en el mosaic de conreus és un procés a llarg termini que, generalment, excedeix la durada del cicle hidrològic, cal tenir en compte que la dotació, dintre dels rangs del conreu amb la màxima i la mínima dotació, canviarà amb el temps, canvi que pot ser especialment notable en els conreus hortícoles.
- El mètode de la mitjana ponderada amb pesos variables permet corregir l'efecte uniformador que introdueix el mètode amb pesos fixos ja que en considerar la superfície regada dels conreus a la unitat de demanda és capaç d'ajustar el resultat al mosaic de conreus real. Tanmateix, l'anàlisi realitzada mostra que podria ser necessari estendre l'ús dels pesos obtinguts del mosaic de conreus de la Demarcació no només a aquells grups dotacionals sense superfície regada sinó també a aquells amb superfícies poc representatives. Cal també esmentar que l'ús de la mitjana ponderada pot induir a dotacions insuficients en aquelles categories on coexisteixen dotacions amb diferències significatives per als conreus amb dotacions majors.
- El mètode del percentatge fix té com a principal interès el fet de ser un mètode matemàtic on no intervé com a variable la superfície regada, cosa que allibera els resultats dels efectes dels canvis de mosaic que poden produir variacions destacables en la dotació i que pot ésser particularment significatiu en conreus hortícoles. No obstant això, aquest mètode, en tindre només en compte els valors màxim i el mínim, tendeix a assignar les dotacions majors de tots els mètodes proposats, especialment en aquells grups on s'ha inclòs conreus que, malgrat trobar-se fora de rang, no presentaven superfície regada suficient per poder ésser considerats grups independents.

- El mètode del percentil fix comparteix amb el mètode anterior, en tractar-se novament d'un mètode matemàtic, la continuïtat en els resultats i la independència respecte del paràmetre de la superfície regada, cosa que introdueix un destacable factor d'estabilitat en els valors que produeix. A més, respecte el mètode anterior, s'obtenen valors més centrats ja que els resultats no només depenen del valor màxim i mínim sinó del conjunt de valors del grup.
- El mètode de la dotació màxima dels conreus representatius és un mètode discret ja que no pondera els resultats de les dotacions dels diferents conreus del grup sinó que assigna directament la major dotació d'aquells conreus que compleixen una sèrie d'exigències per ésser considerats representatius del grup, en aquest cas la superfície regada. Presenta l'avantatge, sobre els mètodes matemàtics o el de la mitjana ponderada amb pesos fixes que aconsegueix reproduir la peculiaritat del mosaic en els resultats i, sobre el mètode de la mitjana ponderada amb percentatges variables que, en adoptar la dotació major, no introdueix infradotació als conreus, ja que si es tracta d'un conreu important es tindria en compte en el mètode de càlcul. Amb tot i això necessita recórrer als valors de la Demarcació de forma subsidiària per tractar aquells grups amb poca superfície regada. A més es tracta d'un mètode discret, molt sensible a la variació del mosaic de conreus i que introdueix un nou paràmetre al procés de càlcul en haver d'establir quins conreus són o no són representatius.

Analitzats els avantatges i els inconvenients de cada mètode, es proposa en aquest treball d'adoptar el mètode de la màxima dotació dels conreus representatius ja que és un mètode que permet adaptar el resultat a la realitat dels conreus de cada unitat de demanda assegurant que no es produeix infradotació de conreus. Tanmateix, a causa de la sensibilitat del mètode als canvis al mosaic de conreus, es recomana d'emprar la mitjana d'una sèrie llarga d'anys a l'hora d'obtenir el mosaic, com per exemple els 6 darrers anys, període durant el qual s'estén un cicle de planificació hidrològica o inclús, la totalitat de la sèrie de superfície regada en el període 1980/18. De fet és aquesta la sèrie emprada per als resultats que es presenten a continuació per als grups de conreus dels tubercles per a consum humà i dels cítrics juntament amb els conreus dels quals es pren la dotació màxima. Cal indicar, així mateix, que els resultats es presenten per àmbit

d'influència de les unitats de demanda en ésser aquest el recinte sobre el qual s'estableixen les dotacions normatives al Pla hidrològic.

Al primer conjunt de figures es mostra per al grup dotacional dels tubercles per a consum humà i a les diferents unitats de demanda el conreu del qual es prenen les dotacions així com el valor resultant. Pel que fa al conreu, s'observa que en la majoria de casos s'ha pres la dotació de la creïlla tardana excepte en algunes comarques de Terol i de Castelló on s'ha pres la creïlla de mitjana estació, a les unitats de demanda dels Regadius del canal Xúquer-Túria i la CR Acequia Real del Júcar on el conreu dominant és la creïlla primerenca i a l'entorn de la ciutat de València on pren el lloc la xufa. A la figura de la dreta es presenta els valors finals de dotació considerats, on es comprova que les dotacions menors es presenten a les capçaleres dels rius de la Sénia, Millars, Túria i Xúquer amb valors inferiors a 400 mm; a la zona costanera de la Demarcació les dotacions prenen valors entre 400 i 500 mm mentre que a l'àrea de la Manxa Oriental i al sud de la Demarcació les dotacions se situen entre els 500 i els 600 mm. En aquestos casos el conreu representatiu no sembla que tinga incidència en la dotació resultant ja que el canvi en els valors respon a variacions que són consistents amb la climatologia. Per contra les dotacions resultats a les unitats de demanda de l'entorn de la ciutat de València són molt superiors a les de la resta de la Demarcació, cosa que és conseqüència que la xufa siga conreu representatiu en aquestes unitats de demanda. Així s'observa que, en general, les dotacions prenen valors entre els 600 i els 700 mm i, fins i tot, la unitat de demanda CR Canal del Río Turia adopta una dotació superior als 700 mm.

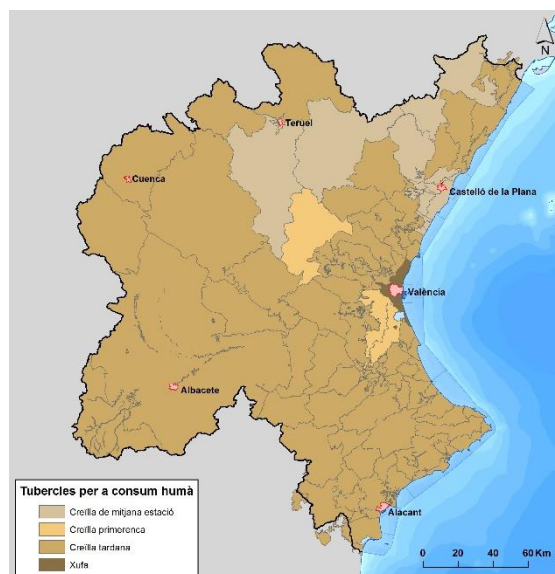


Figura 59. Conreu representatiu per unitat de demanda al grup dotacional dels tubercles per a consum humà

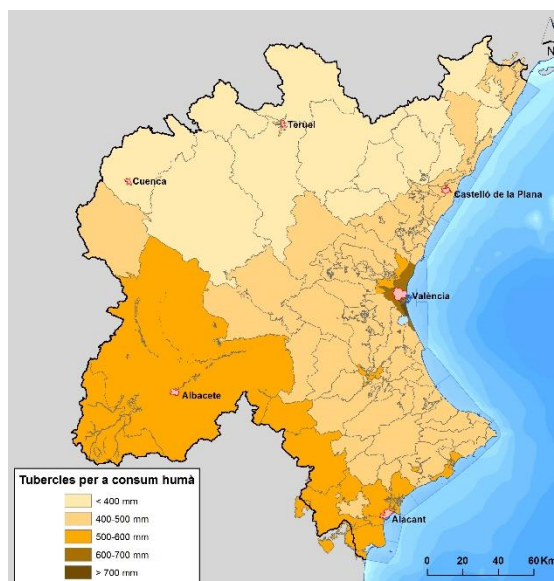


Figura 60. Dotació per unitat de demanda adoptada per al grup dotacional dels tubercles per a consum humà

Pel que fa als cítrics, s'observa a la Figura 61 que excepte a les unitats de demanda del centre de la Demarcació en què el conreu dominant és el mandariner i a la unitat de demanda dels Regadius del Pinós, Albaterra i Crevillent on és la llimera, la dotació adoptada en aquest grup dotacional prové del taronger dolç. Tanmateix s'observa a la Figura 62 mostra que a les dotacions adoptades l'efecte del diferent conreu representatiu té una importància menor que al cas mostrat anteriorment ja que la distribució de les diferents dotacions al territori respon al canvis esperats atenent a les característiques climatològiques de cada territori, amb valors menors a les zones situades a major cota i en contrades més septentrionals –amb valors inferiors a 300 mm– i dotacions majors a les unitats de demanda més meridionals, on s'obtenen dotacions superiors als 450 mm. Les unitats de demanda amb dotacions entre 300 i 350 mm es troben als contraforts de les serralades ibèriques i bètiques; les que presenten dotacions entre 350 i 400 mm a la zona costanera al sud de València i limítrofes amb les unitats de demanda amb dotacions compreses entre els 400 i els 450 mm, unitats que es troben a la zona costanera al nord de la ciutat de València i a l'interior sud del territori.



Figura 61. Conreu representatiu per unitat de demanda al grup dotacional dels cítrics

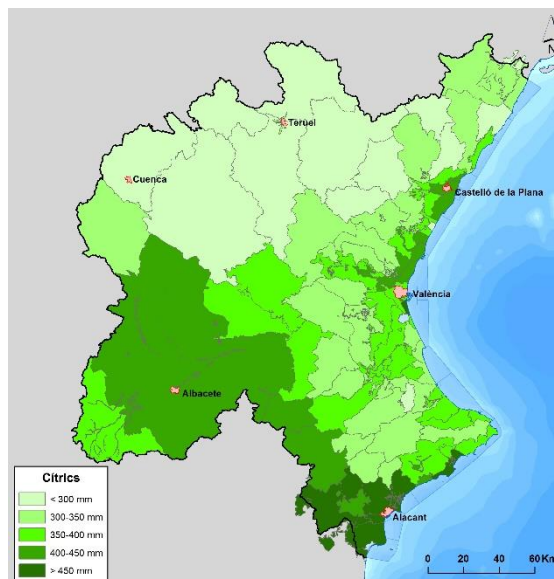


Figura 62. Dotació per unitat de demanda adoptada per al grup dotacional dels cítrics

A l'annex 6 d'aquest treball es pot consultar les dotacions proposades per a cada unitat de demanda i grup dotacional aplicant el mètode indicat i considerant com a superfície de càlcul la mitjana de la sèrie 1980/18.

5. Resum, conclusions i línies futures

En aquest treball final de màster s'ha proposat una metodologia general que permet estimar les necessitats hídriques de reg a escala de demarcació hidrogràfica d'un destacable nombre de conreus en format de cobertura ràster. La formulació proposada ha emprat com a demarcació pilot la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer, de forma que els resultats obtinguts per a la qual poden ser emprats bé per a estimar l'ús d'aigua per a l'agricultura bé, després d'haver estat analitzats, per a proposar una agrupació de conreus amb dotacions homogènies en vistes al Pla hidrològic del tercer cicle de planificació. Per als grups proposats, a més, s'ha plantejat una metodologia per assignar-hi un valor representatiu.

En primer lloc ha estat analitzada la situació actual de les dotacions d'aigua de reg al vigent Pla hidrològic, dotacions que provenen, a la majoria dels casos, d'estudis bàsics desenvolupats pel MAPA completats amb els valors de referència proposats per la Instrucció de planificació hidrològica. Seguidament, i tenint present que la metodologia a aplicar era la proposada a la Guia 56 de la FAO en ésser la metodologia estàndard a l'hora d'obtenir les necessitats hídriques dels conreus i les necessitats hídriques de reg

a través del balanç d'aigua al sòl, s'ha repassat les dades necessàries per aplicar-la així com la disponibilitat d'informació.

Pel que fa a la informació meteorològica, s'ha pres les cobertures de la precipitació i de l'evapotranspiració de referència que s'empren al model pluja-escorriment implementat a la Demarcació. Quant als coeficients de conreu dels 149 cultius analitzats, el servei d'assessorament al regant del MAPA –SIAR– i els de les comunitats autònomes o de les institucions provincials per on s'estén la Demarcació –principalment l'IVIA i l'ITAP– posen a disposició pública un catàleg de coeficients per als principals cultius presents en cada àmbit, en general la comarca agrícola. En principi s'ha pres els coeficients proposats pel SIAR en ser de caràcter general, coeficients que han estat completats amb els procedents de l'IVIA o de l'ITAP, de la Guia 56 de la FAO o de diferents articles científics als casos en què no es disposava d'informació. Atès que la major part de les dades dels coeficients de conreu es proposaven per a determinades comarques agràries, ha estat necessari definir un procediment per estendre'ls a la resta de comarques a partir les seues característiques climàtiques i hidrològiques. La resta de característiques associades al conreu –profunditat radicular i fracció d'esgotament– provenen dels valors proposats a la Guia 56 de la FAO.

Pel que fa a les característiques del sòl, s'ha avaluat diferents fonts d'informació d'àmbit general disponibles per tal de disposar d'una estimació senzilla però suficientment detallada de la classe textural del sòl, un dels principals paràmetres que hi defineixen la capacitat de retenció d'aigua. Finalment s'ha pres com font les cobertures de les classes texturals procedents *European Soil Database Derived data* (Hiederer, R. 2013), classes texturals a les quals s'ha associat els valors de la capacitat de camp i el punt de marcescència permanent proposats per la FAO. En darrer lloc, per a obtenir la quantitat de pluja que realment pot ser aprofitada pel conreu –l'anomenada pluja efectiva, s'ha valorat els resultats de diferents mètodes hidrològics i s'ha seleccionat el mètode de Témez, mètode que permet obtenir uns valors fitats a les situacions de pluges intenses i que és de referència als model de pluja-escorriment tant a la Demarcació com a la resta de l'Estat.

Establert el mètode de càlcul, fonamentat en realitzar el balanç d'humitat al sòl a partir del mètode « $K_c ETo$ » de la FAO per a calcular les necessitats hídriques del conreu i el mètode de Témez per a avaluar la pluja efectiva –juntament amb unes altres

formulacions complementàries, s'ha desenvolupat matemàticament la metodologia completa que permet obtenir les necessitats hídriques de reg a escala mensual en el període entre octubre de 1980 i setembre de 2018.

La formulació ha estat implementada mitjançant una rutina al mòdul ModelBuilder del programa ArcGIS d'ESRI, si bé pot ser implementada en qualsevol programari de sistemes d'informació geogràfica o de càlcul matricial. A causa del gran nombre de dades emprades, també s'ha desenvolupat diverses rutines complementàries que permeten transformar les dades d'entrada en cobertures ràster amb cel·les d'1 km² que s'empren al programa. En total s'ha generat 66 156 cobertures.

Els resultats produïts han estat sotmesos a un procés de validació consistent en comparar-los amb els que es proposen a diferents fonts considerades de referència: valors obtinguts dels serveis d'assessorament al regant del MAPA i de les diferents comunitats autònomes i diferents estudis específics desenvolupats pel CEDEX i el MAPA, a més de la Instrucció de planificació hidrològica i el propi Pla hidrològic vigent. En concret s'ha comparat els resultats dels 13 conreus que ocuparen més de 5 000 ha de regadiu en 2015 en 9 punts de control distribuïts pel territori. Els resultats de la validació, en general, han estat satisfactoris ja que les principals diferències amb els valors de les fonts de referència són conseqüència de diferències en les dades meteorològiques – especialment l'evapotranspiració de referència– o metodològiques –els valors del SIAR, l'IVIA i l'ITAP no consideren l'aprofitament de la humitat emmagatzemada al sòl. Dels 13 conreus analitzats només en 1 –l'alfals– els resultats són considerats no conformes.

Validats els resultats mensuals generats per la metodologia, han estat aprofitats per derivar una sèrie de resultats complementaris que són d'interès a la planificació hidrològica. En concret, per a la Demarcació i per a cada unitat de demanda definida al Pla hidrològic han estat obtingudes la dotació anual, la dotació anual mitjana, l'any mitjà i també el percentil 90 de les dotacions anuals, valor que podria ser adoptat com a valor de referència en el tràmit concessional.

Seguidament s'ha estudiat, per a cadascuna de les categories de conreus, diferents agrupacions de cultius amb dotacions semblants amb l'objectiu de servir de grups de conreus amb dotacions homogènies –o grups dotacionals– per al Pla hidrològic del tercer cicle de planificació. En concret s'ha plantejat tres propostes: una primera en què només es té en compte la dotació mitjana del conreu; una segona en què s'ha eliminat

els grups de la proposta anterior amb superfícies regades menors i una tercera, la finalment proposada, que permet mantenir una distribució uniforme entre conreus unint cultius de categories diferents. La proposta adoptada planteja 20 grups dotacionals. En última instància han estat valorades diferents propostes a l'hora d'establir un valor de referència a cadascun dels grups dotacionals proposats anteriorment, amb l'objecte que el valor finalment considerat fóra representatiu del grup i s'adaptàs a la variabilitat de mosaics de les diferents unitats de demanda. S'ha assajat 5 metodologies diferents en 5 de les principals unitats de demanda de la Demarcació i finalment s'ha proposat en aquest treball prendre com a dotació del grup la dotació màxima dels conreus que es consideren representatius del grup a cadascuna de les unitats de demanda.

A tall de conclusió es pot indicar que la formulació desenvolupada en aquest treball permet unir dos metodologies robustes a l'hora de realitzar el balanç hídric al sòl: per una banda la formulació « $K_c ET_0$ » per a estimar les necessitats hídriques del conreu i per altra la formulació de Témez com a model hidrològic acoblat per a estimar la pluja efectiva. A més, i sense que siga el principal objectiu, aquest treball recopila un destacable catàleg de dades tant pel que fa als coeficients de conreu com uns altres paràmetres i les posa a disposició de futurs treballs que puguen desenvolupar-se en la Demarcació. Finalment, destacar la gran quantitat d'informació generada, informació que tractada suposa un important pas endavant a l'hora d'estimar l'ús d'aigua en agricultura, a més de servir com a base per a una nova proposta en els grups de conreus per a la definició de les dotacions normatives de la futura revisió del Pla hidrològic.

Tanmateix al llarg d'aquesta memòria s'ha posat de manifest que resten determinats aspectes metodològics no resolts o l'efecte dels quals cal que siga analitzat amb més profunditat en futurs treballs. En concret les anàlisis realitzades pel que fa al mètode de Témez emprat per a estimar la pluja efectiva semblen indicar que aquest mètode podria sobrevalorar-ne el resultat amb valors menuts de precipitació. Aquest efecte, que té escassa importància als models pluja-escorriment, podria ésser modificat introduint un volum mínim de pluja que s'evaporaria abans d'arribar al sòl en la línia d'uns altres mètodes com el de l'USDA SCS (P, ET) i com es proposa a la Guia 56 de la FAO. D'igual manera no ha estat analitzat en aquest treball quina influència tindria a les dotacions si els conreus es desenvoluparen en sòls prims, sòls en els quals les arrels no poden créixer

completament i, per tant, no es compleixen les condicions de conreu estàndard sobre les que es fonamenta la metodologia. En darrer lloc caldria adaptar la formulació si volgués ésser aplicada a cultius que es conreen en hivernacle on les condicions de l'atmosfera interior està regulada antròpicament o si volgués emprar-se per a successions de collites. Tampoc ha estat tractat en aquest treball l'ús de la formulació proposada per a conreus forestals.

6. Referències

Akdim, N. *et alii*, 2014. *Monitoring of Irrigation Schemes by Remote Sensing: Phenology versus Retrieval of Biophysical Variables*. Akdim, Nadia; Alfieri, Silvia Maria; Habib, Adnane; Choukri, Abdelooihab; Cheruiyot, Elijah; Labbassi, Kamal i Menenti, Massimo. *Remote Sens.* 2014, 6, 5815-5851. 2014.

AEMET-IM, 2011. *Atlas climático ibérico*. Agencia Estatal de Meteorología i Instituto de Meteorologia de Portugal. 2011. ISBN: 978-84-7837-079-5.

Allen, R.G *et alii*, 2007. *Satellite-based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC) – Model*. Allen, Richard G.; Tasumi, Masahiro i Trezza, Ricardo. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. Volume 133 Issue 4. 2007.

Alonso-Sánchez, H. *et alii*, 2017. *Identificación del Coeficiente del Cultivo (Kc) del Maguey Agave salimiana (var. xhaminí) en Huichapan, Hidalgo*. Alonso-Sánchez, H; Rufino Arteaga, J i Morales Maldonado, E.R. CONAMTI, 2017.

Bastiaanssen, W.G.M., 1998. *Remote Sensing in Water Resources Management: the State of the Art*. Bastiaanssen, Wim G.M. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka, 1998.

Bastiaanssen, W.G.M. *et alii*, 1996. *Remote sensing parametrization of meso-scales land Surface evaporation*. Bastiaanssen, W.G.M; Menenti, M.; Doman, A. J.; Feddes, R.A. i Pelgrum, H. Pp. 401-429. En: E. Racke, ed. *Radiation and Water in the Climate System*. Nato ASI Series (Series I: Global Environmental Change), vol 45. Springer, Berlin, Heidelberg, 1996.

Bastiaanssen, W.G.M. *et alii*, 2005. *SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Conditions*. Bastiaanssen, W.G.M.; Noordman, E. J. M.; Pelgrum, H.; Davids, G.; Thoreson, B. P. i Allen, R. G.

Bausch, W.C. i Neale, C.M.U., 1987. *Crop Coefficients Derived from Reflected Canopy Radiation: A Concept*. Bausch, Walter C. i Neale, Christopher M. U. Transactions of the ASAE. 30 (3): 0703-0709. St. Joseph, Michigan, 1987. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. Volum 131(1): 85-93. Febrer, 2005.

Calera Belmonte, A. et alii, 2005. *Irrigation management from space: Towards user-friendly products*. Calera Belmonte, Alfonso; Jochum, Anne M.; Cuesta García, Andrés i Montoro, Amelia. *Irrigation and Drainage Systems*, volum 19, tema 3 pp: 337-353. 2005.

Calera, A. et alii, 2017. *Remote Sensing for Crop Water Management: From ET Modelling to Services for the End Users*. Calera, Alfonso; Campos, Isidro; Osann, Anna; D'Urso, Guido i Menenti, Massimo. *Sensors* 2017, 17, 1104. 2017.

Campos, I. et alii, 2010. *Assessing satellite-based basal crop coefficients for irrigated grapes (Vitis vinifera L.)*. Campos, Isidro; Neale, Christopher M.U.; Calera Belmonte, Alfonso; Balbontín, Claudio i González-Piqueras, Jose. *Agricultural Water Management*, volum 98 pp 45-54. 2010.

CEDEX, 2011. *Mapa de caudales máximos. Memoria técnica*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Ministerio de Fomento i Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2011.

CEDEX, 2020. *Evaluación de recursos hídricos en régimen natural en España (1940/41 – 2017/18)*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Ministerio de Fomento. Madrid, 2020. Disponible en <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/evaluacion-recursos-hidricos-regimen-natural/>

CEH, 1994. *Determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la cuenca del Júcar*. Centro de Estudios Hidrográficos. Dirección General de Obras Hidráulicas. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid, 1994.

Chattaraj, S. et alii, 2013. *Hyperspectral remote sensing for growth-stage-specific water use in wheat*. Chattaraj, Sudipita; Chakraborty, Debashis; Garg, R.N.; Singh, G.P.; Gupta, V.K.; Singh, Sheoraj i Singh, Ravender. *Field Crops Research*, volum 144 pp: 179-191. 2013.

CHJ, 2019. *Documentos iniciales. Programa, calendarios, estudio general de la Demarcación y fórmulas de consulta. Memoria. Plan Hidrológico de la Demarcación*

Hidrogràfica del Júcar. Revisión del tercer ciclo (2021-2027). Confederación Hidrogràfica del Júcar, O.A. València, 2019.

CHJ, 2021. *Borrador del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrogràfica del Júcar. Ciclo de planificación 2022-2027*. Confederación Hidrogràfica del Júcar, O.A. València, 2021.

Colwell, R.N., 1983. *Manual of Remote Sensing*. Colwell, Robert N. (editor). American Society of Photogrammetry. N. Falls Church, Virginia, 1983.

Dhungel, R. *et alii*, 2016. *Evapotranspiration between satellite overpasses: methodology and case study in agricultural dominant semi-arid areas*. Dhungel, Ramesh; Allen, Richard G.; Trezza, Ricardo i Robinson, Clarence W. *Meteorological Applications*. Volume 23, Issue 4 pp: 714-730. Royal Meteorological Society. 2016.

D'Urso, G. *et alii*, 1999. *Regional application of one-dimensional water flow models for irrigation management*. D'Urso, G.; Menenti, M. i Santini, A. *Agricultural Water Management*, volum 40 pp:192-302. 1999.

D'Urso, G. i Menenti, M., 1995. *Mapping crop coefficients in irrigated areas from Landsat TM images*. D'Urso, Guido i Menenti, Massimo. *Remote Sensing for Agriculture, Forestry, and Natural Resources*, Volume 2585. 1995

D'Urso, G. i Calera, A. 2006. *Operative Approaches To Determine Crop Water Requirements From Earth Observation Data: Methodologies And Applications*. D'Urso, G. i Calera Belmonte, Alfonso. AIP Conference Proceedings 852, 14. 2006.

EC-ESBN, 2004. *The European Soil Database distribution version 2.0*. European Commission and the European Soil Bureau Network. CD-ROM. EUR 19945 EN, 2004.

Er-Raki, S. *et alii*, 2007. *Combining FAO-56 model and ground-based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi-arid region*. Er-Raki, S.; Chegbouni, A.; Guemouria, N.; Duchemin, B.; Ezzahar, J. i Hadria, R. *Agricultural Water Management*, volum 87 pp: 41-54. 2007.

Ferrer i Julià, M., 2002. *Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva del modelo hidrológico del SCS: datos de perfiles de suelos y teledetección*. Ferrer i Julià, M. Tesi doctoral. Universidad de Salamanca. Salamanca, 2002.

FAO, 1992. *Crop water requirements*. Doorenbos, J. i Pruitt, W.O. Organització de les Nacions Unides per a l'Agricultura i l'Alimentació. Roma, 1992.

FAO, 2003. *The Digital Soil Map of the World. Version 3.6, completed January 2003.*

Organització de les Nacions Unides per a l'Agricultura i l'Alimentació. 2003.

FAO, 2006. *Evaporación del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.* Allen, Richard G.; Pereira, Luis S.; Raes, Dirk i Smith, M. Organització de les Nacions Unides per a l'Agricultura i l'Alimentació. Roma, 2006.

Folhes, M.T. *et alii*, 2009. *Remote sensing for irrigation water management in the semi-arid Northeast of Brazil.* Folhes, M.T.; Rennó, C.D. i Soares, J.V. *Agricultural Water Management*, volum 96 pp: 1398-1409. 2009

García-Tejero, I.F. *et alii*, 2014. *Impact of Plant Density and Irrigation on Yield of Hemp (Cannabis sativa L.) in a Mediterranean Semi-arid Environment.* García-Tejero, I.F.; Durán-Zuazo, V.H.; Pérez-Álvarez, R.; Hernández, A.; Casano, S.; Morón, M. i Muriel-Fernández, J.L. *Journal of Agricultural Science and Technology*. Vol. 16: 887-895. 2014.

Garrido-Rubio, J. *et alii*, 2018. *Remote sensing-based soil water balance for irrigation water accounting at the Spanish Iberian Peninsula.* Garrido-Rubio, Jesús; Calera Belmonte, Alfonso; Fraile Enguita, Lorena; Arellano Alcázar, Irene; Belmonte Mancebo, Mario; Campos Rodríguez, Isidro i Bravo Rubio, Raquel. *Proc. IAHS*, 380, 29–35, 2018.

Heclman J.L. *et alii*, 1982. *Evaluating the Crop Coefficient Using Spectral Reflectance.* Heclman, J.L.; Heilman, W.E. i Moore, D.G. *Agronomy Journal*, volum 74, tema 6 pp: 967-971. 1982.

Herrero Sánchez, G., 2002. *Estudio sobre el azafrán.* Herrero Sánchez, Gloria. Escuela Universitaria Politécnica. Universidad de Zaragoza. La Almunia de Doña Godina, 2002.

Hiederer, R. 2013. *Mapping Soil Properties for Europe - Spatial Representation of Soil Database Attributes.* Luxembourg: Publications Office of the European Union - 2013 - 47pp. EUR26082EN Scientific and Technical Research series, ISSN 1831-9424, doi:10.2788/94128

Huete, A. R., 1988. *A soil-adjusted vegetation index (SAVI).* Huete, A. R. *Remote Sensing of Environment*. Volum 25, tema 3, pp: 295-309. 1988.

Kharrou, M.H. *et alii*, 2021. *Assessing Irrigation Water Use with Remote Sensing-Based Soil Water Balance at an Irrigation Scheme Level in a Semi-Arid Region of Morocco.* Kharrou, Mohamed Hakim; Simonneaux, Vincent; Er-Raki, Salah; Le Page, Michel; Khabba, Saïd i Chehbouni, Abdelghani. *Remote Sensing* 2021, 13, 1133. 2021.

MAPA, 1980-2020. *Anuario de Estadística*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1980-2020.

MAPA, 1996. *Comarcalización agraria*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica. 1996.

MAPA, 2019. *Calendario de Siembra, Recolección y Comercialización 2014-2016*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, 2019.

MAPA, 2020. *Cálculo de la precipitación efectiva* [en línia]. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Sistema de Información Agroclimática para el Regadío. https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/precipitacionefectiva05_tcm30-82980.pdf. [consulta: 25 d'agost de 2020].

Martín de Santa Olalla Mañas, F. et alii, 2005. *Agua y agronomía*. Dirigida i coordinada per Martín de Santa Olalla Mañas, F.; López Fuster, P. i Calera Belmonte, A. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 2005.

Mateo Box, J.M., 2005. *Prontuario de agricultura*. Dirigida i coordinada per Mateo Box, J.M. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación i Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, México, 2005.

Matute, M., 2017. *Estudios preliminares para la determinación del coeficiente de cultivo de la chufa*. Matute Díez, Miguel. Treball fi de màster. Universitat Politècnica de València. València, 2017.

Maynard, D. N. i Hochmuth, G. J., 2007. *Knott's Handbook for Vegetable Growers. Fifth Edition*. Maynard, D.N. i Hochmuth, G. J. John Wiley & Sons, Inc. 2007. ISBN: 978-0-71-73828-2.

Menenti, M. et alii, 1999. *Linear relationships between surface reflectance and temperature and their application to map actual evaporation of groundwater*. Menenti, M.; Bastiaanssen, W.; Van Eick, D. i Abd el Karim, M.A. *Advances in Space Research*, volum 9, tema 1 pp: 165-176. 1989

MIMAM, 2000. *El Libro blanco del agua en España*. Secretaría de Estado de Aguas y Costas. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. Texto final de septiembre de 2000.

Neale, C. et alii, 1989. *Development of reflectance-based crop coefficients for corn*. Neale, C. M. U.; Bausch, W. C. I Heermann, D.F. *Transactions of the ASAE*, 32(6), 1891-1899. 1989

Neale, C.M.U *et alii*, 2003. *Crop and Irrigation Water Management Using High Resolution Airborne Remote Sensing*. Neale, Christopher M.U.; Jayanthi, Hari i Wright, James L. ICID Workshop on Remote Sensing of ET for Large Regions, 17 Sept. 2003.

Neale, C. *et alii*, 2012. *Soil water content estimation using a remote sensing based hybrid evapotranspiration modeling approach*. Neale, Christofer M.U.; Geli, Hatim M.E.; Kustas, William P.; Alfieri, Joseph G.; Gowda, Prasanna H.; Evett, Steven R.; Prueger, John H.; Hipps, Lawrence E.; Dulaney, Wayne P.; Chávez, José L.; French, Andrew N. i Howell, Terry A. *Advances in Water Resources*, volum 50 pp: 152-161. 2012.

Noorollahi, M. *et alii*, 2016. *Determination of Crop Coefficient (K_c) for Rosmarinus officinalis L., Lavandula angustifolia Mill. And Silybum marianum L. Gaertnas Medicinal Plants Using Water Balance Approach*. Noorollahi, M.; Hassanli, A. M.; Ghanbaniar, Gh. A. I Taghvaei, M. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. No. 1, Vol. 10, Apr.-May. 2016, p. 117-127. 2016.

Norman, J.M. *et alii*, 1995. *Source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observations of directional radiometric surface temperature*. Norman, J.M.; Kustas, W.P. i Humes, K.S. *Agricultural and Forest Meteorology*, volum 77, temes 3-4 pp: 263-293. 1995

Papadavid, G *et alii*, 2012. *Remote Sensing Applications for Planning Irrigation Management. The Use of SEBAL Methodology for Estimating Crop Evapotranspiration in Cyprus*. Papadavid, George; Perdikou, Skevi; Hadjimitsis, Michalakis i Hadjimitsis, Diofantos. *Environmental and Climate Technologies* 9(1): 17-21. 2012

Pérez Martín, M.A, 2005. *Modelo distribuido de simulación del ciclo hidrológico y de la calidad del agua, integrado en sistemas de información geográfica, para las grandes cuencas. Aportación al análisis de presiones e impactos de la Directiva Marco del Agua*. Pérez Martín, Miguel Ángel. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València. València, 2005.

Ruiz, J. M, 1998. *Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual-distribuido de simulación continua integrado en un sistema de información geogràfica*. Ruiz, J.M. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València. València, 1998.

Pôças, I. *et alii*, 2015. *Estimation of Actual Crop Coefficients Using Remotely Sensed*

Vegetation Indices and Soil Water Balance Modelled Data. Pôças, Isabel; Paço, Teresa A.; Paredes, Paula; Cunha, Mário i Pereira, Luís S. *Remote Sensing*, volum 7 pp:2373-2400. 2015.

Ruiz Corral, J.A. *et alii*, 2013. *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. Ruiz Corral, José Ariel; Medina García, Guillermo; González Acuña, Irma Julieta; Flores López, Hugo Ernesto; Ramírez Ojeda, Gabriela; Ortiz Trejo, Ceferino; Byerly Murphy, Keir Francisco y Martínez Parra, Ramón Armando. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, 2013.

Saxton, K. E. i Rawls, W. J., 2006. *Soil Water Characteristics Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions*. Saxton, K. E. I Rawls, W. J. Soil Science of America Journal. Volum 70. Setembre-octubre 2006. Singh, R. K. I Irmak, A., 2009. *Estimation of Crop Coefficients Using Satellite Remote Sensing*. Singh, Ramesh K. I Irmak, Ayse. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. Volum 135 (5). ASCE. 2009.

Tang, R. *et alii*, 2013. *Spatial-scale effect on the SEBAL model for evapotranspiration estimation using remote sensing data*. Tang, Ronglin; Li, Zhao-Liang; Chen, Kun-Shan; Jia, Yuanyuan; Li, Chuanrong i Sun, Xiaomin. *Agricultural and Forest Meteorology*, volums 174-175 pp: 28-42. 2013

Tasumi, M. *et alii*, 2005. *Satellite-Based Energy Balance to Assess Within-Population Variance of Crop Coefficient Curves*. Tasumi, Masahiro; Allen, Richard G.; Trezza, Ricardo i Wright, James L. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. Volum 131 (1) pp: 4-109. ASCE. 2005.

Tucker, C. J. *et alii*, 1979. *Monitoring corn and soybean crop development with handheld radiometer spectral data*. Tucker, C. J.; Elgin, J. H. Jr; McMurtrey, J. E. III i Fan, C. J. *Remote Sensing of Environment*. Volum 8, tema 3, pp: 237-248. 1979.

Vanino, S. *et alii*, 2018. *Capability of Sentinel-2 data for estimating maximum evapotranspiration and irrigation requirements for tomato crop in Central Italy*. Vanino, Silvia; Nino, Pasquale; De Michele, Carlo; Falanga Bolognesi, Salvatore; D'Urso, Guido; Di Bene, Claudia; Pennelli, Bruno; Vuolo, Francesco; Farina, Roberta; Pulighe, Giuseppe i Napoli, Rosario. *Remote Sensing of Environment*, volum 2015, pp: 452-470. 2018

Yarami, N. *et alii*, 2011. *Determination of the potential evapotranspiration and crop coefficient for saffron using a water-balance lysimeter*. Yarami, N.; Kamgar-Haghihi, A.A.;

Proposta metodològica per a estimar les necessitats hídriques de reg en la planificació hidrològica: aplicació a la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.

Sepaskhah, A.R. i Zand-Parsa, Sh. Archives of Agronomy and Soil Science, 57:7, 727-740.
2011.