

La gestió de l'aigua als secans en un escenari d'incertesa pel canvi climàtic

Robert Savé,¹ David Comino,² Felicidad de Herralde,¹ Carlos Cantero-Martínez³

1. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), Caldes de Montbui
2. Unitat Tècnica, Departament de Concessions, Agència Catalana de l'Aigua (ACA), Barcelona
3. Departament de Producció Vegetal i Ciència Forestal, Universitat de Lleida (UdL), Lleida

REBUT: 21 DE DESEMBRE DE 2020 - ACCEPTAT: 17 DE FEBRER DE 2021

RESUM

Aquest treball té com a objectiu posar de manifest la importància de la superfície de cultiu de secà que hi ha a Catalunya (71 % de la superfície agrícola) i la seva vulnerabilitat al canvi climàtic, especialment amb referència a les necessitats hídriques. Les pràctiques agrònòmiques, adoptant les darreres solucions tecnològiques, i una bona selecció del material vegetal per cultivar són i seran les primeres eines per a mantenir aquests sistemes de cultiu. En aquest article es discuteix que una possible transformació en regadiu podria no ser viable degut a una disponibilitat insuficient de fonts d'aigua (aigües subterrànies i aigües regenerades), tant en qualitat com en quantitat, i a la demanda creixent d'aigua per a usos no agrícoles. També s'hi destaca que els secans són una font de serveis ecosistèmics i aporten valors més enllà de l'estricta productivitat del cultiu. Cal, doncs, valorar i revalorar els secans i avançar en la seva adaptació a

Correspondència: Robert Savé. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). Torre Marimon, 08140 Caldes de Montbui (Barcelona). Tel.: 934 674 040. A/e: robert.save@irta.cat.

les condicions climàtiques de les properes dècades, parant molta atenció a la gestió del sòl i de l'aigua disponible per a assegurar uns estàndards de producció més qualitatius que quantitius.

PARAULES CLAU: cultius de secà, necessitats hídriques, aigües subterrànies, maneig del sòl, adaptació.

La gestión del agua en los secanos en un escenario de incertidumbre por el cambio climático

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo poner de manifiesto la importancia de la superficie de cultivo de secano en Cataluña (71 % de la superficie agrícola) y su vulnerabilidad al cambio climático, con especial referencia a las necesidades hídricas. Las prácticas agronómicas, adoptando las últimas innovaciones tecnológicas, y una buena selección del material vegetal que hay que cultivar son y serán las primeras herramientas para mantener estos sistemas de cultivo. En este artículo se discute que una posible transformación en regadío podría no ser viable debido a una disponibilidad insuficiente de fuentes de agua (aguas subterráneas y aguas regeneradas), tanto en calidad como en cantidad, y a la creciente demanda de agua para usos no agrícolas. También se debe tener en cuenta que los secanos son una fuente de servicios ecosistémicos cuyo valor va más allá de la estricta productividad del cultivo. Así pues, se deben valorar y revalorizar los secanos y avanzar en su adaptación a las condiciones climáticas de las próximas décadas, prestando mucha atención a la gestión del suelo y del agua disponible para asegurar unos estándares más cualitativos que productivos.

PALABRAS CLAVE: cultivos de secano, necesidades hídricas, aguas subterráneas, manejo del suelo, adaptación.

Water management in drylands in a scenario of uncertainty due to climate change

ABSTRACT

The aim of this study is to highlight the importance of the rainfed farming area in Catalonia (71% of the total cultivated land) and its vulnerability to climate change, especially with regard to water needs. Agronomic practices, including the latest technological innovations, and a good selection of the plant material to be cultivated are and will be the foremost tools for maintaining these cultivation systems. We discuss whether a possible transformation to irrigation would not be feasible due to insufficient water sources (groundwater or reclaimed water) in terms of quality or quantity, and to the increased demand of water for non-agricultural uses. It should also be borne in mind that drylands are a source of ecosystem services whose value goes beyond crop productivity alone. Consequently, drylands should be valued and enhanced, and progress should be made in adapting them to the climatic conditions of the coming decades, paying special attention to the management of soil and available water to ensure production standards that are more qualitative than quantitative in nature.

KEYWORDS: rainfed crops, water requirements, groundwater, soil management, adaptation.

1. Introducció

La producció primària biològica ha estat històricament modificada per la humanitat per a generar agricultura, cultius forestals, ramaderia i pesca, i és el primer pas per a produir aliments i salut, de caire particular i social. La producció d'aliments es veu afectada per les característiques, condicions o disponibilitats d'aigua, d'energia i de sòl, pel clima i per la biodiversitat circumdant, i a la vegada la producció agrícola actua i provoca canvis sobre el medi ambient, l'economia, la societat i la cultura (MedECC, 2020).

Els recursos hídrics en tota la gran conca Mediterrània són escassos i es distribueixen de manera desigual. Sovint les necessitats humanes no coincideixen amb les disponibilitats ambientals, de manera que moltes persones pateixen o poden patir escassetat d'aigua (disponibilitat inferior a 1.000 m³ *per capita*/any) (MedECC, 2020). En aquest context, el principal usuari d'aigua és l'agricultura, tot i que en marcada competència, sobretot a l'estiu, amb el turisme, que pot incrementar-se en el futur i generar tensions.

Els objectius d'aquest treball són mostrar la importància dels secans i la seva important limitació hídrica, que pot resoldre's mitjançant la gestió de l'aigua que tenen a l'abast amb mètodes i sistemes agronòmics basats en coneixement científic, desenvolupament tecnològic i sentit comú.

2. Què són els secans? Extensió i conreus

La superfície de Catalunya es pot qualificar de molt diversa i especialment forestal. L'agricultura n'ocupa el 26% i d'aquest percentatge, el 71% és de secà (DARP, 2020).

Un conreu de secà és aquell que es fa en terres que no reben aigua sinó quan plou. Així doncs, el màxim factor condicionant de la producció és la disponibilitat hídrica, que es diposita en l'únic magatzem possible, el sòl.

Les condicions edafoclimàtiques són un dels condicionants més importants del desenvolupament de l'agricultura. En el nostre cas, Catalunya està englobada en l'ecosistema mediterrani, que es caracteritza per un doble estrès: la sequera, amb altes temperatures i alts nivells de radiació a l'estiu, i les baixes o molt baixes temperatures a l'hivern (Terradas i Savé, 1992), juntament amb, o a conseqüència de, fenòmens climàtics importants com l'oscil·lació¹ de l'Atlàntic nord (NAO, de l'anglès *North Atlantic oscillation*), l'oscil·lació de la Mediterrània occidental (WeMO, de l'anglès *Western Mediterranean oscillation*) i l'oscil·lació de l'Àrtic (AO, de l'anglès *Arctic oscillation*) (Lopez-Bustins, 2007; Diez-Palet *et al.*, 2019). Quan aquestes condicions no són favorables per als interessos de l'agricultura parlem de *estressos ambientals*, que poden ser abiòtics o, quan són produïts per organismes, biòtics. Les intensitats i interaccions entre aquests stressos són cada cop més importants i més freqüents (Terradas, 2010). Els coneixements actuals i la tecnologia que se'n deriva fan possible saber les projeccions de clima per a períodes de temps curts, mitjans o llargs, així com la mesura de la quantitat d'aigua que hi ha en el sòl.

Combinant la informació meteorològica prèvia, els continguts d'aigua disponibles al sòl, les prediccions meteorològiques a curt i mitjà termini i les pràctiques agronòmiques adequades és factible fer una gestió objectiva i avançada dels conreus de secà dins dels marges fisiològics de la producció. Per tant, cal introduir el concepte *agricultura intel·ligent* en els secans; és, en conjunt, una proposta complexa, que té la dificultat intrínseca de l'aplicació pràctica, ja que requereix la participació de les diverses especialitats del coneixement aplicables a l'agricultura i al conjunt del sector agroalimentari, i la implicació dels diferents àmbits governatius, econòmics i socials dels territoris implicats (Funes *et al.*, 2020).

1. Les oscil·lacions climàtiques són fenòmens associats a la diferència de pressió atmosfèrica a nivell del mar entre depressions (borrasques) i altes pressions (anticiclons).

3. Efectes del canvi climàtic en els secans. La pressió de l'escassetat hídrica

Les projeccions dels models climàtics per a aquest segle presenten reduccions de la quantitat total d'aigua disponible. Si, a més, es tenen en compte les previsions de canvi global, que pot ser provocat pels canvis en els usos del sòl, l'increment de la població, fixa i mòbil, el despoblament rural, les necessitats creixents de la indústria, fruit, tot, de la nostra complexa societat, cal preveure una competència més gran per l'aigua, que caldrà ponderar segons les necessitats reals, no especulatives (Grup CERES - IRTA, 2017). En el marc del canvi climàtic, ara ja realitat climàtica, al qual cal associar irrefutablement el canvi global, que continuarà almenys al llarg d'aquest segle, l'agricultura hi tindrà un paper molt important. Influirà en el manteniment de la població i el seu estat de salut, en el desenvolupament de la riquesa, en el manteniment d'una xarxa sociocultural estable, en el paisatge i en l'oferiment de productes ecosistèmics associats (Savé, 2019).

El canvi climàtic pot augmentar la temperatura a escala general; tanmateix, on són notoris els canvis i els efectes per a la societat és en l'àmbit local. Aquests petits canvis de temperatura poden tenir gran influència sobre els equilibris de carboni del sistema agroalimentari (que actua com a font o com a embornal de carboni), el creixement vegetal (morfològic i metabòlic) i les variacions en la fenologia de les espècies i, per tant, en les seves relacions (predació, competència, simbiosi o patogenicitat). Així, determinades zones de Catalunya estan més exposades i són potencialment més vulnerables al canvi climàtic i, consegüentment, patiran efectes directes (menys productivitat) o indirectes (més costos) en la producció agrícola (Martín-Vide, coord., 2016, capítol 13; MedECC, 2020, capítol 3.2).

L'increment tèrmic, segons el *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* (Martín-Vide, coord., 2016), pot arribar a pujades significatives de fins 4 °C i un descens de la pluviometria no significatiu, però amb tendència a reduir-se i mostrar-se molt irregular, en comparació amb el període previ als anys vuitanta del segle passat (European State of the Climate, 2019; Altava-Ortiz i Barrera-Escoda, 2020; Martín-Vide, coord., 2016; MedECC, 2020).

4. Efectes del canvi global en els secans

Les causes i les conseqüències del despoblament de les diverses comarques catalanes són ben diferents. Tal com explica Aldomà (2019) en l'*Atlas de la nova ruralitat*, per la seva complexitat i per les interconnexions que tenen, es fa difícil separar-les, entendre-les i aplicar-hi solucions. Entre les causes trobem l'orografia, la sequera, la llunyania als mercats,

L'endarreriment en l'arribada i, per tant, en l'ús de les noves tecnologies, l'aïllament, la quasi insularitat d'algunes zones, la dificultat en el gaudi de drets tan bàsics com l'ensenyament o la sanitat. Tot plegat ha contribuït que la productivitat agrícola i les seves derivades agroindustrials hagin sigut baixes, erràtiques i amb un valor afegit escàs, cosa que ha comportat i comporta un abandonament dels secans (Reguant i Savé, 2016), i, en conseqüència, un creixement desfermat de la coberta forestal (ACCUA, 2011; MEDACC, 2019).

5. Anàlisi dels models de gestió dels secans

Les principals limitacions dels sistemes de producció de secà als terrenys secs del món són les precipitacions baixes i molt variables, la deficiència de nutrients i l'erosió del sòl originada pel vent i l'aigua. Els secans comprenen un rang de pluviometria ampli, que va des de zones humides (800 a 700 mm any⁻¹), subhumides (entre 700 i 450 mm any⁻¹) fins a semiàrides i àrides (entre 450 i 250 mm any⁻¹), aproximadament. Les zones mediterrànies, com la nostra, són un exemple clar de secans, on l'aigua disponible és el principal factor limitant per a la producció, responsable, en molts casos, del 70 o 80 % de la productivitat (Austin *et al.*, 1998). Tot i que, en teoria, es podrien aplicar els mateixos principis per a fer front a aquestes limitacions a totes les situacions de secà, no hi ha una recepta universal, ja que cal considerar un equilibri entre necessitats agronòmiques i els condicionants econòmics i ambientals. Els principis generals per a afrontar aquestes limitacions són els següents: la conservació del sòl, l'eficiència en l'ús de l'aigua, l'eficiència en l'ús de nutrients i la mitigació del canvi climàtic.

El model de gestió proposat en les darreres dècades busca l'equilibri entre l'agronomia, l'economia i les ciències ambientals, i destaca el paper de l'ecologia (Matson *et al.*, 1997; Kropff, Bouma i Jones, 2001). En les últimes dècades, agrònoms i ecòlegs dels sistemes agrícoles han definit que el maneig de les zones de secà (en anglès *rainfed areas*) ha de consistir en una combinació d'estratègies i de tàctiques, amb l'objectiu d'optimitzar la producció (Loomis i Connor, 1992; Stewart i Robinson, 1997).

L'estratègia general ha de ser particularitzada per a cada situació amb les tècniques que permetin obtenir els millors resultats agronòmics i econòmics en els anys favorables, i minvar la pèrdua econòmica per collites catastròfiques els anys dolents, habituals en els secans més extrems (Ferrer, 1989; Loomis i Connor, 1992). S'ha de combinar l'ús de varietats adaptades i el maneig adequat del cultiu. La selecció de cultius i varietats és fàcil d'acceptar pels productors. En espècies herbàcies, cal buscar l'adaptació a les oportunitats del clima i la resiliència als períodes de sequera. En espècies llenyoses plurianuals, caldrà també tenir en compte les temperatures extremes en el període vegetatiu. La diversificació de cultius herbàcies, la diversificació del paisatge i la revaloració dels marges

dels conreus llenyosos permeten una defensa millor contra les plagues, malalties i males herbes i, a la vegada, la flexibilització i la diversificació de la producció, cosa que ajuda a aconseguir estabilitat econòmica en les explotacions.

La rotació de cultius i/o el trencament de l'homogeneïtat paisatgística s'han d'ajustar a cada escenari economicoambiental. També és interessant considerar les rotacions mixtes de cereals (gra i farratge) o la implementació de cobertes verdes en els conreus llenyosos plurianuals, de cara a la modificació cap a sistemes més extensius amb ramaderia ben gestionada en zones subhúmedes i humides.

Quant al maneig del cultiu, cal fer concordar les necessitats hídriques del cultiu amb la disponibilitat estacional de l'aigua per tal d'afavorir l'acumulació d'aigua al terreny i reduir l'evaporació directa del sòl, la pèrdua per drenatge i l'escolament superficial. Cada gota d'aigua recollida i acumulada ha d'anar dirigida a produir la màxima quantitat de biomassa de la millor qualitat possible. La millora de l'eficiència en l'ús de l'aigua és un bon indicador i, per als secans mediterranis, hi ha diferents tècniques de maneig del sòl i del cultiu que aconseguen aquesta millora (Cantero-Martínez *et al.*, 2007). En aquest sentit, cal optimitzar les pràctiques de sembra (data, densitat i marc de distribució) i de fertilització (especialment la nitrogenada), així com fer un maneig del sòl que en millori les propietats físiques, químiques i biològiques (fertilitat) i que n'eviti la pèrdua per erosió. En el cas dels conreus llenyosos plurianuals, l'aplicació de fertilització nitrogenada, en la forma que sigui, cal valorar-la sempre des de la perspectiva de controlar la superfície transpirant, i maximitzar-ne l'eficiència en l'ús de recursos per a un bon rendiment i qualitat del producte. L'ús del guaret, llevat de condicions molt concretes, és ineficient per a acumular l'aigua. Els guarets llaurats sense coberta no ofereixen protecció al sòl ni condicions per a l'acumulació i el manteniment de l'aigua (Lampurlanés, Angás i Cantero-Martínez, 2002). Perquè el guaret es mostri efectiu, ha de tendir a sistemes de conreu reduït o nul. El guaret llaurat intensivament a l'estil antic cal evitar-lo: és ineficient i degrada el sòl en provocar una susceptibilitat més gran a l'erosió i a la pèrdua de matèria orgànica. La introducció de lleguminoses s'ha proposat per a optimitzar els sistemes herbacis, com en el cas d'Àustràlia (Hamblin, 1987), amb l'objectiu de reduir-ne la fertilització nitrogenada i augmentar-ne la fertilitat. No obstant això, aquestes espècies produeixen poca cobertura vegetal i deixen poca quantitat de residus, fet que limita el manteniment de l'aigua i la protecció del sòl. En alguns escenaris de limitació hídrica extrema, l'equilibri entre producció econòmica i avantatges ambientals és difícil d'aconseguir (Álvaro-Fuentes *et al.*, 2009). Així mateix, segueix sense haver-hi un programa ampli i clar de millora vegetal de lleguminoses equiparable al de cereals (blat, arròs, blat de moro i ordi) i d'altres cultius. Per a rotacions amb aquestes espècies i d'altres, caldrà definir específicament les zones i la combinació de tècniques de cultiu. Els cultius de cobertura i els cultius intercalats (*intercropping*) es troben en fase d'estudi per a adaptar-los a

l'agricultura moderna. Els cultius intercalats han estat habituals en l'agricultura mediterrània tradicional (cereal-olivera, cereal-vinya, cereal-ametller, cereal - guaret blanc). Aquests sistemes o tècniques de cultiu estan donant bon resultat en regadiu (Blanco-Canqui *et al.*, 2015) i en secans humits. Caldrà veure quins mecanismes calen per a adaptar-los o optimitzar-los a les condicions de pluviometria inferior i més irregular.

El maneig del sòl en les condicions mediterrànies guanya més importància per dues raons. La primera, perquè afecta l'acumulació i la disponibilitat de l'aigua, que és el principal factor limitant de la producció. En pràcticament tots els escenaris, un increment del contingut d'aigua disponible suposa una millora del funcionament del sistema sòl-cultiu-atmosfera i dels sistemes agrícoles. La segona, perquè possibilita l'augment del contingut de matèria orgànica en el sòl. La matèria orgànica és la propietat més important del sòl, ja que n'afecta totes les característiques, les físiques, les químiques i les biològiques. A més, la matèria orgànica del sòl conté més del 50% del carboni orgànic del sòl i, fent-ne una bona gestió, el sòl pot segrestar aquest carboni i contribuir a mitigar l'escalfament global (Smith, 2004; Funes *et al.*, 2019).

En els conreus llenyosos plurianuals, com la vinya, l'erosió del sòl per l'aigua i el vent suposa una amenaça important per la pèrdua de materials sòlids. Tot i que l'erosió hídrica, actualment, es considera el procés més important de degradació del sòl, l'impacte en el sòl del treball de la terra desperta un interès creixent. Així, en l'estudi de Novara *et al.* (2019), en vinya, s'estima una taxa d'erosió anual originada per les labors del treball de la terra d'uns $9,5 \pm 1,2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ any}^{-1}$, que són valors del mateix ordre de magnitud que els calculats en la conca del riu Foix, la qual cosa mostra que la taxa d'erosió del sòl a causa de l'aigua és la mateixa o inferior a la causada pel conreu del sòl (Novara *et al.*, 2019).

En conreus herbacis, els sistemes de maneig del sòl conservadors i d'intensificació sostenible amb rotacions de cultiu adequades permeten un ús òptim de l'aigua i una producció superior de biomassa, que després alimenta el sòl, i són fonamentals per als conreus de secà (Cantero-Martínez *et al.*, 2016; Álvaro-Fuentes *et al.*, 2014; Lampurlanés *et al.*, 2016; Peterson *et al.*, 2020).

6. Els freàtics, la gran reserva hídrica oculta

Allò que hom entén per *freàtics* són, en realitat, les anomenades *aigües subterrànies*, aquelles que, des de fa ja molts anys, estan catalogades com un recurs estratègic. Les aigües subterrànies es mouen a través d'un medi caracteritzat per la seva elevada heterogeneïtat, de manera que es poden produir grans canvis en pocs metres de distància. De la mateixa manera que, històricament, els assentaments de poblacions es van situar a l'entorn dels rius, els grans consumidors d'aigua també s'han establert sobre aqüífers impor-

tants. En l'agricultura, aquesta dependència no és tan directa, gràcies a les infraestructures de regadiu que aporten aigua superficial a les comunitats de regants, tot i que poden disposar de captacions subterrànies complementàries.

Les aigües subterrànies no estan ocultes com a reserva d'aigua ni per a l'agricultura ni per a la resta d'usos, ja que s'estan utilitzant des de fa molt temps a tot arreu amb graus d'explotació diferents que augmenten o disminueixen en funció de les demandes i de la meteorologia de l'any.

Podem ubicar els aqüífers principals i més productius de les conques internes de Catalunya (CIC), és a dir, les conques dels rius que neixen i desemboquen a mar dins de Catalunya, fent servir un sistema d'informació geogràfica (SIG) que mostri un bon inventari dels punts d'aigua, com ara el de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA).

6.1. L'ús i l'estat de les masses d'aigua subterrània a les conques internes de Catalunya

La importància de les aigües subterrànies queda palesa en la Directiva marc de l'aigua (DMA), aprovada per la Unió Europea (UE) l'any 2000, i en la seva derivada o directiva «filla» d'aigües subterrànies, de l'any 2006. En les respectives exposicions de motius hi diu:

L'aigua no és un bé comercial com els altres, sinó un patrimoni que cal protegir, defensar i tractar com a tal. (DOCE, 2000, p. 1)

Les aigües subterrànies són el recurs hídric més sensible i important de la Unió Europea, i, en particular, són la font principal del subministrament públic d'aigua potable. (DOUE, 2006, p. 19)

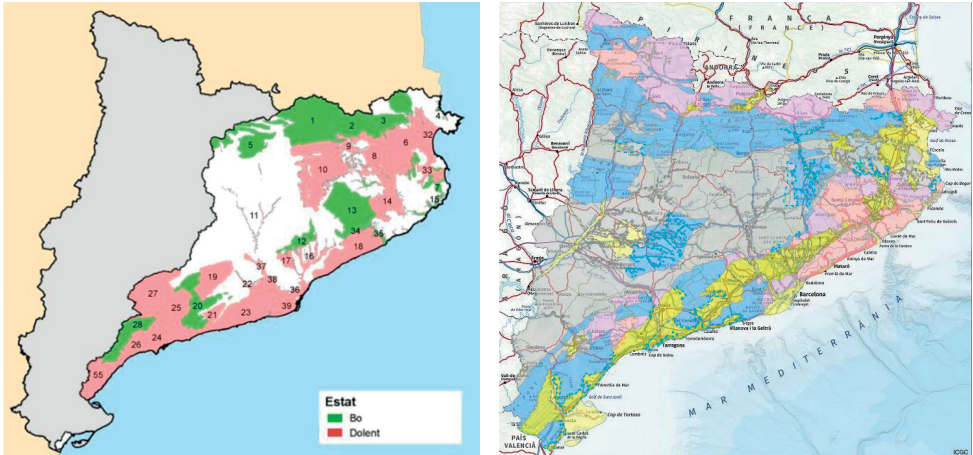
La DMA estableix un marc de referència comú a tots els estats membres de la UE i marca, entre altres fites, uns objectius ambientals ambiciosos per a l'assoliment del bon estat de totes les masses d'aigua de les diferents conques hidrogràfiques. El concepte *massa d'aigua subterrània* (MAS) es configura com un instrument bàsic de gestió en substitució de l'aqüífer, és a dir, adopta un element no circumscrit a límits geològics (figura 1), per la qual cosa una MAS pot estar formada per un o més aqüífers.

El Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial de Catalunya (PGDCFC)² és l'eina que determina l'estat actual de les masses d'aigua, els terminis per a assolir l'objectiu del bon

2. Per a més informació, vegeu <<http://aca.gencat.cat/ca/plans-i-programes/pla-de-gestio/3r-cicle-de-planificacio-2022-2027/>>.

FIGURA 1

Mapa de les masses d'aigua subterrània de les conques internes de Catalunya amb el seu estat global (esquerra) i mapa dels aqüífers de Catalunya (dreta)



NOTA: Mapa esquerre: la numeració correspon al codi que assigna l'ACA a cada MAS.

FONT: Mapa esquerre: ACA (2017a); mapa dret: visor SIG Generalitat de Catalunya, <http://sig.gencat.cat/visors/VISOR_ACA.html>.

estat i el programa de mesures previstes a aquest efecte, i s'ha de renovar cada sis anys, tal com estableix la DMA. Actualment, estem immersos en el segon cicle de planificació del PGDCFC, el del sexenni 2016-2021, aprovat pel Decret 1/2017 (DOGC, 2017), i s'està preparant el pla del tercer cicle (2022-2027).² D'acord amb el Decret 1/2017, la taula 1 mostra l'estat actual de les trenta-set MAS existents dins les CIC. L'estat quantitatiu o qualitatiu dolent indica que la massa d'aigua es troba globalment en mal estat. El PGDCFC inclou, en el Programa de mesures, una sèrie d'actuacions per a revertir aquesta situació, tal com estableix la DMA.

Les principals demandes d'aigua que cal cobrir, tant al conjunt de Catalunya com a les CIC, són per a abastament de població i per a reg agrícola, com indiquen les dades previstes en el PGDCFC del segon cicle (ACA, 2017a).

A les CIC les reserves màximes dels embassaments ($695 \text{ hm}^3 \text{ any}^{-1}$) són similars a les demandes anuals que en depenen. Per això, es requereixen altres fonts d'aigua per a cobrir les necessitats totals d'abastament, en concret: un 60-70% amb aigües superficials, un 20-30% amb aigües subterrànies i un 2-10% amb aigua procedent de plantes dessalinitzadores. L'estratègia implementada per tal de minimitzar l'impacte de les sequeres i garantir l'abastament per a consum humà (ACA, 2017b) passa per activar progressiva-

TAULA 1

Resum de l'estat de les masses d'aigua subterrània a les CIC de Catalunya segons el Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial de Catalunya. Any 2015

	Estat quantitatiu		Estat qualitatiu	
	Bo	Dolent	Bo	Dolent
Nre. de masses d'aigua subterrània	30	7	15	22
% del total	81 %	19 %	41 %	59 %

FONT: Elaboració pròpia a partir d'ACA (2017d).

ment les captacions subterrànies amb la finalitat d'allargar la disponibilitat d'aigua embassada. Aquesta estratègia es concreta en la figura denominada *règim d'explotació coordinada* i també en el Pla Especial d'Actuació en Situació d'Alerta i Eventual Sequera.

7. És possible aportar aigua als secans?

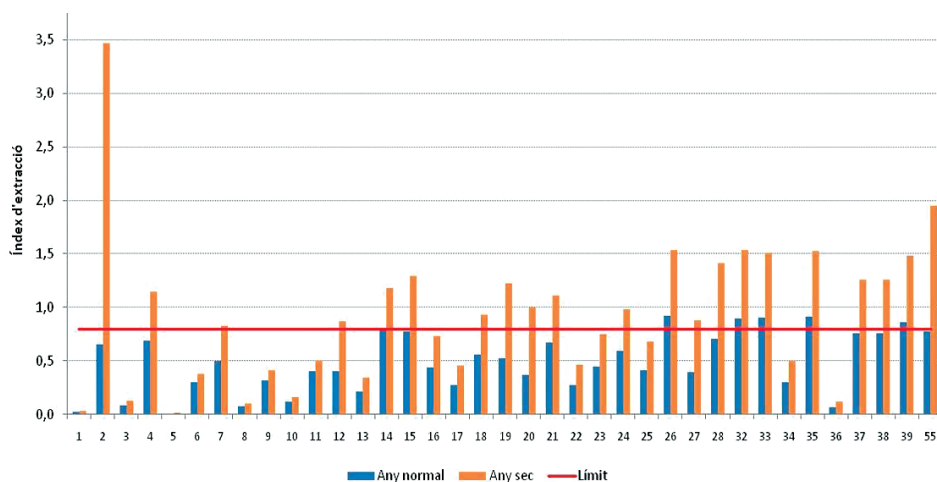
L'aigua subterrània que s'extreu a les CIC assoleix un total de 407 hm³ any⁻¹, dels quals s'estima aproximadament per a cada ús: 160 hm³ any⁻¹ per a usos d'abastament (el 40%), 183 hm³ any⁻¹ per a usos agropecuaris (el 45%) i 64 hm³ any⁻¹ per a usos industrials (15%). En conjunt, representen un 36 % dels recursos disponibles totals en un any normal i fins a un 55 % en un any sec (ACA, 2017c). Per tant, l'extracció principal d'aigües subterrànies és per a usos agropecuaris, seguida a poca distància de l'abastament.

A partir del programari Sacramento Soil Moisture Accounting Model (Burnash *et al.*, 1973; Burnash, 1995; Koren *et al.*, 1999; Anderson, 2002), desenvolupat per l'Hydrologic Research Laboratory del National Weather Service (NWS), que és una agència de la National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) dels Estats Units, s'han calculat les reserves de les MAS a les CIC en règim natural, és a dir, sense activitat antròpica, per a anys normals i secs, i s'han establert, així, les principals entrades i sortides del sistema. Posteriorment, se'ls resta el que suposen anualment les extraccions per a cada MAS, tant per a anys normals com secs, i es tanca, així, el balanç hídric i s'obté l'índex d'explotació per a cada MAS (figura 2).

A la figura 2 s'observa que hi ha alguna MAS que gairebé no s'explota (índex d'explotació al voltant de 0,1) i moltes amb problemes de disponibilitat d'aigua (índex d'explotació superior a 0,8 en any normal i entre 1,0 i 1,5 en anys secs). Aquesta situació és millor que l'analitzada en el primer cicle de la planificació (2009-2015), en què hi havia fins a nou MAS que superaven l'índex d'explotació en any normal enfront de les cinc actuals.

FIGURA 2

Índex d'exploració en any normal i any sec per a les masses d'aigua subterrània del districte de conca fluvial de Catalunya. Any 2012



FONT: ACA (2017c).

Aquesta disminució de l'extracció, quantificada en $60 \text{ hm}^3 \text{ any}^{-1}$, ha estat assumida bàsicament pels usos urbans i industrials, mentre que els usos agropecuaris s'han mantingut.

Estimativament, posar en reg 1.000 ha de secà amb dotacions de $1.000 \text{ a } 2.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ any}^{-1}$ requeriria una aportació d'aigua d'entre $1 \text{ i } 2 \text{ hm}^3 \text{ any}^{-1}$. Comparant amb grans sistemes de reg, com el Segarra-Garrigues amb unes 70.000 ha, per a la mateixa dotació es necessitarien entre $70 \text{ i } 140 \text{ hm}^3 \text{ any}^{-1}$. Per tant, a partir de l'estat i de l'índex d'exploració de les MAS, es pot concloure que no es podran suportar noves demandes de regadiu de la magnitud que planteja la reconversió de milers d'hectàrees, amb aigua subterrània. Menys encara si tenim en compte l'escenari de canvi climàtic actual i futur, en el qual: 1) podem tenir episodis de sequera sense que hi hagi situacions climatològiques gaire excepcionals, com ja ha succeït, amb dèficits de pluja del 20-30% o amb la recurrència de períodes secs, i 2) la disponibilitat d'aigua superficial i subterrània disminuirà a tot Catalunya, tal com preveu el *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* (Martín-Vide, coord., 2016), i afectarà de manera desigual el territori, i es pot arribar a reduccions elevades dels recursos hídrics disponibles, en determinades zones.

Tanmateix, atès que la planificació hidrològica es desenvolupa a sis anys vista, és a dir, a curt termini, no s'espera una situació diferent de l'actual per al proper cicle

del PGDCFC. Això encara és més vàlid per a les aigües subterrànies, on les dinàmiques i els processos són més lents. No obstant això, caldrà fer un seguiment acurat dels paràmetres que intervenen en el balanç hídric de cada MAS, així com dels indicadors del canvi climàtic, per a contrastar l'evolució real. Pel que fa a la gestió actual, cal reservar les aigües subterrànies per a cobrir l'ús prioritari d'abastament, sense deixar d'atendre altres usos.

Ara bé, la previsible evolució negativa dels recursos hídrics «convencionals» obre la porta al veritable foment de la reutilització de l'aigua regenerada, és a dir, a un aprofitament planificat de l'efluent de les més de 500 estacions depuradores que hi ha a Catalunya, degudament tractat. Actualment, ja s'utilitza amb èxit en diferents zones per a reg agrícola. El programa de mesures que està desenvolupant l'ACA per al període 2022-2027 preveu arribar als 100 hm³ any⁻¹ amb una aposta decidida per la construcció i pel manteniment de plantes de regeneració d'aigua, així com per la potenciació del paper dels ens locals responsables dels sistemes de depuració. S'obrirà un futur immediat en què l'aigua regenerada contribuirà a reforçar els regadius.

Quant a la reconversió de secà a regadiu, si es plantejés una reducció molt important de la demanda a centenars i potser fins a un o dos milers d'hectàrees, es podria valorar aquesta opció a partir del context hidrogeològic i les alternatives existents. Seria fonamental disposar d'una descripció detallada de la demanda (situació, quantitat i distribució temporal) i una planificació seriosa des de l'inici i per fases, amb un bon seguiment i amb plans de contingència definits. Molt probablement, la solució seria múltiple i implicaria incorporar fonts d'aigua complementàries (aigües pluvials i reutilitzades), construir basses o dipòsits d'emmagatzematge i disposar de sistemes de reg d'eficiència molt alta. En qualsevol cas, els escenaris que cal plantejar han de ser compatibles amb l'ús estratègic de les aigües subterrànies per a garantir-ne l'abastament i considerar els possibles escenaris de canvi climàtic.

8. Serveis ecosistèmics dels secans

L'anàlisi dels serveis ecosistèmics, que podrien valorar-se com una determinada forma de productivitat dels sistemes agraris, requereix considerar en conjunt els recursos naturals, aigua i sòl, les espècies cultivades i la biodiversitat natural del propi sistema agrícola. La productivitat econòmica d'aquests recursos utilitzats és relativament fàcil de determinar i està relacionada amb els productes i els rendiments obtinguts. Estimar i donar un valor mesurable als serveis ecosistèmics, o a l'estructura social i cultural, és més difícil, i escalar-lo a la productivitat econòmica requereix consideracions espacials i temporals. El valor econòmic d'un producte s'obté de manera immediata en vendre'l. Donar un valor econòmic, per exemple, a la reducció de l'erosió del sòl és més complex. Si observem la

literatura de les darreres dècades, el missatge i la conclusió general sobre l'impacte ambiental de les pràctiques agrícoles són clarament negatius. El problema és que hi ha massa arguments que no consideren holísticament l'actitud de l'espècie humana en el planeta. Cal destacar que és bastant difícil cultivar per a una població creixent i acostumada a disposar, cada vegada més, d'una oferta alimentària més gran, més diversa, més estable i de més qualitat sense un impacte ambiental. Una visió positiva és reconèixer que les pràctiques agrícoles es fan per a produir aliments i que es poden emprar variants menys lesives i optimitzades que permeten una producció més sostenible sempre tenint ben present que, en els secans, el màxim factor limitant de la seva productivitat és l'aigua i, molt especialment, el seu ús eficient (Cantero-Martínez, Angàs i Lampurlanés, 2007).

Els secans, tant per la baixa productivitat com per l'extensió i la connectivitat amb les grans àrees forestals del país, tenen una importància elevada en la productivitat ecosistèmica, que, malauradament, no té cost directe, però sí un valor elevat per a la societat, com són la regulació dels cicles de l'aigua i nutrients (Savé *et al.*, 2012), la fixació de carboni (Funes *et al.*, 2019; CARBOCERT, 2020; Álvaro-Fuentes *et al.*, 2011 i 2012; Pareja-Sánchez *et al.*, 2020), el control de l'erosió (Stewart i Robinson, 1997), la reducció del perill d'incendi forestal (Savé *et al.*, 2020), el manteniment de la biodiversitat natural (Cowie *et al.*, 2011; Squires, Kumar Gaur i Attia-Ismail, 2019) i la cabdal estructuració social del país, mitjançant el manteniment dels assentaments actius i funcionals de la població (Aldomà, 2009).

Així, el cicle de l'aigua i la capacitat de retenció de l'aigua del sòl són vitals per al funcionament eficient del sistema agrari, i condicionen la resposta a nutrients fonamentals com el nitrogen. La resposta a la fertilització en aquestes condicions és marcada per les tècniques de maneig del sòl (Cantero-Martínez *et al.*, 2016; Quemada i Gabriel, 2016) i les pràctiques de fertilització. Optimitzar aquesta combinació és fonamental en els secans. L'aigua i el sòl també regulen la pèrdua per lixiviació dels nutrients més mòbils, que és diferent en funció del tipus de secà i del tipus de sòl. En els secans àrids i semiàrids, la lixiviació és inexistent o molt limitada estacionalment per a un cicle de l'aigua que no permet la percolació profunda (Angàs, Lampurlanés i Cantero-Martínez, 2006) i, en els secans més humits, hi ha risc que aquesta percolació comporti contaminació (per exemple, per nitrats). També l'aigua condiciona la biodiversitat en les zones de secà. Així, determinades pràctiques de maneig del sòl, junt amb una oferta d'aigua més gran, poden contribuir a produir una disponibilitat tròfica més elevada per a aus i fauna major (VanBeek, Brawn i Ward, 2014; Cardador *et al.*, 2015), com en el cas de guarets no llaurats i guarets sembrats. La biodiversitat del sòl (macro- i microbiota) es veu també afectada positivament per algunes pràctiques de maneig de sòls com els sistemes de conservació o d'altres (Cantero-Martínez *et al.*, 2004; Madejón *et al.*, 2009; Álvaro-Fuentes *et al.*, 2013; Henneron *et al.*, 2015; Briones i Schmidt, 2017).

9. Conclusions

Els secans són i seran el lloc per a la majoria dels nostres conreus, fins i tot sota les projeccions més negatives de la realitat climàtica. Alguns regadius amb dotació baixa podran passar períodes més o menys llargs de restricció hídrica, cosa que limitarà o impossibilitarà el reg. Tot i que cal i caldrà considerar les fonts d'aigua subterrànies i regenerades, és important tenir molt presents les seves limitacions en quantitat, qualitat i disponibilitat geogràfica, junt amb el sobrecost ambiental que en representa l'ús, tant pel que fa a la petjada de carboni com a la petjada hídrica, i el sobrecost social, ja que aquestes fonts són l'única reserva per a les situacions més extremes en les quals l'ús de boca és prioritari.

Per tant, cal valorar els secans per la seva producció, que es pot estabilitzar o, inclús, incrementar aplicant de manera intel·ligent l'agronomia. És a dir, aplicant amb sentit comú la tecnologia, fruit del coneixement científic, cosa que permetria evitar errors, com els que s'han generat en els darrers cinquanta anys, en què ens hem oblidat del sòl.

Bibliografia

- AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (ACA) (2017a). *Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial de Catalunya i Programa de mesures. 2016-2021: Document de síntesi: Gener 2017* [en línia]. Barcelona: ACA: Generalitat de Catalunya. <http://aca.gencat.cat/web/content/30_Plans_i_programes/10_Pla_de_gestio/02-2n-cicle-de-planificacio-2016-2021/destacat/01_Document_sintesi_PdG_2ncicle_ca.pdf> [Consulta: desembre 2020].
- (2017b). «8. Terminis de compliment d'objectius i exempcions». A: *Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial de Catalunya: 2016-2021* [en línia]. Barcelona: ACA: Generalitat de Catalunya, p. 314-344. <http://aca.gencat.cat/web/content/30_Plans_i_programes/10_Pla_de_gestio/02-2n-cicle-de-planificacio-2016-2021/bloc1/101_pdg2_plagestio_dfc.pdf> [Consulta: desembre 2020].
- (2017c). *Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial de Catalunya: 2016-2021*. Annex IV: *Recursos subterranis i la seva explotació* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya: ACA. <http://aca.gencat.cat/web/content/30_Plans_i_programes/10_Pla_de_gestio/02-2n-cicle-de-planificacio-2016-2021/bloc1/105_pdg2_annexIV.pdf> [Consulta: desembre 2020].
- (2017d). *Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial de Catalunya: 2016-2021*. Annex VII: *Estat de les masses d'aigua i termini d'assoliment d'objectius* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya: ACA. <http://aca.gencat.cat/web/content/30_Plans_i

- _programes/10_Pla_de_gestio/02-2n-cicle-de-planificacio-2016-2021/bloc1/107_pdg2_annexVII.pdf> [Consulta: desembre 2020].
- ACCUA (2011). *Adaptacions al canvi climàtic en l'ús de l'aigua: Memòria final 2011* [en línia]. CX Catalunya Caixa Obra Social. <http://www.creaf.uab.cat/accua/ACCUA_tecnica_internet.pdf> [Consulta: desembre 2020].
- ALDOMÀ, I. (2009). *Atles de la nova ruralitat* [en línia]. Les Borges Blanques: Fundació del Món Rural. 264 p. <<https://www.calameo.com/books/00061431026388e1375b5>> [Consulta: desembre 2020].
- ALTAVA-ORTIZ, V.; BARRERA-ESCODA, A. (2020). *Escenaris climàtics regionalitzats a Catalunya (ESCAT-2020): Projeccions estadístiques regionalitzades a 1 km de resolució espacial (1971-2050)* [en línia]. Resum executiu. Informe tècnic. Barcelona: Servei Meteorològic de Catalunya: Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat, p. 32. <https://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2020/09/29205506/Projeccions_ESCAT_2020_FINAL.pdf> [Consulta: desembre 2020].
- ÁLVARO-FUENTES, J.; EASTER, M.; CANTERO-MARTÍNEZ, C.; PAUSTIAN, K. (2011). «Modelling soil organic carbon stocks and their changes in the northeast of Spain». *European Journal of Soil Science*, vol. 62 (5), p. 685-695.
- ÁLVARO-FUENTES, J.; LAMPURLANÉS, J.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. (2009). «Alternative crop rotations under Mediterranean no-tillage conditions: Biomass, grain yield and water-use efficiency». *Agronomy Journal*, vol. 101, p. 1227-1234.
- ÁLVARO-FUENTES, J.; MORELL, F.; MADEJÓN, E.; LAMPURLANÉS, J.; ARRÚE, J. L.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. (2013). «Soil biochemical properties in a semiarid Mediterranean agroecosystem as affected by long-term tillage and N fertilization». *Soil and Tillage Research*, vol. 129, p. 69-74.
- ÁLVARO-FUENTES, J.; MORELL, F.; PLAZA-BONILLA, D.; ARRÚE, J. L.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. (2012). «Modelling tillage and nitrogen fertilization effects on soil organic carbon dynamics». *Soil and Tillage Research*, vol. 120, p. 32-39.
- ÁLVARO-FUENTES, J.; PLAZA-BONILLA, D.; ARRÚE, J. L.; LAMPURLANÉS, J.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. (2014). «Soil organic carbon storage in a no-tillage chronosequence under Mediterranean conditions». *Plant and Soil*, vol. 376, p. 31-41.
- ANDERSON, E. A. (2002). *Calibration of conceptual hydrologic models for use in river forecasting* [en línia]. National Weather Service. 372 p. <https://www.weather.gov/media/owp/oh/hrl/docs/1_Anderson_CalbManual.pdf> [Consulta: 21 desembre 2020].
- ANGÁS, P.; LAMPURLANÉS, J.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. (2006). «Tillage and N fertilization: Effects on N dynamics in barley yield under semiarid Mediterranean conditions». *Soil and Tillage Research*, vol. 87, p. 59-71.

- AUSTIN, R. B.; CANTERO-MARTÍNEZ, C.; ARRÚE, J. L.; PLAYÁN, E.; CANO-MARCELLÁN, P. (1998). «Yield-rainfall relationships in cereal cropping systems in the Ebro River Valley of Spain». *European Journal of Agronomy*, vol. 8, p. 239-246.
- BLANCO-CANQUI, H.; SHAVER, T. M.; LINDQUIST, J. L.; SHAPIRO, C. A.; ELMORE, R. W.; FRANCIS, C. A.; HERGERT, G. W. (2015). «Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils». *Agronomy Journal*, vol. 107, p. 2449-2474.
- BRIONES, M. J.; SCHMIDT, O. (2017). «Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis». *Global Change Biology*, vol. 23, p. 4396-4419.
- BURNASH, R. J. C. (1995). «The National Weather Service River Forecast System—Catchment modeling». A: SINGH, V. P. (ed.). *Computer models of watershed hydrology*. Colorado: Water Resources Publications, p. 311-366.
- BURNASH, R. J. C.; FERRAL, R. L.; MCGUIRE, R. A. (1973). *A generalized streamflow simulation system: Conceptual models for digital computers*. Sacramento: Joint Federal and State River Forecast Center: U. S. National Weather Service: California Department of Water Resources Tech. Rep. 204 p.
- CANTERO-MARTÍNEZ, C.; ANGÁS, P.; LAMPURLANÉS, J. (2007). «Long-term yield and water-use efficiency under various tillage systems in Mediterranean rainfed conditions». *Annals of Applied Biology*, vol. 150, p. 293-307.
- CANTERO-MARTÍNEZ, C.; OJEDA, L.; ANGÁS, P.; SANTIVERI, P. (2004). «Técnicas de laboreo del suelo en zonas de secano semiárido: efectos sobre la población de lombrices». *Agricultura*, núm. 866, p. 724-728.
- CANTERO-MARTÍNEZ, C.; PLAZA-BONILLA, D.; ANGÁS, P.; ÁLVARO-FUENTES, J. (2016). «Best management practices of tillage and nitrogen fertilization in Mediterranean rainfed conditions: Combining field and modelling approaches». *European Journal of Agronomy*, vol. 79, p. 119-130.
- CARBOCERT (2020). *Guía de buenas prácticas agrarias CARBOCERT: Secuestro de carbono y mejora de los suelos en cultivos agrícolas mediterráneos* [en línea]. Carbocert. <https://guiacarbocert.es/wp-content/uploads/2020/08/guia%20carbocert%20para_web.pdf> [Consulta: 11 desembre 2020].
- CARDADOR, L.; CÁCERES, M. de; GIRALT, D.; BOTA, G.; AGUILUE, N.; ARROYO, B.; MOUGEOT, F.; CANTERO-MARTÍNEZ, C.; VILADOMIU, L.; ROSELL, J.; CASAS, F.; ESTRADA, J.; ÁLVARO-FUENTES, J.; BROTONS, L. (2015). «Tools for exploring habitat suitability for steppe birds under land use change scenarios». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 200, p. 19-125.
- COWIE, A. L.; PENMAN, T. D.; GORISSEN, L.; WINSLOW, M. D.; LEHMANN, J.; TYRRELL, T. D.; TWOMLOW, S.; WILKES, A.; LAL, R.; JONES, J. W.; PAULSCH, A.; KELLNER, K.; AKHTAR-SCHUSTER, M. (2011). «Towards sustainable land management in the drylands: Scien-

- tific connections in monitoring and assessing dryland degradation, climate change and biodiversity». *Land Degradation and Development*, núm. 22, p. 248-260. També disponible en línia a <<http://css.cornell.edu/faculty/lehmann/pictures/publ/LandDegradDev%2022,%20248-260,%202011%20Cowie.pdf>> [Consulta: 21 desembre 2020].
- DEPARTAMENT D'AGRICULTURA, RAMADERIA, PESCA I ALIMENTACIÓ (DARP) (2020, actual. 26 juny 2020). «Distribució general de la superfície de Catalunya. Any 2019. Per ús i comarca» [en línia]. <http://agricultura.gencat.cat/web/.content/de_departament/de02_estadistiques_observatoris/02_estructura_i_produccio/00_distribucio_general_superficie_catalunya/documents/fitxers_estatics/Distrib-sol-2019-DEFINITIU.pdf> [Consulta: 23 novembre 2020].
- DIEZ-PALET, I.; FUNES, I.; SAVÉ, R.; BIEL, C.; HERRALDE, F. de; MIARNAU, X.; VARGAS, F.; ÁVILA, G.; CARBÓ, J.; ARANDA, X. (2019). «Blooming under Mediterranean climate: Estimating cultivar-specific chill and heat requirements of almond and apple trees using a statistical approach». *Agronomy*, vol. 9 (11), p. 760. DOI: 10.3390/agronomy9110760.
- DOCE (2000). «Directiva 2000/60/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 23 d'octubre de 2000, per la qual s'estableix el marc comunitari d'actuació en l'àmbit de la política d'aigües». *Diari Oficial de les Comunitats Europees* [en línia], L 327, p. 1-72. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32000L0060>> [Consulta: febrer 2021].
- DOGC (2017). «Decret 1/2017, de 3 de gener, pel qual s'aprova el Pla de gestió del districte de conca fluvial de Catalunya per al període 2016-2021». *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya* [en línia], núm. 7281 (5 gener). <http://portaljuridic.gencat.cat/ca/pjur_ocults/pjur_resultats_fitxa/?action=fitxa&documentId=770822&language=ca_ES&textWords=Decret%252031%2F2009&mode=single> [Consulta: febrer 2021].
- DOUE (2006). «Directiva 2006/118/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 12 de desembre de 2006, relativa a la protecció de les aigües subterrànies contra la contaminació i el deteriorament». *Diari Oficial de la Unió Europea* [en línia], L 372, p. 19-31. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/LSU/?uri=CELEX:32006L0118>> [Consulta: febrer 2021].
- EUROPEAN STATE OF THE CLIMATE (2019). *Copernicus Climate Change Service: Full report* [en línia]. <<http://climate.copernicus.eu/ESOTC/2019>> [Consulta: 9 desembre 2020].
- FERERES, E. (1989). «Alternativas a los cultivos herbáceos en secano». A: *Jornadas sobre el futuro del secano aragonés*. Diputación General de Aragón.
- FUNES, I., HERRALDE, F. de; ARANDA, X.; JIMÉNEZ, J.; AGUADÉ, D.; PROHOM, M.; BARRERA-ESCODA, A.; ALTAVA-ORTIZ, V.; SAVÉ, R. (2020). «La disponibilitat de l'aigua al sòl com a eina per a l'adaptació de la viticultura al canvi climàtic». *Quaderns Agraris*, núm. 49, p. 35-52. ISSN: 0213-0319. DOI: 10.2436/20.1503.01.116.

- FUNES, I.; SAVÉ, R.; ROVIRA, P.; MOLOWNY-HORAS, R.; ALCAÑIZ, J. M.; ASCASO, E.; HERMS, I.; HERRERO, C.; BOIXADERA, J.; VAYREDA, J. (2019). «Agricultural soil organic carbon stocks in the North-Eastern Iberian Peninsula: Drivers and spatial variability». *Science of the Total Environment*, vol. 668, p. 283-294. També disponible en línia a <<http://DOI:10.1016/j.scitotenv.2019.02.317>> [Consulta: 21 desembre 2020].
- GRUP CERES - IRTA (2017). «Visió IRTA sobre la gestió de l'aigua a Catalunya. Apunts per a una gestió global eficient». *Visió IRTA* [en línia] [IRTA: Barcelona], núm. 1 (juny). <http://www.irta.cat/wp-content/uploads/2018/03/Aigua_v3.pdf> [Consulta: 9 desembre 2020].
- HAMBLIN, J. (1987). «Grains legumes in Australia». A: *Proceedings of the Fourth Australian Agronomy Conference 1987*. Erina (Nova Galles del Sud, Austràlia): The Regional Institute.
- HENNERON, L.; BERNARD, L.; HEDDE, M.; PELOSI, C.; VILLENAVE, C.; CHENU, C.; BERTRAND, M.; GIRARDIN, C.; BLANCHART, E. (2015). «Fourteen years of evidence for positive effects of conservation agriculture and organic farming on soil life». *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 35, p. 169-181.
- KOREN, V. I.; FINNERTY, B. D.; SCHAAKE, J. C.; SMITH, M. B.; SEO, D. J.; DUAN, Q. Y. (1999). «Scale dependencies of hydrologic models to spatial variability of precipitation». *Journal of Hydrology*, vol. 217, p. 285-302. També disponible en línia a <[http://doi:10.1016/S0022-1694\(98\)00231-5](http://doi:10.1016/S0022-1694(98)00231-5)> [Consulta: 21 desembre 2020].
- KROPFF, M. J.; BOUMA, J.; JONES, J. W. (2001). «Systems approaches for the design of sustainable agro-ecosystems». *Agricultural Systems*, vol. 70, p. 369-393.
- LAL, R. (2015). «A system approach to conservation agriculture». *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 70, p. 83-88. També disponible en línia a <<http://DOI:10.2489/jswc.70.4.82A>> [Consulta: 9 desembre 2020].
- LAMPURLANÉS, J.; ANGÁS, P.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. (2002). «Tillage effect on water storage efficiency during fallow, and soil water content, root growth and yield of the following barley crop on two different soils in semiarid conditions». *Soil and Tillage Research*, vol. 65, p. 207-220.
- LAMPURLANÉS, J.; PLAZA-BONILLA, D.; ÁLVARO-FUENTES, J.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. (2016). «Long-term analysis of soil water conservation and crop yield under different tillage systems in Mediterranean rainfed conditions». *Field Crops Research*, vol. 189, p. 59-67.
- LOOMIS, R.; CONNOR, D. J. (1992). *Crop ecology: Productivity and management in agricultural systems*. Londres: Cambridge University Press.
- LOPEZ-BUSTINS, J. A. (2007). *The Western Mediterranean oscillation and rainfall in the Catalan countries*. Tesi doctoral. Barcelona: Universitat de Barcelona. 184 p. També disponible en línia a <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1953/19.JALB_references_ENG.pdf?sequence=19&isAllowed=y> [Consulta: 9 desembre 2020].

- MADEJÓN, E.; MURILLO, J. M.; MORENO, F.; LÓPEZ, M. V.; ARRÚE, J. L.; ÁLVARO-FUENTES, J.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. (2009). «Effect of long-term conservation tillage on soil biochemical properties in Mediterranean Spanish areas». *Soil and Tillage Research*, vol. 105, p. 55-62.
- MARTÍN-VIDE, J. (coord.) (2016). *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya: Institut d'Estudis Catalans. <<http://cads.gencat.cat/ca/detalls/detallarticle/Tercer-informe-sobre-el-canvi-climatic-a-Catalunya-00003>> [Consulta: 29 octubre 2019].
- MATSON, P. A.; PARTON, W. J.; POWER, A. G.; SWIFT, M. J. (1997). «Agricultural intensification and ecosystem properties». *Science*, vol. 277, p. 504.
- MEDACC (2019). «Projecte LIFE MEDACC: Adaptant la Mediterrània al canvi climàtic?» [en línia]. <<http://medacc-life.eu/ca/adaptant-la-mediterrania-al-canvi-climatic>> [Consulta: 9 desembre 2020].
- MEDITERRANEAN EXPERTS ON CLIMATE AND ENVIRONMENTAL CHANGE (MEDECC) (2020). *Climate and environmental change in the Mediterranean basin – current situation and risks for the future: First Mediterranean assessment report*. Edició a cura de W. Cramer, J. Guiot i K. Marini. Marsella: Union for the Mediterranean: Plan Bleu: UNEP/MAP. 600 p. També disponible en línia a <<https://www.medecc.org/first-mediterranean-assessment-report-mar1/>> [Consulta: febrer 2021].
- NOVARA, A.; STALLONE, G. M.; CERDÀ, A.; GRISTINA, L. (2019). «The effect of shallow tillage on soil erosion in a semi-arid vineyard». *Agronomy* [en línia], vol. 9 (5), p. 257. <<http://doi:10.3390/agronomy9050257>> [Consulta: 9 desembre 2020].
- PAREJA-SÁNCHEZ, E.; CANTERO-MARTÍNEZ, C.; ÁLVARO-FUENTES, J.; PLAZA-BONILLA, D. (2020). «Soil organic carbon sequestration when converting a rainfed cropping system to irrigated corn under different tillage systems and N fertilizer rates». *Soil Science Society of America Journal*, vol. 84, p. 1219-1236.
- PETERSON, G.; WESTFALL, D.; SCHIPANSKI, M.; FONTE, S. (2020). «Soil and crop management systems that ameliorate damage caused by decades of dryland agroecosystem mismanagement». *Agronomy Journal*, vol. 112, p. 3227-3238.
- QUEMADA, M.; GABRIEL, J. L. (2016). «Approaches for increasing nitrogen and water use efficiency simultaneously». *Global Food Security*, vol. 9, p. 29-35.
- REGUANT, F.; SAVÉ, R. (2016). «Disponibilidad alimentaria y desarrollo global sostenible». A: COLOMER XENA, Y.; CLOTET BALLÚS, R.; GONZÁLEZ VAQUÉ, L. (coord.). *El sistema alimentario: Globalización, sostenibilidad, seguridad y cultura alimentaria*. Cizu Menor (Navarra): Thomson Reuters Aranzadi. 572 p. (DUO Estudios Aranzadi). ISBN 978-84-9135-267-9.
- SAVÉ, R. (2019). «Agricultura en un ambient d'elevada incertesa» [en línia]. Ponència a la jornada *Realitat climàtica = Emergència social* (Espai Veïnal Calàbria 66, Barcelona,

- 6 d'abril de 2019). <<https://www.youtube.com/watch?v=3vSyCgO3gqQ&list=PLoQeaTESpaqKnmis9DKGIgC3hMziOn8I2&index=13>> [Consulta: 9 desembre 2020].
- SAVÉ, R.; HERRALDE, F. de; ARANDA, X.; PLA, E.; PASCUAL, D.; FUNES, I.; BIEL, C. (2012). «Potential changes in irrigation requirements and phenology of maize, apple trees and alfalfa under global change conditions in Fluvià watershed during XXIst century: Results from a modeling approximation to watershed-level water balance». *Agricultural Water Management*, núm. 114, p. 78-87.
- SAVÉ, R.; PROHOM, M.; CASTELLNOU, M.; ESPELTA, J. M.; HERRALDE, F. de (2020). *Jornada Climavit21: Una eina integral per a la vinya en el territori* [en línia]. IRTA. <<https://transferencia.irta.cat/activitats/jornada-climavit-21/#section-352-158>> [Consulta: 9 desembre 2020].
- SMITH, P. (2004). «Carbon sequestration in croplands: The potential in Europe and the global context». *European Journal of Agronomy*, vol. 20 (3), p. 229-236.
- SQUIRES, V.; KUMAR GAUR, M.; ATTIA-ISMAIL, S. (2019). *Drylands, biodiversity, management and conservation*. Nova. ISBN: 978-1-53615-896-0.
- STEWART, B. A.; ROBINSON, C. A. (1997). «Are agroecosystems sustainable in the arid systems?». *Advances in Agronomy*, vol. 40, p. 191-228.
- TERRADAS, J. (2010). *Ecologia viscuda*. València: Publicacions de la Universitat de València. 456 p. ISBN: 978-84-370-7411-5.
- TERRADAS, J.; SAVÉ, R. (1992). «The influence of summer and winter stress and water relationships on the distribution of *Quercus ilex* L.». *Vegetatio*, vol. 99-100, p. 137-145.
- VANBEEK, K. R.; BRAWN, J. D.; WARD, M. P. (2014). «Does no-till soybean farming provide any benefits for birds?». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 185, p. 59-64.