
EL CANVI CLIMÀTIC EN EL CULTIU DE LA VINYA. EFECTES EN LA GARNATXA NEGRA

Montserrat Nadal

Grup de Recerca Vitivinicultura, Departament de Bioquímica i Biotecnologia,
Facultat d'Enologia, Universitat Rovira i Virgili

REBUT: 18 de juny de 2018 - ACCEPTAT: 25 de juny de 2018

RESUM

Els resultats que es presenten en aquest article corresponen a un assaig fet a la Denominació d'Origen Qualificada (DOQ) Priorat amb la varietat garnatxa que estudia els efectes de la variabilitat climàtica en el creixement del cep i la qualitat dels vins de garnatxa a la DOQ Priorat. S'hi avalua l'efecte de variabilitat del clima en la composició del raïm i del vi de garnatxa en dues parcel·les de vinya situades en topografies diferents del municipi del Molar durant les anyades 2010 i 2011. La disponibilitat de dades en una zona vitícola d'orografia variable com és el Priorat constitueix una eina útil per a caracteritzar la vulnerabilitat del cultiu amb la finalitat de conèixer les repercussions que causen els elements de l'ecosistema vitícola en el desenvolupament de la planta, en la maduració del raïm i en la composició i en la qualitat dels vins produïts. L'adquisició d'aquest coneixement ens ha de permetre adaptar algunes pràctiques vitícoles davant del nou escenari i precisar les dates de la verema per a millorar la sostenibilitat econòmica del cultiu. El canvi climàtic en els darrers anys, caracteritzat per un excés de temperatura i un augment del dèficit de pressió de vapor al final de la fase de maduració (agost i setembre), ha comportat efectes negatius per a la qualitat del raïm de garnatxa. Aquesta variabilitat del clima, que dona lloc a un escalfament i a una sequera més elevats, promou una acceleració del contingut de sucres en el raïm de garnatxa, que provoca un augment del grau alcohòlic dels vins, mentre que el color del vi —la concentració fenòlica en antocians— disminueix.

Correspondència: Montserrat Nadal Roquet-Jalmar. Facultat d'Enologia, Universitat Rovira i Virgili, Campus Sescelades. 43007 Tarragona. Tel.: 977 558 798. A/e: montserrat.nadal@urv.cat.

Montserrat Nadal

PARAULES CLAU: clima, tipus de sòl, estrès hídric, dèficit de pressió de vapor, composició del vi, antocians.

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CULTIVO DE LA VID. EFECTOS EN LA GARNACHA TINTA

RESUMEN

Los resultados que se presentan en este artículo corresponden a un ensayo realizado a la Denominación de Origen Calificada (DOCa) Priorat con la variedad garnacha que estudia los efectos de la variación climática en el crecimiento de la vid y en la calidad de los vinos de garnacha en la DOCa Priorat. Este estudio evalúa el efecto de variabilidad del clima en la composición de la uva y del vino de garnacha en dos parcelas de viñedo situadas en topografías diferentes del municipio del Molar durante las añadas 2010 y 2011. La disponibilidad de datos en una zona vitícola de orografía variable como es el Priorat constituye una herramienta útil para caracterizar la vulnerabilidad del cultivo con el fin de conocer las repercusiones que causan los elementos del ecosistema vitícola a nivel de desarrollo de la planta, en la maduración de la uva y en la calidad de los vinos producidos. La adquisición de este conocimiento tiene que permitirnos adaptar algunas prácticas vitícolas al nuevo escenario y precisar las fechas de vendimia para mejorar la sostenibilidad económica del cultivo de la viña. El cambio climático en los últimos años, caracterizado por un exceso de temperatura y un aumento del déficit de presión de vapor al final de la fase de maduración (agosto y septiembre), ha comportado efectos negativos para la calidad de la uva de garnacha. Esta variación del clima, que da lugar a un calentamiento y a una sequía más elevados, provoca la aceleración del contenido de azúcares en la uva de garnacha, que conduce a un aumento del grado alcohólico en los vinos, mientras que el color del vino —la concentración fenólica en antocianos— disminuye.

PALABRAS CLAVE: clima, tipo de suelo, estrés hídrico, déficit de presión de vapor, composición del vino, antocianos.

CLIMATIC CHANGE IN WINEGROWING. EFFECTS ON RED GRENACHE

ABSTRACT

Both grape composition and wine style are the result of the environment and of viticultural management (Jackson & Lombart, 1993). Nowadays, one

El canvi climàtic en el cultiu de la vinya. Efectes en la garnatxa negra

of the challenges of viticulture with respect to climate change is to achieve a sustainable production that ensures an optimum ripening process in order to produce high-quality wines. A vineyard reflects its immediate growing area, including the soils and climatic conditions that influence production. Variations resulting from the current climate change, especially in regions like the Mediterranean basin, should be carefully analysed and characterised for a better understanding. Such climatic changes quickly affect growing regions which possess poor coarse-textured soils with low fertility, and especially those located in areas with low and irregular precipitation that are also subject to erosive phenomena. Water stress – resulting from high evapotranspiration, lack of summer rainfall, and well-drained soils with low retention capacity – has a significant effect on such vineyards. An understanding of vegetative growth, and of how this affects the final composition of the grapes, is essential to determining optimal harvest dates for high-quality wines. The negative effects of high temperatures, which reduce the synthesis of phenolic compounds, a factor directly related to the quality of red wines, should be noted.

This paper evaluates the effect of climate variability on two different plots in the same growing area of the Priorat Protected Designation of Origin (PDO) (Catalonia, NE Spain), focusing on the grape varietal *V. vinifera* ‘Grenache’, in two climatically differentiated vintages, 2010 and 2011. The PDO Priorat area, situated behind the coastal mountain range of Tarragona, tends towards continentality with very little precipitation during the vegetation cycle. The soil, which is poor, dry and rocky, is largely composed of slate schist, known as “llicorella”. The two chosen plots of Grenache are referred to as: LO (in the township of Lloar) and EM (in the township of Molar), which are distinct topographic locations within the designation of origin. Grenache vines in LO are 14 years old, growing in east-south facing terraces. Grenache vines in EM are 16 years old and south-facing. Both vineyards feature a 2-wire VSP trellis system (70 cm in height). The vines are pruned as bilateral cordon. During 2010 and 2011, leaf area (LA) at the phenological stages of pea size (PS), veraison (V), final ripening (RP) and post-harvest (PH) was measured. Berry phenolic maturity was monitored and the chemical analyses of the wine were carefully evaluated. The 2010 vintage was characterized by a heterogenic distribution of rainfall and a lower vapor deficit pressure than 2011. Total leaf area (TLA) on plots did not differ significantly in the temperate year. In the drier vintage, however, vines from LO developed more leaf area than those growing in the south-facing terraces at EM. Nevertheless, the total leaf area before harvest was similar. The heterogeneity in the soil profile at the LO location could likely induce a variation in the drainage capacity, affecting the vine growth (TLA). Small berries from EM produced the highest levels of anthocyanins. EM had the highest content in ANT T, ANT E, IPT and DMACA in both years. Concerning

the wines, the highest concentration of anthocyanin was found in the EM treatment, with greater differences than LO in 2010. The warming weather conditions at the end of the ripening process promote an acceleration of the sugar content that affects wine composition by increasing the alcoholic degree, whereas the colour of the wine – the phenolic concentration in anthocyanins – diminishes. Grenache vines growing under warm climate conditions (Priorat Protected Designation of Origin) in heterogeneous-stony soils showed notable variability in wine composition with respect to climate change.

KEYWORDS: climate, stony soil, water stress, vapor pressure deficit, wine composition, anthocyanins.

1. INTRODUCCIÓ

Els estudis i els models sobre el clima del futur alerten sobre la disminució de la disponibilitat real d'aigua per a les plantes causada per l'increment de l'evapotranspiració, conseqüència de l'augment de temperatura (IPCC, 2007). Els canvis sobre les precipitacions, però, són molt més difícils d'establir o constatar de manera clara, especialment en l'àmbit mediterrani, de gran variabilitat pluviomètrica estacional i interanual, a més de la seva característica distribució espacial irregular. Alguns dels primers models de predicció sobre el clima van generar escenaris de canvi climàtic que mostren que les regions meridionals mediterrànies es veuran afectades per un augment de la durada i de la freqüència dels períodes secs (Bindi *et al.*, 1996; Jones *et al.*, 2005). S'ha constatat que la temperatura de les zones vitivinícoles mundials va sofrir un augment d'1,26 °C entre els anys 1950 i el 1999, i s'estima un increment de 2,04 °C cap a l'any 2050. En aquest nou escenari, la influència del canvi global afecta diferencialment l'ecosistema vitícola segons les particularitats de la seva orografia i segons les variables edafoclimàtiques que se'n deriven. Per a aprofundir en l'estudi de les repercussions de l'augment de temperatures i de sequera a la vinya, cal conèixer les respostes de les plantes que creixen en situacions extremes, respostes tant amb relació a la planta com amb relació a la composició i a la qualitat del fruit i del vi (Jones i Davis, 2000).

Diferents estudis presenten dades que avalen els efectes de l'escalfament global progressiu sobre els canvis en la fenologia de la vinya, en les respostes fisiològiques i en la composició del fruit; cal destacar: una acceleració de la maduració i de l'acumulació de sucres en el raïm, amb l'augment consegüent de grau alcohòlic del vi, i una gran variabilitat en el contingut de compostos fenòlics segons varietats i vinyets (Ojeda *et al.*, 2002; Pérez-Magariño i González-San José, 2004; Nadal *et al.*, 2004; Adams, 2006; Downey *et al.*, 2006; García de Cortázar-Atauri *et al.*, 2010). Entre altres treballs, un estudi

El canvi climàtic en el cultiu de la vinya. Efectes en la garnatxa negra

sobre l'evolució del grau alcohòlic del vi negre a la comarca del Priorat amb relació al clima (precipitació i temperatura registrades des del 1984 fins al 2008) de López-Bustins *et al.* (2013), no va donar cap correlació entre l'augment de temperatura i el grau dels vins. Es constata l'increment d'una unitat del grau alcohòlic durant aquest període, amb un pendent de la recta més pronunciat en la darrera dècada de l'estudi. La temperatura per si sola no explica aquest augment; els canvis de gust del consumidor, la millora de les tècniques de cultiu, l'augment de garnatxa en les plantacions durant els darrers quinze anys (Nadal i Sánchez-Ortiz, 2011) i el maneig de la vinya al costat de la tecnologia i innovacions en celler, en poden justificar la resta.

Entre els múltiples factors que incideixen en la producció i en la qualitat del fruit en el cultiu de la vinya, en destaquem, per una banda, la variabilitat del clima i dels sòls, que influeix en el creixement del cep i la seva fisiologia, i, per l'altra, les pràctiques vitícoles que modulen i modifiquen el cultiu per a aconseguir un bon estat sanitari i atènyer una òptima maduració del raïm.

Amb relació a la variabilitat del clima i el tipus de sòls, el clima local d'una regió i el microclima de la parcel·la són determinants a l'hora d'escollir implantar les varietats més adaptables a les característiques del lloc. Considerar els factors del clima que envolten un vinyet determinat té una importància cabdal de cara al destí i a la qualitat dels vins que se'n volen obtenir. Els factors topogràfics de la zona vitícola permeten distingir parcel·les segons si són en una plana o en un pendent costerut, que, a més, es pot trobar en diferent altitud respecte del nivell del mar i diferent orientació. Totes aquestes diverses localitzacions de vinyets estan configurades per l'orografia de cada regió. Per tant, en cada vinyet es pot registrar una diferència en temperatura, humitat, hores d'insolació, intensitat de brises i vents, que dependrà de la topografia de cada parcel·la i determinarà microclimes específics. Els elements climàtics influiran en la fenologia i en la fisiologia, que repercutiran en el vigor de la planta, l'evolució de la maduració i en la composició i en la qualitat de raïms i vins (Leeuwen i Seguin, 2006; Bodin i Morlat, 2006). A més de la influència de la topografia, la climatologia de l'anyada és un factor clau per a la maduració del raïm, ja que mitiga o exacerba la qualitat potencial de la collita.

La variabilitat climàtica interanual dona lloc a diferències de qualitat de verema entre anyades que s'expliquen per les variacions en la composició del raïm que suposen; variacions que porten a les conegudes classificacions de vins en anyades que fan les denominacions d'origen en categories de més o menys qualitat (bones, molt bones o excel·lents). El tast dels vins és la metodologia utilitzada per a determinar la qualitat dels vins i així, doncs, la categoria per cada anyada. La variabilitat dels paràmetres climàtics dins el mateix any pot repercutir en la fenologia, avançant o retardant, per exemple, el període de verolada (fase de canvi de color de la pell dels raïms) i modificant la síntesi i l'acumulació de compostos de qualitat en el raïm durant la

maduració. La severitat de la situació esdevé quan hi ha insuficient aigua disponible per a la planta en el sòl, junt amb una condició determinada de l'atmosfera propera al cep caracteritzada per una humitat baixa, i una temperatura i una evapotranspiració elevades. Les conseqüències de la situació són una depressió de la planta, el cep no recupera l'estatus hídric a la nit (quan la demanda evaporativa és inferior i els estomes estan tancats) i sobrevé un dèficit hídric (Coupel-Ledru *et al.*, 2016), es frenen els processos de fotosíntesi, de la respiració, disminueix el creixement de brots i baies, i queden afectats negativament els processos d'iniciació floral i de maduració del raïm. L'afectació de la sequera és notòria perquè repercuteix directament en la minva de la producció, i arriba, en situacions extremes, a fer insostenible el cultiu de la vinya si no es disposa d'alguna font d'aigua per a aplicar una estratègia de reg suplementari.

L'afectació del metabolisme i de la fisiologia en la fase de maduració és causada principalment per l'augment de temperatura i pel dèficit de pressió de vapor. La influència d'aquests paràmetres al final de maduració pot causar una disminució de la síntesi de compostos del metabolisme secundari, aromes i compostos fenòlics i, en conseqüència, repercutir greument en la qualitat del raïm en varietats aromàtiques i negres. Un altre fet que té lloc en ecosistemes vitícoles més càlids (temperatures elevades i sequera) és el desacoblament entre dos processos que caracteritzen la maduració: l'acumulació en la polpa del gra de raïm de sucres i àcids, i la d'aromes i fenols en la pell del raïm. Els compostos fenòlics són paràmetres importants determinants de la qualitat en raïms de varietats negres: els antocians estan involucrats en el color, mentre que els tanins són els responsables de la qualitat gustativa i astringència del vi. El contingut de fenols en el raïm s'ha convertit avui dia en un element de qualitat que cal considerar a l'hora de pagar el raïm quan arriba al celler.

Per a conèixer el moment en què s'aconsegueix la maduració òptima del raïm, viticultors i enòlegs han utilitzat al llarg de dècades la relació entre sucres i àcids com a indicador del grau de maduresa per a determinar la data de la verema. Fins fa pocs anys, el contingut en sucres dels raïms era l'únic paràmetre utilitzat per a decidir el pagament de la collita als viticultors. Tanmateix, avui dia són moltes les empreses que demanen altres índexs amb relació a la composició fenòlica en les varietats negres. L'anàlisi del color del raïm i de la concentració en fenols totals ha despertat un interès enorme de cara a la producció de vins negres de qualitat. Per tant, a més del grau probable del raïm, considerar la concentració i la naturalesa dels compostos fenòlics es revela com una eina indispensable per a determinar la maduresa òptima del raïm i la data de la verema.

Respecte del rol de les persones en la gestió del vinyet, les pràctiques vitícoles de poda d'hivern i poda en verd junt amb el programa d'adobament i reg, si escau, ens permeten modular i adaptar les plantes perquè ad-

El canvi climàtic en el cultiu de la vinya. Efectes en la garnatxa negra

quireixin un vigor adient en què el creixement, el vigor i el desenvolupament dels processos fisiològics al llarg del cicle condueixen a una maduració òptima del raïm. De l'equilibri entre el creixement i la càrrega de raïms que suporta un cep en depèn la maduració correcta del raïm i la seva composició química. La massa foliar de la planta ha de ser suficient per a assegurar per la fotosíntesi el subministrament de sucres per a madurar el fruit i, alhora, l'acumulació de midó com a reserva en el parènquima de l'escorça. Aquest equilibri s'expressa amb l'índex vegetació - collita per cep, és a dir, correspon al càlcul de la relació «àrea foliar en m²/kg de raïms». Segons diversos estudis duts a terme en diferents varietats i vinyes, els rangs entre 0,8 i 1,5 mostrarien un bon equilibri vegetatiu i productiu (Smart i Robinson, 1991; Hunter, 2000; Keller *et al.*, 2008). Les plantes vigoroses desenvolupen un excés d'àrea foliar i sovint també nombrosos raïms. El maneig de la vegetació mitjançant la poda en verd és imprescindible per a millorar la insolació i la ventilació de la vegetació en la zona del fruit, amb l'objectiu d'aconseguir minimitzar el risc de malalties criptogàmiques i completar amb èxit la maduració del raïm. Contràriament, en vinyes de vigor feble i poca superfície foliar respecte al volum de collita, un aclariment de raïms pot facilitar la maduració completa de les baies i millorar-ne la qualitat. La cura en el maneig vitícola del vas o emparrat per a aconseguir raïms de qualitat que madurin correctament per al seu destí final al celler és imprescindible.

En les últimes dècades s'han introduït diverses tècniques vitícoles noves enfocades a la millora de la qualitat, pràctiques agronòmiques basades en el coneixement ecofisiològic i genètic de les varietats i de les espècies conreades. Amb l'objectiu de mitigar els efectes de la variabilitat climàtica s'apunten, entre d'altres: 1) la gestió de l'erosió del sòl i el maneig de les cobertes vegetals; 2) la modificació de la vegetació mitjançant pràctiques culturals de la poda en verd aplicada a cada sistema de conducció específic; 3) la utilització de portaempelts resistents a la sequera i l'expansió de varietats viníferes més plàstiques i de cicle tardà (en el sentit de presentar una uniformitat més gran en la maduració i en la composició del raïm sota aquestes condicions desfavorables); 4) les estratègies de reg adequades a cada zona vitícola segons la varietat, per a adaptar la planta a l'estrès hídric, i, darrerament, 5) l'augment de la biodiversitat (fauna útil i microbiota a nivell de sòls) en el vinyet transformant la producció convencional en ecològica i biodinàmica.

La vinya, cultivada tradicionalment en zones càlides i amb precipitacions escasses, es presenta com una espècie vulnerable sota l'efecte del canvi climàtic. En aquest context, aquest article exposa un assaig fet en el vinyet de la DOQ Priorat en què s'exposen i es discuteixen els resultats i s'extreuen algunes conclusions sobre les repercussions del canvi climàtic en el cultiu, en general, i de la varietat garnatxa, en particular.

2. OBJECTIU

L'objectiu de l'estudi va ser avaluar l'efecte de variabilitat climàtica anual i interanual, l'efecte de l'anyada, en la composició de raïm de la varietat garnatxa en el terror de la DOQ Priorat, caracteritzat per un clima càlid i sòls pobres de gran drenatge.

La varietat garnatxa és resistent a la sequera, isohídrica, tanca estomes abans de perdre excessiva aigua per transpiració i té la capacitat de mantenir la vegetació amb un estatus hídric més adient davant la demanda atmosfèrica que altres varietats. A diferència de la carinyena, les fulles perduren en el cep a la tardor; consegüentment, la defoliació natural en garnatxa és més tardana. Tanmateix, la garnatxa és una varietat que produeix vins amb poc color i, a més, mostra certa sensibilitat respecte de la síntesi de compostos secundaris, es ressent en la verolada quan les temperatures són molt elevades i restringeix la síntesi de fenols (Edo *et al.*, 2013). Hom constata que els vins de garnatxa de zones temperades i fresques presenten notablement més color que els procedents de zones càlides.

3. MATERIALS I MÈTODES

El clima mediterrani a la DOQ Priorat presenta certa tendència a la continentalitat per la seva orografia, rodejat de muntanyes i encaixat entre les serralades prelitoral i litoral de la costa catalana de Tarragona. Rep per un costat el serè (cerç), vent sec i càlid que pren la direcció del riu Ebre i arriba als municipis que es localitzen en el nord-oest de la comarca (les Vilelles, el Molar, Gratallops). D'altra banda, la brisa marinada del sud-est bufa i refresca les vinyes dels municipis de Porrera i Pobleda i d'una part dels municipis de Falset i Bellmunt (Nadal *et al.*, 2008). El clima general es caracteritza per les precipitacions escasses i temperatures estiuenques elevades. La precipitació anual és de 450 mm de mitjana repartida irregularment i es concentra a la primavera (abril i maig) i a la tardor (octubre i novembre). La vinya es conrea en vessants i terrasses excavats a la pissarra, roca mare metamòrfica a partir de la qual es formen els sòls (figura 1) (Nadal i Sánchez-Ortiz, 2011). Els sòls són pobres, poc profunds i formats per pissarres del carbonífer en diferent grau de meteorització, de pH comprès entre 7 i 7,5. La seva porositat elevada (70-90 % de partícules superior a 2 mm) facilita el drenatge i accentua els efectes de la sequera estival (Nadal, 1993). Segons la classificació Soil Taxonomy del Departament d'Agricultura nord-americà (USDA), els sòls de llicorella típics de la regió del Priorat pertanyen a l'ordre entisols, són sòls joves de formació recent en el sentit geològic del terme, poc edafitzats (no tenen endopediò de diagnòstic) i amb pedregositat elevada. La pedregositat es correspon amb la part de partícules del sòl que són més grans de 2 mm (elements

El canvi climàtic en el cultiu de la vinya. Efectes en la garnatxa negra

FIGURA 1. *Paisatge prioratí vitícola. Vinyes en costers*



FONT: Fotografia de l'autora.

FIGURA 2. *Terrasses de garnatxa. El Molar*



FONT: Fotografia de l'autora.

Montserrat Nadal

grossos). La textura del sòl de llicorella dona lloc, en general, a sòls francoargilosos, degut a l'erosió de la roca metamòrfica que rendeix les partícules inicials de la seva formació, partícules de diàmetre petit. Tanmateix, el volum total del sòl està format per blocs i pedres grans de pissarra.

Per a avaluar l'efecte del terror i de la climatologia, es van triar dues parcel·les de garnatxa amb portaempelt R110, situades en topografies diferents del municipi del Molar: la primera anomenada el Molar (EM) (41° 9' 21,10" N 0° 43' 4,08" E, altitud 210 m) i la segona el Lloar (LO) (41° 10' 5,64" N 0° 43' 17,18" E, altitud 240 m), que es van estudiar durant dues veremes clarament diferents: 2010 i 2011. El sòl és coal·luvial de natura francosorrenca a EM i francollimosa a LO, segons la classificació de l'USDA. Les vinyes en LO tenen catorze anys, les fileres orientades a sud-est; les d'EM tenen setze anys i la terrassa té orientació sud (figura 2). L'alçada vertical de l'emparrat ateny 70 cm, l'espai entre ceps i fileres és d'1,2 m i 2,5 m, respectivament. La mateixa poda Royat amb dos braços i tres caps per braç caracteritza ambdues parcel·les.

Cada parcel·la es divideix en 3 blocs que constitueixen els triplicats de cada vinyet. Cadascun dels blocs comprèn 30 ceps, i en cadascun es marquen 3 ceps per a la realització dels mostreigs i les mesures. Estacions agroclimàtiques (model DECAGON) situades en cada parcel·la d'estudi van facilitar la recollida de les dades de diferents paràmetres: temperatura màxima i mínima (°C), humitat relativa (%), radiació (W/m²) i precipitació (mm) en base horària, que a la vegada van permetre calcular el dèficit de pressió de vapor (DPV) i l'evapotranspiració potencial diària (ET₀ expressat en mm/dia) segons Hargreaves.

La superfície foliar per cep es va mesurar en quatre estadis fisiològics: mida de pèsol, verol, maduració i postcollita. Es va calcular la superfície de fulles que representa l'àrea foliar primària (PLA), els sarments, i la dels brots laterals —anomenats *cavalls* o *nets*—, que constitueixen l'àrea foliar secundària (SCA). Durant la maduració, es van agafar mostres setmanals de 400 baies per triplicat en cada parcel·la (EM i LO) per a determinar els sucres, l'acidesa total, el pH i la maduresa fenòlica de la baia. Els compostos fenòlics en el raïm es van extreure segons el mètode de Glories modificat (Nadal, 2010) i se'n van determinar els antocians totals i extraïbles (ANT T i ANT E), l'índex de polifenols totals (IPT) i el DMACA (flavan-3-ols).

Segons les dades dels controls de maduració del raïm, es va decidir la data de verema, els raïms es van collir i separar en caixes per a pesar el volum de collita de cada tractament, i, seguidament, es van premsar i distribuir en recipients adients per a la realització de microvinificacions de 10 L. Cadascuna de les parcel·les es va vinificar per triplicat (3 dipòsits petits per cada parcel·la). Un cop acabada la fermentació alcohòlica, en el vi final es van determinar el pH, l'acidesa total i el grau alcohòlic del vi (OIV, 2011) i la seva composició fenòlica en antocians, tanins i l'IPT (Ribéreau-Gayon *et al.*, 2000; Nadal, 2010).

4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

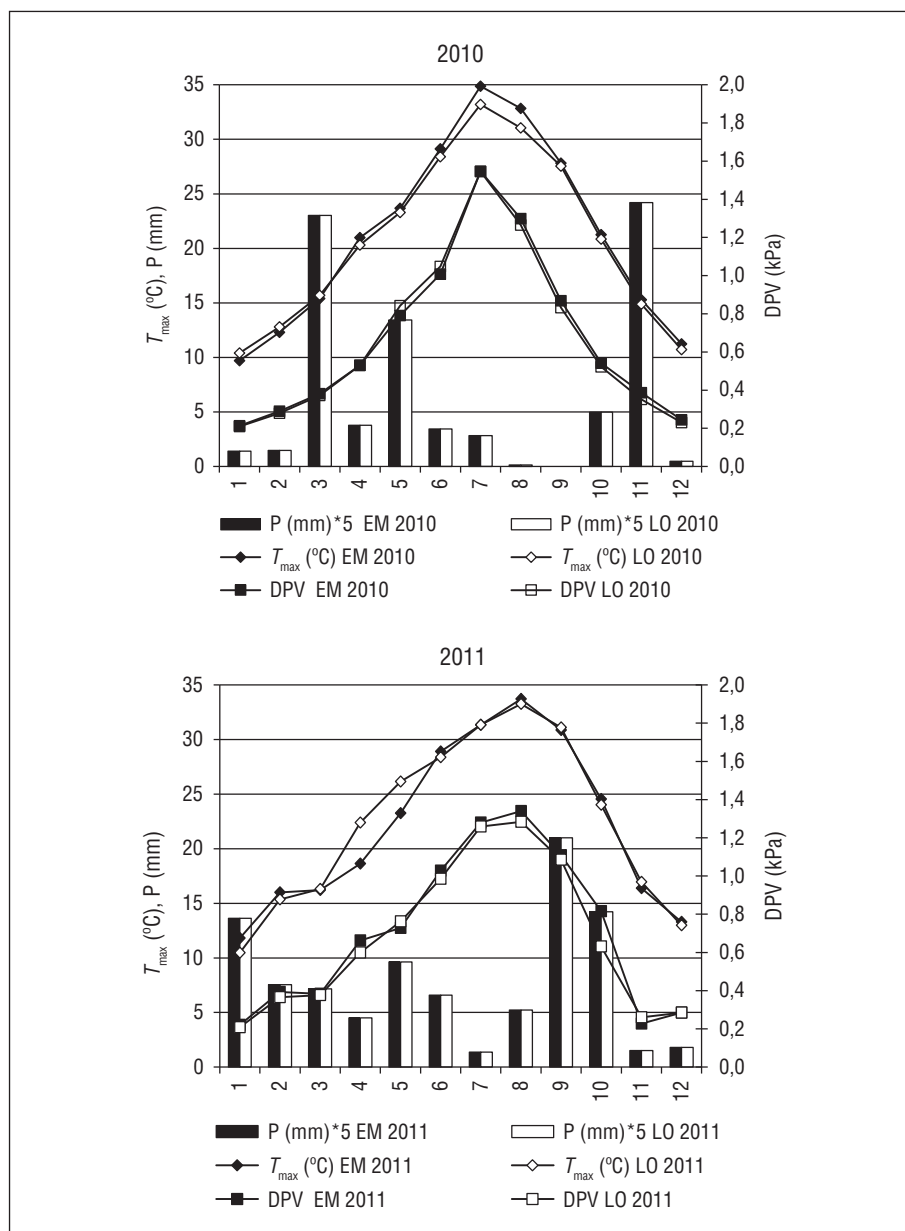
4.1. Climatologia

Els mesos crucials que definiran les característiques de la verema són juliol, agost, setembre i octubre, el període entre verolada i verema. Les temperatures van ser més altes el 2011 durant el període de maduració (setembre), mentre que en l'anyada del 2010 les temperatures van ser més moderades, i en alguns punts van ser 5 °C inferiors que l'any següent, el 2011 (figura 3). Les temperatures màximes de 2010 en la vinya LO van assolir valors lleugerament per sota d'EM, amb un màxim registrat al juliol. Contràriament, les temperatures més elevades de 2011 van aparèixer un mes més tard, i van assolir valors notablement més alts de DPV al final d'agost i setembre, que van afectar la maduració del raïm. Tot i que la precipitació anual el 2010 va ser 75 mm inferior en comparació del 2011, al llarg de l'any va registrar temperatures màximes i DPV més baixos. Per tant, el 2010 va ser definit com una anyada més suau (temperada); mentre que la del 2011, amb dades més extremes, es va considerar càlida.

4.2. Tipus de sòl i creixement vegetatiu (àrea foliar)

La parcel·la EM presenta una textura similar entre el sòl més superficial (de 0 a 30 cm de profunditat) i les capes de subsol (de 30 a 60 cm de profunditat). La proporció d'elements de mida gran (pedregositat) varia entre 35-40 % en ambdues capes, mentre que el percentatge restant correspon a elements fins que determinen una textura francoargilosa en terminologia de la classificació de l'USDA (taula 1). El subsol de LO conté menys argila i menys pedres, és més ric en llims. En canvi, la textura en la primera capa de sòl es distingeix per un percentatge de graves més elevat. Per tant, el sòl a LO és heterogeni, molt més pedregós en la primera capa i amb un contingut d'argila elevat al subsol (25,3 %) si es compara amb el que correspon a la parcel·la EM (5,3 %). Aquesta heterogeneïtat entre les dues parcel·les comporta característiques de drenatge d'aigua diferents, fet que en part podria explicar la disminució de l'àrea foliar més acusada en vinyes de la parcel·la LO (figura 4), perquè l'aigua es perd més ràpid per gravetat si plou i, a més a més, en ser més porosa, s'assequa abans que en la parcel·la EM. De fet, el potencial hídric foliar que ens dona informació sobre la regulació de l'aigua en la planta podria confirmar aquesta situació quant a la disponibilitat d'aigua per al cep. En les dues anyades, les plantes del vinyet LO van arribar al potencial hídric foliar més negatiu en la mesura feta al migdia en època de verolada ($\Psi_{12.00 \text{ h solar}}$) amb diferències entre parcel·les de fins a 0,2 MPa.

FIGURA 3. *Diagrames climàtics (temperatura, precipitació i dèficit de pressió de vapor) dels anys 2010 i 2011 de les dues parcel·les estudiades*



DPV: dèficit de pressió de vapor; EM: El Molar; LO: Lloar; P: precipitació i T_{max} : temperatura màxima.

FONT: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'estudi.

El canvi climàtic en el cultiu de la vinya. Efectes en la garnatxa negra

TAULA I. *Determinació de la textura del sòl (de 0 a 30 cm) i del subsòl (de 30 a 60 cm) de les dues parcel·les estudiades*

		< 2 mm	> 2 mm	% sorra	% llim	% argila	Classificació de l'USDA
EM	Sòl	59,4 %	40,6 %	46,3	48,3	5,3	Francosorrenca
	Subsòl	65,8 %	34,2 %	40,0	54,7	5,3	Francosorrenca
LO	Sòl	36,4 %	63,6 %	42,0	32,7	25,3	Franco-argilosa-sorrenca
	Subsòl	70,3 %	29,7 %	25,3	70,0	4,7	Francollimosa

EM: El Molar; LO: Lloar.

FONT: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'estudi.

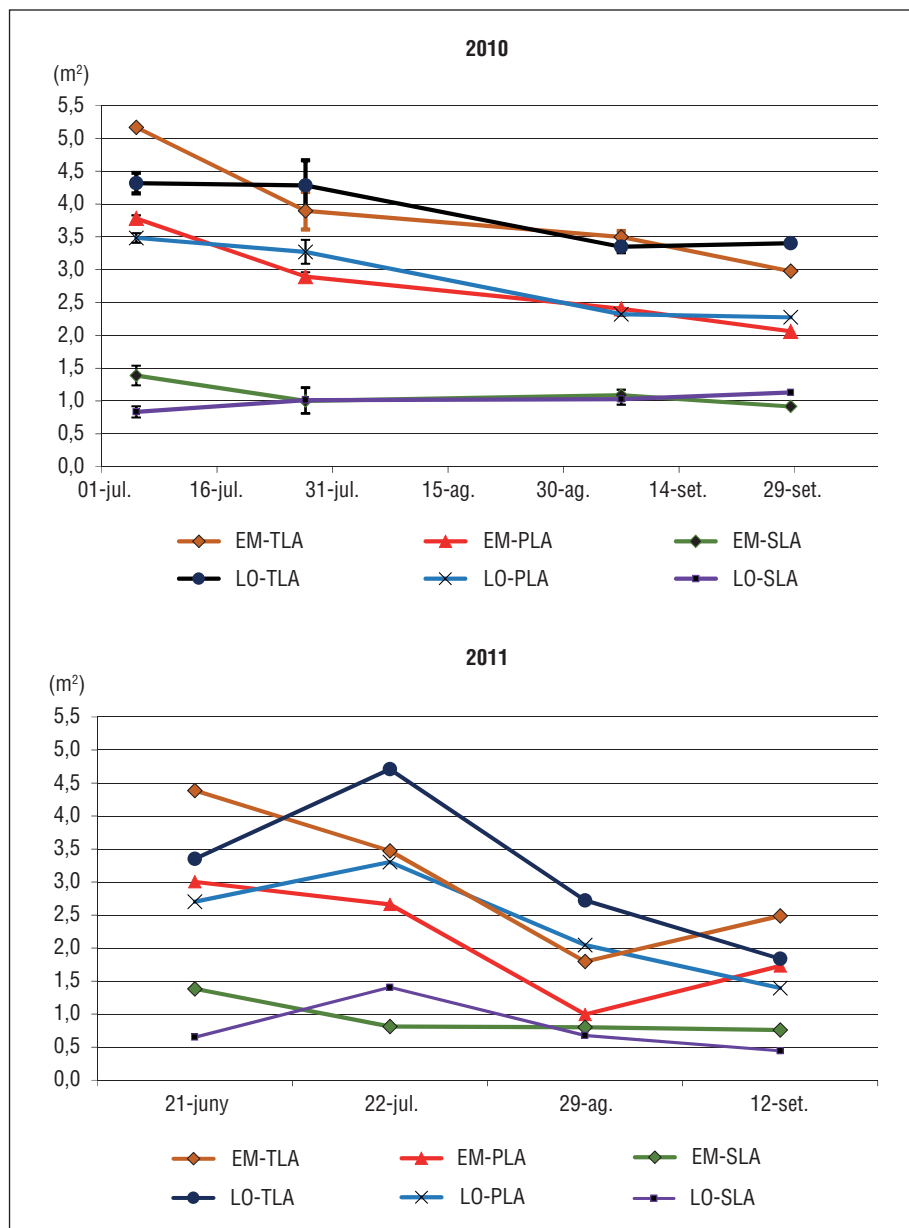
En general, l'evolució de l'àrea foliar total (TLA), de l'àrea foliar primària (PLA) i de l'àrea foliar secundària (SLA) va ser similar en ambdues parcel·les l'any temperat (2010), amb diferències només a l'estadi mida de pèsol (figura 4). L'àrea foliar de les dues parcel·les evoluciona de manera diferent l'anyada del 2011; en la parcel·la LO es va observar més creixement a la primavera que en la parcel·la EM. No obstant això, aquest desenvolupament més gran de l'àrea foliar a LO el 2011 no es va poder mantenir al llarg de la maduració. L'arribada de puntes de temperatures màximes durant la verolada va afectar la vegetació i, davant la impossibilitat de mantenir una massa de fulles tan gran, en va resultar una defoliació notable, com s'observa en la disminució de l'àrea foliar si es compara amb l'any anterior. Al final de la maduració, no es detecta cap diferència d'àrea foliar, ni entre parcel·les de vinya, ni entre anyades.

El DPV el 2010 va ser inferior al setembre i a l'octubre, cosa que reflecteix temperatures més baixes al llarg d'aquest període de maduració del raïm. De verol a maduració el 2011, els pendents del gràfic d'àrea foliar mostren una disminució important si es compara amb les dades de 2010, degut a les temperatures altes registrades en aquest període. Si a més hi sumem el DPV elevat que es va registrar, aquesta disminució en l'àrea foliar fotosintètica es manté fins al final de la maduració. L'estrès hídric i la superfície inferior de fulles actives podrien ocasionar un descens de la síntesi i una migració de fotoassimilats cap al raïm.

4.3. Composició del raïm i dels vins

Els resultats de les anàlisis de la composició dels raïms indiquen diferències significatives ($p \leq 0,5$) entre les dues parcel·les en ambdós anys d'estudi (taules II i III). En la parcel·la EM, les dues anyades van ser similars, amb valors de continguts en sucres elevats. La parcel·la LO el 2011 va tenir un valor particularment alt d'acidesa total (AT) comparat amb la parcel·la EM, però no s'observà cap diferència en el pH. Respecte de la composició fenòlica, la parcel·la EM va

FIGURA 4. Evolució de l'àrea foliar dels ceps en les anyades del 2010 i del 2011 de les dues parcel·les estudiades



EM: El Molar; LO: Lloar; PLA: àrea foliar primària; SLA: àrea foliar secundària; TLA: àrea foliar total.

FONT: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'estudi.

El canvi climàtic en el cultiu de la vinya. Efectes en la garnatxa negra

mostrar el contingut més alt d'ANT T, ANT E, IPT i DMACA en les dues anyades (taula III). Cal emfatitzar que les diferències entre parcel·les l'any més temperat (2011) no van ser gaire evidents; no obstant això, ho van ser força el 2010. La mida de la baia en la parcel·la EM va ser similar les dues anyades, en canvi a LO va mostrar diferències en comparar el 2010 i el 2011. Aquests resultats ens fan pensar en un efecte del sòl heterogeni de la parcel·la LO que afecta la retenció de l'aigua, i les variacions que provoca afecten la mida de baies i la composició final del vi. En les dues parcel·les s'ateny una concentració de sucres similar; tanmateix, cal observar l'efecte de la temperatura elevada i de la sequera al final de la maduració del 2011, que causa una disminució de la mida de la baia, que afecta només la parcel·la de sòl heterogeni, LO.

Els resultats de les anàlisis dels vins (taules IV i V) mostren en ambdues anyades una concentració més alta d'antocians i de l'IPT en els vins d'EM, i mostren diferències estadísticament significatives ($p \leq 0,5$) l'anyada del 2010. La mida més petita de la baia va associada sempre a unes concentracions més elevades dels ANT T, tanins i DMACA. L'augment de temperatura en l'anyada càlida (2011) comporta una similitud en la composició dels vins de les parcel·les estudiades.

TAULA II. *Composició del most i pes de la baia*

		Pes de la baia (g)	Grau Brix	Acidesa total (g/L)	pH
EM	2010	1,44 (± 0,05) <i>b</i>	27,4 (± 0,0) <i>a</i>	4,6 (± 0,1) <i>a</i>	3,55 (± 0,01) <i>a</i>
LO	2010	1,74 (± 0,01) <i>a</i>	26,9 (± 0,1) <i>b</i>	4,2 (± 0,1) <i>b</i>	3,45 (± 0,02) <i>b</i>
EM	2011	1,40 (± 0,02) <i>a</i>	27,5 (± 0,5) <i>a</i>	4,3 (± 0,2) <i>b</i>	3,40 (± 0,06) <i>a</i>
LO	2011	1,28 (± 0,07) <i>b</i>	26,3 (± 0,4) <i>b</i>	5,6 (± 0,1) <i>a</i>	3,50 (± 0,05) <i>a</i>

Lletres diferents indiquen diferències significatives ($p \leq 0,5$).

FONT: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'estudi.

TAULA III. *Composició fenòlica del raïm*

		ANT T (ppm)	ANT E (ppm)	IPT	DMACA (ppm)
EM	2010	661,5 (± 39,4) <i>a</i>	452,1 (± 8,1) <i>a</i>	65,7 (± 3,2) <i>a</i>	103,2 (± 5,2) <i>a</i>
LO	2010	520,3 (± 41,8) <i>b</i>	359,3 (± 23,5) <i>b</i>	54,2 (± 4,3) <i>b</i>	82,6 (± 4,8) <i>b</i>
EM	2011	557,7 (± 103,5) <i>a</i>	455,6 (± 57,0) <i>a</i>	69,0 (± 3,9) <i>a</i>	235,9 (± 20,3) <i>a</i>
LO	2011	479,5 (± 43,9) <i>a</i>	392,0 (± 43,9) <i>a</i>	64,0 (± 1,6) <i>a</i>	224,0 (± 28,5) <i>a</i>

ANT E: antocians extraïbles; ANT T: antocians totals; DMACA: flavan-3-ols; IPT: índex de polifenols totals.

Lletres diferents indiquen diferències significatives ($p \leq 0,5$).

FONT: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'estudi.

TAULA IV. *Composició del vi*

		Grau alcohòlic			Acidesa total (g/L)			pH		
EM	2010	16,1	(± 0,1)	a	5,5	(± 0,0)	a	3,55	(± 0,03)	a
LO	2010	15,5	(± 0,4)	a	5,0	(± 0,4)	b	3,64	(± 0,08)	a
EM	2011	15,5	(± 0,1)	a	5,3	(± 0,4)	a	3,65	(± 0,16)	a
LO	2011	15,1	(± 0,2)	a	5,3	(± 0,2)	a	3,50	(± 0,07)	a

Lletres diferents indiquen diferències significatives ($p \leq 0,5$).

FONT: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'estudi.

TAULA V. *Composició fenòlica del vi*

		ANT T (ppm)	DMACA (ppm)	IPT			Tanins (g/L)						
EM	2010	239,9	(± 22,5)	a	324,8	(± 47,0)	a	47,0	(± 3,0)	a	1,91	(± 0,05)	a
LO	2010	186,8	(± 23,8)	b	274,2	(± 64,8)	a	38,2	(± 3,4)	b	1,33	(± 0,12)	b
EM	2011	361,4	(± 72,1)	a	376,3	(± 94,4)	a	40,3	(± 6,0)	a	1,56	(± 0,33)	a
LO	2011	355,7	(± 47,4)	a	412,2	(± 36,3)	a	45,9	(± 4,1)	a	2,00	(± 0,61)	a

ANT T: antocians totals; DMACA: flavan-3-ols; IPT: índex de polifenols totals.

Lletres diferents indiquen diferències significatives ($p \leq 0,5$).

FONT: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'estudi.

5. CONCLUSIONS

Les precipitacions més o menys abundoses a la primavera afecten el creixement vegetatiu, que es reflecteix en el volum de superfície foliar total que ateny el cep al final del creixement, quan s'acosta a la fase de la verolada. L'estrès hídric acusat durant la verolada provoca una disminució de l'àrea foliar en la maduració, cosa que afecta la composició final del raïm, accelera o alenteix l'acumulació de compostos de qualitat en el raïm i això causa variacions en la composició química que va en detriment de la qualitat del vi.

El canvi climàtic en els darrers anys, caracteritzat per un excés de temperatura i un augment del DPV al final de la fase de maduració (agost i setembre), ha comportat efectes negatius per a la qualitat del raïm de garnatxa. Aquesta variació del clima dona lloc a un escalfament i a una sequera més elevats, que promouen una acceleració del contingut de sucres en el raïm de garnatxa que provoquen un augment del grau alcohòlic en els vins, mentre que el color del vi —la concentració fenòlica en antocians— disminueix.

El canvi climàtic en el cultiu de la vinya. Efectes en la garnatxa negra

La composició fenòlica del raïm es veu clarament afectada en anyades càlides d'estius prolongats i secs per la síntesi més baixa de fenols en verolada i per la disminució de la seva concentració una o dues setmanes abans de la verema. Un desacoblament entre els dos processos, d'acumulació de sucres i de fenols, té lloc en aquesta situació. Contràriament, les anyades temperades són favorables a la garnatxa, i això li permet atènyer uns nivells més alts d'antocians. En aquesta situació té lloc un desacoblament entre els dos processos d'acumulació de sucres i de fenols. Es confirma una tendència similar en la composició fenòlica dels vins. Els resultats suggereixen una influència més important dels factors climàtics durant l'any i específicament en el període de la maduració del raïm, que no pas l'efecte de la topografia de la parcel·la.

El tipus d'horitzons del sòl i la seva naturalesa es revela com un factor de qualitat per la influència que té en l'assequibilitat d'aigua per la planta. L'heterogeneïtat dels horitzons del sòl pot afectar el drenatge i alhora la disponibilitat d'aigua, fet que en part comporta diferències en la composició fenòlica del raïm, independentment de l'anyada. En anyades de sequera acusades, el grau alcohòlic i la concentració de fenols es mantenen a costa d'una disminució notable del pes de la baia (pèrdua de producció).

Per a garantir la qualitat dels vins de garnatxa, caldrà, per tant, intervenir abans de la verolada i regular la vegetació i el rendiment excessiu en anys de primavera més plujosa, amb l'objectiu d'assolir un potencial hídric menys negatiu. Les anyades en què continua l'estiu calorós fins al setembre caldrà avançar la data de la collita abans que la pèrdua de rendiment i la disminució de la concentració en antocians vagin en detriment de la qualitat. Al celler, depenent de la maduresa de la pell, s'hauran d'aplicar tècniques de maceració adients a l'extracció de color o tanicitat segons el destí que el vi requereixi.

AGRAÏMENTS

Aquest estudi ha estat subvencionat pel Projecte nacional MICINN (ref. AGL 2011-30408-C04-02).

BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, D. O. (2006). «Phenolics and ripening in grape berries». *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 57, p. 249-256.
- BERGQVIST, J.; DOKOOZLIAN, N.; EBISUDA, N. (2001). «Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquin Valley of California». *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 52, p. 1-7.

Montserrat Nadal

- BINDI, M.; FIBBI, L.; GOZZINI, B.; ORLANDINI, S.; MIGLIETTA, F. (1996). «Modelling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability of grapevine». *Climate Research*, núm. 7, p. 213-224.
- BODIN, F.; MORLAT, R. (2006). «Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth. Validation of the water supply regime, phenology and vine vigor». *Plant and Soil*, núm. 281, p. 1-2 i p. 37-54.
- COUPEL-LEDRU, A.; LEBON, E.; CHRISTOPHE, A.; GALLO, A.; GAGO, P.; PANTIN, F.; DOLIGEZ, A.; SIMONNEAU, T. (2016). «Reduced nighttime transpiration is a relevant breeding target for high water-use efficiency in grapevine». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113 (32), p. 8963-8968.
- DIAGO, M. P. (2010). *Estudio y desarrollo del deshojado precoz como técnica para controlar el rendimiento de Vitis vinifera: Efectos sobre el desarrollo vegetativo, los componentes de la producción, así como sobre la composición y la calidad de la uva y del vino*. Tesis doctoral. Logronyo: Universidad de La Rioja.
- DOWNY, M. O.; DOKOOZLIAN, N. K.; KRSTIC, M. P. (2006). «Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of grapes and wine: a review of recent research». *American Journal of Enology and Viticulture*, núm. 57, p. 257-268.
- EDO, M.; NADAL, M.; LAMPREAVE, M. (2013). «How terroir affects bunch uniformity, ripening, and berry composition in *Vitis vinifera* carignan and grenache». *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, vol. 47 (1), p. 1-20.
- GARCÍA DE CORTÁZAR-ATAURI, I.; DAUX, V.; GARNIER, E.; YIOU, P.; VIOVY, N.; SEGUIN, B.; BOURSQUOT, J. M.; PARKER, A. K.; LEEUWEN, C. van; CHUINE, I. (2010). «Climate reconstructions from grape harvest dates: methodology and uncertainties». *The Holocene*, vol. 20 (4), p. 599-608.
- HOLT, H. E.; FRANCIS, I. L.; FIELD, J.; HERDERICH, M. J.; ILAND, P. G. (2008). «Relationships between berry size, berry phenolic composition and wine quality scores for Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) from different pruning treatments and different vintages». *Australian Journal of Grape and Wine Research*, núm. 14, p. 191-202.
- HUNTER, J. J. (2000). «Implications of seasonal canopy management and growth compensation in grapevine». *South African Journal of Enology and Viticulture*, núm. 21, p. 81-91.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2007). *Climate change 2007: The physical basis summary for policy makers*. Cambridge: Cambridge University Press.
- INTERNATIONAL ORGANISATION OF VINE AND WINE (OIV) (2011). *Compendium of international methods of analysis of wines and musts*. Vol. 1.
- JACKSON, J. I.; LOMBARD, P. B. (1993). «Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality - A review». *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 44, p. 409-429.

El canvi climàtic en el cultiu de la vinya. Efectes en la garnatxa negra

- JONES, G. V.; DAVIS, R. E. (2000). «Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France». *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 51, p. 249-261.
- JONES, G. V.; WHITE, M. A.; COOPER, O. R.; STORCHMANN, K. (2005). «Climate change and global wine quality». *Climatic Change*, núm. 73, p. 319-343.
- KELLER, M.; SMITHYMAN, R. P.; MILLS, L. J. (2008). «Interactive effects of deficit irrigation and crop load on Cabernet Sauvignon in an arid climate». *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 59, p. 221-234.
- KLIEWER, M.; DOKOOZLIAN, N. K. (2005). «Leaf area/crop weight ratios of grapevines: influence on fruit composition and grape quality». *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 56 (2), p. 170-181.
- LEEUWEN, C. van; SEGUIN, G. (2006). «The concept of terroir in viticulture». *Journal of Wine Research*, vol. 17 (1), p. 1-10.
- LÓPEZ-BUSTINS, J. A.; PLA, E.; NADAL, M.; HERRALDE, F. de; SAVÉ, R. (2013). «Global change and viticulture in the Mediterranean region: a case of study in north-eastern Spain». *Spanish Journal of Agriculture Research*, vol. 12 (1), p. 1-12.
- NADAL, M. (1993). *Estudi dels factors ecològics i de les condicions de maduració del cabernet sauvignon per obtenir vins de qualitat al Priorat*. Tesi doctoral. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- (2010). «Phenolic maturity in red grapes». A: DELROT, S.; MEDRANO, H.; OR, E.; BAVARESCO, L.; GRANDO, S. (ed.). *Methodologies and results in grapevine research*. Heidelberg, Alemanya: Springer Science, cap. 28, p. 389-411.
- NADAL, M.; MATEOS, S.; LAMPREAVE, M. (2008). «Influence de la topographie et du mésoclimat sur la composition des raisins et rendement dans le terroir de l'AOC Priorat». A: *VII Congrès International des Terroirs Viticoles* (Nyon, Suïssa). Vol. 2, p. 590-595.
- NADAL, M.; SÁNCHEZ-ORTIZ, A. (2011). «Territorios del vino: el Priorat». *Territorios du Vin*, núm. 3: *Los territorios del vino en España* [en línia]. <<http://revuesshs.u-bourgogne.fr/territoiresduvin/>> [Consulta: juny 2018].
- NADAL, M.; VOLSCHENK, N.; HUNTER, J. J. (2004). «Phenolic extraction during fermentation as affected by ripeness level of Syrah/R99 grapes». A: *Proceedings of Joint International Conference on Viticultural Zoning* (Ciutat del Cap, Sud-àfrica), p. 469-487.
- OJEDA, H.; ANDARY, C.; KRAEVA, E.; CARBONNEAU, A.; DELOIRE, A. (2002). «Influence of pre- and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. shiraz». *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 53 (4), p. 261-267.
- PÉREZ-MAGARIÑO, S.; GONZÁLEZ-SAN JOSÉ, M. L. (2004). «Evolution of flavanols, anthocyanins, and their derivatives during the aging of red wines elaborated from grapes harvested at different stages of ripening». *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, núm. 52, p. 1181-1189.

Montserrat Nadal

- RIBÉREAU-GAYON, P.; GLORIES, Y.; MAUJEAN, A.; DUBOURDIEU, D. (2000). *Handbook of enology*. Vol. 2: *The chemistry of wine and stabilization and treatments*. Chichester England: John Wiley & Sons Ltd.
- SMART, R.; ROBINSON, M. (1991). *Sunlight into wine: A handbook for winegrape canopy management*. Adelaida: Winetitles.