

REPERCUSSIONS DEL CANVI CLIMÀTIC EN LA QUALITAT DEL VI DE GARNATXA NEGRA EN ELS TERRERS DE TARRAGONA I EL PRIORAT

Montserrat Nadal i Antoni Sánchez-Ortiz

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

RESUM

L'augment de temperatures i la disminució de precipitacions en el nou escenari de canvi climàtic provoquen pèrdues de rendiments i de qualitat en el cultiu de la vinya. La garnatxa és una varietat catalana ben adaptada als episodis de sequera de la zona mediterrània; tanmateix, la producció i la composició del raïm en poden resultar perjudicats en anyades de clima sever. Cal remarcar els efectes negatius que implica l'augment de temperatura vers la síntesi de compostos fenòlics, decisius a l'hora de valorar la qualitat dels vins negres. Per tal d'avaluar les aptituds enològiques de la garnatxa i esbrinar l'efecte del terror i la variabilitat climàtica es varen contrastar les dades de producció i composició fenòlica del raïm de garnatxa en diferents parcel·les del Priorat i de Tarragona durant dues anyades. Un primer objectiu (estudi A) fóra estudiar l'efecte del canvi climàtic en vinyes de topografia variable en la producció i la composició del raïm de garnatxa en la DOQ Priorat i en dues anyades de clima oposat (temperat respecte a càlid extrem en les anyades 2002 i 2003). Un segon estudi (estudi B) tractà d'avaluar l'efecte del canvi climàtic durant dues anyades càlides (2011 i 2012) en dos terrers distints: a la DO Tarragona i a la DOQ Priorat. Es varen determinar el rendiment i la maduració fenòlica, i a més, en el segon estudi, s'hi van afegir mesures de potencial hídric, es van obtenir els vins i es determinà la seva composició. L'anàlisi estadística de la variància (ANOVA) i el test de Tukey es van aplicar als resultats de cada parcel·la de l'assaig.

A l'estudi A, es va observar que en anys càlids els antocians disminueixen en regió precoç; contràriament en anys temperats, els antocians són similars entre parcel·les exceptuant les zones de maduració tardana i en altitud, on la maduració resulta incompleta. Cal destacar la disminució apreciable d'antocians una setmana abans de la verema que té lloc només en zones primerenques. La topografia és la variable amb més influència sobre el rendiment; en terrasses superiors la collita de raïm resulta menor. L'efecte sever causat per l'increment de temperatures entre verol i maduració afecten la composició de la polpa, cosa que provoca una disjunció en-

tre la maduresa de la polpa i la fenòlica de la pell. A l'estudi B, es va observar que els potencials hídrics més negatius s'enregistren a Tarragona (T), on les plantes gaudeixen d'una reserva més gran d'aigua en el sòl i transpiren més. La mida de la baia fou menor en 2012 on les temperatures es van incrementar consistentment al final de la maduració. Els sucres arriben a concentracions més elevades al Priorat (P). Els vins del Priorat mostren un índex de polifenols totals (IPT) més elevat, però menor concentració de tanins que a T. Únicament en el P el rendiment es veu fortament disminuït en anys secs.

PARAULES CLAU: variabilitat climàtica, estrès hídric, topografia, compostos fenòlics, producció.

REPERCUSIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CALIDAD DEL VINO DE GARNACHA TINTA PROCEDENTE DE LOS TERRUÑOS DE TARRAGONA Y PRIORAT

RESUMEN

El aumento de temperaturas y la disminución de precipitaciones en el nuevo escenario de cambio climático son causantes de pérdida de producción y de calidad en el cultivo de la viña. La garnacha es una variedad catalana muy bien adaptada a los episodios de sequía de la zona mediterránea; a pesar de ello, la producción y la composición de la uva pueden resultar afectadas en añadas de clima severo. Cabe señalar los efectos negativos que implica el aumento de temperatura *versus* la síntesis de compuestos fenólicos, de los cuales depende la calidad de los vinos tintos. Para evaluar las aptitudes enológicas de la garnacha y estudiar el efecto del terruño y la variabilidad climática se contrastaron los datos de producción y la composición fenólica de la uva de garnacha en diferentes parcelas del Priorat y de Tarragona durante dos añadas. Un primer objetivo (estudio A) fue conocer el efecto del cambio climático en viñedos de topografía variable sobre su producción y composición de la uva en la DOC Priorat en dos añadas de clima opuesto (templado frente a cálido extremo en las añadas 2002 y 2003). Un segundo estudio (estudio B) trató de evaluar el efecto del cambio climático durante dos añadas cálidas (2011 y 2012) en dos distintos terruños: DO Tarragona y DOC Priorat. Se determinaron el rendimiento y la maduración fenólica y además, en el segundo estudio, se añadieron medidas de potencial hídrico y de composición del vino. El análisis estadístico de la varianza (ANOVA) y el test de Tukey se aplicaron a los resultados de cada parcela analizada.

En el estudio A, se observó que en años cálidos los antocianos disminuyen en región precoz; contrariamente en años templados, los antocianos son similares entre parcelas, exceptuando las zonas de maduración tardía y en altitud, donde la maduración resulta incompleta. Cabe destacar la disminución apreciable de antocianos una semana antes de la vendimia que tiene lugar solo en zonas precoces. La topografía es la variable con más influencia sobre el rendimiento; en terrazas superiores la cosecha de uva resulta menor. El efecto severo causado por el incremento de temperaturas entre envero y maduración afecta a la composición de la pulpa, provocando una disyunción entre la madurez de la pulpa y la fenólica de la piel. En el

Repercussions del canvi climàtic en la qualitat del vi de garnatxa negra

estudio B, se observó que los potenciales hídricos más negativos se registran en Tarragona (T), donde las plantas tienen más reserva de agua en el suelo y transpiran más. El tamaño de la baya fue menor en 2012 donde las temperaturas se incrementaron notablemente al final de la maduración; y los azúcares alcanzaron las concentraciones más elevadas en el Priorat (P). Los vinos de Priorat muestran un índice de polifenoles totales (IPT) más elevado, sin embargo menor concentración de taninos que en T. Únicamente en el P se acentúa la disminución del rendimiento en años secos.

PALABRAS CLAVE: variabilidad climática, estrés hídrico, topografía, compuestos fenólicos, producción.

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE QUALITY OF GRENACHE NOIR WINES IN THE TARRAGONA AND PRIORAT TERROIRS

ABSTRACT

The rising temperatures and reduced rainfall in the new scenario of climate change are causing a loss of both yield and quality in viticulture. Catalan Grenache is a variety that is very well adapted to drought in the Mediterranean area but despite this, grape and wine composition may be affected under severe weather conditions. The negative effects of high temperature should be noted since it diminishes the synthesis of phenolic compounds, a factor which is directly related to the quality of red wines. To assess the oenological aptitudes of Grenache and to evaluate the effect of the terroir and climate variability, the yield and phenolic composition of Grenache grapes in different plots of the Tarragona and Priorat areas were compared for two vintages. The initial objective (study A) was to determine the effect of climate change – at vineyards of variable topography in the DOQ Priorat – on the yield and composition of Grenache grapes in two vintages of opposite climatic situations (temperate versus extremely hot in the year 2002 and 2003 vintages). A second study (study B) evaluated the effect of climate change during two hot vintages (2011 and 2012) in two different terroirs: DOQ Priorat and DO Tarragona. Phenolic maturity was determined together with a measurement of the water potential and wine composition. The ANOVA statistical analysis of variance and the Tukey test were applied to the results of each plot in the study.

Study A observed that in hot years anthocyanins decreased in early regions; by contrast, in temperate years, anthocyanins reached similar concentrations except for the grapevines growing at higher altitudes, where the grapes did not reach complete ripeness. In early areas alone, there was a significant decrease in anthocyanins one week before harvest. Topography was the variable with the most influence on the yield; upper terraces provided smaller harvests. The rising temperatures between veraison and maturation affected the composition of the pulp, causing a disjunction between pulp ripeness and phenolic content in the skin. Study B observed that the lowest water potentials were recorded in the DO Tarragona (T), where the plants have a larger reserve of soil water and transpiration is higher. The berry size was smaller in 2012, when temperatures increased significantly at the end of ripening. Sugars reached the highest concentrations in the DOQ Priorat (P). Priorat wines

showed a higher phenolic content index (TPI), but in the DO Tarragona there was a higher concentration of tannins. The yield decreased markedly in dry years in the DOQ Priorat alone.

KEYWORDS: climate variability, water stress, topography, phenolic compounds, yield.

1. INTRODUCCIÓ

La variabilitat del clima en el nou escenari d'escalfament global pot tenir efectes negatius sobre la fenologia de la vinya, el creixement de la planta i el rendiment, fet que provoca canvis en la composició química del raïm (Barbeau *et al.*, 1998; Jones *et al.*, 2005; Prieto *et al.*, 2010; López Bustins *et al.*, 2013). La combinació d'altres temperatures i els danys que provoca la sequera durant la maduració del raïm condueixen a una alteració en la composició química del raïm, particularment en la síntesi de compostos fenòlics (Downey *et al.*, 2006) i més dràsticament en varietats de baix contingut fenòlic com és el cas de la garnatxa. Nombrosos autors han investigat sobre la influència del terrer i l'anyada en el vigor, rendiment, maduració del raïm i la composició final del vi (Vadour, 2002; Bodin i Morlat, 2006; Vital *et al.*, 2006; Leeuwen i Seguin, 2006; Edo *et al.*, 2013). El present estudi té com a finalitat determinar aquest efecte del terrer en el rendiment i en la qualitat dels vins de garnatxa. S'entén l'efecte terrer (*terroir*) com la influència conjunta dels factors clima, sòl i maneig de l'home en la qualitat final del vi. Les vinyes escollides per a l'assaig s'ubiquen a la denominació d'origen (DO) Tarragona i la denominació d'origen qualificada (DOQ) Priorat. A Tarragona, la vinya pateix menys estrès hídric que en el Priorat a causa de l'efecte termoregulador del mar, que origina temperatures més suaus i menys amplitud tèrmica. El Priorat, amb una orografia caracteritzada per turons de diferent altitud i cims arrodonits, conforma una àmplia diversitat de microclimes de parcel·la segons l'orientació i l'alçada de les terrasses de cultiu (Nadal i Sánchez-Ortiz, 2011). La situació de sequera més estricta que es dona al Priorat és donada per l'extremitat de les temperatures que tenen lloc a l'estiu i l'escassetat de precipitacions durant el cicle de creixement del cep. Conseqüentment, l'objectiu d'aquest estudi va ser avaluar l'adaptació i potencial enològic de la varietat garnatxa en dos terrers distints tot considerant l'efecte de la variabilitat interanual del clima en el vinyet. Es determinà el seu efecte sobre el rendiment i la composició fenòlica de raïms i vins.

2. MATERIALS I MÈTODES

2.1. Ubicació dels assaigs

A) Influència del canvi climàtic en vinyes de topografia variable (Priorat)

Per determinar les variacions en la composició fenòlica del raïm de garnatxa en la DOQ Priorat sota la influència de les variables topografia i mesoclima es van mostrejar vuit parcel·les (terrasses situades en diferent altitud, inferiors i superiors) durant dues anyades de fort contrast tèrmic: temperada (2002) i càlida (2003).

Al Priorat es distingeixen dos mesoclimes per l'efecte de les brises i vents que arriben al muntanyam: una zona precoç i càlida, on bufa el serè i comprèn les vinyes dels municipis que s'obren cap a l'Ebre, i una regió de mesoclima més tardà i temperada a causa de la influència de les marinades, que engloba majoritàriament les poblacions de la cara nord-est del Montsant (Nadal, 2002; Nadal *et al.*, 2011). Les vinyes joves (d'entre cinc i vuit anys) objecte de l'estudi de garnatxa/R110 estan cultivades en secà, conduïdes en espatllera i podades en cordó bilateral. Durant la maduració es van mostrejar raïms i se'n va determinar la composició en sucres, àcids i fenols. Tres fileres en cada parcel·la varen constituir la base per efectuar el mostreig de raïms per triplicat.

Les parcel·les pertanyen a quatre municipis que es diferencien per la precocitat o època de maduració del raïm: *a)* dos es troben a la regió de maduració precoç: Gratallops (1-Pr) i Bellmunt (2-Pr), i *b)* els altres dos municipis són a la regió de maduració tardana: Porrera (1-Ta) i la Morera del Montsant (2-Ta). En cadascun dels quatre municipis es van definir dues terrasses localitzades a diferent alçada del coster, superiors (s), en la part més alta del pendent, i les parcel·les inferiors (i), en el peu de muntanya. En total, van resultar vuit parcel·les: (1-Pr s), (1-Pr i), (2-Pr s), (2-Pr i), (1-Ta s), (1-Ta i), (2-Ta s), (2-Ta i).

B) Influència de la variabilitat climàtica en terrers diferents (Priorat i Tarragona)

Per conèixer el comportament de la garnatxa en dos terrers diferents sota la influència del clima mediterrani es van seleccionar dues parcel·les de vinyes a Tarragona (T) i al Priorat (P). Es van realitzar mesures d'estrès, de composició del raïm i de la qualitat dels vins durant els anys 2011 i 2012 en ceps de garnatxa/R110 conduïts en espatllera i poda en cordó bilateral. Les vinyes del Priorat (P) es cultiven a una densitat de 3.500 ceps/ha amb espatllera a dos nivells, amb una alçada de la vegetació de 70 cm. A Tarragona (T) la vinya creix a una densitat de 3.500 ceps/ha i 100 cm d'alçada de la vegetació. A la regió muntanyosa del Priorat la vinya es conrea en vessants i

terrasses excavades a la pissarra, sòl del carbonífer ($\text{pH} = 7$), pobre i amb molt bon drenatge. Les temperatures són fredes a l'hivern i molt altes a l'estiu, amb escasses precipitacions (Nadal, 2002). A la parcel·la de Tarragona, la vinya del camp experimental de la Universitat Rovira i Virgili de Tarragona, el clima és temperat a causa de la proximitat del mar i, per tant, amb hiverns suaus i estius molt càlids i humitat elevada. El sòl, d'origen de materials del quaternari, calcaris ($\text{pH} = 8,2$), presenta una textura francoargilosa i una reserva d'aigua mitjana. El disseny experimental va constar de tres blocs de repetició amb disset ceps per bloc en cada ubicació (P i T), on es van realitzar les mesures i la presa de mostres de raïms.

2.2. Metodologia general

Dades climàtiques: a partir d'estacions agrometeorològiques de la Generalitat de Catalunya (<http://www.ruralcat.net/agrometeo/html/agrometeobc90.htm>) properes a les parcel·les de vinya, es varen obtenir les dades de temperatures, precipitació i humitat que varen permetre calcular el dèficit de pressió de vapor (DPV) i la integral de creixement, els graus dia acumulats (GDD).

Potencial hídric foliar (Ψ_f): es va mesurar en les baies de mida de gra de pèsol (PS), verol (V) i maduració (RP); a les cinc i a les dotze hores del matí (hora solar).

Producció: els rendiments i el pes dels raïms es van mesurar en el moment de la collita. L'eficiència en l'ús de l'aigua (WUE) es va calcular segons la relació entre els quilos de collita i la precipitació (mm) per cep.

Control de maduració i anàlisis del raïm: durant la maduració dels raïms es van processar mostres setmanals de quatre-centes baies. Es van analitzar els sucres, l'acidesa total (ATT) i el pH del raïm. Després de la trituració de baies senceres, l'extracció de compostos fenòlics es va realitzar d'acord amb el mètode de Glories (Ribéreau-Gayon *et al.*, 2000) modificat per Nadal i Mateos (Nadal, 2010) per determinar els antocians totals i extraïbles i l'índex IPT.

Microvinificacions: fermentacions de 25 L segons protocol de vinificació en negre clàssic es van portar a terme amb els raïms de Tarragona i el Priorat. El grau alcohòlic del vi, l'acidesa total i el pH també es van analitzar juntament amb els antocians i tanins totals (OIV).

Tots els resultats van ser tractats estadísticament per ANOVA i les diferències entre les parcel·les es van obtenir aplicant la prova de Tukey (paquet SPSS versió 21.0).

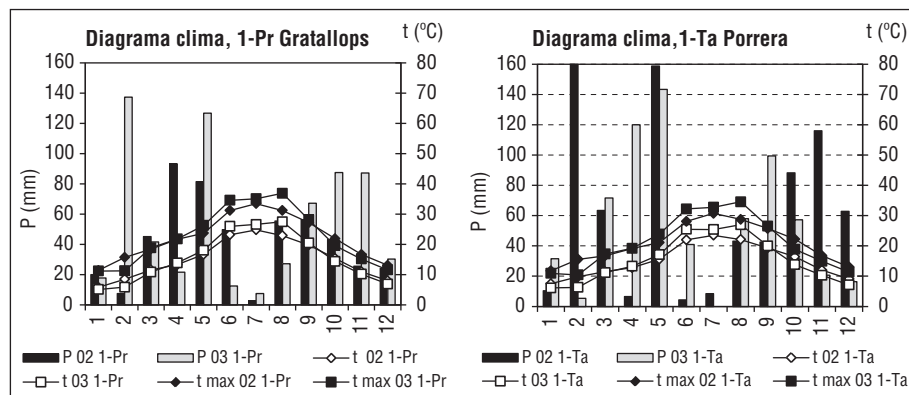
3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

3.1. Influència del canvi climàtic en vinyes de garnatxa negra considerant la topografia variable del Priorat i el mesoclima

En any temperat (Te) es van registrar precipitacions importants a la primavera seguides d'un estiu absent de temperatures extremes, la qual cosa va permetre un bon desenvolupament vegetatiu de la planta. Durant l'any càlid sever (Ca) es va produir un notable dèficit hídric causat per dos factors: les temperatures extremes registrades durant juny, juliol i agost i, a més, les escasses precipitacions estivals (figura 1). Les pluges acumulades a la primavera no van aconseguir minvar la forta sequera de l'estiu, la qual cosa va ocasionar defoliació prematura dels ceps durant la maduració. Cal destacar les grans diferències en la temperatura màxima registrada entre anys temperats i càlids severs, de rang entre 4,7 °C i 5,8 °C. Les diferències entre les regions precoces i tardanes independentment de l'any es troben al voltant de 3 °C.

Quant a l'evolució dels àcids durant la maduració i els valors finals en data de verema, és molt variable; no obstant això, els raïms de les parcel·les situades en mesoclima precoç tendeixen a presentar acideses menors que els raïms collits en zona tardana. El contingut més elevat en sucres s'associa a les zones primerenques i evidentment als anys secs i càlids. Els resultats de grau probable en les diferents parcel·les en any temperat va oscil·lar entre 10,3 i 13,7 de grau probable, mentre que en any càlid el rang va ser d'11,5 a 14,5. Si es comparen els valors entre parcel·les inferiors i superiors, s'observen diferències d'1 a 1,5 graus, sempre més elevats en baies de terrasses superiors.

FIGURA 1. Diagrama climàtic anyades 2002 i 2003 en regió precoç i tardana



FONT: Elaboració pròpia.

En any extremadament càlid (2003) les produccions no són significativament diferents, encara que alguna terrassa (1-Pr) tendeix a una producció sensiblement menor que les altres parcel·les (taula i). Val a dir que les dades de 2002 denoten l'efecte de la topografia, consegüentment, l'anàlisi estadística es va aplicar considerant l'efecte de l'altitud de la parcel·la. En anyada temperada (2002), les terrasses localitzades en zones inferiors dels costers (i) mostraren raïms significativament més grans, independent del mesoclima. En aquest mateix any, malgrat no trobar-se diferències significatives, les parcel·les inferiors tendeixen a presentar baies més grans.

L'anàlisi estadística d'antocians extraïbles i totals mostra elevades desviacions estàndard, com era d'esperar a causa de la variabilitat de les parcel·les establertes en l'assaig. En la taula II es presenten els resultats estadístics considerant zones mesoclimàtiques precoç i tardana; per tant, sense considerar l'efecte de la situació de la parcel·la en el pendent del coster (superior o inferior). Cal destacar que en any temperat (Te) resulta afavorida la síntesi d'antocians en raïms de parcel·les primerenques orientades al sud (1-Pr), mentre que en any càlid (Ca) resulta fortament disminuïda. Cal fer menció de la situació de la parcel·la de la Morera del Montsant (2-Ta) en any Te; les temperatures menors en altitud i l'escurçament del cicle de maduració que té lloc no permeten completar la maduració de la polpa ni de les pells del raïm. Els resultats mostren una interacció entre les variables mesoclima i topografia.

En any temperat, les concentracions menors d'antocians s'associen a 2-Ta, on l'altitud de les parcel·les és el factor que impedeix la completa ma-

TAULA I. Rendiment de la collita en anyada temperada (2002) i càlida severa (2003). Terrasses inferiors i superiors. Mesoclima precoç (Pr) i tardà (Ta). ANOVA i Tukey ($P \leq 0,05$); ns = no significatiu. Les lletres a i b indiquen diferències significatives

2002	Pr + Ta		Terrassa inferior		Pr + Ta		Terrassa superior	
kg/cep	2,86	±	0,66	a	4,08	±	2,07	a
Pes raïm (g)	143,5	±	29,0	b	192,9	±	19,9	a
Pes baia (g)	2,08	±	0,48	a	2,0	±	0,9	a
2003								
kg/cep	1,79	±	0,83		2,9	±	1,0	ns
Pes raïm (g)	137,8	±	27,6		156,7	±	43,0	ns
Pes baia (g)	1,37	±	0,24		1,5	±	0,5	ns

FONT: Elaboració pròpia.

Repercussions del canvi climàtic en la qualitat del vi de garnatxa negra

TAULA II. Efecte del mesoclima en la maduració fenòlica. Anyada temperada (2002) i càlida severa (2003). Índex de polifenols total (IPT), antocians totals (ANT T) i extraïbles (ANT E). Terrasses: i = inferior; s = superior. ANOVA i Tukey ($P \leq 0,05$). Les lletres a, b i c indiquen diferències significatives

2002	1-Precoç		(i+s)		2-Precoç		(i+s)		1-Tardà		(i+s)		2-Tardà		(i+s)	
ANT T	1511	±	310	a	1011	±	392	a	1214	±	395	a	288	±	38	b
ANT E	992	±	131	a	613	±	153	a	843	±	367	a	214	±	62	b
IPT	71	±	18	a	54	±	8	b	48,5	±	30	b	30	±	4	c
2003																
ANT T	374	±	56	c	946	±	44	a	572	±	257	a	783	±	54	a
ANT E	278	±	##	b	737	±	54	a	383	±	110	b	641	±	35	a
IPT	24	±	1	c	54	±	7	a	43	±	1	b	51	±	1	a

FONT: Elaboració pròpia.

duració de la baia, tant pel que fa a la polpa com a la maduració fenòlica. Contràriament, la tendència reverteix en any càlid, i els antocians i IPT es concentren en la zona tardana. Quant a l'efecte de la topografia (taula III), en any temperat donen millor qualitat fenòlica les parcel·les inferiors, mentre que en anyada de severitat climàtica (2003) resulten afavorides les terrasses superiors.

TAULA III. Efecte de la topografia en la maduració fenòlica. Anyada temperada (2002) i càlida severa (2003). Terrasses inferiors i superiors. Índex de polifenols total (IPT), antocians totals (ANT T) i extraïbles (ANT E). Pr = precoç; Tr = tardà. Les lletres a i b indiquen diferències significatives

2002	Pr+Tr		Terrassa inferior		Pr+Tr		Terrassa superior	
ANT T (mg/L)	1363	±	337	a	649	±	475	a ns
ANT E (mg/L)	918	±	293	a	413	±	249	b
IPT	60	±	24	a	42	±	15	a ns
2003								
ANT T (mg/L)	473	±	190	b	864	±	103	a
ANT E (mg/L)	330	±	119	b	689	±	67	a
IPT	34	±	11	b	52	±	5	a

FONT: Elaboració pròpia.

Conclusions

L'efecte més greu del canvi global té lloc per l'augment de les temperatures entre verol i maduració, perquè causa una pèrdua de color en les baies, una acceleració de l'acumulació de sucres i, finalment, una disjunció entre la maduresa de la polpa i la maduresa fenòlica de la pell. Cal remarcar el fet que en anys càlids i en zones precoces es dona una disminució apreciable d'antocians una setmana abans de la verema. Particularment, en zones més precoces la velocitat de degradació dels àcids i acumulació de sucres té lloc aviat després del verol, cinètica més ràpida que en zones tardanes.

La topografia és la variable amb més influència sobre el rendiment; les vinyes situades en terrasses dalt dels costers i amb sòls pedregosos presenten produccions menors, independentment que es trobin en regió precoç o tardana.

A més de la influència de la topografia, la climatologia de l'anyada és un factor clau en la qualitat dels raïms i dels vins obtinguts, que mitiguen o exacerbem la qualitat potencial de la collita. Els antocians atenyen concentracions més elevades en zona precoç afavorida per les anyades temperades; en canvi, en anys molt càlids, les parcel·les de zones tardanes acumulen més compostos fenòlics.

Els resultats del present estudi ens indiquen que les parcel·les situades en zones precoces i amb sòls més pedregosos són més vulnerables, amb efecte més acusat en anyades de clima sever i sequera. En aquesta situació climàtica, al final de la maduració s'obtenen raïms amb una elevada concentració de sucres que no es correspon amb la consegüent concentració d'antocians en el raïm.

L'efecte negatiu de la disminució de fenols i l'augment de sucres que es dona en anys secs podria pal·liar-se avançant la verema i adequant les tècniques d'extracció de fenols en el celler per evitar llargues maceracions, ja que les pells i pinyols de garnatxa resten verds.

3.2. Influència de la variabilitat climàtica en diferents terrers (Tarragona i Priorat)

Climatologia

El clima de Tarragona es caracteritza per uns graus dia acumulats (GDD) menors que els trobats a la regió terra endins del Priorat (taula iv). A Tarragona es calculen 2.380 i 2.180 GDD per al 2011 i 2012, respectivament, i al Priorat sumen 2.518 l'any 2011 i 2.474 el 2012.

Cal ressaltar que les temperatures mitjanes de juny i agost en l'anyada 2012 van ser al voltant de dos graus més elevades al Priorat que no pas a Tarragona. Aquest augment de la temperatura al juny podria influir en el creixement de la baia i provocar una reducció de la seva grandària, tal com

Repercussions del canvi climàtic en la qualitat del vi de garnatxa negra

TAULA IV. Dades climàtiques del Priorat i Tarragona, anyades 2011 i 2012

	PRIORAT											
	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Octubre	Nov.	Des.
2011												
Tm	5,4	8,5	10,6	15,3	18,5	21,2	23,7	25,2	22,5	17,2	12,3	7,9
T max	11,9	16,2	16,5	22,7	26,1	28,1	30,5	32,5	30,3	24,6	16,8	13,7
P (mm)	61,7	11,9	181,3	26	39,1	40,9	48,1	0,3	10,2	191,2	147,6	0,3
DPV (kPa)	0,16	0,23	0,19	0,19	0,20	0,20	0,22	0,19	0,19	0,20	0,09	0,20
ΣGDD	3,2	23,4	76,3	249,2	521	864	1302	1785	2172	2407	2506	2518
2012												
Tm	6,2	5,0	11,1	13,3	18,6	23,8	24,3	26,4	21,2	16,5	10,6	7,5
T max	12,7	13,3	19,9	19,4	26,2	31,6	31,2	33,7	27,9	23,1	15,9	14,1
P (mm)	8,7	0,2	56,1	104,3	15,1	4,6	19,8	56	64	145,6	26,3	1,8
DPV (kPa)	0,18	0,41	0,29	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,21	0,14	0,12	0,17
ΣGDD	7,6	16,5	75,4	184,2	461	880	1331	1847	2188	2411	2462	2474
	TARRAGONA											
2011												
Tm	7,3	9,5	11,1	15,3	18,2	20,4	22,7	23,9	21,9	17,7	13,6	9,7
T max	13,8	16,0	16,6	21,1	23,6	25,1	27,6	29,1	27,5	23,8	18,6	16,0
P (mm)	7,0	7,4	115,1	18,9	67,2	17,2	14,1	0,7	0,0	24,9	121,0	2,4
DPV (kPa)	0,20	0,22	0,19	0,16	0,17	0,15	0,16	0,14	0,14	0,18	0,10	0,25
ΣGDD	11,1	32,7	86,1	248,6	500	808	1204	1637	1994	2235	2355	2380
2012												
Tm	7,9	6,1	11,2	13,1	17,1	21,9	22,6	24,6	20,6	16,7	11,6	9,0
T max	14,8	12,9	17,8	17,8	22,4	26,9	26,9	29,5	26,1	22,0	16,7	14,7
P (mm)	1,9	3,8	38,9	57,9	20,9	6,3	8,3	1,7	48,5	120,6	62,1	3,7
DPV (kPa)	0,23	0,42	0,26	0,22	0,17	0,16	0,14	0,15	0,17	0,13	0,14	0,22
ΣGDD	8,4	12,9	54,7	146,5	363	716	1105	1556	1877	2093	2158	2181

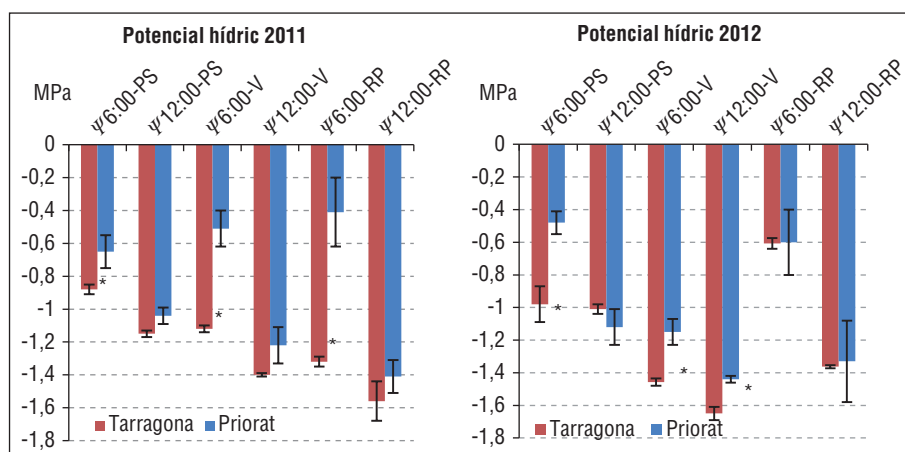
FONT: Elaboració pròpia.

s'observa en les baies del Priorat (taula v). L'existència d'aquestes temperatures màximes a l'agost suposa un risc per a la síntesi de compostos fenòlics i comporta una disminució de les concentracions finals en data de verema. Les precipitacions de primavera són notablement menors al Priorat que a Tarragona, 50 % i 75 % per al 2011 i 2012, respectivament. Les pluges de primavera el 2011 a Tarragona expliquen la superfície foliar més gran desenvolupada pels ceps en aquest any respecte del 2012 (dades no publicades). A Tarragona la precipitació anual el 2011 i 2012 fou, respectivament, de 758,6 mm i 502,5 mm; en canvi, al Priorat són menors: 395,9 mm el 2011 i 374,6 mm el 2012. Conseqüentment, les temperatures i els nivells de dèficit de pressió de vapor (VPD) són més elevats al Priorat que a Tarragona.

Ψ_f i rendiment

En 2011 s'arriben a potencials hídrics més negatius al final del període de maduració, mentre que en 2012 es van registrar valors molt baixos en el verol (figura 2). La disponibilitat d'aigua a causa de les pluges de primavera a Tarragona, la textura i la profunditat del sòl donen lloc a potencials hídrics foliars més negatius que al Priorat. En contrast, al migdia les plantes no diferencien entre els dos tractaments (Prieto *et al.*, 2010). L'anyada menys càlida en 2011 va donar una WUE més baixa a Tarragona, que va coincidir amb Ψ_f a les cinc hores (PS, V RP), i és més negatiu que al Priorat. Contràriament, el DPV molt més acusat el 2012 al Priorat condueix a una relació més favorable de WUE a Tarragona. La severitat del clima durant l'estiu de 2012 provocà una important caiguda del Ψ_f (12 h) al verol en les dues parcel·les (1,65 a

FIGURA 2. Potencial hídric foliar en períodes de baia mida gra de pèsol (PS), verol (V) i maduració (RP). Anyades 2011 i 2012



FONT: Elaboració pròpia.

Repercussions del canvi climàtic en la qualitat del vi de garnatxa negra

TAULA V. Producció i eficiència de l'ús de l'aigua (WUE). Priorat i Tarragona, anyades 2011 i 2012. *P* = precipitació anual; *a* i *b* indiquen diferències significatives entre tractaments

	Data verema	Pes baia (g)	kg/cep	P (mm)	WUE (g/L)
Priorat	07/09/2011	1,41 ± 0,0	1,43 ± 0,87	388,8	3,68
Tarragona	01/09/2011	1,62 ± 0,2	2,01 ± 0,37	758,6	2,65
Priorat	03/09/2012	1,28 ± 0,1	1,65 ± 0,32 <i>b</i>	374,6	4,40
Tarragona	26/09/2012	1,49 ± 0,6	2,58 ± 0,23 <i>a</i>	502,5	5,12

FONT: Elaboració pròpia.

Tarragona i 1,44 al Priorat). Els ceps de Tarragona mostraren valors significativament més negatius. Els ceps amb estrès hídric provocat per sòls secs i de pissarra com els del Priorat fa que siguin capaços de regular els estomes per evitar la pèrdua d'aigua (els Ψ_f al matí són menys negatius).

Quant al rendiment (taula v), la sequera i la calor prolongada provoquen una disminució de la collita de raïm més important al Priorat que a Tarragona. L'eficiència en l'ús de l'aigua (WUE) és més elevada en l'anyada 2012. A causa de l'excés de precipitacions en primavera, el balanç de la WUE és menor en 2011 i més baix a Tarragona.

Anàlisi del raïm i del vi

Al Priorat té lloc una taxa de degradació d'àcids més elevada durant el verol i una acceleració en l'acumulació de sucres, la qual cosa provoca una concentració més gran de soluts en els raïms respecte a Tarragona. El clima més temperat de Tarragona i el sòl més fèrtil condicionen la composició del raïm i s'hi obtenen baies menys riques en sucres i baix contingut d'antocians. L'anyada en la qual es va enregistrar un dèficit de pressió de vapor més alt i l'estrès hídric dels ceps fou més greu, els antocians extraïbles van mostrar tendència a disminuir al Priorat (taula vi). Els resultats de l'anàlisi del vi són consistents amb el raïm, a excepció de l'acidesa més alta a Tarragona en any sec (taula vii). No hi ha diferències significatives d'antocians entre els terrers Priorat i Tarragona en anys càlids i secs. Els vins de Tarragona atenyen els nivells més alts de tanins.

Conclusions

La prolongació de les altes temperatures al final de la maduració del raïm provoca efectes negatius per a la garnatxa, més greu en anys secs i elevat dèficit de pressió de vapor al verol. El clima càlid conjuntament amb l'efecte del gran drenatge del sòl provoca una sequera severa que va en detriment de la collita de raïm, més greu al Priorat. El contingut en sucres augmenta, la

TAULA VI. Anàlisi de la composició del raïm de garnatxa negra. Priorat i Tarragona en anyades 2011 i 2012; a i b indiquen diferències significatives entre tractaments

2011	Brix	ATT (g/L)	ANT T (mg/L)	ANT E (mg/L)	IPT
Priorat	27,5 ± 0,5 a	4,28 ± 0,15 a	591 ± 52 a	489 ± 15 a	65,1 ± 8,4 a
Tarragona	23,8 ± 0,5 b	4,54 ± 0,84 a	397 ± 53 b	270 ± 56 b	47,8 ± 6,2 b
2012					
Priorat	26,9 ± 1,2 a	3,98 ± 0,15 a	260 ± 23 a	198 ± 7 b	75,1 ± 4,5 a
Tarragona	23,5 ± 0,7 b	4,15 ± 0,59 a	327 ± 84 a	304 ± 60 a	43,0 ± 1,6 b

Font: Elaboració pròpia.

concentració d'antocians disminueix, la mida de la baia resulta més petita i els tanins són més elevats en anys secs de febles precipitacions i de maduració càlida i perllongada (2012).

Independent de l'anyada, els potencials hídrics foliars més negatius s'enregistren al verol i a Tarragona, en sòls de reserva hídrica més elevada que al Priorat. La garnatxa respon amb un comportament isohídric, regulant bé els estomes per evitar la pèrdua d'aigua i frenant defoliacions prematures. L'acumulació de sucres en el raïm i el grau alcohòlic més elevat s'ateny al Priorat. En relació amb els compostos fenòlics, s'acumulen en concentracions més elevades preferentment al Priorat; tanmateix, en anys molts secs no es troben diferències entre els dos terrers. L'índex de polifenols totals en el vi és més elevat al Priorat; en canvi, els tanins del vi són més alts a Tarragona.

Per garantir la qualitat dels vins de garnatxa, per equilibrar la planta, caldrà intervenir abans del verol i regular la vegetació o el rendiment quan són

TAULA VII. Anàlisi del vi de garnatxa negra. Priorat i Tarragona, anyades 2011 i 2012; a i b indiquen diferències significatives entre tractaments

2011	% alcohol	ATT (g/L)	ANT (mg/L)	IPT	Tanins (g/L)
Priorat	15,4 ± 0,1 a	5,50 ± 0,10 a	221 ± 26 a	42,7 ± 3,3 a	1,50 ± 0,10 b
Tarragona	14,2 ± 0,2 b	5,20 ± 0,10 b	150 ± 5 b	35,8 ± 0,6 b	2,10 ± 0,15 a
2012					
Priorat	15,8 ± 0,2 a	3,80 ± 0,50 a	214 ± 25 a	47,6 ± 5,1 a	2,30 ± 0,10 b
Tarragona	13,7 ± 0,1 b	4,17 ± 0,02 a	171 ± 10 a	40,0 ± 0,1 b	2,55 ± 0,02 a

Font: Elaboració pròpia.

Repercussions del canvi climàtic en la qualitat del vi de garnatxa negra

excessius, amb l'objectiu de limitar la superfície foliar i mantenir el potencial hídric i de treure càrrega de raïm per evitar la reducció o pansiment de les baies. En estius molt càlids i secs, la garnatxa resulta vulnerable en relació amb la síntesi fenòlica, per tant, el maneig vitícola per equilibrar vegetació i producció i/o l'avançament de la data de la verema permetran aconseguir un millor equilibri en la composició química del raïm.

4. AGRAÏMENTS

Aquest projecte ha estat finançat pel projecte nacional CICYT (ref. AGL 2011 -30408-C04-02).

BIBLIOGRAFIA

- BARBEAU, G.; MORLAT, R.; ASSELIN, C.; JACQUET, A.; PINARD, C. (1998). «Comportement du cépage cabernet franc dans différents terroirs du Val de Loire». *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, vol. 32, núm. 2, p. 69-81.
- BODIN, F.; MORLAT, R. (2006). «Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth I. Validation of the water supply regime, phenology and vine vigour, in the Anjou vineyard (France)». *Plant and Soil*, vol. 281, p. 37-54.
- DOWNEY, 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*, vol. 57, núm. 3, 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, núm. 1, p. 1-20.
- INTERNATIONAL ORGANISATION OF VINE AND WINE (2011). *Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis*. Office International de la Vigne et du Vin. París: OIV.
- JONES, G. V.; WHITE, M. A.; COOPER, O. R.; STORCHMANN, K. (2005). «Climate change and global wine quality». *Climatic Change*, vol. 73, núm. 3, p. 319-343.
- LEEUWEN, C. van; SEGUIN, G. (2006). «The concept of terroir in viticulture». *Journal of Wine Research*, vol. 17, núm. 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, núm. 1, p. 1-12.

Montserrat Nadal i Antoni Sánchez-Ortiz

- NADAL, M. (2002). *Els vins del Priorat*. Valls: Cossetània.
- (2010). «Phenolic maturity in red grapes». A: DELROT, S. [et al.] (ed.). *Methodologies and results in grapevine research*. Heidelberg: Springer Science, p. 389-411.
- NADAL M.; SÁNCHEZ-ORTIZ, A. (2011). «Terres de vin: Le Priorat». *Territoires du Vin* [en línia], núm. 3: *Les territoires du vin en Espagne* (febrer). <<http://revuesshs.u-bourgogne.fr/territoiresduvin/>>.
- NADAL, M.; SÁNCHEZ-ORTIZ, A.; VIÑAS, T.; LAMPREAVE, M.; HERRALDE, F. de (2011). «Influence de l'altitude des parcelles sur le rendement, la composition phénolique des raisin et des vins de Carignan dans l'AOC Priorat» [en línia]. <www.cervim.org/netdownload_pup.aspx?amb=1-0-0-655-0>.
- PRIETO, J. A.; LEBON, E.; OJEDA, H. (2010). «Stomatal behavior of different grapevine cultivars in response to soil water status and air water vapor pressure deficit». *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, vol. 44, núm. 1, p. 9-20.
- RIBÉREAU-GAYOM, Y.; GLORIES, Y.; MAUJEAN, A.; DUBOURDIEU, D. (2000). *Handbook of enology*. Vol. 2: *The chemistry of wine: Stabilization and treatments*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- VADOUR, E. (2002). «The quality of grapes and wine in relation to geography: Notions of terroir at various scales». *Journal of Wine Research*, vol. 13, núm. 2, p. 117-141.
- VITAL, P.; AGUT, C.; FABRE, F. (2006). «Effet du millésime sur le comportement du Grenache N, de la Syrah N et du Mourvèdre N dans les Côtes du Rhône (France)». A: *VI^e Congrès International des terroirs viticoles 2006 = VIth International Terroir Congress 2006* (Bordeus, 3-5 juliol 2006), p. 326-332.