
LA DISPONIBILITAT DE L'AIGUA AL SÒL COM A EINA PER A L'ADAPTACIÓ DE LA VITICULTURA AL CANVI CLIMÀTIC

**Inmaculada Funes,¹ Felicidad de Herralde,¹ Xavier Aranda,¹
Josep Jiménez,² David Aguadé,¹ Marc Prohom,³ Antoni Barrera-
Escoda,³ Vicent Altava-Ortiz,⁴ Robert Savé¹**

1. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA),
Caldes de Montbui
2. Juvé & Camps, Sant Sadurní d'Anoia
3. Àrea de Climatologia, Servei Meteorològic de Catalunya (SMC),
Barcelona
4. Àrea de Recerca Aplicada i Modelització, Servei Meteorològic
de Catalunya (SMC), Barcelona

REBUT: 6 d'abril de 2020 - ACCEPTAT: 20 de juny de 2020

RESUM

A la regió mediterrània s'espera que l'agricultura es vegi fortament impactada pels augments de temperatura i les sequeres que es preveuen com a conseqüència del canvi climàtic (CC) generat pels gasos amb efecte d'hivernacle (GEH). Ambdós fets incideixen directament en el cicle del cultiu, les seves demandes hídriques i en els seus rendiments. Es fan necessàries decisions estratègiques d'ampli abast d'adaptació i de mitigació del CC, dirigides a millorar la gestió de l'aigua. En aquest estudi s'han estimat les necessitats hídriques netes (NHN) fins a final de segle en dos escenaris de CC per al parcel·lari de vinya de l'empresa Juvé & Camps a l'Alt Penedès. Els resultats de les projeccions futures de la temperatura i la precipitació segons els models estudiats mostren que el tipus de sòl i, especialment, la seva capacitat de retenció d'aigua disponible per a les plantes poden ser determinants en el futur per a poder satisfer, o no, de manera òptima, les necessitats hídriques de la vinya a l'Alt Penedès. En general, els valors mitjans anuals d'NHN

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.

es veuran incrementats al llarg de tot el segle i sobretot a partir de mitjan segle, juntament amb un augment de la variabilitat interanual; tot plegat indica que la viticultura de secà es troba i es trobarà davant problemes importants associats al CC, com ara la sequera. El repte agronòmic més important serà fer front a la incertesa, la qual cosa només es pot fer des de la tecnificació del secà per a poder arribar a conèixer les condicions edafoclimàtiques en les quals creix i es desenvolupa la vinya.

PARAULES CLAU: canvi climàtic, viticultura de secà, capacitat de retenció d'aigua disponible, projeccions climàtiques, necessitats hídriques, Alt Penedès.

LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL SUELO COMO HERRAMIENTA PARA LA ADAPTACIÓN DE LA VITICULTURA AL CAMBIO CLIMÁTICO

RESUMEN

En la región mediterránea se espera que la agricultura se vea altamente impactada por los aumentos de temperatura y sequías que se prevén como consecuencia del cambio climático (CC) generado por los gases de efecto invernadero. Estos factores inciden directamente en el ciclo del cultivo, en sus demandas hídricas y en sus rendimientos. Se hacen sobre todo necesarias decisiones estratégicas de amplio alcance en cuanto a la adaptación y mitigación del CC, dirigidas a mejorar la gestión del agua. En este estudio se han estimado las necesidades hídricas netas (NHN) hasta final de siglo en dos escenarios de CC para el parcelario de vid de la empresa Juvé & Camps en el Alt Penedès. Los resultados sobre las proyecciones futuras de la temperatura y la precipitación según los modelos estudiados muestran que el tipo de suelo y, especialmente, su capacidad de retención de agua disponible para las plantas pueden ser determinantes en el futuro para poder alcanzar o no, de manera óptima, las necesidades hídricas de la vid a pie de planta en el Alt Penedès. En general, los valores medios anuales de NHN se verán incrementados a lo largo de todo el siglo y sobre todo a partir de mediados de siglo, junto con un aumento de la variabilidad interanual; todo ello indica que la viticultura de secano se encuentra y se encontrará ante importantes problemas asociados al CC, como la sequía. El mayor reto agronómico será lidiar con la incertidumbre, lo cual solo se puede hacer desde la tecnificación del secano para poder llegar a conocer las condiciones edafoclimáticas en las que crece y se desarrolla la vid.

PALABRAS CLAVE: cambio climático, viticultura de secano, capacidad de retención de agua disponible, proyecciones climáticas, necesidades hídricas, Alt Penedès.

**SOIL WATER AVAILABILITY AS A TOOL FOR ADAPTING
VITICULTURE TO CLIMATE CHANGE**

ABSTRACT

In the Mediterranean region, agriculture is expected to be highly affected by temperature increases and droughts resulting from climate change (CC), which have a direct effect on crop cycles, crop water demands and crop yields. Above all, decisions are required to address the improvement of water management within the framework of wide-ranging CC adaptation and mitigation strategies. In this study, net water requirements (NWRs) were estimated at the end of the century in two CC scenarios for the vine plot of the Juvé & Camps company in the Alt Penedès region. The results of future projections of soil type and, particularly, available soil-water holding capacity may be decisive in the future to optimally meet vine water requirements in the Alt Penedès region. Generally, the mean annual NWR values will increase over the course of the century and above all as from the mid-century, which together with a growth in interannual variability means that rain-fed viticulture faces and will be facing major problems associated with CC, such as drought. The biggest agronomic challenge will be how to deal with uncertainty, which can only be done by means of rain-fed cropland technification in order to learn more about the real edaphoclimatic conditions under which the grapevines grow and develop.

KEYWORDS: climate change, rain-fed viticulture, available soil-water holding capacity, climatic projections, water requirements, Alt Penedès.

1. INTRODUCCIÓ

En escenaris futurs de canvi climàtic (CC), l'àrea mediterrània es destaca com un «punt calent» a causa de l'augment dràstic de la temperatura i la disminució de les precipitacions (IPCC, 2014; IPCC, 2019; MedECC, 2019), que donarà lloc a reduccions importants de la disponibilitat d'aigua (Pascual *et al.*, 2015; Cramer *et al.*, 2018).

A la regió mediterrània de Catalunya (NE de la península Ibèrica; 41°21'55" N, 1°40'55" E), i d'acord amb el *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* (TICCC) (Generalitat de Catalunya i Institut d'Estudis Catalans, 2016), la precipitació anual mitjana en aquesta regió disminuirà aproximadament un 9% fins al 2050, mentre que el canvi de temperatura serà al voltant de +1,4 °C fins a mitjan segle amb els valors de la temperatura màxima i mínima que mostren una clara tendència positiva. Aquestes tendències s'estimen més dràstiques per al Pirineu i l'àrea interior que no pas per a la zona costanera de Catalunya.

El sistema agrari resultarà força afectat pel CC, ja que la temperatura i la disponibilitat d'aigua són claus per a la producció vegetal (Phogat *et al.*, 2018; Ruiz-Ramos *et al.*, 2018). A l'àrea mediterrània, s'espera que l'agricultura es vegi altament afectada per aquests valors de la temperatura més elevats i extrems, les sequeres i/o la salinitat del sòl (MedECC, 2019), els quals incideixen en la fenologia i en el cicle de creixement de les plantes (Trnka *et al.*, 2011; Caubel *et al.*, 2015; Funes *et al.*, 2016), provoquen demandes més elevades d'aigua (Savé *et al.*, 2012; Girard *et al.*, 2015; Phogat *et al.*, 2018; Saadi *et al.*, 2015; Valverde *et al.*, 2015; Zhao *et al.*, 2015) davant una escassetat més gran d'aigua (Vicente-Serrano *et al.*, 2017; Zabalza-Martínez *et al.*, 2018), cosa que comporta rendiments quantitius i qualitius més baixos (Olesen i Bindi, 2002; Saadi *et al.*, 2015; Zhao *et al.*, 2015; Ruiz-Ramos *et al.*, 2018), entre altres possibles efectes.

La disponibilitat i les demandes futures d'aigua posen en dubte el model actual de gestió de l'aigua a l'agricultura, tant en regadiu com en secà, de manera que les decisions respecte de l'adaptació i la mitigació al CC han d'estar necessàriament dirigides a millorar la gestió de l'aigua amb accions estratègiques d'ampli abast (Allain *et al.*, 2018; Girona *et al.*, 2017). Segons l'Organització per a l'Alimentació i l'Agricultura de les Nacions Unides (FAO), l'agricultura climàticament intel·ligent suposa una estratègia per a adaptar-se i desenvolupar resiliència al CC i reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) agrícoles, mantenint alts rendiments i garantint la seguretat alimentària (FAO, 2013).

Aquest treball forma part del projecte GLOBALVITI, un projecte consorciat que pretén millorar la producció en el sector vitivinícol a enfront del CC a través de noves tecnologies, d'estratègies biotecnològiques i del maneig de la vinya. El celler Juvé & Camps¹ és una de les vuit empreses del consorci i l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA) és un dels centres de recerca; ambdues organitzacions formen equip.

Un dels objectius principals de GLOBALVITI és desenvolupar, amb pràctiques vitivinícoles convencionals i mitjançant indicadors biòtics i abiòtics, una adaptació de la viticultura al CC a partir de l'estudi de sèries històriques climàtiques i productives contrastades que proporcionin projeccions temporals realistes per a ajudar a prendre decisions agronòmiques.

Per això, una de les investigacions que s'ha dut a terme en el projecte i que es mostra en aquest treball és el càlcul de les necessitats d'aigua en les diferents parcel·les del celler Juvé & Camps, les quals tenen condicions edafoclimàtiques diferents ateses les diverses orientacions i latituds, i els tipus de sòls dins la comarca de l'Alt Penedès.

1. Per a més informació consulteu: <<https://www.juveycamps.com/ca/una-historia-centenaria/>> .

2. MATERIAL I MÈTODES

2.1. L'àrea i el període d'estudi

Les parcel·les en estudi es localitzen en dos sectors al nord de l'Alt Penedès: Sant Joan de Mediona - Canaletes (SJC) (a 489 m sobre el nivell del mar) i Sant Sadurní d'Anoia - Gelida (SSG) (a 176 m sobre el nivell del mar) de l'empresa Juvé & Camps (figura 1). A partir de les projeccions climàtiques de temperatura (màxima i mínima) i de precipitació efectuades pel Servei Meteorològic de Catalunya (SMC)² a alta resolució (píxels d'1 km²) per al segle XXI, s'estimen les necessitats hídriques netes (NHN) del cultiu de vinya dels píxels on s'ubiquen les parcel·les en estudi, les quals suposen un total de 16 píxels d'1 km².

Segons el mapa de sòls de Catalunya a escala 1:250000 (MSC250M) de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC),³ els tipus de sòls de cada sector seguint la classificació *soil taxonomy*⁴ són els següents:

- Sector SSG-Nord: Xerorthent típic i Haploxerept càlcic.
- Sector SSG-Sud: Haploxerept càlcic i Calcixerept típic.
- Sector SJC-Nord: Xerorthent típic i Haploxerept càlcic.
- Sector SJC-Sud: Xerorthent típic i Haploxerept càlcic.

2.2. Estimació de les necessitats hídriques netes

La metodologia emprada per al càlcul de les NHN segueix el document FAO-56⁵ (Allen *et al.*, 1998), i s'obté a partir d'estimar: l'evapotranspiració potencial (ET₀) segons Hargreaves-Samani; la precipitació efectiva (Pef) (Clarke, 1998); l'evapotranspiració potencial del cultiu (ETc) de la vinya mitjançant el coeficient de cultiu (kc) de la vinya (ACA i IRTA, 2008), i la capacitat de retenció d'aigua disponible al sòl per a les plantes o contingut màxim d'aigua disponible (CRAD, o TAW, de l'anglès *total available water*).

La figura 3 mostra un esquema del procés per a estimar les NHN a partir de les dades meteorològiques a escala diària per a cada píxel, per a dos períodes (passat i futur) i per a dos escenaris de canvi climàtic (RCP4.5 i RCP8.5). Primer, es calcula a escala diària l'ET₀ segons l'equació de Hargreaves-Samani i l'ETc amb el kc de la vinya. Després, per tal de fer un balanç men-

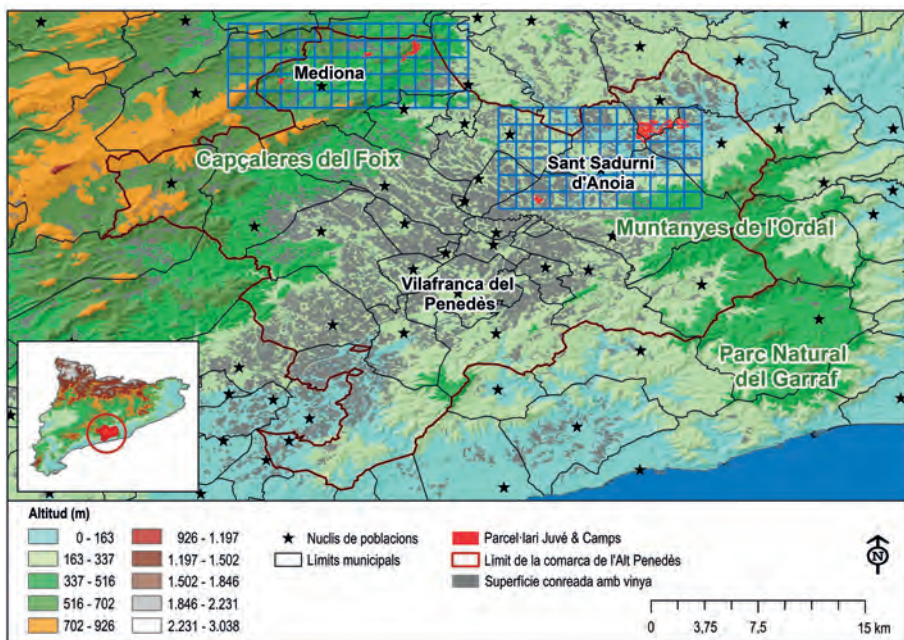
2. <<https://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/el-clima-dema/les-projeccions-climatiques-a-lsmc/>>.

3. <<https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Cartografia-geologica-i-geotematica/Cartografia-de-sols/Mapa-de-sols-1-250.000>>.

4. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/class/taxonomy/?cid=nrcs142p2_053577>.

5. <<http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>>.

FIGURA 1. Localització dels dos sectors estudiats al nord de la comarca de l'Alt Penedès



NOTA: Els dos sectors estudiats són Sant Joan de Mediona - Canaletes (SJC) (graella esquerra) i Sant Sadurn d'Anoia - Gelida (SSG) (graella dreta). Les graelles indiquen les àrees en les quals l'SMC ha calculat les projeccions climàtiques de temperatura (màxima i mínima) i precipitació; cada requadre representa un píxel d'1 km².

FONT: Elaboració pròpia a partir de la projecció UTM.

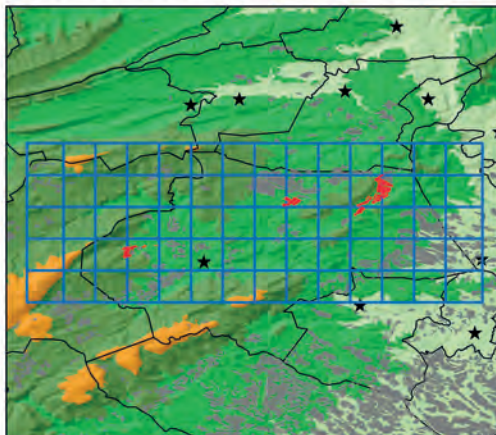
sual «cultiu-sòl-atmosfera», es fa el sumatori mensual dels mm de l'ETc i la Pef. L'objectiu d'aquest balanç mensual és determinar l'evapotranspiració real (ETr) en funció de: *i*) l'aigua que ha quedat emmagatzemada al sòl del mes anterior, és a dir, el contingut d'aigua al sòl (CAS), i *ii*) el sumatori mensual dels mm de Pef del mes en qüestió. El límit màxim per a CAS és determinat pel màxim d'aigua al sòl fàcilment assimilable pel cultiu de la vinya (AFA), que s'estima aplicant el factor d'esgotament *p* específic d'aquest cultiu a la CRAD del sòl. La CRAD mitjana ponderada per a l'Alt Penedès és de 115 mm segons l'MSC250M,⁶ sector Sant Sadurn d'Anoia 419-2-1 (70-31). A partir d'aquest mapa s'han considerat quatre tipus de sòls en funció de la CRAD: de 200, 165, 130 i 40 mm. Una vegada calculada l'ETr mensual, és a dir, el que el cultiu hauria transpirat realment, les NHN s'obtenen deduïnt

6. <<https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Serveis/Sols/GT-IV.-Mapa-de-sols-1-25.000>>.

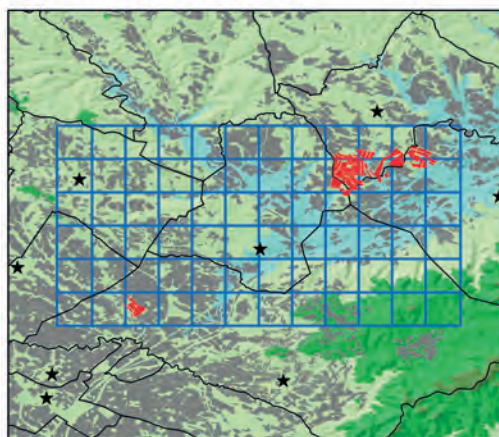
La disponibilitat de l'aigua al sòl com a eina per a l'adaptació de la viticultura

FIGURA 2. Detall de les parcel·les de Juvé & Camps (en vermell) dels dos sectors estudiats: Sant Joan de Mediona - Canaletes (SJC) i Sant Sadurní d'Anoia - Gelida (SSG)

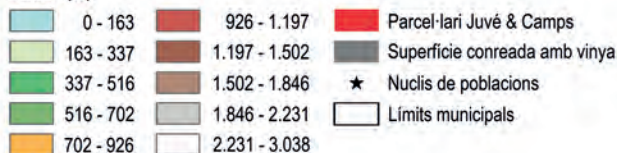
Sector Sant Joan de Mediona - Canaletes



Sector Sant Sadurní d'Anoia - Gelida



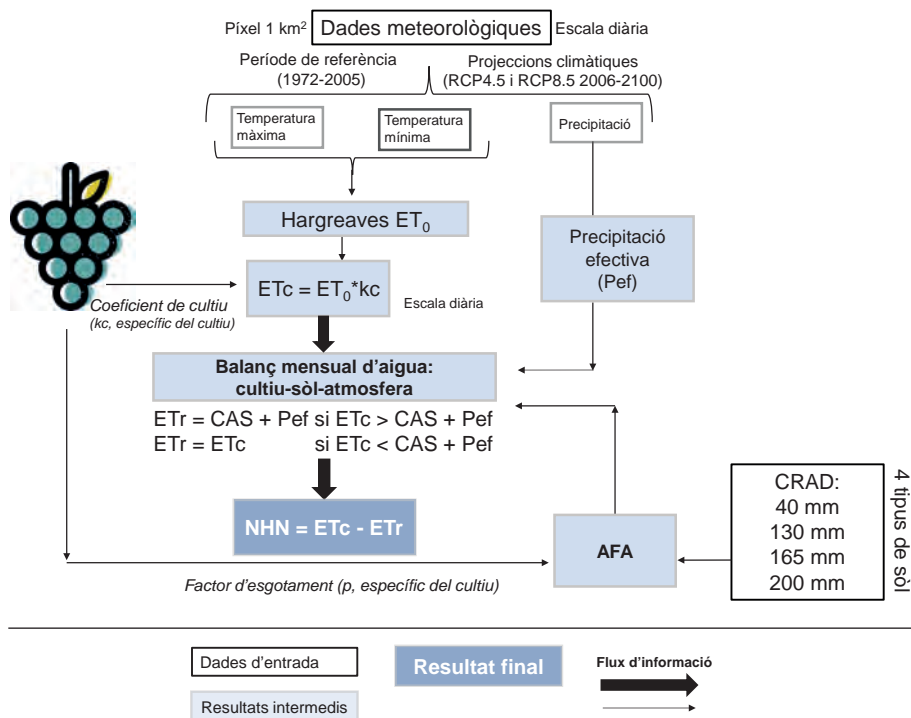
Altitud (m)



NOTA: Cada requadre representa un píxel d'1 km². Les parcel·les agrupades al nord-est del sector Sant Sadurní d'Anoia - Gelida són esmentades com a *parcel·les al nord del sector SSG* en l'apartat de resultats i en les figures 6 i 7.

FONT: Elaboració pròpia.

FIGURA 3. Esquema del càlcul de les necessitats hídriques netes (NHN) de la vinya per píxel a les parcel·les de Juvé & Camps



CRAD: contingut màxim d'aigua disponible al sòl per a les plantes; AFA: contingut màxim d'aigua fàcilment disponible al sòl per a la vinya ($AFA = CRAD * p$); ET_0 : evapotranspiració potencial de referència; ET_c : evapotranspiració potencial del cultiu de la vinya; kc : coeficient del cultiu de la vinya; ET_r : evapotranspiració real en un mes i ; RCP4.5 i RCP8.5: escenari de canvi climàtic moderat i intens, respectivament; CAS: contingut d'aigua al sòl en un mes i .

NOTA: El coeficient del cultiu (kc) s'ha estimat a partir de la corba adaptada d'ACA i IRTA (2008) considerant $10\text{ }^\circ\text{C}$ com a temperatura base (T_{base}) del cultiu de la vinya. ACA i IRTA (2008) assumeixen com a T_{base} $7,2\text{ }^\circ\text{C}$, per la qual cosa els graus dies acumulats (GDA o integral tèrmica) es van haver de tornar a calcular.

FONT: Elaboració pròpia.

a l' ET_c l' ET_r . A més de les NHN anuals mitjanes (mm) per al període de referència i dècades futures, es calcula la variabilitat interanual a partir de la desviació estàndard.

2.3. Les projeccions climàtiques

Les projeccions climàtiques són estimacions de l'evolució futura de les principals variables meteorològiques tenint en compte les simulacions de la variabilitat de l'activitat solar i la concentració de GEH a l'atmosfera segons

La disponibilitat de l'aigua al sòl com a eina per a l'adaptació de la viticultura

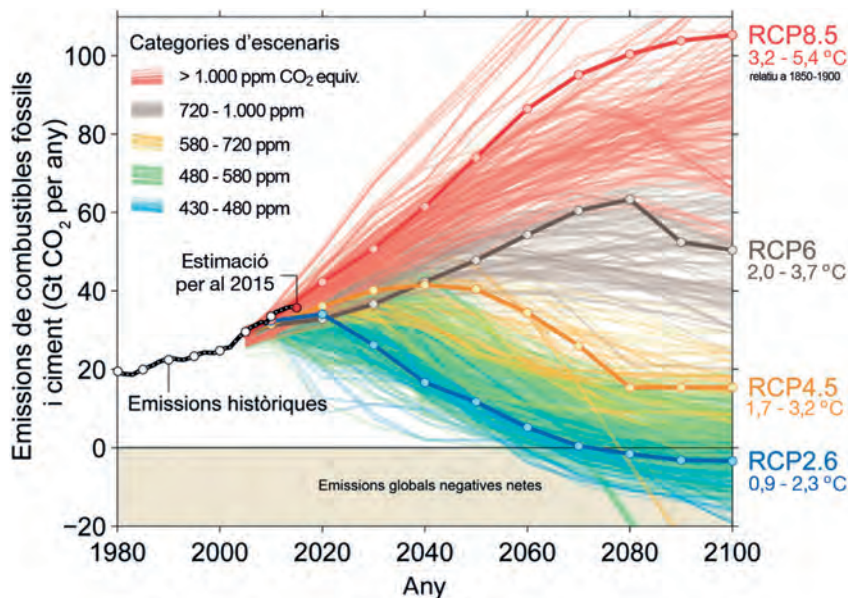
diferents escenaris d'emissions. Aquests escenaris són també estimacions de la concentració futura de CO₂ a l'atmosfera que tenen en compte si s'apliquen o no mesures globals de mitigació i reducció efectiva en l'emissió de GEH i, sobretot, si aquestes mesures es duen a terme ja, o bé s'ajornen cap a mitjan o final de segle. Les projeccions climàtiques es desenvolupen a través de models climàtics globals (MCG) que prenen en consideració l'atmosfera i l'oceà, i més recentment altres sistemes planetaris com serien la litosfera, la criosfera i la biosfera. També es consideren dins d'aquests models les diferents relacions i retroaccions entre tots aquests sistemes en el que es coneix actualment com a *model del sistema terra* (ESM, de l'anglès *Earth system model*).

Les projeccions climàtiques globals tenen l'inconvenient que la seva resolució espacial, al voltant dels 100-150 km la més detallada, no és suficient per a reproduir totes les característiques climàtiques a escala regional o local. Per tant, continuen sent necessàries tècniques de regionalització climàtica que facin possible resoldre el salt qualitatiu existent entre les resolucions dels models globals i aquelles necessàries per a elaborar estudis d'impacte a escala regional i local, sobretot per a territoris amb una elevada complexitat orogràfica, com és el cas de Catalunya.

Les NHN es van calcular per a un període de referència o control (1971-2005) i per a decennis futurs basades en projeccions climàtiques estimades de 2006 a 2100, suposant dos escenaris d'emissions de GEH del model del sistema terra Max Planck Institute (MPI-ESM) del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC, de l'anglès Intergovernmental Panel on Climate Change) (IPCC, 2014). S'ha de fer una simulació del clima del passat per poder avaluar com la metodologia reproduceix el clima d'una zona, cosa que permet d'agafar aquest període com a referència a l'hora d'analitzar els canvis projectats. D'aquesta manera, els biaixos i errors intrínsecs en els MCG es cancel·len parcialment en fer la diferència entre els períodes futurs i el de referència o control. La simulació forçada amb el model alemany (MPI-ESM) és la que presenta, en general, una diferència més petita entre els valors mitjans i els obtinguts amb la malla d'observacions a 1 km de resolució espacial i, per tant, els seus resultats són més robustos que les simulacions basades en els models canadencs (CanESM2) i nord-americà (GFDL-ESM2G), també executades per a tots dos sectors de l'Alt Penedès per l'SMC.

El MCG es va simular amb dos escenaris d'emissions o trajectòries de concentracions representatives (RCP, de l'anglès *representative concentration pathways*): RCP4.5 (moderat) i RCP8.5 (intens). S'han escollit aquests dos escenaris d'emissions perquè l'RCP4.5 seria el que s'obtidria si s'aconsegueix aplicar l'Acord de París (2015) i l'RCP8.5 perquè seria aquell que s'obtidria si no s'aplica cap mesura de mitigació i reducció efectiva dels GEH, més o menys seria una extrapolació de seguir amb el ritme actual d'emissions dels últims decennis. A tall d'exemple, la figura 4 mostra l'evolució de

FIGURA 4. Escenaris d'emissions de CO₂ utilitzats en el Cinquè informe d'avaluació (AR5) de l'IPCC



NOTA: Les línies fortes corresponen als quatre escenaris de concentracions representatives utilitzades al Grup de Treball I (WG1) de l'AR5 de l'IPCC (2013-2014) per a generar les projeccions de canvi climàtic. Les línies més difuminades corresponen a les trajectòries utilitzades pel Grup de Treball III (WGIII) de l'IPCC per a avaluar les alternatives de mitigació. La línia negra de les emissions històriques prové del Carbon Dioxide Information Analysis Center i el Global Carbon Project.

FONT: Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya (Generalitat de Catalunya i Institut d'Estudis Catalans, 2016).

la concentració de CO₂ a l'atmosfera en el període 1980-2100 per als principals escenaris d'emissions, i ensenya l'evolució més extrema o intensiva, escenari RCP8.5, i la més continguda, escenari RCP2.6. A més, a la figura 4 podem veure l'increment de la temperatura mitjana global que suposen els escenaris RCP des de la simulació 2.6 fins a la 8.5.

3. RESULTATS

Els resultats obtinguts a partir de les projeccions climàtiques (taula 1) mostren que el tipus de sòl, i especialment la seva CRAD, pot ser determinant en el futur per a poder satisfer o no, de manera òptima, les necessitats hídriques de la vinya a peu de planta a l'Alt Penedès.

En efecte, tal com mostra la figura 5, en l'escenari de CC més dramàtic (RCP8.5) i en sòls amb una CRAD de 200 mm (alta capacitat de retenció d'aigua disponible), les NHN de la vinya estimades per a les dècades de 2040

La disponibilitat de l'aigua al sòl com a eina per a l'adaptació de la viticultura

TAULA I. Resum dels valors mitjans anuals de les variables temperatura màxima, mínima i precipitació projectades als sectors SJC i SSG fins a finals de segle per als escenaris de canvi climàtic RCP4.5 i RCP8.5

		Temperatura màxima (°C)		Temperatura mínima (°C)		Precipitació (mm)	
		SJC	SSG	SJC	SSG	SJC	SSG
	Període de referència	19,7	21,7	9,2	9,7	669	642
RCP4.5	2020-2050	21,0	23,0	10,0	11,2	620	581
	2051-2100	21,7	23,7	10,5	11,6	607	569
RCP8.5	2020-2050	21,3	23,3	10,2	11,3	596	555
	2051-2100	23,3	25,2	11,6	12,6	500	484

FONT: Elaboració pròpia.

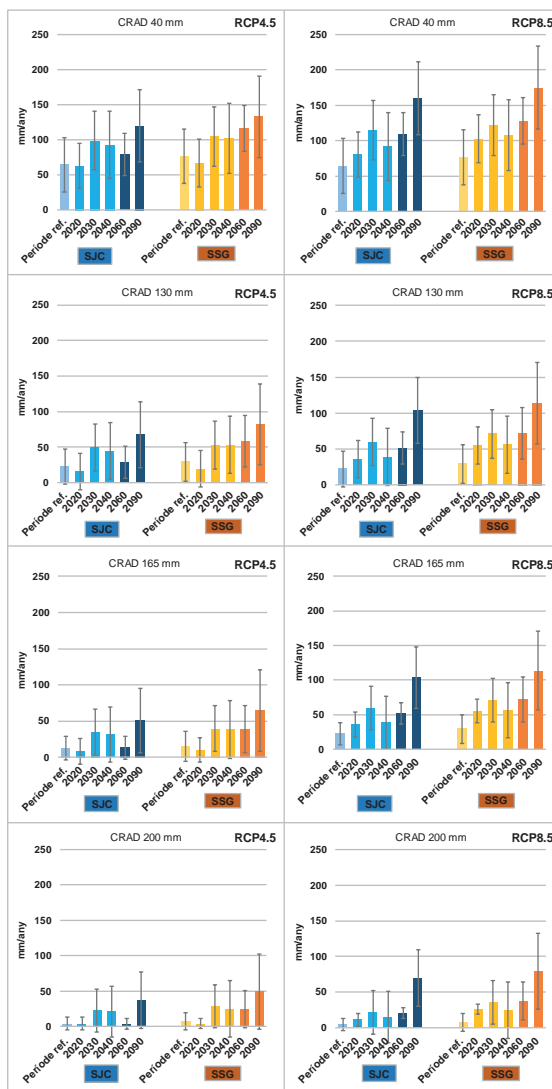
i 2060 seran properes als 50 mm/any en ambdós sectors, si bé podrien superar els 100 mm/any en alguns anys de l'última dècada del segle XXI.

A l'altre extrem, en terres amb una CRAD de 40 mm (capacitat feble de retenció d'aigua disponible), al voltant de mitjan segle (dècades de 2040 i 2060), la mitjana de les NHN dels dos sectors se situarien al voltant dels 100 mm/any per a tots dos escenaris de CC, i podrien superar els 150 mm/any en determinats anys d'aquestes dècades en el sector SSG (barres d'error de la figura 5). Les NHN més extremes es donarien l'última dècada del segle (2090). En l'escenari de CC més dramàtic superarien els 150 mm/any de mitjana i, per a alguns anys en el sector SSG, es podrien acostar als 250 mm/any (barres d'error de la figura 5).

En detallar a escala de píxels (d'1 km de resolució) les NHN de vinya previstes per al segle XXI de les parcel·les al nord del sector SSG (figura 2), zona amb més concentració de parcel·les, i considerant l'escenari RCP4.5 i una CRAD de 130 mm, els resultats mostren que les NHN anuals mitjanes s'aproximarien als 61-70 mm/any a mitjan segle, mentre que a final de segle arribarien a 81-90 mm/any en algunes parcel·les, la qual cosa suposaria un increment de més d'un 30%. Juntament amb aquests valors mitjans d'NHN, cal considerar la variabilitat interanual entesa com la variació d'NHN a través dels anys respecte de la mitjana de la dècada que, a mitjan i final de segle, podria arribar a 51-60 mm/any per al mateix escenari RCP4.5 i CRAD (mapes no disponibles).

A les mateixes parcel·les, però en l'escenari més dramàtic (RCP8.5) i una CRAD mitjana de 130 mm, les NHN anuals a la meitat del segle presentarien un comportament molt semblant al de l'escenari RCP4.5 amb valors d'entre 61-70 mm (figura 6), però amb una variabilitat interanual més acusada, d'en-

FIGURA 5. *Valors mitjans decennals de les NHN mitjanes (mm/any) en vinyes dels dos sectors de l'Alt Penedès (SJC i SSG) segons els escenaris de canvi climàtic i CRAD considerats*



Període ref.: període de referència (1971-2005); RCP4.5: escenari de canvi climàtic moderat; RCP8.5: escenari de canvi climàtic intens; SJC: parcel·les del sector Sant Joan de Mediona - Canaletes; SSG: parcel·les del sector Sant Sadurn d'Anoia - Gelida; CRAD: contingut màxim d'aigua disponible al sòl per a les plantes (mm).

NOTA: Les barres d'error representen la variabilitat interanual a cada període, en cap cas, la incertesa de les estimacions. Les dades meteorològiques d'entrada per als càlculs són el valor mitjà del conjunt de píxels de cada sector.

FONT: Elaboració pròpia.

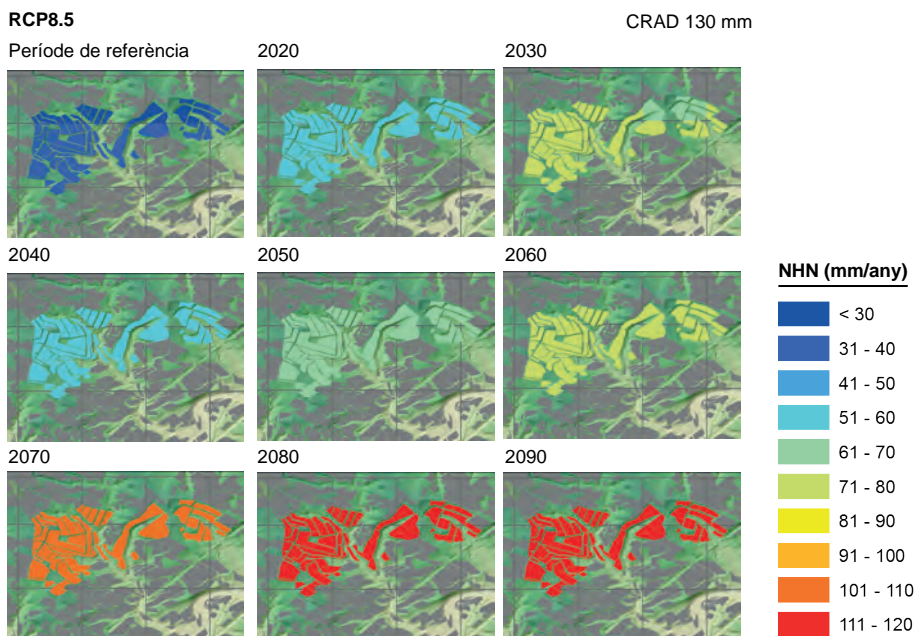
La disponibilitat de l'aigua al sòl com a eina per a l'adaptació de la viticultura

tre 51-70 mm/any (figures 6 i 7). En canvi, a final de segle, s'esperarien valors d'NHN d'entre 111-120 mm/any (figura 6), amb una variabilitat interanual que podria arribar als 61-70 mm/any (figura 7).

Per a les parcel·les situades al sud dels sector SSG (figures 1 i 2), les NHN anuals mitjanes i la variabilitat interanual d'aquestes necessitats presentarien un comportament molt semblant al de les parcel·les al nord d'SSG per als dos escenaris considerats (mapes no disponibles). Aquestes parcel·les nord i sud de SSG tenen una orografia i una altitud similars.

Per al sector SJC, el que és més al nord (figures 1 i 2), l'anàlisi per píxel (mapes no disponibles) davant l'escenari RCP4.5 i considerant una CRAD mitjana de 130 mm mostra que les NHN anuals mitjanes s'acostarien als 51-60 mm/any a mitjan segle, i només 61-70 mm/any a final de segle, la qual cosa suposaria un increment del 18% aproximadament. La variabilitat interanual, en alguns indrets, a mitjan segle podria arribar a 51-60 mm/any i, a

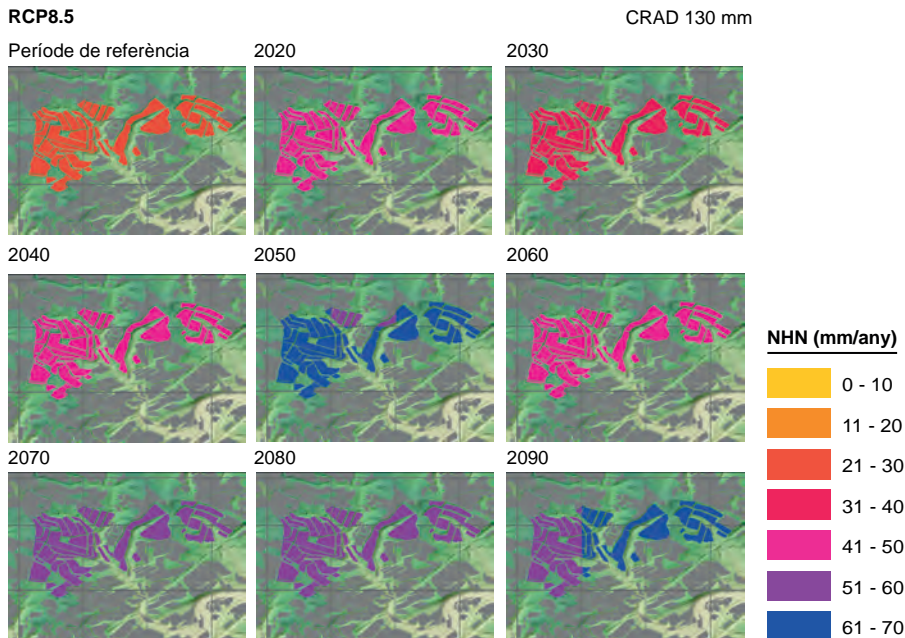
FIGURA 6. Distribució espacial de les NHN mitjanes anuals (mm/any) en vinyes del nord del sector SSG per al període de referència (1971-2005) i les dècades futures del segle XXI davant l'escenari de CC intens i considerant una CRAD de 130 mm



CRAD: capacitat de retenció d'aigua disponible al sòl per a les plantes (mm); NHN: necessitats hídriques netes; SSG: sector de parcel·les Sant Sadurní d'Anoia - Gelida; RCP8.5: escenari de canvi climàtic intens.

FONT: Elaboració pròpia.

FIGURA 7. Distribució espacial de la variabilitat interanual de les NHN mitjanes anuals (mm/any) a les parcel·les del nord del sector SSG per al període de referència (1971-2005) i les dècades futures del segle XXI davant l'escenari de CC intens i considerant una CRAD de 130 mm



CRAD: capacitat de retenció d'aigua disponible al sòl per a les plantes (mm); NHN: necessitats hídriques netes; SSG: sector de parcel·les Sant Sadurní d'Anoia - Gelida; RCP8.5: escenari de canvi climàtic intens.

FONT: Elaboració pròpia.

finals de segle, a 41-50 mm/any. Per a l'escenari més dramàtic (RCP8.5), considerant la mateixa CRAD de 130 mm, les NHN mitjanes i la seva variabilitat interanual a mitjan segle presentarien un comportament proper al de l'escenari RCP4.5, entre 41-60 mm/any. En canvi, a final de segle, s'esperen valors d'NHN mitjans entre 91-100 mm/any, és a dir, es doblarien els requeriments d'aigua, amb una variabilitat interanual que podria arribar als 51-60 mm/any en alguns dels píxels analitzats.

4. CONCLUSIONS

Els resultats obtinguts en aquest estudi evidencien de nou els impactes que el canvi climàtic tindrà previsiblement durant aquest segle sobre les necessitats d'aigua dels conreus. L'augment de les temperatures juntament

La disponibilitat de l'aigua al sòl com a eina per a l'adaptació de la viticultura

amb la baixa disponibilitat d'aigua condicionarien l'augment dels requeriments d'aigua necessaris per a produir de manera òptima fins i tot en aquells conreus típicament de secà, com ara la vinya.

D'acord amb els resultats obtinguts, basats en les projeccions climàtiques per a tot el segle XXI, tenint en compte els escenaris de canvi climàtic RCP4.5 i RCP8.5 i la metodologia emprada, es pot dir que les necessitats hídriques de la vinya en les diferents zones considerades de l'Alt Penedès depenen i dependran de la quantitat d'aigua que sigui retinguda al sòl. Per tant, factors com el tipus de sòl, el pendent, la localització, les pràctiques agronòmiques de manteniment del sòl i l'aportació de matèria orgànica seran determinants. Així mateix, en sòls agrícoles modificats, per a permetre una fàcil mecanització del treball de camp, el factor clau és la capacitat de retenció d'aigua d'aquests sòls, la qual cosa pot ser vital en el futur per tal de poder cobrir o no de manera òptima les necessitats hídriques de la vinya en secà i així assegurar produccions interessants pel que fa a la quantitat i a la qualitat de raïm.

D'altra banda, com a indicacions genèriques, les parcel·les del sector situat a més altitud i latitud (sector SJC) presentaran unes necessitats hídriques aproximadament un 30% més baixes que les situades al sud (sector SSG), així com una variabilitat interanual de fins a un 31% inferior.

Resultats com els ara mostrats reforcen que la viticultura de secà es troba i es continuarà trobant amb importants problemes associats al canvi climàtic, com la sequera. El repte agronòmic més gran serà admetre la incertesa i conrear amb aquesta incertesa, la qual cosa només es pot fer des de la tecnificació al camp del secà (sensorització de les parcel·les, seguiment per imatges en diferents bandes radiatives del conreu, aplicació de fitosanitaris i adobs a demanda, etc.) per a saber les condicions climàtiques i del contingut d'aigua al sòl en cada estadi fenològic de la vinya, així com les projeccions temporals de necessitats potencials.

En aquesta línia s'està desenvolupant l'Observatori de la Sequera de l'Alt Penedès, una prova pilot en la qual s'avaluaran eines agronòmiques com, per exemple, la quantitat d'aigua al sòl i la demanda evaporativa a setmana passada i a setmana vista, juntament amb les projeccions Copernicus⁷ a mesos vista, per a treure el màxim rendiment a l'aigua de la pluja en els cultius de secà i que, juntament amb dades ambientals, pretén fer recomanacions als agricultors sobre com han de gestionar els cultius.

AGRAÏMENTS

El projecte GLOBALVIT, dins del qual es desenvolupa aquest treball, està finançat pel Centre per al Desenvolupament Tecnològic Industrial (CDTI)

7. <<https://effis.jrc.ec.europa.eu/applications/seasonal-forecast/>>.

en el marc del Programa Estratègic de Consorcis d'Investigació Empresarial Nacional (CIEN) i parcialment cofinançat pel Celler Juvé & Camps.

Agraïm al Servei Meteorològic de Catalunya la minuciosa recuperació i gènesi de sèries temporals climàtiques històriques i de càlcul de les projeccions d'aquestes sèries al llarg de segle XXI.

El nostre agraïment també als treballadors de camp de Juvé & Camps i a Laia Serra de l'IRTA; en ambdós casos, el seu treball ha contribuït destacadament als resultats, perquè, com se sol dir, mai milloren el mostreig.

Agraïm al Consell Comarcal de l'Alt Penedès el suport econòmic i funcional a l'Observatori de la Sequera d'aquesta comarca, tan important per a la producció en secà de vins i caves d'alta gamma, ecològics en una gran proporció.

BIBLIOGRAFIA

- AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (ACA); INSTITUT DE RECERCA I TECNOLOGIA AGROALIMENTÀRIES (IRTA) (2008). *Pla per a l'eficiència en l'ús de l'aigua per a reg agrícola*. Lleida: Generalitat de Catalunya.
- ALLAIN, S.; NDONG, G. O.; LARDY, R.; LEENHARDT, D. (2018). «Integrated assessment of four strategies for solving water imbalance in an agricultural landscape». *Agronomy for Sustainable Development*, 38.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Roma: Food and Agriculture Organization. (FAO Irrigation and Drainage Paper; 56).
- CAUBEL, J.; GARCÍA DE CORTÁZAR-ATAURI, I.; LAUNAY, M.; NOBLET-DUCOUDRÉ, N. de; HUARD, F.; BERTUZZI, P.; GRAUX, A. I. (2015). «Broadening the scope for ecoclimatic indicators to assess crop climate suitability according to ecophysiological, technical and quality criteria». *Agricultural and Forest Meteorology*, 207, p. 94-106.
- CLARKE, D. (1998). *CROPWAT for Windows: User guide*. Roma: Food and Agriculture Organization.
- CRAMER, W.; GUIOT, J.; FADER, M.; GARRABOU, J.; GATTUSO, J.-P.; IGLESIAS, A.; LANGE, M. A.; LIONELLO, P.; LLASAT, M. C.; PAZ, S.; PEÑUELAS, J.; SNOUSSI, M.; TORETI, A.; TSIMPLIS, M. N.; XOPLAKI, E. (2018). «Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean». *Nature Climate Change*, 8, p. 972-980.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) (2013). *Climate-smart agriculture sourcebook* [en línia]. Roma: Food and Agriculture Organization (FAO). <<http://www.fao.org/3/i3325e/i3325e.pdf>> [Consulta: 15 juny 2020].
- FUNES, I.; ARANDA, X.; BIEL, C.; CARBO, J.; CAMPS, F.; MOLINA, A. J.; HERRALDE, F. de; GRAU, B.; SAVÉ, R. (2016). «Future climate change impacts on apple

La disponibilitat de l'aigua al sòl com a eina per a l'adaptació de la viticultura

- flowering date in a Mediterranean sub-basin». *Agricultural Water Management*, 164, p. 19-27.
- GIRARD, C.; PULIDO-VELÁZQUEZ, M.; RINAUDO, J. D.; PAGE, C.; CABALLERO, Y. (2015). «Integrating top-down and bottom-up approaches to design global change adaptation at the river basin scale». *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 34, p. 132-146.
- GIRONA, J.; IBÁÑEZ, C.; SAVÉ, R. (2017). «Gestión del agua en Cataluña. Apuntes para una gestión global eficiente». *Visión IRTA* [en línia], núm. 1. <http://www.irta.cat/wp-content/uploads/2018/04/Aigua_es_v2.pdf> [Consulta: 15 juny 2020].
- GENERALITAT DE CATALUNYA; INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS (2016). *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* [en línia]. Coordinació a cura de Javier Martin-Vide. 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: 15 juny 2020].
- INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA (ICGC) (2012). *Digital elevation model (30 m resolution)* [en línia]. Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya. <<https://www.icgc.cat/es/Ciudadano/Informate/Diccionarios/Model-digital-d-elevacions>> [Consulta: 15 juny 2020].
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [en línia]. Edició i redacció a cura de R. K. Pachauri i L. A. Meyer. Ginebra: IPCC. 151 p. <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>> [Consulta: 15 juny 2020].
- (2019). *Special report on climate change and land* [en línia]. <<https://www.ipcc.ch/srccl/>> [Consulta: 15 juny 2020].
- MEDITERRANEAN EXPERTS ON CLIMATE AND ENVIRONMENTAL CHANGE (MedECC) (2019). *Risks associated to climate and environmental changes in the Mediterranean region* [en línia]. <https://www.medecc.org/wp-content/uploads/2018/12/MedECC-Booklet_EN_WEB.pdf> [Consulta: 15 juny 2020].
- OLESEN, J. E.; BINDI, M. (2002). «Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy». *European Journal of Agronomy*, 16, p. 239- 262.
- PASCUAL, D.; PLA, E.; LÓPEZ-BUSTINS, J. A.; RETANA, J.; TERRADAS, J. (2015). «Impacts of climate change on water resources in the Mediterranean Basin: A case study in Catalonia, Spain». *Hydrological Sciences Journal - Journal Des Sciences Hydrologiques*, 60 (12), p. 2132-2147.
- PHOGAT, V.; COX, J. W.; SIMUNEK, J. (2018). «Identifying the future water and salinity risks to irrigated viticulture in the Murray-Darling Basin, South Australia». *Agricultural Water Management*, 201, p. 107-117.
- REGUANT, F.; SAVÉ, R. (2016). «Disponibilidad alimentaria y desarrollo global sostenible». Cap. 2. A: *El sistema alimentario: Globalización, sostenibili-*

- dad, seguridad y cultura alimentaria*. Cizun Menor (Navarra): Thomson Reuters Proview Aranzadi.
- RUIZ-RAMOS, M.; FERRISE, R.; RODRIGUEZ, A.; LORITE, I. J.; BINDI, M.; CARTER, T. R.; FRONZEK, S.; PALOSUO, T.; PIIRTIOJA, N.; BARANOWSKI, P.; BUIS, S.; CAMMARANO, D.; CHEN, Y.; DUMONT, B.; EWERT, F.; GAISER, T.; HLAVINKA, P.; HOFFMANN, H.; HOHN, J. G.; JURECKA, F.; KERSEBAUM, K. C.; KRZYSZCZAK, J.; LANA, M.; MECHICHE-ALAMI, A.; MINET, J.; MONTESINO, M.; NENDEL, C.; PORTER, J. R.; RUGET, F.; SEMENOV, M. A.; STEINMETZ, Z.; STRATONOVITCH, P.; SUPIT, I.; TAO, F.; TRNKA, M.; WIT, A. de; ROTTER, R. P. (2018). «Adaptation response surfaces for managing wheat under perturbed climate and CO₂ in a Mediterranean environment». *Agricultural Systems*, 159, p. 260-274.
- SAADI, S.; TODOROVIC, M.; TANASIJEVIC, L.; PEREIRA, L. S.; PIZZIGALLI, C.; LIONELLO, P. (2015). «Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield». *Agricultural Water Management*, 147, p. 103-115.
- 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 Fluvia watershed during XXIst century: Results from a modeling approximation to watershed-level water balance». *Agricultural Water Management*, 114, p. 78-87.
- TRNKA, M.; EITZINGER, J.; SEMERÁDOVÁ, D.; HLAVINKA, P.; BALEK, J.; DUBROVSKÝ, M.; KUBU, G.; ŠTĚPÁNEK, P.; THALER, S.; MOŽNÝ, M.; ŽALUD, Z. (2011). «Expected changes in agroclimatic conditions in Central Europe». *Climatic Change*, 108, p. 261-289.
- VALVERDE, P.; SERRALHEIRO, R.; CARVALHO, M. de; MAIA, R.; OLIVEIRA, B.; RAMOS, V. (2015). «Climate change impacts on irrigated agriculture in the Guadiana river basin (Portugal)». *Agricultural Water Management*, 152, p. 17-30.
- VICENTE-SERRANO, S. M.; ZABALZA-MARTÍNEZ, J.; BORRÁS, G.; LÓPEZ-MORENO, J. I.; PLA, E.; PASCUAL, D.; SAVÉ, R.; BIEL, C.; FUNES, I.; MARTÍN-HERNÁNDEZ, N.; PENAGALLARDO, M.; BEGUERIA, S.; TOMAS-BURGUERA, M. (2017). «Effect of reservoirs on streamflow and river regimes in a heavily regulated river basin of Northeast Spain». *Catena*, 149, p. 727-741.
- ZABALZA-MARTÍNEZ, J.; VICENTE-SERRANO, S.; LÓPEZ-MORENO, J.; BORRÁS CALVO, G.; SAVÉ, R.; PASCUAL, D.; PLA, E.; MORÁN-TEJEDA, E.; DOMÍNGUEZ-CASTRO, F.; TAGUE, C. (2018). «The influence of climate and land-cover scenarios on dam management strategies in a high water pressure catchment in North-east Spain». *Water*, 10, p. 1668.
- ZHAO, G.; WEBBER, H.; HOFFMANN, H.; WOLF, J.; SIEBERT, S.; EWERT, F. (2015). «The implication of irrigation in climate change impact assessment: A European-wide study». *Global Change Biology*, 21, p. 4031-4048.