

EFFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC EN ELS VINS DE CARINYENA EN ECOSISTEMES VULNERABLES. DOQ PRIORAT

Montserrat Nadal i Antoni Sánchez-Ortiz

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

RESUM

La composició del raïm i el tipus i l'estil de vi són el resultat de la interacció dels factors del medi, el clima i el sòl, conjuntament amb el maneig antròpic. Un dels reptes de la viticultura envers el canvi climàtic és aconseguir una producció sostenible que garanteixi una maduració òptima del raïm per obtenir vins de qualitat. L'ecosistema del Priorat, de clima càlid i sec, influeix per l'escalfament global produït en aquests últims anys, constitueix un marc únic per a l'estudi de la vulnerabilitat del cultiu de la vinya.

La variabilitat climàtica a final de maduració ve determinada, principalment, per l'augment de temperatura i el dèficit de pressió de vapor. En anys càlids, es registren les diferències fenològiques més grans entre parcel·les i mesoclims, i s'arriba al màxim d'una setmana en brotada i verolada. Resultat del seguiment de la fenologia de la varietat carinyena durant tres anys, l'inici de brotada és independent de les variacions en la data de verema. Els canvis produïts en la fenologia de la vinya indiquen més variabilitat interanual que intranual. En anys càlids, els raïms i vins en zona precoç atenyen graus alcohòlics més alts que en zona tardana; en canvi, l'acidesa és significativament més elevada a la zona tardana. Els antocians presenten variabilitat quant a l'anyada i situació de la parcel·la; en canvi, l'acumulació de tanins és sempre superior en vins de regions precoces i en anyades càlides.

En general, les vinyes que desenvolupen més àrea foliar no són capaces d'estalviar aigua i cap al final de la maduració pateixen deshidratació i defoliació en la zona dels raïms. En l'altre extrem, les plantes poc vigoroses i amb poca producció de raïms igualment es presenten febles i vulnerables al canvi climàtic. En anyades de sequera severa disminueix el seu rendiment notablement; el fruit presenta baies deshidratades i, en conseqüència, disminueix la qualitat del raïm. El present estudi ens ha permès, en diferents ubicacions parcel·làries/mesoclimàtiques, determinar uns rangs de concentració fenòlica del vi de carinyena. L'índex de polifenols total (IPT) es troba al voltant de 45-51 en anys temperats i de 45-72 en anys més secs

Correspondència: Montserrat Nadal. A/e: montserrat.nadal@urv.cat.

i càlids. Independentment de l'any i de les parcel·les, els antocians es troben en un rang d'entre 441 a 526 mg/L. En relació amb els tanins, les diferències oscil·len entre 1,1 i 3 g/L. La producció de vins joves negres o de criança es podrà determinar en funció de la concentració en compostos fenòlics de raïm i, segons les condicions d'anyada i parcel·la, s'hi hauran d'implementar les tècniques enològiques adients per obtenir els diferents estils de vins.

Coneixent la variabilitat interparcel·l·ària i l'efecte de l'anyada en la composició dels vins, l'establiment d'un interval de concentracions d'antocians i tanins és de gran importància per definir qualitats i estils de vi en parcel·les de vinyes velles en la Denominació d'Origen Qualificada Priorat.

PARAULES CLAU: mesoclima, estrès hídric, carinyena, compostos fenòlics, qualitat del vi.

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS VINOS DE CARIÑENA EN ECOSISTEMAS VULNERABLES. DOQ PRIORAT

RESUMEN

La composición de la uva y el tipo y estilo de vino son el resultado de la interacción de los factores del medio, el clima y el suelo, conjuntamente con el manejo antrópico. Uno de los retos de la viticultura actual frente al cambio climático es conseguir una producción sostenible que garantice una maduración óptima de la uva para obtener vinos de calidad. El ecosistema del Priorat, de clima cálido y seco, influido por el calentamiento global producido en estos últimos años, constituye un marco único para el estudio de la vulnerabilidad del cultivo de la viña.

La variabilidad climática a final de maduración viene determinada, principalmente, por el aumento de temperatura y el déficit de presión de vapor. En años cálidos se registran las mayores diferencias fenológicas entre parcelas y regiones precoces y tardías; se llega al máximo de una semana en brotación y envero. Como resultado del seguimiento de la fenología en la variedad carinyena durante tres años, el inicio de brotación es independiente de las variaciones en la fecha de vendimia. Los cambios producidos en la fenología de la viña indican mayor variación interanual que intranual. En años cálidos, los vinos en zona precoz alcanzan grados alcohólicos más altos que en zona tardía; contrariamente, la acidez es significativamente más elevada en la zona tardía. Los antocianos presentan variabilidad en cuanto a la añada y situación de la parcela; en cambio, la acumulación de taninos es siempre superior en vinos de regiones precoces y en añadas cálidas.

En general, las viñas que desarrollan más superficie foliar no son capaces de ahorrar agua suficiente y al final de maduración se produce la defoliación basal en la zona del fruto. En el otro extremo, las plantas poco vigorosas y con poca producción de uvas igualmente se presentan débiles y vulnerables al cambio climático. En añadas de sequía severa disminuye su rendimiento notablemente, el fruto presenta bayas deshidratadas con la consecuente disminución de la calidad de la uva. El presente estudio nos ha permitido, en diferentes situaciones, determinar unos rangos de concentración fenólica del vino de carinyena. El índice de polifenoles total (IPT) se encuentra alrededor de 45-51 en años templados y de 45-72 en años más secos

y cálidos. Independientemente del año y de las parcelas, los antocianos se hallan en un rango de entre 441 a 526 mg/L. Referente a los taninos, el intervalo se encuentra entre 1,1 i 3 g/L. La producción de vinos jóvenes tintos o de crianza se podrá determinar en función de la concentración en compuestos fenólicos de la uva y, según las condiciones de anyada y parcela, adaptar las técnicas enológicas precisas para destinar la uva a los diferentes estilos de vinos.

La predicción de un intervalo de concentraciones de antocianos y taninos es de gran importancia para definir calidades y estilos de vino de carinyena (mazuela) de cepas viejas en la Denominación de Origen Calificada Priorat, dada la gran variabilidad interparcelar y el efecto causado por la añada en la composición de sus vinos.

PALABRAS CLAVE: mesoclima, estrés hídrico, carinyena, compuestos fenólicos, calidad del vino.

EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON CARINYENA WINES IN VULNERABLE ECOSYSTEMS. DOQ PRIORAT

ABSTRACT

Grape composition and wine style are the result of the interaction of both environment (climate and soil) and human management. One of the challenges of viticulture with respect to climate change is to achieve a sustainable production that guarantees an optimum ripeness of grapes in order to obtain quality wines. The Priorat climate is hot and the soil is poor and dry, thus altering both the ripening of grapes and the final composition of wines. Today, influenced by global warming, the Priorat vineyards are an adequate site for the study of vulnerability linked to the crop and grape management. Phenology, yield, phenolic ripeness of grapes and wine composition in 5 plots of Carinyena (with different orientations and elevations), located in the municipalities of El Molar (EM, early region) and Porrera (PO, late region) were evaluated during 2009 and 2010. Significant differences within plots were found in the warm-hot vintage (2009).

The climatic variability at the end of the ripening process is due mainly to the effects of high temperatures and the vapour deficit pressure. During warm years the highest phenological differences between early and late regions were recorded, which reached a maximum of one week at budbreak and veraison. The start of budbreak is delayed in years of low winter temperatures but this delay does not seem to affect the variations in the harvest date. With respect to seasonal climate variability, the temperature rises in spring and autumn shortens the phenological stages in the late region, causing advances in flowering and harvest. The warm autumn also has a noticeable effect on the elongation cycle of the vine in the early region, prolonging the period from harvest to leaf drop.

In general, vineyards that develop a big canopy with high leaf area are not able to save enough water and they can not reach an optimal ripeness. In fact, the plants suffer defoliation in the fruit zone. On the other hand, the low vigour of plants leads to a critical decrease of yield, and such plants are also vulnerable to climate change. High temperatures at the end of ripening in warm vintages promotes grape-berry dehydration that reduces the quality of the grape. The differences in Brix and acidity

between vineyards are independent of orography/vintage. Acidity remains at higher levels during the longer summers with high temperatures maintained until harvest. The accumulation of anthocyanin is favored in hot and dry years in the late region, whereas the tannin content is higher in the early regions and warm years. On the basis of the variability of plots and vintages, this study has predicted an interval of phenol content for classifying Carinyena wine qualities. Total phenol content (TPC) varies from 45 to 72 while total tannins range from 1.1 to 3 g/L. Regardless of vintage and topography (plot), the anthocyanin range is narrower, running from 441 to 526 mg/L. The style of red wines could be defined on the basis of the phenol concentration to improve winemaking techniques.

KEYWORDS: mesoclimate, water stress, Carinyena, phenolic compounds, wine quality.

1. INTRODUCCIÓ

Els models predictius sobre el nou escenari climàtic d'àmbit mundial mostren una afectació més important en l'hemisferi sud que no pas en el nord. En la Mediterrània, els conreus situats en les latituds més al sud són els que es veuran més afectats, no sols per l'increment de temperatures, sinó per la durada i la freqüència dels períodes de sequera. A Catalunya, el servei i la xarxa d'estacions meteorològiques ha constatat un augment de la temperatura mitjana anual, que ha estat a casa nostra d'uns 0,24°C per dècada per al període 1950-2011, increment que resulta més acusat a l'estiu (fins a 0,35°C per dècada). 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. Per exemple, durant el període 1950-2011, s'ha observat una reducció de la precipitació a l'estiu del 5,4% per dècada. Els canvis constatatats en les darreres dècades estan provocant importants alteracions en el cicle anual de moltes plantes i animals (Llebot, 2005; IPCC, 2007).

Els estudis i models sobre el clima futur alerten de 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). L'increment de 2-4°C previst per a mitjan segle XXI portarà a un augment de l'evapotranspiració de 200-300 mm, fet que agreujarà la sequera i l'estrès hídric, i això repercutirà en el rendiment i la supervivència d'alguns cultius (Piñol *et al.*, 1998; Jones i Davies, 2000).

La vinya, cultiu típicament de secà, està adaptada a un ampli territori al llarg de la geografia mundial que, sota la definició de clima mediterrani, comprèn regions amb diferent pluviometria i integrals tèrmiques que permeten el conreu d'un gran nombre de varietats viníferes (Tonietto i Carbonneau, 2004).

La qualitat del raïm depèn de les condicions del medi ambient on es cultiva la vinya, el clima i el sòl, i de les tècniques vitícoles de cultiu enfocades a aconseguir un bon estat sanitari i una maduració òptima del raïm (Jackson i Lombard, 1993). El clima és el factor que més influeix en la vocació vitícola d'una regió; les exigències de temperatura, insolació i pluviometria estan ben definides per a cada varietat i influeixen enormement la composició i qualitat del producte final, raïm i vi. A més, de cara a la qualitat del raïm, cal considerar l'efecte del mesoclima (Echeverría *et al.*, 2016), que ve determinat per l'orografia d'una regió, i que és el causant de diferències climàtiques locals que influeixen directament en el creixement i la maduració del raïm (Asselin *et al.*, 2001). Entre els factors que determinen el mesoclima es troben la distància al mar, l'altitud, l'orientació, l'exposició de la parcel·la i la latitud.

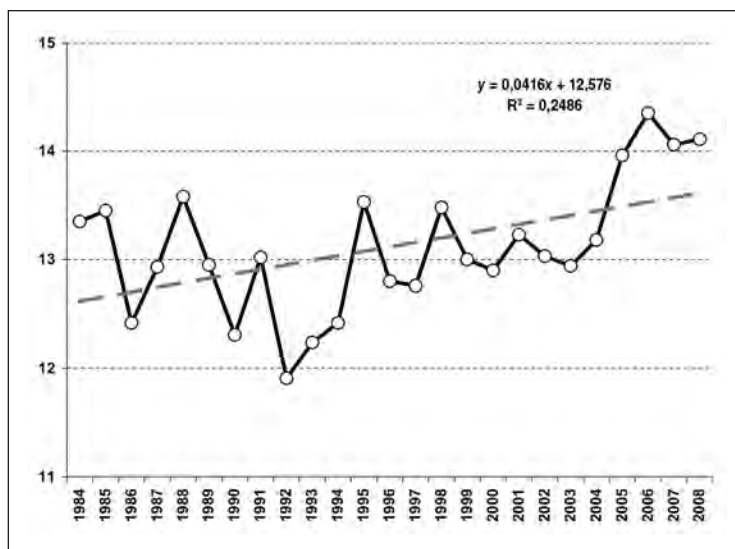
No es pot separar la influència del sòl dels efectes del clima. La disponibilitat d'aigua en el sòl depèn de les propietats físiques —textura i estructura— i del repartiment de pluges que alimenten el sòl (Leeuwen i Seguin, 2007). La capacitat de retenció de l'aigua està directament relacionada amb el contingut d'argila i de matèria orgànica, la profunditat del sòl, la naturalesa dels horitzons que constitueixen el perfil i la proximitat de la capa freàtica. Si no hi ha suficient aigua en el sòl i la temperatura i l'evapotranspiració són elevades (Coupel-Ledru *et al.*, 2016), la planta no recupera el seu estatus hídric a la nit (quan la demanda evaporativa és menor i els estomes estan tancats). En conseqüència, sobrevé un dèficit hídric (Coupel-Ledru *et al.*, 2016) i es frenen els processos de fotosíntesi, respiració, el creixement de brots i baies, i queden afectats negativament els processos d'iniciació floral i de maduració del raïm.

La vinya, tradicionalment cultivada en zones càlides i amb escasses precipitacions, es presenta com a espècie vulnerable a l'efecte de la variabilitat climàtica. L'augment de les temperatures i l'estrès hídric repercuteixen en el creixement, el rendiment i la qualitat de la collita. Generalment, a les zones mediterrànies, les limitacions al desenvolupament vegetatiu comencen en floració, quan els continguts d'aigua en el sòl no satisfan les condicions de màxima demanda i superfície foliar aconseguides. Els canvis fenològics en la floració i la germinació comporten un avançament de l'inici del període de creixement de la planta i una reducció del temps necessari per completar el cicle vital (Jones *et al.*, 2005).

Durant l'etapa de fructificació, la temperatura influeix, principalment, en la maduració i composició del raïm. Les altes temperatures produeixen raïms amb una alta concentració en sucres i una baixa acidesa; contràriament, les temperatures baixes provoquen una maduració més lenta amb menys grau probable i més acidesa. En resum, el progressiu escalfament global ha comportat canvis en la fenologia (García de Cortázar *et al.*, 2010), en les respostes fisiològiques i en la composició del fruit (sobretot una acceleració de la maduració i de l'acumulació de sucres en el raïm, amb el conseqüent augment del grau alcohòlic del vi). Entre altres treballs, un recull de

dades de la DO Montsant (figura 1) de 24 anys (de 1984 a 2008) mostra l'increment del grau alcohòlic en una unitat durant l'esmentat període (López Bustins *et al.*, 2014).

FIGURA 1. Evolució i augment del grau alcohòlic dels vins (ABV) de la DO Montsant durant el període 1984-2008



Font: Elaboració pròpia.

En l'àmbit del metabolisme secundari, les elevades temperatures al voltant del verol i l'inici de maduració inhibeixen l'actuació dels enzims implicats en la síntesi de fenols, cosa que repercuteix en la concentració final i natura d'aquests compostos en el raïm. Cal esmentar els efectes de l'estrès hídric en el desacoblament entre l'acumulació de sucres i la síntesi de compostos secundaris que té lloc durant el procés de maduració del raïm, que afecta negativament la síntesi d'aromes i fenols (Ojeda *et al.*, 2002; Downey *et al.*, 2006). Referent als vins negres, els compostos fenòlics són paràmetres importants determinants de la seva qualitat: els antocians estan involucrats en el color, mentre que els tanins són els responsables de la qualitat gustativa i astringència del vi.

L'ecosistema del Priorat, de clima càlid i sec, influeix per l'escalfament global produït en aquests darrers anys, constitueix un marc únic per a l'estudi de la vulnerabilitat del cultiu. L'orografia del Priorat és determinant per al mesoclima particular de la regió. Els elements climàtics, les temperatures, les precipitacions i els vents mostren diferències entre localitats properes

Efectes del canvi climàtic en els vins de carinyena

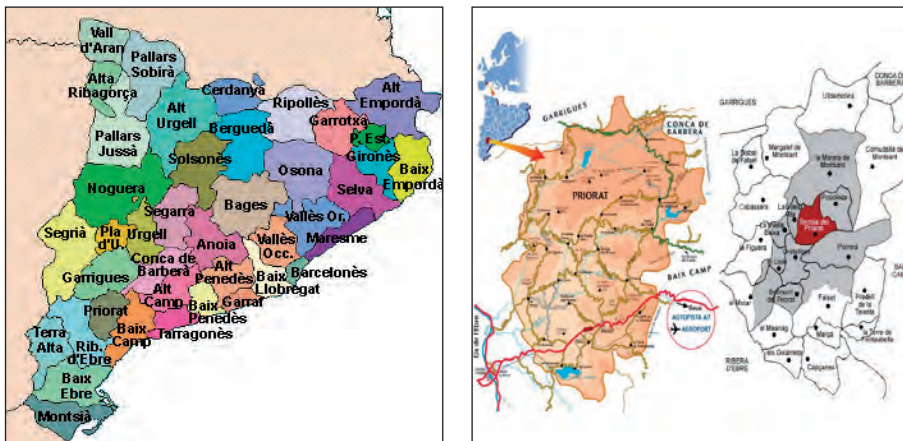
(Nadal *et al.*, 2008; Nadal i Sánchez Ortiz, 2014). La ubicació de les parcel·les de vinya, l'altitud, el domini de la garbinada o el serè, la inclinació dels pendents, l'orientació, etc. configuren un microclima determinat que exerceix una influència decisiva en la maduració del raïm.

En el present estudi es planteja conèixer l'efecte de la variabilitat climàtica en la fenologia i en la composició dels vins. Per tant, es pretén estudiar: *a)* la variabilitat en l'època i la durada de les etapes fenològiques; *b)* l'evolució del procés de maduració del raïm i del creixement del cep en parcel·les ubicades en diferent mesoclima i topografia (i en dues anyades contrastades), i *c)* la qualitat dels vins obtinguts de les diferents parcel·les que permeti establir uns rangs de concentracions de fenols per a la classificació de diferents estils de vins.

2. MATERIALS I MÈTODES

La comarca administrativa del Priorat inclou dues zones vitícoles, la DOQ Priorat i la DO Montsant (figura 2). El clima mediterrani del Priorat es caracteritza per la seva escassa precipitació anual i per les elevades temperatures del període estival, condicions que, unides a l'elevada pedregositat i al gran drenatge dels terrenys d'esquists, imprimeixen un creixement limitat al vi-nyer d'aquesta regió (Nadal, 2002). Les vinyes velles donen baixes produccions, que oscil·len entre els 1.500 i els 3.000 kg/ha.

FIGURA 2. Localització de la comarca del Priorat a Catalunya i dels municipis pertanyents a la DOQ Priorat (en gris i vermell) i de la DO Montsant (sense coloració al voltant del Priorat)



FONT: Elaboració pròpia.

El present estudi es va dur a terme durant els anys 2009 i 2010 en cinc parcel·les situades en dues zones de diferent mesoclima del Priorat, agrupades en dos municipis: el Molar (EM), de maduració precoç (el Molar dalt (EMDA), el Molar baix (EMBA)), i Porrera (PO), zona de maduració tardana (Porrera baix oest (POMO), Porrera baix est (POME) i Porrera dalt (PODA)). Les parcel·les es caracteritzaven, a més, per diferent altitud i exposició: EMDA, a 160 m, orientació i exposició O-NO; EMBA, a 130 m i exposició S-SO; POMO, a 425 m i exposició S-SO; POME, a 425 m i exposició S-ES, i PODA, a 495 m i exposició S-SO. Els sòls composts per pissarres són pedregosos, secs i pobres. Es caracteritzen per un alt grau de porositat i bon drenatge, resultat de l'alt percentatge d'elements gravosos (pedregosos) que contenen, entre un 70 i un 90% en partícules de més de 2 mm de diàmetre (Nadal, 1993).

Els ceps, d'edats compreses entre 50 i 60 anys, estan podats en vas a tres caps amb dos borrons per cap, i una densitat de plantació de 4.000 ceps/ha al Molar i 6.500 ceps/ha a Porrera (figura 3). Els blocs que constitueixen els triplicats de cada tractament/parcel·la comprenen trenta ceps, i en cadascun marquen tres ceps per a la realització de les mesures. Les estacions agroclimàtiques (Decagon model) situades en cada parcel·la d'estudi van permetre recollir les dades de: temperatura màxima i mínima (°C), humitat relativa (%), radiació (W/m²) i precipitació (mm) en base horària, que a la vegada van permetre el càlcul del dèficit de pressió de vapor (DPV), la integral dels graus dia (GDD, *growing degree days*) i l'evapotranspiració potencial (ETPmm) segons Hargreaves.

El seguiment dels estadis fenològics segons Baggiolini (Baggiolini, 1952) es va realitzar setmanalment des de la brotada fins al quallat. A més, es van determinar les dates dels punts morfofisiològics de gra de pèsol, verol, verema i caiguda de fulla. En data de verema, es va determinar: el pes dels raïms, el pes de la baia, la collita en quilograms de raïm per cep, l'àrea foliar total i es va calcular l'índex de Ravaz (relació del rendiment en quilograms de raïm / pes dels sarments de poda en un cep (Kliewer i Dokoozlian, 2005).

Seguidament, es va collir el raïm de cada tractament i es van realitzar microvinificacions de 50L per triplicat. A partir del most procedent de cada tractament i parcel·la, es van determinar sucres, acidesa total i pH. 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'índex de polifenols totals (IPT) (Ribereau-Gayon *et al.*, 2000).

Es va aplicar l'anàlisi de la variància (ANOVA) a les dades resultants de les mesures i determinacions analítiques utilitzant el programa estadístic SPSS, versió 17.0 (SPSS Inc. 233 South Wacker Drive, 11th Floor Chicago, IL60606-6412, EUA). El test de Tukey ($\alpha = 0,05$) es va aplicar als resultats per comprovar si existien diferències significatives entre parcel·les.

FIGURA 3. *Relleu del Priorat. Parcel·les en costers a diferent altitud i orientació*



FONT: Fotografia dels autors.

3. RESULTATS

3.1. Caracterització del clima i sòl del Priorat

Sòls: segons la classificació americana Soil Taxonomy, els sòls de llicorella típics de la regió del Priorat pertanyen a l'ordre Entisol, sòl molt poc edafitzat sense endopedió de diagnòstic. Per tant, són sòls joves de formació recent amb pedregositat elevada (taula 1) i molt poca diferenciació d'horitzons en el sòl, ja que no hi han tingut lloc processos ni de transport ni d'acumulació d'altre tipus de materials.

Els entisòls de pissarra del Priorat del nostre estudi es caracteritzen per una pedra llicorella més o menys degradada i erosionada que conforma un únic horitzó, el superficial, a sota del qual es troba la roca mare, un estrat dur de pissarra no colonitzable per les arrels (A)C (Nadal, 1993). Aquest horitzó poc profund (30-40 cm) i força pedregós (A)C correspondria als sòls de Porrera POME i POMO. Segons l'orografia del terreny i la profunditat del sòl, a més del primer horitzó A, ens trobem un horitzó de transició constituït per roca pissarra esquerpada i en procés de degradació, explorable per les

arrels, simbolitzat per AC, en el qual acumula un determinat percentatge d'argila segons la profunditat i el pendent. En aquesta descripció s'inclouen els sòls de PODA i EMBA, a Porrera (PO) i al Molar (EM), respectivament, amb el perfil esmentat AC, però una mica més profund (50 cm).

TAULA I. *Pedregositat del sòl segons el percentatge del diàmetre de les partícules grans (graves de diàmetre > 2 mm). Els elements fins, partícules de diàmetre < 2 mm*

Localitats	Parcel·les		< 2 mm	> 2 mm
El Molar	EMBA	Sòl	22,9%	77,1%
		Subsòl	13,4%	86,6%
	EMDA	Sòl	49,6%	50,4%
		Subsòl	42,3%	57,7%
Porrera	POMO	Sòl	40,1%	59,9%
		Subsòl	37,5%	62,5%
	POME	Sòl	8,9%	91,1%
		Subsòl	44,5%	55,5%
	PODA	Sòl	29,2%	70,8%
		Subsòl	19,5%	80,5%

FONT: Elaboració pròpia.

D'altra banda, en el sòl EMDA trobem un predomini d'elements fins (taula i), més profunditat (55-65 cm) i menys pedregositat (graves i còdols), degut a la topografia del bancal, situat en un cim de contorn suau i pendent feble. Al llarg del temps en què es formà el sòl, en ser plana l'exposició de la parcel·la, s'ha produït una acumulació més gran de sorres i partícules fines. En determinar la textura dels elements fins (diàmetre < 2 mm), tots els sòls es classifiquen en la família francoargilosos.

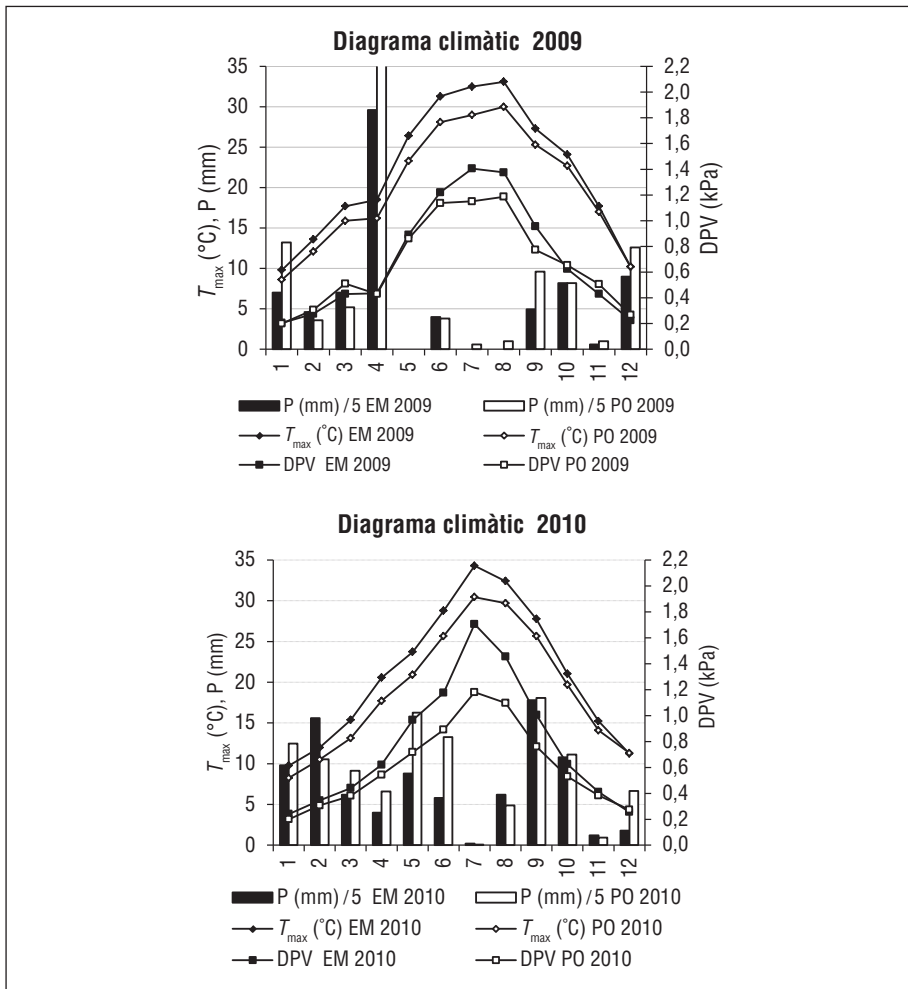
Diagrames climàtics: el 2009 destaca l'abundant precipitació de més de 200 mm a l'abril, seguida d'un estiu escàs en pluges, en el qual es registren temperatures més elevades de les habituals a la comarca (figura 4). L'any 2010 es caracteritza per temperatures més baixes durant l'hivern i la primavera, encara que a l'agost i al setembre s'atenyen mitjanes similars a 2009. La precipitació anual no difereix de 2009; no obstant això, cal destacar la distribució uniforme de les pluges durant el cicle de 2010. La distribució regular de precipitacions i la disminució de temperatures i de l'evapotrans-

Efectes del canvi climàtic en els vins de carinyena

piració (ETP) el 2010 expliquen les condicions més suaus de l'anyada si es compara amb 2009. Resumint, l'any 2009 és considerat sec i més càlid, mentre que el 2010 es caracteritza com a temperat.

El dèficit de pressió de vapor (DPV) i l'ETP resulten inferiors a la regió tardana de Porrera i en any temperat. Les dades de temperatura i l'ETP al Molar van mostrar valors més elevats durant els mesos de juny, juliol i agost.

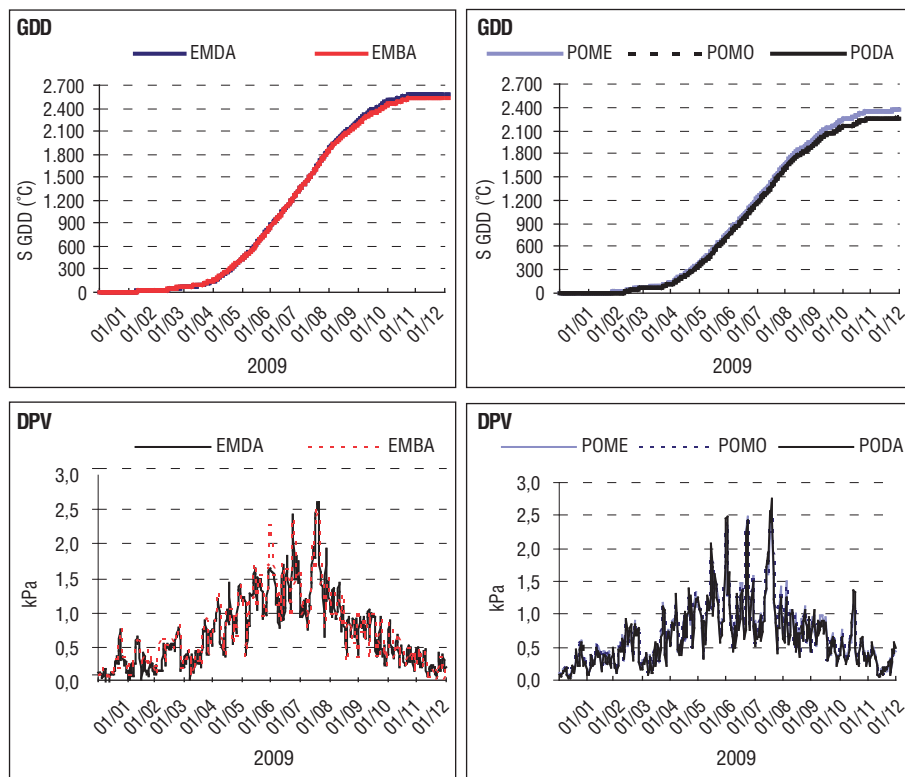
FIGURA 4. *Diagrames climàtics de les anyades 2009 i 2010 al Molar (EM) i a Porrera (PO). Mitjanes mensuals de temperatures màximes (T_{max} , °C), dèficit de pressió de vapor (DPV, kPa) i total de precipitacions mensuals (P, mm)*



FONT: Elaboració pròpia.

Les temperatures al llarg del cicle a la regió tardana de Porrera van ser més suaus, malgrat que puntualment es registraren temperatures força altes en ambdues localitats (el juliol, 34,3 °C al Molar i 30,4 °C a Porrera).

FIGURA 5. Integral dels graus dia (GDD) i dèficit de pressió de vapor (DPV) anuals en cinc parcel·les: el Molar dalt (EM), el Molar baix (EMBA), Porrera dalt (PODA), Porrera baix est (POME) i Porrera baix oest (POMO)



FONT: Elaboració pròpia.

La precipitació és més elevada a la regió tardana de Porrera (al voltant de 100mm); en canvi, la temperatura, DPV (figura 5), és menor, cosa que indica menys patiment per estrès hídric dels ceps d'aquestes parcel·les. El dèficit de pressió més elevat es localitza a la parcel·la superior del Molar, on també la intensitat del vent i els cops puntuals de ratxes són més elevats. La integral dels graus dia (GDD) de les tres parcel·les de la regió tardana és inferior que a la primerenca, amb diferències lleugeres entre parcel·les.

3.2. Efecte de la variabilitat climàtica en la fenologia i el creixement

Fenologia: l'efecte del clima en la fenologia es tradueix en més variabilitat en la data d'inici de la brostada i verol segons quines siguin les temperatures prèvies a la brostada (final d'hivern) i les registrades a la primavera. En l'anyada temperada es retarda la brostada 8 dies a Porrera i 11 al Molar (taula II). No obstant això, segons el mesoclima, si es compara entre regions precoces i tardanes, s'escurcen les diferències de les dates d'inici de brostada. Habitualment, s'observen diferències en la data d'inici dels estadis fenològics entre regions de 7 o 8 dies, que en el si d'un mateix any temperat són menors i resulten d'entre 3 i 5 dies.

TAULA II. Durada dels estadis fenològics des de la brostada fins a la caiguda de fulles al Molar (EM) i a Porrera (PO): brostada (Br); floració (Flor); quallat; gra de pèsol; verol; verema, i caiguda de la fulla (cfulla)

	Br-Flor	Br-quallat	Br-gra pèsol	Br-verol	Br-verema	Br-cfulla
2009						
EM	53	65	82	119	174	219
PO	53	68	83	123	184	211
2010						
EM	52	59	82	119	165	204
PO	54	62	85	121	171	204
2011						
EM	64	71	83	119	163	234
PO	61	67	85	124	168	210

FONT: Elaboració pròpia.

La data de verema va variar en 15 dies en any càlid (2009), mentre que la diferència entre regions va ser de 10 dies en any temperat. El retard en la brostada no implica directament un retard en la verema, ja que en l'any temperat (on es retarda la brostada) s'observa un avançament de la collita en regió tardana. La data de verema ve condicionada, sobretot, per la climatologia que té lloc durant el mes d'agost. La variació en les dates de verema de les distintes anyades va associada a les elevades temperatures que sovint es registren al Priorat a final d'agost i que en les darreres anyades continuen fins i tot al setembre, situació en la qual s'accelera la maduració del raïm. Cal

esmentar que la durada total del cicle des de la brotada fins a la caiguda de la fulla presenta un escurçament en any més temperat (2010). Probablement, les menors temperatures a l'octubre de 2010 i l'amplitud tèrmica més important acceleren la caiguda de la fulla en regions tardanes, que va resultar de 15 dies en zona precoç i de 7 en tardana.

D'altra banda i amb relació a la fenologia, es comenten les dades de l'anyada següent, 2011 —només l'efecte en els resultats fenològics—, amb la finalitat de mostrar les grans diferències en la longitud total del cicle vegetatiu que s'evidencien en aquesta anyada, per l'increment de la durada del període que va des de la verema fins a la caiguda de la fulla. El clima de bonança durant setembre i octubre (amb temperatures mitjanes 2 i 3°C superiors a les habituals) va afavorir el retard en la caiguda de fulla de la vinya, que es va perllongar en 10, 20 o 30 dies segons l'anyada i el mesoclima del vinyet (primerenc o tardà). En la zona càlida precoç, la durada d'aquest període fou la més prolongada.

Creixement i producció: la variabilitat del clima entre anyades o dins el mateix any no té una influència significativa en el pes dels raïms, l'àrea

TAULA III. Rendiment de la collita i índexs d'equilibri en els anys 2009 i 2010. Índex de la superfície foliar total / kg raïm per cep (SFT/kg); índex de Ravaz. Les diferents lletres (a, b, c, d) indiquen diferències significatives entre parcel·les segons l'anàlisi ANOVA i el test de Tukey

	Pes raïm (g)	Pes baia (g)	kg raïm/cep	SFT kg	I Ravaz
2009					
EMDA	130,5 ± 72,5	2,07 ± 0,09 a	1,21 ± 0,48	2,31 ± 0,94 a	2,5 ± 0,4 c
EMBA	116,0 ± 35,5	1,82 ± 0,04 b	0,91 ± 0,42	1,23 ± 0,25 b	4,1 ± 0,5 a
POMO	134,2 ± 20,5	1,33 ± 0,03 d	0,85 ± 0,10	1,62 ± 0,21 a	3,2 ± 0,2 b
POME	147,6 ± 12,8	1,71 ± 0,02 c	0,96 ± 0,09	1,42 ± 0,32 ab	4,3 ± 1,4 a
PODA	176,4 ± 46,6	1,02 ± 0,07 e	0,89 ± 0,33	1,76 ± 0,34 a	4,7 ± 0,4 a
2010					
EMDA	141,4 ± 93,4	1,40 ± 0,11 b	1,33 ± 0,61	1,16 ± 0,40 b	5,7 ± 1,9 ab
EMBA	123,1 ± 71,2	1,48 ± 0,08 b	1,07 ± 0,42	1,62 ± 0,38 ab	4,3 ± 1,0 b
POMO	93,6 ± 51,4	1,56 ± 0,10 b	1,09 ± 0,63	1,84 ± 0,83 a	3,0 ± 0,8 b
POME	99,7 ± 58,8	1,44 ± 0,09 b	1,00 ± 0,18	2,07 ± 0,41 a	5,6 ± 2,2 ab
PODA	114,1 ± 58,0	1,70 ± 0,03 a	1,21 ± 0,36	2,09 ± 0,24 a	6,1 ± 0,5 a

FONT: Elaboració pròpia.

Efectes del canvi climàtic en els vins de carinyena

foliar i el rendiment dels ceps de carinyena. El pes dels raïms i la producció per cep no mostren diferències significatives a causa de la gran heterogeneïtat existent entre la mida dels raïms de ceps vells (taula III). El pes de la baia, malgrat tot, mostrà diferències significatives i manifestà, el 2009, una notable diferència de valors entre parcel·les. El rang de pesos de baia el 2009 està comprès entre 1,02 i 2,07, mentre que en anyada temperada (2010), les diferències entre extrems són menors (1,40-1,71).

Considerant les parcel·les conjuntament, en ambdues anyades i en les dues regions vitícoles (precoç i tardana) els índexs de Ravaz (taula III) que mostren un equilibri pitjor corresponen a les parcel·les POMO i EMDA (3,2 i 3,3), donat que els valors òptims d'aquest índex oscil·len entre 4 i 8.

Observant les relacions de l'índex de la superfície foliar respecte a la producció de raïms que té un cep (AFT/kg) en la taula III, es constaten uns valors excessivament alts en la vinya de la parcel·la superior del Molar (EMDA) i en els ceps menys vigorosos de Porrera (POME i PODA).

Aquests resultats dels índexs ens indiquen més vulnerabilitat i variabilitat depenent de l'anyada. La finca de més gran desenvolupament foliar i més vi-

FIGURA 6. Deshidratació de les baies del raïm de carinyena en ceps estressats. Parcel·la del cim a la finca del Molar



FONT: Elaboració pròpia.

gorosa al Molar (EMDA) no és capaç de mantenir les fulles basals actives durant la maduració, es comença a defoliar 3 setmanes abans de la verema i, alhora, s'esdevé la deshidratació de les baies prematures (figura 6). Les plantes dels ceps vells inverteixen l'energia en produir més biomassa en massa foliar o sarments (pes de poda) que no en la producció de raïm.

3.3. Anàlisi dels vins

El grau alcohòlic dels vins més alts es va presentar a la regió primerenca i en any sec (taula iv). En el conjunt de les cinc parcel·les, l'interval es troba entre 16,0 i 14,5 graus. L'any 2010 s'arribà a valors en un rang més estret que anava de 15,2 a 14,2 graus.

TAULA IV. Anàlisi dels vins: grau alcohòlic (Alc), acidesa total (ATT), pH, antocians (ANT), tanins i índex de polifenols totals (IPT). Anys 2009 i 2010

	Alc. % vol.		ATT (g/L)		pH		ANT (mg/L)		Tanins (g/L)		IPT	
2009												
EMDA	16,0 ± 0,4	a	6,6 ± 0,2	c	3,17 ± 0,09	bc	398 ± 10	c	2,9 ± 0,2	a	72,4 ± 3,2	a
EMBA	15,2 ± 0,6	abd	6,4 ± 0,2	c	3,27 ± 0,03	b	466 ± 4	a	2,4 ± 0,2	b	66,6 ± 6,2	a
POMO	14,8 ± 0,1	bc	6,4 ± 0,0	c	3,28 ± 0,01	b	470 ± 22	ab	2,2 ± 0,3	b	49,1 ± 2,2	b
POME	14,5 ± 0,2	cb	6,9 ± 0,1	b	3,35 ± 0,01	a	433 ± 23	b	1,7 ± 0,1	c	45,0 ± 1,3	c
PODA	15,4 ± 0,1	d	7,6 ± 0,1	a	3,21 ± 0,02	c	451 ± 6	b	1,4 ± 0,1	d	45,6 ± 0,6	c
2010												
EMDA	14,5 ± 0,1	b	7,0 ± 0,1	c	3,22 ± 0,02	c	493 ± 17	b	1,9 ± 0,1	b	47,6 ± 2,3	bcd
EMBA	14,4 ± 0,1	bc	6,1 ± 0,1	d	3,52 ± 0,01	a	526 ± 14	a	2,2 ± 0,1	a	49,9 ± 0,7	ab
POMO	15,2 ± 0,2	a	7,0 ± 0,1	c	3,54 ± 0,00	a	441 ± 19	c	1,1 ± 0,3	d	50,8 ± 0,4	a
POME	15,3 ± 0,1	a	7,5 ± 0,1	a	3,43 ± 0,04	b	456 ± 18	c	1,6 ± 0,0	c	48,4 ± 0,1	c
PODA	14,2 ± 0,1	c	7,2 ± 0,1	b	3,44 ± 0,00	b	447 ± 10	c	1,1 ± 0,2	d	45,7 ± 2,4	d

FONT: Elaboració pròpia.

En els dos anys d'estudi, els vins procedents de la regió tardana (PODA i POME) presentaven les acideses (ATT) més elevades. Contràriament, el pH variava segons els tractaments (parcel·les) i l'anyada; més elevat en tots els tractaments i en l'any temperat.

Quant a la composició fenòlica dels vins, foren particularment importants les diferències trobades en la concentració de tanins, superior en vins de la zona primerenca (taula IV). El rang de concentracions entre tractaments oscil·lava de 2,9 a 1,4 g/L, el 2009, i de 2,2 a 1,1 g/L, el 2010. Pel que fa als antocians totals dels vins, les diferències estadístiques entre parcel·les eren febles. Les concentracions es trobaren als voltants de 450 mg/L; amb un rang entre extrems d'entre 398 mg/L i 470 mg/L, l'any 2009, i d'entre 441 mg/L i 526 mg/L, l'any 2010. Els resultats dels índexs de polifenols totals (IPT) variaven entre parcel·les i anyades; la dispersió observada entre els valors extrems l'any 2009 correspon a 27,4 unitats, mentre que la diferència el 2010 fou de només 4 unitats. L'índex de polifenols total es troba al voltant de 45-51 en anys temperats i de 45-72 en anys més secs i càlids.

4. CONCLUSIONS

En ecosistemes vulnerables i conseqüència de les variacions del clima i l'escalfament global es produeixen canvis en la fenologia que indiquen una variació interanual més forta que no pas la intranual; més acusada en zones càlides precoces que en tardanes. L'inici de brotada és independent de les dates en què té lloc el verol i la verema. La data de verema varia en relació amb la climatologia i el nivell d'estrès que es dona a l'agost i al setembre. La tardor càlida afecta la durada del cicle anual, i n'allarga el període fins a la caiguda de la fulla.

La variabilitat climàtica a final de maduració és deguda, principalment, a l'augment de temperatura i del dèficit de pressió de vapor. En general, les vinyes amb més superfície foliar i menor producció (índex de Ravaz inferior i relació àrea foliar / producció elevada) es presentarien més vulnerables enfront del canvi climàtic; les anyades de sequera severa provoquen una greu defoliació i, conjuntament amb la forta disminució del rendiment i la presència de baies deshidratades, poden comprometre la viabilitat econòmica del cultiu. En aquesta situació extrema es constata la necessitat d'implantar un reg de suport a la vinya.

En anys càlids, el desacoblament entre els processos d'acumulació de sucres i de fenols es fa evident en detriment de la composició fenòlica. Els vins en zona precoç aconseguixen un grau alcohòlic més elevat i menys antocians que en zona tardana; en canvi, l'acidesa és significativament més alta a la zona tardana. Els antocians presenten variabilitat quant a l'anyada i la parcel·la; en canvi, la concentració de tanins és sempre més elevada en raïms de regions primerenques i càlides.

Tot i que els graus alcohòlics són molt elevats, s'observa una diferència del grau entre parcel·les d'1,1 a 1,5. Independentment de l'anyada i la parcel·la, els antocians es troben entre 400 i 525 mg/L i els tanins entre 1,1 i 2,9 g/L.

L'índex de polifenols total en anys temperats seria favorable a la producció de vins més afruitats i amb menys astringència —de més color i amb un IPT de 45-51—, mentre que els anys més secs i càlids donarien la possibilitat de produir vins amb més tanins i amb opció per a una criança més llarga (IPT d'entre 60 i 70).

Enfront del canvi global, s'ha d'apostar per la sostenibilitat vitícola i econòmica, i vetllar per implantar:

a) Material genètic adaptat a la sequera, amb bona afinitat (varietat/peu) i varietats de maduració tardana.

b) Millora de les tècniques vitícoles: en anys càlids augmenten les necessitats hídriques i, per tant, seria necessària la implantació de reg de suport. El maneig de la poda en verd, evitant el despampolat precoç en raïms a les solanes, pot preservar, en part, la deshidratació dels raïms en mesoclims càlids, més vulnerables.

c) Altres tècniques pal·liatives, com la gestió de l'erosió del sòl per evitar pèrdues d'aigua i la protecció vegetal respectuosa amb el medi ambient, enfocada a millorar la qualitat del raïm i augmentar la biodiversitat.

d) En relació amb el producte final, introducció de tècniques enològiques per diversificar els estils de vins adaptats a la composició diferent dels raïms.

BIBLIOGRAFIA

- ASSELIN, C.; BARBEAU, G.; MORLAT, R. «Approche de la composante climatique à diverses échelles dans le zonage viticole». *Bulletin de l'OIV*, vol. 74 (2001), p. 301-318.
- BAGGIOLINI, A. «Les stades repères dans le développement annuel de la vigne et leur utilisation pratique». *Station Fédérale d'Essais Agricoles* [Suïssa], núm. 12 (1952), p. 3.
- COUPEL-LEDRU, A.; LEBON, E.; CHRISTOPHE, A.; GALLO, A.; GAGO, P.; PANTIN, F.; DO-LIGEZ, A.; SIMONNEAU, T. «Reduced nighttime transpiration is a relevant breeding target for high water-use efficiency in grapevine». *PNAS*, vol. 113, núm. 32 (2016), p. 8963-8968.
- DOWNY, M. O.; DOKOOZLIAN, N. K.; KRSTIC, M. P. «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 (3) (2006), p. 257-268.
- ECHEVERRÍA, G.; FERRER, M.; ALONSO-SUÁREZ, R.; MIRÁS-ÁVALOS, J. M. «Spatial and temporal distribution of solar irradiation in Río de la Plata coast and its relationship with climate variables of interest for viticultural production». *International Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, núm. 3 (4) (2016), p. 22-33.

Efectes del canvi climàtic en els vins de carinyena

- GARCÍA DE CORTÁZAR, I.; DAUX, V.; GARNIER, E.; YIOU, P.; VIOVY, N.; SEGUIN, B.; BOURSIQUOT, J. M.; PARKER, A. K.; LEEUWEN, C. van.; CHUINE, I. «Climate reconstructions from grape harvest dates: methodology and uncertainties». *The Holocene*, núm. 20 (4) (2010), p. 599-608.
- IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate change 2007: The physical basis summary for policy makers*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- JACKSON, D. I.; LOMBARD, P. B. «Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality - a review». *American Journal of Enology and Viticulture*, núm. 44 (1993), p. 409.
- JONES, G. V.; DAVIS, R. E. «Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France». *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 51, núm. 3 (2000), p. 249-261.
- JONES, G. V.; WHITE, M. A.; COOPER, O. R.; STORCHMANN, K. «Climate change and global wine quality». *Climatic Change*, núm. 73 (3) (2005), p. 319-343.
- KLIEWER, W. M.; DOKOOZLIAN, N. K. «Leaf area/crop weight ratios of grapevines: Influence on fruit composition and grape quality». *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 56, núm. 2 (2005), p. 170-181.
- LEEUWEN, C. van.; SEGUIN, G. «The concept of terroir in viticulture». *Journal of Wine Research*, núm. 17 (1) (2007), p. 1-10.
- LLEBOT, J. E. (ed.). *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible: Institut d'Estudis Catalans, 2005.
- LÓPEZ-BUSTINS, J. A.; PLA, E.; NADAL, M.; HERRALDE, F. de; SAVÉ, R. «Global change and viticulture in the Mediterranean region: a case of study in north-eastern Spain». *Spanish Journal of Agricultural Research*, núm. 12 (1) (2014), p. 78-88.
- NADAL, M. *Estudi dels factors ecològics i de les condicions de maduració del cabernet sauvignon per obtenir vins de qualitat al Priorat*. Tesi doctoral. Universitat de Barcelona, 1993.
- *Els vins del Priorat*. Valls: Cossetània, 2002.
- NADAL, M.; MATEOS, S.; LAMPREAVE, M. «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 Terroirs Viticoles 19-23 mai 2008 Nyon, Suisse*. Vol. 2. Barcelona: Springer, 2010, p. 590-595.
- NADAL, M.; SÁNCHEZ-ORTIZ, A. «Repercusiones del cambio climático en la composición de la uva y del vino de la variedad Mazuela en la DOC Priorat». *Enoviticultura*, núm. 31 (2014), p. 122-128.
- OIV. *Compendium of international methods of analysis of wines and musts*. Vol 1. International Organisation of Vine and Wine, 2011.
- OJEDA, H.; ANDARY, C.; KRAEVA, E.; CARBONNEAU, A.; DELOIRE, A. «Influence of pre- and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phe-

Montserrat Nadal i Antoni Sánchez-Ortiz

- nolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz». *American Journal of Enology and Viticulture*, núm. 53 (4) (2002), p. 261-267.
- PIÑOL, J.; TERRADAS, J.; LORET, F. «Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain». *Climatic Change*, núm. 38 (3) (1998), p. 345-357.
- RIBÉREAU-GAYON, P.; GLORIES, Y.; MAUJEAN, A.; DUBOURDIEU, D. *Handbook of enology*. Vol. 2: *The chemistry of wine: Stabilization and treatments*. Chichester: John Wiley & Sons, 2000.
- TOMASI, D.; CALO, A.; BISCARO, S.; VETTORELLO, G.; PANERO, L.; DI STEFANO, R. «Influence des caractéristiques physiques du sol, sur le développement de la vigne, dans la composition polyphénolique et anthocyanique des raisins et la qualité du vin de Cabernet sauvignon». *Bulletin de l'OIV*, núm. 819-820 (1999), p. 321-337.
- TONIETTO, J.; CARBONNEAU, A. «A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide». *Agricultural and Forest Meteorology*, núm. 124 (2004), p. 81-97.