

# Informe sobre les necessitats hídriques i disponibilitat d'aigua per a la transformació del conreu vitivinícola del secà al regadiu en condicions de canvi climàtic

AUTORS:

Felicidad de Herralde

Inmaculada Funes

Elisenda Sánchez

Xavier Aranda

Robert Savé

David Comino

**IRTA<sup>R</sup> SECAREGVIN**



Agència Catalana  
de l'Aigua

*Projecte finançat a través de l'Operació 01.02.01 del PDR de Catalunya 2014-2020*



Fons Europeu Agrícola  
de Desenvolupament Rural:  
Europa inverteix en les zones rurals



Generalitat de Catalunya  
**Departament d'Acció Climàtica,  
Alimentació i Agenda Rural**

## Índex

Resum .....	3
Introducció.....	4
Metodologia de càlcul .....	15
Resultats .....	16
Conclusions.....	23
Referències .....	24

## Resum

Aquest Informe ha estat elaborat com a resultat del projecte SECAREGVIN pels membres del grup de Viticultura del Programa de Fructicultura de l'IRTA: Felicidad de Herralde, Inmaculada Funes, Elisenda Sánchez, Xavier Aranda i Robert Savé, amb la col·laboració imprescindible de David Comino Martinez, hidrogeòleg de la Unitat Tècnica del Departament de Concessions de l'Agència Catalana de l'Aigua. I l'objectiu del mateix és posar de manifest les necessitats hídriques i la disponibilitat d'aigua per a la transformació del conreu vitivinícola del secà al regadiu en condicions de canvi climàtic.

## Introducció

A escala global, les evidències d'un increment marcat de la temperatura mitjana de l'aire des de mitjans del segle XIX són del tot incontestables, recollides en tots els informes de l'IPCC publicats fins a data d'avui. Els efectes d'aquest increment de temperatures són, segons el tercer i quart informe nacional d'avaluació del clima, el canvi en els patrons de precipitacions i gelades, l'increment de sequeres i onades de calor i l'increment del nivell del mar degut la desgel dels pols.

Catalunya, en l'àmbit mediterrani, no queda exclòs d'aquesta tendència, i les observacions procedents d'observatoris meteorològics així ho testimonien. El tercer informe del canvi climàtic a Catalunya constata un increment mitjà anual de  $+0,23^{\circ}\text{C}/\text{decenni}$  per al període 1950-2014. Aquest mateix informe presenta les projeccions climàtiques fins a mitjans de segle XXI per a la zona geogràfica de Catalunya, considerant els models globals inclosos en els informes IPCC, però també models de diversos estudis de regionalització, com el darrer de MedECC del 2019 (<http://www.medecc.org/mececc-booklet-isk-associated-to-climate-and-environmental-changes-in-the-mediterranean-region/>), que ho corroboren.

Aquestes projeccions indiquen un augment clar de la temperatura, a Catalunya, pels pròxims decennis en tots els horitzons temporals, per a totes les estacions de l'any i en totes les àrees geogràfiques/climàtiques. Aquest augment arribaria als  $+1,4^{\circ}\text{C}$  a mitjans del segle XXI respecte a la mitjana del període 1971-2000. Aquesta projecció ha estat corroborada darrerament per l'informe de l'IPCC sobre l'increment d' $+1,5^{\circ}\text{C}$ .

Pel què fa a la pluviositat, la evolució durant el període 1950-2014 és menys clara que en el cas de la temperatura. Tot i que la tendència anual i global per a Catalunya és lleugerament negativa, aquesta no és significativa. Tanmateix, si que s'observen i es projecten augments significatius de l'evaporació i l'evapotranspiració, com també de la durada dels períodes sense precipitació i dels episodis de precipitació diària molt abundant. Aquestes variacions climàtiques tindran un efecte en la disponibilitat de recursos hídrics i en un futur es pronostiquen cada cop períodes més freqüents i llargs d'escassetat hídrica.

A nivell regional i concret de la zona del Penedès, el canvi climàtic ha provocat que la temperatura mitjana s'hagi incrementat  $+1,7^{\circ}\text{C}$  des de 1950 ( $+0,25^{\circ}\text{C}/\text{decenni}$ ), i sobretot en els mesos d'estiu ( $+0,40^{\circ}\text{C}/\text{decenni}$ ). En aquesta regió, la precipitació durant els mesos d'estiu ha disminuït un 25% des de mitjans de segle XIX i amb una major torrencialitat. L'evolució temporal projectada per l'any 2100 de la temperatura mitjana anual mostra un increment comprès entre  $+1,1^{\circ}\text{C}$  i els  $3,6^{\circ}\text{C}$  i un descens de la pluviometria comprès entre els 38 i 168 mm per a la zona de l'Alt Penedès (Figura 1).

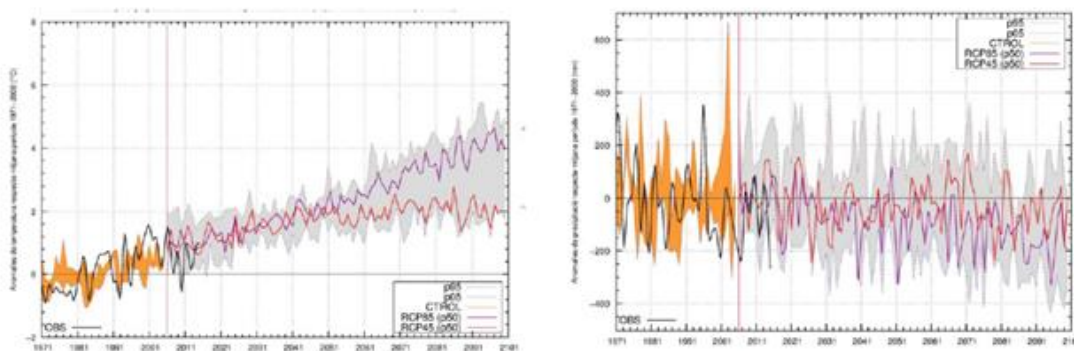


Figura 1. Evolució temporal projectada de les anomalies mitjanes anuals de la temperatura mitjana ( $^{\circ}\text{C}$ , esquerra) i la precipitació mitjana anual (mm, dreta) al nord de l'Alt Penedès (1971-2100)

El que sí és clar, és l'elevada incertesa en quant a clima i per tant a la resposta dels conreus.

La viticultura a la regió mediterrània, incloent-hi la de la regió del Penedès, s'ha consolidat a nivell mundial mitjançant la qualitat en el seu maneig i del producte final, el vi o el cava, la qual cosa s'ha desenvolupat

per mètodes agronòmics basats en el coneixement ecofisiològic i genètic de les varietats i patrons conreats.

Així i tot, el creixement, el rendiment i la qualitat del raïm i el vi depenen en gran mesura del clima. En aquest sentit, si a més de les projeccions dels models climàtics que s'han presentat anteriorment, es té en compte el canvi global, que inclou entre d'altres, canvis en els usos del sòl, el cost de l'energia, l'increment de població fixa i mòbil, les necessitats de la indústria, i el manteniment de la biodiversitat, cal considerar una previsible major competència real per l'aigua que caldrà ponderar segons necessitats.

Es pot afirmar categòricament que es disposa de molta, bona, detallada i contrastada informació del fenomen del canvi climàtic i dels seus efectes en les vinyes i el vi. També es disposa de molta informació específica respecte de l'agronomia de la vinya, així com informació d'altres sectors aplicable a la viticultura.

Per tot això, és important acceptar la situació, valorar les conseqüències i plantejar les solucions oportunes per a cada situació edafoclimàtica, tipus de material vegetal (varietat /clon/porta empelt/edat) i producte final lliurable / comercialitzable (vi tranquil o cava, especificitat o gran producció).

En aquest context, sembla raonable apostar per una viticultura ecològica i de baix impacte ambiental, on el sòl torni a tenir rellevància, pel control de l'erosió, el manteniment de la biodiversitat i el seu gran potencial com a embornal de carboni i en conseqüència en les estratègies de mitigació, així com la captura i emmagatzematge d'aigua, clau per als secans que representen el 60% de la nostra viticultura. Al mateix nivell s'ha de considerar la selecció del millor binomi varietat/patró per a cada zona, així mateix la patologia s'ha de valorar en un context holístic del cultiu, no buscant el problema, sinó la solució integral i perdurable.

La tecnologia és i ha de ser una ajuda, però no és ni serà la solució al problema global al qual ens enfrontem, la solució passa per seguir indicadors holístics a nivell de cada parcel·la, de cada celler en el context de la seva denominació d'origen i/o realitat geogràfica.

Entre aquestes, el reg en el nostre país, compta amb un gran suport científic i tècnic, per incrementar la seva eficiència productiva, fins a uns límits elevadíssims.

Tanmateix per regar, es necessària l'aigua, que en el cas del Penedès es majoritàriament subterrània, de freàtic (<http://aca.gencat.cat/ca/laigua/consulta-de-dades/descarrega-cartografica/>; [http://sig.gencat.cat/visors/VISOR\\_ACA.html](http://sig.gencat.cat/visors/VISOR_ACA.html))

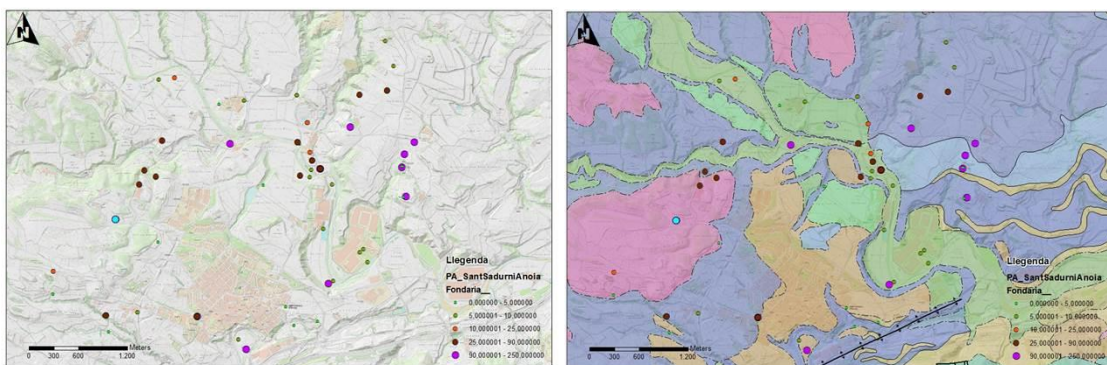


Figura 2. Presència de pous en la zona de Sant Sadurní (Alt Penedès)

Així, segons l'ICGC, es pot veure en color lila, els pous de més de 90 m de profunditat, a uns 500 m en direcció S, a partir d'Espells en veiem quatre. Això ens indica que efectivament a aquestes profunditats trobarem aigua a la zona. A més podem veure a l'inventari que la presència d'aigua és comuna a aquestes profunditats.

El mateix inventari ens mostra (hi ha la columna estratigràfica d'un pou) que la roca que trobarem durant la perforació és una alternança d'argiles, conglomerats, gresos i "graves". Coincideix amb el material del Mapa Geològic (Neògens).

Aquests terrenys estan constituïts per materials capaços de contenir aigua i de transmetre-la, però que la quantitat a obtenir és limitada. Els pous “bons” coneguts, donen de l'ordre de 5.000-10.000 l/h en aquest tipus de materials.

En resum, hi ha aigua a aquestes profunditats, amb un cabal raonable, però no amb una gran quantitat, potencialment de bona qualitat, ja que hi ha pous d'abastament urbà, en les proximitats. Es té però, poca informació de la dinàmica d'aquests freàtics i per tant del seu balanç entrades / sortides i manteniment de la qualitat química/biològica.

El repte al qual ens enfrontem és mantenir o incrementar la producció i qualitat del raïm en condicions d'una potencial transformació del secà al regadiu en el context actual de canvi climàtic, en una zona mediterrània on es produeixen importants i reiterades sequeres en les àrees productores de vins de qualitat del país.

El coneixement científic de base, l'aplicació de les tecnologies més aplicades a cada cas, moment i circumstància, i en la rigorosa i constant aplicació del sentit comú que conjuntament, han de permetre superar el repte de produir igual o més amb menys aigua. Els resultats del present projecte hauran d'ajudar a definir estratègies d'adaptació del cultiu de la vinya al canvi climàtic.

Aquest projecte ha de tenir en compte els resultats obtinguts en altres projectes com el PECT “Penedès sostenible i saludable”, els projectes LIFE “Vinyes per calor”, “CLINOMICS”, i “MEDACC”, i el projecte FP7 DEMOWARE.

És important tenir molt present que no hi ha una única solució sinó moltes i bones opcions per ser resilents, és a dir, mantenir la productivitat pel que fa a quantitat i qualitat en el lloc on som malgrat els canvis externs que puguin impactar en l'activitat. És en aquest context on en el marc d'INNOVI i després de recollir-se les inquietuds i necessitats dels diferents actors del sector, s'ha plantejat un marc d'actuació per gestionar la transformació parcial del secà al regadiu de la viticultura en base al coneixement i sentit comú en el Penedès en condicions canvi climàtic.

Cal doncs reunir tota la informació disponible i baixar-la a casos reals per demostrar que la potencialitat que existeix per la conversió de secà a reg en territoris fora de les zones de regadius, sigui viable i serveixi per millorar la productivitat i garantir la sostenibilitat del sector vitivinícola.

## *L'àrea d'estudi*

La Denominació d'Origen (DO) Penedès està localitzada al bell mig de la depressió prelitoral catalana, entre la serralada prelitoral i les petites planes de la costa mediterrània, i inclou l'Alt i el Baix Penedès i el Garraf, part de l'Anoia i del Baix Llobregat, més Aiguamúrcia a l'Alt Camp i Creixell i Roda de Berà al Tarragonès. Presenta un clima prelitoral mediterrani, temperat per les brises marines amb hiverns suaus i estius calorosos. La pluviometria oscil·la entre els 500 i el 650 mm anuals segons les zones, amb una mitjana de 525. Segons l'índex de Winkler, la major part de la zona està actualment dins la Regió IV, exceptuant les zones més elevades que estarien dins la Regió III, excepcionalment en la Regió II i molt excepcionalment la Regió I, mentre que les zones més costaneres estarien en la Regió V.

La DO Penedès presenta sòls amb força heterogeneïtat segons la zona, amb diferents graus de maduresa per provenir de materials diversos i trobar-se a costers, peudemont, valls i planes, i plana costanera. Així, trobem materials del Triàsic, graves calcàries del quaternari i sediments quaternaris provinents de pissarres del Cambroordovicià i Ordovicià i granits del Carbonífer-Permià, gresos i margues del Terciari, o calcàries, margues i dolomies del Cretaci. Com a resultat, podem trobar sòls soms o poc profunds en els vessants però profunds o molt profunds a les parts baixes o terrasses al·luvials. En general són sòls amb acumulació de carbonats en forma de nòduls o rizoconcrecions (ocupant l'espai de les antigues arrels de les plantes) o sovint amb horitzons endurits (petrocàlcic) per acumulació d'aquests carbonats, o amb formació de ciments a les parts altes del paisatge; amb diferents graus de pedregositat, es presenten acumulacions de graves als peus del vessants. Els sòls són generalment joves o poc madurs, amb poc desenvolupament edàfic, degut a formar-se sobre zones àmpliament erosionades, tot i que també apareixen sòls antics i madurs o molt madurs, que han patit llargs processos edafogènics, allà on són més profunds per haver patit menor erosió, amb l'excepció dels sòls desenvolupats a les terrasses que formen els sediments aportats pels rius (sòls fluvèntics), que són profunds però relativament joves.

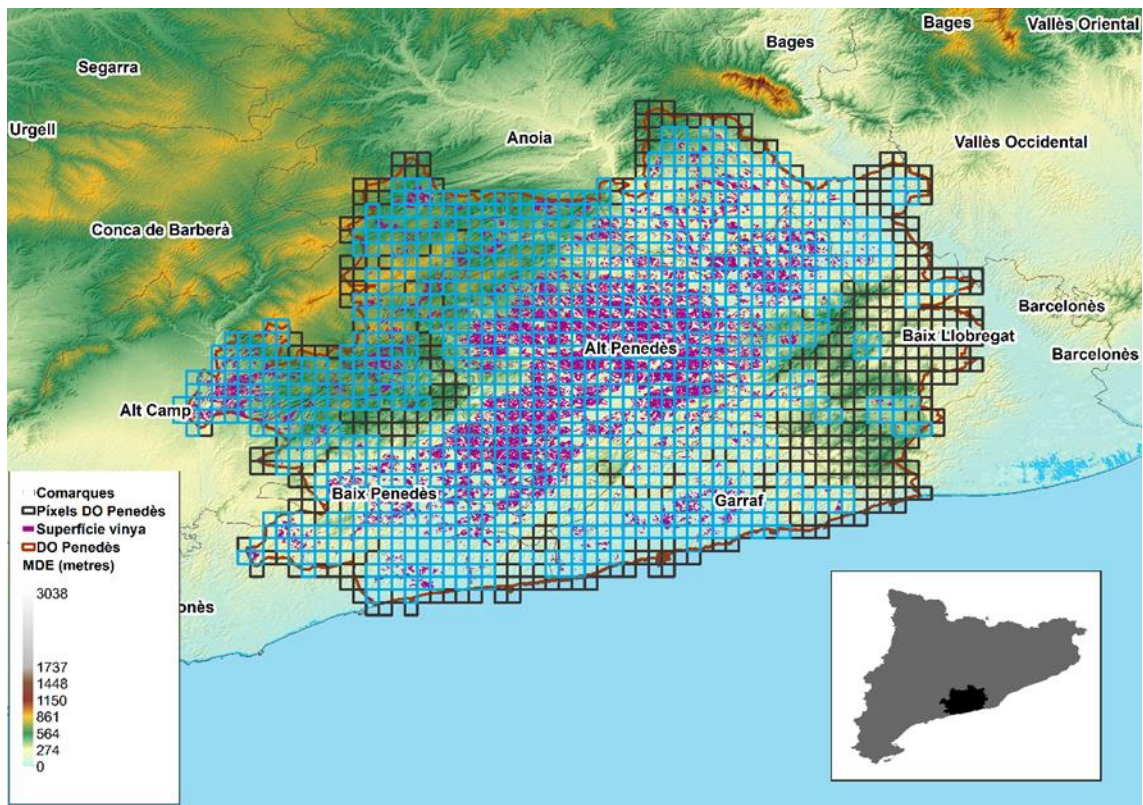


Figura 3. Localització de la DO Penedès distribució de la malla de 1 km de resolució per les projeccions climàtiques i identificació dels píxels amb presència de superfície de vinya (ressaltats en, amb la superfície de vinya en porpra). El relleu es representa amb el model digital d'elevacions (MDE) en metres.

La DO Penedès s'ha repartit en una malla de píxels d'un km cadascú i en aquest estudi es representen aquells píxels amb presència de superfície declarada de vinya, que en el cas de DO Penedès serien unes 18000 ha (Figura 3, píxels en color blau, superfície de vinya marcada en porpra). Tot i que es pot distingir entre el Penedès Superior, Central i Marítim, o fins i tot la DO Penedès zonificada (Alts d'Ancosa, Conca de Foix, Costers de l'Anoia, Costers de Lavernó, Costers del Montmell, Marina del Garraf, Massís del Garraf, Muntanyes d'Ordal, Turons de Vilafranca, Vall Bitlles-Anoia), els resultats es presentaran generalment de forma conjunta.

## Les dades climàtiques

Les dades climàtiques que s'han fet servir en aquest estudi provenen de les simulacions climàtiques regionalitzades estadísticament pel SMC a 1 km de resolució espacial amb la tècnica dels anàlegs meteorològics aplicada a la simulació global de l'IPCC-AR5 del model alemany (MPI-ESM), per a un període de control (1971-2005) on la simulació global ha estat forçada amb les condicions observades de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera, així com per a tot el segle XXI (2006-2100), amb les simulació global forçada sota els escenaris d'emissions RCP4.5 i RCP8.5 (IPCC, 2014). L'escenari RCP4.5 preveu que les emissions de gasos d'efecte hivernacle arribin al màxim en la dècada de 2040 i després disminueixin; tot i així, en general els efectes sobre la temperatura tendeixen a estabilitzar-se en la segona meitat del segle de forma global. En l'escenari 8.5, les emissions segueixen augmentant al llarg del segle, i això té un efecte exponencial sobre la temperatura a nivell mundial (IPCC 2014).

Les dades facilitades són dades diàries de precipitació acumulada (PPT), temperatura màxima (TX) i temperatura mínima (TN) per a cada zona i escenari climàtic.

Per a realitzar els càlculs a la DO, s'han considerat els píxels que contenen vinya en cada zona (Figura 1) i s'han utilitzat les dades facilitades pel SMC. Tots els càlculs en el present informe s'han efectuat per píxel i any i/o decenni, mitjançant el llenguatge de programació R (R Core Team, 2020) i les figures s'han generat utilitzant el paquet ggplot2 (Wickham, 2009). Els mapes han estat elaborats amb el programa ArcGIS® de Esri (2020).

## *Dades SIG*

S'han fet servir les següents dades d'accés obert per les determinacions i càlculs del present projecte

\* La superfície de cultiu de vinya en cada píxel de la zona d'estudi s'extreu del mapa de cultius SIGPAC 2020 procedent del web de dades obertes de la Generalitat de Catalunya <http://agricultura.gencat.cat/ca/serveis/cartografia-sig/aplicatius-tematics-geoinformacio/sigpac/descarregues/>

\* Model digital d'elevacions (referència) <https://www.icgc.cat/ca/Descarregues/Elevacions/Model-d-elevacions-del-terreny-de-15x15-m>

\* Els valors de Capacitat de Retenció d'Aigua Disponible per a las plantes (CRAD) dels sòls a cada píxel es van obtenir a partir de fer una interpolació espacial (*kriging*) de les dades publicades al Mapa de Sòls 1:25.000 del l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), degut que només alguns fulls d'aquest mapa són disponibles actualment. En els càlculs posteriors, es va utilitzar per a cada píxel el valor mitjà ponderat per superfície <https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Cartografia-geologica-i-geotematica/Cartografia-de-sols/GT-IV.-Mapa-de-sols-1-25.000>

## *Dades de masses d'aigua subterrànies en l'àmbit de la D.O. Penedès*

Dins del projecte SECAREGVIN, s'ha demanat la participació de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) amb l'objectiu de saber a) els possibles recursos subterranis, existents en l'àmbit del projecte i b) si aquestes reserves es podrien utilitzar en el pas de secà a regadiu en el cultiu de vinya de la Denominació d'Origen Penedès (DOP). Provisionalment, a l'espera de la publicació i aprovació definitiva en els pròxims mesos del Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial de Catalunya (PGDCFC), es realitza una introducció de les diferents unitats hidrogeològiques i, sobretot, de de gestió presents a la zona i les limitacions existents per tal d'analitzar les possibles afeccions a les aigües subterrànies. No és objecte de l'encàrrec la recerca d'alternatives de recursos, fora del camp de les aigües subterrànies, tot i haver-ho tractat en altres col·laboracions, conjuntament amb l'IRTA.

### Marc tècnic i administratiu de les aigües subterrànies

El cultiu de vinya existent a la denominació d'origen Penedès (DOP) s'estén per una superfície (gairebé 25.000 ha) on hi ha definides, per l'ACA, fins a 8 Masses d'Aigua Subterrània (MAS) per l'ACA (Figura 4); en relació amb el tercer cicle de la planificació hidrològica, en estat pendent de publicació. Les Masses d'Aigua són unitats de gestió hidrològiques sobre les quals, a partir de diferents indicadors, es defineix si es troben en estat bo o dolent per aconseguir els objectius de la Directiva Marc de l'Aigua ([Directiva 2000/60/CE del Parlament Europeu i del Consell de 23 d'octubre de 2000](#)) per a l'any 2027. A continuació es poden observar les MAS existents dins de la zona del projecte i la distribució del cultiu de vinya a la DOP. En particular, la MAS núm. 20 i 23 també es troben subjacents, sota altres masses subterrànies superficials.



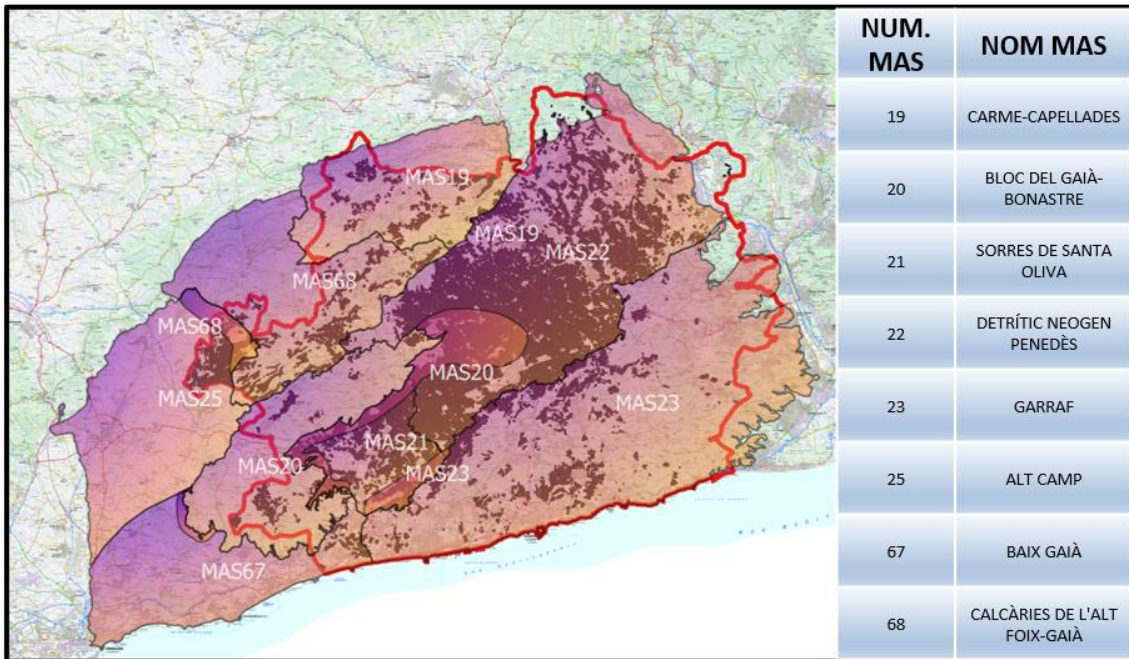


Figura 4. Mapa de les diferents MAS existents dins de la DOP i les parcel·les de reg de cultiu de vinya (Font SIGPAC)

Majoritàriament, el cultiu de vinya es troba centralitzat a les MAS-22, 21 i 20. De manera menys important i concentrada també hi és present a la MAS núm. 68, 23, 25 i 19.

A nivell d'aqüífers (cossos amb extensió real), l'ACA té cartografiada tota la superfície de Catalunya amb els aquífers presents, tant superficialment com en fondària però, a més, normativament hi ha delimitats una sèrie d'aqüífers protegits (Decret 328/1988); els quals disposen de protecció administrativa i, alguns d'ells, amb normes d'explotació pròpies ja implantades. A la zona de treball, es detecten 6 aquífers protegits (Figura 5).

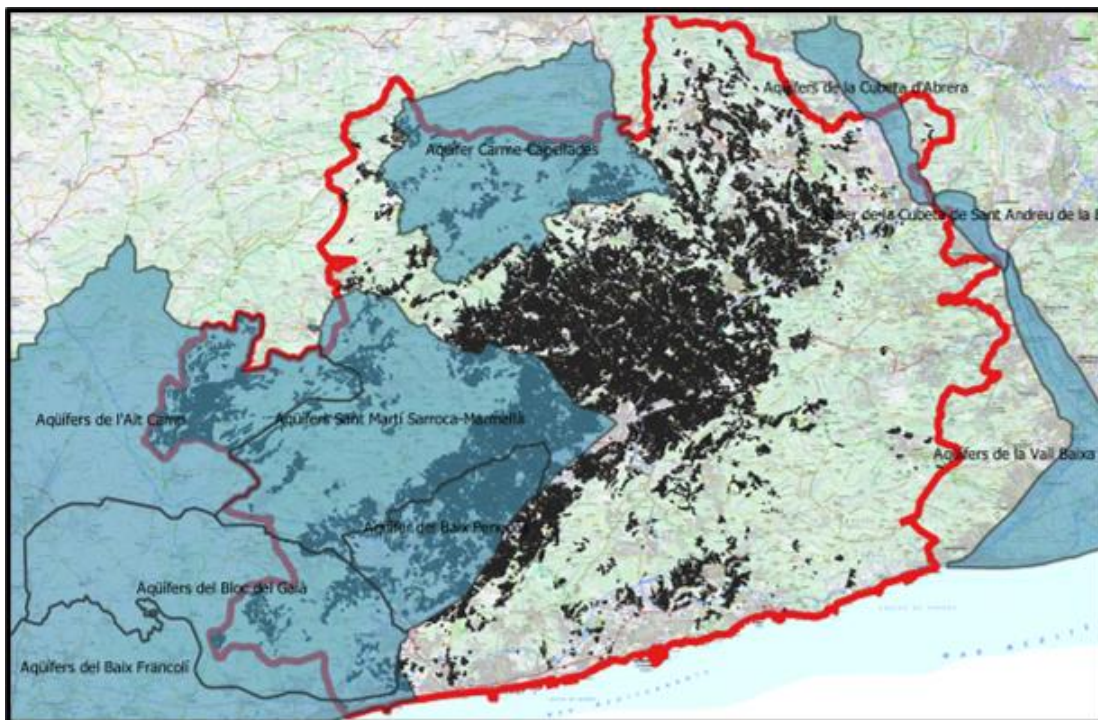


Figura 5. Mapa realitzat de la zona del projecte on es pot observar el polígon de la DOP, les superfícies de cultius de vinya (font: SIGPAC) i els aquífers protegits presents amb el seu nom indicat.

És probable que en el PGDCFC, pendent de publicació, s'acabin assimilant els aquífers protegits a les MAS, incorporant part de les seves normes d'explotació. Per tant, s'acabaria amb aquesta dualitat i es treballaria únicament amb les MAS com a unitats de gestió; tal i com planteja la Directiva Marc de l'Aigua a tots els estats membre.

### Estat de les masses d'aigua i les seves valoracions

Per a totes aquelles Masses d'Aigua que es trobin en mal estat, cada òrgan competent, ha d'establir un programa de mesures amb un calendari d'actuacions per revertir-ne l'estat, amb un horitzó màxim a l'any 2027. En particular, de les Masses d'Aigua Subterrània es valora l'estat qualitatiu i el qualitatiu per definir l'estat global de la MAS. Només que un dels dos estats parcials resulti negatiu, l'estat global és dolent. A l'Annex I del present document es poden consultar les valoracions provisionals respecte a l'estat de les MAS relacionades amb la DOP. En resum, es poden classificar també de la següent manera:

MAS en les quals no es poden augmentar l'extracció existent ja que es troben declarades en mal estat quantitatiu; situació que s'ha de revertir per l'any 2027: MAS 19 i 20.

MAS en bon estat quantitatiu però que estan sotmeses a una pressió extractiva alta, amb incerteses quant a l'evolució piezomètrica i el test de balanç surt en risc, per tant, tampoc s'hauria d'augmentar l'extracció: MAS 21 i 67.

MAS en bon estat quantitatiu però sotmeses a una pressió extractiva moderada i amb incerteses quant a l'evolució piezomètrica. Les dues són zones costaneres on poden haver-hi, i ja existeixen, efectes locals importants relacionats amb l'augment de l'extracció com l'augment de la salinitat en l'aquífer i els pous d'abastament. Per tant, tampoc serien zones adequades per augmentar-ne l'extracció subterrània.

La MAS 22, nova massa definida en el 3er cicle de la planificació (2022-2027), es l'única que està definida en bon estat quantitatiu i on la resta de paràmetres avaluats surten que compleixen tots i que la pressió extractiva és baixa. Per tant, seria la única MAS on es podria augmentar l'extracció d'aigües subterrànies.

Altrament, caldria avaluar més detalladament aquesta MAS ja que concentra la majoria de la superfície de cultiu de vinya de la DOP, hi ha molta superfície sense piezòmetres de control i l'inventari de punts existents a l'ACA, anomenat Base de Dades Hidrogeològiques (BDH), presenta un nombre elevat de pous (al voltant de 1250 captacions), de diferents fondàries en funció de la formació explotada (Figura 6).

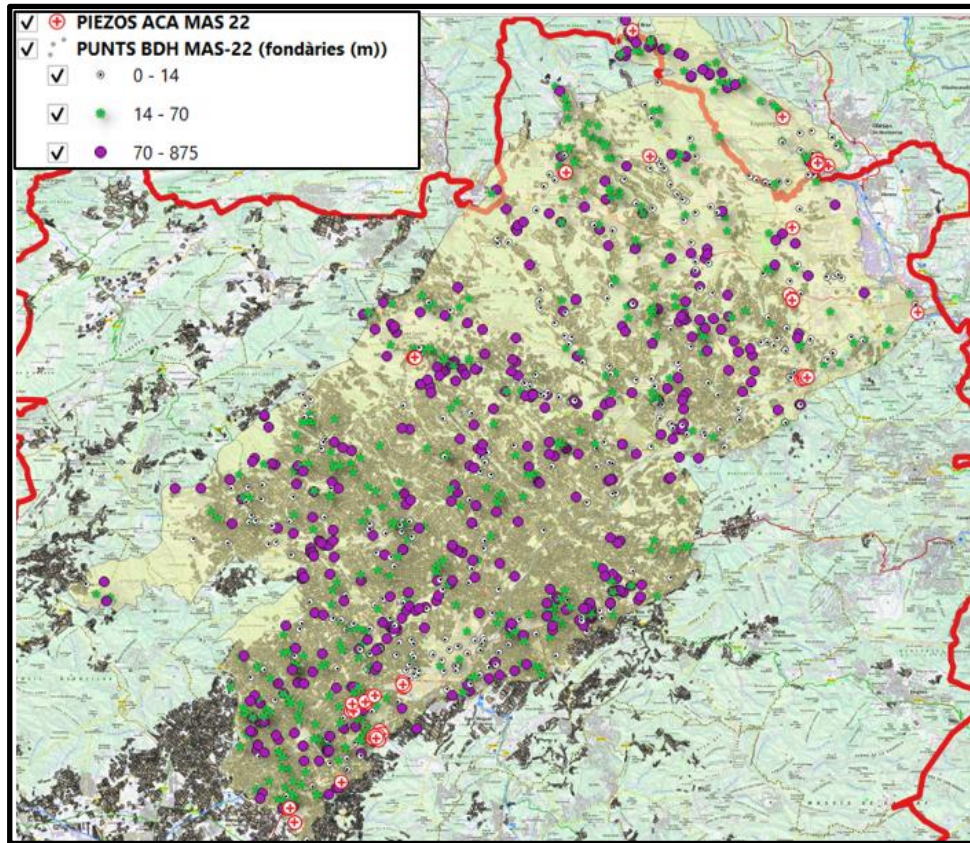


Figura 6. Mapa amb el límit de la DOP, la MAS-22, les superfícies de cultiu de vinya i els punts de l'inventari de la BDH i els piezòmetres de control de l'ACA. Els pous tenen diferent simbologia en funció de la seva fondària.

D'una primera consulta al Registre d'Aigües es conclou que hi ha un total de 11,5 hm<sup>3</sup>/any d'extracció màxima autoritzada, de les quals gairebé uns 2,5 hm<sup>3</sup>/any pertanyen a l'ús de reg agrícola. No obstant, aquestes dades s'haurien de mirar més al detall i comparar amb els valors del balanç que sortiran al PGDCFC. Aquest enfoc més de detall és el que es vol estudiar en els pròxims mesos, principalment en la MAS-22.

## Conclusions

A falta de realitzar una visió més detallada de la MAS-22, tot apunta a que seria la única unitat en la que es podria augmentar l'explotació actual de les aigües subterrànies. Aquesta valoració no té en consideració cap valor d'increment en concret ni tampoc l'extracció subterrània de la magnitud que es podria plantejar al passar de secà a regadiu el cultiu de vinya dins de la DOP. En aquest sentit, caldria actualitzar, en primer lloc, la situació existent, fer balanços a nivell d'aqüífers i comprovar l'estat de les fonts pròpies d'abastament.

A més, caldria considerar els diferents escenaris de canvi climàtic i com aquests influiran sobre els recursos hídrics i les necessitats ja existents. Les normes de gestió actuals donen prioritat als usos d'abastament i requereixen mantenir els aquífers infraexplotats, en situació de normalitat hídrica, per tal d'aprofitar-los en moments de sequera; que és quan les aigües superficials pateixen restriccions i n'hi ha menys disponibilitat. En conclusió, qualsevol planificació a futur haurà de contemplar tant la situació de les MAS, el canvi climàtic i aquest rol estratègic dels aquífers envers l'abastament.

Taula 1. Valoració provisional de l'estat quantitatiu, qualitatiu i global de les MAS existents dins de la DO Penedès.

NUM. MAS	NOM MAS	PRESSIÓ EXTRACTIVA	EVOLUCIÓ PIEZOMÈTRICA	TEST BALANÇ	TEST SALINITAT	IMPACTE SALINITAT	ESTAT QUANTITATIU	OBSERVACIONS	ESTAT QUÍMIC	ESTAT GLOBAL
19	CARME-CAPELLADES	ALTA	INCOMPLEIX	INCOMPLEIX	NO APLICA	NO APLICA	DOLENT	ELEVADA DEMANDA D'AIGUA, PER SOBRE DE LA RECÀRREGA	BO	DOLENT
20	BLOC DEL GAIÀ-BONASTRE	ALTA	INCOMPLEIX	INCOMPLEIX	NO APLICA	NO APLICA	DOLENT	DAVALLADA HISTÒRICA DELS NIVELLS PIEZOMÈTRICS EN ELS ÚLTIMS ANYS. ESTUDI HIDROGEOLÒGIC INICIAT	BO	DOLENT
21	SORRES DE SANTA OLIVA	ALTA	AMB INCERTESA	EN RISC	NO APLICA	NO APLICA	BO	HA PUJAT LA QUALIFICACIÓ DE LA PRESSIÓ EXTRACTIVA. HI HA MODEL NUMÈRIC DE L'AQUÍFER	DOLENT	DOLENT
22	DETRÍTIC NEOGEN PENEDES	BAIXA	COMPLEX	COMPLEX	NO APLICA	NO APLICA	BO	NOVA MASSA DEFINIDA EN EL PLA. HI HA MOLTS POUS I GRAN EXTENSIÓ. DUBTE DE LA REPRESENTATIVITAT DE LES DADES	BO	BO
23	GARRAF	MODERADA	AMB INCERTESA	COMPLEX	BAIXA	AMB INCERTESA	BO	LOCALMENT VALORS DE NIVELL PER SOTA DEL MAR I AMB INDICIS DE PROBLEMES EN POUS D'ABASTAMENT	DOLENT	DOLENT
25	ALT CAMP	MODERADA	AMB INCERTESA	COMPLEX	NO APLICA	NO APLICA	BO	CAL VALORACIÓ MÉS DE DETALL PER LA ZONA.	DOLENT	DOLENT
67	BAIX GAIÀ	ALTA	AMB INCERTESA	EN RISC	BAIXA	AMB INCERTESA	BO	MASSA NOVA, ABANS PERTANYIA A LA NÚM. 23 GARRAF	DOLENT	DOLENT

Segons aquest informe tot apunta a que la massa d'aigua MAS-22 (Figura 7) seria la única unitat en la que es podria augmentar l'explotació actual de les aigües subterrànies. Aquesta valoració no té en consideració cap valor d'increment en concret ni tampoc l'extracció subterrània de la magnitud que es podria plantejar al passar de secà a regadiu el cultiu de vinya dins el territori de la DO. A més, caldria considerar els diferents escenaris de canvi climàtic i com aquests influiran sobre els recursos hídrics i les necessitats ja existents.

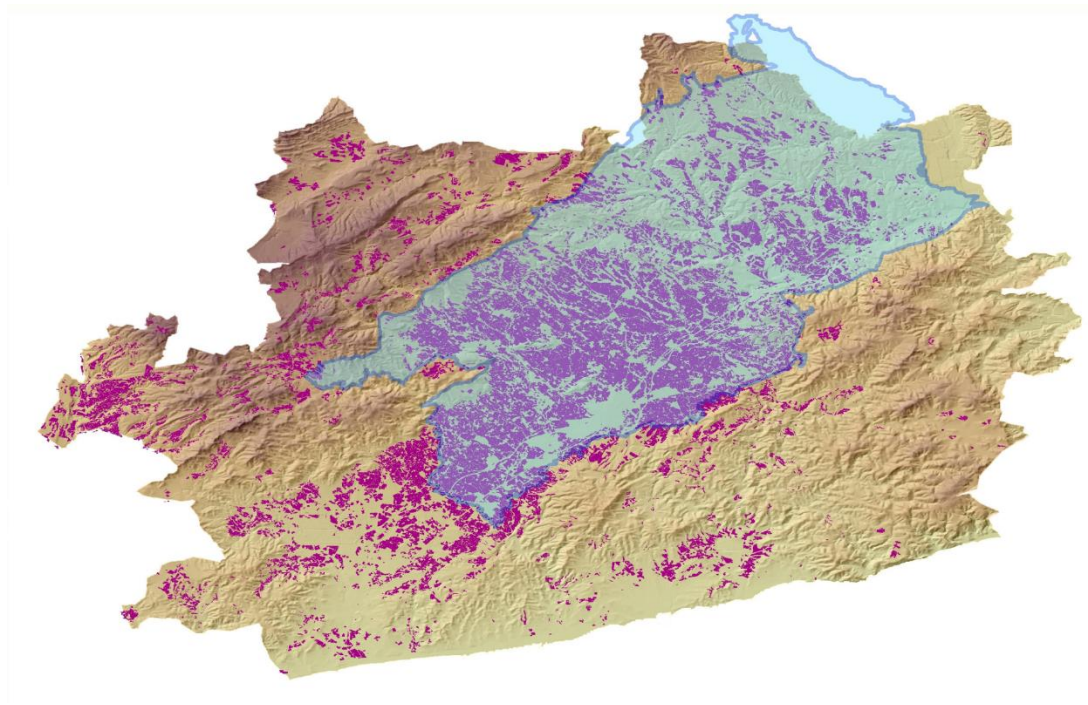


Figura 7. Localització de la massa d'aigua subterrània MAS-22 a la delimitació territorial de la DO Penedès. La delimitació de la MAS-22 es representa en color blau transparent. La superfície de vinya al territori de la DO es representa en color bordeus. De fons es representa el relleu del territori a partir del model digital d'elevacions (15x15m) de l'ICGC. (Elaboració IRTA)

### *Base de dades de necessitats hídriques netes del cultiu de la vinya*

La regió Mediterrània destaca com un "punt calent" a causa de les projeccions d'augments substancials de la temperatura i descens de les precipitacions, que comportarà una notable disminució de la disponibilitat d'aigua a tota la regió.

Segons el primer informe de canvi climàtic per al Mediterrani MedECC, les temperatures augmentarien a finals de segle per sota dels 2 graus en el cas de l'escenari de canvi climàtic (*representative concentration pathways*; RCP) RCP 2.6 i més de 5 graus en el cas de l'escenari més dramàtic (RCP 8.5). Aquest canvis de temperatura seran espacialment homogenis a tota la conca mediterrània.

Tanmateix, les precipitacions es reduiran entre un 4 i un 22% segons l'escenari de finals del segle XXI. No obstant això, les tendències previstes de la precipitació presenten una gran incertesa per a l'escala subregional. També es projecta una major variabilitat interanual i espacial.

S'espera que aquests canvis afectin molt l'agricultura i comprometin seriosament la productivitat dels cultius a causa de:

- Problemes de disponibilitat i demanda d'aigua
- Alteracions fenològiques i metabòliques a causa de l'augment de les temperatures.

Per resoldre aquests problemes, és necessari dissenyar i executar estratègies d'adaptació i mitigació a escala local/regional mitjançant la implementació de mesures efectives centrades en la construcció d'una agricultura resilient. Per identificar les millors estratègies, primer hem de fer el primer pas: diagnosticar els impactes del canvi climàtic.

Així, l'objectiu principal d'aquest estudi va ser avaluar la idoneïtat del cultiu de la vinya a la DO Penedès al llarg del segle XXI. Els objectius específics són:

- i) Estimar les necessitats hídriques netes anuals (NHN) de la vinya a la DO per al període de referència i les dècades futures sota dos escenaris de canvi climàtic, per tal d'avaluar la idoneïtat agrícola en termes de requeriments d'aigua.

- ii) Estimar un conjunt de paràmetres agroclimàtics capaços d'indicar les conseqüències del canvi climàtic sobre la fenologia del cultiu, el cicle de creixement i la qualitat del raïm, per tal de comprendre i gestionar millor els riscos que suposa el canvi climàtic.

L'àrea d'estudi és la superfície de vinya a la DO Penedès que presenta un clima prelitoral Mediterrani, temperat pel mar amb hiverns suaus i estius calorosos.

## Metodologia de càlcul

La metodologia emprada per al càlcul de les necessitats hídriques netes (NHN) segueix la establerta pel document FAO-56 (Allen et al., 1998), a partir d'estimar l'evapotranspiració potencial ( $ET_0$ ) segons Hargreaves-Samani, la precipitació efectiva ( $P_{ef}$ ; Clarke, 1998), l'evapotranspiració potencial del cultiu ( $ET_c$ ) de la vinya mitjançant el coeficient de cultiu ( $K_c$ ) de la vinya (segons ACA i IRTA, 2008) i la capacitat de retenció d'aigua disponible en el sòl per a les plantes (CRAD). Els valors de la CRAD del sòl a cada píxel es van obtenir a partir de fer una interpolació espacial (*kriging*) de les dades publicades al Mapa de sòls 1:25.000 (MSC25M) del l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), degut que només alguns fulls d'aquest mapa són disponibles actualment. En els càlculs posteriors, es va utilitzar per a cada píxel el valor mitjà ponderat per superfície.

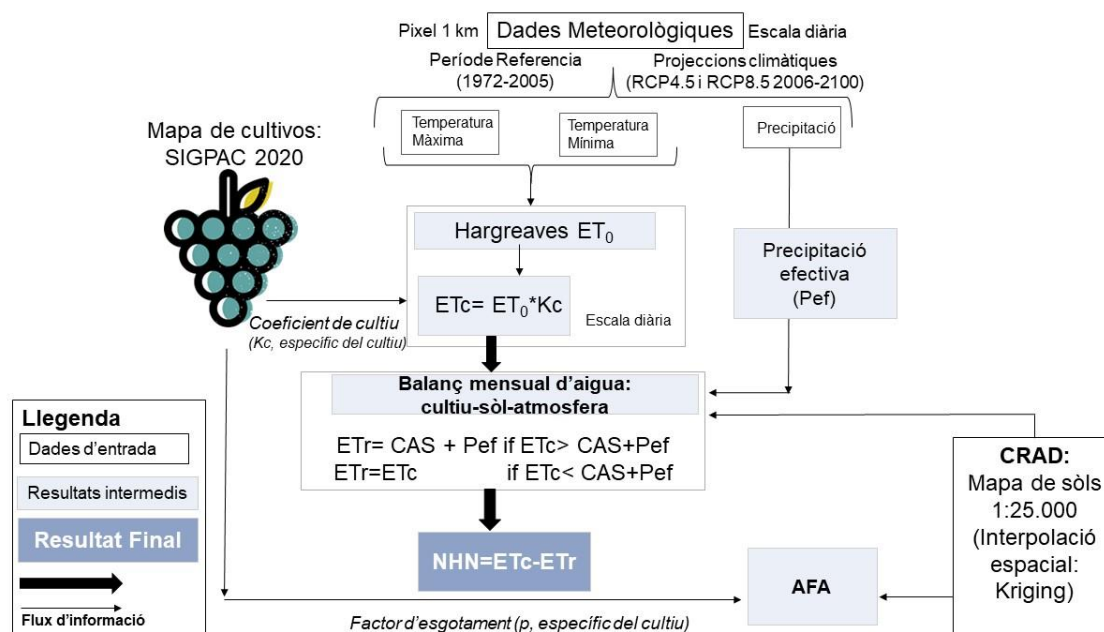


Figura 8. Esquema de la metodologia emprada per al càlcul de les necessitats hídriques netes (NHN) del cultiu de la vinya a cada píxel (d'1 km de resolució) de la DO Penedès.  $ET_0$  és l'evapotranspiració potencial de referència,  $ET_c$  és l'evapotranspiració potencial del cultiu de la vinya,  $K_c$  és el coeficient del cultiu de la vinya,  $ET_r$  és l'evapotranspiració real en un mes, CAS (*contingut d'aigua del sòl*, balanç mensual) és el contingut d'aigua disponible al sòl en un mes, AFA (*aigua fàcilment disponible* per a la vinya:  $AFA = CRAD * p$ , on CRAD és la capacitat de retenció d'aigua disponible en el sòl per a les plantes i  $p$  el factor d'esgotament específic de la vinya ( $p = 0,45 + 0,04(5 - ET_c)$ )).

Les necessitats hídriques netes es van calcular en base a les dades diàries de temperatura i precipitació de les projeccions de clima en cada píxel de vinya. Amb les dades de temperatura es va estimar l'evapotranspiració potencial de cultiu. Amb la precipitació i l'estimació de l' $ET_c$  procedim a fer un balanç mensual cultiu-sòl-atmosfera on es va estimar l'evapotranspiració real del cultiu considerant la capacitat màxima de retenció d'aigua disponible per les plantes (CRAD) dels sòls sobre el que creixen. Finalment, les NHN son calculades a partir de la diferència entre l'evapotranspiració potencial del cultiu i la real (Figura 8).

## Resultats

### *Impacte del Canvi Climàtic a les Necessitats Hídriques Netes*

Es disposa d'una base de dades amb les necessitats hídriques netes per cada píxel amb vinya a la DO Penedès, per cada any, des de l'inici del període de referència (1972) fins a finals de segle (2100), que estarà disponible sota demanda als autors d'aquest informe.

Com es pot observar en la figura 9, les necessitats hídriques netes de la vinya, en el conjunt de la D.O. Penedès, mostren una tendència a l'increment per ambdós escenaris, però més intensa en l'escenari 8.5 i amb una forta variabilitat interanual, pròpia del clima mediterrani. En el període de referència, les necessitats hídriques oscil·len entre 0 i 110 mm/any. En l'escenari RCP 4.5, els valors de necessitats hídriques mostren una tendència a l'alça, especialment a partir de la dècada de 2050, reflectint més la disminució de la pluviometria que l'increment de la temperatura, que s'estabilitza per a aquest escenari durant la segona meitat del segle amb valors mitjans decennals de 75 mm/any i màxims superiors a 150 mm/any. En quant a l'escenari més pessimista (RCP 8.5), els increments ja estan al voltant de 80 mm/anyals de mitjana decennal entre 2030 i 2060 i s'enfilen a mitjanes de 125 mm/any en l'últim quart del segle XXI, amb valors màxims que podrien superar sovint els 150 i fins i tot assolir els 200 mm/any.

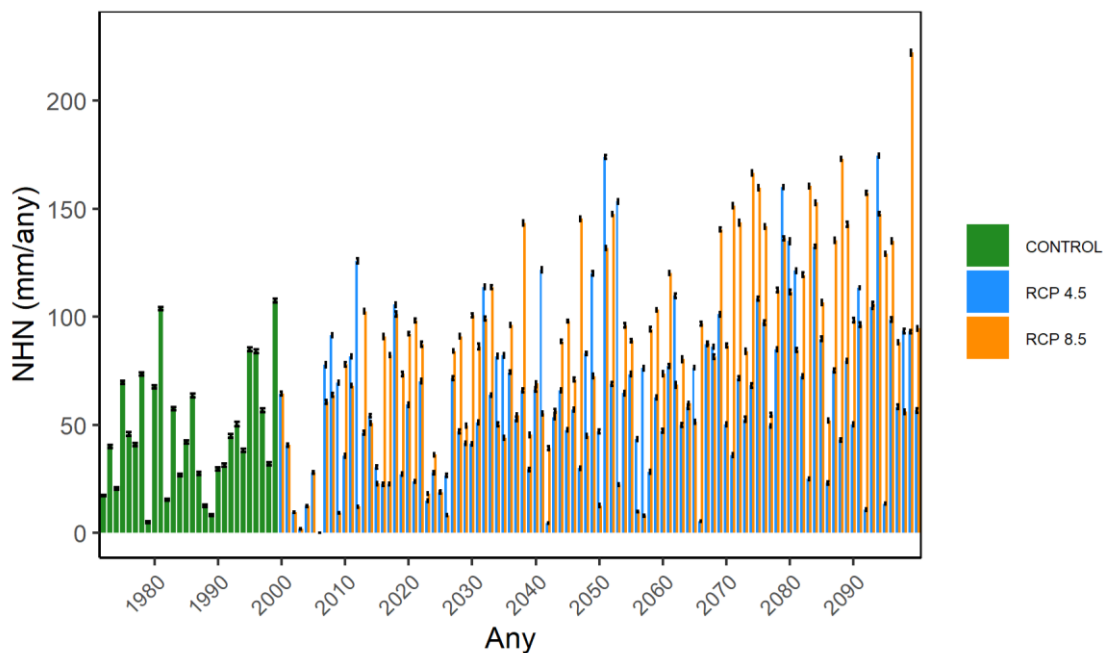


Figura 9. Necessitats hídriques netes (NHN) anuals al període control (1972-2005) i al llarg del segle XXI a la DO Penedès en ambdós escenaris de canvi climàtic.

Pel que fa a la distribució espacial en el territori de la D.O. Penedès, com es pot veure en les figures 10 i 11, les zones amb menors necessitats hídriques (tons més blaus) se situen en la part més central (a cavall entre la zona de Turons de Vilafranca i la Conca del Foix) i costanera (Massís del Garraf i Marina del Garraf). Les zones amb majors necessitats hídriques se situen en la part nord-est dels Costers d'Anoia i punts que van traçant una línia imaginària des de Mediona a El Montmell. En el període de referència, els valors oscil·len entre valors inferiors a 10 mm/any i els 90 mm/any amb valors puntuals que poden arribar als 110 mm/any, depenent del píxel.

En l'escenari RCP 4.5 (figura 10), en les zones de més necessitats hídriques en el període de referència, els increments més forts es troben en passar al decenni 2050-2059 i després queden força estables fins a finals de segle. En canvi, en la resta de la DO l'increment de les necessitats hídriques segueix progressant al llarg de la segona meitat del segle, en concordança amb els valors mitjans de la DO que s'han presentat



en la figura 9. Aquest comportament es pot explicar en base a la diferent evolució de la distribució espacial de les projeccions de precipitació i temperatura.

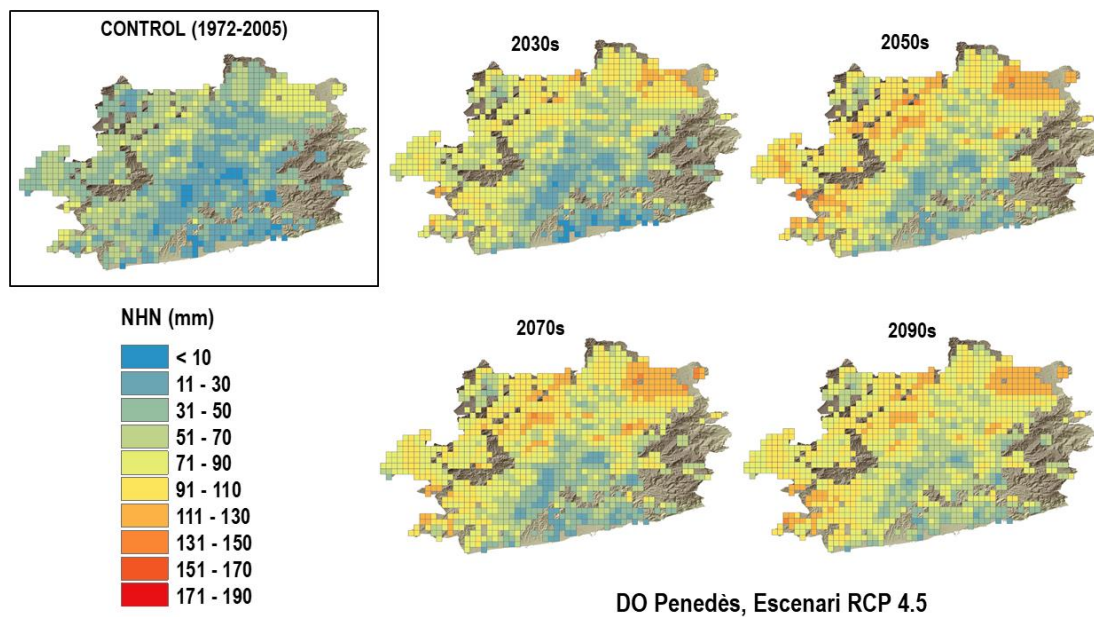


Figura 10. Distribució espacial del valor mitjà de les necessitats hídriques netes (NHN) de la vinya a la DO Penedès per l'escenari de canvi climàtic moderat RCP 4.5 projectat per a les dècades dels anys 2030, 2050, 2070 i 2090. A dalt a l'esquerra es mostra l'escenari control on es representa el valor mitjà del període 1972-2005.

En l'escenari RCP 8.5 (figura 11) es produeix un primer increment fort de les necessitats hídriques ja en el decenni dels 2030's, un cert retrocés en el decenni dels 2050's: aquest patró ve marcadament influït per les projeccions de pluja (no es mostren) que assenyalen la dècada dels propers anys 30 amb una sequera pronunciada que s'esvaeix les dècades següents. En la segona part del segle, la disminució de les precipitacions i l'increment de les temperatures s'alineen per donar lloc a un augment generalitzat de les necessitats hídriques en aquest escenari que arriben a duplicar les del període de referència per a les zones que actualment presenten més necessitats, i fins a triplicar-la per a les zones amb més necessitat en el període de referència. Aquesta exacerbació de la diferència entre diferents zones es deu a les desiguals capacitats de retenció d'aigua dels sòls corresponents, tant per textura com per profunditat.

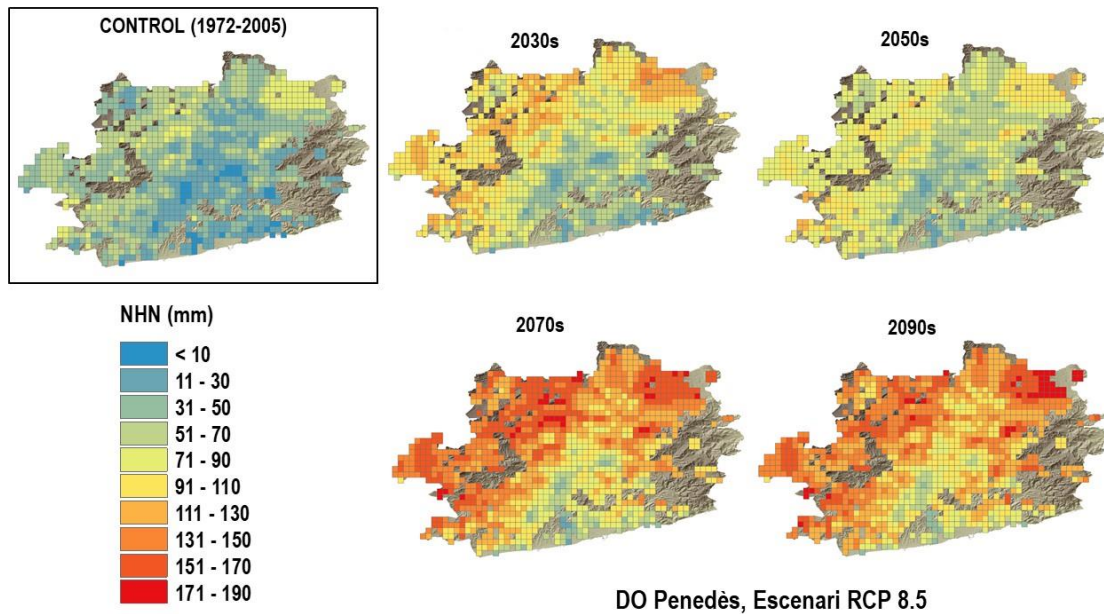


Figura 11. Distribució espacial del valor mitjà de les necessitats hídriques netes (NHN) de la vinya a la DO Penedès per l'escenari de canvi climàtic intens RCP 8.5 projectat per a les dècades dels anys 2030, 2050, 2070 i 2090. A dalt a l'esquerra es mostra l'escenari control on es representa el valor mitjà del període 1972-2005.

Les necessitats hídriques netes aquí mostrades ens mostren quines zones seran més vulnerables a aquests efectes del canvi climàtic. Aquelles zones on les necessitats hídriques siguin menors o on pugui haver-hi aigua disponible per complementar amb estratègies de reg sostenibles, tindran potencialment un menor impacte en l'activitat. També, es podran dur a terme altres estratègies adaptatives, de maneig del cultiu que puguin contribuir a reduir el coeficient de cultiu ( $K_c$ ) i per tant l'evapotranspiració del cultiu i les seves necessitats hídriques netes.

L'increment estimat de la demanda per la MAS-022 (Figura 7) per passar de secà a regadiu la vinya segons les nostres projeccions per a l'escenari RCP 8.5 per la propera dècada dels 2030s seria de  $840 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{any}$  i de més de  $1.200 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{any}$  per la segona meitat de segle (2070s). Aquest volum total incorpora les pèrdues per ineficiència del reg, per tant són necessitats totals brutes.

### *Impacte del Canvi Climàtic a cycle del cultiu i la fenologia*

El cycle de creixement (que va de Brotació a Verema) serà més curt i avançat a tota la DO (Figura 12). De fet, en la propera dècada (2030) el cycle de cultiu es podria escurçar aproximadament un mes a la DO Penedès per a ambdós escenaris de canvi climàtic. A finals de segle, els cycles de creixement podrien ser fins a -57 dies més curts que el període de referència a la DO Penedès.

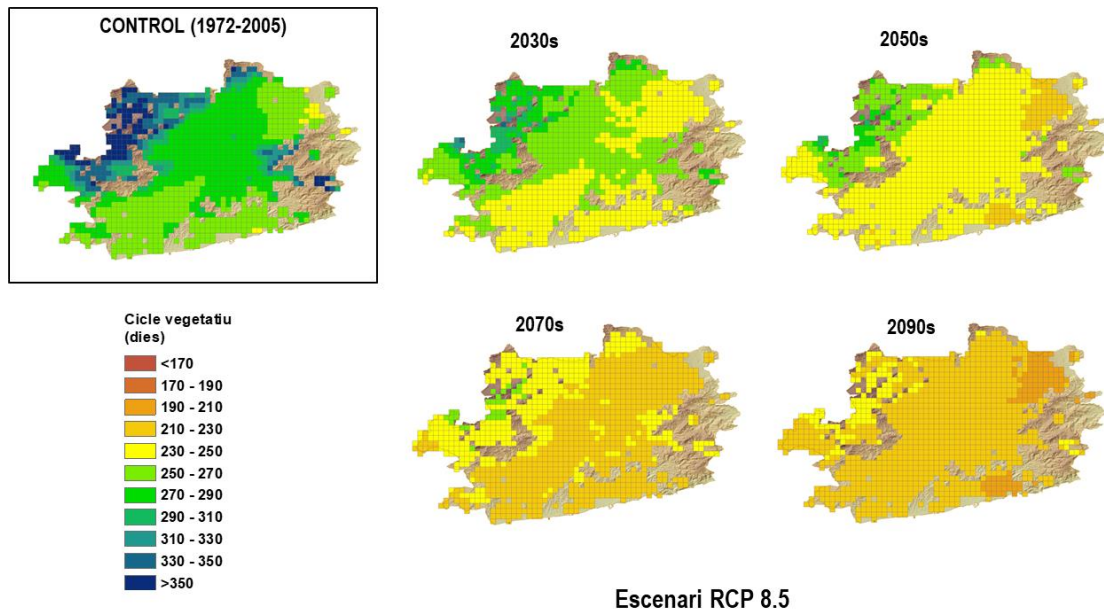


Figura 12. Distribució espacial del valor mitjà de la durada del cicle vegetatiu (de brotació a verema) de la vinya a la DO Penedès per l'escenari de canvi climàtic intens RCP 8.5 projectat per a les dècades dels anys 2030, 2050, 2070 i 2090. A dalt a l'esquerra es mostra l'escenari control on es representa el valor mitjà del període 1972-2005.

La data de floració podria avançar-se al voltant d'un mes a final de segle per a gairebé tota la DO (Figura 16), lo qual podria augmentar el risc de gelades en alguns indrets, ja que la floració es podria avançar a èpoques de l'any on podrien coincidir amb episodis de gelades.

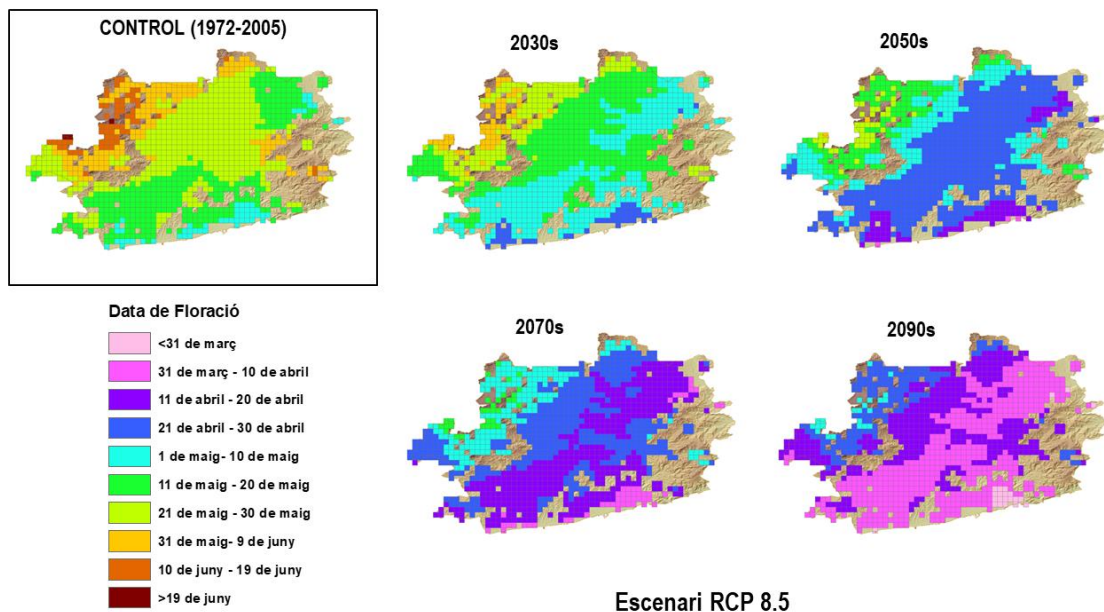


Figura 13. Distribució espacial del valor mitjà de la data de floració de la vinya a la DO Penedès per l'escenari de canvi climàtic intens RCP 8.5 projectat per a les dècades dels anys 2030, 2050, 2070 i 2090. A dalt a l'esquerra es mostra l'escenari control on es representa el valor mitjà del període 1972-2005.

La data de verema podria avançar-se de mitjana al voltant d'un mes a la propera dècada (2030) independentment de l'escenari de canvi climàtic (Figura 14 i 15). Els avenços podrien ser de fins a -29 dies a la dècada 2030s i de fins a -40 dies a finals de segle, per l'escenari més optimista (RCP 4.5; Figura 14); i

de més d'un mes per la propera dècada (2030s) i de gairebé dos mesos per final de segle, per l'escenari més dramàtic (RCP 8.5; Figura 15).

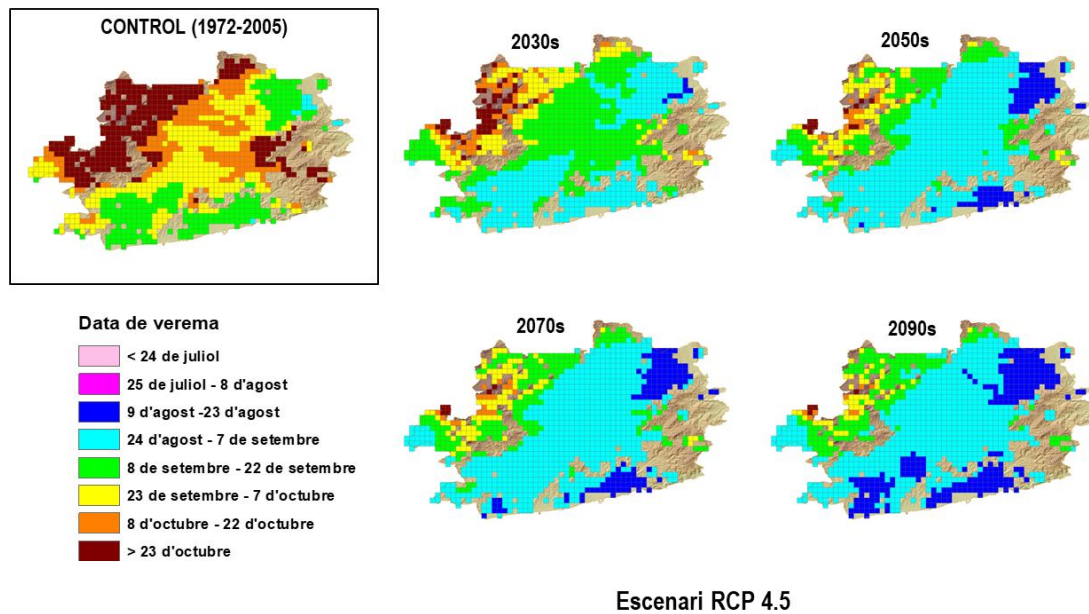


Figura 14 Distribució espacial del valor mitjà de la data de verema de la vinya a la DO Penedès per l'escenari de canvi climàtic moderat RCP 4.5 projectat per a les dècades dels anys 2030, 2050, 2070 i 2090. A dalt a l'esquerra es mostra l'escenari control on es representa el valor mitjà del període 1972-2005.

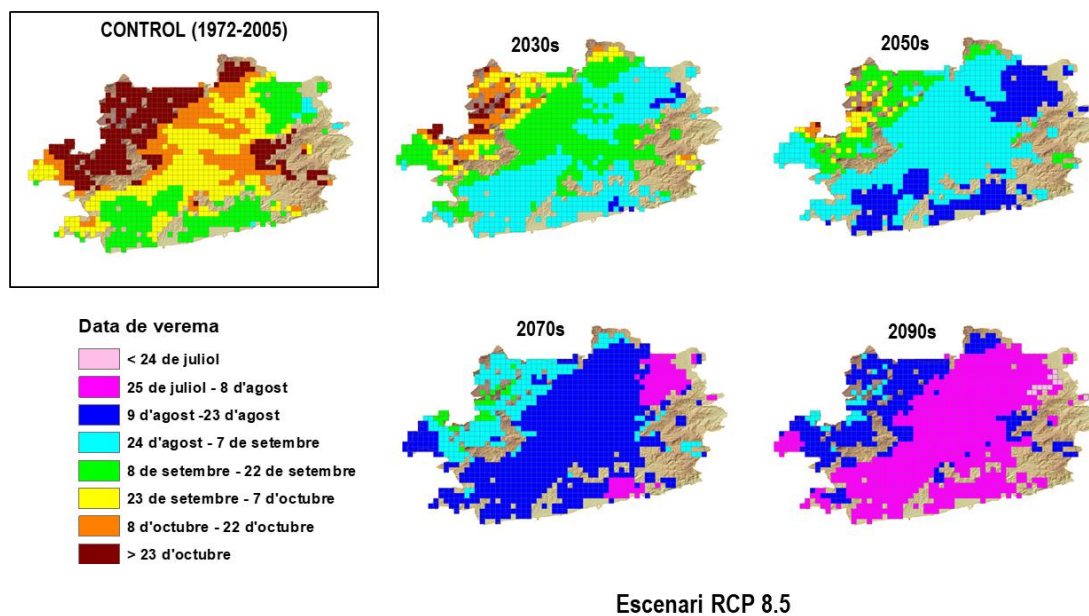


Figura 15. Distribució espacial del valor mitjà de la data de verema de la vinya a la DO Penedès per l'escenari de canvi climàtic intens RCP 8.5 projectat per a les dècades dels anys 2030, 2050, 2070 i 2090. A dalt a l'esquerra es mostra l'escenari control on es representa el valor mitjà del període 1972-2005.

### *Impacte del Canvi Climàtic a la qualitat del raïm*

Atès que la temperatura afecta fortament els paràmetres de qualitat del raïm durant la fase de maduració, s'han calculat indicadors agroclimàtics específics per a aquest estat fenològic (des de verol fins a la collita).

La temperatures mínimes durant la nit són indicadors importants de la qualitat del raïm ja que influeixen en la retenció d'aromes i en l'acidesa. Si les temperatures a la nit són baixes, tindrem una menor degradació d'àcid màlic, amb una bona acumulació de sucres i bon metabolisme d'antocians. Si les temperatures són altes tant al dia com a la nit tindrem raïm amb un alt nivell de sucres però amb baixa acidesa, oxidació del color i maduració heterogènia dels tanins.

Al territori de la DO Penedès podria augmentar el nombre de nits tropicals al voltant de +4-5 dies durant la propera dècada (Figura 16). A finals de segle, el nombre de nits tropicals podrien ser +7-12 més que el període de referència.

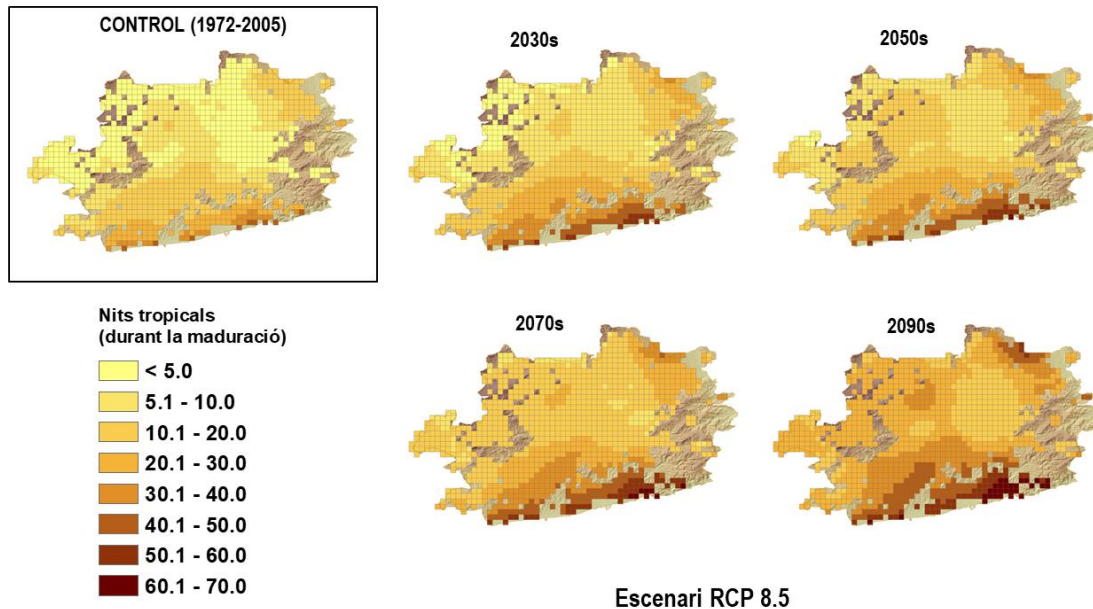


Figura 16. Distribució espacial del nombre de nits tropicals durant la maduració a la DO Penedès per l'escenari de canvi climàtic intens RCP 8.5 projectat per a les dècades dels anys 2030, 2050, 2070 i 2090. A dalt a l'esquerra es mostra l'escenari control on es representa el valor mitjà del període 1972-2005.

La temperatura mínima diària podria augmentar fins a 1°C per la propera dècada en ambdós escenaris de canvi climàtic i fins a +1.3 °C i +2 °C per final de segle, depenent de l'escenari de canvi climàtic (Figura 2.16 i 2.17).

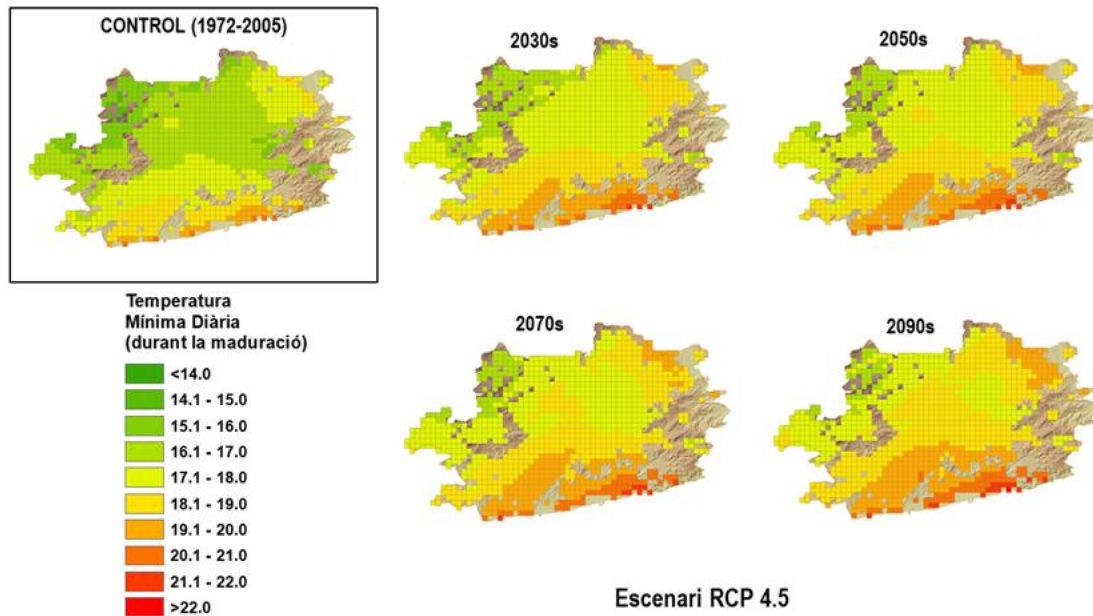


Figura 16. Distribució espacial de la temperatura mínima diària durant la maduració a la DO Penedès per l'escenari de canvi climàtic moderat RCP 4.5 projectat per a les dècades dels anys 2030, 2050, 2070 i 2090. A dalt a l'esquerra es mostra l'escenari control on es representa el valor mitjà del període 1972-2005.

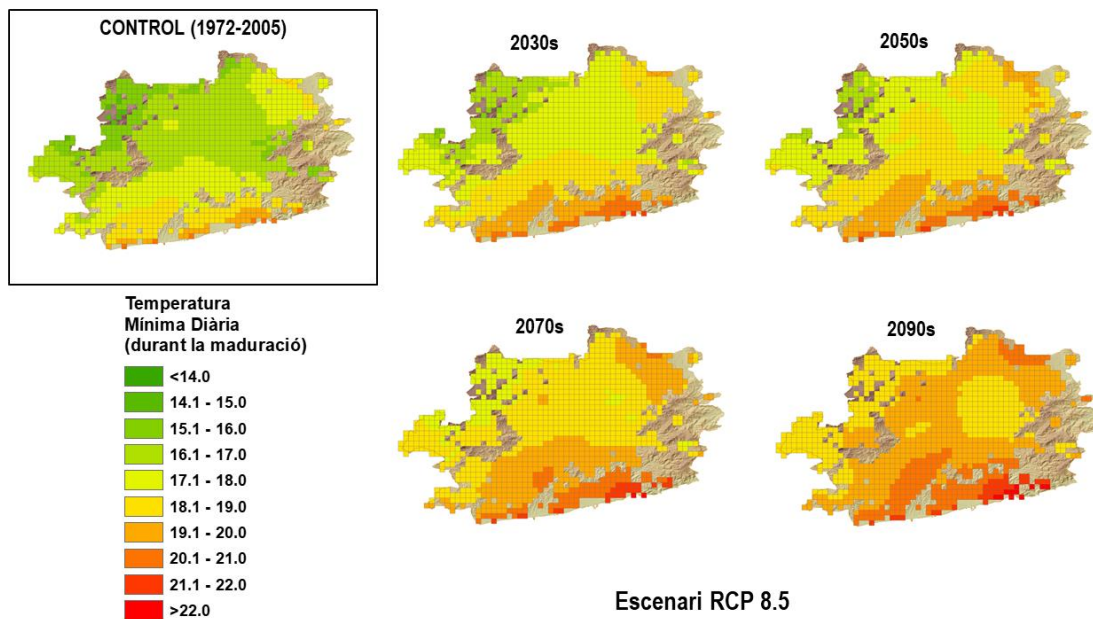


Figura 2.17. Distribució espacial de la temperatura mínima diària durant la maduració a la DO Penedès per l'escenari de canvi climàtic intens RCP 8.5 projectat per a les dècades dels anys 2030, 2050, 2070 i 2090. A dalt a l'esquerra es mostra l'escenari control on es representa el valor mitjà del període 1972-2005.

## Conclusions

Les necessitats hídriques netes aquí mostrades ens mostren quines zones seran més vulnerables a aquests efectes del canvi climàtic. Aquelles zones on les necessitats hídriques siguin menors o on pugui haver-hi aigua disponible per complementar amb estratègies de reg sostenibles, tindran potencialment un menor impacte en l'activitat. També, es podran dur a terme altres estratègies adaptatives, de maneig del cultiu que puguin contribuir a reduir el coeficient de cultiu (la  $K_c$ ) i per tant l'evapotranspiració del cultiu i les seves necessitats hídriques netes. Les necessitats hídriques del cultiu podrien ser de 1 a 2 vegades més grans que les actuals a curt termini (de +23 a +41 mm/any) i de 2 a 3 vegades més grans a finals de segle (de +35 a +81 mm/any) segons l'escenari. El canvi climàtic impactarà de manera diferent en les necessitats hídriques segons els tipus de sòl: Importància de la gestió del sòl. L'augment de les necessitats hídriques, juntament amb la baixa disponibilitat d'aigua per a reg que es preveu, podria desafiar la producció de raïm. En general, la fenologia i el cicle de cultiu s'avancen i escurcen. Per altra banda, els indicadors agroclimàtics indiquen que els paràmetres de qualitat del raïm per a la producció de vi poden ser afectats per l'augment de les temperatures.

En el futur hi haurà menys recursos disponibles a Catalunya (50 hm<sup>3</sup>/any al 2050) i els usos existents hauran de ser compatibles amb l'ús i la garantia de l'abastament (prioritari) i la preservació de sistemes aquàtics (zones humides i compliment de cabals de manteniment). Cal plantejar escenaris adients en el marc d'un canvi climàtic i invertir esforços en l'adaptació, resiliència, l'estalvi i la eficiència en tots els usos amb l'objectiu que l'aigua, preferentment, romangui al medi hídric (aquífer/riu) i no per generar noves demandes. Les aigües subterrànies són un recurs estratègic i requereixen d'especial protecció. En l'àmbit de la DO Penedès hi ha 2 MAS en mal estat quantitatiu i 2 en mal estat qualitatiu. Algunes masses d'aigua subterrània no poden augmentar l'extracció per trobar-se en mal estat quantitatiu o qualitatiu per clorurs (o en risc). Al contrari, cal reduir les extraccions mitjançant la millora de l'eficiència en l'ús de l'aigua, fomentar la reutilització i gestionant les aportacions externes. En cas de necessitar augmentar la demanda d'aigua per a reg agrícola, cal preveure quina és la font origen més adequada. La reutilització i l'embassament del Foix poden ser opcions a valorar. La MAS-22 és on es concentra la majoria del cultiu de vinya inclòs a la DO Penedès. Els resultats del projecte SECAREGVIN estableixen unes necessitats d'aigua per al pas de secà a regadiu de la vinya que no es poden cobrir amb aigua subterrània. Dirigir esforços al reg de suport de vinya a la DO Penedès a mitjà i llarg termini. A la MAS-22 es podria augmentar l'extracció d'aigua subterrània però abans caldria: (i) actualitzar les extraccions actuals i realitzar un balanç, (ii) conèixer la relació entre unitats aquíferes, (iii) valorar l'evolució de nivells i (iv) avaluar la possibilitat d'augment d'extraccions per al reg de suport de vinya tenint en compte els anys secs i l'escenari de Canvi Climàtic. De fet, l'Agència pretén treure a licitació (2022-2023) un projecte amb aquests objectius i es demanarà la participació dels principals actors (cellers/bodegues). Cal establir un sistema de peticions de grans magnituds (extensió i volum) que estiguin liderades/coordinades per alguna entitat del territori amb visió global i no per peticions individuals.

## Referències

- ACA i IRTA. (2008). Pla per a l'eficiència en l'ús de l'aigua per a reg agrícola. Agència Catalana de l'Aigua i Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària.
- Allen RW, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. 300 pp
- Altava-Ortiz, V. i A. Barrera-Escoda (2020): Escenaris climàtics regionalitzats a Catalunya (ESCAT-2020). Projeccions estadístiques regionalitzades a 1 km de resolució espacial (1971-2050). Informe tècnic. Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 169 pp.
- ArcGis (2020). Versión 10.8. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, Inc.
- Clarke D. (1998). CROPWAT for Windows: User Guide. FAO, Rome.
- Funes, I., Savé, R., de Herralde, F., Biel, C., Pla, E., Pascual, D., Zabalza, J., Cantos, G., Borràs, G., Vayreda, J., and Aranda, X. (2021) Modeling impacts of climate change on the water needs and growing cycle of crops in three Mediterranean basins. *Agricultural Water Management* 249, 106797.
- 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 [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Ramos, M., Jones, C. & Martínez-Casanovas, J (2008) "Structure and trends in climate parameters affecting winegrape production in northeast Spain". *Climate research*. Vol. 38: 1-15.
- Savé, R., de Herralde, F., 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, 78-87.
- Tercer Informe del Canvi Climàtic a Catalunya (2016). [http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/tercer-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/TERCER\\_INFORME\\_CANVI\\_CLIMATIC\\_web.pdf](http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/tercer-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/TERCER_INFORME_CANVI_CLIMATIC_web.pdf)
- Tonietto, J. and Carbonneau, A. (2004) A Multicriteria Climatic Classification System for Grape-Growing Regions Worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124, 81-97.
- Wickham, H. (2009) *Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. 2nd Edition, Springer, New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-98141-3>





**Generalitat  
de Catalunya**

**IRTA<sup>R</sup>**

**Institut  
de Recerca i Tecnologia  
Agroalimentàries**