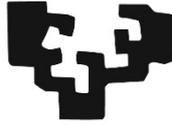


eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

CUBIERTAS VEGETALES EN UN VIÑEDO DE RIOJA ALAVESA: INFLUENCIA SOBRE EL ESTADO HÍDRICO, CRECIMIENTO VEGETATIVO, PRODUCCIÓN Y CALIDAD



TESIS DOCTORAL

Jon Kortabarria Mantzizidor

2017

CUBIERTAS VEGETALES EN UN VIÑEDO DE RIOJA ALAVESA: INFLUENCIA SOBRE EL ESTADO HÍDRICO, CRECIMIENTO VEGETATIVO, PRODUCCIÓN Y CALIDAD

TESIS DOCTORAL

Jon Kortabarria Mantzizidor

2017

Directores: Dra. Ana Aizpurua Insausti

Dr. Gerardo Besga Salazar



Etxekoei

Familiari

Lagunei

ESKERRONAK

Eskerrak ematen hasita, ezinbestean, pluralean idaztera behartuta nago. Izan ere, lan honen amaierara heltzea ezinezkoa izango zatekeen hainbat pertsonen parte-hartzerik gabe. Parte-hartzerik garrantzitsuena tesiaren bi zuzendariena izan da. Tesiari eskaini izan dioten pazientzia, lana, denbora, interesa eta ulermena ikaragarriak izan dira, azken finean, ia talde-lan bat izan da hau guztia. Horrenbestez, eskerrik asko Ana Aizpuruari eta Gerardo Besgari. Ana, azkenean ikasi dut gauzak diren moduan direla, eta ez uste dudan moduan, ordu asko bildurik eta eztabaidatzen eman ostean, noski. Gerardo, no sé qué hubiese sido de este trabajo sin tus minuciosas sugerencias y correcciones, que hasta lo más complicado de decir lo transformaban en lo más simple de comprender y siempre desde la positividad, hasta en los momentos de mayor estrés. ¡Muchísimas gracias a los dos por contagiarme con vuestra energía!

Tesi honetan azterturiko mahastia, Bodegas y Viñedos Zuazo-Gastón upeltegiarena da, haiek eman ziguten lan hau beraien Oiongo Costanillas sailean gauzatzeko aukera. Era berean, haien instalazioak, makinak, denbora, pazientzia, ulermena eta beste hainbat baliabide material zein ez material eskaini zizkiguten. Horrenbestez, eskerrak eman nahi nizkieke Pruden, Carmen, Javi eta Simo-ri bereziki.

Upeltegiaren gain, Guardia-ko Ardoaren Etxeak emandako laguntza ere funtsezkoa izan zen lan honen garapenean. Bertan aztertu ziren lan honetarako erauzitako mahatsaren zukua eta eginiko ardoa. Beraz, mila esker José Baigorriari, Egoitz Mendiari eta bertako langile guztiei, egunero izaten dituzten laginen artean, gureei ere tokia egiteagatik.

Aipatutakoez gain, beste zenbait upeltegi, aditu, mahastizain eta ardogilek ere izan zuten beraien ekarpena lan honetan. Ardogintzaren inguruan ikasi dudan guztian interesa pizten lagundu zutelako, kasu batzuetan beraien instalazioetako ateak zabalduz eta, beste batzuetan, tesian azterturiko ardoa probatzen ausartuz. Mila esker, Arturo, Irene, Cesar, Gari, Asier, Miriam, Javier, Gorka...eta zerrenda luzearen parte egin beharko nituzkeen gainontzekoei.

Zuzendarietz gain, EHUko Landare Biologia eta Ekologia Sailean tutore izan dudana Isabel Salcedo ere eskertu nahi nuke. Tesia idazteaz gain, tesia aurkezteko prozesua ere akigarria da, edonola ere, asko erraztu didazu bide hori, informazioa emanez, iradokizunak eginez eta lan askoko momentuetan denbora eskainiz, eskerrik asko.

Tesia Neiker-Tecnalia-ren Derioko zentroan egin izanak, tesia bera egiteaz gain, giro ezin hobean sentitzeko aukera eskaini zidan. Gainera, esan daiteke, tesi honetarako, mahastia

ondo ezagutzen zuen norbaiten laguntza funtsezkoa izan zela, Olatz, eskerrik asko Costanillas-i buruz zenuen informazio guztia erraztu eta behar zenean azaltzeagatik, gauza asko ezin izango nituzkeen egin zuk aurretiaz eginiko lanik ez balego. Ezin ahaztu Costanillas-eko beste aditu bat ere, Roberto, zuen moduko lankideekin ez da nekeza mahastizaintzaz ikastea, ordu asko pasatu genituen mahatsondoen azpian herrestan uztail eta abuztuko eguzkipean ere, baina beti giro ezin hobean, eskerrik asko!. Landa-lanean ezinbestekoak izan ziren beste bi pertsona ere, Gorka eta Luis, beti zuen umore onarekin eguzkipeko egun amaiezinei aurre egiten, zuen lanagatik eta pazientziagatik, mila esker. Neikerren praktiketan eta proiektu amaierako lanean aritu ziren zenbaiti ere badagokie tesi honen zatitxo bat; eskerrik asko, Nuria, Olatz, Yaiza eta Lucia, zuek ere eskaini zenioten zuen denbora tarte lan honi, beti interesez, laguntzeko prest eta konfiantzazko giroan. Ordenagailu aurreko eta laborategiko orduak ere, ez ziren lan-ordu izan Neikerren izan nituen gisako lankideekin, nola ez, ezin ahaztu bekadun neikerrosen taldea, Maialen I. eta Maialen V., Cris, Urtzi, Ania, Aritz, Nerea, Oier, Maite, Ion, Lur...denbora pasa bada ere, garai onak ez dira ahazten. Neikerreko ekipo egonkorra ere beti prest zegoen bakoitzak ahal zuenean laguntzeko edo, besterik ez bazen ere, otorduan konpainia atsegina egiteko, Lur, Haritz, Iker, Mikel, Arrate, Ainara, Ander, Sorkun, Aitor, Susana, Fernando, Oscar, Esti...eta baita laborategikoak ere...Yoli, Iñaki, Lidia, Carmen...eskerrik asko zuen pazientzia guztiarekin olagarro bat garaje batean sartzen uzteagatik.

Arabatik Deriora, eta Deriorik herrirantz nator. Lan modu eraginkorrean egiteko, modu eraginkorrean deskonektatu behar da eta, horretarako, koadrila bezalakorik ez. Azkenaldian, ia beti berdinek jasan izan dituzte tesitik eratorritako 'arrarotasunak', pazientzia ikaragarriarekin: Larraitz, Haritz E., Haritz S., Edurne, Jabi, Izaro, Ugo, Xabi, Davor...Koadrilako betikoak eta lagunak ere hor izan dira urte hauetan, edozein kexa entzuteko prest, psikologoaren moduan...Irati, Amaia, Gotzon, Itziar, Andoitz, Miren, Iraia, Intxausti, Alaitz, Erik, Bargi, Agirre, Elus, Pildi, 83ko kinta guztia, Eva...eta amaitu ezinezko zerrenda. Edonola ere, bereziki eskertu behar dut Andaluziako taldea...Lander, Fortu eta Endika, zuek oporretan ere sufritu izan duzuelako nire portatila.

Urrutitik gerturanzko bide honetan, gertueneko helmugara iritsi naiz. Hemen, inoiz inolako baldintzarik jarri gabe eta erantzun txarra jasotzea axola gabe galdetzen ausartzen direnak sartu nahi ditut. Horra, familia guztia eta, bereziki, etxeakoak. Azken hilabeteetan eginiko guztia onartu didazue, azalpenik eskatu gabe, ulergaitza dena ere ulertuz. Zuek gabe ezinezkoa litzateke idatzi dudan hau idaztea. Hala ere, geratu dira hitz batzuk idatzi gabe, hitzez ezin baita adierazi zor dizuedan guztia.

Esta tesis se ha realizado en el centro de Derio de Neiker-Tecnalia con la ayuda de una Beca Predoctoral de Formación a Jóvenes Investigadores/as y Tecnólogos/as en el Entorno Científico-Tecnológico y Empresarial del Sector Agropesquero y Alimentario Vasco, concedida por el Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco.

RESUMEN

Una de las causas más importantes de la degradación de los suelos es la erosión hídrica. La erosión suele ser más intensa en parcelas con menor cobertura de vegetación, y por ello, los viñedos son uno de los cultivos más susceptibles a este fenómeno. Esto ocurre porque, en general, los suelos de viñedo se mantienen libres de vegetación, bien a través del laboreo convencional o a través de la aplicación de herbicidas, y la protección que ejerce la cobertura de las cepas de vid frente al impacto de la lluvia no es suficiente. A mayor escala, la expansión de viñedos a zonas con mayores pendientes, la disposición de las hileras de vid a favor de éstas, la textura fina de los suelos y la naturaleza de las precipitaciones en las regiones mediterráneas favorecen la erosión.

Frente a esta problemática una de las opciones son las cubiertas vegetales, pero en ambientes mediterráneos su uso no está muy extendido, ya que existe el riesgo de una competencia desfavorable por el agua con la vid. Aunque distintos trabajos hayan mostrado resultados contradictorios, en general, las cubiertas en ambientes mediterráneos han contribuido a un menor tamaño de dosel, reduciendo el consumo de agua por la vid y han resultado en menores producciones asociadas a una mejora en la calidad. Dichos cambios pueden ser favorables a la hora de adaptarse a la limitación productiva establecida por la D.O.Ca. Rioja, lo que a veces obliga a realizar aclareos o deshojados, prácticas que podrían ser minimizadas con el empleo de cubiertas vegetales.

En el mapa de los suelos vitícolas de Rioja Alavesa, muchos suelos clasificados en distintas unidades cartográficas están en zonas de pendiente pronunciada, son poco profundos y susceptibles a la erosión hídrica. Por otra parte, hay también diversos tipos de suelos localizados en zonas de deposición, más profundos y que tienden a acumular agua. La parcela donde se desarrolló el presente estudio tenía estos dos tipos de zonas representativas, pendiente y hondón. El uso de cubiertas de cereal puede ser una alternativa al mantenimiento del suelo desnudo y en estas dos posiciones fisiográficas la respuesta de la vid ante el uso de una cubierta vegetal es probable que difiera. Así, el objetivo de este trabajo se centró en comparar el estado hídrico de la vid (*Vitis vinifera* L.), su respuesta agronómica y la calidad del mosto y del vino entre el manejo del suelo con una cubierta de cebada (*Hordeum vulgare* L., cv. 'Meseta') y el mantenimiento del suelo desnudo mediante laboreo convencional en dos posiciones fisiográficas dentro de un mismo viñedo.

El estudio se desarrolló durante cinco años (2008-2012) en la localidad de Oion/Oyón (Araba), en un viñedo con la variedad 'Tempranillo', conducida en doble cordón 'Royat' e injertada sobre un patrón 41B. En el ensayo había dos factores a estudio: posición fisiográfica y sistema de mantenimiento del suelo. Respecto al factor posición fisiográfica, se evaluaron dos niveles, una zona en pendiente del 15-20%, con un suelo de una profundidad de unos 0,80 m, que se regaba todos los años; y una zona en hondonada, en la convergencia de dos pendientes, con un suelo profundo de más de 1,15 m, que se regó una única vez en el último año de estudio. En cuanto al factor mantenimiento del suelo había dos niveles, una cubierta vegetal de cebada (CV) y un manejo de suelo desnudo mediante laboreo (SD). El diseño del ensayo era en parcela dividida y constaba de cuatro repeticiones. En cada parcela experimental se tomaron medidas en 10 cepas de vid. Durante el año 2012 se realizaron además medidas de la conductividad hidráulica no saturada (K_{nosat}) en seis momentos que representaban distintos estados de los tratamientos de CV y SD. El estado hídrico de las cepas se midió a través del potencial en tallo al mediodía solar (Ψ_s^{md}) con una cámara de Scholander. Se determinaron las concentraciones de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) y micronutrientes (Fe, Mn, Zn y Cu) en limbo y peciolo en enero. Para evaluar la dinámica del crecimiento vegetativo se midió el diámetro basal de los pámpanos a lo largo del ciclo vegetativo y el vigor final alcanzado mediante el peso de la madera de poda. La producción se midió a través de la producción unitaria por cepa, el peso y número de racimos, y el peso de las bayas. Se relacionaron la producción y el vigor mediante el Índice de Ravaz (IR). La calidad de la uva se determinó analizando el grado probable, acidez total, pH, concentración de ácido L-málico y nitrógeno fácilmente asimilable del mosto. Tras su vinificación, también se analizaron el grado

(GA), acidez total tartárica (ATT), pH, índice de polifenoles totales (IPT), concentración de antocianos e intensidad colorante (IC). Adicionalmente, se realizaron catas para la evaluación sensorial y comparación de la percepción de los vinos provenientes de cada manejo.

La mayor K_{nosat} se registró en el manejo SD recién labrado, siendo siempre mayor o igual que la de la cubierta vegetal. Sin embargo, la K_{nosat} fue mayor cuando la CV estaba activa frente a SD con costra. No hubo ninguna diferencia significativa entre la pendiente y el hondón en esta variable. En la pendiente, en general, la CV competía con la vid por el agua resultando en un menor Ψ_s^{md} hasta la aplicación de riegos o hasta el envero, pero esta competencia inicial no supuso ninguna respuesta consistente en el vigor. No obstante, la producción sí se vio afectada por este mayor estrés inicial. Así, la relación entre producción y vigor, expresada como IR, tendió a ser menor bajo CV en cuatro de los cinco años estudiados. En el hondón, en general, no se podía apreciar ninguna competencia inicial en el Ψ_s^{md} causada por la cubierta vegetal. Sin embargo, en algunos años al final del ciclo, las cepas bajo SD estaban más estresadas. En la pendiente, las concentraciones foliares de Mg y Mn eran más altas en las cepas manejadas bajo CV. En el hondón, las menores concentraciones de N, P y Ca bajo CV se atribuyeron a la competencia ejercida por ésta. La cubierta en el hondón disminuyó el peso de la madera de poda en los primeros tres años, pero en la producción no hubo ninguna influencia clara del manejo CV. El grado probable y adquirido en vino se vieron favorecidos por la CV en el hondón, y los compuestos polifenólicos y los relacionados con el color también se mostraban favorecidos por el manejo CV. La influencia de la CV en la pendiente no fue tan evidente sobre los parámetros cualitativos.

Atendiendo a las diferencias entre zonas, al inicio del ciclo, el Ψ_s^{md} era más negativo en la pendiente, sobre todo bajo el manejo mediante CV, y esto sucedía hasta la aplicación de riegos o hasta el envero en ausencia de riegos, y posteriormente, el estrés hídrico tendía a ser igual en ambas zonas entre 2008 y 2010. Sin embargo, el estrés hídrico fue mayor en el hondón bajo SD en 2011 y menor en el mismo tratamiento en 2012. El peso de la madera de poda fue mayor en los tres primeros años en el hondón bajo SD. Esto reflejaba la competencia entre viña y CV por el N en el hondón. Esta competencia no existía en pendiente, ya que el desarrollo vegetativo fue menor debido al mayor estrés hídrico inicial. La producción fue mayor en el hondón en 2009 y 2011, y mayor en la pendiente en 2012, siempre bajo SD. El grado, el IPT, los antocianos y la IC eran más favorables en la pendiente respecto al hondón bajo el manejo SD. Por tanto, la CV atenuó las diferencias en cuanto a calidad entre las dos zonas. Esto se debe a que la CV limitó el crecimiento vegetativo en la posición fisiográfica con un suelo más profundo (hondón), y esto junto con el rastrojo que se mantuvo después de la siega de la cubierta, supuso un menor estrés hídrico hacia el final del ciclo, lo cual contribuyó en algunos casos a una mejora de los parámetros relacionados con la calidad del mosto y el vino. No obstante, en la pendiente, la CV compitió por el agua, lo que a su vez afectó a la producción de uva, aunque el vigor y la calidad no se vieron afectados de manera tan consistente. Las evaluaciones sensoriales no mostraron ninguna relación clara con la posición fisiográfica ni con el manejo, ya que las puntuaciones variaron de año en año. Las diferencias entre las dos posiciones se debían a la distinta capacidad de almacenamiento de agua y a los riegos en la pendiente, aunque la CV resultó en una menor diferenciación entre las dos posiciones fisiográficas, como consecuencia de los efectos favorables que tuvieron en la zona de hondón.

En conclusión, el estrés inicial que la CV causa en la pendiente no se refleja ni en el crecimiento vegetativo ni en la calidad, pero sí se relaciona con una tendencia hacia una menor producción. En el hondón la CV incrementa la calidad en lo que respecta al grado y al color. Esto sucede por la competencia de la cubierta por el N del suelo, lo que resulta en un menor crecimiento vegetativo, que conlleva un menor estrés durante la maduración y una mayor incidencia de la luz solar sobre los racimos. El conjunto de cambios provocados por el manejo mediante la cubierta vegetal mejora las variables relacionadas con la calidad, sobre todo en el hondón, igualando así ambas zonas del viñedo. No obstante, el efecto de una sequía prolongada hace que este efecto positivo de la CV se pierda en el hondón en el caso del color y se llegue a invertir en el caso del grado al final del ensayo.

ABSTRACT

One of the most important causes of soil degradation is water erosion. Erosion tends to be more intense in plots with lower vegetation cover, and for this reason, vineyards are one of the crops most susceptible to this phenomenon. This happens because, in general, the vineyard soils are kept free of vegetation, either through conventional tillage or through the application of herbicides, and the protection of the vine cover against the impact of rain drops is not enough. On a larger scale, the expansion of vineyards to areas with greater slopes, the arrangement of the vine rows in favour of them, the fine texture of the soils and the nature of precipitation in the Mediterranean regions favour erosion.

The adoption of cover cropping with different species is one of the alternatives to face the problem of soil degradation, but in Mediterranean environments its use is not very widespread, due to the risk of an unfavourable competition for water with the vine. Though different works have shown contradictory results, in general, the cover crops in Mediterranean environments have contributed to a smaller canopy size reducing the consumption of water by the vine and have resulted in decreases of yields associated with an improvement in the quality of grapes. These changes may be positive to help winegrowers to adapt their production to the limit established by D.O.Ca Rioja in Rioja Alavesa. In some situations, this limitation makes necessary to perform special field operations, such as thinning or stripping, practices that could be minimised with the use of cover crops.

In the map of Rioja Alavesa wine-growing soils, many soils classified in different cartographic units are in steep slopes, are shallow and susceptible to water erosion. On the other hand, there are also different types of soils located in areas of deposition, deeper and which tend to accumulate water. The vineyard where the present study was developed abridged two areas, a sloping area (slope) and a flat area (hollow), both representatives of the already described cartographic units. Although cereal cover crops may be an alternative to the traditional management of maintenance of bare soil in Rioja Alavesa, in these two physiographic positions the response of the grapevine to the use of vegetal cover may vary. Thus, the objective of this work was to compare the water status of the grapevine (*Vitis vinifera* L.), its agronomic response and the quality of the must and the wine under the soil management by a barley cover crop (*Hordeum vulgare* L.) and the maintenance of bare soil by conventional tillage in two physiographic positions within the same vineyard.

The study was carried out over five years (2008-2012) in the locality of Oion / Oyón (Araba), in a vineyard with 'Tempranillo' variety, conducted in a double 'Royat' cord and grafted on 41B rootstock. In the trial there were two factors to study: physiographic position and soil maintenance system. Regarding the physiographic position factor, two levels were evaluated: a sloping area of 15-20%, with a soil of a depth of about 0,80 m, which was watered every year; and an area in a hollow, at the convergence of two slopes, with a deep soil of more than 1,15 m, which was watered only once in the last year of study. As for the soil maintenance factor, there were two levels, a barley cover crop (CC) and a bare soil management by tillage (BS). The experimental design consisted on a split-split-plot with four replicates. In each experimental plot, measurements were taken on 10 grapevines. During 2012, measurements of unsaturated hydraulic conductivity (K_{nosat}) were also carried out in six moments representing different states of CC and BS treatments. The water status of the vines was measured through the midday stem water potential (Ψ_s^{md}) with a Scholander chamber. Likewise, concentrations of different macronutrients (N, P, K, Ca, and Mg) and micronutrients (Fe, Mn, Zn, and Cu) in the leaf blade and petiole in veraison were measured. The vegetative development was determined by measuring the basal diameter of the shoots and the vigour by the weight of the pruning wood. Production and its components were measured by the unitary production per vine, the weight and the number of clusters, and the weight of berries. Production and vigor were related by the Ravaz Index (RI). The must quality was determined by analysing the probable alcohol content, total acidity, pH, concentration of L-malic acid and easily assimilable nitrogen. After the vinification process, the alcohol content, total tartaric

acidity, pH, total polyphenols index (TPI), anthocyanin concentration and colour intensity (CI) were also analysed. Additionally, tastings were performed for the sensorial evaluation and comparison of the perception of the wines from each management.

The greatest K_{nosat} was measured in the recently tilled BS, always being greater or equal to that of the vegetation cover. However, K_{nosat} was higher when CV was active versus BS with superficial crust. There was no significant difference between slope and depth in this variable. In the slope area, in general, the CC competed with the vine for the water resulting in a lower Ψ_s^{md} until the application of irrigations or until the veraison, but this initial competition did not suppose any consistent response in the vigour. Nevertheless, the yield was affected by the initial greater stress. Thus, the relationship between production and vigour, expressed as RI, tended to be lower under CC in four of the five years studied. In the hollow, in general, no initial competition in the Ψ_s^{md} caused by the vegetation cover could be seen. However, in some years at the end of the cycle, vines under BS were more stressed. In the slope, foliar concentrations of Mg and Mn were higher in the vines managed under CC. In the hollow, the lower concentrations of N, P and Ca under CC were attributed to the competition exerted by this one. Cover crop in the hollow resulted on a decrease of the pruning weight in the first three years of study, but in the yield there was no clear influence of the CC management. The probable alcohol content on must and the final alcohol content in wine were also favoured by CC management. The influence of CC on the slope was not so evident on the qualitative parameters.

Regarding to the differences between zones, at the beginning of the cycle, Ψ_s^{md} was more negative in the slope, mainly under the CC management, and this occurred until the application of irrigations or until veraison in the absence of irrigations. After the water supplies or veraison, the water stress tended to be similar in both areas between the years 2008 and 2010. However, water stress was higher in the hollow under BS in 2011 and lower in the same treatment in 2012. The pruning weight was higher in three of the five years in the hollow under BS. This reflected the competition between vineyard and CC for the N in the hollow. This competition did not exist in slope, since the vegetative development was smaller due to the greater initial water stress. Production was higher in hollow in 2009 and 2011, and higher in the slope in 2012; these differences were only observed under BS management. Alcohol content, TPI, CI, anthocyanin concentration and CI were also enhanced in the slope when compared to the hollow under the BS management. Therefore, the cover crop attenuated the differences regarding quality between the two zones. This is due to the fact that CC limited the vegetative growth in the physiographic position with a deeper soil (hollow), and this, together with the stubble that remained after the mowing of the cover, supposed a lower water stress towards the end of the cycle, which in some cases contributed to an improvement in the parameters related to the quality of the must and wine. However, in the slope, the CC competed for water, which in turn affected grape yield, although vigour and quality were not affected so consistently. Sensory evaluations did not show any clear relation to the physiographic position or to the management, since the scores varied from year to year. The differences between the two positions were due to the different storage capacity of water and to the irrigations in the slope, although the CC resulted in a smaller differentiation between the two physiographic positions, as a consequence of the favorable effects that they had in the hollow zone.

In conclusion, the initial stress that CC causes on the slope is not reflected in either the vegetative growth or the quality, but it is related to a tendency toward a lower yield. In the hollow the CC increases the quality in terms of grade and colour. This is due to the competition of the cover by the N of the soil, which results in a lower vegetative growth, which entails a lower stress during ripening and a higher incidence of sunlight on the clusters. The set of changes caused by CC management improves the variables related to the quality, especially in the hollow, thus equaling both zones of the vineyard. However, the effect of a prolonged drought causes this positive effect of CC to be lost in the hollow in the case of colour and to be inverted in the case of the degree at the end of the trial.

LABURPENA

Lurzoruen narriaduraren eragile nagusienetako bat uraren bidezko higadura da. Higadura handiagoa izan ohi da landare-estaldura txikia duten lursailetan, haatik, mahastiak fenomeno honekiko laborantza-hazkuntzarik sentikorrenen artean daude. Hau, orokorrean, mahastietako lurzorua gainazala landaririk gabe mantentzen delako gertatzen da; bai goldatzearen bidez, baita belar-hiltzekoen bidez ere. Honela, mahatsondoek euri-tanten talkarekiko babes urria eskaintzen diote luraren gainazalari eta higadura ekiditeko ez da nahikoa haiek eskaintzen duten estaldura. Eskala handiago batean, mahastiak maldan kokatutako sailtara hedatzeak, aldaparekiko paraleloan kokatutako mahatsondo-lerroek, lurzoruen ehundura finak eta lurralde mediterraneanretako prezipitazioen izaerak higadura areagotzen dute.

Aipaturiko arazoen aurrean, landare-estaldurak tresna egokia izan daitezke, baina eskualde mediterraneanretan haien erabilera ez da gehiegi zabaldu, mahatsondoekin uragatiko gehiegizko lehia garatu dezaketelako. Nahiz eta azterlan desberdinek emaitza kontrajarriak lortu izan dituzten, oro har, zonalde mediterraneanretan landare-estaldurek mahatsondoen errezel-tamaina txikitzea eragin dute, uraren kontsumoa txikituz. Halaber, ekoizpena ere murriztu izan dute estaldurek, kalitate hobekuntzak eraginez. Aipatutako aldaketak, onuragarriak izan daitezke Errioxa J.I.-k ezartzen dituen ekoizpen-mugetara moldatzeko. Izan ere, muga horrek maiz mahats-mordoak bakantzera edo hostoak kentzera behartzen ditu mahastizainak eta landare-estaldurek lan horiek gutxitzea baimendu dezake.

Arabako Errioxako mahasti-lurren mapan, unitate kartografiko desberdinetan sailkaturiko hainbat lurzoru, malda nabarmenetan daude, sakonera txikikoak eta higadurarekiko oso sentikorrek direlarik. Bestalde, zenbait gune pilaketa-gune gisa identifikatzen dira, ura eta ingurutik datozen materialak pilotzeko joera duten lurzoru sakoneko guneak direlako. Hala, landare estaldurak Arabako Errioxako mahastien maneirako tresna egokia izan badaitezke ere, mahatsondoek estaldurekiko izan dezaketen erantzuna desberdina izan daiteke, kokatzen diren zonaldearen arabera. Beraz, lan honen helburu nagusia mahatsondoen (*Vitis vinifera* L. cv. 'Tempranillo') egoera hidrikoaren, erantzun agronomikoaren eta muztioaren zein ardoaren kalitatearen alderaketa egitea izan zen, urteko garagar-estaldura (*Hordeum vulgare* L.) baten eta goldatze bidezko lurzoru biluziaren maneiuaren artean eta bi kokapen fisiografiko desberdinetan.

Azterlanak bost urteko iraupena izan zuen (2008-2012) eta Arabako Oion/Oyón Udalerrian kokaturiko mahasti batean gauzatu zen, 'Tempranillo' barietateko mahatsondoak zituena. Mahatsondoak, 'Royat' beso bikoitzeko sistemari gidaturik zeuden eta 41B mentagaien txertatuak. Bi faktore aztertu ziren azterlan honetan: kokapen fisiografikoa eta lurzorua mantentze-sistema. Kokapen fisiografikoa bi maila zituen; batetik, % 15-20 ko maldadun gunea, 0,80 m-ko lurzoru-sakonera eta urtero ureztatzen zena; bestetik, sakonunean kokatutako gunea, bi malda batzen ziren lekuan eta 1,15 m baino lurzoru sakonagoduna. Azken gune hori, azterlan osoan zehar behin ureztatu zen. Lurzorua mantentze faktoreari dagokionez, bi maila zituen; batetik, garagarrezko landare estaldura (LE); bestetik, goldatze mantentutako lurzoru biluzia (LB). Esperimentuaren diseinua banatutako sail erakoa izan zen eta lau errepikapen izan zituen. Lursail esperimental bakoitzean 10 mahatsondo aztertu ziren. Esperimentuaren azken urtean (2012), lurzorua eramangarritasun hidrauliko ez saturatua (K_{nosat}) neurtu zen, LE eta LB tratamenduek egoera desberdinak aurkezten zituzten sei momentutan. Mahatsondoen egoera hidrikoa eguerdiko zurtoin-potentziala (Ψ_s^{md}) neurtuz jarraitu zen, Scholander-en ganbera bat erabiliz. Makroelikagai (N, P, K, Ca y Mg) eta mikroelikagai (Fe, Mn, Zn y Cu) kontzentrazioak aztertu ziren hostoan eta pezioloan heldzearen hasieran. Hazkuntza begetatiboaren jarraipenerako aihenen oinarriko diametroa neurtu zen ziklo osoan zehar eta mahatsondoen amaierako indar begetatiboa inausketako egurraren pisua jasoz. Ekoizpenaren jarraipenerako, mahatsondoko ekoizpen unitarioa, mahats-mordoaren pisua eta kopurua zein mahats-aleen pisua neurtu ziren. Ekoizpena eta indarra Ravaz-en Indizea (RI) erabiliz erlazionatu ziren. Mahatsaren kalitatea neurtzeko balizko gradua, azidotetasun osoa, pH-a, azido L-malikoaren

kontzentrazioa eta nitrogeno eskuraeraza analizatu ziren muztioan. Ardoa egin ostean, gradua (GA), azidotetasun osoa (ATT), pH-a, polifenolen indize total (PIT), antoziano kontzentrazioa eta kolore-intentsitatea (KI) neurtu ziren. Gainera, dastaketak egin ziren, maneiur desberdinetan ekoitziriko ardoen alderaketa egiteko.

Lurzoru biluzi berriki goldatuak erakutsi zuen K_{nosat} handiena, beti landare-estalduraren gainera. Alabaina, K_{nosat} handiagoa izan zen landare-estaldura aktibo zegoenean, zarakardun lurzoruarekin alderatuz. Malda eta sakonunearen artean ez zen alderik egon aldagai honetan. Maldan, oro har, LE-k mahatsondoekin lehiatu zuten, Ψ_s^{md} txikiagoak ikusi zirelarik LE maneiupeko mahatsondoetan heltzearen hasierara arte edo ureztatzeak gauzatu arte. Hasierako lehia horrek ez zuen eraginik izan mahatsondoen indarrean. Edonola ere, ekoizpena murriztu zen eta, ondorioz, RI txikiagoa izan zen LE maneiuan, aztertutako bost urtetatik lautan. Sakonunean ez zen atzeman urarekiko lehiarik, baina urte batzuetan, ziklo amaieran LB maneiuan ur-estres handiagoa agertu zen. Aldapan Mg eta Mn kontzentrazioak handiagoak ziren LE maneiuan. Sakonunean N, P eta Ca kontzentrazio txikiagoak ikusi ziren LE maneiuan, lehiaren ondorioz. Estaldurek inausketako egurraren pisua murriztu zuten sakonunean lehenbiziko hiru urteetan, baina ekoizpenean ez zuten eraginik izan. Balizko gradua eta ardoaren gradua hobetu zituen estaldurak sakonunean. Halaber, polifenolak, antozianoak eta kolorearekin erlazionaturiko konposatuak ere areagotu zituen estaldurak sakonunean. Kalitate-aldagaiak ez ziren nabarmen hobetu maldan LE maneiurekin.

Malda eta sakonunea alderatuz, zikloaren hasieran Ψ_s^{md} negatiboagoa izan zen maldan, LE maneiuan batez ere, ureztatu arte edo heltzearen hasierara arte. Ondoren, ur-estresa berdindu egiten zen bi guneetan 2008-2010 urteetan. Alabaina, ur-estresa handiagoa izan zen sakonunean LB maneiuan 2011 urtean eta txikiagoa maneiur berean 2012an. Inausketako egurraren pisua handiagoa izan zen sakonunean LB maneiupean lehen hiru urteetan. Honek estaldura eta mahatsondoen arteko nitrogenoagatiko lehia erakusten zuen. Lehia hori ez zen atzeman maldan, indar begetatiboa txikiagoa zelako hasierako stres handiagoagatik. Ekoizpena handiagoa izan zen sakonunean 2009 eta 2011an, eta handiagoa maldan 2012an, betiere LB maneiupean. Gradua PIT-a, antozianoak eta KI-a indarturik zeuden maldan sakonunearekin alderatuz LB maneiuan. Horrenbestez, estaldurek bi zonaldeen arteko kalitate-diferentziak txikitu zituzten. Hau sakonunean estaldurek indar begetatiboa gutxitu zutelako gertatu zen. Izan ere, indar txikiagoak eta estaldura moztu ondoren garagar-zurtoinek ematen zuten lurrunketarekiko babesak ur-estresa txikitu zuten ziklo amaieran. Honela, kalitate-aldagaiak hobetu ziren muztio eta ardoan. Bestalde, maldan, estaldurek uragatik lehiatu zuten ekoizpena murriztuz, baina indarrean eta kalitatean eragin gabe. Dastaketek ez zuten erlaziorik erakutsi ez zonaldeekiko ezta maneiuekiko ere; urtez-urte emaitza desberdinak erakutsi zituzten. Zonaldeen arteko desberdintasunak ura atxikitze ahalmene desberdinagatik eta maldan izandako ureztaketengatik gertatu ziren, nahiz eta estaldurek bi zonaldeen arteko aldeak murriztu sakonunean eragin zituzten hobekuntzei esker.

Orobat, ondorio gisa, estaldurek maldan eragiten duten ur-estres handiagoa ez da indarrean eta kalitatean atzematen, baina ekoizpena murriztea eragiten du. Sakonunean estaldurek kalitatea hobetzen dute alkohol edukiar eta koloreari dagokionez. Hori nitrogenoagatiko lehiagatik gertatzen da, hazkuntza begetatibo txikiagoa eraginez eta heltze-fasean stres txikiagoa zein eguzki-argiaren eragin handiagoa ahalbidetuz. Estaldurek eraginiko aldaketa-multzoak kalitate-aldagaien hobekuntza dakar, sakonunean batez ere. Beraz, bi zonaldeak berdintzen ditu LE maneiurak. Edonola ere, lehorte luzeak daudenean, estalduren eragin positiboa desagertzen da. Horrela, ardoaren kolorea berdindu egiten da bi maneiuren artean eta, graduaren kasuan, kontrako eragina ere izan dezake estaldurak lehorte handia denean.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ANTECEDENTES	7
2.1.	CONTEXTO Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA VITIVINICULTURA	9
2.1.1.	Contexto histórico de la vitivinicultura en la Península Ibérica y Rioja Alavesa	9
2.1.2.	Situación actual de la vitivinicultura en España y bajo la D.O.Ca. Rioja	11
2.2.	RIOJA ALAVESA: CLIMA Y SUELO	13
2.2.1.	Clima	14
2.2.2.	Suelo	15
2.3.	AGRICULTURA, VITICULTURA Y EROSION DEL SUELO	19
2.3.1.	Factores que influyen sobre la erosión del suelo	19
2.3.2.	Técnicas de mantenimiento del suelo: las cubiertas vegetales	21
2.3.3.	El manejo del suelo en viñedo mediante cubiertas vegetales	29
2.3.4.	Manejo de las cubiertas vegetales	29
2.3.5.	Relaciones hídricas entre las cubiertas vegetales y la vid	31
2.3.6.	Efectos de las cubiertas vegetales a lo largo del ciclo de la vid	34
2.4.	EL CICLO DE LA VID	34
2.4.1.	Lloro	34
2.4.2.	Desborre	34
2.4.3.	Crecimiento vegetativo	35
2.4.4.	Crecimiento reproductivo	37
2.4.4.1.	La formación de inflorescencias y flores	37
2.4.4.2.	Floración, polinización y fecundación	38
2.4.4.3.	Cuajado	38
2.4.4.4.	Desarrollo de las bayas	38
2.4.5.	Desarrollo radicular	41
2.5.	EFFECTO DE LAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO DEL SUELO SOBRE EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA VID	42
2.5.1.	Evaluación del estado hídrico de la vid mediante la medida del potencial hídrico en tallo al mediodía solar	43
2.6.	EFFECTO DE LAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO DEL SUELO SOBRE EL ESTADO NUTRICIONAL DE LA VID	44
2.7.	EFFECTO DE LAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO DEL SUELO SOBRE LA RESPUESTA AGRONÓMICA, LA CALIDAD DEL MOSTO Y LA CALIDAD DEL VINO	47
2.7.1.	Peso de la madera de poda	47
2.7.2.	Rendimiento	49
2.7.3.	Contenido de azúcares	50
2.7.4.	Acidez	52
2.7.5.	Compuestos polifenólicos	53
3.	MATERIAL Y MÉTODOS	55
3.1.	ENSAYO	57
3.2.	DISEÑO EXPERIMENTAL	59
3.3.	CLIMATOLOGÍA	63

3.4.	SEGUIMIENTO FENOLÓGICO	64
3.5.	DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA NO SATURADA (K_{nosat}) DEL SUELO	65
3.6.	ESTADO HÍDRICO DE LA VID	69
3.7.	DIÁMETRO DEL PÁMPANO	70
3.8.	PESO DE LA MADERA DE PODA	72
3.9.	PRODUCCIÓN DE UVA	72
3.10.	ÍNDICE DE RAVAZ	73
3.11.	CALIDAD DEL MOSTO	73
3.12.	CALIDAD DEL VINO	74
3.13.	ASPECTOS SENSORIALES DEL VINO	75
3.14.	ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES Y MICRONUTRIENTES EN MATERIAL VEGETAL	76
3.15.	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO	76
4.	EFFECTO DEL MANEJO DEL SUELO Y LA POSICIÓN FISIOGRÁFICA EN LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA NO SATURADA (K_{nosat}) Y EL ESTADO HÍDRICO DE LA VID	79
4.1.	RESULTADOS	81
4.1.1.	Conductividad hidráulica no saturada del suelo (K_{nosat})	81
4.1.2.	Determinación del estado hídrico de la vid mediante el potencial hídrico en tallo al mediodía solar (Ψ_s^{md})	82
4.1.3.	Datos climatológicos en el periodo de medida	86
4.2.	DISCUSIÓN	92
4.2.1.	Conductividad hidráulica (K_{nosat}) no saturada	92
4.2.2.	Potencial hídrico del tallo al mediodía solar (Ψ_s^{md})	93
4.2.3.	Potencial hídrico al mediodía solar (Ψ_s^{md}) y su relación con la conductividad hidráulica no saturada (K_{nosat})	97
4.3.	RESUMEN	100
5.	EFFECTO DEL MANEJO DEL SUELO Y DE LA POSICIÓN FISIOGRÁFICA SOBRE EL ESTADO NUTRITIVO DE LA VID	103
5.1.	RESULTADOS	105
5.1.1.	Macronutrientes	105
5.1.1.1.	Nitrógeno (N)	105
5.1.1.2.	Fósforo (P)	105
5.1.1.3.	Potasio (K)	105
5.1.1.4.	Calcio (Ca)	106
5.1.1.5.	Magnesio (Mg)	106
5.1.2.	Micronutrientes	108
5.1.2.1.	Hierro (Fe)	108
5.1.2.2.	Manganeso (Mn)	108
5.1.2.3.	Zinc (Zn)	108
5.1.2.4.	Cobre (Cu)	108
5.2.	DISCUSIÓN	110

5.2.1.	Macronutrientes _____	110
5.2.1.1.	Nitrógeno foliar (N) _____	110
5.2.1.2.	Fósforo (P) _____	111
5.2.1.3.	Potasio (K) _____	112
5.2.1.4.	Calcio (Ca) _____	113
5.2.1.5.	Magnesio (Mg) _____	113
5.2.2.	Micronutrientes _____	114
5.2.2.1.	Hierro (Fe) _____	114
5.2.2.2.	Manganeso (Mn) _____	115
5.2.2.3.	Zinc (Zn) _____	116
5.2.2.4.	Cobre (Cu) _____	116
5.3.	RESUMEN _____	118
6.	<i>EFFECTO DEL MANEJO DEL SUELO Y DE LA POSICIÓN FISIAGRÁFICA SOBRE EL DESARROLLO VEGETATIVO DE LA VID _____</i>	119
6.1.	RESULTADOS _____	121
6.1.1.	Diámetro medio del pámpano _____	121
6.1.2.	Peso de la madera de poda _____	124
6.2.	DISCUSIÓN _____	126
6.2.1.	Diámetro medio del pámpano _____	126
6.2.2.	Peso de la madera de poda _____	129
6.3.	RESUMEN _____	133
7.	<i>EFFECTO DEL MANEJO DEL SUELO Y DE LA POSICIÓN FISIAGRÁFICA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE UVA _____</i>	135
7.1.	RESULTADOS _____	137
7.1.1.	Producción por cepa _____	137
7.1.2.	Número de racimos _____	137
7.1.3.	Peso de los racimos _____	138
7.1.4.	Peso de la baya _____	140
7.1.5.	Índice de Ravaz _____	140
7.2.	DISCUSIÓN _____	142
7.2.1.	Producción por cepa _____	142
7.2.2.	Número de racimos _____	144
7.2.3.	Peso de los racimos _____	145
7.2.4.	Peso de la baya _____	146
7.2.5.	Componentes productivos _____	147
7.2.6.	Índice de Ravaz _____	148
7.3.	RESUMEN _____	150
8.	<i>EFFECTO DEL MANEJO DEL SUELO Y DE LA POSICIÓN FISIAGRÁFICA SOBRE LA CALIDAD DEL MOSTO Y DEL VINO _____</i>	151
8.1.	RESULTADOS _____	153
8.1.1.	Propiedades cualitativas del mosto _____	153
8.1.1.1.	Grado alcohólico probable _____	153
8.1.1.2.	Acidez total tartárica _____	154
8.1.1.3.	Concentración de ácido L-málico _____	155
8.1.1.4.	pH _____	156

8.1.1.5.	Nitrógeno fácilmente asimilable _____	157
8.1.2.	Propiedades cualitativas del vino _____	158
8.1.2.1.	Grado alcohólico _____	158
8.1.2.2.	Acidez total tartárica _____	159
8.1.2.3.	pH _____	160
8.1.2.4.	Concentración de antocianos _____	161
8.1.2.5.	Intensidad colorante _____	163
8.1.2.6.	Índice de polifenoles totales _____	164
8.1.2.7.	Potasio _____	165
8.1.2.8.	Atributos sensoriales _____	166
8.2.	DISCUSIÓN _____	168
8.2.1.	Grado alcohólico probable y grado adquirido en vino _____	168
8.2.2.	Acidez total tartárica, ácido L-málico y pH _____	170
8.2.3.	Compuestos fenólicos en mosto y vino: antocianos, Índice de Polifenoles Totales e Intensidad Colorante _____	172
8.2.4.	Nitrógeno fácilmente asimilable _____	174
8.2.5.	Evaluación sensorial _____	175
8.3.	RESUMEN _____	177
9.	CONCLUSIONES _____	179
	BIBLIOGRAFÍA _____	185

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Tipología de los suelos más abundantes de Rioja Alavesa y superficie ocupada por viñedo en el año 1995.....	16
Tabla 2.2. Comparación coste-beneficio de cubiertas vegetales bajo distintos climas sin estrés hídrico en relación a climas con una sequía estival típica	28
Tabla 2.3 Cambios en la disponibilidad de agua del suelo para diferentes cultivares en respuesta a las prácticas de manejo del suelo, según la ubicación, el tipo de suelo, variedad, y tipo de mulch o cubierta vegetal	32
Tabla 2.4. Rangos de referencia de macronutrientes y micronutrientes en peciolo y en limbo propuestos por García-Escudero <i>et al.</i> (2013) para evaluar el estado nutricional de la variedad ‘Tempranillo’.	47
Tabla 3.1. Profundidad, color, textura, contenido de materia orgánica de los horizontes de dos perfiles representativos de las dos zonas evaluadas en el ensayo de Oion.	60
Tabla 3.2. Profundidad del suelo, capacidad de retención de agua de cada horizonte (CRA) y capacidad de retención de agua total (CRAT) de todo el perfil en cada zona de ensayo.....	60
Tabla 3.3. Profundidad y propiedades nutricionales de los horizontes de dos perfiles representativos de las dos zonas evaluadas en el ensayo de Oion..	61
Tabla 3.4. Precipitación acumulada (Pp), riegos aplicados, evapotranspiración de referencia acumulada (ET ₀) y radiación solar (Rg) media en cada periodo del ciclo vegetativo y en su totalidad.	64
Tabla 3.5. Fechas de brotación, floración, cuajado, envero y vendimia para el periodo de estudio (2008-2012).....	65
Tabla 3.6. Fechas de medida de la conductividad hidráulica no saturada (K_{nosat}), el periodo del ciclo vegetativo y el estado de cada manejo del suelo en cada en las fechas de medida y el momento establecido.	65
Tabla 3.7. Número anual de medidas de potencial hídrico en tallo al mediodía solar y fecha en la que se tomaron en cada uno de los años de estudio en el ensayo de Oion.	70
Tabla 3.8. Número anual de medidas del diámetro de pámpano y fecha en la que se tomaron las medidas en cada uno de los años de estudio en el ensayo de Oion.	71
Tabla 4.1. Contrastes entre los estados de la cubierta anidados dentro del tratamiento de cubierta vegetal y de suelo desnudo para la conductividad hidráulica del suelo (K_{nosat}).	81
Tabla 5.1. Concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en limbo y peciolo en las dos zonas de la parcela (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos (cubierta vegetal y suelo desnudo) durante los años de estudio.	107
Tabla 5.2. Concentraciones de hierro, manganeso, zinc y cobre en limbo y peciolo en las dos zonas de la parcela (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos (cubierta vegetal y suelo desnudo) durante todos los años de estudio.....	109
Tabla 6.1. Día de la parada del engrosamiento de los pámpanos calculado con las ecuaciones de regresión lineal-plateau contados a partir de la brotación en cada año de estudio.	121

Tabla 8.1. Puntuaciones de los atributos sensoriales de los vinos elaborados con las cosechas de los años 2010, 2011 y 2012. Puntuación para la calidad visual, la calidad olfativa, la calidad gustativa, el juicio global de los vinos y la suma total de puntos (puntuación total) para los vinos de cada zona de la parcela y manejo del suelo. 166

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Mapa de la extensión que abarca la superficie bajo la Denominación de Origen Calificada Rioja y su división en las tres zonas reconocidas por la propia denominación.....	13
Figura 2.2. Mapa de la extensión de Álava que abarca la superficie bajo la Denominación de Origen Calificada Rioja y los municipios que engloba. Elaborado a través de la información disponible en la página web de la Cuadrilla de Rioja Alavesa ⁵	14
Figura 2.3. Mapa de precipitaciones de distintas subzonas de la D.O.Ca. Rioja.....	15
Figura 2.4. Erosión laminar y en cárcavas estimada en Europa a través de la base de datos CORINE. Fuente: Cerdán <i>et al.</i> (2010).....	19
Figura 2.5. Detalle de suelo con costra superficial en la parcela de estudio tras una tormenta en octubre de 2011.....	21
Figura 2.6. Vegetación espontánea en la parcela de estudio un año después de la finalización del ensayo.....	24
Figura 2.7. Cubierta vegetal de cebada de invierno (<i>Hordeum vulgare</i> L.) en la parcela de estudio en el primer año de estudio.....	25
Figura 2.8. Dos tipos de manejo de suelo en Consell (Mallorca), una cubierta vegetal espontánea y un suelo labrado Fuente: Medrano <i>et al.</i> , 2015.....	30
Figura 2.9. Crecimiento de la longitud del pámpano. Fuente: Reynier (2012).....	37
Figura 2.10. Diagrama que muestra el tamaño relativo y color de las bayas en intervalos de 10 días después de la floración. Se muestran los principales eventos durante el desarrollo y los principales componentes que se acumulan a lo largo del desarrollo de las bayas. Fuente: Kennedy (2002).....	40
Figura 3.1. Situación geográfica y vista de la parcela experimental tomada en dirección nortesur desde su límite septentrional. Pendiente SO (exposición suroeste), hondón y pendiente NE (exposición nordeste).....	57
Figura 3.2. Imágenes aéreas de la parcela experimental, con los cultivos previos a la plantación actual en 1956 (A) y fotografía de 1984 (B), donde se representa la plantación de 1980 y la zona en la que se realizó el desfondado en 1995.....	58
Figura 3.3. Disposición de las cepas conducidas en doble cordón Royat en la parcela experimental situada en Oion.....	59
Figura 3.4. Factores considerados y sus correspondientes niveles en el ensayo de Oion.....	62
Figura 3.5. Aspecto de las parcelas bajo los diferentes estados de los dos manejos ensayados. (A) Cubierta vegetal en su fase activa; (B) cubierta vegetal agostada; (C) cubierta vegetal segada manteniendo el rastrojo; (D) suelo desnudo durante el primer evento de precipitación tras su labrado; (E) suelo desnudo sellado con costra superficial poco desarrollada.....	66
Figura 3.6. Infiltrómetro de minidisco en el momento de medida en el ensayo de Oion en el año 2012.....	67
Figura 3.7. Representación del infiltrómetro de minidisco. Fuente: Decagon Devices (2006)...	68
Figura 3.8. Medida del potencial hídrico con la cámara de Scholander (1965).....	70

Figura 3.9. Momento de medida del diámetro basal de un pámpano en el ensayo de Oion. ...	71
Figura 3.10. Recolección de partes de racimo y almacenamiento en botes para la posterior extracción de 100 bayas en el momento de la vendimia en el ensayo de Oion.....	73
Figura 4.1. Datos climatológicos, estados fenológicos, valores del potencial hídrico (Ψ_s^{md}) y valores de la conductividad hidráulica no saturada (K_{nosat}) del suelo en las dos zonas de la parcela para los dos manejos en el año 2012.....	82
Figura 4.2. Evolución del potencial hídrico del tallo al mediodía solar durante los cinco años experimentales en pendiente (A) y hondón (B) bajo el manejo con cubierta vegetal (●) y con suelo desnudo (○).....	85
Figura 4.3. Datos climatológicos del año 2008 entre la brotación y la vendimia en la estación de Logroño-Agoncillo. Precipitación diaria acumulada (mm), temperatura media diaria (T^a media) y evapotranspiración de referencia (ET_0). (Fl.) Floración; (Cu.) Cuajado; (En.) Envero; (Co.) Cosecha. (1-8) Medidas de potencial hídrico.....	87
Figura 4.4. Datos climatológicos del año 2009 entre la brotación y la vendimia en la estación de Logroño-Agoncillo. Precipitación diaria acumulada (mm), temperatura media diaria (T^a media) y evapotranspiración de referencia (ET_0). (Fl.) Floración; (Cu.) Cuajado; (En.) Envero; (Co.) Cosecha. (1-8) Medidas de potencial hídrico.....	88
Figura 4.5. Datos climatológicos del año 2010 entre la brotación y la vendimia en la estación de Logroño-Agoncillo. Precipitación diaria acumulada (mm), temperatura media diaria (T^a media) y evapotranspiración de referencia (ET_0). (Fl.) Floración; (Cu.) Cuajado; (En.) Envero; (Co.) Cosecha. (1-9) Medidas de potencial hídrico.....	89
Figura 4.6. Datos climatológicos del año 2011 entre la brotación y la vendimia en la estación de Logroño-Agoncillo. Precipitación diaria acumulada (mm), temperatura media diaria (T^a media) y evapotranspiración de referencia (ET_0). (Fl.) Floración; (Cu.) Cuajado; (En.) Envero; (Co.) Cosecha. (1-10) Medidas de potencial hídrico.....	90
Figura 4.7. Datos climatológicos del año 2012 entre la brotación y la vendimia en la estación de Logroño-Agoncillo. Precipitación diaria acumulada (mm), riego confinado a la pendiente (mm), riego suministrado a toda la parcela (Riego mm total), temperatura media diaria (T^a media) y evapotranspiración de referencia (ET_0). (Fl.) Floración; (Cu.) Cuajado; (En.) Envero; (Co.) Cosecha. (1-9) Medidas de potencial hídrico.....	91
Figura 4.8. Distribución observada de raíces bajo el manejo mediante cubierta vegetal (A) y el manejo mediante suelo desnudo (B).	98
Figura 6.1. Evolución del diámetro medio de los pámpanos en los cinco años de estudio y representación gráfica de las regresiones lineal-plateau con sus respectivas ecuaciones (2009-2012) bajo el manejo con cubierta vegetal (● —) y bajo el manejo con suelo desnudo (○ --).	123
Figura 6.2. Peso de la madera de poda por cepa (kg) en la pendiente y el hondón bajo los dos manejos aplicados.....	125
Figura 7.1. Componentes de la producción durante los cinco años de estudio (2008-2012) bajo los dos manejos (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la pendiente (A) y el hondón (B).	139
Figura 7.2. Valores del Índice de Ravaz (kg uva/kg madera de poda) (IR) durante los cinco años de estudio (2008-2012) bajo los dos manejos (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la pendiente y el hondón.	141

Figura 8.1. Grado alcohólico probable del mosto en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio.....	153
Figura 8.2. Acidez total tartárica (ATT) del mosto en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio.....	155
Figura 8.3. Concentración de ácido L-málico en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio.	155
Figura 8.4. pH del mosto en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio.	156
Figura 8.5. Concentración de nitrógeno fácilmente asimilable (NFA) en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio.....	157
Figura 8.6. Grado alcohólico adquirido del vino en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio.....	159
Figura 8.7. Acidez total tartárica (ATT) del vino en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio.....	160
Figura 8.8. pH del vino en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio.....	161
Figura 8.9. Concentración de antocianos (g L^{-1}) en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio.....	162
Figura 8.10. Intensidad colorante (Abs. 420; 520; 620 nm) en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio.....	163
Figura 8.11. Índice de polifenoles totales (IPT) en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio.	164
Figura 8.12. Concentración de potasio (K) (mg L^{-1}) en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio.....	165

1. INTRODUCCIÓN

La intensificación de la viticultura moderna ha supuesto una expansión del cultivo del viñedo a parcelas cada vez más amplias para favorecer la mecanización. Como resultado, en gran parte del área mediterránea el viñedo se cultiva en laderas, que pueden alcanzar una fuerte pendiente. Además, las hileras de vid se han dispuesto a favor de las pendientes para facilitar las labores y favorecer el tránsito de la maquinaria, lo cual también contribuye a la erodibilidad del suelo. Por otra parte, el clima mediterráneo se asocia con tormentas de fuerte intensidad, que se concentran sobre todo en verano y otoño, y que tienen una gran capacidad erosiva. En consecuencia, los suelos de viñedo pueden verse afectados por procesos erosivos intensos.

La superficie de los viñedos se suele encontrar buena parte del año desprovista de cobertura vegetal. Tradicionalmente, la cobertura herbácea de los viñedos se elimina con el objetivo de reducir la competencia por el agua y los nutrientes que la vegetación residente ejerce respecto a las vides. En los suelos de viñedo libres de vegetación, la protección que ejercen las cepas frente a procesos erosivos suele ser insuficiente, especialmente cuando están en zonas de pendiente. Por tanto, la ausencia de cobertura vegetal es otro factor que favorece el riesgo de erosión.

En particular, en La Rioja el 15-20% de los viñedos se encuentran en parcelas con inclinaciones superiores a 10° y el 36% en pendientes de 5-10° de inclinación. Más concretamente, en la comarca de Rioja Alavesa, entre los tipos de suelo más abundantes en viñedo se encuentran los situados en laderas de erosión y de poca profundidad, con vertientes en pendientes moderadas y baja retención hídrica. En Rioja Alavesa, por lo general, se mantiene el suelo libre de vegetación mediante laboreo convencional o aplicación de herbicidas, por lo que un mayor uso de cubiertas vegetales protegería la superficie del suelo del impacto de las gotas de lluvia, y limitaría el sellado superficial en zonas de pendiente, ya que contribuyen al aumento de materia orgánica en el suelo, y por tanto mejoran la estructura del mismo. Así, las cubiertas vegetales pueden representar una alternativa al manejo tradicional en los viñedos, ya que las cubiertas vegetales, por las razones indicadas, pueden reducir significativamente la escorrentía superficial y, consecuentemente, la erosión. Además, al competir por el agua con las vides generan un nivel de estrés hídrico que puede favorecer una producción de mejor calidad.

No obstante, en zonas mediterráneas la disponibilidad de los recursos hídricos para los viticultores es limitada. Por una parte, porque la precipitación, cuya mayor parte se registra durante la latencia de la vid, suele ser reducida, especialmente, en los meses de verano. Por otra parte, porque en numerosas ocasiones no se dispone de riego o su aplicación depende de

comunidades de regantes, estando además regulado el riego por las denominaciones de origen. De este modo, en estas zonas donde la disponibilidad de agua es limitada, la adopción del uso de cubiertas vegetales no se encuentra extendida por la posibilidad de una competencia excesiva de las cubiertas por el agua disponible en suelo.

La vid necesita un nivel de estrés hídrico moderado para producir uva de calidad para la elaboración de vino. Así, la situación de una alta disponibilidad hídrica asociada a suelos profundos, en ocasiones no es deseable para los viticultores, ya que puede conducir a un vigor y producción excesivos, resultando en una disminución de la calidad de la uva y una mayor necesidad de operaciones en campo. Además, dentro de la D.O.Ca. Rioja se fija un límite productivo de 6.500 kg ha⁻¹, lo que supone un control exhaustivo del viñedo para no sobrepasar el límite fijado. Por ello, en condiciones de buena disponibilidad hídrica una de las prácticas para corregir la sobrecarga productiva en los viñedos suele ser el aclareo de racimos, que contribuye a la mejora de la calidad de mostos y vinos. Sin embargo, es deseable que la solución al exceso productivo esté basada en el logro de un equilibrio entre el desarrollo vegetativo y la producción. De este modo, el uso de cubiertas vegetales puede facilitar la regulación de la producción y el vigor en algunas situaciones, reduciendo los costes de operaciones en campo, incrementando la calidad de la producción y mejorando el acceso a los viñedos en épocas lluviosas.

En una encuesta a nivel de España se determinó que el 32% de los viticultores encuestados se plantearía el manejo mediante cubiertas vegetales en el viñedo, pero muchos más adoptarían la técnica si observasen cambios positivos en las características cualitativas de la uva. Además, se vio que muchos agricultores que poseían viñedos situados en pendiente no consideraban estas zonas susceptibles a la degradación por erosión. También se concluyó que además de los incentivos económicos que se puedan dar para promover prácticas agrícolas más sostenibles, la transferencia de conocimiento científico-técnico es un factor clave para lograr una mejor aceptación y utilización de estas técnicas.

En Rioja Alavesa el empleo de cubiertas vegetales se acepta mejor en viñedos con suelos profundos y en zonas donde se acumula agua, mientras su uso no se plantea en otras situaciones, y esto se asocia a la diversidad de suelos existente. Así, los agricultores consideran que los suelos que por su posición fisiográfica (vaguadas u hondones) o por sus propiedades físicas tienen una alta capacidad para almacenar agua son más adecuados para el manejo mediante cubiertas vegetales. No obstante, en los suelos menos profundos situados en pendientes con mayor susceptibilidad a la erosión las cubiertas vegetales presentan más obstáculos para su uso, especialmente si los viñedos carecen de riego. Teniendo en cuenta que

es en estas últimas situaciones donde es más interesante aplicar un manejo que permita reducir la pérdida de suelo, cobra gran importancia conocer cuál es la respuesta de las vides al uso de cubiertas vegetales en distintas condiciones edáficas. Dado que la respuesta de las vides al empleo de cubiertas vegetales variará dependiendo de la posición fisiográfica en la que se encuentren, por ello tiene gran interés entender cómo el mismo tipo de cubierta puede afectar a distintas características del viñedo según su posición. Esta importancia se acentúa si se considera que la cartografía de suelos de viñedo 1:50.000 de Rioja Alavesa elaborada por Barrios (1994) comprendía 21 unidades cartográficas, lo que pone de manifiesto la gran diversidad de posiciones fisiográficas en las que se cultiva la vid en esta comarca.

Considerando todo lo expuesto, el presente trabajo tuvo como objetivo fundamental determinar el efecto del manejo del suelo con una cubierta vegetal de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y el del mantenimiento del suelo desnudo mediante laboreo sobre el estado hídrico de la vid (*Vitis vinifera* L. cv. 'Tempranillo'), su respuesta agronómica y la calidad del mosto y del vino. Esta comparación se llevó a cabo en dos posiciones fisiográficas, pendiente y hondón, dentro de un mismo viñedo. Para la consecución de este objetivo principal se plantearon los objetivos específicos que se detallan a continuación:

- a) Estudiar la influencia sobre la conductividad hidráulica no saturada de una cubierta vegetal de cebada en el suelo de un viñedo frente a un sistema de laboreo en dos posiciones fisiográficas.
- b) Estudiar la influencia sobre el estado hídrico de la vid de una cubierta vegetal de cebada frente a un sistema de laboreo en dos posiciones fisiográficas.
- c) Estudiar la influencia de la conductividad hidráulica no saturada sobre el estado hídrico de la vid durante los distintos estados que presentan una cubierta vegetal de cebada y un sistema de laboreo en dos posiciones fisiográficas.
- d) Estudiar la influencia sobre el estado nutricional de la vid de una cubierta vegetal de cebada frente a un sistema de laboreo en dos posiciones fisiográficas.
- e) Estudiar la influencia sobre el crecimiento vegetativo de la vid de una cubierta vegetal de cebada frente a un sistema de laboreo en dos posiciones fisiográficas.
- f) Estudiar la influencia sobre el rendimiento de la vid de una cubierta vegetal de cebada frente a un sistema de laboreo en dos posiciones fisiográficas.
- g) Estudiar la influencia sobre la calidad de la uva y del vino de una cubierta vegetal de cebada frente a un sistema de laboreo en dos posiciones fisiográficas.

2. ANTECEDENTES

2.1. CONTEXTO Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA VITIVINICULTURA

2.1.1. Contexto histórico de la vitivinicultura en la Península Ibérica y Rioja Alavesa

El género *Vitis* aparece en Europa hacia finales del Mioceno (Terciario) hace unos 26 millones de años, ocupando unas posiciones moderadamente cálidas en el Macizo Central (Francia). Más adelante al final del Plioceno (Terciario) hace dos millones de años, aparece la *Vitis vinifera silvestris*, quedando su distribución confinada a la cuenca del mar Mediterráneo y sur del mar Caspio tras las glaciaciones del Cuaternario. Las especies procedentes del sur del Mar Caspio y las del Oriente Medio, llamadas 'Proles Orientalis', avanzaron hacia las riberas del Mediterráneo en sentido este-oeste, mezclándose con las 'Proles Pónica', originarias del Mar Negro, que también se movieron en este mismo sentido, cruzándose en su migración con las especies procedentes del Occidente Mediterráneo, llamadas 'Proles Occidentalis', que avanzaban en sentido contrario. Estas especies, mezcladas entre sí, se cruzaron con las *Vitis silvestris* de Europa del norte, dando origen a las actuales variedades de uva (Hidalgo y Hidalgo, 2011).

Considerando el cultivo de la vid y la elaboración de vinos como una actividad humana intencional y planificada, las condiciones idóneas para su comienzo tuvieron lugar en el Neolítico (entre los años 8000 a.C. y 6000 a.C.), en una vasta zona comprendida entre el Mar Negro y el Mar Caspio, delimitada por los actuales países de Turquía, Siria, Irak, Irán y Rusia. Sin embargo, la primera evidencia arqueológica data de periodos posteriores, estando constituida por un conjunto de vasijas de cuello estrecho y alargado encontradas en la aldea Hajji Firuz Tepe, situada en Irán. Estas vasijas están datadas entre los años 5.400 y 5.000 a.C. y a partir de análisis químicos se pudo determinar la existencia de ácido tartárico, propio del vino, en sus paredes. Más tarde, hacia el año 2.000 a.C., durante el apogeo de Babilonia, en Mesopotamia, el cultivo de la vid se extendió hacia el norte del Valle del Tigris, actual Turquía. De la lectura del Código de Hammurabi se desprende que el vino desempeñaba un papel importante en las ceremonias religiosas y era consumido por la clase gobernante. De este modo, hasta el apogeo de los romanos, el vino era un privilegio reservado para reyes, nobles y sacerdotes, mientras que el pueblo consumía otras bebidas menos costosas (Hidalgo y Hidalgo, 2011; Lanzarini y Juan-Mangione, 2009).

En la Península Ibérica, aunque existen pruebas de la presencia de viñedos desde el tercer milenio a.C., relacionadas con restos de pepitas encontrados en diversos yacimientos arqueológicos y otros estudios polínicos realizados, fueron probablemente los comerciantes fenicios quienes, entre los siglos IX y VIII a.C., introdujeron el vino, y consecuentemente el

cultivo de la vid, con los criterios que esencialmente hoy en día continúan en vigor. Primero directamente desde los puertos fenicios de Asia y más tarde desde sus colonias avanzadas en Iberia o en el norte de África (Cartago). En un principio el vino era importado para el propio consumo de la colonia fenicia y también con destino a las clases dirigentes locales (Hidalgo y Hidalgo, 2011).

Más adelante, los romanos continuaron con la producción de vinos en la península; para ello incorporaron sus métodos particulares de elaboración. La necesidad de abastecer al vasto imperio y sus legiones contribuyó a intensificar el ya notable tráfico comercial que habían alcanzado los vinos de la península. La posterior invasión bárbara supuso un freno en el desarrollo de la viticultura, pero la llegada de los visigodos contrarrestó la acción de los bárbaros. Con los árabes en el siglo VIII también hubo dificultades para el desarrollo de la vid y la elaboración del vino debido a la prohibición coránica de consumir bebidas fermentadas y alcohólicas. Pese a ello, el cultivo de la vid continuó e incluso mejoró durante el periodo de dominación musulmana, ya que no había motivos para prohibir la propia uva como fruta y su mosto sin fermentar. Además, la permisividad de algunas dinastías más liberales hacia los cristianos, permitieron continuar con el cultivo de sus viñedos y la elaboración del vino¹.

Con relación a la vitivinicultura en La Rioja, la primera referencia documental fehaciente data del año 1063 (Hidalgo y Hidalgo, 2011), pero un hito muy significativo fue la creación en 1.787 de la Real Junta de Cosecheros, cuyo objetivo era el fomento del cultivo de la vid, contribuir a la mejora de la calidad de los vinos y facilitar la comercialización en los mercados del norte².

Con el Real Decreto del 22 de octubre de 1926 se creó el primer organismo de control de la Denominación de Origen Rioja, un Consejo Regulador al que se encomendaba la misión de delimitar la zona de producción del Rioja, controlar la expedición de las "precintas de garantía" y recomendar las medidas legales a adoptar contra los usurpadores y falsificadores de la marca Rioja. El Consejo Regulador se constituyó legalmente en 1953, y en 1970 se aprueba el Reglamento de la Denominación de Origen y de su Consejo Regulador que adquirió así su estructura y funciones².

¹Accedido en <http://www.foodswinesfromspain.com/spanishfoodwine/global/wine/EST2015500670.html?texto=History> verificado el día 05 de abril de 2017.

²Accedido en <http://es.riojawine.com/es/5-conoce-el-rioja.html> verificado el día 28 de abril de 2017.

2.1.2. Situación actual de la vitivinicultura en España y bajo la D.O.Ca. Rioja

Según los datos más recientes del análisis de coyuntura del sector vitivinícola publicados por la Organización Mundial de la Viña y el Vino (OIV), la superficie mundial de viñedo en 2015 se situó en 7,534 millones de hectáreas, con un ligero retroceso de 7.000 hectáreas respecto al año anterior (OIV, 2016). En la misma línea, en la Unión Europea (UE) la superficie de viñedo sufrió un descenso, con un total de 3,36 millones de hectáreas de viñedo cultivadas en 2015, 26.000 menos que en 2014. En 2015 la producción mundial de vino fue considerable, alcanzando 274,4 millones de hL, 5,8 millones de hL más que en 2014. Asimismo, en 2015 la producción de vino de la UE alcanzó los 165,8 millones de hL, situándose por encima de la media mundial. No en vano en 2015 se produjeron 6 millones de hL más que en 2014 en la UE. No obstante, según los últimos datos de la OIV, en 2016 la producción mundial sufrió un descenso, siendo la producción de 259 millones de hL de vino (OIV, 2016).

En lo que respecta a España, tras la fuerte caída registrada en el período 2008-2011, la superficie de viñedo parece haberse estabilizado y se sitúa alrededor de un millón de hectáreas en la actualidad. Así, en 2015, del volumen total de 104,3 millones de hL de vino comercializado en el mundo, con un valor estimado de 28.300 millones de euros, la cuota de mercado de España fue el 23%, con 24 millones de hL. Por tanto, de nuevo, España se consolidó como principal exportador de vino a nivel mundial (OIV, 2016).

Actualmente, en España el viñedo se encuentra implantado con carácter prácticamente de monocultivo en varias regiones, siendo la base del desarrollo de éstas. La situación geográfica, las diferencias climáticas y la variedad de suelos hacen de la Península Ibérica un lugar privilegiado para la producción de vinos de características muy distintas. La vid se cultiva en todas las Comunidades Autónomas en España, aunque cerca de la mitad de la extensión total se encuentra en Castilla-La Mancha (473.333 ha y el 48,9 % del viñedo plantado), que es la zona geográfica con mayor extensión del mundo dedicada a su cultivo, seguida de Extremadura (83.039 ha, 8,6 %), la Comunidad Valenciana (67.590 ha), Castilla y León (64.473 ha), Catalunya, La Rioja, Aragón, Murcia y Andalucía. A pesar de la desigual evolución en cada una de las comunidades en las que se cultiva la vid, la superficie conjunta de viñedo ha aumentado ligeramente durante el último año y la superficie total en 2016 se sitúa, según la “Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos ESYRCE” del MAGRAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2017), en 968.769 ha, frente a 967.733 ha del año anterior. Por tanto, se observa un ligero incremento de 1.036 hectáreas en la superficie de viñedo (0,11%).

No obstante, dicho ascenso se enmarca dentro de una clara tendencia descendente en la superficie de viñedo en las últimas décadas, ya que la superficie en 1980 era de 1.642.622 ha. Este descenso se debe mayormente a las ayudas procedentes de la Unión Europea para el arranque del viñedo, y así en los últimos cinco años la superficie total de viñedo se ha estabilizado por debajo del millón de hectáreas. La vitivinicultura en España ha pasado de una situación excedentaria a otra de relativo equilibrio entre producción y necesidades. Sin embargo, dentro de ese contexto general de reducción de la superficie de viñedo, comunidades como La Rioja (+66,5%) o País Vasco (+56,1%) han aumentado la superficie de viñedo, siendo ambas integrantes de la Denominación de Origen Calificada (D.O.Ca.) Rioja.

Los territorios abarcados por la citada D.O.Ca. Rioja constituyen una de las zonas vitícolas más importantes, ya que es una región de mucha tradición para el cultivo de la vid y la elaboración de vinos de calidad, lo que concuerda con las políticas de la Unión Europea de orientarse hacia las producciones de calidad. La D.O.Ca. Rioja se encuentra situada en el norte de la península ibérica, a ambos márgenes del curso alto del Río Ebro (Figura 2.1). Las 63.593 hectáreas de viñedo protegidas actualmente por la Denominación se distribuyen en tres zonas: La Rioja (43.885 ha), Álava (12.934 ha) y Navarra (6.774 ha) (Figura 2.1). La producción media de la Denominación se sitúa entre 280 y 300 millones de litros de vino, de los que el 90% corresponde a tinto y el 10% a blanco y rosado. Los rendimientos medios son moderados ($5.000 - 6.000 \text{ kg ha}^{-1}$)³.

³ Accedido en <http://es.riojawine.com/es/6-la-zona-de-produccion.html> verificado el día 28 de abril de 2017.



Figura 2.1. Mapa de la extensión que abarca la superficie bajo la Denominación de Origen Calificada Rioja y su división en las tres zonas reconocidas por la propia denominación⁴.

2.2. RIOJA ALAVESA: CLIMA Y SUELO

Las cerca de 13.000 ha de viñedo bajo la D.O.Ca. Rioja pertenecientes a la provincia de Álava se dividen en 23 municipios, que administrativamente componen la Cuadrilla de Rioja Alavesa (Figura 2.2), con unos 12.000 habitantes. En esta región se producen alrededor de 100 millones de botellas de vino al año, y existen cerca de 400 bodegas⁵.

⁴ Accedido en http://us.riojawine.com/files/pdfs/trade/maps/09rioja_regions%20map.jpg verificado el día 28 de abril de 2017

⁵ Accedido en <http://www.cuadrillariojaalavesa.com/es/component/content/article/2-uncategorised/1-cuadrilla-de-laguardia-rioja-alavesa> verificado el día 20 de abril de 2017.

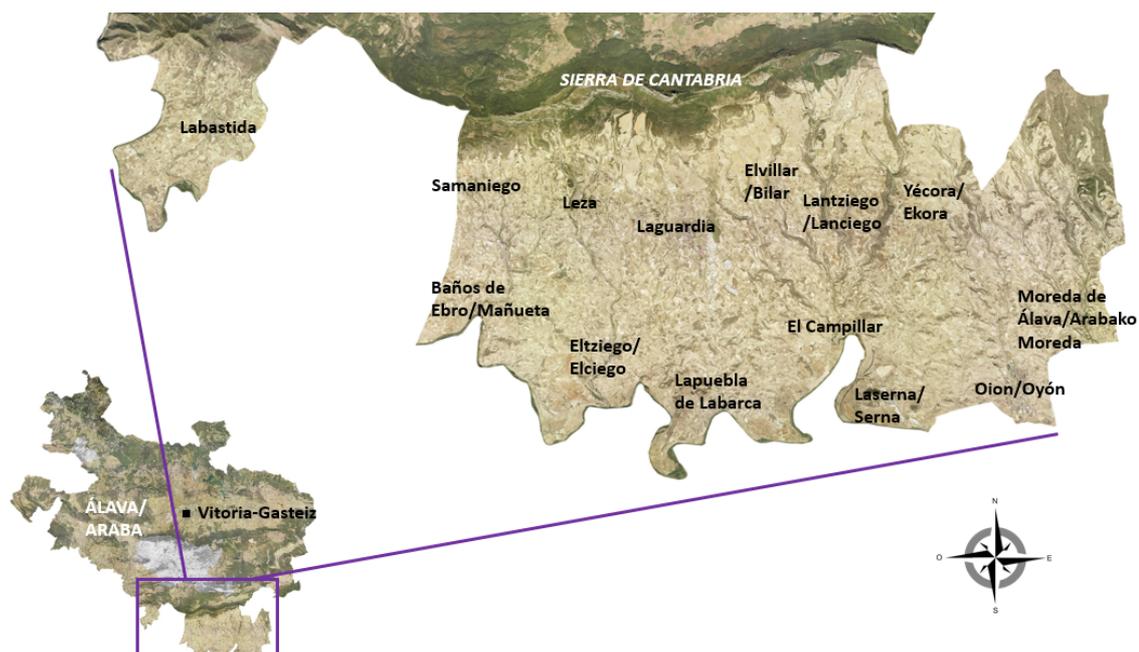


Figura 2.2. Mapa de la extensión de Álava que abarca la superficie bajo la Denominación de Origen Calificada Rioja y los municipios que engloba. Elaborado a través de la información disponible en la página web de la Cuadrilla de Rioja Alavesa⁵.

2.2.1. Clima

Entre las características climáticas de Rioja Alavesa cabe destacar que es una región donde confluyen climas tan distintos como el mediterráneo y el atlántico. Esta influencia atlántica hace que la humedad en gran parte de Rioja Alavesa sea, generalmente, más elevada que en las zonas de la D.O.Ca. Rioja situadas más al sureste. La temperatura media anual en Rioja Alavesa suele oscilar entre los 12,60 y 13,20°C, con una pluviometría anual acumulada entre 400 y 650 mm (Larreina y Larreina, 2006) (Figura 2.3). Un factor que influye sobre las características climáticas de la zona es la orografía. Así, la cadena montañosa Toloño-Sierra Cantabria, que se orienta en sentido oeste-este, otorga una protección ante la excesiva influencia del clima atlántico (más frío y más lluvioso). Es más, la ubicación de los viñedos entre la cadena montañosa y el río Ebro, propicia que la exposición de la región esté orientada al sur en su mayor parte. Esta inclinación conlleva una mayor incidencia de la luz solar, favoreciendo la maduración de la uva (González, 1993).



Figura 2.3. Mapa de precipitaciones de distintas subzonas de la D.O.Ca. Rioja⁶.

2.2.2. Suelo

Las características físicas y la composición química del suelo vitícola alavés están muy ligadas a los procesos que lo generaron, por lo que es importante destacar que el viñedo riojano-alavés se asienta fundamentalmente sobre sedimentos oligocénicos depositados sobre la fosa tectónica que constituía en la Era Terciaria ese mar interior que hoy es el Valle del Ebro. Sobre estos sedimentos terciarios constituidos por calizas, margas y areniscas se instala un conjunto de suelos, principalmente Entisoles, dominada su formación por su posición fisiográfica y por la correspondiente erosión (Tabla 2.1)(Barrios, 1995).

⁶Accedido en http://us.riojawine.com/files/pdfs/trade/maps/09rioja_rainfall%20map.jpg verificado el día 28 de abril de 2017.

Tabla 2.1. Tipología de los suelos más abundantes de Rioja Alavesa y superficie ocupada por viñedo en el año 1995.

Erosión	Geomorfología	Clasificación (Soil Taxonomy)	Definición	Superficie de viñedo (ha)
Hídrica laminar fuerte	Laderas de erosión en areniscas y margas	<i>Lithic Xeric Torriorthent</i>	Suelos muy delgados en vertientes escarpadas y erosionadas, con muy baja retención hídrica (Pendiente > 20%)	179
Hídrica laminar moderada (Cabezadas)	Laderas de erosión en margas y areniscas	<i>Xeric y Lithic Xeric Torriorthent</i> limosa fina, carbonática; limosa fina, carbonática	Suelos delgados, carbonatados y en vertientes de pendiente moderada, con baja retención hídrica por la escorrentía (Pendiente < 20%)	2822
Hídrica laminar ligera	Replanos sobre areniscas y margas	<i>Lithic Xerorthent</i> limosa fina, caliza; limosa fina, caliza	Suelos en superficies amplias culminantes casi planas, de poca profundidad útil y mayormente sobre areniscas (rotura y volteo de la arenisca)	2877
Hídrica laminar ligera, sedimentación	Laderas de acumulación en margas y areniscas	<i>Cumulic Calcixeroll</i> limosa fina, caliza; limosa fina, caliza	Suelos moderadamente profundos, carbonatados y situados en laderas de suave pendiente	1229
Hídrica laminar ligera, sedimentación	Fondos de vaguada sobre margas	<i>Typic Xerofluent</i> , limosa fina, carbonática limosa; fina, carbonática	Suelos profundos, en áreas que actúan como red de drenaje secundaria del territorio, sin curso de agua definido, necesitan drenes (buena reserva hídrica)	1061

Fuente: Modificación a partir del estudio "Los suelos de viñedo de Rioja Alavesa", elaborado por Barrios (1995).

Los suelos más predominantes de Rioja Alavesa (8.168 ha) se encuentran caracterizados en las principales unidades cartográficas que componen el mapa de suelos elaborado por Barrios (1995). A continuación, se presenta un breve resumen de sus principales características:

Las unidades cartográficas desarrolladas en **replanos y laderas de erosión suave (cabezadas)** ocupan más de la mitad de la superficie vitícola de Rioja Alavesa:

- La unidad replanos representa aquellos suelos que se encuentran en zonas culminantes, de relieve casi plano (pendiente 2-5%). Se trata de suelos de escasa profundidad, 25-50 cm, que se asientan principalmente sobre areniscas, pero también sobre margas. Debido a su escasa profundidad son suelos con una baja capacidad de retención de agua (Barrios, 1995).
- La unidad cabezadas engloba suelos que se encuentran en pendientes moderadas (inferiores al 20%). La profundidad varía aproximadamente entre 50 y 70 cm. También son suelos con un régimen hídrico deficitario debido a su posición y su poca profundidad (Barrios, 1995).

En los suelos **de laderas de acumulación y de depresión sobre margas**, la capa de suelo superficial queda enterrada debido a que sobre ella se depositan materiales procedentes de los suelos circundantes de cotas más altas. Suelen ser suelos moderadamente profundos

con un espesor de unos 100-125 cm y libres de pedregosidad. Estos suelos representan alrededor del 15% de la superficie vitícola de Rioja Alavesa:

- Los suelos de laderas de acumulación reciben aportes de tierra debidos a procesos erosivos de los replanos o de las cabezadas y su pendiente es menor del 8% (Barrios, 1995).
- Los suelos de depresión sobre margas se encuentran en áreas de ligera concavidad sobre una litología mayoritariamente margosa con algunas intercalaciones areniscosas, y se distinguen claramente al ser zonas hundidas dentro de un paisaje mayoritariamente plano, al dominar los replanos sobre esta parte del territorio. Una posible limitación de estos suelos viene derivada del hecho de que tienen escasas posibilidades de ser drenados naturalmente, lo que obliga a abrir drenes artificiales (Barrios, 1995).

Las unidades cartográficas denominadas **vaguadas sobre margas y fondos de valle** se encuentran distribuidas regularmente por todo el territorio, y constituyen el área de drenaje natural. Ambos tipos de suelo son profundos, por lo que tienen una elevada reserva hídrica, y se dividen en:

- Los suelos de vaguadas, que son muy homogéneos en profundidad porque se han formado a partir de la acumulación de materiales más finos procedentes de la erosión hídrica de los suelos de alrededor. Ocupan alrededor de un 10% de la superficie de viñedo de Rioja Alavesa (Barrios, 1995).
- Los suelos de fondo de valle, que se localizan en los estrechos fondos de valle que recorren el territorio de norte a sur para desembocar en el Ebro. Representan aproximadamente un 5% de la superficie vitícola (Barrios, 1995).

Desde un punto de vista del viñedo, entre las propiedades físicas del suelo más importantes se sitúan la profundidad y la textura, ya que la disponibilidad de agua depende estrechamente de dichas propiedades, influyendo sobre el equilibrio entre el vigor y la producción de uva (Ubalde *et al.*, 2007; Van Leeuwen y Seguin, 1994), y como consecuencia también sobre la calidad del vino. Martínez-Casasnovas *et al.* (2005) también observaron que en aquellos lugares con suelos más profundos la disponibilidad de agua suele ser mayor, dando como resultado cepas más vigorosas y más productivas. Además de la profundidad, la macroporosidad es otro de los factores clave del suelo, ya que favorece la infiltración de agua en el mismo. De hecho, en un ensayo en viñedo se encontró que la disponibilidad de agua en

el suelo puede llegar a explicar hasta el 32% de la variación en la producción (Wheaton *et al.*, 2008).

Otra de las propiedades del suelo de especial relevancia es el contenido de materia orgánica, que afecta también a la estructura y porosidad del suelo, y tiene un papel relevante sobre la absorción de N por parte de la planta, que depende en gran medida del contenido de MO y su mineralización, dado que se aporta poco N en muchas regiones donde se producen vinos de calidad. Una idea generalizada en viticultura es que en un viñedo de calidad no es admisible ninguna práctica cultural que implique un incremento del vigor vegetativo y de la producción, por lo que se debe controlar el contenido de N del suelo.

Además del N, hay otros nutrientes que la planta toma del suelo, y que deben estar en las cantidades adecuadas. En general, la carencia de P no es muy frecuente en el viñedo (Christensen *et al.*, 1978; Lalatta, 1992) debido a que la extracción por parte de la planta es muy baja. No obstante, cuando ocurre las consecuencias se hacen evidentes ya que se produce una reducción del desarrollo vegetativo y de la fructificación, pudiendo disminuir el cuajado del fruto, puesto que el P ejerce funciones tan importantes como la regulación del metabolismo de los hidratos de carbono y el recambio energético (Christensen *et al.*, 1978). En el caso del K, la extracción por parte de la planta, unos 50 kg K ha⁻¹ año⁻¹ (Delas, 2000), es muy superior a la extracción del P. Entre otras funciones, el K interviene en los principales mecanismos fisiológicos, en la fotosíntesis, en la respiración y en la transpiración, con un importante papel en el metabolismo celular y en la elaboración de los azúcares (Hidalgo, 2006; Mpelasoka *et al.*, 2003). Su carencia provoca un descenso de la concentración de azúcar en la baya, menor desarrollo vegetativo y mayor sensibilidad al estrés hídrico (Champagnol, 1988). Por otro lado, hay una relación directa entre la aplicación de K en el suelo y la reducción de acidez en el mosto (Delgado *et al.*, 2004). Durante el proceso de vinificación, contenidos altos de K en mosto aumentan la precipitación del ácido tartárico a bitartrato potásico, disminuyendo considerablemente la acidez total, ya que el ácido tartárico es, entre los ácidos orgánicos, el que más influencia tiene sobre este parámetro. Para finalizar, el Mg, como constituyente de la clorofila, es esencial en la fotosíntesis, y es en suelos arenosos, con baja capacidad de intercambio catiónico, donde aparecen las carencias de Mg con más facilidad (Delas, 2000), lo que provoca una reducción en la concentración de azúcares en la baya.

2.3. AGRICULTURA, VITICULTURA Y EROSION DEL SUELO

2.3.1. Factores que influyen sobre la erosión del suelo

Una de las principales causas de la degradación de los suelos es la erosión hídrica (FAO, 2000), con efectos negativos en la parcela y también a mayor escala (Ramos y Martínez-Casasnovas, 2004; Verstraeten *et al.*, 2003). En Europa, se estima que el 12% de la superficie continental es susceptible a la erosión hídrica (Prosdocimi *et al.*, 2016), habiéndose definido un límite superior aceptable de pérdida de suelo de $1,4 \text{ Mg ha}^{-1}$, si bien en suelos agrícolas este límite se supera en muchos casos, con tasas de erosión entre 3 y 40 veces mayores (Verheijen *et al.*, 2009). Montgomery (2007) estableció que para tierras cultivadas las tasas de erosión no deben superar 1-2 veces la tasa de generación de suelo bajo vegetación nativa y erosión geológica a largo plazo, lo que mostraría las dificultades a las que se enfrenta la agricultura basada en el laboreo convencional (Montgomery, 2007). En resumen, la erosión del suelo afecta a muchas zonas agrícolas, generando pérdidas de fertilidad, calidad y productividad a largo plazo (Ramos y Martínez-Casasnovas, 2006), y contribuye significativamente a la contaminación difusa de las aguas superficiales (Fisher *et al.*, 2000; Verstraeten *et al.*, 2003) (Figura 2.4).

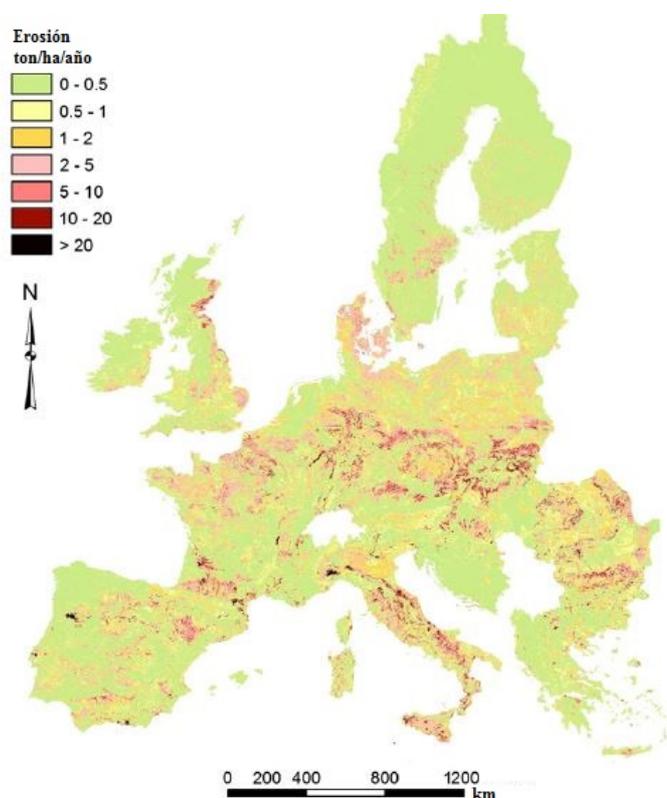


Figura 2.4. Erosión laminar y en cárcavas estimada en Europa a través de la base de datos CORINE. Fuente: Cerdán *et al.* (2010).

Entre los factores que pueden influir sobre la erosión, se distinguen los naturales y los antropogénicos (Prosdocimi *et al.*, 2016). Entre los primeros están la topografía (Cerdán *et al.*, 2010) y la textura del suelo, que en caso de ser fina hace que los agregados colapsen fácilmente con las gotas de lluvia generando costra superficial (Prosdocimi *et al.*, 2016; Robinson y Phillips, 2001). La erosión se ve agravada en regiones sub-húmedas o semiáridas cuando se pierde la estructura del suelo debido al escaso contenido de materia orgánica del mismo (Hermle *et al.*, 2008). En consecuencia, el incremento de materia orgánica en el suelo tiene numerosas ventajas en aspectos físicos y biológicos que son importantes para la calidad del suelo, como una mejor estructura (Blavet *et al.*, 2009), una mejor infiltración del agua (Aljibury y Christensen, 1972) y otros beneficios a mayor escala, como puede ser la mejora de la calidad de aguas superficiales. Otro factor importante en relación a la erosión son las precipitaciones, tanto en cantidad como en intensidad, y que en condiciones mediterráneas suelen concentrarse en primavera y otoño favoreciendo la erosión (Borga *et al.*, 2011). Por último, la cobertura vegetal es otro de los factores clave en cuanto a la erosión (López-Bermúdez *et al.*, 1998).

Los viñedos son uno de los cultivos más susceptibles a la erosión en la región mediterránea (Cerdán *et al.*, 2010), pero se debe tener en cuenta que son uno de los cultivos más importantes en términos económicos y de empleo (Cerdán *et al.*, 2010; García-Ruiz *et al.*, 2010; Raclot *et al.*, 2009; Ramos y Martínez-Casasnovas, 2006). Los viñedos de las zonas sub-húmedas o semiáridas se manejan normalmente manteniendo el suelo desnudo a través de un laboreo convencional (Ruiz-Colmenero *et al.*, 2011) o mediante la aplicación de herbicidas (Raclot *et al.*, 2009). Esta ausencia de cobertura vegetal supone, en particular en los suelos en pendiente, un fuerte riesgo en relación a la erosión (López-Bermúdez *et al.*, 1998), ya que las plantas de vid aportan poca protección frente a ésta. Cuando son cultivos antiguos, la cobertura de las cepas puede variar entre un 5% y un 70 % de la superficie cultivada, en cambio, cuando las cepas son jóvenes la cobertura suele ser de alrededor del 10% (García-Ruiz *et al.*, 2010). Junto con lo expuesto hasta ahora, varios autores subrayan los efectos de la intensificación de la viticultura moderna sobre la erosión del suelo (Cots-Folch *et al.*, 2009; Ramos y Martínez-Casasnovas, 2007), ya que para facilitar la mecanización del cultivo se establecen viñedos en parcelas cada vez mayores más amplias y con mayores pendientes. De este modo, los nivelados del suelo e hileras de vid situadas a favor de las pendientes han sustituido los sistemas tradicionales de laboreo (Ramos y Porta, 1997) así como las terrazas perpendiculares a la pendiente (Martínez-Casasnovas y Sánchez-Bosch, 2000; Tarolli, 2014). En relación a este tipo de modificaciones, Ramos y Martínez-Casasnovas (2007) comprobaron que

las parcelas con gran alteración del perfil de suelo tienen una mayor tendencia a sellarse y a la escorrentía superficial (Figura 2.5).



Figura 2.5. Detalle de suelo con costra superficial en la parcela de estudio tras una tormenta en octubre de 2011.

Son numerosos los trabajos que se han llevado a cabo para analizar el efecto de las distintas técnicas de mantenimiento del suelo (Biddoccu *et al.*, 2017; Blavet *et al.*, 2009; Martínez-Casasnovas y Sánchez-Bosch, 2000; Prosdocimi *et al.*, 2016; Raclot *et al.*, 2009). Según estos trabajos, en zonas tradicionalmente vitícolas donde los viñedos se encuentran en pendientes y son manejados con técnicas de mantenimiento de suelo convencionales, se registran grandes tasas de erosión. En este contexto, la adopción de técnicas de manejo alternativas, como pueden ser las cubiertas vegetales, reduciría significativamente la escorrentía superficial y, consecuentemente, la erosión (Biddoccu *et al.*, 2017; Blavet *et al.*, 2009; Napoli y Orlandini, 2015; Novara *et al.*, 2011).

2.3.2. Técnicas de mantenimiento del suelo: las cubiertas vegetales

El mantenimiento del suelo aúna técnicas que tienen como finalidad la creación y mantenimiento de un medio favorable para el crecimiento y actividad radicular a corto y a largo plazo, así como facilitar las otras operaciones de cultivo (McCarthy *et al.*, 1992). Más específicamente, también se pueden describir objetivos como: mantener un adecuado equilibrio físico, químico y biológico del suelo; incrementar su contenido en materia orgánica; evitar la erosión; facilitar la aplicación de enmiendas y fertilizantes; permitir el acceso a la plantación en períodos húmedos; disminuir el riesgo de heladas; controlar la vegetación

espontánea para eliminar o limitar la competencia de las malas hierbas. Para la consecución de estos objetivos se hace necesaria la combinación de varias técnicas.

Los principales objetivos del manejo del suelo en el viñedo suelen ser su conservación, la regulación de la disponibilidad de nutrientes y agua, el aumento de la biodiversidad para la regulación de plagas, creación de nichos para organismos beneficiosos, controlar el excesivo desarrollo vegetativo y así disminuir los recursos extra para el control del vigor de la vid, y mejorar las características químicas y organolépticas del mosto y del vino (Bruggisser *et al.*, 2010; Celette *et al.*, 2009; Nazralla, 2008; Ripoche *et al.*, 2011; Steenwerth y Belina, 2008; Wheeler *et al.*, 2005). La selección de este manejo deberá tener en cuenta la edad y la configuración de la plantación, el tipo de suelo, y las condiciones climáticas y fisiográficas (Sweet y Schreiner, 2010).

La principal clasificación que se puede establecer en cuanto a las técnicas de manejo del suelo son las técnicas que mantienen el suelo desnudo y las técnicas que mantienen una cobertura vegetal.

a) El mantenimiento del **suelo desnudo** se realiza principalmente mediante tres técnicas enfocadas a mantener la superficie del suelo libre de vegetación adventicia:

→ **Laboreo**: La vegetación se destruye de forma mecánica removiendo el suelo y cortando, troceando o enterrando la vegetación existente. Como ventajas están el que no requiere grandes conocimientos para su aplicación, elimina la competencia de la vegetación, no precisa aplicar herbicidas y facilita aplicar enmiendas y abonos. Su uso favorece la erosión, compactación y el sellado a través de la formación de la costra en la superficie del suelo. Además, limita la exploración de los horizontes más superficiales por las raíces de la vid.

→ **Aplicación de herbicidas**: Aplicando productos químicos se elimina o limita el desarrollo de la vegetación espontánea. Requiere un mayor conocimiento de la materia activa aplicada, de su modo de aplicación y de las especies que se desean tratar. Dificulta la incorporación de abonos y enmiendas y favorece el sellado superficial mediante costra sobre todo en suelos arcillosos. No obstante, también presenta ciertas ventajas sobre el laboreo, como la reducción del riesgo de heladas, y los efectos de la aplicación son más duraderos. Además, la aplicación en zonas de difícil acceso, como la línea de plantación, es más sencilla.

→ **Mulching (Acolchado)**: Se impide el desarrollo de la vegetación con una barrera física compuesta por material inerte, pudiendo ser plástico, residuo vegetal de la

propia vegetación de la parcela, residuo vegetal incorporado, etc. Se disminuye la transpiración directa desde el suelo y se mejoran las características del mismo, sobre todo con residuos orgánicos, permitiendo la proliferación superficial de las raíces. Su manejo es más complejo, requiere de conocimientos específicos, y el coste también suele ser mayor. Así, la complejidad de su manejo y su elevado coste limitan la aplicación en grandes superficies.

- b) En el caso del suelo con cobertura vegetal la superficie de la plantación se mantiene con algún tipo de vegetación. Según el tiempo que permanezca o la superficie que abarque se clasifican en:

→ **Cubiertas permanentes (Perenne):** Permanecen activas durante todo el año, su control y el de la competencia que ejercen se hace mediante siegas o delimitando la superficie cubierta. Son más habituales en climas húmedos y tienen como principal objetivo reducir el vigor y mejorar el microclima y la calidad de la cosecha. También se les pueden atribuir otros beneficios como la protección ante procesos erosivos y la mejora en el acceso a la parcela. Se pueden componer de distintos tipos de plantas, como leguminosas perennes (*Lotus corniculatus* L., *Trifolium fragiferum* L., *Trifolium repens* L.), gramíneas perennes (*Bromus carinatus* Hooker & Arnot, *Dactylis glomerata* L., *Elymus glaucus* Buckley., *Festuca arundinacea* Schreber, *Festuca idahoensis* Elmer., *Festuca ovina*, *Festuca rubra* L., *Hordeum brachyantherum* Nevski., *Lolium perenne* L., *Poa secunda* J. Presl.) (Figura 2.6).



Figura 2.6. Vegetación espontánea en la parcela de estudio un año después de la finalización del ensayo.

→ **Cubiertas temporales:** Permanecen activas durante un período limitado de tiempo. Son más habituales en climas más cálidos y secos con el fin de reducir la erosión, aumentar la capacidad portante del suelo o mejorar su infiltración y fertilidad. Normalmente esta vegetación se suele encontrar activa cuando la vid se encuentra inactiva, y habitualmente se eliminan cuando comienzan a competir. Estas cubiertas se pueden clasificar según la especie predominante que las componga, el manejo de la propia cubierta o el tiempo durante el cual permanecen sobre el terreno (Ingels *et al.*, 1998):

Cubiertas de invierno anuales en viñedos labrados: El fin principal es la mejora de la fertilidad del suelo mediante el aporte de materia orgánica, la reducción de la erosión o la limitación del vigor si se les permite competir con la viña (Ingels, 1998). Normalmente están compuestas por especies que generan gran cantidad de biomasa y se laborean en primavera para retirarlas. Se suelen componer de gramíneas (*Avena sativa* L., *Hordeum vulgare* L., *Secale cereale* L., *Triticum aestivum* L., *Triticale* Wittmark (*Triticum* sp. X *Secale* sp.), *Lolium multiflorum*

Lam.), leguminosas (*Pisum sativum* L., *Trifolium alexandrinum* L., *Vicia faba* L., *Vicia sativa* L., *Vicia villosa* Roth., *Vicia ervilia* L., *Vicia benghalensis* L.), crucíferas (*Brassica nigra* (L) Koch, *Raphanus sativus* L., *Brassica rapa* L.)(Figura 2.7).



Figura 2.7. Cubierta vegetal de cebada de invierno (*Hordeum vulgare* L.) en la parcela de estudio en el primer año de estudio.

Cubiertas de invierno anuales en viñedos no labrados: Tienen como fin proteger el suelo del viñedo durante la totalidad del año, pero minimizando la competencia con la vid. Para ello, se seleccionan especies que vegetan durante otoño-invierno, agostando o produciendo semillas durante la brotación de la vid, permitiendo así su establecimiento sin necesidad de resiembras en años sucesivos (Ingels, 1998). Suelen estar compuestas por gramíneas (*Bromus hordeaceus* L., *Hordeum murinum* L., *Bromus tectorum* L., *Vulpia myurus* (L) C.C. Gmelin, *Festuca loguifolia* auct., non Thuill.), leguminosas (*Trifolium subterraneum* L., *Trifolium incarnatum* L., *Trifolium hirtum* All.), o bien pueden ser cubiertas naturales controladas. Estas últimas se seleccionan mediante siegas o herbicidas selectivos, y la competencia también se controla con siegas y herbicidas no residuales.

- **Cubiertas de verano en viñedos labrados:** Ejercen una competencia intensa sobre la vid y son raramente utilizadas. Los objetivos varían dependiendo de la especie. Se utilizan cuando se pretende generar una gran cantidad de biomasa en condiciones de alta fertilidad. Las especies

más utilizadas son *Fagopyrum esculentum* Moench., *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf., *Vigna unguiculata* (L.) Walp (Ingels, 1998).

Las cubiertas vegetales tanto si son temporales como si son permanentes se pueden también clasificar **según la superficie que ocupan** en la parcela:

- **Las cubiertas totales**, cubren la totalidad de la superficie del viñedo. Pueden reducir el vigor intensamente, por lo que sólo son recomendables en climas muy húmedos y suelos muy fértiles. El manejo de este tipo de cobertura en el hilo de la vid suele ser complicado, por lo que la hilera se suele mantener con suelo desnudo.
- **Las cubiertas parciales**, cubren sólo parte de la superficie del terreno. De este modo se puede adecuar la competencia a la disponibilidad del medio. En general, se implanta la cubierta en la calle entre hileras, ajustándose el ancho de la cobertura, o también estableciéndose la cubierta en calles alternas. De este modo, se evita el exceso de competencia entre la cubierta utilizada y el cultivo.

Como se ha indicado, las cubiertas vegetales pueden ser temporales o perennes, y suelen estar compuestas por una o más especies herbáceas (Steenwerth y Guerra, 2012). Un tipo de cubierta vegetal común es la de plantas herbáceas espontáneas, que suelen incluir especies de varias familias, como Brasicáceas o Asteráceas (McGourty y Reganold, 2005). Por ejemplo, en California se utilizan habitualmente más de 50 especies para las cubiertas vegetales (Ingels, 1998), y las especies utilizadas se han comparado en numerosos trabajos (Bugg *et al.*, 1996; McGourty, 2008). La veza (*Vicia sativa* L.), el raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lamarck), la avena (*Avena sativa* L.) y distintos tréboles se caracterizan por la mayor cobertura de suelo, mientras otras especies han sido propuestas como regenerativas: las barbas de macho (*Bromus hordeaceus* L.), la barba Californiana (*Bromus carinatus* Hooker & Arnott), la avena (*A. fatua*), el centeno (*Secale cereale*) y distintos tréboles (*Trifolium spp.*).

Las cubiertas vegetales también pueden caracterizarse por otras propiedades. Así, las especies herbáceas tienen raíces fibrosas que penetran en el suelo con efectividad y forman agregados (Colugnati *et al.*, 2004). Su alta proporción C/N se asocia a menores tasas de descomposición en comparación con las leguminosas (Olmstead, 2006). Las especies herbáceas generan gran cantidad de biomasa aumentando la cantidad de materia orgánica en el suelo del viñedo, estabilizando su estructura y reduciendo la compactación (Colugnati *et al.*, 2004; Olmstead, 2006). Por otra parte, las leguminosas tienen menores ratios C/N y se descomponen con mayor rapidez, proveyendo las necesidades de N para los microorganismos del suelo, que así no compiten con la vid (Fourie *et al.*, 2006). Los ratios C/N, relacionados con

la tasa de descomposición, son variables dependiendo de la especie, ya que la cantidad de N atmosférico fijado por las leguminosas también varía.

Históricamente, en zonas donde las condiciones eran adecuadas, era frecuente la utilización de cubiertas permanentes asociadas a cultivos leñosos (Ingels, 1998). Las cubiertas se empleaban como pastos dentro de estos cultivos, realizándose un uso combinado del terreno como ganadero y frutícola. A principios del siglo XX las cubiertas vegetales se implantaron en viñedo para reducir la erosión, aumentar la fertilidad y mejorar la infiltración del suelo (Ingels, 1998). De cualquier manera, en zonas secas las técnicas de manejo del suelo se han basado en la aplicación de labores manuales o con tracción animal, pretendiendo eliminar la competencia ejercida por la vegetación espontánea del viñedo. Después de la II Guerra Mundial la irrupción de fertilizantes de síntesis, el uso de la maquinaria pesada y de herbicidas limitó el uso de cubiertas vegetales.

No obstante, en las últimas décadas el interés hacia el uso de cubiertas vegetales está creciendo de nuevo debido al también creciente interés en la agricultura sostenible y a la utilización de nuevos métodos de riego, nuevas especies de enyerbados o nuevos aperos para el manejo de las cubiertas vegetales (Hanson, 2006). Se debe tener en cuenta que las cubiertas vegetales, además de proteger la superficie del suelo del impacto de las gotas de lluvia, limitan el sellado superficial en zonas de pendiente a través de la retención de materia orgánica en superficie (Aljibury y Christensen, 1972). Las cubiertas vegetales contribuyen al aumento de materia orgánica en el suelo, ya que hasta el 50% de la biomasa de las raíces de la vegetación herbácea se retiene en el suelo como materia orgánica (Biddoccu *et al.*, 2017).

En particular, durante la última década, el manejo mediante cubiertas vegetales se ha extendido indicándose numerosos beneficios como son: la protección frente a la erosión, regulación del crecimiento de la vid, aumento en la fertilidad del suelo, mejora de la estructura del suelo, aumento de la capacidad de retención de agua, aumento de la biodiversidad, control de plagas, hábitat para predadores beneficiosos y la mejora del acceso para operaciones agrícolas (Fourie, 2010; Morlat y Jacquet, 2003). Las potenciales desventajas que este tipo de manejo puede presentar son la competencia excesiva por agua y nutrientes, costes de implantación, dificultad para el mantenimiento, incremento del riesgo de heladas primaverales y daños a las vides ocasionados por el aumento de la población de roedores (Celette *et al.*, 2009; Ingels *et al.*, 2005; McGourty, 2004). No obstante, de manera general, las cubiertas vegetales en viticultura son consideradas como un elemento de calidad, con más ventajas que desventajas (Salazar y Melgarejo, 2005). Así, se ha propuesto que la coexistencia de ambos cultivos exige manejos, riegos y fertilizaciones que respondan a las necesidades de los dos

(Colugnati *et al.*, 2004). Estos autores indican que la mayoría de las cubiertas permanentes suelen ser apropiadas para suelos con gran capacidad de almacenamiento de agua y elevada fertilidad, y también para aquellas zonas con elevada disponibilidad hídrica (precipitaciones superiores a 500 mm año⁻¹), ya que pueden competir por el agua con las vides (Colugnati *et al.*, 2004).

Desde el punto de vista económico Bourde *et al.* (1999) analizaron las operaciones de cultivo de las cubiertas vegetales y concluyeron que el manejo con cubiertas permite un comportamiento vitícola similar al del manejo convencional, pero con un coste más reducido (50-60% menor). Además de acentuar la calidad de la uva y el vino, y una posible disminución de la producción, mediante las cubiertas se puede conseguir un ahorro del 80% en el caso de un solo tratamiento con herbicida. Del mismo modo, Medrano *et al.* (2014) analizaron los costes y beneficios que pueden suponer diferentes cubiertas vegetales en distintas situaciones climáticas, recomendando en cada caso distintos tipos de cubierta, tal y como se resume en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Comparación coste-beneficio de cubiertas vegetales bajo distintos climas sin estrés hídrico en relación a climas con una sequía estival típica

	Beneficios	Costes	Cubierta vegetal recomendada
Climas sin limitación de lluvia	Protege el suelo contra la erosión y la formación de costra.	Coste de establecimiento y de mantenimiento regular. El manejo del riego, fertilización y otras prácticas deben satisfacer las necesidades de ambos cultivos: vid y cubierta vegetal.	Cubiertas vegetales permanentes o perennes y/o vegetación espontánea herbácea cubriendo todo el viñedo durante el ciclo vegetativo de la vid. En suelos profundos con una capacidad prevista de agua disponible adecuada, la cubierta vegetal adecuada incluye especies herbáceas de rápido crecimiento.
	Mejora la fertilidad del suelo y la estructura aumentando la capacidad de retención de agua del suelo.		
	Regula el crecimiento de la cepa (vigor) y la producción reduciendo la disponibilidad de agua para la uva.		
Climas con lluvia limitada	Mejora la fertilidad del suelo y la actividad biológica (micorrizas) implicada en la absorción de agua y nutrientes.	Coste de establecimiento y de mantenimiento regular. Competición por el agua y los nutrientes con la viña. No recomendada en el establecimiento del viñedo.	Cubiertas vegetales no permanentes o anuales sin crecimiento durante el verano. Cubierta vegetal parcial (alternando calles con y sin cubierta vegetal). En suelos someros que reciben lluvias limitadas y para viñedos en ladera, la mezcla que se recomienda incluye diversas festucas (<i>Festuca</i> spp.). En áreas semiáridas una mezcla de hierbas y leguminosas.
	Mejora la capacidad de retención de agua del suelo disminuyendo la resistencia mecánica del suelo y aumentando la infiltración del agua.		
	Disminuye la evaporación directa del suelo durante el verano.		
	En suelos profundos, aumenta el crecimiento de las raíces de la cepa y limita la competición directa por los recursos de agua.		
	Un ajuste temprano de la superficie del área foliar reduce necesidades de agua posteriores.		

Fuente: Medrano *et al.* (2014)

2.3.3. El manejo del suelo en viñedo mediante cubiertas vegetales

El uso de cubiertas vegetales no es una práctica extendida entre los viticultores ya que compiten con la vid por el agua afectando a la respuesta agronómica de las cepas (Ruiz-Colmenero *et al.*, 2011). El punto de vista de los agricultores en referencia a la degradación y la conservación de suelos ha sido poco investigado (Kelly *et al.*, 2009). En España, en concreto, se ha prestado poca atención al análisis de las concepciones que los agricultores poseen sobre el medio ambiente (Calatrava *et al.*, 2011; Oñate y Peco, 2005), y esto es clave, ya que el conocimiento y la actitud de los agricultores es fundamental para lograr una mejor adaptación y puesta en marcha de las políticas orientadas a la conservación de los suelos agrícolas. En relación a la actitud de los agricultores hacia el manejo sostenible del suelo, Marqués *et al.* (2015) realizaron un trabajo en el centro de España para evaluar la disposición y el conocimiento de viticultores en relación a la degradación del suelo y el manejo mediante cubiertas vegetales, y concluyeron que únicamente el 32% de los agricultores encuestados se plantearía el empleo de cubiertas vegetales, aunque muchos adoptarían la técnica si observasen cambios positivos en la calidad de la uva. Además, se vio que muchos agricultores, que poseían viñedos situados en pendientes, desconocían su inclinación y en muchos casos no estaban preocupados por la susceptibilidad a la erosión de estas zonas. También se concluyó que además de los incentivos económicos que se pueden dar para adoptar prácticas agrícolas más sostenibles, la transferencia de conocimiento es un factor clave para lograr una mejor aceptación de estas técnicas.

2.3.4. Manejo de las cubiertas vegetales

El mantenimiento del suelo mediante cubiertas vegetales se diferencia de otros sistemas como el laboreo convencional en una serie de labores o trabajos. Por ejemplo, se deberá eliminar la vegetación existente y preparar el terreno si se pretende sembrar una cubierta en aras de garantizar las condiciones óptimas para la germinación de la especie empleada. La naturaleza y dimensiones de la maquinaria utilizada se deberán ajustar al tamaño de las semillas utilizadas y a la anchura de trabajo. Para un mejor éxito en la germinación de la semilla convendrá realizar una labor de pase de rulo (Figura 2.8).



Figura 2.8. Dos tipos de manejo de suelo en Consell (Mallorca), una cubierta vegetal espontánea y un suelo labrado. Fuente: Medrano *et al.* (2015).

Una cubierta permanente se puede implantar en el viñedo con siegas continuas cuando aparecen especies no deseadas, permitiendo a las especies seleccionadas su dominancia (Lipecki y Berbeć, 1997). Otra alternativa es utilizar una especie perenne o una especie anual que se resiembra de manera natural. Las cubiertas de especies anuales se utilizan a menudo como temporales, ya que la resiembra en ocasiones suele ser ineficaz, aunque las especies con capacidad de resiembra pueden persistir durante años si se obtienen una adecuada cobertura y un buen banco de semillas (McGourty, 2008). Durante la implantación de la cubierta, la siega durante la floración de las leguminosas y de las herbáceas más precoces, suele acelerar la rápida cobertura del suelo (Colugnati *et al.*, 2004). Las cubiertas permanentes compuestas por especies no leguminosas suelen necesitar en ocasiones abono nitrogenado para su correcto establecimiento, y después pueden llegar a competir con las vides por este nutriente (Colugnati *et al.*, 2004). El aporte de compost al viñedo normalmente proporciona suficiente nitrógeno, fósforo y potasio para cubrir las necesidades de las cubiertas (McGourty, 2004).

En distintas fases del crecimiento de la vid es interesante controlar el crecimiento de la cubierta utilizada, para contener el riesgo de proliferación de afecciones a la vid. También para la prevención de las heladas primaverales es importante mantener la cubierta vegetal lo más corta posible. En general, la siega de leguminosas se considera adecuada en floración y la de las gramíneas al inicio del espigado. La siega inadecuada acarrea un empobrecimiento en las reservas de la planta, comprometiendo el siguiente ciclo vegetativo. Por ello se ha de establecer una sincronía entre las fases fenológicas del cultivo y la cubierta utilizada. La regla más eficaz para la consecución de la mencionada sincronía, es escoger ‘el momento justo’ para

la siega (Ibáñez, 2013). Así, la frecuencia de siega varía en función de las condiciones del sitio, las especies seleccionadas y el objetivo perseguido. Monteiro y Lopes (2007), en cubierta espontánea y cubierta mezcla de gramíneas con leguminosas, plantearon dos siegas, una en brotación y otra en floración. Gago *et al.* (2007) ven necesarias 4-6 siegas para controlar una cubierta de trébol blanco. King y Berry (2005) optan por cinco siegas para especies perennes espontáneas y para *Trifolium fragiferum* L. Celette *et al.* (2005) realizan tres siegas con *Festuca arundinacea* L. en el sur de Francia. Finalmente, Gay *et al.* (2004) proponen 2-5 siegas para el control de una cubierta espontánea.

La cubierta también deberá retirarse en el caso de que sea temporal, por lo tanto, se debe segar, para eliminar la cubierta al final del ciclo de la vid, en ocasiones para evitar un exceso de competencia ejercida por la cubierta entre primavera y verano.

La tasa de descomposición de la cubierta vegetal puede utilizarse como herramienta para su siega de forma que se asegura que la reincorporación del nitrógeno coincide con el estado fenológico de mayor demanda de este nutriente por la vid (Olmstead, 2006). No obstante, en pocos trabajos se ha documentado la velocidad de descomposición de las distintas cubiertas relacionándolo con el consumo de nitrógeno por las cepas. Con este fin, en un trabajo llevado a cabo por King y Berry (2005) se utilizaron isótopos estables de ^{15}N para observar la interacción entre la fase durmiente de la cubierta y la vid. La cubierta se labró y se enterró a 15 cm de profundidad, y al cabo de seis semanas el isótopo se encontró en el tejido de la vid. Sin embargo, adecuar la liberación de nitrógeno de la cubierta con las necesidades del viñedo es difícil ya que su recuperación es variable (King y Berry, 2005). En este sentido, Celette *et al.* (2009) subrayan la necesidad de determinar las relaciones entre el consumo de nitrógeno y el consumo de agua por los dos cultivos para poder hacer una adecuada gestión de las cubiertas.

2.3.5. Relaciones hídricas entre las cubiertas vegetales y la vid

Un factor clave para el manejo de las cubiertas vegetales es el control del estrés hídrico generado por la cubierta y el correspondiente nivel de estrés con el que se desea manejar el viñedo. En parcelas de vid en Geisenberg (Alemania) las tasas de evapotranspiración por la cubierta oscilan entre 0,71 L m⁻² para *Festuca rubra*, y 2,84 L m⁻² para *Medicago lupulina* (Lopes *et al.*, 2004). En condiciones mediterráneas en Andalucía, una cubierta de gramíneas sin segar puede evapotranspirar entre 3-5 L m⁻², si bien este dato procede de una cubierta en un olivar a falta de datos en viñedo (Márquez *et al.*, 2006).

Las necesidades hídricas de la vid pueden verse incrementadas debido a la competencia de las cubiertas. En la literatura hay diversos estudios señalando que las cubiertas interfieren en el uso de agua de la vid reduciendo los recursos hídricos disponibles para las cepas y aumentando su estrés (sobre todo en primavera) (Gulick, 1994; Monteiro y Lopes, 2007; Pou *et al.*, 2011). Así, en un estudio se ha estimado un aporte adicional necesario de agua del 30-60% (Lissarrague, 2005), y en otros estudios (Centinari *et al.*, 2012) se estima que para el cálculo del aporte de agua al viñedo ha de considerarse que una cubierta de *Festuca arundinacea* genera un 27-30% de la evapotranspiración del viñedo. En Alemania las cubiertas vegetales y las especies nativas transpiraban más que las cepas de 'Riesling' de un año (Lopes *et al.*, 2004). No obstante, dependiendo de la especie empleada, la transpiración también suele variar de manera notable (Steenwerth y Guerra, 2012). De cualquier modo, el volumen de riego dependerá de la especie seleccionada para la cubierta, de su estado fenológico y vegetativo, y de la estrategia de riego que se desarrolle. Se debe tener en cuenta también, que en otros estudios se ha mostrado que el manejo mediante cubiertas vegetales no siempre conduce a un mayor estrés en las cepas (Celette *et al.*, 2008; Ripoche *et al.*, 2011). En la Tabla 2.3 se pueden observar los cambios en la disponibilidad de agua en suelo según el tipo y manejo del suelo, y el tipo de cubierta utilizada.

Tabla 2.3 Cambios en la disponibilidad de agua del suelo para diferentes cultivares en respuesta a las prácticas de manejo del suelo, según la ubicación, el tipo de suelo, variedad, y tipo de mulch o cubierta vegetal.

Referencia	Ubicación	Tipo de suelo	Cultivar	Manejo del suelo	Cambios en el porcentaje de disponibilidad de agua
Punamonti 1998	Valle Adige, Italia	Udorthent, arenoso medio	Merlot	Mulch de compost	Incremento del 2% de humedad del suelo
Agnew <i>et al.</i> 2002	Marlborough, Nueva Zelanda	Arcillo limoso	Sauvignon blanc	Mulch de compost	Incremento del 5% de humedad del suelo
Némethy 2004	Szigetsép, Hungría	Arenoso	No descrita	Mulch de paja	Incremento del 3,4% de humedad del suelo
Nguyen <i>et al.</i> 2013	Marlborough, Nueva Zelanda	Arcillo limoso	Merlot	Mulch de compost	Sin incremento de humedad del suelo
Wheeler <i>et al.</i> 2015	Hawke's Bay	Franco arcillo arenoso	Cabernet Sauvignon	Cultivo cobertera sembrado permanente	Incremento del 7% de humedad del suelo
Gulick <i>et al.</i> 1994	Parlier, California	Franco arenoso fino	Thompson seedless	Cultivo cobertera perenne	Incremento del 46% de humedad del suelo
Gulick <i>et al.</i> 1994	Parlier, California	Franco arenoso fino	Thompson seedless	Cultivo cobertera de invierno	Incremento del 19% de humedad del suelo

Fuente: Medrano *et al.* (2015)

Se ha estudiado la adaptabilidad de las cubiertas a distintos tipos de suelo y topografías (Steenwerth y Guerra, 2012). Por ejemplo, en suelos profundos con una adecuada disponibilidad hídrica se suelen recomendar especies con mayor capacidad de competencia,

mientras en suelos menos profundos con menor disponibilidad de agua se recomiendan mezclas de festucas (*Festuca* spp.). Lo que habitualmente se observa es que las cubiertas vegetales interactúan con las cepas a través de mejoras en las propiedades del suelo, incluyendo cambios espaciales y temporales en el perfil de agua en el suelo (Celette *et al.*, 2008). En función de los recursos hídricos, los estudios que se han llevado a cabo con cubiertas han mostrado efectos positivos, con reducciones del vigor excesivo, enraizamiento más profundo y efecto de acolchado, pero por el contrario, también se han descrito efectos negativos, como el consumo de agua excesivo, que pueden comprometer el vigor y la producción de manera no deseada. Estos resultados señalan la necesidad de hacer un cuidadoso manejo de las cubiertas, seleccionando las especies apropiadas, que sean capaces de resemebrarse y con un mínimo o ningún consumo de agua después de mediados de primavera. En zonas de vid reguladas por denominaciones de origen, como es el caso del viñedo en este estudio, los riegos se encuentran regulados lo que también frena la adopción del uso de cubiertas vegetales (Celette *et al.*, 2008). Además, los resultados obtenidos tras investigar el manejo con cubiertas vegetales han sido contradictorios en muchos casos. A pesar de un mayor estrés hídrico sobre las vides, se ha visto que las cubiertas generan diversas mejoras, además de las ya mencionadas mejoras físicas sobre el suelo. Por ejemplo, una reducción del área foliar por un estrés hídrico temprano en la vid causado por la cubierta vegetal, puede suponer unas menores necesidades hídricas más adelante del ciclo de la planta (Celette *et al.*, 2008). Además, las cubiertas vegetales también pueden mejorar la recarga hídrica del perfil del suelo, mejorando la disponibilidad de agua para las vides y para las propias cubiertas (Battany y Grismer, 2000; Celette *et al.*, 2005; Klik *et al.*, 1998).

Además de todo lo mencionado, al contrario que otros cultivos frutícolas, la vid necesita un nivel de estrés hídrico moderado para producir uva de calidad para la elaboración de vino (Pellegrino *et al.*, 2006). Así, las situaciones de alta disponibilidad hídrica asociadas a suelos profundos, en ocasiones no son deseadas por parte de los viticultores, ya que pueden conducir a situaciones de vigor y producción excesivas, resultando en una disminución de la calidad de la uva y una mayor necesidad de operaciones en campo (Zahavi *et al.*, 2001). En este tipo de situaciones, las cubiertas vegetales pueden ser una herramienta de gran utilidad, ya que pueden extraer el excedente de agua para las vides y generar un nivel de estrés que conduzca a una producción de mejor calidad (Celette *et al.*, 2008).

2.3.6. Efectos de las cubiertas vegetales a lo largo del ciclo de la vid

El uso de cubiertas vegetales en viñedo puede causar, como ya se ha indicado, estrés hídrico a las vides, pero no sólo es importante el nivel de estrés sino que el momento en que el estrés ocurre es de suma importancia, ya que la disponibilidad de agua para la vid tiene distintas consecuencias según el estado fisiológico de la vid (Intrigliolo y Castel, 2007). Por lo tanto, en los siguientes apartados se exponen el ciclo de la vid y el efecto que las técnicas de cultivo puedan tener sobre la fisiología y la respuesta agronómica de la vid.

2.4. EL CICLO DE LA VID

2.4.1. Lloro

El ciclo de la vid comienza con los lloros al final del invierno. Se caracteriza por la aparición del flujo de la savia a través de las heridas de poda del ciclo anterior y se corresponde con la entrada en actividad de las raíces, propiciada por el aumento de temperatura del suelo. Generalmente, esta fase suele durar pocos días, pero a veces se puede alargar hasta tres o cuatro semanas (Reynier, 2012).

La composición de los lloros no suele ser igual a la de la savia bruta, ya que al provenir de reservas acumuladas, contiene más compuestos orgánicos. Durante esta fase, la cepa suele ser sensible a las heladas ya que las yemas se rehidratan por los lloros. En algunos trabajos, se ha visto que el ambiente más húmedo que pueden provocar las cubiertas vegetales puede aumentar el riesgo de heladas, por tanto, la vigilancia sobre el viñedo tendrá que intensificarse ante este riesgo (Celette *et al.*, 2009; Ingels *et al.*, 2005).

2.4.2. Desborre

El desborre o la brotación suele ser la consecuencia del inicio del crecimiento y suele tener su momento álgido durante febrero-marzo, aunque suele estar influenciado por cambios que se suelen dar en las yemas latentes a lo largo de todo el invierno. De este modo, el umbral de temperaturas que se alcanza durante el invierno es el determinante del inicio del desborre. Así, se distinguen dos tipos de umbral (Hidalgo y Hidalgo, 2011; Reynier, 2012):

- a) El umbral de crecimiento real: a partir de 4-5°C suele aparecer actividad celular, los órganos internos de las yemas crecen y de manera acumulativa van provocando su abertura (Hidalgo y Hidalgo, 2011).

b) El umbral de crecimiento aparente: entre 8-12°C o una temperatura media de 10°C. Se conoce también como 'cero de vegetación' a partir del cual se producirá el desborre (Hidalgo y Hidalgo, 2011).

Durante esta fase las yemas se hinchan, las escamas que forman las yemas se abren y aparece la borra, un tejido algodonoso que suele proteger los ápices. El desborre en la vid suele ser acrótono, es decir, las primeras yemas que brotan suelen ser las que se encuentran en los extremos de las varas (Reynier, 2012).

El desborre suele estar influenciado por múltiples factores, entre ellos, factores biológicos como el vigor o la acumulación de reservas en el ciclo anterior. Un vigor bajo o una deficiente acumulación de reservas durante el ciclo precedente suele conducir a un desborre más tardío (Reynier, 2012).

Así, el momento de desborre puede estar influenciado por el empleo de las cubiertas vegetales durante el ciclo anterior, ya que puede dar lugar a un crecimiento vegetativo en primavera menor por un menor acopio de reservas durante el ciclo anterior (Smith y Holzapfel, 2002). Del mismo modo, una competencia generada por las cubiertas vegetales en este momento, podrá limitar el rápido crecimiento inicial de los pámpanos (Pellegrino *et al.*, 2006).

2.4.3. Crecimiento vegetativo

El crecimiento vegetativo de la vid suele estar caracterizado por el alargamiento, engrosamiento de los pámpanos y el desarrollo de las hojas (Dry y Loveys, 1998; McCarthy, 1997). El crecimiento de los pámpanos se da en tres fases (Figura 2.9):

- a) Una lenta aceleración del crecimiento, con ligeras variaciones diarias.
- b) Un rápido crecimiento hasta el momento de floración.
- c) Un crecimiento estable, que poco a poco se ralentiza hasta que ocurre la parada vegetativa durante el invierno.

Entre los factores que más influyen sobre el crecimiento vegetativo se encuentran:

1. *Factores climáticos*: Entre 10°C y 30°C el crecimiento aumenta con la temperatura, situándose el óptimo alrededor de 25-30°C. Por encima de 30-32°C el crecimiento se ralentiza y se detiene hacia 38°C (Reynier, 2012). La pluviometría, y por tanto la alimentación hídrica, es otro de los factores que afecta directa y positivamente al vigor. La disponibilidad de agua dependerá a su vez de diversos factores que se han expuesto a lo largo de este trabajo. Son

numerosos los ensayos en los que se ha comprobado que una mayor disponibilidad de agua supone un mayor crecimiento vegetativo (Freeman y Kliewer, 1983; Van Leeuwen *et al.*, 2009) pudiendo llegar a duplicarse el peso de madera de poda por el incremento del crecimiento (García-Escudero, 1991; Lissarrague, 1986).

2. *La variedad y el portainjerto*: El vigor está regulado genéticamente, cambiando según la variedad. Asimismo, una variedad tendrá el vigor que le ‘confiere’ el portainjerto, por tanto, la misma variedad podrá mostrar distinto vigor dependiendo del patrón sobre el que se injerte (Reynier, 2012).

3. *El manejo*: El viticultor puede influir sobre el vigor, a través de los factores que puede modificar. Así, podrá modificar la disponibilidad hídrica mediante el riego o mediante cubiertas vegetales, y también podrá modificar la llegada de luz solar mediante lonas. Del mismo modo, podrá eliminar brotes anticipados, y realizar despuntes o deshojados modificando el vigor de las cepas de manera directa (Martínez de Toda, 2011).

El crecimiento vegetativo es el que determina el vigor de las cepas. Las vides con vigor reducido suelen tener pámpanos delgados y cortos con pocas hojas y de tamaño reducido, las cepas con estas características no suelen tener suficiente superficie foliar y no suelen ser deseables para los viticultores. Por el contrario, los pámpanos de las vides vigorosas suelen ser más largos y gruesos, con más hojas de tamaño más grande (Dry y Loveys, 1998). No obstante, un exceso de vigor también es un problema en la viticultura actual ya que, en general, las cepas vigorosas suelen tener una mayor producción, a expensas de la calidad. Además, el gran tamaño de dosel asociado a las cepas vigorosas obstaculiza la adecuada maduración de los racimos afectando también a la calidad de manera indirecta. Asimismo, el equilibrio entre la parte vegetativa y reproductiva de la planta también puede generar problemas en la calidad de la uva.

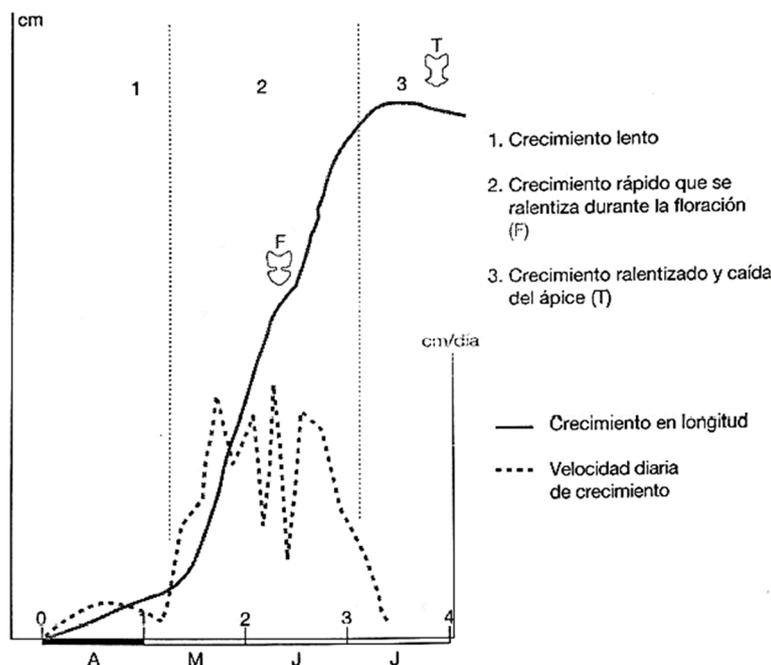


Figura 2.9. Crecimiento de la longitud del pámpano. Fuente: Reynier (2012).

2.4.4. Crecimiento reproductivo

2.4.4.1. La formación de inflorescencias y flores

El desarrollo de los órganos reproductores empieza con la iniciación de las inflorescencias en las yemas latentes del año precedente y la diferenciación de las flores en primavera, después se desarrollan sucesivamente la floración, el cuajado, el crecimiento y la maduración de las bayas del racimo (Reynier, 2012).

El proceso de formación de las estructuras florales en la vid se completa en dos ciclos del cultivo (Gil-Albert, 1980). En particular el número de racimos se determina alrededor de la floración del ciclo precedente al de su aparición (Reynier, 2012). Santesteban (2003) defiende que el proceso de la inducción se mantiene hasta la entrada en latencia de las yemas (mitad del verano), y de manera similar Reynier (2012) señala que la iniciación de las inflorescencias (la que determinará el número de racimos) ocurre desde mayo hasta la entrada en dormición de las yemas. Por lo tanto, todo lo que acontezca hasta el momento de entrada en latencia de las yemas afectará a la fertilidad de las yemas del ciclo siguiente.

Por otra parte, las inflorescencias de las yemas que entraron en dormición durante el ciclo anterior reanudarán su diferenciación durante el desborre formando ramificaciones de 2º y 3º orden. Asimismo, la iniciación de las flores tendrá lugar también durante la primavera del ciclo en curso en las yemas latentes que permanecen en la planta (Reynier, 2012).

2.4.4.2. Floración, polinización y fecundación

La floración o la antesis suele tener lugar en mayo-junio, no obstante, dependiendo de la situación de las cepas en una misma parcela y las condiciones que se dan en ella, el momento de la floración puede variar. El momento de floración se produce cuando se ha formado un determinado número de entrenudos que suele variar dependiendo de cada variedad (Pratt y Coombe, 1978). Durante la floración, la flor se abre, la corola se deseca y cae dando lugar al fenómeno conocido como dehiscencia.

Una vez que las flores se han abierto, y desprendido el capuchón, tiene lugar la polinización, tras la cual tiene lugar la fecundación. Estos procesos son los que determinarán el número y tipo de pepitas y tipo de bayas que se desarrollarán. Del mismo modo, estos procesos también estarán en parte determinados por la variedad (Reynier, 2012).

2.4.4.3. Cuajado

El cuajado se define como la conversión del órgano floral en fruto, siendo el porcentaje normal de cuajado, o proporción de flores que se transforman en fruto en condiciones normales, entre el 25 y el 50% (Reynier, 2012). La temperatura es el principal condicionante de la germinación de los granos de polen y del crecimiento de los tubos polínicos, por lo que las temperaturas frías durante la floración provocan una menor tasa de cuajado (Santesteban, 2003). La variedad, el vigor de la vid y la longitud de las inflorescencias también serán determinantes para la tasa de cuajado.

2.4.4.4. Desarrollo de las bayas

El crecimiento de la baya es un proceso de gran interés en viticultura ya que condiciona la cantidad de cosecha y además constituye un importante factor de calidad (Jackson y Lombard, 1993). El crecimiento de las bayas sigue una doble curva sigmoideal (Kennedy *et al.*, 2002) (Figura 2.10):

1. Fase I o Fase herbácea. Comienza con la floración y se caracteriza por un rápido crecimiento por división celular; suele durar alrededor de 60 días (Kennedy *et al.*, 2002; Ollat *et al.*, 2002). Al final de este periodo el número total de células de la baya está ya determinado (Harris *et al.*, 1968). Durante esta fase también las células aumentarán su volumen por acumulación de algunos solutos (Possner y Kliewer, 1985). Al principio de la fase herbácea, el ácido tartárico se acumulará en la parte exterior de la baya y hacia el envero también se acumulará el ácido L-málico en la pulpa (Kennedy *et al.*, 2002). Se formarán, asimismo, los compuestos precursores de los fenoles volátiles (Romeyer *et al.*, 1983). Las catequinas

precursoras de los taninos aparecerán en el pericarpo y las pepitas, siendo las responsables de la astringencia de los vinos y la estabilidad del color (Kennedy *et al.*, 2002). Asimismo, otras sustancias que también tienen importancia en la calidad de la uva se acumularán durante esta fase, como algunos minerales, micronutrientes, aminoácidos y algunos compuestos aromáticos (Possner y Kliewer, 1985) (Figura 2.10).

2. Fase II, Fase de ralentización del crecimiento o Fase Lag. Esta fase comienza cuando finaliza la Fase I y finaliza con el principio del envero. Se puede considerar como una Fase de transición entre la Fase I y la Fase III. Algunos autores como Staudt *et al.* (1986), no consideran a este periodo de ralentización del crecimiento de la baya, como una Fase sino, como el final de la Fase I (Figura 2.10).

3. Fase III o Fase de maduración. Se caracteriza por una segunda fase de crecimiento activo (Coombe y Hale, 1973). El crecimiento se da sobre todo por elongación y los compuestos acumulados durante la primera fase sufren cambios que afectarán a la calidad (Kennedy *et al.*, 2002). El ácido málico se reduce influenciado por las condiciones climáticas, los taninos de las pepitas se oxidan y se fijan a su envoltura. Los taninos del hollejo se combinan con pectinas y antocianos dando compuestos más complejos y condicionando la estabilidad del color (Kennedy *et al.*, 2002). Compuestos como las metoxipiracinas y las piracinas se reducen con la luz solar, disminuyendo los aromas herbáceos (Hashizume y Samuta, 1999). Durante este periodo también aumenta mucho el contenido de glucosa y fructosa en las bayas, y metabolitos secundarios que producen el aroma también se acumularán durante esta fase, principalmente hacia el final (Kennedy *et al.*, 2002) (Figura 2.10).

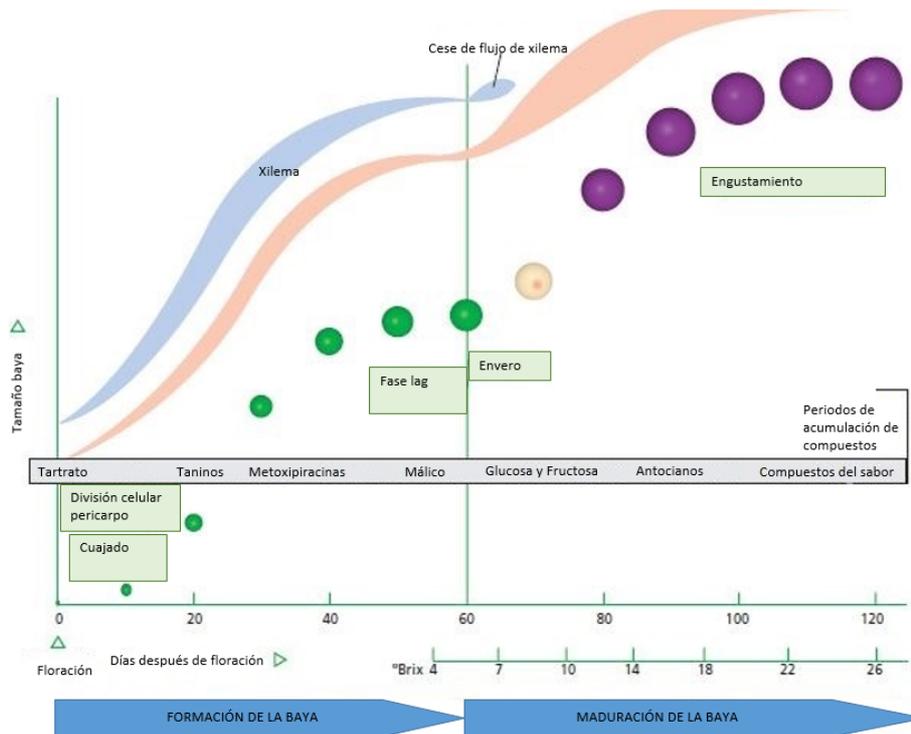


Figura 2.10. Diagrama que muestra el tamaño relativo y color de las bayas en intervalos de 10 días después de la floración. Se muestran los principales eventos durante el desarrollo y los principales componentes que se acumulan a lo largo del desarrollo de las bayas. Fuente: Kennedy (2002).

Entre los principales factores que afectan al desarrollo de las bayas en la Fase I o Fase herbácea están:

1. La temperatura: las mejores condiciones para el crecimiento se dan con temperaturas entre 25-30°C (Hale y Buttrose, 1974) y con elevada iluminación (Dokoozlian y Kliewer, 1996).

2. Estado hídrico: son muchos los autores (Esteban *et al.*, 1999; Jackson y Lombard, 1993; Roby *et al.*, 2004) que defienden que la alta disponibilidad de agua en la Fase I está estrechamente relacionada con el aumento del tamaño de la baya.

3. Nutrición: la nutrición mineral y la disponibilidad de fotoasimilados en la baya en este periodo condicionan el desarrollo de la baya.

El crecimiento de las bayas en la Fase III es menos sensible al déficit hídrico (Poni *et al.*, 1994) y a la disponibilidad de los niveles de nutrientes (Yuste *et al.*, 1997).

2.4.5. Desarrollo radicular

Las raíces son la parte de planta que proporciona soporte y superficie para la absorción de minerales y agua. La morfología de la raíz de la vid suele estar condicionada por su origen. De este modo, en las plantas de vid obtenidas mediante siembra, el sistema radicular suele ser pivotante, con una raíz principal y muchas raíces menores (Reynier, 2012). En las plantas multiplicadas mediante injerto, las raíces suelen crecer lateralmente desde la base de la estaca o el patrón. De estas raíces adventicias salen las ramificaciones de las raíces secundarias y menores (Reynier, 2012).

Las vides suelen tener el mayor desarrollo radicular entre los 20 y los 80 cm, aunque habitualmente son forzadas al enraizamiento más profundo mediante el mantenimiento del suelo libre de vegetación por laboreo mecánico (Martínez-Casasnovas *et al.*, 2005). Por encima de esta profundidad, generalmente, suele aparecer sequedad o efecto del manejo agrícola, dificultando el crecimiento de las raíces. El crecimiento lateral suele darse generalmente hasta toparse con la competencia de raíces de las cepas vecinas.

En cuanto al crecimiento radicular, durante la fase adulta de las vides, las pequeñas raíces que se extienden anualmente aseguran la alimentación hídrica y mineral. Normalmente, las raíces nuevas aparecen en las capas poco profundas, y según desciende el horizonte con agua disponible, nuevas raíces más profundas reemplazan la actividad de las superficiales. Generalmente, el crecimiento radicular suele detenerse en verano (Reynier, 2012).

El manejo suele condicionar la presencia de raíces en algunas zonas del suelo (Morlat y Jacquet, 2003). Numerosos trabajos señalan que el manejo mediante laboreo convencional o mediante enyerbado permanente provoca un gran descenso del número de raíces de vid en los primeros 20-30 cm del suelo (Morlat y Jacquet, 2003). Así, además de la eliminación directa de raíces de manera mecánica (Smart *et al.*, 2006), Van Huyssteen (1988) observó que el laboreo también influye sobre las características físicas del suelo dificultando el crecimiento de raíces.

Respecto al manejo mediante cubiertas vegetales, se acepta que la reducción del contenido de agua en el suelo y la competencia por los nutrientes llevan a la ausencia de raíces de vid en la capa más superficial del suelo (Smart *et al.*, 2006). A pesar de que todavía no se ha dilucidado la razón de esta mayor mortalidad de raíces en presencia de cubiertas vegetales, el hecho que la vid evite enraizar zonas del suelo ocupadas por las raíces de las cubiertas

conduciría a una colonización de zonas más profundas, compitiendo con cepas adyacentes (Smart *et al.*, 2006).

Además de todo lo mencionado, el laboreo mínimo o la aplicación de acolchados orgánicos o sintéticos han demostrado promover la aparición de raíces en los primeros 20 cm del suelo en viñedos (Smart *et al.*, 2006; Van Huyssteen, 1988).

2.5. EFECTO DE LAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO DEL SUELO SOBRE EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA VID

La respuesta del potencial hídrico a las técnicas de manejo empleadas en el viñedo varía según distintos factores (Linares, 2009). Así, existen numerosos trabajos en los que no se han encontrado efectos significativos de las cubiertas vegetales sobre el estado hídrico de la vid (Morlat y Jacquet, 2003; Olmstead *et al.*, 2001) o en los que estos efectos han sido muy leves. Giese *et al.* (2014) en Carolina del Norte compararon los potenciales hídricos de vid con cinco tipos de cubiertas con especies perennes, y tampoco encontraron diferencias en el estado hídrico de las vides. Igualmente, Jordan *et al.* (2016) y Karl *et al.* (2016) tampoco encontraron diferencias en el potencial de base, el potencial en tallo y el potencial en hoja al atardecer. No obstante, estos autores realizaron sus ensayos en condiciones de alta disponibilidad hídrica. En relación al leve efecto mostrado en el estado hídrico, Ingels *et al.* (2005) compararon diferentes cubiertas con laboreo, y a pesar de encontrar diferencias señalando hacia un potencial más negativo bajo el manejo con cubiertas permanentes, los resultados no fueron consistentes. De similar modo, Centinari *et al.* (2016) obtuvieron diferencias muy aisladas al comparar distintas cubiertas con dos técnicas de mantenimiento de los hilos. Finalmente, Hickey *et al.* (2016) observaron diferencias opuestas y poco consistentes en un ensayo realizado con cubiertas en Virginia.

En cuanto a los efectos que distintos niveles de potencial hídrico pueden tener sobre aspectos vegetativos o reproductivos a lo largo del ciclo de la vid, se han observado distintas respuestas dependiendo de los valores de potencial alcanzados y del momento en el que se hayan registrado esos niveles de estrés. A este respecto, Santesteban (2003) observó que cuando el potencial al amanecer medido en hoja durante el verano se acercaba a -0,80 MPa la parada vegetativa solía darse antes, constatando lo que otros autores como Champagnol *et al.* (1984) señalan, una parada más precoz en condiciones hídrica más restrictivas. En esta misma dirección, algunos autores han relacionado paradas del crecimiento vegetativo de la vid con unos valores específicos de potencial hídrico en hoja al mediodía solar de -1,00 MPa y -1,25 MPa para las variedades 'Cabernet franc' y 'Thompson seedless', respectivamente (Naor *et al.*,

1993). En variedades blancas como la 'Riesling', cultivada en invernadero, la parada vegetativa se detectó con potenciales en hoja por debajo de -1,25 MPa. En otro estudio llevado a cabo por Baeza *et al.* (2007), se observó que el crecimiento longitudinal descendía en un 96% cuando el potencial hídrico en hoja descendía de -1,00 a -1,10 MPa. Por lo tanto, muchos autores proponen niveles de estrés hídrico moderados pero soportables por las vides hasta que el desarrollo vegetativo se detenga, con el objetivo de limitar el crecimiento de las cepas. Además, después de la parada vegetativa de los sarmientos principales, también se aboga por valores de potencial que comprometan el crecimiento lateral (Choné *et al.*, 2001).

2.5.1. Evaluación del estado hídrico de la vid mediante la medida del potencial hídrico en tallo al mediodía solar

Son numerosos los autores que han comprobado la validez de la técnica de la cámara de presión desarrollada por Scholander *et al.* (1965) para determinar el estado hídrico de las vides (Girona *et al.*, 2006; Naor y Peres, 2001; Ojeda *et al.*, 2002). Mediante esta técnica se pueden medir distintas modalidades de potencial hídrico que, generalmente, son el potencial en hoja, el potencial en tallo y el potencial de base (Choné *et al.*, 2001; Girona *et al.*, 2006; Ojeda *et al.*, 2002). Cualquiera de estas medidas se utiliza habitualmente y constituyen en muchos casos información referencial sobre el estado hídrico de la vid, desde situaciones de poca a gran restricción hídrica (Acevedo-Opazo *et al.*, 2010; Ojeda *et al.*, 2002; Tisseyre *et al.*, 2005).

El potencial hídrico en tallo es un buen indicador del estado hídrico de la planta entera en frutales y viñedos (Cifre *et al.*, 2005; McCutchan y Shackel, 1992; Naor y Peres, 2001; Stern *et al.*, 1998). La medida del potencial hídrico en tallo se realiza aislando una hoja de la vid con una envoltura no transpirable y opaca a la luz solar, forzando al cierre estomático y deteniendo así la transpiración de la hoja. De este modo, cuando la transpiración de la hoja se detiene, el potencial de la hoja se iguala al del xilema de la planta (Acevedo-Opazo *et al.*, 2010).

En cuanto a la interpretación de esta medida, existen clasificaciones del potencial hídrico por rangos que permiten clasificar la intensidad del estrés hídrico. Así, Deloire *et al.* (2004) señalan ausencia de estrés cuando el potencial al mediodía en hoja es menor que -1,00 MPa. A partir de este valor, establece cuatro rangos, el primero de -1,00 a -1,20 MPa corresponde a un estrés ligero; el segundo de -1,20 a -1,40 MPa indica un estrés moderado; el tercero de -1,40 a -1,60 MPa apunta a un estrés elevado; y finalmente, el último a partir de -1,60 MPa indica un estrés severo. A pesar de la amplia utilización de la cámara de presión, la mayoría de los valores que se exponen en la literatura suelen referirse al potencial hídrico en

hoja (Naor *et al.*, 1993). Además de esto, en algunos trabajos no se especifica de manera clara la modalidad de potencial que se está utilizando. A este respecto, Reeve *et al.* (2016) en un trabajo reciente dedujeron que había ausencia de estrés cuando el potencial en tallo no descendía de -0,90 MPa. Para llegar a esta conclusión, establecieron la equivalencia entre el umbral en hoja propuesto por Williams y Baeza (2007) de -1,20 MPa con un potencial en tallo de -0,91 MPa. Para el desarrollo de este cálculo se basaron en la relación establecida por Williams y Araujo (2002) en un trabajo donde relacionaban distintas medidas de potencial.

Como referencia más concreta para la medida utilizada en este trabajo, Acevedo-Opazo *et al.* (2010) determinaron que las vides libres de estrés hídrico tienen valores de potencial hídrico en tallo al mediodía por encima de -1,00 MPa. Asimismo, según diversos autores, cuando la restricción hídrica es moderada los valores se suelen situar entre -1,00 y -1,20 MPa y valores entre -1,20 y -1,50 MPa indican un estrés severo (Cifre *et al.*, 2005; Lampinen *et al.*, 2001; Sibille *et al.*, 2007; Williams y Araujo, 2002). La relación entre el potencial en tallo al mediodía y la calidad de las bayas también ha sido documentada (Acevedo-Opazo *et al.*, 2010), con fuertes correlaciones entre este parámetro y los antocianos, compuestos fenólicos y ácido málico. Asimismo, también existe una relación entre el potencial en tallo al mediodía y el peso que adquieren las bayas y la producción total de uva (Acevedo-Opazo *et al.*, 2010).

2.6. EFECTO DE LAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO DEL SUELO SOBRE EL ESTADO NUTRICIONAL DE LA VID

Como se ha expuesto en el apartado anterior, la competencia por el agua que ejercen las cubiertas vegetales sobre la vid, ha sido ampliamente estudiada, pero no por ello se debe olvidar la competencia que las cubiertas puedan ejercer por los nutrientes (Ibáñez, 2013). Es más, en diversas ocasiones en las que la competencia por el agua no es suficiente para explicar la respuesta agronómica de la vid, la competencia por los nutrientes, y sobre todo por el nitrógeno, ha justificado los descensos productivos o de crecimiento (Celette *et al.*, 2005; Chantelot *et al.*, 2004). La vid, al ser una planta leñosa, almacena reservas en sus partes perennes, por tanto, la competencia por el nitrógeno tanto en el ciclo precedente como en el actual por parte de las cubiertas vegetales afectará al desarrollo vegetativo y productivo de la vid. Asimismo, las cubiertas vegetales también podrán alterar las dinámicas de la mineralización de este nutriente en el suelo, por lo que también tendrán un efecto indirecto a través de su disponibilidad para la vid (Celette *et al.*, 2009).

Con el tiempo la utilización de cubiertas vegetales puede resultar en un incremento de nutrientes en la parte superficial del suelo (Morlat y Jacquet, 2003). No obstante, este incremento dependerá del tipo de cubierta vegetal que se emplee, así como de su propio manejo (Celette *et al.*, 2009). Así, son diversos los trabajos en los que se han encontrado menores concentraciones de nitrógeno foliar a través del manejo mediante cubierta vegetal de especies no leguminosas (Hatch *et al.*, 2011; Maigre *et al.*, 1995; Morlat *et al.*, 1993; Pérez-Álvarez *et al.*, 2015; Tesic *et al.*, 2007). Por su parte, Linares (2009) observó que la concentración peciolar de nitrógeno era menor en tratamientos con cubiertas vegetales, sin embargo, no hubo reducción de este nutriente en el suelo, por lo que asoció la menor absorción de nitrógeno por las cepas a la menor disponibilidad hídrica.

En lo referente a las consecuencias que una competencia por el nitrógeno puede generar sobre la vid, Tesic *et al.* (2007) vieron una estrecha relación entre la concentración peciolar de nitrógeno y el tamaño de racimos y bayas, de manera que la competencia por el nitrógeno ejercida por la cubierta conducía a disminuciones en los mencionados parámetros. Así, queda de manifiesto la necesidad de un adecuado manejo de la cubierta vegetal para evitar que la competencia por este nutriente sea excesiva, sobre todo en momentos en los que pueda comprometer el adecuado desarrollo de la baya (Ibáñez, 2013).

Además del nitrógeno, otro macronutriente cuyas concentraciones foliares pueden verse modificadas a través del manejo mediante cubiertas vegetales es el fósforo (Sweet y Schreiner, 2010; Tesic *et al.*, 2007). Los citados autores, encontraron un mayor contenido foliar de fósforo en cepas manejadas mediante cubierta vegetal. No obstante, otros autores, han encontrado también niveles inferiores de este macronutriente en hojas de cepas manejadas mediante cubiertas vegetales (Linares, 2009; Sagüés *et al.*, 2008). Asimismo, también hay trabajos en los que no han encontrado modificaciones en el contenido foliar de este elemento a través del manejo mediante cubierta vegetal (Hatch *et al.*, 2011; Morlat *et al.*, 1993; Uliarte *et al.*, 2009).

Al analizar la concentración foliar de potasio, los trabajos llevados a cabo también muestran resultados distintos, entre los que algunos, exponen una mayor concentración foliar de potasio a través del manejo mediante cubiertas (Hatch *et al.*, 2011; Linares, 2009; Maigre y Aerny, 2001), mientras otros han detectado una disminución de este nutriente a través de este manejo (Sweet y Schreiner, 2010; Tesic *et al.*, 2007). Igualmente, existen trabajos en los que no se ha advertido ningún efecto claro en la concentración de potasio en hoja (Pérez-Álvarez, 2015) o en los que se han visto variaciones en el contenido foliar de potasio a lo largo del ciclo

de la vid (Sagüés *et al.*, 2008). En este sentido, García-Escudero *et al.* (2006) establecieron que el contenido foliar de potasio tiene un gran componente varietal, y que existe una translocación a lo largo del ciclo desde la parte vegetativa a las bayas (Mpelasoka *et al.*, 2003), las cuales muestran grandes concentraciones de potasio en la variedad 'Tempranillo' por su carácter potasófilo.

Otro nutriente que según Sagüés *et al.* (2008), Sicher *et al.* (1995) y Tesic *et al.* (2007) se puede ver disminuido en hoja a causa del manejo mediante cubiertas vegetales es el magnesio. No obstante, también existen trabajos en los que no se ha detectado ningún efecto consistente de las cubiertas vegetales sobre la concentración foliar de magnesio (Ibáñez, 2013; Pérez-Álvarez, 2015).

Finalmente, en lo que respecta a los macronutrientes, también se han detectado descensos en la concentración foliar de Ca en algunos trabajos a través del manejo mediante cubiertas vegetales (Maigre y Aerny, 2001; Morlat *et al.*, 1993). No obstante, en este caso también existen trabajos en los que las cubiertas vegetales han supuesto un incremento de la concentración foliar de calcio (Maigre *et al.*, 1995; Sagüés *et al.*, 2008) y trabajos en los que no se ha constatado ningún efecto de las cubiertas vegetales sobre la concentración foliar de Ca (Linares, 2009; Pérez-Álvarez, 2015; Sweet y Schreiner, 2010; Tesic *et al.*, 2007).

En lo que respecta a los micronutrientes, la variabilidad que existe entre los resultados entre distintos autores es muy grande (Ibáñez, 2013). Así, es difícil establecer valores referenciales para macronutrientes y micronutrientes en la vid, ya que la gran variedad de patrones, variedades, estilos de vino buscados, climas y suelos hacen que haya gran variabilidad en estos valores (Robinson, 2010). Por tanto, los valores referenciales para el seguimiento del estado nutricional de la vid suelen tener mejor precisión cuando se consideran las fuentes de variabilidad, como la genética, variedad, portainjerto o prácticas agronómicas (García-Escudero *et al.*, 2013).

Para planificar la fertilización de manera eficiente es necesario conocer los niveles deseables de cada nutriente en tejidos de la planta que son representativas del estado nutricional de esta, obteniendo así mostos con la calidad enológica deseada. Una vez establecido este nivel ideal de nutrientes, el exceso y la deficiencia pueden ser definidas para cada nutriente, permitiendo controlar la nutrición de las cepas a través del análisis de distintos tejidos (García-Escudero *et al.*, 2013). A este respecto, estos mismos autores propusieron rangos deseables para cada uno de los macronutrientes y micronutrientes en limbo y peciolo en distintos momentos del ciclo (floración y envero). En la Tabla 2.4 se exponen las

concentraciones de referencia para envero en la variedad Tempranillo. Por tanto, analizar el contenido foliar de distintos nutrientes en floración o envero y compararlos con niveles de referencia existentes es interesante para hacer un seguimiento del efecto de las cubiertas vegetales sobre la nutrición de la vid.

Tabla 2.4. Rangos de referencia de macronutrientes y micronutrientes en peciolo y en limbo propuestos por García-Escudero *et al.* (2013) para evaluar el estado nutricional de la variedad 'Tempranillo'.

Limbos Envero					
Elemento	Bajo	Normal-Bajo	Normal	Normal-Alto	Alto
N%	<2.08	2.08–2.19	2.19–2.29	2.29–2.42	>2.42
P%	<0.134	0.134–0.148	0.148–0.163	0.163–0.183	>0.183
K%	<0.630	0.630–0.767	0.767–0.907	0.907–1.13	>1.13
Ca%	<2.82	2.82–3.10	3.10–3.34	3.34–3.62	>3.62
Mg%	<0.315	0.315–0.384	0.384–0.455	0.455–0.558	>0.558
Fe ppm	<99	99–134	134–164	164–205	>205
Mn ppm	<77	77–99	99–124	124–156	>156
Zn ppm	<14	14–16	16–19	19–23	>23
Cu ppm	<59	59–117	117–221	221–350	>350
Peciolos Envero					
Elemento	Bajo	Normal-Bajo	Normal	Normal-Alto	Alto
N %	<0.431	0.431–0.472	0.472–0.512	0.512–0.563	>0.563
P %	<0.067	0.067–0.096	0.096–0.132	0.132–0.182	>0.182
K %	<0.707	0.707–1.14	1.14–1.68	1.68–2.36	>2.36
Ca %	<1.66	1.66–1.86	1.86–2.09	2.09–2.36	>2.36
Mg %	<0.611	0.611–0.778	0.778–0.953	0.953–1.21	>1.21
Fe ppm	<19	19–23	23–27	27–33	>33
Mn ppm	<24	24–44	44–74	74–140	>140
Zn ppm	<15	15–19	19–24	24–30	>30
Cu ppm	<8.9	8.9–16	16–26	26–46	>46

Fuente: García-Escudero *et al.* (2013)

2.7. EFECTO DE LAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO DEL SUELO SOBRE LA RESPUESTA AGRONÓMICA, LA CALIDAD DEL MOSTO Y LA CALIDAD DEL VINO

2.7.1. Peso de la madera de poda

Uno de los parámetros de interés que normalmente disminuye a consecuencia del estrés generado por las cubiertas es el peso de la madera de poda (Ibáñez, 2013). Así, Martínez de Toda (2011) propone el enyerbado del suelo como técnica que permite limitar el vigor cuando el suelo tiene una excesiva fertilidad natural. En esta misma línea, Kliever *et al.* (1983) señalaron que la observación directa del crecimiento de los pámpanos permite mostrar síntomas precoces de la falta de agua antes de que esta falta se vea reflejada en las medidas directas de potencial hídrico antes del amanecer y diversos autores han descrito cambios en la longitud y peso de los pámpanos asociados a las condiciones de crecimiento, lo que hace que sean un buen indicador del vigor (Jiménez, 2005; Martínez de Toda, 2011). De este modo, en general, se acepta que el estrés hídrico reduce la velocidad de crecimiento de los entrenudos y su longitud (Smart, 1974). A pesar de lo mencionado, algunos trabajos que se han realizado en condiciones de buena disponibilidad hídrica han mostrado que las cubiertas vegetales en

suelos profundos no limitan el crecimiento vegetativo (Centinari *et al.*, 2016; Jordan *et al.*, 2016). No obstante, en condiciones más limitantes, muchos trabajos han mostrado disminuciones significativas del vigor a través de este manejo (Caspari *et al.*, 1997; Celette *et al.*, 2005; Ingels *et al.*, 2005; Linares, 2009; Lopes *et al.*, 2011; Ripoche *et al.*, 2011; Smith *et al.*, 2008; Wolpert *et al.*, 1993).

Esta disminución del vigor puede tener consecuencias positivas y negativas dependiendo del momento y contexto en el que se produzca (Ibañez *et al.*, 2011). Si la reducción es excesiva puede comprometer la producción y la calidad de la uva (Spayd *et al.*, 2002). Sin embargo, en situaciones de alta disponibilidad hídrica, una disminución adecuada del vigor puede llevar mejoras asociadas en compuestos aromáticos y en la calidad final del vino (Song *et al.*, 2015; Sun *et al.*, 2011). Por tanto, el empleo de las cubiertas vegetales y el efecto que éstas tengan sobre el crecimiento vegetativo debe ajustarse a los objetivos vitícolas esperados, siendo importante que la competencia entre ambos cultivos pueda tener lugar en el momento adecuado durante el desarrollo de la planta y con una intensidad que no produzca efectos nocivos (Ibañez, 2013).

En lo que respecta a la temporalización del efecto de las cubiertas, el crecimiento en el momento de desborre puede estar influenciado por el empleo de éstas durante el ciclo anterior, ya que el acopio de reservas por parte de la cepa durante el ciclo precedente afecta al crecimiento inicial del ciclo en curso (Smith y Holzapfel, 2002). La acumulación de reservas en partes perennes de la planta suele comenzar alrededor de cuajado, siendo máxima desde el envero hasta la caída de hojas (Bates *et al.*, 2002; Smith y Holzapfel, 2002). En consecuencia, en los mencionados periodos el estado hídrico afectará al crecimiento del ciclo que concurre, pero también al del ciclo siguiente.

Una competencia generada por las cubiertas vegetales entre la brotación y el cuajado, podrá limitar el rápido crecimiento inicial de los pámpanos (Pellegrino *et al.*, 2006). No obstante, una alta disponibilidad hídrica en este momento, podrá resultar en una mayor emisión de brotes anticipados y un mayor crecimiento lateral posterior (Chaves *et al.*, 2010; Lopes *et al.*, 2011). Por lo tanto, si se persigue una reducción del crecimiento vegetativo durante el ciclo en curso, el mayor estrés a través del manejo mediante cubiertas vegetales tendrá que tener lugar desde antes de cuajado (Santesteban, 2003) hasta el momento del envero (Dry y Loveys, 1998).

Una vez llegado el envero, en condiciones de estrés moderado, el crecimiento vegetativo suele concluir y el déficit hídrico no suele suponer grandes cambios en la expresión vegetativa a partir de este momento (Naor *et al.*, 1993; Poni *et al.*, 1994).

2.7.2. Rendimiento

La formación de las flores comienza en el ciclo precedente en las yemas latentes de las vides y sigue tres pasos bien definidos (Watt *et al.*, 2008). El primer paso, es la formación de los primordios de los pámpanos del ciclo siguiente en las yemas que entrarán en latencia. El segundo paso, es la diferenciación de los primordios de las inflorescencias en las yemas latentes. Finalmente, el tercero, es la formación de flores individuales en los primordios de las inflorescencias (Barnard, 1932; Barnard y Thomas, 1932). En las vides cultivadas en climas templados, los primeros dos pasos se dan en el ciclo precedente y, en cambio, las flores individuales se forman durante el desborre del ciclo en curso (Scholefield y Ward, 1975; Srinivasan y Mullins, 1976; Winkel y Rambal, 1993).

Los principales factores que influyen en la fertilidad de las yemas y la iniciación de inflorescencias y flores son los climatológicos, genéticos, biológicos y agronómicos. Los factores climatológicos principales son la luz y la temperatura. La luz directa que incide sobre las yemas induce la diferenciación de las inflorescencias, y la fertilidad de las yemas que permanecen a la sombra suele ser menor. La temperatura favorece la organogénesis y el metabolismo general de la cepa, no obstante, las temperaturas excesivamente altas durante el desborre pueden también influir de manera negativa. En cuanto a los factores genéticos, cabe decir que la fertilidad es diferente según la variedad. Respecto a los factores biológicos, el vigor de las cepas es también un factor clave. De este modo, la fertilidad aumenta con el vigor de las cepas, aunque el vigor excesivo provoca una disminución de la fertilidad. Finalmente, según el manejo vitícola que se realice sobre las cepas se podrá actuar sobre el vigor, el desborre y el microclima dentro del dosel y se podrá modificar la fertilidad (Reynier, 2012).

Las cubiertas vegetales pueden originar cambios en la fertilidad de las cepas (Hardie y Considine, 1976). Por una parte, porque pueden influir sobre el sombreado de las yemas latentes modificando la fertilidad del ciclo siguiente a través de cambios en el vigor de las cepas, resultando en un menor número de racimos (May, 2000; McCarthy, 1997). Asimismo, también pueden ejercer efectos durante el momento de la floración, ya que el consumo de agua que puedan tener las cubiertas durante la floración puede resultar en abortos florales, modificando el número de bayas que se desarrolla en cada racimo (Hardie y Considine, 1976).

Durante el ciclo que concurre, la competencia de las cubiertas vegetales desde el cuajado hasta el envero afectará a la multiplicación celular en las bayas, afectando así al tamaño final que la baya pueda adquirir (Ojeda, 2006). De este modo, la disminución del tamaño de la baya podrá afectar de un modo indirecto a la calidad, a través de la modificación de la relación hollejo/pulpa (Ojeda, 2006). Asimismo, durante la fase III del crecimiento de la baya, el estrés podrá afectar a la elongación celular, resultando también en un menor tamaño de baya (Ojeda, 2006). Por lo tanto, los efectos de las cubiertas vegetales sobre el desarrollo reproductivo de la vid afectarán a su vez a distintos parámetros productivos dependiendo de la fase en la que compitan y la intensidad con la que lo hacen (Ibáñez, 2013).

Así, son numerosas experiencias en las que se recoge la limitación que suponen las cubiertas para la producción (Ibáñez, 2013). Como ejemplo, Wolpert *et al.* (1993) encontraron reducciones en el número de racimos por cepa en vides manejadas mediante cubiertas vegetales, si bien esta reducción se acompañaba con la de otros componentes que también afectaban al rendimiento. En esta misma línea, se han observado reducciones en el tamaño de la baya junto con reducciones en el peso de los racimos en algunos trabajos (Ibáñez *et al.*, 2009; Lopes *et al.*, 2011; Maigre y Aerny, 2001), y hay también trabajos en los que la reducción en la producción se ha obtenido mediante el efecto acumulativo de las cubiertas vegetales durante varios ciclos consecutivos (Ripoche *et al.*, 2011; Wolpert *et al.*, 1993).

Sin embargo, tal y como ocurría con el desarrollo vegetativo, autores que han realizado ensayos en condiciones hídricas poco limitantes han observado que las cubiertas vegetales no causan cambios en ninguno de los componentes productivos (Centinari *et al.*, 2016; DeVetter *et al.*, 2015; Jordan *et al.*, 2016). De un modo similar, también hay autores que afirman que la producción no está tan influenciada por el manejo mediante cubiertas vegetales como lo está el vigor (Morlat y Jacquet, 2003). No obstante, aunque según Morlat y Jacquet (2003) el rendimiento es menos sensible que el vigor al manejo mediante cubiertas vegetales, tal y como se ha mencionado, son numerosos los trabajos que muestran descensos en el rendimiento de las cepas manejadas mediante cubiertas vegetales (Ibáñez, 2013; Linares, 2009).

2.7.3. Contenido de azúcares

Uno de los parámetros que puede verse favorecido a través del manejo mediante cubierta vegetal y el consiguiente déficit hídrico moderado que generan es el contenido de azúcares de la baya (Chaves *et al.*, 2010). Los azúcares que aparecen en las bayas son, fundamentalmente, la glucosa y la fructosa, y su flujo de las partes vegetativas hacia las bayas

comienza a partir del envero (Robinson *et al.*, 2000). En el proceso de fermentación, las levaduras transforman el azúcar en alcohol etílico y dióxido de carbono (Ibáñez, 2013). Por lo tanto, el contenido de azúcar en el mosto determinará el posterior grado alcohólico (% Vol.) que se adquiera en el vino elaborado.

En cuanto a la influencia de las cubiertas en los factores que afectan al contenido de azúcar se encuentra la reducción del crecimiento activo de la parte vegetativa, que puede resultar en una redirección de los fotosintetizados hacia los racimos (Chaves *et al.*, 2010). Asimismo, una reducción del rendimiento provocado por el manejo mediante cubierta vegetal puede suponer concentraciones de azúcar mayores en las bayas, tal y como han documentado diversos autores (Colugnati *et al.*, 2004; Lopes *et al.*, 2011; Ripoche *et al.*, 2011). Provedo (1981) en un estudio del comportamiento de la variedad Tempranillo en Rioja Alavesa llegó a la conclusión que el límite máximo de producción de uva que permite alcanzar buenas graduaciones es de 10.500 kg ha⁻¹. No obstante, en regiones donde el agua o la iluminación son limitantes, los aumentos de la producción suelen conllevar una reducción en la concentración de azúcar en las bayas. De este modo, dependiendo de la localización del ensayo o de la añada, hay también trabajos en los que se han observado iguales (Linares, 2009; Tesic *et al.*, 2007) o menores contenidos de azúcar en la baya (Nazralla, 2008) en parcelas manejadas mediante cubierta vegetal frente a otras manejadas mediante laboreo convencional.

Además de los mencionados mecanismos, a través de la modificación del ratio área foliar/producción puede también incrementarse la cantidad de luz que incide sobre la zona de racimos, lo que conlleva un aumento de la temperatura (Bergqvist *et al.*, 2001; Dokoozlian y Kliewer, 1996). En estudios realizados en invernadero, se han observado mayores tasas de acumulación de azúcares asociados a un aumento de la temperatura (Leibar *et al.*, 2017). No obstante, Bergqvist *et al.* (2001) observaron que el aumento de la temperatura por una mayor exposición puede resultar en un aumento de azúcares en la baya hasta una temperatura máxima de 37°C, y a partir de este umbral la temperatura puede inhibir la acumulación de azúcares (Kliewer, 1977).

El déficit hídrico que pueda resultar del manejo mediante cubiertas vegetales también puede afectar de manera directa al contenido de azúcares en la baya. Cuando el agua no es un factor limitante, la maduración puede sufrir un retraso debido a la prolongación del crecimiento vegetativo de la cepa (García-Escudero, 1991; Hardie y Considine, 1976; Smart, 1974). De este modo, algunos autores proponen mantener un nivel de estrés moderado pero

soportable para las plantas durante la maduración. Así, se han propuesto distintas estrategias para la gestión del estado hídrico de la planta. Como ejemplo, Girona *et al.* (2006) propusieron mantener el potencial hídrico al mediodía en hoja alrededor de -1,20 MPa desde julio hasta la cosecha y autores como Linares (2009) o Roby *et al.* (2004) proponen un rango entre -1,20 y -1,40 durante todo el ciclo. Sin embargo, autores que han visto aumentos en un rango similar a los propuestos, también han descrito descensos en el contenido de azúcar bajo niveles de estrés más intensos (Yakushiji *et al.*, 1998).

2.7.4. Acidez

La acidez también es un aspecto cualitativo importante de los vinos. Así, el color, la estabilidad química y biológica y las características sensoriales del vino están influenciados por la acidez (Ibáñez, 2013). Cuando el pH es alto los mostos son más susceptibles a oxidarse y degradarse (Somers, 1977). Asimismo, los pH demasiado elevados pueden disminuir el color de los vinos, ya que las antocianinas coloreadas disminuyen por su grado de ionización (Mpelasoka *et al.*, 2003). La acidez real o pH de los mostos y vinos suele estar determinado por la presencia de los principales ácidos orgánicos y el potasio (Ibáñez, 2013). Los principales ácidos orgánicos son el ácido L-málico y el ácido tartárico, y representan el 90% de los ácidos de la uva, siendo sintetizados en hojas y racimos. El ácido málico se sintetiza por combustión de azúcares en tejidos con clorofila, suele ser inestable y se cataboliza durante el proceso de maduración (Flanzy, 2002). El ácido tartárico es el ácido más fuerte entre los mencionados, siendo el que más influye sobre el pH (Ruffner, 1982). Es más estable que el ácido málico y su concentración aumenta durante la fase herbácea del crecimiento de la baya, para después disminuir ligeramente a partir del envero (Hidalgo, 2006; Mpelasoka *et al.*, 2003). El ácido málico se combustiona mediante la exposición de los racimos a temperaturas superiores a 30°C, mientras el ácido tartárico soporta temperaturas más elevadas, de alrededor de 35-40°C (Kliewer y Lider, 1970). De este modo, el efecto que puedan tener las cubiertas vegetales sobre el vigor y la resultante exposición de los racimos a la luz solar serán de importancia en la cantidad de ácido málico que contengan las bayas. A este respecto, son numerosos los trabajos en los que se han encontrado menores acideces bajo el manejo con cubiertas vegetales, atribuyendo a la disminución del vigor y a la mayor exposición a la luz solar el descenso de la acidez (Champagnol, 1984; Lopes *et al.*, 2011; Maigre y Aerny, 2001; Monteiro y Lopes, 2007; Morlat *et al.*, 1993). También hay trabajos en los que no se han detectado cambios significativos en la acidez (Fourie *et al.*, 2006; Ingels *et al.*, 2005; Linares, 2009; Smith *et al.*, 2008; Xi *et al.*, 2010).

Además de la combustión del málico como origen del cambio en la acidez total, Ibáñez (2013) subraya la importancia de la cantidad de K presente en las bayas, sobre todo en la variedad 'Tempranillo'. Según este autor, esta variedad es potasófila, y además de una importante acumulación de K en las bayas, en esta variedad también se da la translocación del mencionado elemento desde las hojas a los racimos (Ibáñez, 2013). Por tanto, cabe considerar dos mecanismos a través de los cuales el pH variará dependiendo de la presencia del K. Por una parte, una mayor proporción tartrato/malato puede resultar en un menor pH (Boulton, 1980; Gawel *et al.*, 2000) y un bloqueo en la transferencia de K a las vacuolas puede frenar la degradación del málico, aumentando el pH (Hale, 1977). Por otra parte, el K puede conducir a la salificación del ácido tartárico para formar bitartrato potásico (Mpelasoka *et al.*, 2003), disminuyendo la concentración de protones H⁺ y aumentando el pH (Esteban *et al.*, 2002).

2.7.5. Compuestos polifenólicos

La uva suele presentar sustancias con una o varias funciones fenol, conocidas como compuestos fenólicos o polifenólicos (González-Larreina, 1988), los cuales influyen en el color y las propiedades sensoriales del vino (Cortell *et al.*, 2007, 2005). En el caso de los vinos tintos, entre los compuestos polifenólicos, uno de los más importantes son los antocianos (Boulton, 2001; Spayd *et al.*, 2002). En general, el contenido de antocianos y polifenoles tiende a aumentar cuando el suelo es manejado mediante cubiertas vegetales, y por tanto, los parámetros relacionados con el color del vino se ven favorecidos (Ibáñez, 2013).

Estos cambios en la concentración de compuestos fenólicos y relacionados con el color pueden ocurrir a través de diversos cambios que las cubiertas pueden generar en la respuesta agronómica y fisiológica de la vid. De este modo, la competencia por el agua y nutrientes que ejercen las cubiertas vegetales puede conducir a reducciones en el vigor (Giese *et al.*, 2014; Ingels *et al.*, 2005), permitiendo una mayor incidencia de la luz solar en la zona de racimos (Hatch *et al.*, 2011; Tesic *et al.*, 2007). Esta reducción puede contribuir de manera indirecta al aumento de compuestos polifenólicos y antocianos, ya que entre los factores que regulan la acumulación de estos compuestos están la radiación solar y la temperatura (Jackson y Lombard, 1993). Así, con una mayor exposición de los racimos, sin alterar la temperatura, la acumulación de estos compuestos se ha visto aumentada (Dokoozlian y Kliewer, 1996). De manera más concreta, también se ha establecido que la radiación solar aumenta el contenido de antocianos durante la maduración, siempre que la temperatura de los racimos se encuentre en un rango entre 17 y 26°C (Pirie, 1977). Así, Bergqvist *et al.* (2001) en racimos expuestos a una mayor radiación solar, pero con temperaturas elevadas, encontraron unas

concentraciones más bajas de estos compuestos. Respecto al momento en el que la radiación solar afecta a la acumulación de polifenoles y antocianos, a pesar de que la acumulación de compuestos polifenólicos y antocianos suele tener lugar a partir del envero, durante la fase III de crecimiento de la baya (Dokoozlian y Kliewer, 1996), los precursores de estos compuestos y las enzimas que regulan su acumulación pueden estar favorecidos por la exposición a la luz solar durante las fases I y II entre cuajado y envero (Downey *et al.*, 2004; Takeda *et al.*, 1988). En un estudio más reciente, Cook *et al.* (2015) han observado que la retirada de hojas antes de floración, y la consecuente pronta exposición a la luz solar, estimula la actividad de enzimas que regulan la síntesis de antocianos. Por lo tanto, el efecto del manejo tendrá lugar desde el cuajado hasta que la uva esté madura.

Además de la influencia que el vigor pueda tener sobre polifenoles y antocianos, el tamaño de la baya también se puede ver reducido por el estrés generado a través del manejo con cubiertas vegetales, resultando en una menor proporción hollejo/pulpa, lo cual puede conllevar un aumento de la concentración de polifenoles y antocianos (Acevedo-Opazo *et al.*, 2010; Ginestar *et al.*, 1998; Ibáñez, 2013; Ojeda *et al.*, 2002), ya que los compuestos fenólicos de las bayas se encuentran principalmente en el hollejo y en las semillas (Hidalgo, 2006).

El estrés hídrico a través de la competencia entre la viña y las cubiertas vegetales, puede también tener un efecto directo en la acumulación de compuestos polifenólicos y antocianos (Roby *et al.*, 2004). Estos autores compararon bayas sometidas a estrés hídrico frente a otras que teniendo el mismo tamaño no habían estado expuestas a estrés, y concluyeron que la acumulación de polifenoles y antocianos no estaba determinada por el tamaño, sino que el estrés moderado estimulaba su acumulación. Asimismo, Castellarín *et al.* (2007) encontraron que el estrés hídrico incidía en la expresión de genes que regulan la síntesis de flavonoides, resultando así en una mayor concentración de antocianos.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. ENSAYO

El trabajo experimental se desarrolló en una parcela de viñedo perteneciente a Bodegas y Viñedos Zuazo Gastón, conocida como finca 'Costanillas' y englobada dentro de la Denominación de Origen Calificada Rioja (D.O.Ca. Rioja). La parcela se localiza al noroeste del término municipal de la localidad Alavesa de Oion/Oyón ($43^{\circ}36'00''$ N lat.; $2^{\circ}36'37''$ W long.). El viñedo se encuentra a una altitud media aproximada de 460 m sobre el nivel del mar, con un rango de desnivel aproximado de 30 m entre la cota más alta y la más baja (hondón) (Figura 3.1).

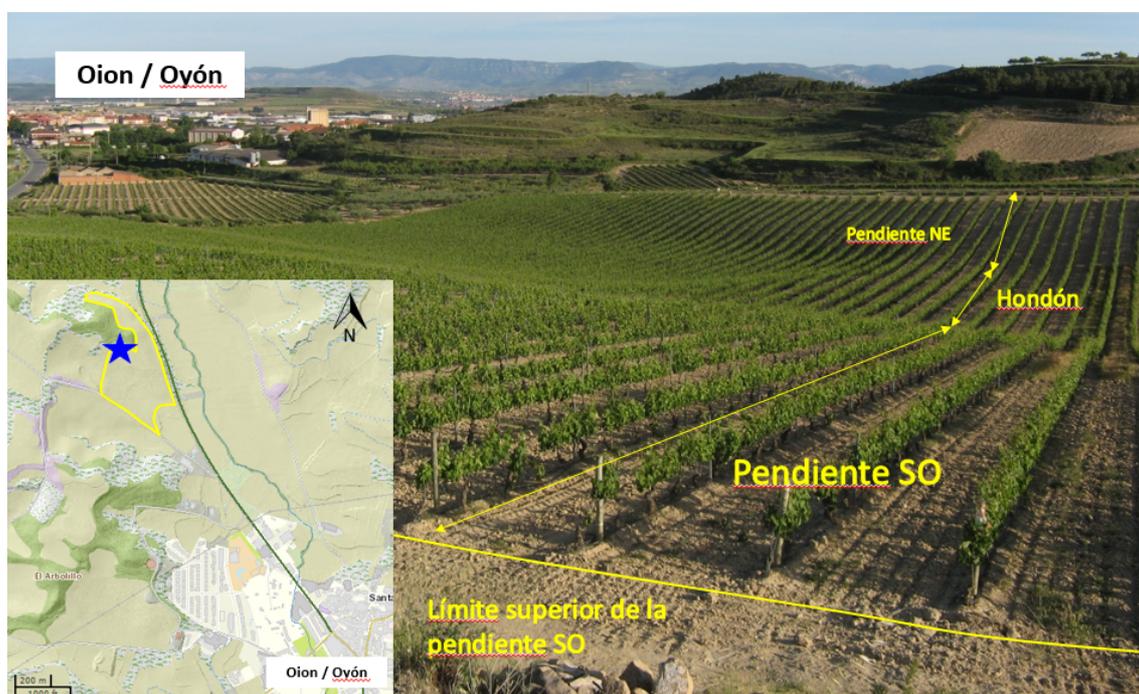


Figura 3.1. Situación geográfica y vista de la parcela experimental tomada en dirección norte-sur desde su límite septentrional. Pendiente SO (exposición suroeste), hondón y pendiente NE (exposición nordeste).

La superficie total del viñedo es de 8 ha y está dividido en dos partes, una zona con una superficie de 5 ha, donde se localizó el ensayo, y otra con una superficie de 3 ha, con una forma alargada, que se extiende desde la parte nordeste de la anterior, hacia el norte y el oeste en su parte más septentrional. La parcela donde se situó el ensayo abarca dos zonas de pendientes opuestas, una con orientación suroeste y una inclinación aproximada de entre 11% y 22% (pendiente SO) y otra con orientación nordeste con una inclinación menos acusada de entre 10% y 15% (pendiente NE) (Figura 3.1). Ambas pendientes convergen en una vaguada en dirección noroeste-sureste denominada hondón. Las parcelas experimentales se situaron en la posición fisiográfica de pendiente (en particular en la pendiente SO) y en la posición fisiográfica de hondón. Las pendientes estaban provistas de un sistema de riego por goteo y el

hondón carecía de riego en condiciones meteorológicas habituales, y se podía regar en condiciones de sequía extrema. Así, en el periodo de estudio (2008-2012) el hondón se regó una única vez, el 1 de agosto de 2012.

En el pasado, la parcela de ensayo estaba formada por otras de menor superficie destinadas en su mayoría al cultivo de cereal, habiendo también parcelas de viña y de olivo hasta el año 1975, y las parcelas estaban separadas por ribazos y muros de piedra (Figura 3.2). Después de la concentración parcelaria que tuvo lugar ese año, las antiguas parcelas se unieron para formar la actual, que tiene una superficie notablemente superior a los viñedos tradicionales de la zona, ya que el 94% son menores de 1,00 ha. La plantación del actual viñedo se realizó en dos momentos distintos. La mayor parte de la parcela se plantó en el año 1980, y es en esta parte donde se localizó el ensayo (Figura 3.2). Una parte más pequeña, la zona este de la parcela, fue plantada en 1995, tras el arranque de una plantación de olivos en abandono. Para la plantación de 1980 el terreno se preparó mediante el pase de un subsolador hasta una profundidad aproximada de 60 cm. Las operaciones en el terreno fueron más intensas para la plantación de 1995, con el pase de un buldócer a una profundidad aproximada de 1 m para romper la piedra existente y la posterior extracción de dicha piedra mediante una mototraílla. Posteriormente, se retiró la tierra para enterrar la piedra extraída con el objetivo de aminorar el desnivel respecto a las zonas colindantes y facilitar el drenaje.



Figura 3.2. Imágenes aéreas de la parcela experimental, con los cultivos previos a la plantación actual en 1956 (A) y fotografía de 1984 (B), donde se representa la plantación de 1980 y la zona en la que se realizó el desfondado en 1995.

La variedad principal en la parcela era ‘Tempranillo’ (*Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo) injertada sobre patrón 41B, conducida en hilera a través de una espaldera y con una formación

de doble cordón Royat y un marco de plantación de 3 x 1,2 m (Figura 3.3). Esta variedad fue la seleccionada para hacer el seguimiento de los resultados del ensayo. La producción de las cepas que no pertenecían a las parcelas experimentales habitualmente se regulaba mediante aclareo por parte del viticultor, con el objetivo de no superar el límite productivo de 6.500 kg ha⁻¹ establecido por la D.O.Ca. Rioja.



Figura 3.3. Disposición de las cepas conducidas en doble cordón Royat en la parcela experimental situada en Oion.

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

El ensayo se llevó a cabo durante cinco años consecutivos (2008-2012) y se evaluaron tres factores con cuatro repeticiones. El diseño experimental consistió en un “split-split-plot” (Figura 3.4). El factor principal fue el año con cinco niveles (2008-2012). El factor secundario fue la posición fisiográfica o zona con dos niveles. Por una parte, la zona de pendiente con una inclinación de 11-22%, con un suelo predominantemente limoso con una profundidad de 50-95 cm, clasificado como *Typic Xerorthent* (Soil Survey Staff, 2014), y regado hasta tres veces según el año, con una dosis de riego máxima de 57 L m⁻² aplicada mediante riego por goteo durante 48 h. Por otra parte, la zona de hondón con una pendiente máxima de 11%, un suelo predominantemente limoso con una profundidad mayor de 110 cm, clasificado como *Typic Xerofluvent* (Soil Survey Staff, 2014), y regado una única vez con una dosis igual a la de la pendiente el 1 de agosto de 2012. Las fechas de riego en cada zona junto con la dosis aplicada se especifican en la Tabla 3.4. La clasificación como Fluvent del suelo en esta zona se debe a que alcanzada una profundidad de 62-100 cm, hay una capa en profundidad más rica en materia orgánica que la capa inmediatamente superior, pudiendo indicar que por encima de esa profundidad se ha acumulado el suelo procedente de las pendientes por los procesos de erosión. Desde el punto de vista del manejo, el viticultor tiene en cuenta que es una zona con suelos muy profundos y por tanto con una mayor capacidad de almacenar agua (Unamunzaga

et al., 2014), lo que influye sobre la decisión de no regar de forma habitual en esta zona (Tabla 3.2). Además, tiene un contenido alto de materia orgánica en profundidad. En los suelos de la parcela el contenido medio de carbonatos es del 57% y el de caliza activa está por encima del 15%, lo que resulta en un pH de 8,5. En la Tabla 3.1 se muestra el análisis de los horizontes de dos calicatas representativas de las dos zonas evaluadas en el ensayo.

Tabla 3.1. Profundidad, color, textura, contenido de materia orgánica de los horizontes de dos perfiles representativos de las dos zonas evaluadas en el ensayo de Oion.

Zona	Profundidad (cm)	Color (húmedo) (Munsell)	Arena (g kg ⁻¹)	Limo (g kg ⁻¹)	Arcilla (g kg ⁻¹)	Clasificación (USDA)	MO (g kg ⁻¹)
Pendiente	0-21	10YR Pardo	240	500	260	Franca	19
		50/60 Amarillento					
	21-28	10YR Pardo	220	490	290	Franco-arcillosa	10
		50/40 Amarillento					
	28-42	10YR Pardo	210	510	290	Franco-arcillosa	8
		50/80 Amarillento					
	42-48	10YR Pardo	180	470	350	Franco-arcillo-limosa	9
		50/60 Amarillento					
48-60	10YR Pardo	110	470	420	Arcillo-limosa	8	
	50/80 Amarillento						
60-75	7.5YR Amarillo rojizo	40	470	490	Arcillo-limosa	6	
	70/60						
75-85	7.5YR Amarillo rojizo	40	510	450	Arcillo-limosa	3	
Hondón	0-15	10YR Pardo	220	520	250	Franco-limosa	13
		50/40 amarillento					
	15-35	10YR Pardo	230	520	250	Franco-limosa	9
		50/40 amarillento					
	35-55	10YR Pardo	250	510	230	Franco-limosa	8
		50/60 amarillento					
	55-85	10YR Pardo	240	510	260	Franco-limosa	8
		40/40 oscuro amarillento					
85-+115	10YR Pardo oscuro	110	560	320	Franco-arcillo-limosa	10	
	40/40 amarillento						

Tabla 3.2. Profundidad del suelo, capacidad de retención de agua de cada horizonte (CRA) y capacidad de retención de agua total (CRAT) de todo el perfil en cada zona de ensayo.

Zona	Profundidad (cm)	CRA (mm)	CRAT (mm)
Pendiente	10	11	74
	30	17	
	40	16	
	60	17	
	85	13	
Hondón	10	10	100
	30	13	
	40	13	
	50	13	
	60	14	
	70	14	
	100	13	
115	10		

Tabla 3.3. Profundidad y propiedades nutricionales de los horizontes de dos perfiles representativos de las dos zonas evaluadas en el ensayo de Oion.

Zona	Profundidad (cm)	pH	Nitrógeno orgánico %	C/N	Fósforo (mg kg ⁻¹)	Conductividad eléctrica (1:5) dS/m	Carbonatos (%)	Caliza activa (%)	Cationes de cambio (cmol+ kg ⁻¹)				Capacidad de intercambio catiónico (cmol+ kg ⁻¹) (Ac.NH4)
									Ca	Mg	Na	K	
Pendiente	0-19/21	8,6	0,15	7,44	183	0,35	57,44	18,12	22,5	1,98	0,26	1,82	16,18
	19/21-26/28	8,54	0,08	7,27	54,2	0,3	56,55	18,33	22,35	1,73	0,2	1,23	16,77
	26/28-38/42	8,42	0,07	6,65	2	0,29	56,51	18,24	22,76	1,14	0,2	0,57	11,87
	38/42-46/48	8,4	0,06	8,24	2,8	0,29	56,42	29,95	26,89	1,09	0,23	0,21	12,15
	46/48-56/60	8,32	0,06	7,85	1,9	0,33	54,08	21,88	27,96	1,48	0,24	0,19	13,97
	56/60-74/75	8,3	0,06	6,01	1,1	0,39	54,26	22,49	29,55	2,38	0,3	0,19	13,96
	74/75-85	8,35	0,04	5,23	0,5	0,42	56,89	22,44	25,26	2,65	0,29	0,17	13,78
Hondón	0-18/20	8,53	0,10	7,62	95,53	0,20	55,38	12,50	22,98	1,51	0,08	346	9,91
	15/20-42/44	8,63	0,07	7,81	12,27	0,17	56,21	12,89	24,09	1,22	0,10	178	8,54
	42/44-52/55	8,54	0,06	7,36	3,08	0,19	56,13	12,49	22,94	1,09	0,18	99	8,73
	52/55-80/82	8,38	0,07	6,40	0,47	0,32	54,46	12,46	24,69	1,42	0,29	61	9,68
	80/82-90	7,97	0,09	6,46	0,62	0,24	52,77	13,17	25,20	1,83	0,29	76	12,31
	90-115+	8,53	0,10	7,62	95,53	0,20	55,38	12,50	22,98	1,51	0,08	346	9,91

Fuente: Guía de itinerarios SECS, 2007.

El factor terciario fue el manejo del suelo e incluyó también dos niveles. Uno de ellos fue el manejo mediante una cubierta vegetal temporal de cebada de invierno (CV), de la variedad ‘Meseta’ (*Hordeum vulgare* L. cv. Meseta). La siembra de la cubierta se realizó durante los meses de noviembre-diciembre de cada año con un pase previo de rotavator y la posterior siembra a voleo de la cebada. El segundo manejo consistió en el suelo desnudo mantenido por laboreo convencional mediante 4-5 pases anuales de arado de fresa (SD). El suelo bajo el hilo de cepas se mantuvo libre de vegetación mediante la aplicación del herbicida glufosinato amónico.

Finalmente, para el análisis de la conductividad hidráulica no saturada (K_{nosat}), que se llevó a cabo durante el año 2012, se estableció un factor más, el estado en que se encontraban los manejos. Este cuarto factor fue anidado dentro del manejo, ya que sus cinco niveles fueron los estados que presentaban los manejos, perteneciendo tres de ellos al manejo CV: cubierta activa, cubierta agostada y cubierta segada, y dos al manejo SD: recién labrado y costra superficial desarrollada (Figura 3.4).

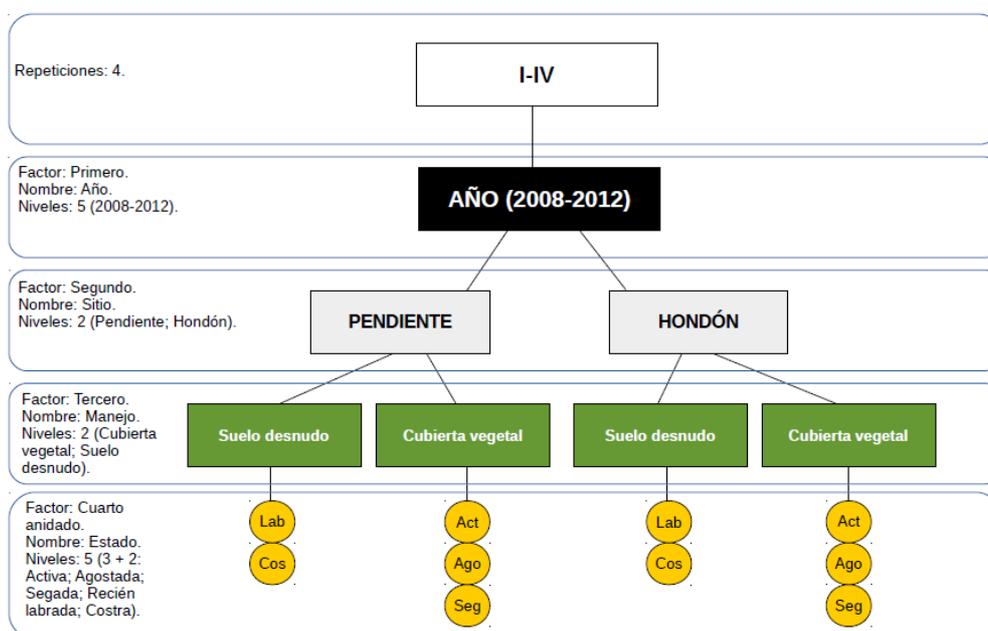


Figura 3.4. Factores considerados y sus correspondientes niveles en el ensayo de Oion.

Cada parcela experimental incluyó 10 cepas experimentales seguidas en cada extremo por cinco cepas extra para asegurar la correcta homogeneidad de los manejos. Los manejos se desarrollaron en las calles a ambos lados de cada hilera experimental.

3.3. CLIMATOLOGÍA

Según la clasificación agroclimática de Papadakis (Papadakis, 1966), el clima en la zona es continental mediterráneo semiárido. La precipitación media histórica es de alrededor de 400 L m^{-2} , y la mayor parte cae fuera del ciclo de crecimiento de la vid, desde el inicio del mes de noviembre hasta el final del mes de marzo. La temperatura media es de $13,50 \text{ }^{\circ}\text{C}$, con temperaturas máximas de alrededor de $39,00 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y mínimas de entre $-4,00$ y $-8,00 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante los años de estudio. En la Tabla 3.4 se muestra la precipitación acumulada en cada uno de los periodos de los cinco años de estudio. También se muestran los riegos aplicados en la zona de pendiente y zona de hondón en cada uno de los años de estudio. En el ciclo vegetativo de la vid en 2010 y en la dormancia de los dos últimos años de estudio la precipitación acumulada fue inusualmente baja y no alcanzó la media histórica de $400,00 \text{ L m}^{-2}$, resultando en unas condiciones meteorológicas secas. También es destacable el riego que se aplicó en agosto del último año de estudio; ya que fue el único riego aplicado en la totalidad de la parcela, en respuesta a las mencionadas condiciones extremas (precipitación anual acumulada de alrededor de $236,00 \text{ L m}^{-2}$).

Tabla 3.4. Precipitación acumulada (Pp), riegos aplicados, evapotranspiración de referencia acumulada (ET₀) y radiación solar (Rg) media en cada periodo del ciclo vegetativo y en su totalidad.

Año	Periodo	Pp (L m ⁻²)	Riego (L m ⁻²)		ET ₀
			Pendiente	Hondón	
2008	Dormancia	130	57	-	248
	Brotación-Floración	253	-	-	158
	Floración-Cuajado	13	-	-	56
	Cuajado-Envero	77	-	-	279
	Floración-Envero	91	-	-	335
	Envero-Cosecha	68	-	-	200
	Ciclo vegetativo	412	-	-	694
2009	Dormancia	337	-	-	310
	Brotación-Floración	58	-	-	192
	Floración-Cuajado	26	-	-	53
	Cuajado-Envero	33	57	-	297
	Floración-Envero	59	-	-	350
	Envero-Cosecha	49	-	-	225
	Ciclo vegetativo	166	-	-	767
2010	Dormancia	252	-	-	350
	Brotación-Floración	46	-	-	194
	Floración-Cuajado	9	-	-	50
	Cuajado-Envero	48	-	-	258
	Floración-Envero	57	-	-	308
	Envero-Cosecha	18	57	-	240
	Ciclo vegetativo	121	-	-	742
2011	Dormancia	180	-	-	312
	Brotación-Floración	54	-	-	183
	Floración-Cuajado	53	-	-	38
	Cuajado-Envero	25	-	-	270
	Floración-Envero	78	133	-	308
	Envero-Cosecha	42	-	-	269
	Ciclo vegetativo	174	-	-	761
2012	Dormancia	119	-	-	383
	Brotación-Floración	61	-	-	193
	Floración-Cuajado	7	-	-	49
	Cuajado-Envero	21	-	-	339
	Floración-Envero	28	114	57	388
	Envero-Cosecha	19	-	-	258
	Ciclo vegetativo	107	-	-	839

3.4. SEGUIMIENTO FENOLÓGICO

El seguimiento fenológico se realizó mediante el seguimiento y descripción visual de la vid durante las visitas a la parcela. Las fechas para cada estado fenológico se establecieron cuando más del 50% de las plantas se encontraban dentro de los estados descritos. Para la descripción de los distintos estados se tomó como referencia el sistema propuesto por Coombe (1995), aunque no todas las fases propuestas en el mencionado trabajo fueron descritas. Así, las características establecidas para cada estado fenológico por este autor fueron tenidas en cuenta para determinar las fechas de brotación, floración, cuajado y envero. Las fechas de vendimia no se establecieron mediante el seguimiento fenológico, ya que al tratarse de un viñedo comercial se siguieron los criterios del viticultor, realizándose la

recolección de uva con una semana de antelación respecto a la fecha concretada por la bodega. En la Tabla 3.5 se muestran las fechas de los estados fenológicos de la vid.

Tabla 3.5. Fechas de brotación, floración, cuajado, envero y vendimia para el periodo de estudio (2008-2012).

Estado fenológico	Año experimental				
	2008	2009	2010	2011	2012
Brotación	30/04/2008	25/04/2009	30/04/2010	17/04/2011	18/04/2012
Floración	15/06/2008	08/06/2009	15/06/2010	29/05/2011	01/06/2012
Cuajado	25/06/2008	18/06/2009	24/06/2010	08/06/2011	11/06/2012
Envero	15/08/2008	06/08/2009	09/08/2010	28/07/2011	04/08/2012
Vendimia	13/10/2008	01/10/2009	05/10/2010	19/09/2011	26/09/2012

3.5. DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA NO SATURADA (K_{nosat}) DEL SUELO

Las medidas de conductividad hidráulica no saturada (K_{nosat}) se tomaron únicamente en el año 2012 dentro de los diferentes estados que mostraban los dos manejos ensayados (CV y SD). Para ello, antes de tomar las medidas de K_{nosat} se caracterizaron los principales estados que mostraba cada uno de los manejos. Como se ha indicado anteriormente, para el manejo CV se determinaron tres estados: cubierta vegetal activa, cubierta vegetal agostada y cubierta vegetal segada dejando el rastrojo, y para el manejo SD dos: suelo desnudo recién labrado y suelo desnudo sellado por el desarrollo de la costra superficial (Figura 3.5). Una vez definidos los estados de cada manejo, se estableció un calendario de muestreo con seis momentos de medida (A-F) para poder comparar todas sus posibles combinaciones (Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Fechas de medida de la conductividad hidráulica no saturada (K_{nosat}), el periodo del ciclo vegetativo y el estado de cada manejo del suelo en cada en las fechas de medida y el momento establecido.

Fecha	Periodo	Estado del manejo		Momento
		Cubierta vegetal	Suelo desnudo	
17/05/2012	Brotación-Floración	Activa	Costra	A
30/05/2012	Brotación-Floración	Activa	Labrado	B
18/06/2012	Cuajado-Envero	Agostada	Costra	C
09/07/2012	Cuajado-Envero	Agostada	Labrado	D
18/07/2012	Cuajado-Envero	Segada	Labrado	E
21/08/2012	Envero-Cosecha	Segada	Costra	F

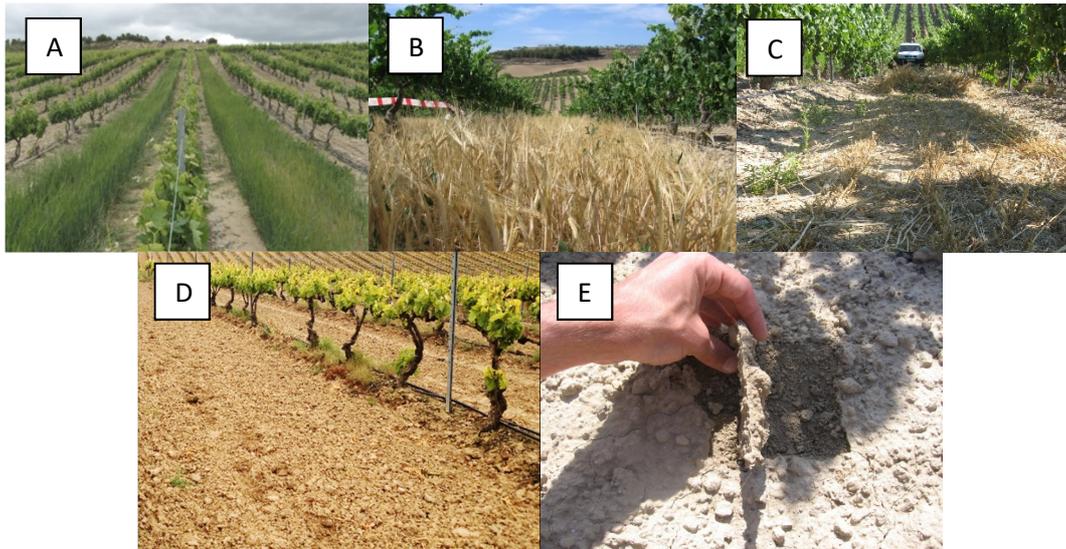


Figura 3.5. Aspecto de las parcelas bajo los diferentes estados de los dos manejos ensayados. (A) Cubierta vegetal en su fase activa; (B) cubierta vegetal agostada; (C) cubierta vegetal segada manteniendo el rastrojo; (D) suelo desnudo durante el primer evento de precipitación tras su labrado; (E) suelo desnudo sellado con costra superficial poco desarrollada.

La K_{nosat} se determinó a través de la medida de la infiltración acumulada transicional durante un tiempo limitado de cinco minutos con un infiltrómetro de minidisco (Mini Disk Infiltrometer®, Decagon Devices, USA) (Figura 3.6). Se denomina infiltración transicional a la entrada de agua en el suelo antes de su saturación, en la cual, además de la gravedad, también interviene otro factor conocido como sorptividad (Zhang, 1997). Para este trabajo se tomaron dos medidas de infiltración transicional acumulada por parcela en cada momento de muestreo, una medida a cada lado de la hilera de cepas.



Figura 3.6. Infiltrómetro de minidisco en el momento de medida en el ensayo de Oion en el año 2012.

El infiltrómetro de minidisco que se utilizó para la toma de medidas (Figura 3.7) cuenta con un cuerpo tubular separado en dos cámaras, una inferior que contiene el agua que se infiltra, y otra superior cuya función es regular la succión. Ambas cámaras están separadas por un disco de goma y están comunicadas mediante el tubo Mariotte. La cámara inferior contiene el reservorio de agua que se infiltrará en el suelo y tiene en su base un disco poroso de 2,2 cm de radio en contacto con el tubo Mariotte, a través del cual pasará el agua que se infiltra en el suelo. La cámara superior o cámara de burbujeo también se llena de agua, y en este agua se sumerge un segundo tubo que regulará la succión. Dependiendo del grado de inmersión de este último tubo regulador en el agua se ejercerán distintas succiones (Figura 3.7).

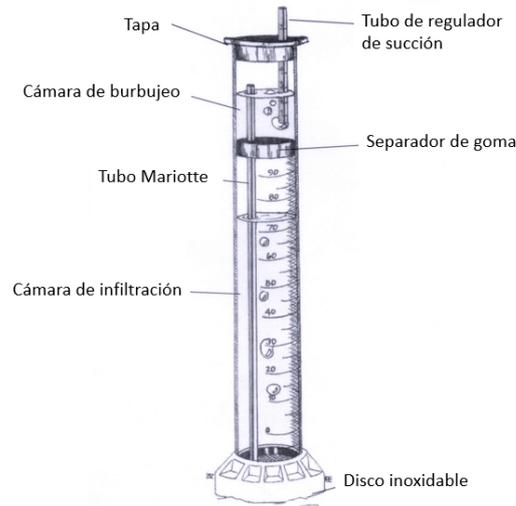


Figura 3.7. Representación del infiltrómetro de minidisco. Fuente: Decagon Devices (2006).

Con las infiltraciones acumulativas transicionales se calculó la conductividad hidráulica del suelo aplicando el método propuesto por Zhang (1997), mediante la utilización de las ecuaciones de Warrick (1992) y Haverkamp *et al.* (1994). De este modo, la conductividad hidráulica se ajustó a la siguiente ecuación mediante su relación con la raíz cuadrada del tiempo de medida [Eq. 1]:

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t} \quad [1]$$

Donde, t es el tiempo (s) e I la infiltración transicional acumulada. Los parámetros C_1 y C_2 están relacionados con la conductividad y la sorptividad, respectivamente. Así, en nuestro caso utilizamos C_1 (cm s^{-1}) para calcular la conductividad hidráulica mediante la siguiente ecuación [Eq. 2]:

$$K_{nosat} = C_1 / A \quad [2]$$

Los valores de A son calculados con las siguientes ecuaciones [Eq. 3; Eq. 4]:

$$A = 11,65 (n^{0,1} - 1) \exp[2,92(n - 1,9)\alpha h_0] / (\alpha r_0)^{0,91} \quad n \geq 1,9 \quad [3]$$

$$A = 11,65 (n^{0,1} - 1) \exp[7,5(n - 1,9)\alpha h_0] / (\alpha r_0)^{0,91} \quad n < 1,9 \quad [4]$$

En las ecuaciones expuestas, n y α son los parámetros de Van Genuchten, específicos para cada tipo de suelo según su textura, y fueron fijados por Carsel y Parrish (1988) para 12 clases de texturas. El parámetro h_0 es la altura a la que se regula el tubo de entrada de aire para la succión que se quiera ejercer y r_0 es el radio del disco del infiltrómetro. Así, la altura de succión se regula posicionando el tubo de entrada de aire entre 0,5 cm y 6 cm, el radio del minidisco es de 2,2 cm, y en nuestro ensayo la succión aplicada fue de -2,00 cm.

3.6. ESTADO HÍDRICO DE LA VID

El estado hídrico de las vides se determinó mediante la medida del potencial hídrico en tallo al mediodía solar (Ψ_s^{md}) (14:00-15:00 h en la zona horaria GMT+2) con una cámara de presión de Scholander *et al.* (1965) provista de un manómetro, que indica la presión existente dentro de la cámara (MPa). Para la toma de esta medida se seleccionaba una hoja situada en la parte media del dosel, en tres de las diez cepas experimentales. Las hojas en las que se iba a medir el Ψ_s^{md} se cubrían con una bolsa hermética y con papel de aluminio con una hora de antelación a la medida para provocar el cierre estomático. De este modo, el potencial de la hoja se iguala al potencial en el tallo. Una vez transcurrida la hora, las hojas se cortaban desde el peciolo de una en una evitando que transcurriese un tiempo excesivo hasta la medida de su Ψ_s^{md} . La hoja se introducía en una cámara de presión hermética de la cual sobresalía el peciolo. Paulatinamente, se aplicaba presión dentro de la cámara mediante la inyección de nitrógeno gaseoso. La presión ejercida por el gas provocaba la salida de la savia por la zona del corte en el peciolo. En el momento exacto que exudaba la savia se anotaba la presión que indicaba el manómetro (Figura 3.8). Esta lectura representaba la tensión a la que se encontraba la savia en el momento de su extracción y, por tanto, la tensión a la que se encontraba la savia en el tallo de la cepa. Al tratarse de una medida de tensión, el potencial se expresa en valores negativos de presión (MPa). Cuanto más se acerque el potencial a 0,00 MPa menor será el estrés que sufre la planta, por el contrario, cuanto más negativo sea el valor del potencial, mayor estrés suele presentar la planta (Scholander *et al.*, 1965).



Figura 3.8. Medida del potencial hídrico con la cámara de Scholander (1965).

Las medidas de Ψ_s^{md} tuvieron una periodicidad quincenal desde floración hasta la vendimia y se tomaron también medidas puntuales después de episodios de lluvias y tras la aplicación de riegos. En la Tabla 3.7 se muestra el calendario de medidas de potencial hídrico de la vid durante cada año de estudio.

Tabla 3.7. Número anual de medidas de potencial hídrico en tallo al mediodía solar y fecha en la que se tomaron en cada uno de los años de estudio en el ensayo de Oion.

Medida	Potencial hídrico en tallo al mediodía solar (Ψ_s^{md})				
	2008	2009	2010	2011	2012
1	10/07/2008	10/06/2009	07/06/2010	02/06/2011	28/05/2012
2	17/07/2008	23/06/2009	24/06/2010	15/06/2011	14/06/2012
3	29/07/2008	08/07/2009	07/07/2010	28/06/2011	26/06/2012
4	13/08/2008	17/07/2009	21/07/2010	11/07/2011	12/07/2012
5	25/08/2008	27/07/2009	10/08/2010	18/07/2011	17/07/2012
6	08/09/2008	10/08/2009	19/08/2010	28/07/2011	26/07/2012
7	01/10/2008	19/08/2009	31/08/2010	02/08/2011	02/08/2012
8		08/09/2009	13/09/2010	16/08/2011	10/09/2012
9			28/09/2010	30/08/2011	20/09/2012
10				15/09/2011	

3.7. DIÁMETRO DEL PÁMPANO

El diámetro de los pámpanos principales se midió en cinco cepas por parcela experimental. Se tomaron las medidas de todos los pámpanos del brazo orientado hacia el norte en cada una de las vides seleccionadas. La medida se hizo con una periodicidad semanal-quincenal dependiendo del momento del ciclo de la vid. Las fechas de medida se muestran en la Tabla 3.8. La medida se hizo en el primer entrenudo de cada pámpano en el caso de que la longitud entre los nudos fuese mayor a un pulgar y se optó por el segundo entrenudo en el caso de que la longitud del primero fuese menor, ya que en los entrenudos cortos la medida correcta del diámetro es complicada. Teniendo en cuenta la forma ovalada de la sección de los pámpanos, la medida se realizó mediante un calibre digital de tal forma que se tomaba el diámetro mayor de su sección (Figura 3.9). En todos los casos, se contaba el número de

pámpanos, lo cual permitió identificar pérdidas de algunos de ellos, sobre todo en la fase inicial del ciclo; el conteo también permitía el posterior cálculo del diámetro medio del pámpano para cada cepa.

Tabla 3.8. Número anual de medidas del diámetro de pámpano y fecha en la que se tomaron las medidas en cada uno de los años de estudio en el ensayo de Oion.

Medida	Diámetro de pámpano				
	2008	2009	2010	2011	2012
1	23/07/2008	21/05/2009	25/05/2010	23/05/2011	30/05/2012
2	05/08/2008	04/06/2009	18/06/2010	09/06/2011	18/06/2012
3	20/08/2008	18/06/2009	24/06/2010	22/06/2011	03/07/2012
4	02/09/2008	30/06/2009	01/07/2010	04/07/2011	17/07/2012
5	17/09/2008	11/08/2009	13/07/2010	20/07/2011	01/08/2011
6	30/09/2008	08/10/2009	27/07/2010	11/08/2011	14/08/2012
7			12/08/2010	23/08/2011	28/08/2012
8			24/08/2010	06/09/2011	13/09/2012
9			07/09/2010		
10			21/09/2010		

La fecha de la parada de engrosamiento del pámpano en cada ciclo vegetativo se calculó a partir de la fecha de brotación (Tabla 3.5), por lo que los días que transcurrían entre la brotación y la parada del engrosamiento del pámpano se hacía sumando el número de días entre la brotación y la fecha de la primer medida del grosor del pámpano, y el número de días transcurridos entre esta primera medida y el día en que paraba el engrosamiento de los pámpanos calculado con la ecuación regresión lineal-plateau que se ajustaba a los datos de los diámetros medios de los pámpanos.



Figura 3.9. Momento de medida del diámetro basal de un pámpano en el ensayo de Oion.

3.8. PESO DE LA MADERA DE PODA

Para la medida del peso de la madera de poda se hizo una poda manual anterior a la poda realizada por el viticultor. El punto de sección de la poda se localizó en el segundo entrenudo de cada pámpano, asegurando dejar dos yemas sanas para su brotación durante el ciclo siguiente. Tras podar todos los pámpanos de cada cepa, se pesaban en la misma parcela con una balanza de pesaje manual. Después se trocearon algunos y fueron depositados en bolsas de papel independientes por cada cepa para trasladarlos al laboratorio. En el laboratorio se procedió a su secado para determinar el peso seco de la madera de poda. Los sarmientos se mantuvieron en una estufa de secado hasta peso constante. Una vez determinado el porcentaje de humedad de la madera en cada caso, este dato se utilizó para el cálculo del peso seco.

3.9. PRODUCCIÓN DE UVA

Las vendimias de las cepas experimentales se llevaron a cabo aproximadamente con una semana de antelación a la vendimia de la parcela por la bodega. Así, el momento en el que se midió la producción varió según las condiciones de maduración de cada año. Los racimos de cada cepa se vendimiaron y pesaron de manera separada, y se contó el número de racimos por cada cepa. Una vez medida la producción en número de racimos por cepa y peso de uva por cepa, se tomaron tres muestras de 1,5 L de volumen de bayas en cada parcela experimental, cortando las bayas con el cuidado necesario para no alterar su forma y consistencia, manteniendo la parte del raspón necesaria para ello (Figura 3.10). Las bayas se separaron de racimos seleccionados de manera aleatoria dentro de cada parcela experimental, y se tomaban de la parte baja, media y hombros de cada racimo. Una vez medida la producción por cepa y separadas las bayas para determinar el peso de 100 bayas dentro de cada parcela experimental, se llenaron tres cajas de 45 L de uva por parcela, que después fueron llevadas a la bodega para su despallado y estrujado.



Figura 3.10. Recolección de partes de racimo y almacenamiento en botes para la posterior extracción de 100 bayas en el momento de la vendimia en el ensayo de Oion.

3.10. ÍNDICE DE RAVAZ

A partir de la producción unitaria por cepa (kg uva cepa^{-1}) y del peso de la madera de poda ($\text{kg madera cepa}^{-1}$) se calculó el Índice de Ravaz (IR) como el cociente de los mencionados parámetros. Este índice es indicador del equilibrio entre la producción y el desarrollo vegetativo del viñedo.

3.11. CALIDAD DEL MOSTO

Una vez despalillada la uva de cada parcela y extraído el mosto mediante su estrujado, éste se depositó en un barril individual de PVC apto para uso alimentario de 75 L. Se tomó una muestra del mosto por barril y posteriormente se añadió metabisulfito potásico para evitar la proliferación de microorganismos no deseados y el consiguiente deterioro de los mostos. Las muestras de mosto fueron llevadas a La Casa del Vino (Diputación Foral de Álava) para su análisis. En los análisis del mosto se determinaron el grado probable (% Vol.), la acidez total tartárica (g L^{-1}), el pH y la concentración de ácido L-málico (g L^{-1}) en todos los años de estudio, y la concentración de nitrógeno fácilmente asimilable (mg L^{-1}) en los años 2010, 2011 y 2012. Para el análisis de los componentes del mosto, se utilizaron los siguientes procedimientos:

- a) Grado alcohólico probable: Medida directa por refractometría. Los resultados se expresaron en % Vol.
- b) pH: Potenciometría automática.

- c) Acidez total tartárica: se determinó por el método de valoración potenciométrica. La acidez total es la suma de los ácidos valorables cuando se lleva el pH a 7 añadiendo una solución alcalina valorada. El método de valoración potenciométrica se basa en la valoración en presencia de azul bromotimol como indicador de reacción, mediante comparación con un patrón de coloración. La acidez total tartárica se expresó en g L^{-1} de ácido tartárico.
- d) Ácido L-málico: el contenido de ácido málico se determinó por el método enzimático. Los resultados se expresaron en g L^{-1} de ácido málico.
- e) Nitrógeno fácilmente asimilable (NFA): Se analizó mediante valoración acidométrica. Los resultados se expresaron en mg L^{-1} .

3.12. CALIDAD DEL VINO

El proceso de microvinificación se realizó primero en los ya mencionados bidones de PVC de 75 L. En estos bidones, al mosto proveniente de cada parcela experimental tras el despalillado en la bodega, se le añadió como ya se ha indicado metabisulfito potásico, y tras 24 horas se le inocularon levaduras para su fermentación alcohólica. El seguimiento de la fermentación se realizó controlando la densidad y la temperatura del propio mosto diariamente, además de la temperatura ambiental. El descenso progresivo de °Brix se fue midiendo con un refractómetro. Cuando se estimó que la primera fermentación había concluido por la estabilización de las densidades, las temperaturas y la desaparición de azúcares, se tomaron muestras para determinar la concentración de azúcares reductores y para establecer el fin de la fermentación alcohólica. Una vez finalizada la fermentación alcohólica, el vino resultante se trasegó a recipientes de vidrio y se inoculó con bacterias malolácticas para comenzar con la fermentación del ácido málico y transformarlo a ácido láctico. Considerando que las bacterias responsables de esta segunda fermentación son bacterias anaerobias, los recipientes de cristal se mantuvieron cerrados herméticamente y se les aplicó vacío periódicamente mediante bombas de vacío para minimizar el contacto con el aire. Para controlar el final de la fermentación del ácido málico se utilizó un kit comercial de cromatografía líquida. Una vez que se corroboró su finalización, se tomaron muestras de vino y se llevaron a La Casa del Vino (Diputación Foral de Álava) para su análisis. El vino con los hollejos resultante de las microvinificaciones se prensó con una prensa hidráulica, se filtró y se embotelló de manera individual, siendo etiquetado para su posterior almacenamiento hasta la evaluación sensorial. Los parámetros que se analizaron en el caso de los vinos fueron el grado adquirido (% Vol.), el pH, la acidez total tartárica (g L^{-1}), la concentración de antocianos (mg L^{-1})

y la intensidad colorante (A420, A520, A620), y el índice de polifenoles totales (IPT) (A280).

Para el análisis de los componentes del vino se llevaron a cabo los siguientes procedimientos:

- a) Grado adquirido: Se analizó mediante espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR), en el cual se mide la absorbancia de la muestra a una longitud de onda entre 800 y 2600 nm. Los resultados se expresaron en % Vol.
- b) pH: Se analizó mediante potenciometría automática.
- c) La acidez total tartárica: Se analizó mediante valoración potenciométrica. Los resultados se expresaron en g L⁻¹.
- d) La concentración de antocianos: Se analizó mediante la decoloración mediante bisulfito midiendo la absorbancia a 520 nm (Ribéreau-Gayon y Stonestreet, 1965). Los resultados se expresaron en mg L⁻¹.
- e) La intensidad colorante: se determinó mediante espectrofotometría, dando la suma de las absorbancias a longitudes de onda de 420, 520 y 620 nm.
- f) El índice de polifenoles totales (IPT): se determinó mediante espectrofotometría, determinando la absorbancia a una longitud de onda de 280 nm.
- g) Potasio: Se determinó mediante espectrofotometría de emisión. Los resultados se expresaron en mg L⁻¹.

3.13. ASPECTOS SENSORIALES DEL VINO

Para comparar las cualidades organolépticas básicas de los vinos elaborados a partir de cepas bajo distintos manejos, se realizaron catas con un panel de enólogos con los vinos de los años 2010, 2011 y 2012. Las características evaluadas fueron las establecidas en la ficha estandarizada de valoración para vinos tranquilos de la Organización Internacional del Vino (OIV). Estas características se dividen en tres aspectos sensoriales: vista, gusto y olfato. En cuanto a la vista, se evalúan la limpidez y el aspecto. Para la valoración del olfato se puntúan la franqueza, la intensidad positiva y la calidad. En cuanto al gusto, se valoran la franqueza, la intensidad positiva, la persistencia armoniosa y la calidad. Finalmente, se determina la puntuación de la armonía entre los aspectos sensoriales y el juicio global de cada miembro del panel y se determina una puntuación total.

Los vinos evaluados en ningún caso permanecieron más de ocho meses embotellados. Al panel de evaluadores en ningún caso se le facilitó información sobre el ensayo antes de la evaluación de los vinos. Se desestimaron las fichas de evaluación con puntuaciones intermedias o ausentes.

3.14. ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES Y MICRONUTRIENTES EN MATERIAL VEGETAL

Para el análisis de macronutrientes y micronutrientes en material foliar, se tomaron muestras de tres hojas por cepa en cada parcela experimental durante el envero. Las hojas se tomaron de la parte baja, media y alta del dosel. Una vez transportadas al laboratorio, se lavaron con ácido cítrico, se separaron los limbos de los peciolos y se procedió a su desecado en una estufa a una temperatura constante de 35 °C.

La determinación del nitrógeno foliar se realizó con el analizador elemental LECO TruSpec CHN-S Macro. Con este instrumento, el nitrógeno de las muestras foliares se analizaba mediante la combustión a 950 °C en presencia de oxígeno. Así, el nitrógeno se oxida y se volatiliza y se obtiene N₂ como residuo, que se determina mediante conductividad térmica.

Para la determinación del fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn) y cobre (Cu), primero se procedió a la digestión ácida de las muestras y, posteriormente, se determinó la concentración de cada elemento mediante espectrofotometría de absorción atómica (Varian SpectrAA 220 FS). La matriz orgánica de las muestras se eliminaba mediante la oxidación por vía húmeda, con una mezcla de ácidos nítrico (HNO₃) y perclórico (HClO₄) (85%-15%). Tras la digestión, la muestra se recogía en el perclórico residual que quedaba tras la digestión y se disolvía en ácido nítrico al 1%. Posteriormente, se procedió a la determinación de los mencionados elementos con los respectivos patrones de trabajo.

3.15. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Para el tratamiento estadístico inicial se compararon las medias considerando los tres factores de forma conjunta mediante el procedimiento ANOVA. No obstante, tras este primer análisis estadístico, las comparaciones entre zonas y manejos se hicieron de manera separada para cada año, ya que en todos los casos hubo interacción significativa entre el factor año y el resto de factores. También hubo interacción positiva en la mayoría de los casos y parámetros entre los factores zona y manejo. Por tanto, para facilitar el análisis de la relación entre distintos parámetros, las zonas se compararon por separado dentro del manejo con suelo desnudo y dentro del manejo con cubierta vegetal. De forma similar, la comparación de los manejos se hizo por un lado dentro de la pendiente y por otro dentro del hondón. En el caso del peso de la madera de poda, de los parámetros de producción y de los parámetros de calidad, las medias de cada parámetro en cada manejo dentro de cada zona se ordenaron según el test de Duncan. Las demás comparaciones entre zonas y manejos se llevaron a cabo mediante el procedimiento Modelo Lineal General (GLM).

Como anteriormente se ha expuesto en el apartado 3.5, al describir la medida de la conductividad hidráulica no saturada (K_{nosat}) se tuvo en cuenta un cuarto factor adicional, el estado de la cubierta vegetal y superficie del suelo desnudo. Como se ha indicado anteriormente, para la cubierta vegetal se determinaron tres estados: cubierta vegetal activa, cubierta vegetal agostada y cubierta vegetal segada dejando el rastrojo sobre el suelo; y para el manejo mediante suelo desnudo dos: suelo desnudo recién labrado y suelo desnudo sellado por el desarrollo de la costra superficial. Dado que los niveles de este factor no se distribuyen de forma uniforme en el factor superior, este factor se considera como un factor anidado. Por lo tanto, el factor estado fue un factor anidado dentro del factor manejo. Teniendo esto en cuenta, las comparaciones entre manejos de los distintos estados se hicieron con el diseño 'nested' o diseño de factor anidado, es decir, contrastes a dos con las combinaciones posibles de estados dentro de cada manejo.

En el caso de los diámetros medios del pámpano se ajustaron ecuaciones de regresión lineal-plateau con las medidas de crecimiento y para su cálculo se utilizó estadístico SPSS v 16.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, USA). Para el resto de los análisis estadísticos se utilizó el software SAS v 9.3 (SAS Institute Inc., North Carolina, USA).

**4. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO Y LA
POSICIÓN FISIAGRÁFICA EN LA
CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA NO
SATURADA (K_{nosat}) Y EL ESTADO
HÍDRICO DE LA VID**

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Conductividad hidráulica no saturada del suelo (K_{nosat})

Cuando se compararon las conductividades (K_{nosat}) entre los distintos estados que mostraba la cubierta vegetal, no se encontró ninguna diferencia significativa entre los mismos (Tabla 4.1). A pesar de la ausencia de significación, los valores medios de K_{nosat} fueron aparentemente mayores cuando la cubierta estaba activa frente a la cubierta agostada. Después de la siega, la K_{nosat} de la cubierta segada también fue mayor que las de la cubierta activa y agostada. Al comparar los diferentes estados dentro del manejo SD, los valores de K_{nosat} del suelo recién labrado fueron significativamente mayores en comparación a los del suelo con costra superficial (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Contrastes entre los estados de la cubierta anidados dentro del tratamiento de cubierta vegetal y de suelo desnudo para la conductividad hidráulica del suelo (K_{nosat}).

Contraste	K media (cm s^{-1})		Valor p
Activa vs Agostada	$3,18 \times 10^{-4}$	$2,37 \times 10^{-4}$	0,5701ns
Activa vs Segada	$3,18 \times 10^{-4}$	$4,59 \times 10^{-4}$	0,4333ns
Agostada vs Segada	$2,37 \times 10^{-4}$	$4,59 \times 10^{-4}$	0,1901ns
Costra vs Labrada	$3,07 \times 10^{-4}$	$9,19 \times 10^{-4}$	<0,0001*

ns, diferencia no significativa entre los estados de la cubierta comparados; *, diferencia significativa entre los estados de la cubierta comparados (Prob.<0,05).

Las comparaciones de K_{nosat} entre los manejos se hicieron en los seis momentos indicados en la Figura 4.1. El único momento en el que la K_{nosat} del manejo CV fue significativamente superior a la del manejo SD fue el momento A (comparación entre cubierta vegetal activa y suelo desnudo con costra) y la diferencia se observó sólo en la zona de pendiente (Figura 4.1). Cuando el suelo desnudo estaba recién labrado (momentos B y D) la K_{nosat} con el manejo SD fue más alta que la del manejo CV, aunque esas diferencias fueron significativas tan solo en la zona de hondón. En el momento E, con el SD recién labrado y CV segada, los valores de K_{nosat} fueron similares bajo ambos manejos y en ambas zonas. Finalmente, en el momento F, cuando el suelo desnudo había desarrollado costra superficial y el rastrojo todavía permanecía en el manejo CV, no se observó ninguna diferencia significativa entre los estados del manejo en ninguna de las dos zonas de la parcela (Figura 4.1).

En cuanto a las diferencias entre zonas dentro del mismo manejo, no se observó ninguna diferencia significativa entre la pendiente y el hondón para la K_{nosat} (Figura 4.1).

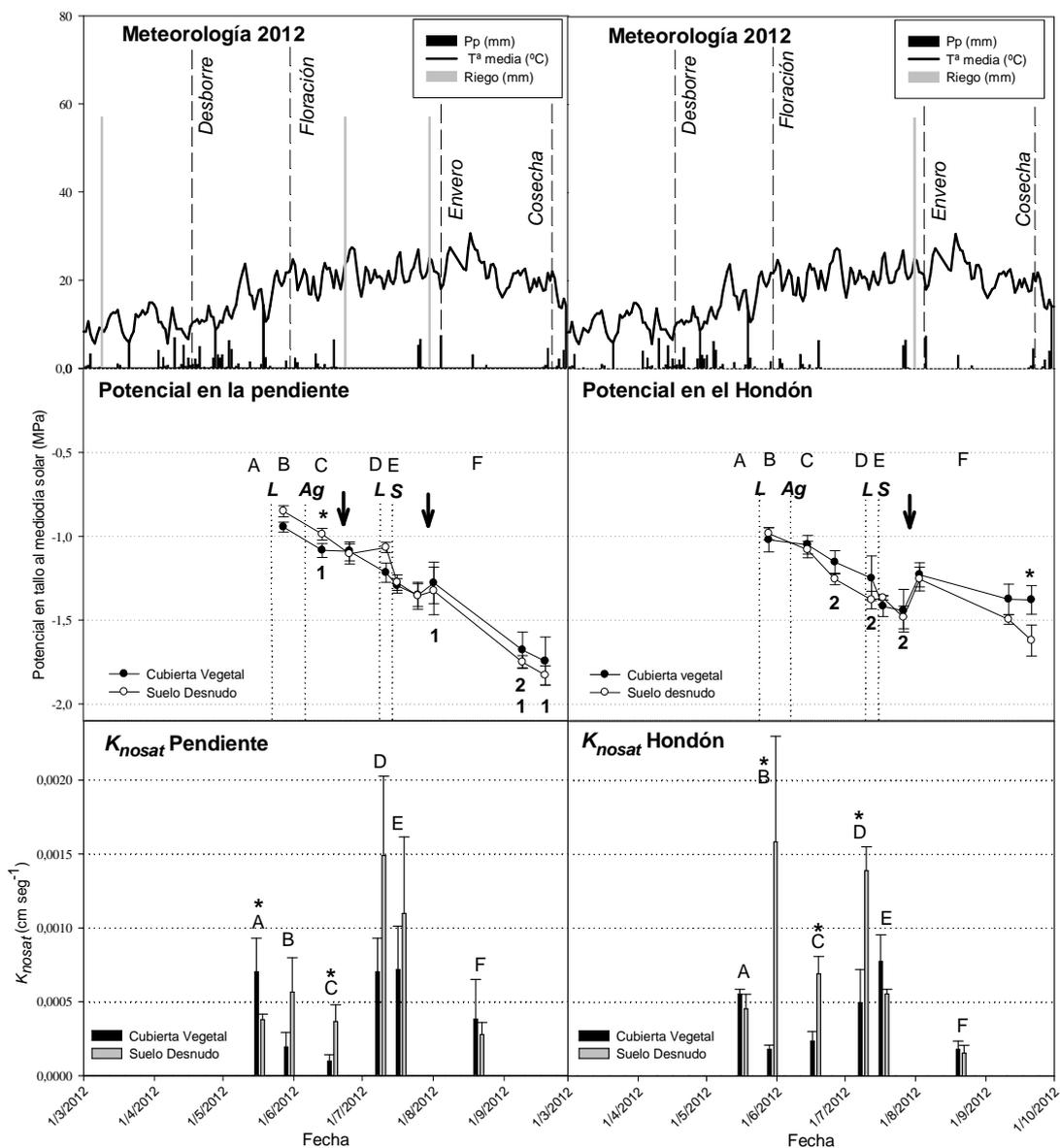


Figura 4.1. Datos climatológicos, estados fenológicos, valores del potencial hídrico (Ψ_s^{md}) y valores de la conductividad hidráulica no saturada (K_{nosat}) del suelo en las dos zonas de la parcela para los dos manejos en el año 2012. Momentos establecidos para la comparación de las conductividades; (A) Cubierta activa/Costra; (B) Cubierta activa/Labrado; (C) Cubierta agostada/Costra; (D) Cubierta agostada/Labrado; (E) Cubierta segada/Labrado; (F) Cubierta segada/Costra. Fases de la cubierta y operaciones de labrado; (L) laboreo; (Ag) momento de agostado; y (S) momento de siega de la cebada. (*) Valores con un asterisco indican una diferencia significativa entre manejos dentro de cada zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 indican potencial significativamente menor bajo el manejo con cubierta vegetal (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican un potencial significativamente menor bajo el manejo con suelo desnudo (Prob.<0,05).

4.1.2. Determinación del estado hídrico de la vid mediante el potencial hídrico en tallo al mediodía solar (Ψ_s^{md})

El comienzo del periodo de medida para Ψ_s^{md} tuvo lugar en fechas cercanas a la floración durante todos los años de estudio excepto en 2008, en el cual se comenzó a medir entre el cuajado y el envero (Figura 4.2). Así, en la zona de pendiente, entre la primera medida del Ψ_s^{md} y el cuajado, los potenciales bajo el manejo CV se situaron en valores entre -1,00 MPa

y -1,20 MPa, mientras bajo SD los valores eran superiores a -1,00 MPa. Durante este periodo hubo diferencias entre manejos con una tendencia generalizada a potenciales más negativos bajo CV. Estas diferencias se encontraron durante todos los años excepto en 2010 en la pendiente (Figura 4.2).

Desde cuajado a envero, las diferencias del periodo anterior tendían a igualarse hacia el envero en la pendiente, y los potenciales descendían hasta situarse en valores cercanos a -1,50 MPa (Figura 4.2), coincidiendo con una menor precipitación. Cuando se aplicaron riegos en la pendiente durante el período 2009-2012, los potenciales respondían de manera similar bajo ambos manejos en esta zona, aunque en algunos casos la respuesta bajo CV parecía más precoz y ligeramente más pronunciada, como se podía observar tras la aplicación de los primeros dos riegos en 2011 y tras la aplicación del primero en 2012 (Figura 4.2). En el resto de riegos aplicados la evolución de Ψ_s^{md} fue similar en los dos manejos en la pendiente. Las respuestas de Ψ_s^{md} bajo CV al riego en 2011 fueron las más intensas, mostrando incluso diferencias opuestas antes y después del riego entre manejos. El único año en que se mantuvieron las diferencias iniciales de potencial hídrico hasta después de envero fue el año 2008, siendo el Ψ_s^{md} significativamente más negativo bajo CV hasta la primera medida tras el envero (Figura 4.2), ya que en este año no se realizaron riegos durante el período vegetativo.

Los valores de Ψ_s^{md} tras el envero estuvieron influenciados por los riegos en 2010 y 2011 en la pendiente, y tras éstos el Ψ_s^{md} mostró ascensos similares bajo CV y SD (Figura 4.2). La evolución posterior del Ψ_s^{md} bajo ambos manejos también fue similar el resto de años de estudio en esta zona. Los valores finales alcanzados por el potencial en la zona de pendiente se situaron alrededor de -1,80 MPa en CV y -1,60 MPa bajo SD en 2008, cerca de -1,55 MPa en los dos manejos en 2010 y 2011, y cerca de -1,80 MPa en ambos manejos en 2012. Los únicos valores de Ψ_s^{md} superiores a -1,50 MPa en la pendiente se observaron en 2009, estando entre -1,35 MPa bajo CV y -1,45 MPa bajo SD (Figura 4.2).

Entre la primera medida de Ψ_s^{md} y el cuajado, en el hondón los valores de Ψ_s^{md} no bajaron de -1,00 MPa excepto en el año 2012. Por lo general, los manejos no se diferenciaron, a excepción del año 2011 en este periodo, en el que el Ψ_s^{md} fue significativamente más negativo bajo CV (Figura 4.2).

De cuajado a envero, la única diferencia entre manejos fue la de la medida inmediatamente posterior a cuajado en 2011 en el hondón, con un potencial más negativo bajo CV (Figura 4.2). Durante los primeros tres años experimentales los potenciales en ningún caso bajaron de -1,00 MPa hasta la medida inmediatamente anterior al envero en esta zona.

Los últimos dos años, los potenciales fueron menores a -1,00 MPa a partir de cuajado (Figura 4.2). Por tanto, la evolución del Ψ_s^{md} fue similar bajo los dos manejos tras el cuajado, pero los valores alcanzados por el Ψ_s^{md} en envero variaron de año en año. En los tres primeros años de ensayo, los potenciales en envero estaban por encima del valor de -1,50 MPa en el hondón (Figura 4.2). En 2011 los potenciales se situaron alrededor del mencionado valor, y en 2012, tras el riego aplicado en toda la parcela, los valores en envero fueron de alrededor de -1,30 MPa, aunque en la medida anterior al riego se encontraban cerca de -1,50 MPa (Figura 4.2).

Después del envero, las únicas diferencias entre los manejos en el hondón fueron las del final de los ciclos de 2009 y 2012, como se aprecia en la Figura 4.2. Estas diferencias mostraban un Ψ_s^{md} más negativo bajo SD en ambos casos. El resto de los años, los potenciales no mostraron diferencias entre manejos en este periodo. Los valores alcanzados al final del ciclo variaron dependiendo del año. Así, en 2008 y en 2011 en los dos manejos y en 2012 bajo SD los valores de Ψ_s^{md} fueron de alrededor de -1,60 MPa (Figura 4.2). En el resto de casos el Ψ_s^{md} nunca fue inferior a -1,50 MPa. El potencial más positivo ocurrió bajo CV en 2009, con un valor de alrededor de -1,20 MPa (Figura 4.2).

Al comparar las zonas bajo CV entre la primera medida y el cuajado, el potencial fue significativamente menor en la pendiente en 2009 y en 2011 durante la primera medida (Figura 4.2). En la medida inmediatamente posterior a cuajado en 2008 y 2012, también se encontró un Ψ_s^{md} significativamente menor en la pendiente bajo CV (Figura 4.2). Después de envero, bajo CV se observaron diferencias entre zonas en 2011 y 2012. En el primer año, un Ψ_s^{md} más negativo en el hondón, y en el segundo el Ψ_s^{md} fue más negativo en la pendiente (Figura 4.2).

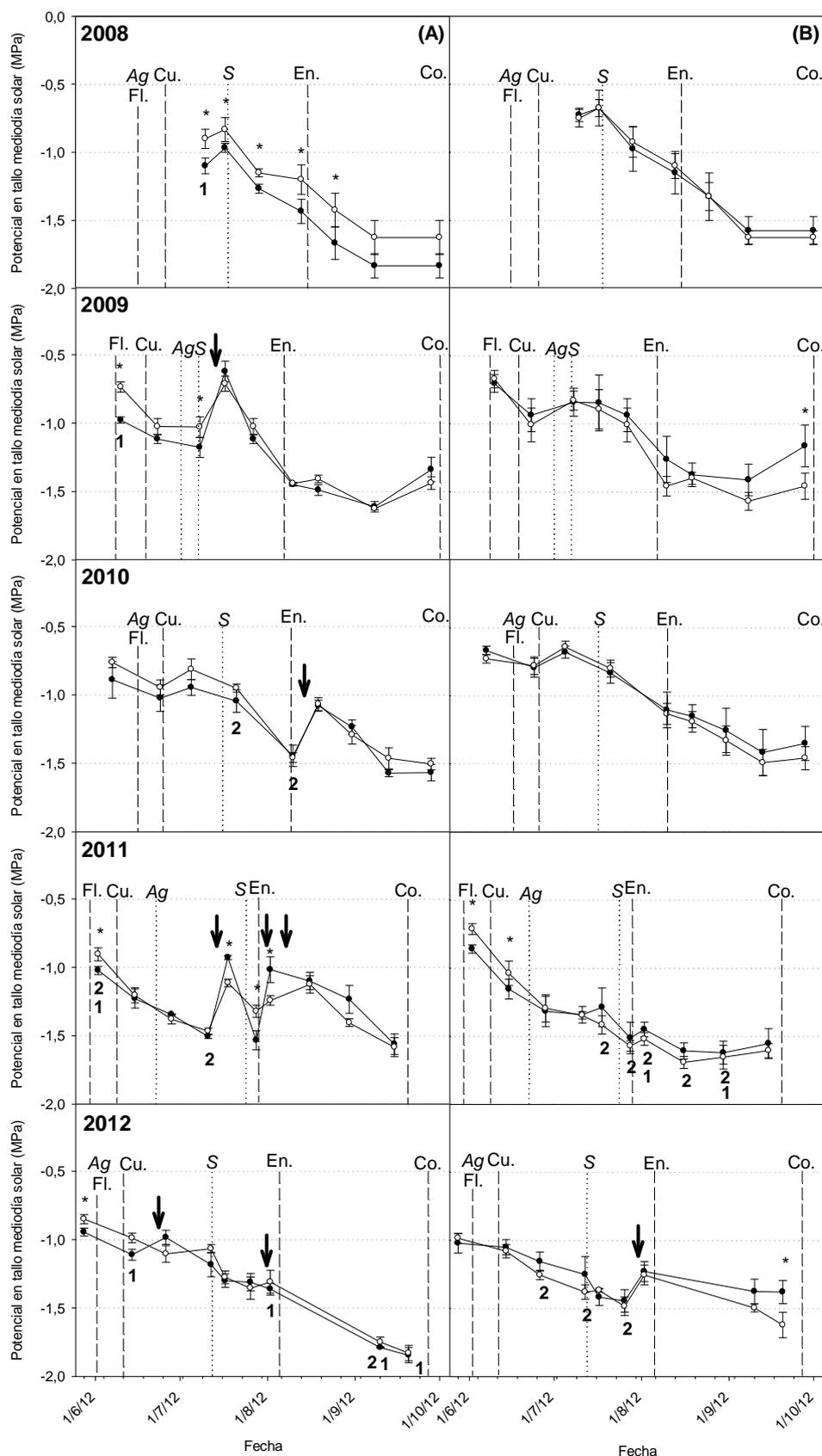


Figura 4.2. Evolución del potencial hídrico del tallo al mediodía solar durante los cinco años experimentales en pendiente (A) y hondón (B) bajo el manejo con cubierta vegetal (●) y con suelo desnudo (○). Las flechas indican riegos. (*) Valores con un asterisco indican diferencia significativa entre manejos dentro de cada zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 un potencial significativamente menor bajo el manejo con cubierta vegetal (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican potencial significativamente menor bajo el manejo con suelo desnudo (Prob.<0,05). (Fl.) Floración; (Cu.) Cuajado; (En.) Envero; (Co.) Cosecha. (Ag) Agosto; (S) Siega.

En el manejo SD, entre la primera medida de Ψ_s^{md} y el cuajado la única diferencia entre zonas tuvo lugar en 2011, con un Ψ_s^{md} más negativo en la pendiente (Figura 4.2). En el periodo entre cuajado y envero, bajo el manejo SD, las diferencias mostraban un Ψ_s^{md} más negativo en la pendiente en 2010 hacia la mitad y el final del periodo, y en la medida anterior al primer riego en 2011 (Figura 4.2). En las dos últimas medidas posteriores al primer riego en 2011 y durante prácticamente todo el periodo de cuajado a envero en 2012, el Ψ_s^{md} fue más negativo bajo SD en el hondón respecto a la pendiente (Figura 4.2). Después de envero, el Ψ_s^{md} fue significativamente más negativo bajo SD en el hondón hasta la penúltima medida en 2011. Finalmente, tras el riego que se aplicó en la totalidad de la parcela en 2012, el Ψ_s^{md} fue más negativo bajo SD en la pendiente durante la penúltima medida (Figura 4.2).

4.1.3. Datos climatológicos en el periodo de medida

En la Figura 4.3 se puede observar que entre la brotación y la floración-cuajado del año 2008 se registraron numerosas precipitaciones que en varias ocasiones fueron intensas hasta la tercera medida del potencial hídrico. Entre la tercera y la sexta medida del potencial hídrico, comenzó un largo periodo de déficit en el que casi hubo ausencia de precipitaciones (Figura 4.3). Tras una precipitación de alrededor de 35 mm entre la sexta y séptima medida, hubo casi ausencia de precipitaciones hasta esta última medida. La temperatura media diaria se mantuvo por debajo de los 20°C hasta finales de junio. Entre el inicio de julio y mediados de septiembre, sobrepasó durante varios días los 20°C con picos máximos que tuvieron lugar a finales de junio, al final de julio entre la tercera y cuarta medida del potencial, y a finales de agosto antes de la sexta medida del potencial. A partir de la séptima medida, no se volvieron a superar los 20°C de media diaria (Figura 4.3).

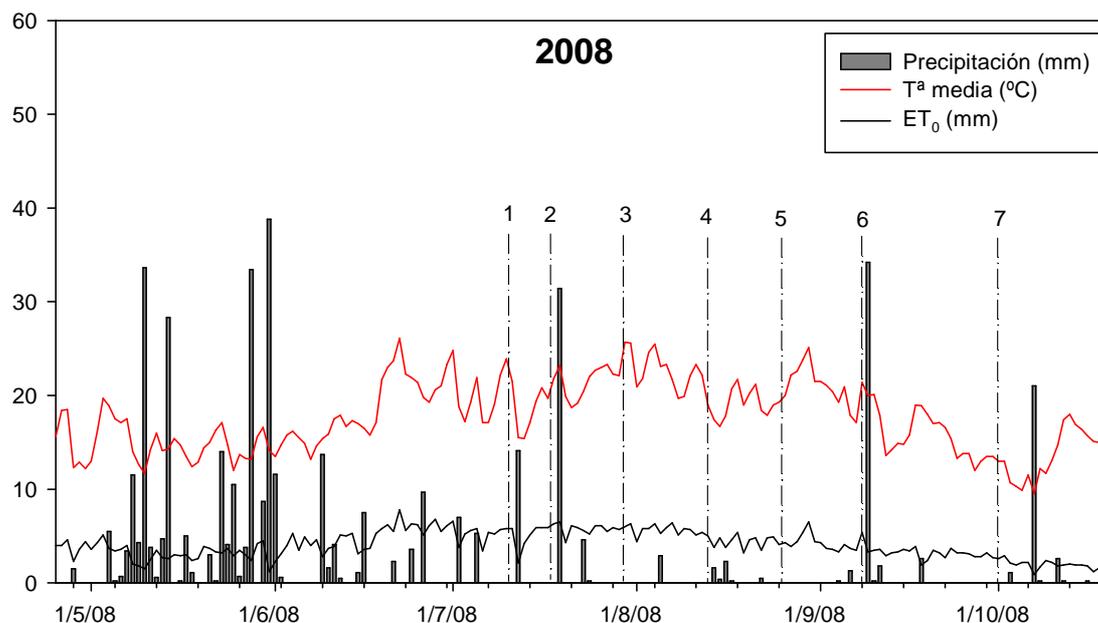


Figura 4.3. Datos climatológicos del año 2008 entre la brotación y la vendimia en la estación de Logroño-Agoncillo. Precipitación diaria acumulada (mm), temperatura media diaria (T^a media) y evapotranspiración de referencia (ET_0). (Fl.) Floración; (Cu.) Cuajado; (En.) Envero; (Co.) Cosecha. (1-8) Medidas de potencial hídrico.

En el año 2009, entre la brotación y la floración-cuajado se registraron precipitaciones aisladas y menores que 25 mm (Figura 4.4). Entre floración y cuajado las precipitaciones fueron menos intensas y frecuentes y entre cuajado y envero hubo pocas precipitaciones, siendo las máximas de alrededor de 10 mm. Entre el envero y la última medida del potencial hídrico hubo casi ausencia total de precipitaciones. Entre la última medida y la cosecha se registraron dos precipitaciones intensas en las que se recogieron 30 y 15 mm (Figura 4.4). La temperatura media diaria se situó por debajo de los 20°C hasta la floración, mostró picos de entre 20 y 30°C hasta mediados de septiembre y volvió a situarse por debajo de los 20°C a partir de esa fecha (Figura 4.4).

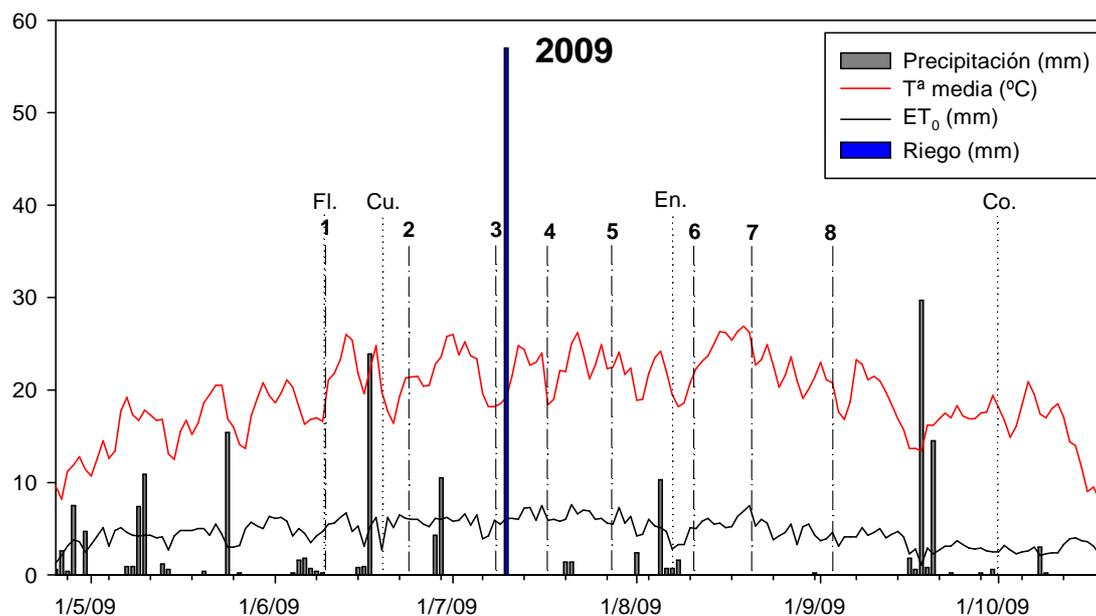


Figura 4.4. Datos climatológicos del año 2009 entre la brotación y la vendimia en la estación de Logroño-Agoncillo. Precipitación diaria acumulada (mm), temperatura media diaria (T^a media) y evapotranspiración de referencia (ET_0). (Fl.) Floración; (Cu.) Cuajado; (En.) Envero; (Co.) Cosecha. (1-8) Medidas de potencial hídrico.

En 2010, antes de la floración, se registraron pequeñas precipitaciones continuas hasta mediados de mayo (Figura 4.5). Justo después de la primera medida del potencial, de nuevo hubo un periodo de pequeñas precipitaciones, que cesaron entre floración y cuajado. Entre el cuajado y la cuarta medida de potencial se registraron precipitaciones de alrededor de 12 mm antes de la tercera y cuarta medida de potencial. No volvió a haber precipitaciones hasta la séptima medida del potencial y las posteriores hasta el momento de cosecha fueron de cerca de 5 mm. La temperatura media diaria, en general, estuvo por debajo de 20°C hasta el cuajado (Figura 4.5). Entre el cuajado y la octava medida, hubo picos de temperatura que se acercaron a los 27°C de media diaria. Después de esta medida, en la primera quincena de septiembre, la temperatura media diaria no volvió a superar los 20°C (Figura 4.5).

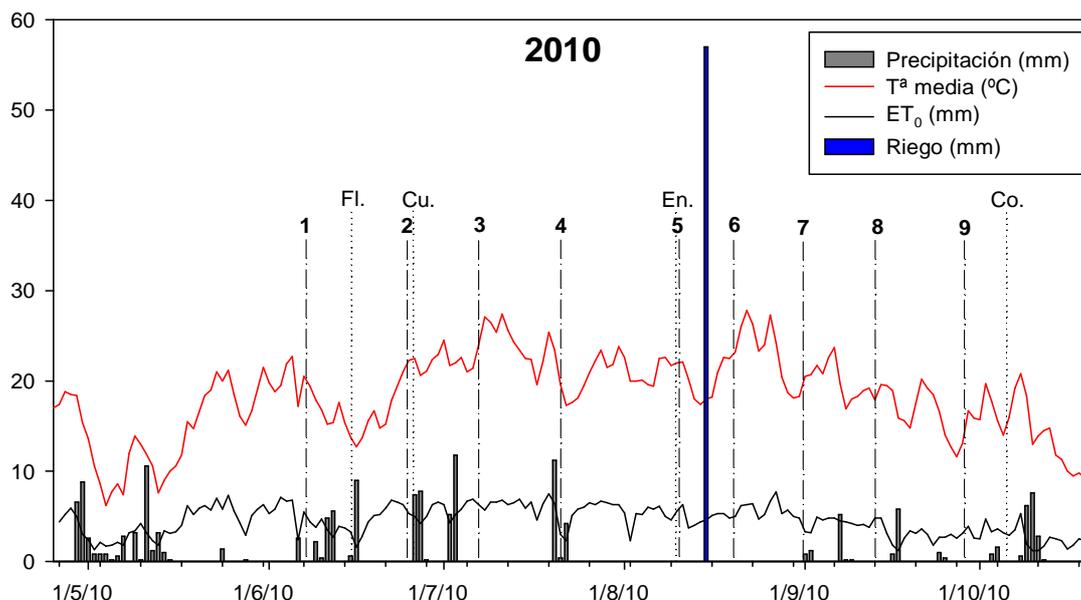


Figura 4.5. Datos climatológicos del año 2010 entre la brotación y la vendimia en la estación de Logroño-Agoncillo. Precipitación diaria acumulada (mm), temperatura media diaria (T^a media) y evapotranspiración de referencia (ET_0). (Fl.) Floración; (Cu.) Cuajado; (En.) Envero; (Co.) Cosecha. (1-9) Medidas de potencial hídrico.

En la Figura 4.6 se aprecia que en el año 2011 hasta el momento de floración tan sólo se registraron tres precipitaciones, siendo la mayor de alrededor de 15 mm. Justo después de la primera medida de potencial se recogió la mayor precipitación de todo el ciclo, con cerca de 30 mm. Tras dos precipitaciones después de cuajado, hubo un largo periodo casi sin lluvias hasta la novena medida de potencial hídrico (Figura 4.6). Tras la novena medida de potencial hubo precipitaciones de cerca de 15 mm y la última precipitación durante el ciclo se registró tras la última medida del potencial. La temperatura media diaria, en general, hasta la segunda medida del potencial se mantuvo por debajo de los 20°C. Posteriormente, hubo un periodo en el que la temperatura media tuvo numerosos picos entre los 20 y 25°C, con dos picos máximos cercanos a 30°C a finales de junio y a finales de agosto (Figura 4.6). A partir de la última medida las temperaturas medias diarias estuvieron de nuevo por debajo de los 20°C (Figura 4.6).

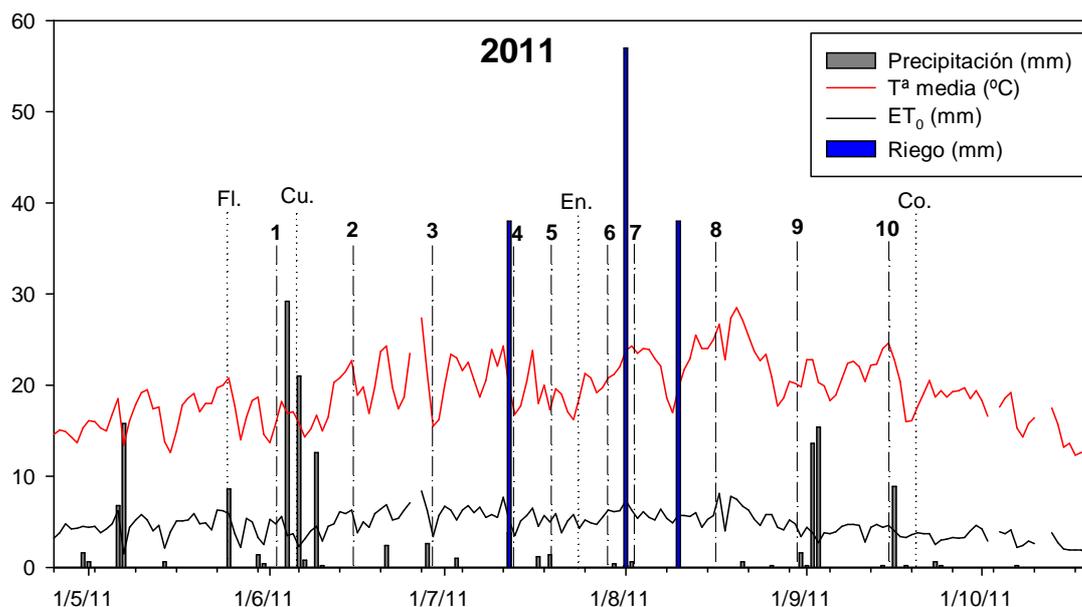


Figura 4.6. Datos climatológicos del año 2011 entre la brotación y la vendimia en la estación de Logroño-Agoncillo. Precipitación diaria acumulada (mm), temperatura media diaria (T^a media) y evapotranspiración de referencia (ET_0). (Fl.) Floración; (Cu.) Cuajado; (En.) Envero; (Co.) Cosecha. (1-10) Medidas de potencial hídrico.

En 2012, antes de floración las precipitaciones fueron regulares aunque de muy poca intensidad, siendo la mayor de aproximadamente 15 mm (Figura 4.7). A partir de la floración, comenzó un periodo con muy pocas y reducidas precipitaciones que abarcó la totalidad del ciclo. Así, hubo un marcado déficit en todo el ciclo de 2012 (Figura 4.7). La temperatura media diaria mostró picos por encima de los 20°C desde mediados de mayo, con picos máximos que se acercaron a los 30°C a finales de junio y a lo largo de agosto (Figura 4.7). A partir de la novena medida, la temperatura media diaria volvió a bajar por debajo de los 20°C (Figura 4.7).

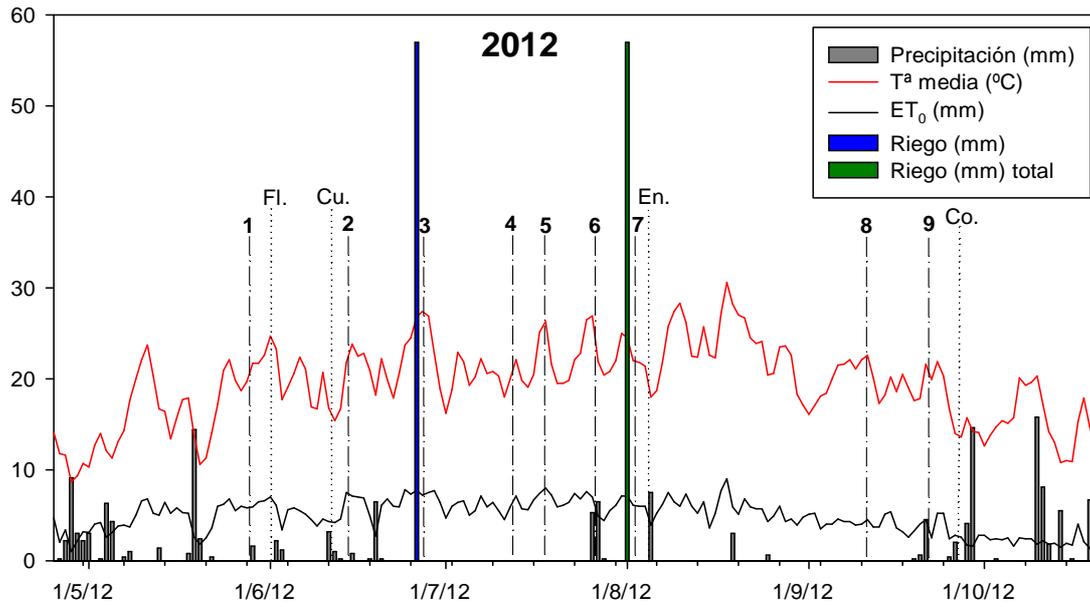


Figura 4.7. Datos climatológicos del año 2012 entre la brotación y la vendimia en la estación de Logroño-Agoncillo. Precipitación diaria acumulada (mm), riego confinado a la pendiente (mm), riego suministrado a toda la parcela (Riego mm total), temperatura media diaria (Tª media) y evapotranspiración de referencia (ET₀). (Fl.) Floración; (Cu.) Cuajado; (En.) Envero; (Co.) Cosecha. (1-9) Medidas de potencial hídrico.

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Conductividad hidráulica (K_{nosat}) no saturada

Los valores de K_{nosat} obtenidos en el presente estudio en parte se correspondían con los resultados obtenidos con la misma metodología por Jirků *et al.* (2013) a una tensión aplicada de -2,00 cm, a pesar de la alta variabilidad que suele mostrar este parámetro (Jirků *et al.*, 2013). Estos autores, obtuvieron unos valores de K_{nosat} inferiores a los de este estudio en suelos clasificados como Haplic Cambisol (WRB, 2007) y como Haplic Luvisol (WRB, 2007), estando las conductividades entre $0,16 \times 10^{-4}$ y $1,60 \times 10^{-4} \text{ cm s}^{-1}$. En otro suelo clasificado como Greyic Phaeozem (WRB, 2007) observaron valores de K_{nosat} en un mayor rango mayor, en el cual se encontraban los valores obtenidos en el presente trabajo, con una K_{nosat} entre $0,50 \times 10^{-4}$ y $5,8 \times 10^{-4} \text{ cm s}^{-1}$. En estudios que se han llevado a cabo en distintos cultivos con la K_{nosat} medida a través de infiltrómetros de tensión, exponen que este parámetro suele estar inicialmente favorecido por el laboreo convencional (Miller y Sweetland, 1998; Moreno y Pelegrín, 1997). No obstante, también se ha observado que tras el laboreo y ciclos de humectación y secado del suelo la K_{nosat} desciende de manera muy intensa (Suwardji y Eberbach, 1998). Algunos autores atribuyen este descenso de la K_{nosat} a lo largo del ciclo del cultivo a cambios estructurales de la superficie a través de la lluvia o la creación de costra superficial (Messing y Jarvis, 1993). Por lo tanto, el efecto del laboreo convencional en la K_{nosat} es transitorio y su efecto general en la capacidad de entrada de agua en el suelo dependerá del tipo y cantidad de precipitaciones que siguen a su aplicación. De este modo, lo observado en este trabajo (Tabla 4.1) concuerda con lo observado por los hasta ahora citados autores, ya que la K_{nosat} observada en el estado recién labrado fue significativamente mayor que en el estado con costra superficial según los contrastes realizados (Tabla 4.1).

La conductividad saturada y la K_{nosat} no siempre muestran una buena relación, pero ambas se interrelacionan bien con factores como los cambios en la vegetación (Jirků *et al.*, 2013). En este sentido, Leonard y Andrieux (1998) establecieron que la estructura de los primeros 10 cm influye en la infiltración saturada y Cassel (1983) expuso que en la estructura del suelo, uno de los factores principales que influye es la cantidad de raíces y su actividad. En este sentido, distintos autores señalan que las cubiertas vegetales a través de cambios en la estructura del suelo pueden reducir la escorrentía y mejorar la infiltración de agua en el suelo (Battany y Grismer, 2000; Celette *et al.*, 2005; Klik *et al.*, 1998; Morlat *et al.*, 1993). Por el contrario, en los resultados de este trabajo, se observaron valores de K_{nosat} mayores en el caso del suelo desnudo al comparar los manejos en la mayoría de los momentos. Por lo tanto, lo expuesto por los citados autores concordaría con los resultados de este estudio únicamente cuando la

cubierta vegetal se encontraba activa y el suelo desnudo tenía costra, ya que fue el único momento en el que la K_{nosat} bajo CV fue significativamente superior respecto a SD (Figura 4.1). Así, la ausencia de diferencia de las fases no activas de la cubierta respecto al suelo sellado podía estar relacionado con la pérdida de densidad de la cobertura de la cebada, como se ha observado con otras cubiertas de cereal (Ruiz-Colmenero *et al.*, 2011). En relación a lo mencionado, Wood *et al.* (1987) establecieron que la cubierta vegetal debe crecer con una densidad suficiente si se persigue obstaculizar la formación de costra superficial. Del mismo modo, Leonard y Andrieux (1998) afirmaron que una menor densidad conduce a la disminución de la rugosidad de la superficie del suelo, siendo esta última un factor clave en la infiltración. En esta misma línea, Biddoccu *et al.* (2017), en un ensayo donde compararon la conductividad saturada de una parcela labrada con otra manejada con vegetación espontánea, observaron que la infiltración al final del ciclo era mejor en la parcela manejada mediante laboreo. Según estos autores, esto ocurría porque en un largo plazo la superficie bajo la vegetación también se compacta por operaciones en campo y por lluvias intensas y posterior secado. En estudios en los que se ha medido la K_{nosat} , en general, también se han observado descensos a lo largo del ciclo de distintos cultivos (Farkas *et al.*, 2006), debidos a la disminución del número de macroporos existentes en el suelo en algunos casos (Azevedo *et al.*, 1998). Por tanto, aunque el sellado superficial bajo SD resultó en conductividades más bajas respecto al suelo labrado, la compactación a largo plazo bajo el manejo CV pudo tener el mismo efecto que la costra desarrollada bajo SD.

4.2.2. Potencial hídrico del tallo al mediodía solar (Ψ_s^{md})

Entre el desborre y el cuajado, la extracción de agua por la cebada resultó en general en valores de Ψ_s^{md} más negativos en la zona de pendiente bajo CV respecto al manejo SD (Figura 4.2). Esto indicaba que las cubiertas vegetales consumieron agua durante su fase activa resultando en una menor disponibilidad hídrica para las cepas al inicio del ciclo, del mismo modo que han observado numerosos autores (Celette *et al.*, 2008; Costello, 2010; Dousset *et al.*, 2004; Gulick, 1994; Kargas *et al.*, 2012; Monteiro y Lopes, 2007). Bajo el manejo CV en 2009 y 2012 y bajo ambos manejos en 2011, el valor del potencial fue menor de -1,00 MPa en el momento de cuajado (Figura 4.2). Por lo tanto, tomando como valor umbral el valor de potencial de -1,00 MPa, propuesto por Acevedo-Opazo *et al.* (2010) como valor por debajo del cual comienza a haber estrés, las vides bajo CV sufrieron estrés mientras en el manejo bajo SD hasta después de cuajado no hubo estrés en los años 2009 y 2012. Sin embargo, el estrés fue similar bajo ambos manejos para la segunda medida en 2011 (Figura 4.2). A este respecto, la competencia entre cultivos asociados depende del momento en que cada uno consuma los

recursos disponibles para ambos (Celette *et al.*, 2009; Willey, 1990). Así, una de las características por las que se recomienda el uso de las cubiertas vegetales de cereal en condiciones mediterráneas es su agostamiento y el consecuente cese en el consumo de agua, lo que conlleva una desaparición de la competencia (EVENA, 2012).

Entre el desborre y el cuajado en el hondón no se percibía competencia durante los primeros tres años (2008-2010) (Figura 4.2). Teniendo en cuenta que la profundidad de suelo en el hondón es de más de 110 cm frente a los 50-95 cm de profundidad en la pendiente, el suelo en esta zona almacenaba más agua, por ser su volumen mayor, por lo que la ausencia de competencia seguramente se debía a una mayor disponibilidad de agua en esta zona (Tabla 3.2). En este sentido, la profundidad del suelo es un factor importante para la disponibilidad de agua, siendo, en general, la disponibilidad mayor cuanto mayor es la profundidad (Martínez-Casnovas *et al.*, 2005; Wheaton *et al.*, 2008). Por lo tanto, en el hondón el volumen de suelo explorable por las raíces de las cepas para la absorción de agua y nutrientes era mayor que en la pendiente. En relación a esto, algunos autores además han observado que las raíces de vid bajo manejos con cubiertas profundizan más, sobre todo bajo la hilera de la vides (Morlat y Jacquet, 2003). No obstante, tras la sequía durante la dormancia entre 2010 y 2011, la competencia generada por la cebada fue perceptible en el hondón (Figura 4.2). En relación con esto, en distintos ensayos se ha observado que el efecto por parte de las cubiertas no suele ser perceptible a través del Ψ_s^{md} cuando la disponibilidad hídrica es buena, refiriéndose a un potencial de base de -0,30 MPa y un Ψ_s^{md} de alrededor de -0,60 MPa (Centinari *et al.*, 2016; Jordan *et al.*, 2016). En este trabajo, en el hondón el potencial inicial se encontraba alrededor de ese valor en la primera medida en 2009, y hasta después de cuajado en 2008 y 2010, y en esos años no se percibía competencia en esta zona (Figura 4.2). No obstante, la disponibilidad hídrica y el efecto que las cubiertas puedan tener sobre ella, depende de múltiples factores, entre ellos, características edáficas y topográficas junto con las climatológicas (Ibáñez, 2013). De este modo, aunque la competencia durante los primeros tres años no fue perceptible por las características de la zona, la escasa pluviosidad previa al ciclo de 2011 provocó que el suelo del hondón también estuviese más seco, resultando en la aparición de competencia (Figura 4.2). Finalmente, en el año 2012 el potencial ya se encontraba en el umbral de -1,00 MPa para la primera medida en el hondón y no mostraba diferencias entre manejos. Este intenso estrés inicial ocurrió porque a la mencionada sequía de 2011 le siguieron condiciones muy secas en 2012 (Figura 4.7), con 119 mm de precipitación acumulada frente a una ET_0 de 383 mm en el periodo de dormancia (Tabla 3.4). En estas condiciones, además, el agostado de la cebada en

2012 tuvo lugar antes de la floración, lo cual pudo resultar también en una ausencia de competencia.

Las diferencias entre el desborre y el cuajado entre las zonas mostraban un mejor estado hídrico general en el hondón, sobre todo bajo el manejo CV, a excepción del año 2012 (Figura 4.2). Estas diferencias se debían también a la diferente profundidad de suelo y la diferente capacidad de almacenar agua en las distintas posiciones fisiográficas. De este modo, tras el periodo de dormancia el hondón tendía a almacenar más agua, y por tanto las cepas mostraban mayor potencial hídrico (Figura 4.2). No obstante, tras dos años consecutivos de sequía y con una precipitación acumulada de 119 mm en el periodo de dormancia entre 2011 y 2012, la zona de hondón recibió una cantidad de agua menor respecto a los años anteriores, mientras la pendiente se regó en marzo de 2012 (Figura 4.7). Consecuentemente, el Ψ_s^{md} medio en pendiente fue más alto que en el hondón al inicio del ciclo en 2012, aunque no hubo significación (Figura 4.2). Por tanto, las diferencias iniciales encontradas entre las dos zonas al inicio del ciclo parecían estar determinadas por la profundidad del suelo (Martínez-Casasnovas *et al.*, 2005; Wheaton *et al.*, 2008) y los riegos durante el periodo de dormancia.

Durante el periodo entre el cuajado y el envero, las diferencias generadas por las cubiertas vegetales en la pendiente se mantenían hasta envero en 2008 y hasta la aplicación de riegos en 2009 y 2012 (Figura 4.2). Los años en los que no hubo riego, las diferencias iniciales entre CV y SD desaparecieron entre cuajado y envero, y los valores de Ψ_s^{md} fueron muy similares durante el envero bajo los dos manejos (Figura 4.2), al igual que lo observado por Van Leeuwen *et al.* (2001), quienes detectaron que los valores de Ψ_s^{md} bajo distintos manejos tendían a igualarse según avanzaba el ciclo de la vid. Asimismo, Lopes *et al.* (2011) en un año más lluvioso, también observaron que el Ψ_s^{md} mantenía las diferencias generadas a través del manejo hasta el final del ciclo, al igual que ocurrió en este caso en 2008, mientras un año más seco supuso una convergencia de los potenciales. A todo lo mencionado había que sumarle el cese de la competencia por parte de la cubierta vegetal tras su agostamiento, que ocurría generalmente alrededor o después de cuajado (Figura 4.2), como se ha mencionado para el año 2011 y como han observado otros autores (Monteiro y Lopes, 2007; Pou *et al.*, 2011). Así, este cese también pudo suponer que los potenciales bajo ambos manejos se igualasen.

En el hondón también se observaba un pronunciado y similar ascenso de Ψ_s^{md} durante el segundo periodo bajo los dos manejos. En este caso, en los años 2009 y 2012, los valores de potencial bajo SD fueron más negativos que bajo CV, aunque no hubo significación (Figura 4.2). La explicación más lógica para esta divergencia podría ser una protección ante la evaporación

(Unger *et al.*, 1991), proporcionada por la cubierta agostada primero y por el rastrojo más tarde, resultando en un Ψ_s^{md} más negativo bajo SD (Figura 4.2). Asimismo, en el año 2009, como se expone en más adelante en este trabajo (Apartado 6.1.2, Capítulo 6), el peso de la madera de poda bajo SD fue mayor. Por tanto, un mayor vigor bajo este manejo pudo haber supuesto un mayor consumo de agua y resultado en un mayor estrés, tal y como se ha observado en otros trabajos (Spring y Delabays, 2006).

En lo que respecta a las zonas, la pendiente mostraba entre cuajado y envero una tendencia hacia un menor Ψ_s^{md} en 2008, 2010 y 2011, aunque esta tendencia se interrumpía en 2009 y 2011 por los riegos que sólo se aplicaron en esta zona (Figura 4.2). En el año 2012, la aplicación del riego el 18 de junio en la pendiente, hizo que en todas las medidas intermedias el estrés fuese igual en ambas zonas bajo CV y mayor en el hondón respecto a la pendiente bajo SD (Figura 4.2). Por tanto, el Ψ_s^{md} bajo condiciones meteorológicas habituales tendía a mostrar niveles de estrés más intenso en la pendiente bajo los dos manejos, por ser un suelo menos profundo (Martínez-Casasnovas *et al.*, 2005). Sin embargo, el riego tendía a reducir el estrés en la pendiente y, por tanto, a igualarlo con el hondón.

Al final del ciclo, desde envero a cosecha, los Ψ_s^{md} se encontraban próximos o por debajo del umbral superior de estrés intenso propuesto en -1,50 MPa por Acevedo-Opazo *et al.* (2010) en la pendiente, y sólo se mantuvo la influencia de la cubierta vegetal hasta este periodo en 2008 (Figura 4.2). En 2011 también hubo una diferencia en la primera medida en este periodo, pero ocurrió a causa del segundo riego, que supuso una mayor subida en el potencial bajo CV, y desapareció para la siguiente medida. En el caso del hondón, el Ψ_s^{md} bajo el manejo SD tendía a mostrar un mayor descenso hacia el final de este periodo, traspasando el umbral expuesto en todos los años de estudio, mientras el Ψ_s^{md} bajo el manejo CV fue menos negativo. Por tanto, un mayor estrés se podía observar al final de este periodo bajo el manejo mediante SD, siendo en 2009 y 2012 la diferencia significativa (Figura 4.2). Esto pudo deberse a dos causas. Por un lado, porque el rastrojo de la cebada aún permanecía en el suelo hasta la vendimia, lo cual pudo haber proporcionado protección ante la evaporación, como ocurría en el periodo anterior (Unger *et al.*, 1991). Así, la evaporación del agua del suelo bajo CV pudo ser más reducida, resultando en un mejor estado hídrico al final de este tercer periodo (Kalmár *et al.*, 2013; Monzón *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2011). Por otro lado, Dufourcq *et al.* (2005) y Spring *et al.* (2006) observaron que las plantas con mayor desarrollo vegetativo tienen también una mayor transpiración y por tanto un mayor consumo de agua, consecuentemente el estado hídrico de la vid depende, entre otros factores, de la dimensión del dosel (Myburgh, 2003; Naor *et al.*, 1993). De este modo, valores de Ψ_s^{md} finales más

positivos bajo CV podían haber resultado de un vigor más reducido, siendo la transpiración menor.

A partir del enero la tendencia hacia un mayor estrés en la pendiente desapareció durante todos los años a consecuencia de los riegos que se aplicaron sólo en esta zona (Figura 4.2). Así, durante los tres primeros años no hubo diferencias entre zonas en este periodo, pero en 2011, el déficit prolongado de verano junto con la baja pluviosidad invernal provocaron que el Ψ_s^{md} estuviese por debajo del umbral definido de -1,50 MPa por Acevedo-Opazo *et al.* (2010) en el hondón, mostrando unos niveles de estrés por encima del rango alto (Figura 4.2). Este intenso nivel de estrés en el hondón, junto con los dos riegos que se realizaron en la pendiente, resultaron en unos Ψ_s^{md} significativamente inferiores en esta zona bajo los dos manejos en el último periodo (Figura 4.2). En 2012 un segundo riego durante el ciclo se aplicó en la totalidad de la parcela. Después del riego, el descenso de Ψ_s^{md} fue mayor bajo SD en el hondón. Así, el potencial en la pendiente fue mayor respecto al hondón bajo CV en las dos últimas medidas. Sin embargo, esta diferencia entre zonas sólo apareció en la penúltima medida en el manejo SD (Figura 4.2).

4.2.3. Potencial hídrico al mediodía solar (Ψ_s^{md}) y su relación con la conductividad hidráulica no saturada (K_{nosat})

Tal y como se ha discutido en el caso de la K_{nosat} , son numerosos los autores que describen una mejora en la infiltración (Celette *et al.*, 2008; Costello, 2010; Dousset *et al.*, 2004; Gulick, 1994; Kargas *et al.*, 2012; Monteiro y Lopes, 2007) mediante el empleo de cubiertas vegetales. No obstante, los mismos autores también mencionan un consumo de agua por parte de las cubiertas, conduciendo a una disminución del contenido de agua en el suelo en comparación al suelo labrado. De este modo, en la zona de pendiente, aunque en el año 2012 las lluvias se hubiesen podido aprovechar mejor debido a la mejor K_{nosat} bajo el manejo CV al inicio del ciclo, el estrés de las vides también era mayor bajo este manejo (Figura 4.1), lo cual concuerda con la extracción de agua por la cebada hasta el momento del riego.

Después de la aplicación del primer riego durante el ciclo, el 18 de junio en la pendiente (Figura 4.1), los niveles de estrés hídrico fueron similares bajo ambos manejos debido a un incremento del Ψ_s^{md} en el manejo CV. En el caso del suelo desnudo de la pendiente, se observaba una menor respuesta al riego durante este momento de medida (Figura 4.1). Sin embargo, este comportamiento del Ψ_s^{md} no se ajustaba bien a lo que anteriormente se había observado con la K_{nosat} durante el periodo C, que mostraba una mayor conductividad bajo el SD (Figura 4.1). De este modo, el retraso en la respuesta del Ψ_s^{md} al riego

bajo SD pudo haber resultado de la ausencia de raíces de vid en los 30-40 cm a los lados de la hilera de vides, donde se encuentra la tubería de riego por goteo. Por tanto, la mayor parte del agua suministrada durante el riego penetra en el suelo en una anchura aproximada de 60 cm a cada lado de la hilera de cepas. En esa área el enraizamiento para las vides es posible en la capa más superficial del suelo sólo en el manejo de CV, porque la cubierta abarca una anchura de 150 cm, que no alcanza esa zona dentro de la calle. Por el contrario, en el caso del suelo desnudo, donde el apero de labranza se aproxima más a la hilera, el enraizamiento en esta zona no es posible y, por tanto, el aprovechamiento de agua se detecta cuando el agua alcanza zonas más profundas que sí se encuentran enraizadas (Figura 4.8). Antes del periodo D, el manejo SD se labró, lo que supuso un notable aumento de la K_{nosat} frente a CV, aunque no hubo diferencias significativas. En el momento E, la K_{nosat} bajo SD había descendido de manera notable. Durante los momentos D y E, el potencial hídrico fue similar bajo ambos manejos por la ausencia de precipitaciones o riegos. Ante el segundo riego, la respuesta del potencial fue similar en los dos manejos, lo cual concordaba con los similares valores de K_{nosat} bajo los dos manejos en los momentos E y F. La evolución del potencial hacia el final del ciclo también fue similar bajo CV y bajo SD, lo cual guardaba buena relación con la similar K_{nosat} bajo los dos manejos en el momento F (Figura 4.1).

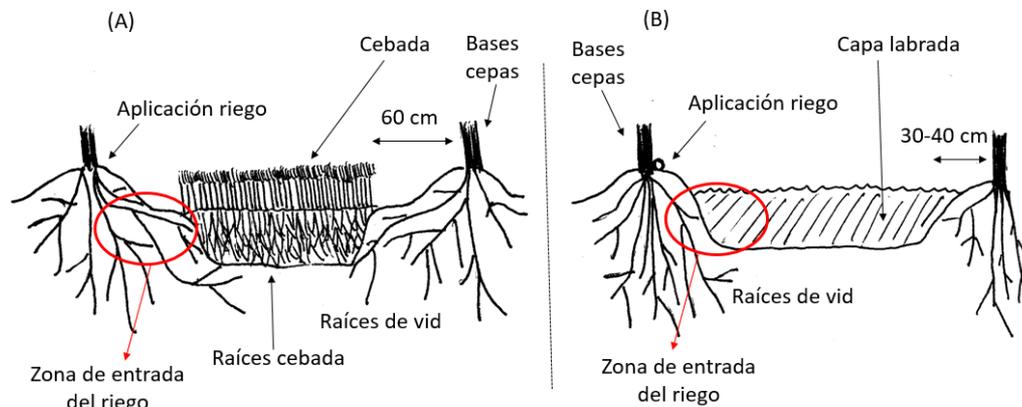


Figura 4.8. Distribución observada de raíces bajo el manejo mediante cubierta vegetal (A) y el manejo mediante suelo desnudo (B). La zona de entrada de agua de riego en cada manejo se delimita mediante un círculo rojo.

La K_{nosat} inicial similar entre los dos manejos pudo resultar en un similar Ψ_s^{md} en el hondón durante las primeras medidas (Figura 4.1), debido a un similar aprovechamiento de las precipitaciones que se registraron al principio del ciclo (Figura 4.7). Hasta el momento del segundo riego durante el ciclo, que se aplicó en toda la parcela, no hubo ninguna entrada de agua que permitiese determinar si la K_{nosat} estaba afectando al Ψ_s^{md} en el hondón. Tras el segundo riego, la respuesta del Ψ_s^{md} fue igual bajo los dos manejos, lo cual concordaba con la ausencia de diferencia en la K_{nosat} durante el momento E. A partir de este momento, no hubo entradas de

agua perceptibles en la parcela y, por tanto, no se podía determinar si diferentes K_{nosat} estaban afectando al nivel de estrés. Finalmente, hacia el final del ciclo el aumento del estrés fue mayor bajo el manejo SD. No obstante, la diferencia en el Ψ_s^{md} que se registró en la última medida entre los manejos no parecía guardar relación con las K_{nosat} medidas en el momento F, ya que éstas no mostraron ninguna diferencia. Por lo tanto, esta diferencia final parecía deberse a la mayor pérdida de agua por evaporación a causa de la mayor exposición del suelo labrado (Unger y Cassel, 1991), ya que en 2012 los pesos de madera de poda fueron iguales bajo ambos manejos, como se expone más adelante en este trabajo (Apartado 6.1.2, Capítulo 6). Además, la protección por el rastrojo también la han observado otros autores al comparar suelos labrados frente a suelos que mantienen el rastrojo, viendo que estos últimos tienen mayor capacidad de mantener su humedad (Kalmár *et al.*, 2013; Soane *et al.*, 2012; Unger *et al.*, 1991).

4.3. RESUMEN

- La K_{nosat} fue mayor en el suelo recién labrado frente al suelo con costra dentro del manejo SD. Por el contrario, en el manejo CV la K_{nosat} fue igual en los tres estados: cubierta vegetal activa, cubierta vegetal segada y cubierta vegetal agostada.
- La K_{nosat} del manejo CV sólo fue más alta que la del manejo SD cuando la cubierta vegetal estaba activa y el suelo desnudo con costra. Cuando el suelo desnudo estaba recién labrado la K_{nosat} era más alta que cuando la cubierta estaba activa y agostada. El efecto positivo que el labrado tenía sobre la K_{nosat} del suelo desaparecía a medida que se formaba la costra superficial. Cuando el suelo desnudo estaba recién labrado y la cubierta vegetal segada, los valores de K_{nosat} fueron similares bajo ambos manejos. Finalmente, cuando el suelo desnudo había desarrollado costra superficial y el rastrojo todavía permanecía sobre el suelo en el manejo CV, no se observó ninguna diferencia significativa. En esto pudieron haber influido la pérdida de densidad de la cebada y la compactación a largo plazo que se suele dar también bajo este manejo.
- No hubo ninguna diferencia significativa entre la pendiente y el hondón para la K_{nosat} .
- En posiciones fisiográficas de pendiente con suelos poco profundos, la cubierta vegetal competía por el agua con las vides en las fases iniciales del ciclo (floración-cuajado). Esta competencia normalmente tendía a desaparecer antes del envero, sobre todo si se regaba. A partir del envero el estrés hídrico creció de modo similar en ambos manejos.
- En general, en el hondón, donde la capacidad de almacenar agua era grande por la mayor profundidad del suelo, la competencia por el agua ejercida por la cubierta de cebada no se percibía a través de las diferencias de potencial hídrico en el periodo entre la floración y el envero. A partir del envero sí hubo una tendencia hacia un mayor estrés bajo el manejo SD. Esto pudo deberse a dos factores; por un lado, el mayor crecimiento vegetativo de las vides bajo este manejo y, por otro, la protección que ejercía el rastrojo de la cubierta a la evaporación del agua del suelo.
- Entre el cuajado y el envero, el estrés tendía a ser mayor en la pendiente hasta que se aplicaron riegos bajo los dos manejos, y en los años 2011 y 2012, las cepas estaban

más estresadas en el hondón en SD. Después de envero, los potenciales fueron iguales en ambas zonas en los primeros tres años, pero en 2011 el estrés hídrico fue claramente mayor en el hondón en ambos manejos. En 2012, por el contrario, los potenciales fueron mayores en el hondón debido al riego que se dio en esta zona justo antes del envero.

- La K_{nosat} refleja la capacidad que tiene el agua de penetrar en los primeros centímetros del suelo a través de su superficie. No obstante, la respuesta del potencial al manejo no siempre guardaba buena relación con la K_{nosat} . Además, el efecto de la K_{nosat} sobre el potencial no pudo ser evaluado siempre por la ausencia de precipitaciones durante los periodos en que ocurrían los distintos estados dentro cada manejo.

**5. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO Y DE
LA POSICIÓN FISIAGRÁFICA SOBRE EL
ESTADO NUTRITIVO DE LA VID**

5.1. RESULTADOS

5.1.1. Macronutrientes

5.1.1.1. Nitrógeno (N.)

En la pendiente las concentraciones de N fueron prácticamente iguales en los dos manejos. En el hondón los niveles de este elemento fueron ligeramente inferiores en el manejo CV, con diferencias significativas en 2009 en el limbo y en 2010 en el peciolo (Tabla 5.1).

Bajo el manejo CV las diferencias entre zonas no mostraban ninguna tendencia clara en ninguno de los dos tejidos analizados en el caso del N. En cambio, dentro del manejo SD la concentración de N tendía a ser ligeramente más alta en el hondón en comparación a la pendiente tanto en limbo como en peciolo, mostrando significación estadística en 2008 en el limbo y en 2010 en el peciolo (Tabla 5.1).

5.1.1.2. Fósforo (P)

Las concentraciones de fósforo mostraban una variabilidad muy pequeña en el limbo, y a pesar de que se detectaron significaciones estadísticas las diferencias encontradas entre las concentraciones de P fueron muy reducidas. En el peciolo las concentraciones variaron más y las significaciones encontradas señalaban mayores diferencias. Al comparar los manejos en la pendiente y en el hondón, las diferencias detectadas no mostraron ninguna tendencia consistente. La concentración de P en el limbo tendía a ser ligeramente superior bajo CV dentro de la pendiente, mostrando una diferencia significativa en 2009, si bien las diferencias de concentración eran muy pequeñas. En el hondón ocurría lo contrario. En el peciolo las concentraciones de P fueron menores bajo el manejo CV, con significación estadística en 2010, y en el limbo no había prácticamente diferencias entre los manejos (Tabla 5.1).

Las dos únicas diferencias significativas obtenidas entre las zonas dentro de cada manejo denotaban un menor contenido de dicho elemento en la pendiente, tanto en el limbo como en el peciolo, aunque las diferencias encontradas en este caso también fueron muy pequeñas (Tabla 5.1).

5.1.1.3. Potasio (K)

En cuanto a la comparativa entre manejos y zonas, las concentraciones de K en el limbo fueron muy similares bajo ambos manejos y en las dos zonas, y no se podía establecer ningún patrón de diferenciación consistente. En el caso del peciolo tampoco se obtuvo ninguna diferencia significativa, aunque las concentraciones de K fueron ligeramente inferiores bajo el

manejo CV en las dos zonas. En el caso de la pendiente, las concentraciones también tendían a mostrar valores más altos respecto al hondón bajo los dos manejos (Tabla 5.1).

5.1.1.4. Calcio (Ca)

En la pendiente la concentración de calcio fue muy similar bajo los dos manejos y no se observó ningún comportamiento claro de este elemento (Tabla 5.1). En el hondón las concentraciones de Ca en el manejo CV tendían a ser ligeramente inferiores en comparación al manejo SD en los dos tejidos analizados. En este caso, las diferencias fueron significativas en 2009 y en 2011 en el limbo, y en 2008 en el peciolo (Tabla 5.1).

Al comparar las zonas dentro de cada manejo, se podía observar que no había ninguna diferenciación estable, pese a que las zonas se diferenciaron bajo el manejo con SD, con una concentración de Ca mayor en el hondón en 2011 en el limbo y en 2010 en el peciolo (Tabla 5.1).

5.1.1.5. Magnesio (Mg)

Al comparar los manejos dentro de cada zona, se observaba que en el manejo CV la concentración de Mg fue, en general, ligeramente más alta en las dos zonas y en los dos tejidos analizados. Esta concentración ligeramente más alta mostró significación estadística en la pendiente en los años 2010 y 2011 en el limbo (Tabla 5.1).

Al comparar las zonas dentro de cada manejo, se observaba que, en general, las concentraciones en el hondón eran ligeramente superiores para ambos manejos y en los dos tejidos analizados, siendo las diferencias significativas en 2008 y 2009 en el limbo y en 2008 en el peciolo (Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en limbo y peciolo en las zonas de la parcela (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos (cubierta vegetal y suelo desnudo) durante los años de estudio.

Macronutrientes									
Nitrógeno (N % m.s.)									
Zona	Manejo	Limbo				Peciolo			
		Año				Año			
		2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
Pendiente	CV	1,89	2,35	2,07	-	0,54	0,46	0,56	-
	SD	1,86 ²	2,30	2,06	-	0,54	0,44	0,51 ²	-
Hondón	CV	2,01	2,28*	2,08	-	0,56	0,46	0,58*	-
	SD	2,09 ²	2,37*	2,09	-	0,78	0,69	0,92 ^{2*}	-
Fósforo (P % m.s.)									
Zona	Manejo	Limbo				Peciolo			
		Año				Año			
		2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
Pendiente	CV	0,13 ¹	0,12*	0,12	-	0,09	0,14	0,09	-
	SD	0,12 ²	0,11 ^{2*}	0,12	-	0,08	0,12	0,06 ²	-
Hondón	CV	0,16 ¹	0,12	0,14	-	0,15	0,15	0,07*	-
	SD	0,16 ²	0,13 ²	0,15	-	0,18	0,18	0,16 ^{2*}	-
Potasio (K % m.s.)									
Zona	Manejo	Limbo				Peciolo			
		Año				Año			
		2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
Pendiente	CV	1,11	0,59	1,00	0,66	2,73	0,93	2,54	2,03
	SD	1,03	0,56	0,99	0,64	2,85	1,71	3,63	2,10
Hondón	CV	1,01	0,50	0,97	0,51	1,93	0,92	3,01	1,48
	SD	1,04	0,57	0,99	0,56	2,34	0,99	3,53	1,98
Calcio (Ca % m.s.)									
Zona	Manejo	Limbo				Peciolo			
		Año				Año			
		2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
Pendiente	CV	3,14	1,96	3,26	3,52	2,37*	1,39	1,76	2,98
	SD	3,32	2,05	3,12	3,48 ²	2,66*	1,34	1,74 ²	2,98
Hondón	CV	2,99	1,91*	3,30	3,54*	2,14*	1,12	1,90	2,97
	SD	3,20	2,24*	3,66	4,30 ^{2*}	2,45*	1,41	2,14 ²	3,53
Magnesio (Mg % m.s.)									
Zona	Manejo	Limbo				Peciolo			
		Año				Año			
		2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
Pendiente	CV	0,35 ¹	0,31	0,41*	0,40*	0,84 ¹	0,60	0,94	0,80
	SD	0,36 ²	0,21 ²	0,37*	0,38*	0,84 ²	0,42	0,67	0,77
Hondón	CV	0,46 ¹	0,39	0,46	0,54	1,06 ¹	0,77	0,78	1,28
	SD	0,46 ²	0,37 ²	0,47	0,51	1,07 ²	0,70	0,92	1,23

(*) Valores seguidos por un asterisco muestran diferencias significativas entre manejos dentro de cada zona (Prob.<0,05); (1) Valores seguidos por un 1 muestran diferencias significativas bajo el manejo CV (Prob.<0,05); (2) Valores seguidos por un 2 muestran diferencias significativas bajo el manejo SD (Prob.<0,05). (■) Valores coloreados en rojo muestran una concentración por debajo del umbral 'Bajo' definido por García-Escudero *et al.* (2013); (■) Valores coloreados en verde muestran una concentración por encima del umbral 'Alto' definido por García-Escudero *et al.* (2013).

5.1.2. Micronutrientes

5.1.2.1. Hierro (Fe)

Cuando se compararon los manejos en la zona de pendiente hubo una única diferencia significativa para el Fe, con una concentración más alta bajo el manejo CV en 2009. No obstante, en esta zona no se percibía ninguna tendencia consistente de diferenciación. Al comparar las concentraciones de Fe entre las zonas dentro de cada manejo tampoco se pudo establecer ninguna diferenciación consistente en ninguno de los tejidos analizados (Tabla 5.2).

5.1.2.2. Manganeso (Mn)

En la pendiente las concentraciones de Mn en limbo fueron mayores bajo el manejo CV en 2008 y 2009 (Tabla 5.2). En el hondón las concentraciones fueron significativamente mayores bajo CV en 2008 y 2011 en el caso del limbo, y en 2008 se observó lo mismo en el caso del peciolo (Tabla 5.2).

En cuanto a las diferencias entre las zonas dentro de cada manejo, la concentración de Mn en el peciolo fue más alta en la pendiente que en el hondón en 2011 bajo SD, pero el resto de los valores no mostraron ninguna diferenciación clara entre las zonas bajo ninguno de los manejos (Tabla 5.2).

5.1.2.3. Zinc (Zn)

Al comparar los manejos dentro de cada zona de estudio, no se observaba ningún patrón estable de diferenciación entre CV y SD en ninguna de las zonas, aunque en 2008 la concentración de Zn fue significativamente mayor bajo CV tanto en pendiente como en hondón (Tabla 5.2).

Al comparar las concentraciones de Zn entre las dos zonas dentro de cada manejo, no se observaba ninguna tendencia clara, si bien en 2008 tanto en pendiente como en hondón la concentración de Zn en el limbo era más alta bajo el manejo de cubierta vegetal (Tabla 5.2).

5.1.2.4. Cobre (Cu)

Los manejos del suelo en la pendiente no causaron diferencias significativas en las concentraciones de Cu. La única diferencia encontrada en el hondón tuvo lugar en 2011 en los dos tejidos analizados, con una mayor concentración de Cu bajo el manejo CV, aunque esta diferencia fue puntual y no señalaba ningún patrón definido de diferenciación. Al comparar las zonas dentro de cada manejo tampoco hubo diferenciaciones claras, y las diferencias incluso se invertían de un año a otro. Sólo en 2011 se observaba una concentración significativamente

mayor de Cu en el hondón en comparación a la pendiente dentro del manejo SD en ambos tejidos (Tabla 5.2).

Tabla 5.2. Concentraciones de hierro, manganeso, zinc y cobre en limbo y peciolo en las dos zonas de la parcela (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos (cubierta vegetal y suelo desnudo) durante todos los años de estudio.

Micronutrientes									
Hierro (Fe mg kg ⁻¹)									
Manejo	Zona	Limbo				Peciolo			
		Año				Año			
		2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
Pendiente	CV	101,50	130,35	133,27	114,23	24,09	40,43*	27,50	26,34
	SD	108,69	130,53	136,40	105,06	32,15	23,50*	24,38	23,51
Hondón	CV	99,06	117,55	129,14	109,58	48,67	24,59	26,38	23,46
	SD	129,94	111,55	142,76	107,74	36,35	24,43	24,38	21,94
Manganeso (Mn mg kg ⁻¹)									
Manejo	Zona	Limbo				Peciolo			
		Año				Año			
		2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
Pendiente	CV	91,02*	48,92*	56,52	34,75	13,08	15,83	16,83	25,16
	SD	77,39*	41,79*	49,13	28,26	11,86	9,91	9,75	26,21 ²
Hondón	CV	93,94*	69,63	62,80	36,98*	31,15*	25,78	8,50	12,55
	SD	72,11*	55,71	47,73	25,63*	16,27*	12,21	10,75	6,59 ²
Zinc (Zn mg kg ⁻¹)									
Manejo	Zona	Limbo				Peciolo			
		Año				Año			
		2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
Pendiente	CV	25,98*	18,02	19,20	28,65	32,70	27,83	29,00	48,91
	SD	21,08*	16,74	17,81	29,80	27,76	24,99	29,75	47,51
Hondón	CV	24,85*	19,16	19,62	33,92	36,69	28,79	28,25	46,21
	SD	21,12*	18,24	22,36	35,57	29,65	26,79	28,75	45,06
Cobre (Cu mg kg ⁻¹)									
Manejo	Zona	Limbo				Peciolo			
		Año				Año			
		2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
Pendiente	CV	48,66	5,87	34,83	59,62	8,40	8,72	17,17	9,45
	SD	37,24	5,71	34,33	54,63 ²	7,68	4,46	14,50	8,49 ²
Hondón	CV	45,66	6,63	48,50	59,36*	8,66	4,20	15,00	9,69*
	SD	39,79	5,59	32,29	80,93 ² *	8,66	5,10	17,25	11,62 ² *

(*) Valores seguidos por un asterisco muestran diferencias significativas entre manejos dentro de cada zona (Prob.<0,05); (1) Valores seguidos por un 1 muestran diferencias significativas bajo el manejo CV (Prob.<0,05); (2) Valores seguidos por un 2 muestran diferencias significativas bajo el manejo SD (Prob.<0,05). (■) Valores coloreados en rojo muestran una concentración por debajo del umbral 'Bajo' definido por García-Escudero *et al.* (2013); (■) Valores coloreados en verde muestran una concentración por encima del umbral 'Alto' definido por García-Escudero *et al.* (2013).

5.2. DISCUSIÓN

5.2.1. Macronutrientes

5.2.1.1. Nitrógeno foliar (N)

En la pendiente las concentraciones de N no parecían estar influenciadas por el manejo. En el caso del limbo, las concentraciones de N en 2008 y en 2010 se encontraban por debajo del umbral bajo propuesto por García-Escudero *et al.* (2013) para la variedad 'Tempranillo' y dentro del rango aceptable en 2009 (Tabla 5.1). En el peciolo, las concentraciones fueron inferiores al umbral bajo en los tres años analizados (García-Escudero *et al.*, 2013). De igual manera, Hanna *et al.* (1995) tampoco encontraron diferencias debidas al manejo en el N foliar en distintos momentos del ciclo de la vid, y Jiménez *et al.* (2007) tampoco encontraron diferencias en limbo en el envero, al igual que Smith *et al.* (2008) analizando tanto limbo como peciolo de la hoja. Sweet y Schreiner (2010) observaron cambios notables en el N foliar de un ciclo para otro, pero no encontraron cambios significativos debidos al manejo.

En el hondón las concentraciones de N tanto en limbo como en peciolo eran más altas bajo SD, y esta diferencia fue significativa en el año 2009 y en el año 2010, para el limbo y peciolo, respectivamente. Así, en el limbo, bajo el manejo CV en 2008 y en 2010 las concentraciones de N se situaban por debajo del límite bajo recomendado para este nutriente (García-Escudero *et al.*, 2013) (Tabla 5.1). En lo que respecta al peciolo, bajo el manejo CV también hubo niveles de N por debajo del umbral bajo en los tres años analizados, y en 2009 en el manejo SD (García-Escudero *et al.*, 2013) (Tabla 5.1). En relación a lo observado en el hondón, son diversos los autores que afirman que las cubiertas vegetales pueden causar descensos en la concentración de N foliar (Celette *et al.*, 2009; Ibáñez *et al.*, 2011; Maigre y Aerny, 2001; Pérez-Álvarez, 2015). Así, algunos de estos autores han relacionado el descenso con una menor absorción de este nutriente a causa de la menor disponibilidad hídrica bajo el manejo mediante cubiertas (Linares, 2009; Tesic *et al.*, 2007; Wheeler *et al.*, 2005). En el caso de este estudio, no hubo diferencias de potencial entre manejos en el hondón en los años en los que se analizó el N foliar (Figura 4.2). Además, en la pendiente donde sí se observaban diferencias más claras de situación hídrica de la planta, no se encontraron diferencias en cuanto a la concentración de N debidas al manejo. Por tanto, la disponibilidad hídrica no parecía ser la causa de una menor concentración de N bajo CV en el momento de envero, apuntando así hacia una competencia por el N por parte de las cubiertas vegetales. Como ya se ha mencionado en apartados anteriores, la ausencia de competencia por el agua en el hondón era el resultado de una mayor profundidad del suelo. Probablemente el mayor volumen

explorable de suelo para las raíces no solo resultó en una mayor disponibilidad de agua en el hondón, sino también en un mayor aporte de N por parte del mismo. La existencia de horizontes con niveles de materia orgánica más altos de lo esperado también pudo contribuir a esta mayor disponibilidad de N, puesto que la materia orgánica del suelo es una de principales fuentes de N para la planta cuando no se realiza fertilización mineral nitrogenada (Celette *et al.*, 2009).

Al comparar las dos zonas dentro de cada manejo, las únicas diferencias significativas aparecieron bajo el manejo SD, siendo la concentración de N foliar superior en la zona de hondón, tanto en limbo en 2008 como en peciolo en 2010. En el manejo mediante cubierta vegetal no hubo diferencias entre zonas. De este modo, la disminución de la concentración de N foliar bajo el manejo CV en el hondón igualó las dos zonas bajo este manejo (Tabla 5.1).

5.2.1.2. Fósforo (P)

Cuando se compararon los manejos dentro de la zona de pendiente, la concentración de P en limbo mostraba valores muy similares bajo ambos manejos, a pesar de que se encontró significación en el año 2009 para una diferencia muy pequeña. Así, esta diferencia en la concentración de P en el limbo se debía a la pequeña variabilidad entre distintos manejos e incluso entre zonas. Este macronutriente mostraba concentraciones deficitarias o cercanas a ellas respecto a los valores referenciales para ‘Tempranillo’ propuestos por García-Escudero *et al.* (2013). En el caso del peciolo tampoco se observaba ningún efecto del manejo mediante cubierta vegetal sobre la concentración de P en la pendiente, y las concentraciones fueron deficitarias en todos los casos (Tabla 5.1). En relación a la baja concentración de este elemento, cabe decir que su contenido en la parte más superficial del suelo era alto, descendiendo de manera importante hacia horizontes más profundos del suelo (Tabla 3.3). De este modo, sus bajas concentraciones en hoja podrían indicar que las cepas absorbían este nutriente desde zonas más profundas del suelo. En relación con lo encontrado al comparar los manejos, Tesic *et al.* (2007) observaron también un aumento de la concentración de P mediante el manejo con cubiertas en una parcela de ensayo pero no encontraron diferencias en otra. En una línea similar, también hay autores que han encontrado similares concentraciones de P bajo manejos con cubierta y laboreo (Jiménez *et al.*, 2007; Morlat *et al.*, 1993). Otros autores, a pesar de haber encontrado diferencias señalando hacia una competencia por el P por las cubiertas, han obtenido diferencias aisladas (Pérez-Álvarez, 2015).

En la zona de hondón, al igual que en la pendiente, las concentraciones de P en limbo eran similares entre manejos. Las concentraciones de P fueron deficitarias en limbo y peciolo, excepto en el manejo SD en 2008 y 2009. En esta zona la única diferencia entre manejos se detectó en el caso del peciolo en 2010, con una menor concentración de P bajo el manejo CV en 2010, si bien también en el resto de años se observaba una tendencia similar (Tabla 5.1). Todo lo expuesto concordaba con lo descrito por diversos autores (Linares, 2009; Sagüés *et al.*, 2008; Wheeler *et al.*, 2005), quienes encontraron menores concentraciones de P foliar con manejo de cubiertas vegetales. También Smith *et al.* (2008) observaron la misma tendencia, pero no encontraron significación estadística.

En general, en todas las diferencias encontradas entre las zonas, tanto bajo el manejo mediante CV como bajo el manejo mediante SD, las concentraciones de P eran mayores en el hondón. A este respecto, el suelo del hondón tenía una mayor profundidad, y a pesar de que el P es un elemento (Tabla 3.3) cuyos contenidos son más altos en la capa más superficial del suelo, una mayor profundidad de suelo supone un mayor volumen explorable por las raíces y por tanto una mayor disponibilidad de todos los nutrientes en la zona del hondón. Además, tal y como se puede observar en la Tabla 3.3 (Apartado 3.2), en los primeros 44 cm de suelo, el contenido de P en el hondón era también superior al de la pendiente, por ser el hondón una zona de deposición. Por tanto, las cepas en la zona de hondón tenían mayor cantidad de P disponible.

5.2.1.3. Potasio (K)

En lo que respecta al K en ninguna de las dos zonas se observaron diferencias significativas entre manejos en ninguno de los tejidos analizados. En el año 2009, las concentraciones de K en limbo estaban por debajo del umbral de déficit propuesto por García-Escudero *et al.* (2013) en ambas zonas y manejos, y lo mismo ocurría en el año 2010 en el hondón bajo los dos manejos. En el caso del peciolo, las concentraciones de K eran, en general, más altas y en 2008 en la pendiente y en 2010 en ambas zonas estaban por encima del umbral alto bajo ambos manejos (García-Escudero *et al.*, 2013) (Tabla 5.1).

Entre las zonas tampoco hubo ninguna diferencia significativa bajo ninguno de los manejos de suelo. Así, en relación a lo observado en el caso de este macronutriente, otros autores tampoco encontraron diferencias en el K en limbo durante el envero al comparar el manejo mediante laboreo y mediante cubierta vegetal (Pérez-Álvarez, 2015; Sweet y Schreiner, 2010). De manera similar, teniendo en cuenta que los valores fluctuaron sin mostrar ninguna tendencia clara, también cabe mencionar que algunos autores han obtenido

resultados variables según la cubierta empleada y las condiciones en las que se han aplicado los manejos. Así, Sagüés *et al.* (2008) obtuvieron resultados distintos para este nutriente en distintos momentos de muestreo y Tesic *et al.* (2007) encontraron diferencias en un año con condiciones semiáridas, mientras observaron una ausencia de diferencias para el K en condiciones semihúmedas.

5.2.1.4. Calcio (Ca)

En el año 2009 en ambas zonas y manejos las concentraciones de Ca en limbo estaban por debajo del nivel de déficit (García-Escudero *et al.*, 2013). En 2010 y 2011 en el hondón bajo el manejo SD ocurría lo opuesto, estando las concentraciones por encima del umbral alto. En el peciolo, en 2009 se encontraron niveles dentro del rango aceptable de Ca, excepto en el hondón bajo el manejo CV, donde había déficit. El resto de los años, la concentración de Ca en el peciolo estaba por encima del rango alto (García-Escudero *et al.*, 2013) (Tabla 5.1).

En la zona de pendiente, las cubiertas no influyeron en la concentración de Ca en limbo; en el peciolo en 2008 se encontró una mayor concentración de Ca bajo SD. No obstante, esta diferencia no denotaba ninguna tendencia definida en el conjunto de años. En el hondón, la concentración de Ca tendió a ser superior en ambos tejidos bajo el manejo SD. En este caso, hubo diferencias significativas para el limbo en 2009 y 2011, y en el peciolo en 2008 (Tabla 5.1). Estos resultados guardaban buena relación con otros trabajos en los que también se ha observado una disminución de este macronutriente bajo el manejo con cubiertas vegetales (Maigre y Aerny, 2001). Además, distintos autores también afirman que las cubiertas vegetales producen una disminución en la concentración foliar de Ca, si bien no encontraron significaciones estadísticas en sus resultados (Morlat *et al.*, 1993; Sweet y Schreiner, 2010; Tesic *et al.*, 2007). Al comparar las zonas dentro de los manejos, bajo el manejo CV no hubo diferencias en las concentraciones de Ca. Por el contrario, bajo suelo desnudo las concentraciones de Ca fueron más altas en el hondón que en pendiente en 2011 en el limbo y en 2010 en el peciolo. Por tanto, las cubiertas vegetales competían por el Ca en la zona de hondón, mientras en la zona de pendiente no ocurría lo mismo; así, las dos zonas se igualaban bajo este manejo (Tabla 5.1).

5.2.1.5. Magnesio (Mg)

En el limbo la concentración de Mg estaba dentro del rango aceptable en todos los casos excepto bajo ambos manejos en la pendiente en 2009, ya que en este caso se encontraba por debajo del umbral de déficit (García-Escudero *et al.*, 2013). En el peciolo en 2009 la concentración de Mg estaba bajo el umbral de déficit bajo el manejo SD en la

pendiente. En este mismo año, las demás concentraciones de Mg eran adecuadas (García-Escudero *et al.*, 2013). En el año 2008 bajo ambos manejos y en ambas zonas las concentraciones de Mg estaban por encima del umbral alto en peciolo. Asimismo, en la pendiente bajo CV y en el hondón bajo SD en 2010 y 2011, y en el hondón bajo CV en 2011, las concentraciones de Mg también eran superiores al umbral alto. El resto de casos las concentraciones de este nutriente estaban dentro del rango aceptable (García-Escudero *et al.*, 2013) (Tabla 5.1).

La concentración de Mg no mostró un patrón regular cuando se comparaban los manejos dentro de la zona de pendiente, si bien en 2010 y 2011 las concentraciones de Mg en limbo fueron más altas bajo cubierta vegetal que en suelo desnudo (Tabla 5.1). La razón de esta mayor concentración bajo CV en la pendiente pudo haber sido la existencia de un horizonte con arcillas de tipo vermiculita rico en Mg en profundidad. Así, las cepas bajo el manejo CV, pudieron haber absorbido agua y nutrientes de una zona más profunda, absorbiendo más Mg. Por el contrario, las concentraciones de Mg fueron similares para ambos manejos en el hondón. Al comparar las zonas para cada manejo, en el hondón las concentraciones de Mg fueron más altas que en la pendiente en limbo y peciolo bajo ambos manejos en 2008 y bajo el manejo de suelo desnudo para el limbo en 2009. Esto seguramente se debió a una mayor profundidad del suelo en el hondón, con un mayor volumen de suelo explorable por las raíces y, por tanto, una mayor disponibilidad de Mg. En relación a la ausencia de una tendencia marcada en el resto de los años, otros autores también afirman no poder establecer un efecto claro del manejo sobre la concentración de este elemento ni en floración ni en envero (Ibáñez, 2013; Pérez-Álvarez, 2015; Sweet y Schreiner, 2010). Por tanto, los resultados de este trabajo coinciden con los expuestos por los citados autores, permitiendo deducir que las cubiertas vegetales no tuvieron ningún efecto marcado sobre el contenido de Mg foliar.

5.2.2. Micronutrientes

5.2.2.1. Hierro (Fe)

Las concentraciones de Fe se encontraban dentro del rango aceptable propuesto por García-Escudero *et al.* (2013) en el caso del limbo, exceptuando en el manejo CV en el hondón en el año 2008, que mostró una concentración por debajo del rango de déficit. En el caso del peciolo, en 2008 el Fe estuvo por encima del umbral alto en todos los casos excepto bajo el manejo CV en la pendiente. En 2009 en el manejo CV en la pendiente la concentración de Fe

en el peciolo estaba por encima del umbral alto. En el resto de los casos, los valores encontrados estaban dentro del rango aceptable (Tabla 5.2).

La única diferencia encontrada debida al manejo ocurrió en el peciolo en 2009 con una mayor concentración de Fe bajo CV. En conjunto, las concentraciones de Fe en limbo y peciolo no permitían establecer ningún patrón de comportamiento ni entre manejos ni entre zonas. Estas observaciones concuerdan con las realizadas por otros autores (Linares, 2009; Pérez-Álvarez, 2015; Sweet y Schreiner, 2010; Tesic *et al.*, 2007; Uliarte *et al.*, 2009), quienes tampoco encontraron tendencias claras al comparar la concentración de Fe foliar entre distintos manejos. Por tanto, no hubo ningún efecto sobre la concentración de Fe del manejo o de la zona.

5.2.2.2. Manganeso (Mn)

Las concentraciones de Mn en limbo estaban por debajo del umbral de déficit en todos los años analizados excepto en 2008, en ambas zonas y bajo los dos manejos de suelo. En el caso del peciolo, los únicos casos en los que las concentraciones se encontraron dentro del rango aceptable fueron el manejo CV en el hondón en 2008 y 2009, y los dos manejos en 2011 en la pendiente. En el resto de casos las concentraciones de Mn en peciolo se encontraban por debajo del umbral de déficit propuesto por García-Escudero *et al.* (2013) (Tabla 5.2).

En el Mn en limbo, cuando se comparaban los manejos en la pendiente, su concentración fue significativamente mayor bajo el manejo CV en 2008 y 2009. Al comparar los manejos en la zona de hondón, también se observaba lo mismo en 2008 y en 2011 en el caso del limbo, y en 2008 en el caso del peciolo (Tabla 5.2). Por tanto, se podía deducir que las cubiertas vegetales favorecían en cierta medida un aumento de la concentración foliar de Mn. En lo referente a las zonas, no se observaba ninguna diferencia significativa entre pendiente y hondón, excepto en la concentración de Mn en peciolo en 2011 bajo SD, que era más alta en la pendiente que en el hondón. Similares resultados se han observado también en otros trabajos (Ibáñez, 2013; Linares, 2009; Sweet y Schreiner, 2010; Tesic *et al.*, 2007). Por tanto, con los resultados de este trabajo se puede inferir que las cubiertas vegetales tienden a favorecer la concentración de Mn en hoja en ambas posiciones fisiográficas. El motivo para este aumento de la concentración foliar de Mn en ambos tejidos bajo el manejo CV puede ser la acidificación de la rizosfera a causa de la liberación de H^+ por parte de las raíces. Las raíces de algunas plantas, suelen liberar H^+ cuando la absorción total de cationes supera la de aniones, provocando un descenso del pH en la rizosfera (Grinsted *et al.*, 1982). Por tanto, teniendo en cuenta que la solubilidad de Mn es mayor a pH más ácidos (Sims, 1986), puede que las

cubiertas vegetales hubiesen resultado en una mayor disponibilidad de Mn para las vides (Abbas *et al.*, 2016).

5.2.2.3. Zinc (Zn)

Las concentraciones de Zn en el limbo estaban por encima del umbral alto propuesto por García-Escudero *et al.*, (2013) en la pendiente bajo CV en 2008 y en ambas zonas y bajo los dos manejos en 2011. En el peciolo las concentraciones de Zn estaban por encima del umbral alto en todos los casos analizados (Tabla 5.2).

La concentración de Zn en limbo fue más alta bajo CV que en SD en ambas zonas en 2008, y en 2009 se observó la misma tendencia, al igual que en 2010 en la pendiente. No obstante, en 2010 en el hondón y en 2011 las concentraciones mostraban lo contrario, a pesar de no haber significación (Tabla 5.2). Similares resultados se observaron en el caso del peciolo, sin ninguna significación en este caso. Al comparar las zonas dentro de cada manejo tampoco hubo ninguna diferencia significativa. Estos resultados llevaban a descartar un efecto de competencia por las cubiertas para este elemento, al contrario de lo encontrado por otros autores (Ibáñez, 2013; Linares, 2009; Sweet y Schreiner, 2010; Tesic *et al.*, 2007). No obstante, coincidiendo con los resultados expuestos, también hay trabajos en los que no se ha encontrado ningún efecto claro de las cubiertas vegetales sobre el contenido foliar de Zn (Pérez-Álvarez, 2015). A pesar de todo lo mencionado, las concentraciones de Zn más altas bajo CV en 2008 y 2009 podrían haber sido provocadas por un descenso del pH a través de la actividad radicular de la cebada, ya que como ocurre con el Mn, el Zn en suelo también suele estar más disponible a un pH más bajo (Sims, 1986).

5.2.2.4. Cobre (Cu)

En el Cu en limbo, exceptuando la CV en pendiente en 2011 y ambos manejos en el hondón en el mismo año, en los que las concentraciones estaban dentro del rango aceptable, el resto de las concentraciones se encontraron por debajo del umbral de déficit establecido por García-Escudero *et al.* (2013). En el peciolo las concentraciones estaban por debajo del umbral de déficit en el año 2009 bajo el manejo SD en pendiente, y bajo ambos manejos en la zona de hondón. En el año 2010 las concentraciones de Cu en la pendiente bajo CV y en el hondón bajo ambos manejos excedieron el límite alto para este micronutriente. En el resto de casos, las concentraciones de Cu se encontraron dentro del rango aceptable según lo propuesto por García-Escudero *et al.* (2013) (Tabla 5.2).

Cabe destacar que el Cu mostraba una fuerte variabilidad interanual. Las únicas diferencias significativas entre manejos se observaron en el año 2011 en el hondón para

ambos tejidos, con concentraciones más altas bajo suelo desnudo. No obstante, estas diferencias no denotaban ninguna tendencia clara en el conjunto de los años. Por otra parte, la única diferencia entre zonas se observó bajo el manejo con suelo desnudo en 2011 tanto para el limbo como para el peciolo, y al igual que para los manejos, esta diferencia no permitía inferir ninguna tendencia clara. Respecto a lo observado, son numerosos los trabajos en los que tampoco se han encontrado diferencias en las concentraciones de Cu entre el manejo bajo cubiertas vegetales y suelo desnudo (Ibáñez, 2013; Linares, 2009; Sagüés *et al.*, 2008; Sweet y Schreiner, 2010). No obstante, es también importante tener en cuenta que en distintos trabajos la variabilidad en el contenido de Cu se vincula a la aplicación de productos fitosanitarios que contienen este elemento (Ibáñez, 2013; Pérez-Álvarez, 2015). Por tanto, cabe pensar que la variabilidad observada puede tener su origen en la aplicación de productos fitosanitarios con Cu por parte del viticultor.

5.3. RESUMEN

- Las concentraciones de N, P y Ca en hoja fueron menores bajo el manejo CV en el hondón, fenómeno que no se observó en la pendiente. Esto probablemente se debía a que el factor más limitante en la pendiente fue la falta de agua, lo que conllevó un menor crecimiento vegetativo y, por tanto, menores necesidades de nutrientes. Sin embargo, en el hondón el agua disponible para las cepas fue mayor, lo que favoreció un mayor crecimiento vegetativo y un mayor rendimiento. En consecuencia, la necesidad de nutrientes fue más alta, y apareció la competencia por estos nutrientes entre la cubierta y la vid.
- La concentración de Mg fue mayor en la pendiente bajo el manejo CV. Esto pudo deberse a la existencia en esta zona de horizontes de suelo en profundidad ricos en arcillas de tipo vermiculita, con un mayor contenido de Mg disponible. También indica que las raíces bajo este manejo habrían profundizado más en el suelo.
- El único micronutriente cuya concentración en hoja se vio afectada por la cubierta vegetal fue el Mn. Así, la concentración de este elemento fue mayor en el manejo CV en ambas posiciones fisiográficas. Esto se pudo deber a un probable descenso del pH del suelo causado por la actividad de las raíces de la cebada. A un pH menor el Mn es más soluble y, por tanto, más disponible para la vid.
- Hubo una tendencia hacia mayores concentraciones foliares de N, P y Ca bajo suelo desnudo y de Mg bajo ambos manejos en el hondón. Esto se pudo deber al mayor espesor del horizonte superficial del suelo más rico en nutrientes y a la mayor profundidad del suelo, lo que hace que la capacidad de aportar nutrientes de este suelo sea mayor que la del suelo de pendiente.
- En los micronutrientes no hubo prácticamente diferencias relacionadas con la posición fisiográfica en el viñedo.

**6. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO Y DE
LA POSICIÓN FISIAGRÁFICA SOBRE EL
DESARROLLO VEGETATIVO DE LA VID**

6.1. RESULTADOS

6.1.1. Diámetro medio del pámpano

En las ecuaciones de regresión lineal-plateau ajustadas a las medidas de los diámetros medios de los pámpanos tomadas a lo largo del periodo vegetativo de la vid, se podía observar un crecimiento inicial rápido del grosor del pámpano seguido de una rápida transición a una estabilización del grosor del mismo. A través de las mencionadas ecuaciones se pudo establecer el día en el que ocurría esta parada del crecimiento en el grosor (Tabla 6.1). El año 2008 no se ajustaron ecuaciones porque el diámetro de los sarmientos ya se encontraba en su fase estable cuando se hizo la primera medida. Las paradas en engrosamiento más precoces ocurrieron en el manejo SD en la zona de pendiente en 2009 y en el caso del manejo CV en el hondón en 2010. Asimismo, la parada de engrosamiento más tardía tuvo lugar en 2012 bajo CV en la zona del hondón, el día 71 después de la brotación.

Tabla 6.1. Día de la parada del engrosamiento de los pámpanos calculado con las ecuaciones de regresión lineal-plateau contados a partir de la brotación en cada año de estudio.

Zona	Manejo	Día de parada de engrosamiento de los pámpanos			
		2009	2010	2011	2012
Pendiente	Cubierta vegetal	47	54	56	66
	Suelo desnudo	44	50	48	63
Hondón	Cubierta vegetal	54	44	50	71
	Suelo desnudo	50	50	70	59

En general, el diámetro del pámpano mostró un intenso crecimiento inicial hasta unos 45-60 días después de brotación, seguido de una fase posterior en el que el diámetro alcanzado se mantuvo estable.

En la zona de pendiente el manejo no causó diferencias significativas en el diámetro medio de los pámpanos en ninguno de los años de estudio. Los mayores valores para esta variable se obtuvieron en el año 2008, siendo de 9 a 10 mm en ambos manejos. Los años 2009 y 2010 los diámetros fueron de alrededor de 9 mm. El año 2011 se observaron los menores valores para el diámetro medio del pámpano, situándose entre los 7 y los 8 mm. Finalmente, en el año 2012 los valores alcanzados por el diámetro medio se situaban entre los 8 y los 9 mm (Figura 6.1).

En la zona de hondón los manejos no causaron ninguna diferencia significativa sobre el diámetro medio del pámpano durante los dos primeros años de estudio (Figura 6.1). Durante el tercer año, los diámetros fueron significativamente mayores bajo el manejo CV a lo largo de

todo el ciclo. Por el contrario, en 2011 los diámetros medios fueron significativamente mayores bajo el manejo SD durante las dos últimas medidas. Finalmente, en 2012 los diámetros fueron de nuevo mayores bajo SD, pero en este caso las diferencias se registraron a lo largo de todo el ciclo. En cuanto a los valores alcanzados, en 2008 los diámetros medios eran de unos 10 mm. El año siguiente, se registraron los mayores valores en el periodo de estudio, alrededor de 11 mm. En el año 2010 bajaron hasta valores poco mayores que 9 mm y cercanos a 9 mm, en CV y SD, respectivamente, y en 2011 siguieron disminuyendo los valores, por encima de 8 en SD y un poco por debajo en CV. Finalmente, los diámetros medios en 2012 no alcanzaron los 7 mm bajo el manejo CV, mientras que bajo el manejo SD los valores se situaban un poco por encima de ese valor (Figura 6.1).

Las diferencias entre pendiente y hondón bajo CV se debieron a un mayor diámetro medio en el hondón durante las dos primeras medidas en 2009, un mayor diámetro en la zona de pendiente en 2011 en las dos últimas medidas, y un mayor diámetro medio en la pendiente en todas las medidas en 2012 (Figura 6.1). En el hondón el diámetro del pámpano fue mayor que en la pendiente bajo el manejo SD durante la tercera y cuarta medida en 2008 y en todas las medidas en 2009. Por el contrario, bajo este mismo manejo el diámetro fue mayor en la pendiente en la primera medida de 2010, y en todas las medidas, excepto en la quinta, en 2012 (Figura 6.1).

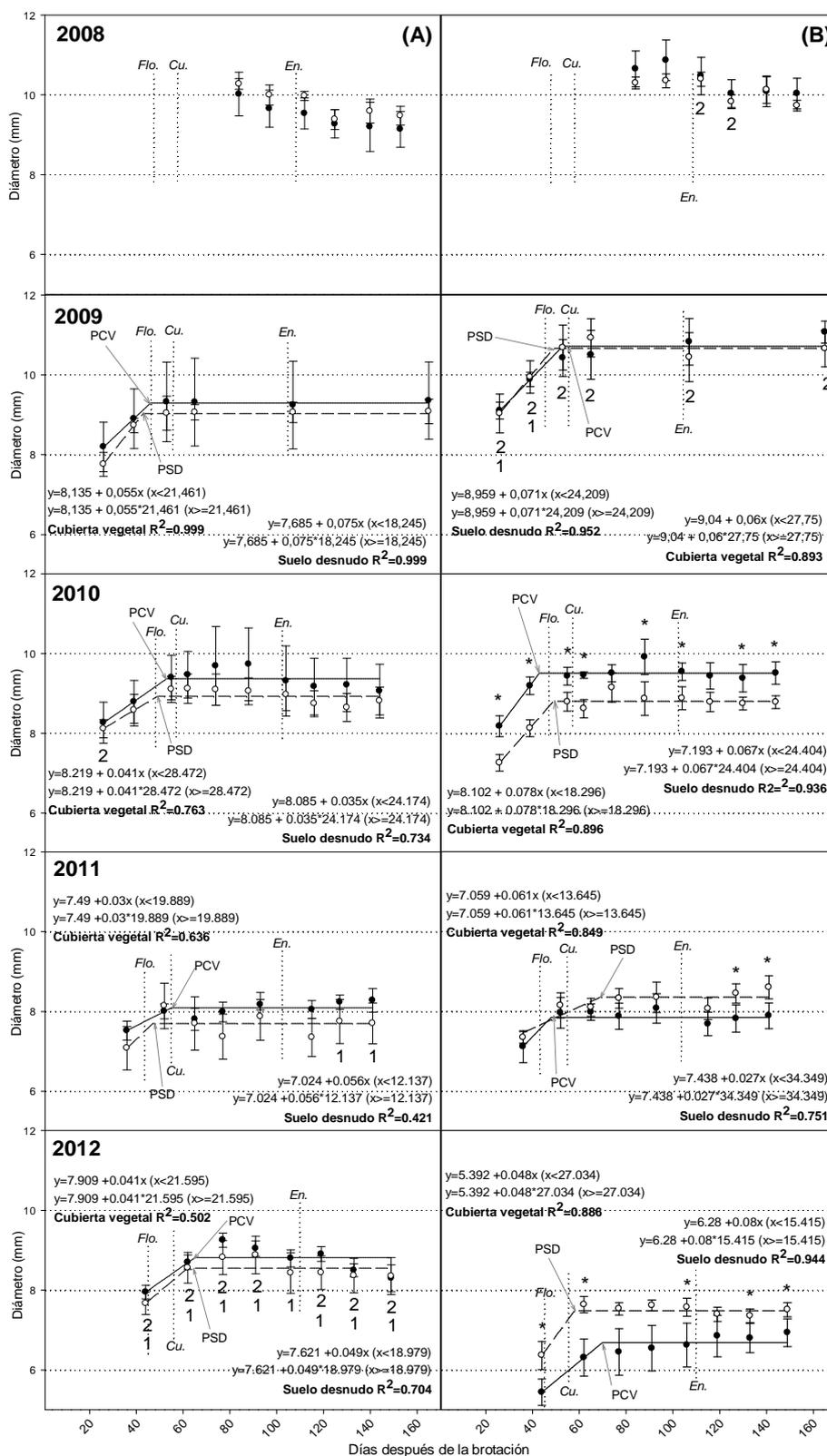


Figura 6.1. Evolución del diámetro medio de los pámpanos en los cinco años de estudio y representación gráfica de las regresiones lineal-plateau con sus respectivas ecuaciones (2009-2012) bajo el manejo con cubierta vegetal (● —) y bajo el manejo con suelo desnudo (o —). (A) Pendiente; (B) Hondón. (PSD) Parada del crecimiento del diámetro medio del pámpano bajo el manejo con suelo desnudo; (PCV) Parada del crecimiento del diámetro medio del pámpano bajo el manejo con cubierta vegetal. (Flo.) Floración; (Cu.) Cuajado; (En.) Envero. (*) Valores con un asterisco indican diferencias significativas entre manejos dentro de cada zona (Prob. <0,05); (1) Valores con un 1 indican un diámetro del pámpano significativamente mayor en la zona donde se expresan en el manejo con cubierta vegetal (Prob. <0,05); (2) Valores con un 2 indican un diámetro del pámpano significativamente mayor en la zona donde se expresan en el manejo con suelo desnudo (Prob. <0,05).

6.1.2. Peso de la madera de poda

Cuando se compararon los pesos de la madera de poda en la zona de pendiente, no se encontró ninguna diferencia significativa entre manejos en ninguno de los años de estudio (Figura 6.2).

Los pesos de madera de poda en el hondón fueron significativamente mayores bajo el manejo SD en comparación con el manejo CV durante los primeros tres años de estudio. Durante los años 2011 y 2012 no hubo diferencias significativas entre los manejos (Figura 6.2).

Durante los tres primeros años de estudio (2008-2010) el peso de madera de poda fue mayor en el hondón que en la pendiente bajo el manejo SD. Por lo contrario, en los últimos dos años del ensayo no se observó ninguna diferencia entre zonas bajo ningún manejo para el peso de la madera de poda (Figura 6.2).

En la zona de pendiente, bajo el manejo CV, el peso de la madera de poda mostró un descenso progresivo entre el primer año y el último año de estudio (Figura 6.2). En el caso del manejo SD los pesos de poda en 2008 y 2010 fueron similares, en 2009 hubo un peso de poda menor, y en 2011 y 2012 se obtuvieron los pesos más bajos, diferenciándose de los tres años anteriores. En la zona de hondón, bajo el manejo CV, los pesos de madera de poda fueron iguales en los primeros tres años y se diferenciaron de los últimos dos años, en los que los pesos de poda fueron notablemente inferiores. Bajo el manejo mediante SD, en los primeros tres años se registraron similares pesos de poda (Figura 6.2).

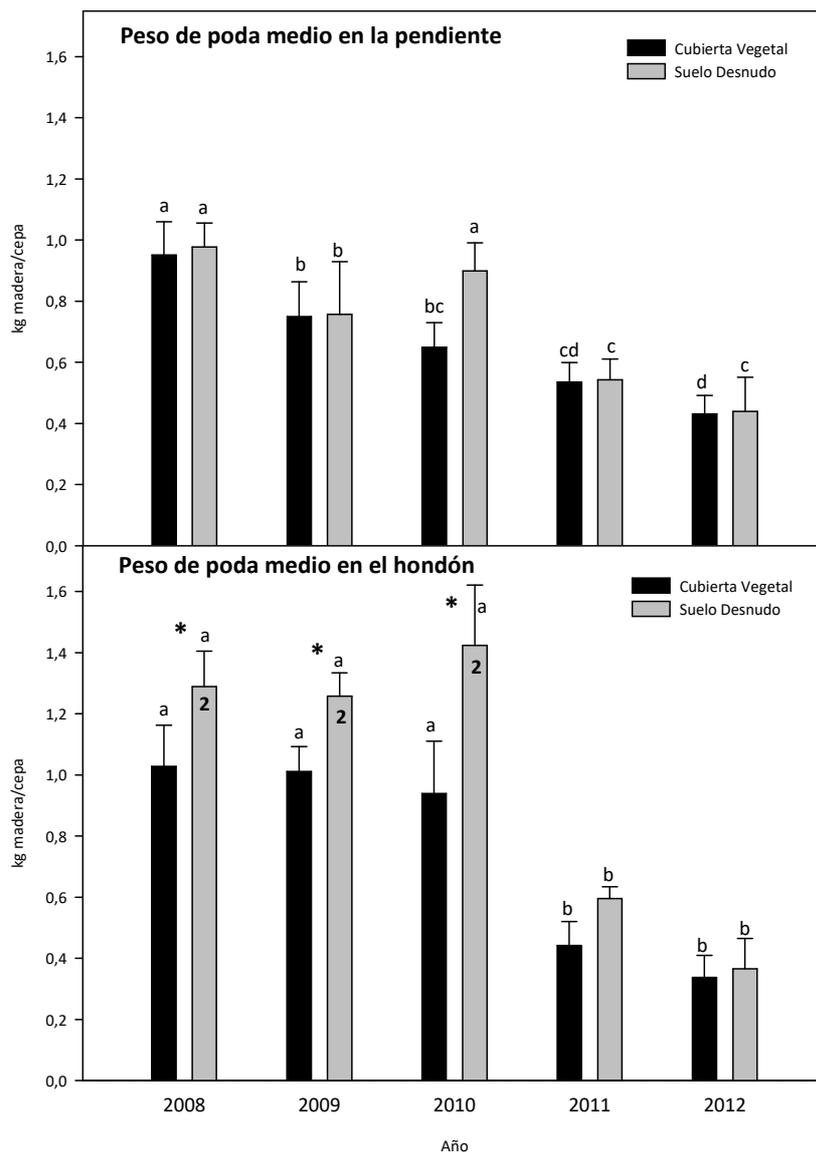


Figura 6.2. Peso de la madera de poda por cepa (kg) en la pendiente y el hondón bajo los dos manejos aplicados. (*) Valores con un asterisco indican diferencias significativas entre manejos dentro de cada zona (Prob. <0,05); (1) Valores con un 1 indican un diámetro del pámpano significativamente mayor en la zona donde está el número para el manejo con cubierta vegetal (Prob. <0,05); (2) Valores con un 2 indican un diámetro del pámpano significativamente mayor en la zona donde está el número bajo el manejo con suelo desnudo (Prob. <0,05); (Letras a-d), valores con letras distintas indican diferencias significativas entre años dentro de cada zona y cada manejo según el test de Duncan (Prob. <0,05).

6.2. DISCUSIÓN

6.2.1. Diámetro medio del pámpano

Son diversos los autores que afirman que en viñedos bajo condiciones de clima mediterráneo el consumo hídrico que realizan las cubiertas vegetales supone una limitación para el crecimiento vegetativo de las vides (Lombard *et al.*, 1988; Tesic *et al.*, 2007). Este crecimiento vegetativo suele ser desigual a lo largo del ciclo y se divide en distintas fases (McCarthy, 1997). Alrededor de floración-cuajado suele tener lugar un crecimiento máximo de la planta, posteriormente, el crecimiento sufre una ralentización, hasta que se suele dar la parada vegetativa en enero si las condiciones son idóneas para ello (McCarthy, 1997). Durante el crecimiento, los pámpanos se suelen alargar, las hojas se desarrollan y se expanden, y el grosor de los pámpanos también aumenta (Dry y Loveys, 1998). En la fase inicial del crecimiento hasta el momento de floración-cuajado, la mayor parte de éste se suele producir utilizando las reservas acumuladas en la planta durante el ciclo anterior (Mattschoss, 1995; Scholefield y Nealesb, 1978; Smith y Holzapfel, 2002). De este modo, las condiciones del ciclo anterior, sobre todo las que se dan entre el enero y la caída de hojas, afectarán al crecimiento inicial hasta cuajado (Santesteban, 2003). El crecimiento que ocurre en los pámpanos entre el cuajado y el enero está influenciado por el estado hídrico de la planta en ese periodo (Ibáñez, 2013; Santesteban, 2003). A este respecto, hay autores que afirman que la parada del crecimiento en longitud ocurre antes en cepas sometidas a déficit hídrico (Champagnol, 1984; Koundouras *et al.*, 2006, 1999; Van Leeuwen *et al.*, 2004). De manera más concreta, algunos autores han establecido valores de potencial en hoja entre -1,00 y -1,25 MPa en el caso de variedades blancas para la parada del crecimiento en longitud (Naor *et al.*, 1993). Baeza *et al.* (2007) establecieron que la tasa de crecimiento era nula a un potencial en hoja al mediodía de -1,12 MPa. Una vez transcurrido el enero, la planta podrá seguir creciendo si no existe un estrés hídrico moderado o severo que limite su crecimiento (Dry y Loveys, 1998). Además de todo lo expuesto, el crecimiento a partir de cuajado hasta el final del ciclo de la vid, puede estar favorecido por un buen estado hídrico entre la brotación y la floración (Chaves *et al.*, 2010). Así, la buena disponibilidad hídrica en esta fase temprana estimula el crecimiento en fases posteriores y también la emisión de brotes anticipados (Lopes *et al.*, 2011).

Con el objetivo de caracterizar la evolución del crecimiento de los pámpanos se pueden tomar distintas medidas en campo. Una de ellas es la longitud que éstos tienen en cada momento. Otra medida menos utilizada, propuesta para determinar el vigor de las vides, es la medida del diámetro (Martínez de Toda, 2011) o de la sección de los pámpanos (Santesteban, 2003). En el presente estudio, se utilizó la medida del diámetro medio con la

intención de seguir el crecimiento de las cepas bajo los distintos tratamientos aplicados. Esta medida permitió identificar una etapa de rápido crecimiento hasta floración-cuajado, con una posterior parada del crecimiento, tal como mostraban las ecuaciones de tipo lineal-plateau ajustadas a las medidas del diámetro medio del pámpano (Figura 6.1). Las paradas en la zona de pendiente, generalmente, se observaron entre la floración y el cuajado bajo ambos manejos, en un rango de potenciales entre -0,75 MPa y -1,20 MPa, aproximadamente (Figura 4.2). En el hondón, las paradas se observaron en un rango más amplio de potencial, entre -0,65 MPa y -1,25 MPa (Figura 4.2). Los momentos de parada y las diferencias entre manejos variaron más en el caso del hondón, y no se observó ninguna relación clara entre los días transcurridos desde la brotación hasta la parada y el estado hídrico de los distintos manejos (Figuras 6.1 y 4.2). El momento de parada de crecimiento tampoco mostró ninguna relación clara con la zona. Así, en algunos años hubo paradas más precoces en el hondón y otros en la pendiente tanto bajo CV como bajo SD. Según lo indicado, la parada del crecimiento del diámetro medio tuvo lugar con potenciales mínimos aproximados de -1,20 MPa (Figuras 6.1 y 4.2). De este modo, el amplio rango de potenciales en los que se dieron las paradas del crecimiento del diámetro medio parecía señalar una ausencia de relación entre el estado hídrico y el momento de la parada.

Además de todo lo expuesto, en este estudio las paradas de crecimiento del diámetro ocurrían con gran antelación respecto al envero en la mayoría de los casos (Figura 6.1), a pesar de ser éste el momento que la mayoría de autores establecen para el cese del crecimiento vegetativo (Ibáñez, 2013). Por tanto, como más adelante se puede corroborar al discutir los resultados del peso de la madera de poda, cuando el diámetro dejaba de crecer, los pámpanos no cesaban en su crecimiento en longitud y en su crecimiento lateral. Asimismo, como anteriormente se ha mencionado, la parada del crecimiento suele ser más precoz en cepas sometidas a mayor estrés (Koundouras *et al.*, 2006; Van Leeuwen *et al.*, 2004), por tanto, si el diámetro fuese un buen indicador del crecimiento vegetativo, se podría esperar un diámetro menor en aquellas cepas en las que la parada de crecimiento era más precoz. No obstante, en los casos en los que las paradas de crecimiento se anticipaban, el diámetro resultante no fue menor, como se pudo observar de manera muy clara en la zona de hondón en 2010; por consiguiente, se podía deducir que ni las paradas observadas en este parámetro ni los diámetros reflejaban la influencia del estrés durante el ciclo (Figura 6.1). De similar modo, en el año 2012, los diámetros más reducidos en el hondón bajo el manejo CV correspondían a una parada de crecimiento más tardía (Figura 6.1). En un estudio similar, Santesteban (2003) empleó la sección de los pámpanos como indicador de la expresión vegetativa de la vid,

variable que está directamente relacionada con el diámetro. Este autor ajustó curvas de crecimiento a los valores de la sección de los sarmientos y asoció los máximos de las curvas a la parada de crecimiento, encontrando que la parada también ocurría, en general, semanas antes del envero. Santesteban (2003) afirmó que la sección de los sarmientos y, por consiguiente, el diámetro, estaba más influenciado por el crecimiento de antes del cuajado y, este crecimiento inicial, como se ha mencionado anteriormente, depende sobre todo de la acumulación de reservas durante el ciclo anterior (Mattschoss, 1995; Scholefield y Nealesb, 1978; Smith y Holzapfel, 2002). Así, parece que el estrés hídrico del propio ciclo habría tenido poca influencia en el cese del crecimiento del diámetro de los pámpanos, lo que dificulta establecer una relación entre el cese de crecimiento y el umbral de estrés preciso para que se produzca esta parada.

La escasa relación entre los diámetros y los potenciales parecía confirmarse al comparar los manejos en cada zona. En la pendiente, los diámetros fueron muy similares bajo los dos manejos a pesar de que los potenciales iniciales fueran más negativos bajo el manejo CV (Figura 4.2). En el hondón, en el año 2011 los diámetros finales fueron mayores bajo el manejo SD, lo que concordaba con un mayor potencial inicial en floración y cuajado bajo el manejo SD. En 2012, por el contrario, con igual potencial hídrico en ambos manejos, el diámetro bajo SD fue mayor que bajo CV. En 2009 no hubo diferencias ni en potenciales ni en diámetros, y en 2010, tampoco hubo diferencias de potencial entre los manejos, sin embargo, los diámetros del pámpano fueron mayores bajo CV que bajo SD (Figuras 6.1 y 4.2). Además, los diámetros ya eran diferentes desde la primera medida y mantenían las diferencias hasta el final del ciclo. De este modo, se podía deducir que, en general, el diámetro del pámpano estaba más condicionado por las condiciones de ciclos precedentes en la mayoría de los casos, aunque en algún caso aislado como en 2009 en la pendiente, no se pudiese ver este efecto. Así, los diámetros en la pendiente entre 2010 y 2012 eran similares para ambos manejos, mostrando también niveles de estrés similares al final de los ciclos precedentes (Figuras 6.1 y 4.2). En el hondón, los diámetros similares en 2009 y las diferencias entre manejos en 2010 también se relacionaban con los potenciales al final de los ciclos precedentes. Por lo tanto, el estado hídrico entre el envero y la vendimia del ciclo anterior parecía afectar al crecimiento inicial hasta cuajado, tal y como afirmó Santesteban (2003).

Al comparar las zonas dentro de cada manejo, las diferencias encontradas bajo el manejo CV en 2009 y en 2012 también guardaban buena relación con los potenciales observados en las dos posiciones fisiográficas al final de los ciclos precedentes (Figuras 6.1 y 4.2). En el caso del manejo SD, en 2012 los potenciales del final del ciclo precedente también

concordaban con las diferencias que se apreciaban entre las zonas. No obstante, en el caso del manejo SD en 2009 esta relación no parecía tan clara, por tanto, en este caso habrían podido influir otros factores. Así, lo observado de nuevo confirmaba que la medida del diámetro no reflejaba el crecimiento que prosigue al momento de cuajado como otros autores han determinado a través de la medida de longitud.

De este modo, lo hasta ahora descrito muestra que la medida del diámetro de los pámpanos no es adecuada para un seguimiento del crecimiento vegetativo más allá del momento de cuajado, momento en el que se da la parada de crecimiento en grosor. No obstante, este parámetro se puede relacionar con la calidad general del viñedo, y a este respecto Martínez de Toda (2011) propuso valores del diámetro comprendidos entre 8,5 y 10,5 mm como deseables para una adecuada calidad de vino resultante. En nuestro caso, el rango de los diámetros medios obtenidos fue similar al mencionado en los primeros años de estudio, pero la escasa precipitación durante la dormancia entre 2010 y 2011 junto con el intenso estrés al inicio del ciclo en 2011 hizo descender el diámetro medio por debajo de los valores sugeridos en ambas zonas, y en 2012 ocurrió lo mismo en la zona del hondón.

6.2.2. Peso de la madera de poda

El peso de poda medido en el periodo de dormancia del ciclo se usa mucho para medir el crecimiento vegetativo de la vid (Williams, 2000) y está considerado como uno de los indicadores más fiables de éste (Ibáñez, 2013). Diversos autores han observado reducciones en el peso de la madera de poda al comparar manejos mediante cubiertas permanentes y suelo desnudo mediante herbicida (Van Huyssteen y Weber, 1980; Sicher *et al.*, 1995). En un estudio más específico, Ingels *et al.* (2005) también observaron una reducción en el peso de madera de poda al comparar distintos tipos de cubiertas vegetales con suelo labrado, siendo una de ellas una cubierta de cereal. Asimismo, en trabajos en los que se han comparado distintos tipos de cubierta y en los que se han realizado tratamientos mixtos (entre distintas especies o distintas aplicaciones de manejos), también se han observado distintas reducciones del peso de madera de poda, dependiendo del tipo de cubierta o de la combinación de manejos (Ibáñez, 2013; Linares, 2009; Ripoché *et al.*, 2011; Sagüés *et al.*, 2008). En este estudio, el peso medio de la madera de poda no mostró diferencias significativas entre manejos en la posición fisiográfica de pendiente. Según los datos climatológicos expuestos en el Capítulo de Material y Métodos (Tabla 3.4), las lluvias durante el periodo de dormancia de la vid fueron escasas antes del ciclo de 2011. El ciclo de 2012 también se inició con una escasa recarga de agua en el suelo en el periodo de dormancia, siendo las condiciones también secas durante el ciclo (Tabla 3.4). En

estas condiciones hubo una notable reducción del peso de madera de poda durante los dos últimos años de ensayo y las medias fueron muy similares bajo ambos manejos.

En la zona de hondón, en los años 2008-2010 se produjo una reducción del peso de la madera de poda mediante el manejo con cubierta vegetal a pesar de que en esta zona no hubo competencia por el agua según los valores del potencial hídrico (Figuras 6.2 y 4.2). Las condiciones de sequía durante la dormancia previa al ciclo de 2011 también resultaron en un peso de poda reducido bajo ambos manejos en este año de estudio y no hubo diferencias entre manejos, aunque en este caso el potencial inicial fuese menor bajo el manejo CV. El último año de estudio tampoco hubo diferencias entre manejos en el peso de madera de poda, y tampoco había diferencias en el potencial hídrico hasta el envero (Figuras 6.2 y 4.2). Todo esto parece indicar que las diferencias en el peso de la madera de poda en los primeros tres años entre manejos, no fueron debidas a diferencias del potencial hídrico previas a envero.

Según las diferencias observadas entre los manejos en la pendiente, donde la diferencia en el estado hídrico era más perceptible, el efecto sobre el peso de la poda no era significativo (Figuras 6.2 y 4.2). Sin embargo, sin haber diferencias en el potencial, el peso de la madera de poda fue diferente entre los manejos en el hondón. Una posible explicación para la diferenciación entre manejos es que pudo estar relacionada con la disponibilidad de nitrógeno para las cepas. En la zona de hondón, de tres años en los que se analizó el N foliar en envero, hubo diferencias significativas entre los manejos en un caso para el peciolo y en otro para el limbo, con una mayor concentración de este nutriente bajo SD (Tabla 5.1). En esta línea, en un ensayo en condiciones climáticas similares a las de este estudio, Pérez-Álvarez *et al.* (2015) observaron bajo cubiertas de cebada una disminución significativa del nitrógeno al menos en un tejido analizado durante uno de los tres años de estudio. Estos mismos autores encontraron también un menor contenido de nitrógeno en el suelo manejado bajo cubiertas de cebada frente a suelos labrados y con cubiertas de leguminosas. Teniendo en cuenta que la mayor disponibilidad de nitrógeno puede resultar en un mayor vigor (Celette *et al.*, 2009; Pérez-Álvarez *et al.*, 2015), la menor disponibilidad de nitrógeno bajo CV en el hondón pudo ser la causa del menor peso de poda en relación al SD durante los primeros tres años. El que estas diferencias no se apreciaran en la pendiente puede ser debido a que en ésta la menor disponibilidad hídrica inicial es la que está marcando el crecimiento. Este crecimiento por tanto es menor que en hondón, y por ello la vid no tiene unas necesidades tan altas de N como en el hondón.

Los pesos de poda en los tres primeros años fueron mayores en el hondón respecto a la pendiente bajo ambos manejos, si bien sólo mostraron significación bajo SD. En los últimos

dos años, en los que el peso de poda fue menor debido a la ya mencionada sequía, no hubo diferencias entre zonas. Se debe mencionar que en los años en los que se encontraron diferencias en el peso de poda entre zonas bajo SD, las diferencias en el potencial inicial entre zonas correspondían al manejo bajo CV (Figura 4.2). En relación con un mayor nivel de estrés inicial, diversos autores señalan que un mejor estado hídrico entre la brotación y el cuajado se traduce en un mayor crecimiento posterior y una mayor cantidad de brotes anticipados o nietos, resultando así en un mayor vigor (Lopes *et al.*, 2011; Santesteban, 2003). Sin embargo, las diferencias en el estrés que aparecieron bajo el manejo CV no se tradujeron en diferencias posteriores en el peso de poda en este caso (Figura 4.2). Por lo tanto, lo que podía estar afectando a las diferencias del vigor entre las zonas podía ser también la disponibilidad de nitrógeno. Así, en la zona de hondón, el contenido de N foliar también fue mayor que en la pendiente bajo SD (Tabla 5.1), sin embargo, era similar al de la pendiente bajo CV, ya que las cubiertas competían por este nutriente en la zona de hondón, igualando la concentración de N foliar entre las zonas bajo este manejo (Tabla 5.1). Durante los dos últimos años de estudio las zonas no se diferenciaron (Figura 6.2). Esto ocurría porque las ya mencionadas condiciones de sequía afectaron especialmente al hondón, ya que la pendiente se regó tres veces en 2011 y tuvo un riego más que el hondón en 2012. De este modo, en gran parte del periodo tras el envero en 2011 y entre cuajado y envero en 2012, los potenciales fueron significativamente menores en el hondón, sobre todo bajo el manejo SD. Así, las diferencias en el peso de poda entre las zonas observadas en años anteriores, desaparecieron durante estos dos últimos años. Efectos similares a través del riego han sido descritos por numerosos autores, que han observado mayor desarrollo vegetativo y peso de madera de poda en viñas regadas respecto a viñas sin aporte de agua (Choné *et al.*, 2001; Esteban *et al.*, 1999; García-Escudero, 1991).

En lo que respecta a la relación entre el diámetro medio de los pámpanos y el peso de la madera de poda, en general, las diferencias encontradas entre manejos en el primer parámetro no se reflejaban en el segundo (Figuras 6.1 y 6.2). Así, en la pendiente los diámetros medios eran ligeramente más altos bajo CV entre 2009 y 2012, mientras en el peso de poda se observaba lo opuesto, si bien no había diferencias significativas en ningún caso. En el caso del hondón, los diámetros fueron significativamente superiores bajo CV en 2010 en casi todas las medidas, no obstante, en el caso de la madera de poda la diferencia era la opuesta. Es decir, que los valores de los diámetros y del peso de la madera de poda tenían una relación positiva en 2008 y 2009, pero en 2010 la relación, como se ha mencionado, era negativa y en 2012 el mayor diámetro en suelo desnudo no se reflejó en un mayor peso de la madera de poda (Figuras 6.1 y 6.2). En relación a estos resultados, se debe mencionar que en el vigor de la vid

además del engrosamiento de los sarmientos principales también influye el brote de las yemas existentes en los nudos de los pámpanos activos, conocidos como brotes anticipados o nietos, que suelen ser los responsables del crecimiento lateral (Martínez de Toda, 2011; Reynier, 2012). Además, a esto también habría que sumarle el efecto del crecimiento en longitud de los pámpanos. Por tanto, aunque el crecimiento inicial mostrase diferencias en el diámetro del pámpano por las condiciones del ciclo precedente, el peso de la madera de poda estaría también influenciado por el crecimiento lateral y en longitud. De este modo, una vez que paró el crecimiento del diámetro de los sarmientos, en las cepas continuó la elongación de los sarmientos y la aparición de brotes secundarios, los cuales están influenciados por la disponibilidad hídrica y de nitrógeno entre brotación y envero (Celette *et al.*, 2009; Ibáñez, 2013; Santesteban, 2003). En consecuencia, el peso de madera de poda estaría más influenciado por la longitud de los sarmientos y sus brotes laterales que por el grosor de los mismos.

En esta línea, son numerosos los trabajos en los que habiendo medido el crecimiento longitudinal de los sarmientos, se han observado reducciones de este crecimiento bajo el manejo mediante cubiertas vegetales que se han reflejado también en el peso de la madera de poda (Celette *et al.*, 2005; Hatch *et al.*, 2011; Tesic *et al.*, 2007). Por lo tanto, mientras el peso de la madera de poda es un buen indicador del vigor final alcanzado por las cepas, el diámetro de los pámpanos no refleja el crecimiento total que ocurre durante el ciclo, ya que el crecimiento que detecta es solo el que se da hasta cuajado, por lo que no es adecuado para monitorizar el desarrollo vegetativo de las cepas en su totalidad.

6.3. RESUMEN

- En la pendiente no hubo diferencias entre CV y SD en el diámetro del pámpano. Sin embargo, en el hondón, en 2010 el diámetro fue mayor bajo cubierta vegetal, probablemente, debido al menor estrés hídrico en este tratamiento al final del ciclo anterior. En 2012, por el contrario, el diámetro fue mayor en suelo desnudo a pesar de no haber diferencias significativas de estrés al final del año anterior ni tampoco al inicio de ese ciclo.
- Hubo diferencias entre zonas en el diámetro del pámpano en 2009 con un diámetro mayor en el hondón y en 2012 con un diámetro mayor en la pendiente bajo los dos manejos. El mayor estrés hídrico al final del ciclo anterior explicaba las diferencias entre zonas en 2012, pero en el año 2009, la relación entre el mayor diámetro y un menor estrés en el año anterior sólo se daba en el manejo bajo CV.
- La competencia por el agua al inicio del ciclo debida a la cubierta vegetal no condicionó el crecimiento en grosor de los sarmientos. Las diferencias de grosor al comienzo del ciclo parecían estar más afectadas por el estado hídrico de la vid al final del ciclo precedente.
- El crecimiento máximo de los sarmientos en grosor ocurría antes de floración-cujado, y a partir de esa fase el grosor medido se mantenía estable. Sin embargo, las diferencias entre tratamientos detectadas mediante el peso de poda sí reflejaron un crecimiento vegetativo posterior. Por tanto, hay una fase del crecimiento del viñedo a partir del envero-cujado que no es recogida por la medida de diámetro de pámpano. En consecuencia, el diámetro del pámpano no es un buen indicador de la dinámica del crecimiento de la vid a lo largo de su ciclo vegetativo.
- En el hondón la cubierta vegetal disminuyó el peso de la madera de poda en los tres primeros años de estudio. En la pendiente el mayor estrés hasta cuajado provocado por la competencia de la cubierta se vio compensado por los riegos posteriores, no habiendo diferencias en el peso de poda. Las diferencias en el peso de poda entre manejos en el hondón no se podían explicar por diferencias en el estrés hídrico, y todo parece indicar que fue la diferencia en la disponibilidad de nitrógeno asociada a un mayor crecimiento la que causó las diferencias.

- Sólo bajo el manejo SD y en los tres primeros años el peso de poda fue mayor en el hondón que en la pendiente. Sin embargo, las únicas diferencias iniciales de estrés hídrico entre zonas ocurrieron bajo CV, con un mayor estrés en pendiente. Por lo tanto, el nivel de estrés hídrico inicial no explicaba las diferencias encontradas en el peso de poda. Por otra parte, en el hondón la concentración de nitrógeno en hoja fue mayor bajo SD. Consecuentemente, la mayor disponibilidad de nitrógeno en el hondón explicaría las diferencias entre zonas bajo el manejo SD.

**7. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO Y DE
LA POSICIÓN FISIAGRÁFICA SOBRE LA
PRODUCCIÓN DE UVA**

7.1. RESULTADOS

7.1.1. Producción por cepa

En la pendiente, la única diferencia significativa entre manejos en la producción por cepa tuvo lugar en el año 2009, con una reducción de la producción del 14% bajo el manejo CV respecto a SD (Figura 7.1). El resto de años las producciones por cepa tendían a ser menores bajo CV, aunque no hubo significación estadística. La máxima producción por cepa se obtuvo en el año 2010, siendo superior a 4,00 kg cepa⁻¹ en ambos manejos, y por el contrario, la producción más baja, menos de 2,00 kg cepa⁻¹, tuvo lugar en el año 2011. El resto de años las producciones fueron similares, alrededor de 3,00 kg cepa⁻¹ bajo CV y cerca de 4,00 kg cepa⁻¹ bajo SD. En el caso del hondón, no hubo ninguna diferencia significativa entre CV y SD en la producción por cepa. No obstante, hubo una tendencia hacia menores producciones, entre el 4% y el 15%, bajo CV respecto a SD, excepto en el año 2010, en el que la producción por cepa fue un 9% mayor bajo CV. Las mayores producciones se registraron en 2009 y en 2010, con 5,00-6,00 kg cepa⁻¹, y la menor producción se registró en 2012, con alrededor de 1,00-2,00 kg cepa⁻¹. En 2008 y 2011 las producciones fueron intermedias en esta zona, siendo de 2,00-4,00 kg cepa⁻¹ (Figura 7.1).

Al comparar la producción por cepa bajo CV entre las dos zonas no se encontró ninguna diferencia significativa. No obstante, las producciones fueron entre un 21% y un 51% inferiores en la pendiente entre 2008 y 2011 y, por el contrario, en 2012 la producción en pendiente duplicó a la del hondón (Figura 7.1). Cuando se compararon pendiente y hondón bajo SD hubo diferencias significativas para la producción por cepa en tres de los años de estudio. Así, la producción fue menor en la pendiente respecto al hondón en 2009 y en 2011, entre un 37% y 40% menor, respectivamente. Por el contrario, en 2012 la producción bajo SD en la pendiente duplicó a la del hondón (Figura 7.1).

7.1.2. Número de racimos

El número de racimos por cepa no mostró ninguna diferencia significativa entre los manejos CV y SD en la pendiente, si bien los valores medios bajo CV fueron menores durante todos los años. Los mayores valores de este componente productivo se encontraron entre 2008 y 2010, alrededor de 11-14 racimos cepa⁻¹. El menor número de racimos se registró en 2011 con 8-10 racimos cepa⁻¹. Finalmente, en 2012 el número de racimos por cepa fue intermedio con 10-12 racimos cepa⁻¹ (Figura 7.1).

Al comparar el número de racimos por cepa entre los manejos en el hondón se detectó una única diferencia significativa, en el año 2008, siendo el número de racimos por cepa un 15% inferior bajo CV. Asimismo, también la tendencia durante el resto de años fue la de haber menos racimos por cepa bajo CV que en SD (Figura 7.1).

Cuando se compararon para esta variable las zonas para cada manejo, bajo CV el número de racimos por cepa en la pendiente fue similar al del hondón en cada uno de los años de estudio, con una tendencia a un menor número de racimos en pendiente. Sólo en el año 2012 bajo SD el número de racimos por cepa en la pendiente fue mayor que en el hondón (Figura 7.1).

7.1.3. Peso de los racimos

En la zona de pendiente, en general, el peso de racimos fue mayor bajo el manejo SD, y estas diferencias fueron significativas en los años 2008 y 2011, en los que el peso fue un 8% y 18% mayor bajo SD, respectivamente. Como se observa en la Figura 7.1, el mayor peso de racimo se registró en 2010 con cerca de 350 g racimo⁻¹ en el manejo SD. Los años 2008, 2009 y 2012 el peso de los racimos fue de 250-310 g, con el peso de racimo más bajo en 2011, por debajo de 200 g racimo⁻¹ bajo el manejo CV (Figura 7.1).

Al comparar los dos manejos en el hondón la única diferencia significativa tuvo lugar en 2008 con un peso de racimo un 19% mayor bajo el manejo CV. En 2009 se registraron los mayores pesos de racimo, estando alrededor de los 400 g racimo⁻¹ bajo ambos manejos. Los menores pesos de racimo se observaron en el año 2012, con cerca de 150 g racimo⁻¹ bajo los dos manejos (Figura 7.1).

Cuando se compararon las dos zonas bajo CV la única diferencia significativa tuvo lugar en el año 2008, siendo el peso de racimo un 23% mayor en el hondón, con un peso por encima de 300 g racimo⁻¹. Entre 2009 y 2011 en el hondón y bajo CV los pesos de los racimos eran entre un 9-34% mayores que en pendiente, pero no hubo significación estadística. En 2012 se observó lo opuesto a los años anteriores, el peso de los racimos en la pendiente casi duplicó al del hondón bajo CV, a pesar de que no se encontró significación estadística (Figura 7.1).

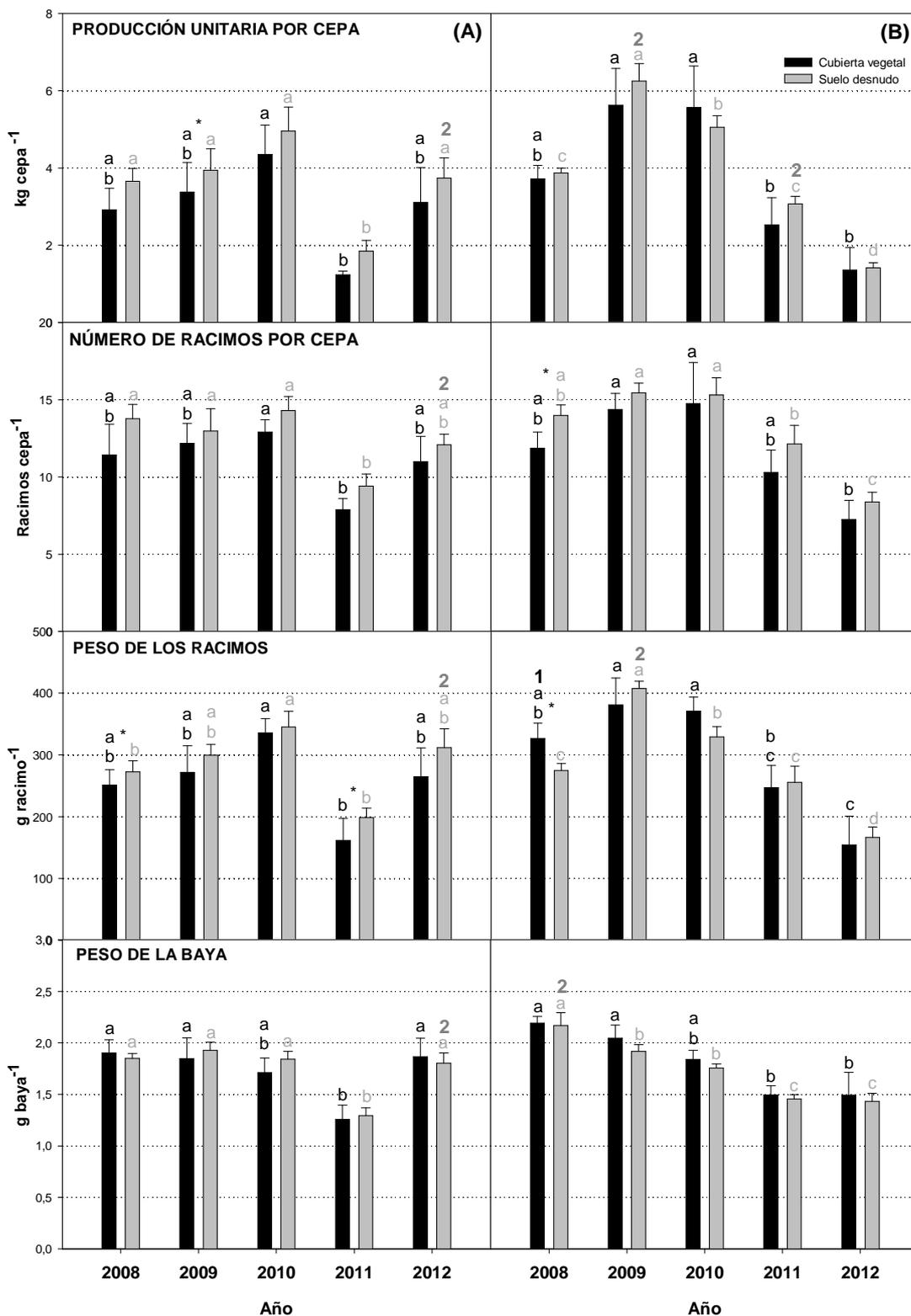


Figura 7.1. Componentes de la producción durante los cinco años de estudio (2008-2012) bajo los dos manejos (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la pendiente (A) y el hondón (B). (*) Valores con un asterisco indican que hay una diferencia significativa entre manejos dentro de la misma zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con cubierta vegetal en la zona en la que aparece (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con suelo desnudo en la zona en la que aparece (Prob.<0,05). (Letras a-d) Valores con la misma letra indican la misma producción en el manejo en el año de estudio en el que se encuentran (Prob.<0,05).

Cuando se compararon las zonas bajo SD, el peso de los racimos fue significativamente mayor en el hondón que en la pendiente en 2009 con 400 g racimo⁻¹ frente a unos 300 g racimo⁻¹. Por el contrario, en el año 2012 el peso de racimo bajo SD en la pendiente casi duplicó al del hondón (Figura 7.1).

7.1.4. Peso de la baya

En la pendiente no hubo diferencias significativas en el peso de la baya entre manejos en ninguno de los años estudiados. En el año 2011 se registró el menor peso de baya, con un valor de unos 1,25 g baya⁻¹. El resto de años los pesos de baya se situaron en valores de alrededor de 1,75 g baya⁻¹ (Figura 7.1).

En el hondón tampoco hubo diferencias entre manejos para este componente productivo, con unos pesos medios muy similares entre manejos en cada uno de los años de estudio. El mayor peso de baya en SD se obtuvo en 2008, por encima de 2,00 g baya⁻¹. Por el contrario, en los años 2011 y 2012 se registraron los menores pesos de baya tanto en CV como en SD, aproximadamente 1,50 g baya⁻¹ bajo los dos manejos. En 2009 y 2010 se observaron valores intermedios (Figura 7.1).

Bajo el manejo CV no hubo ninguna diferencia entre las zonas en el periodo de estudio. Sin embargo, bajo el manejo con SD el peso de baya en la pendiente en relación al hondón fue un 15% más bajo en 2008, con un peso de alrededor de 1,90 g baya⁻¹, y un 26% mayor en 2012, con un peso de alrededor de 1,80 g baya⁻¹ (Figura 7.1).

7.1.5. Índice de Ravaz

El Índice de Ravaz (IR) en la pendiente fue significativamente menor bajo CV respecto a SD solamente en 2011. En los años 2008, 2009 y 2012, los valores de IR bajo el manejo CV también fueron menores que bajo SD, aunque no hubo significación y en 2010 los valores de IR fueron prácticamente iguales bajo los dos manejos (Figura 7.2).

En la zona de hondón la única diferencia significativa se encontró en 2010, con un mayor IR bajo el manejo CV. En 2008 y en 2009, los valores de IR bajo CV fueron ligeramente mayores que en el manejo SD, pero sin diferencias significativas. No obstante, en 2011 y en 2012 ocurrió lo contrario (Figura 7.2).

Las diferencias encontradas entre la pendiente y el hondón bajo el manejo CV mostraban un mayor IR en el hondón en 2011. Durante el resto de años estudiados no hubo ninguna tendencia clara bajo este manejo y los valores de IR en el hondón eran

aparentemente mayores que los valores en la pendiente en 2008 y en 2009, si bien en 2010 y en 2012 ocurría lo contrario (Figura 7.2).

Bajo el manejo mediante SD, el IR en el hondón fue significativamente mayor que en la pendiente en 2011, y ocurrió lo contrario en 2008, 2010 y 2012. Finalmente, en 2009 los valores de IR en ambas zonas fueron similares (Figura 7.2).

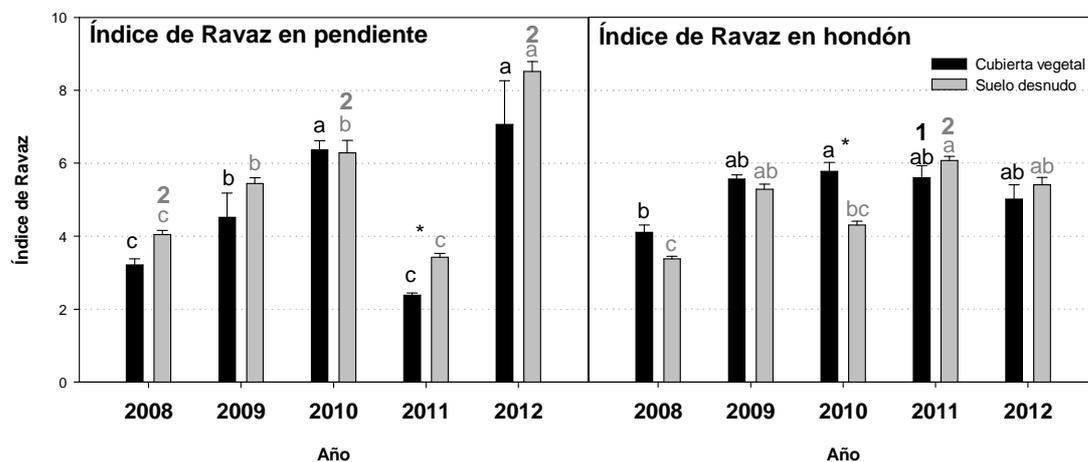


Figura 7.2. Valores del Índice de Ravaz (kg uva/kg madera de poda) (IR) durante los cinco años de estudio (2008-2012) bajo los dos manejos (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la pendiente y el hondón. (*) Valores con un asterisco indican que hay diferencia significativa entre manejos dentro de la misma zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 indican un IR significativamente mayor bajo el manejo con cubierta vegetal en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican un IR significativamente mayor bajo el manejo con suelo desnudo en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05). (Letras a-c) Valores con la misma letra indican el mismo IR en el manejo en el año de estudio en el que se encuentran (Prob.<0,05).

7.2. DISCUSIÓN

7.2.1. Producción por cepa

Los descensos en la producción por cepa de entre el 9% y el 29% bajo el manejo CV en relación a SD en la pendiente, siendo significativa esta diferencia en 2009, mostraban una tendencia hacia una producción por cepa menor bajo el manejo con CV, al igual que se ha observado en numerosos trabajos con una producción menor en vides manejadas bajo distintas cubiertas vegetales (Pou *et al.*, 2011; Ripoche *et al.*, 2011; Tesic *et al.*, 2007; Uliarte *et al.*, 2009) (Figura 7.1). Esta reducción estaría relacionada con una menor disponibilidad hídrica en el manejo con CV hasta el momento del envero o hasta el momento de la aplicación de riego, exceptuando el año 2008, en el que la menor disponibilidad bajo CV se reflejaba en un menor potencial hídrico durante todo el ciclo (Figura 4.2). En este sentido, tanto para el desarrollo de la vid como para la obtención de un adecuado rendimiento, la disponibilidad hídrica es uno de los factores más decisivos y un estrés fuerte puede provocar descensos productivos (Williams y Matthews, 1990). A este respecto, diversos autores han establecido que el valor del potencial al mediodía en hoja a partir del cual aparece estrés es de -1,00 MPa, y de entre -0,90 - -1,00 MPa en el potencial en tallo (Acevedo-Opazo *et al.*, 2010; Intrigliolo *et al.*, 2012). En este estudio, en la pendiente, generalmente, las cubiertas vegetales compitieron por el agua disponible en el suelo durante la fase inicial del ciclo de la vid (Figura 4.2), al igual que han observado numerosos autores (Celette *et al.*, 2008; Costello, 2010; Dousset *et al.*, 2004; Gulick, 1994; Kargas *et al.*, 2012; Monteiro y Lopes, 2007). Por lo tanto, el estrés inicial causado por las cubiertas de cebada al inicio del ciclo pudo haber afectado a la producción por cepa en la pendiente, ya que para la fecha de cuajado el potencial bajo CV había sobrepasado el umbral negativo de -1,00 MPa en 2009, 2011 y 2012, mientras que en el tratamiento bajo SD el potencial era mayor o igual a -1,00 MPa. No obstante, pese a la disminución generalizada en las producciones bajo CV, sólo en 2009 esta diferencia fue significativa (Prob.<0,05). En este año, la diferencia en el potencial entre los dos manejos fue la más intensa de todos los años estudiados, siendo el potencial de alrededor de -0,70 MPa bajo SD y de -1,00 MPa bajo CV en floración, manteniéndose estas diferencias hasta fechas intermedias entre el cuajado y el envero, momento en que se regó la pendiente y se igualaron los potenciales. Esta observación concuerda con otros trabajos en los que se han estudiado las respuestas de producción en función de la intensidad del estrés hídrico causado por cubiertas vegetales, habiendo mayores reducciones de producción cuando la competencia es mayor (Linares, 2009; Van Zyl, 1984). Asimismo, la duración del estrés también pudo haber influido, ya que la fase en que el rendimiento es más vulnerable al estrés hídrico corresponde al periodo de los 40 días

siguientes a la floración (Dry *et al.*, 2001; Matthews y Anderson, 1989; McCarthy, 1997; Ojeda *et al.*, 2001).

En el caso del hondón también se observó una tendencia hacia menores producciones unitarias bajo CV en cuatro de los cinco años de estudio. El año 2010 ocurrió lo contrario, ya que la producción fue un 9% mayor bajo el manejo CV. No obstante, en ningún caso hubo significación estadística (Figura 7.1). Por lo tanto, en el caso del hondón la influencia de la cubierta no fue tan intensa como para generar cambios significativos en la producción. Se debe tener en cuenta que en el hondón la profundidad del suelo y su capacidad para almacenar agua eran mayores que en la pendiente (Tabla 3.2), y que no hubo diferencias en el potencial al principio del ciclo entre manejos, excepto en el año 2011. En relación a esto, Tesic *et al.* (2007) también encontraron que la producción descendía por el uso de una cubierta vegetal sólo en un suelo limo-arenoso con una profundidad de 30 cm en relación a un suelo más profundo y bajo una pluviometría mayor. Asimismo, Jordan *et al.* (2016) afirmaron que en climas lluviosos la buena disponibilidad hídrica atenúa la competencia causada por el manejo con cubiertas vegetales y no se traduce en cambios productivos. Por lo tanto, se puede deducir que en el presente estudio el efecto que las cubiertas mostraban sobre el rendimiento en la pendiente estaba atenuado en el hondón debido a su mayor capacidad de suministrar agua a la viña.

Cuando se compararon las zonas bajo el manejo con CV no hubo ninguna diferencia significativa en las producciones por cepa, si bien todos los años eran más altas en el hondón que en la pendiente, exceptuando el año 2012. Bajo el manejo SD en 2009 y 2011 la producción fue significativamente mayor en el hondón en comparación a la pendiente, y por el contrario en el año 2012 la producción fue mayor en la pendiente (Figura 7.1). En el año 2011 el potencial hídrico fue más desfavorable en pendiente en el caso del manejo SD en floración y durante parte de la fase de cuajado, pero los riegos posteriores en la pendiente poco antes del envero y después de éste invirtieron esta tendencia, estando más estresadas las cepas del hondón (Figura 4.2). Esto mostraría que son las fases previas al envero las que afectan al rendimiento, lo que coincide con lo encontrado por otros autores (Matthews y Anderson, 1989), quienes indicaron que cuando los aportes de agua se realizan con anterioridad al envero la producción aumenta, mientras que riegos posteriores no tienen este efecto. En el año 2012 también se detectó un mayor estrés hídrico en el hondón entre floración y envero bajo SD, ya que la pendiente se regó por primera vez el 18 de junio (Figura 4.2). En fechas cercanas a envero se regó toda la parcela. Sin embargo, la producción sólo se recuperó en la pendiente, apareciendo una diferencia entre zonas bajo el manejo SD (Figura 7.1). De este

modo, de nuevo se observaba que los riegos durante el envero afectaban menos a la producción que riegos dados antes del envero.

7.2.2. Número de racimos

En la pendiente, el número de racimos por cepa era menor bajo CV en relación a SD, pero no se encontraron diferencias significativas (Figura 7.1). Estos resultados coinciden con lo observado por Linares (2009), quien observó una ligera reducción en el número de racimos sin diferencias significativas, lo que relacionó con un efecto de la competencia hídrica generada por las cubiertas en la iniciación floral, que comienza con la brotación al inicio del mismo ciclo (Reynier, 2012). Teniendo en cuenta que la iniciación floral tiene lugar al inicio del ciclo y que los potenciales fueron más negativos en ese momento en la mayoría de los años (Figura 4.2), el menor número de racimos por cepa en el manejo bajo CV podría deberse a una reducida iniciación floral. A este respecto, también se acepta que el número de racimos durante el ciclo en curso puede estar influenciado por el estrés hídrico durante la iniciación de las inflorescencias en el ciclo anterior (Lebon *et al.*, 2008; May, 2000; McCarthy, 1997; Wample, 1999), ya que ésta ocurre por la incidencia de la luz solar sobre las yemas antes de la entrada en latencia, entre la floración y el envero (Guilpart *et al.*, 2014; Vasconcelos *et al.*, 2009). No obstante, autores como Hardie y Considine (1976) y Düring (1986) afirman que la escasez de agua durante el ciclo de cultivo en curso también puede limitar el crecimiento de las flores y provocar abortos florales durante la floración, conduciendo incluso a la total abscisión del racimo.

En el hondón, también fue menor el número de racimos bajo el manejo CV respecto a SD, si bien esta diferencia sólo fue significativa en el primer año de estudio (Figura 7.1). Así, esta reducción sólo se podía explicar por un efecto de la cubierta durante el ciclo en curso, ya que no había cubiertas en el ciclo anterior, lo que coincide con otros autores, que han detectado reducciones significativas en el número de racimos por cepa por el déficit hídrico provocado por distintas cubiertas o por restricciones en el riego en el ciclo vegetativo en curso (Albuquerque *et al.*, 2008; Celette *et al.*, 2010; Sagüés *et al.*, 2008; Tesic *et al.*, 2007; Wolpert *et al.*, 1993).

Al estudiar las diferencias entre las zonas, para el manejo CV no se encontró ninguna diferencia significativa, aunque durante los primeros cuatro años el número de racimos era aparentemente mayor en el hondón, ocurriendo lo contrario en 2012. Bajo el manejo SD se observaba lo mismo, aunque la diferencia de 2012 fue significativa en este caso, con un mayor número de racimos por cepa en pendiente (Figura 7.1). De este modo, en el número de

racimos también se observaba el efecto de los riegos anteriores a envero. Esto de nuevo confirmaba que si el estrés en el ciclo en curso se alarga hasta envero, acercándose al umbral superior de estrés severo de $-1,50$ MPa (Acevedo-Opazo *et al.*, 2010), el número de racimos también se ve reducido, mientras un aporte de agua poco después del cuajado puede tener un efecto positivo sobre esta variable. En relación a esto, aunque autores como Guilpart *et al.* (2014) afirman que la radiación solar y la temperatura que inciden sobre las yemas latentes del ciclo anterior influyen en el número de inflorescencias del ciclo siguiente, otros como Dunn y Martin (2000) encontraron que el desarrollo de las inflorescencias durante el ciclo en curso también es sensible a las condiciones que hay durante su desarrollo.

7.2.3. Peso de los racimos

En la zona de pendiente, el peso de racimos bajo SD fue más alto todos los años, siendo las diferencias significativas en 2008 y 2011 (Figura 7.1). Guardando relación con lo expuesto, numerosos autores han encontrado un menor peso de racimos en el manejo con cubiertas, y lo han relacionado con un menor peso de la baya (Lopes *et al.*, 2011; Tesic *et al.*, 2007). Por contra, otros autores (Albuquerque *et al.*, 2008; Sagüés *et al.*, 2008) que han encontrado pesos de racimo menores en manejos con cubiertas vegetales, no han encontrado diferencias en el peso de la baya. De este modo, el peso de los racimos estaría influenciado por el número de bayas en cada racimo, parámetro que depende de las condiciones del ciclo precedente y del ciclo en curso (Guilpart *et al.*, 2014). Por una parte, porque la diferenciación de las inflorescencias ocurre entre la floración y el envero del ciclo anterior, definiendo el número de flores que habrá en cada racimo (Vasconcelos *et al.*, 2009). Por otra parte, un déficit hídrico durante la floración-cuajado puede influir de manera negativa en el proceso de cuajado (Alexander, 1965; Matthews y Anderson, 1989; McCarthy *et al.*, 1992; Padgett-Johnson *et al.*, 2000; Swanepoel y Archer, 1988; Vasconcelos *et al.*, 2009; Watt *et al.*, 2008). Así, un mayor nivel de estrés hídrico hasta el momento de cuajado bajo CV, pudo haber resultado en un menor peso de racimos por el descenso del número de bayas, ya que como se discute en el siguiente apartado, el peso de baya no mostró diferencias entre manejos durante estos años.

En el hondón la diferencia en el peso de los racimos entre manejos no mostraba la misma tendencia que en la pendiente. De hecho, no se observaba ninguna tendencia clara y sólo en 2008 bajo CV el peso de racimo fue mayor que bajo SD (Figura 7.1). Dado que el suelo en el hondón tendía a acumular más agua por su posición y su profundidad (Tabla 3.2), las diferencias de estrés iniciales entre manejos fueron menores en esta zona. Por lo tanto, el

efecto de las cubiertas vegetales sobre el peso de los racimos no fue notable, al igual que ocurría con la producción por cepa.

En cuanto a las diferencias entre zonas, bajo el manejo CV el peso de los racimos tendía a ser mayor en el hondón, habiendo diferencias significativas en 2008. En el año 2012 ocurría lo opuesto bajo el manejo CV, siendo el peso de los racimos superior en la zona de pendiente, aunque no hubo significación. En el manejo SD, el peso de los racimos fue más alto en hondón que en pendiente en 2009. Por el contrario, en 2012 el peso de los racimos fue más alto en la pendiente (Figura 7.1). La tendencia general se explicaba por las características del suelo del hondón y su capacidad para acumular más agua, lo que se reflejaba en un menor estrés hasta que se aplicaban riegos en pendiente o hasta el envero (Figura 4.2). Más concretamente, en 2008 el potencial bajo CV en la primera medida después de cuajado fue más negativo en la pendiente, lo cual concuerda con un menor peso de racimo en esa zona. En el caso de 2009 los potenciales fueron parecidos en ambas zonas hasta que se aplicó el riego en la pendiente. No obstante, en 2012 en la pendiente se dio un primer riego el 18 de junio, lo que resultó en valores de potencial significativamente mayores respecto al hondón en el manejo bajo SD en la mayor parte del periodo entre cuajado y envero (Figura 4.2). Por lo tanto, el peso de los racimos fue superior en esta zona bajo el manejo SD, mostrando que estuvo influenciado por las condiciones hídricas del propio ciclo entre cuajado y envero.

7.2.4. Peso de la baya

Los pesos de baya encontrados fueron similares a los encontrados para la variedad 'Tempranillo' por Santesteban y Royo (2006), quienes registraron pesos de baya entre 0,75 y 2,77 g y también se correspondían con pesos de baya encontrados en otros trabajos como los de Esteban *et al.* (1999) o con los valores del peso de 100 bayas expuestas por Ibáñez (2013). El peso de baya no mostró diferencias debidas al manejo en ninguna de las dos zonas de ensayo, a pesar de que, como se ha indicado anteriormente, en general, en la pendiente los potenciales hídricos iniciales mostraban un mayor estrés bajo el manejo CV que bajo SD. Al comparar las dos zonas bajo el manejo CV, durante los primeros cuatro años el peso de las bayas era más alto en el hondón, al contrario que en 2012, pero sin mostrar diferencias significativas. En el manejo SD el peso de la baya fue significativamente mayor en el hondón en 2008 y menor en 2012, con valores similares el resto de los años (Figura 7.1). En 2012 el estrés entre cuajado y envero bajo SD fue más alto en el hondón que en la pendiente, lo que se relaciona con el menor peso de la baya en el hondón, coincidiendo con lo expuesto por Ojeda *et al.* (2001). En este mismo sentido, algunos autores han observado que el número más reducido de células en las bayas por causa del estrés hídrico puede resultar en bayas más

pequeñas, y que además del periodo en que se da el estrés, su intensidad también es un factor relevante (Matthews *et al.*, 1987; Van Zyl, 1984). En el presente trabajo, las diferencias de potencial que llevaron a un menor peso de baya en el hondón bajo SD en 2012 fueron posteriores al cuajado y de mayor intensidad entre zonas, mientras que diferencias iniciales de potencial hídrico no afectaban a esta variable. En consecuencia, el peso de la baya mostró mayores diferencias entre zonas bajo SD, mientras la competencia ejercida por las cubiertas en la pendiente, que tenía lugar durante la floración y el cuajado, no influyó de manera decisiva sobre el peso de la baya.

Además de todo lo mencionado, al igual que ocurría con otros componentes productivos, la razón para que el peso de la baya en la pendiente bajo SD fuese mayor que en el hondón en 2012, pudo deberse al riego aplicado en junio en la pendiente. Debido a este riego el potencial en la pendiente se mantuvo por encima de -1,30 MPa, mientras en el hondón descendió casi hasta los -1,50 MPa (Figura 4.2). A pesar de que poco antes del envero se aplicó un riego en toda la parcela, reflejándose en un aumento del potencial en el hondón, este riego no afectó al peso de la baya, que fue mayor en la pendiente. Este resultado concuerda con evidencias encontradas por otros autores (Matthews y Anderson, 1989; McCarthy, 1997; Naor *et al.*, 1993; Ojeda *et al.*, 2002; Poni *et al.*, 1993), que señalan que la reducción en el peso de la baya por el estrés hídrico entre floración y envero es, generalmente, irreversible, aunque las limitaciones hídricas desaparezcan después del envero.

7.2.5. Componentes productivos

En general, los resultados de este apartado se relacionan de manera adecuada con las observaciones realizadas por diversos autores, que evidencian que las condiciones hídricas entre floración-cuajado y el envero son un factor crítico en cuanto a la producción (Linares, 2009; Lopes *et al.*, 2008; McCarthy, 1997; Williams, 2000). No obstante, los cambios que se han observado en distintos estudios en la producción por cepa pueden deberse a diferentes cambios de magnitud en cada uno de los componentes productivos analizados. En este estudio, en 2009 la producción por cepa fue mayor bajo SD en el hondón que en la pendiente (Figura 7.1), lo que se puede asociar al mayor peso de los racimos. Por el contrario, en 2008 en el hondón un mayor número de racimos en SD que en CV no se reflejó en la producción total (Figura 7.1), lo que se pudo deber al menor peso de los racimos. Un factor adicional para explicar el efecto de los componentes productivos sobre la producción por cepa es el número de bayas por racimo, que disminuye bajo el manejo con cubiertas vegetales (Celette *et al.*, 2010; Linares, 2009; Moreno *et al.*, 2007). No obstante, otros autores atribuyen a la modificación del peso de la baya el cambio del peso de los racimos, sin ignorar la influencia del

número de bayas (Clingeffer, 2010; Guilpart *et al.*, 2014; Uliarte *et al.*, 2009; Wolpert *et al.*, 1993). En el presente estudio, tal y como se ha expuesto en el apartado anterior, el manejo del suelo no produjo ningún cambio en el peso de la baya. Por lo tanto, se podía deducir que el parámetro que más influencia pudo tener en el peso de los racimos fue el número de bayas en cada racimo, si bien esta variable no se midió de manera directa en el presente trabajo. En esta línea, los resultados de este estudio coinciden con los de otros trabajos en los que también se han observado reducciones en el número de bayas por racimo a causa del estrés hídrico dentro del ciclo en curso en la variedad 'Tempranillo' (Esteban *et al.*, 1999; Medrano *et al.*, 2003).

7.2.6. Índice de Ravaz

Los valores habituales que suele mostrar el IR se sitúan entre 3 y 10, siendo los valores superiores a 10 indicativos de un exceso productivo frente a la superficie foliar desarrollada. Asimismo, los valores inferiores a 3 indican una baja producción (Main *et al.*, 2002). Más concretamente, para la variedad 'Tempranillo', los valores del IR adecuados se sitúan en un rango de 4 a 7 (García-Escudero *et al.*, 2006). Respecto a este parámetro, Linares (2009) afirma que el vigor se suele ver más reducido a través del manejo mediante cubierta vegetal, por lo que el IR tiende a ser mayor bajo este manejo. Asimismo, Pou *et al.* (2011) y Pérez-Álvarez (2015) encontraron que el manejo mediante cubierta vegetal favorecía el IR, lo cual se relacionaba con una reducción en el peso de poda a través del manejo mediante enyerbado. Por su parte, Ibáñez (2013) sí apreció en algún caso un mayor efecto de la modificación de la producción en el IR, pero los cambios productivos no se debían al manejo mediante cubierta vegetal, sino a un efecto de pérdida productiva por granizo, seguida de un efecto vecería en la siguiente campaña. En este trabajo, en la zona de pendiente las cubiertas vegetales no redujeron el peso de poda de manera significativa (Figura 6.2), sin embargo, el IR tendía a ser menor bajo CV en la mayor parte de los años estudiados (Figura 7.2), lo que se pudo deber a una menor producción en la pendiente, al contrario de lo que se observa en la mayoría de trabajos que analizan este parámetro. En el hondón, los primeros tres años el IR tendía a ser mayor bajo CV, lo que sí es acorde con la mayoría de los trabajos mencionados, ya que en esos años el peso de poda fue menor bajo el mismo manejo. No obstante, en los últimos dos años el IR no estaba afectado de manera consistente por el manejo CV ni a través de la producción, ni a través del vigor (Figura 7.2).

En cuando a las diferencias entre zonas, bajo el manejo CV, en el año 2011 hubo un IR significativamente mayor en el hondón frente a la pendiente. En este caso el IR estaba influenciado tanto por una menor producción como por un mayor peso de poda en la

pendiente. El resto de los años, no hubo diferencias bajo este manejo, aunque en la pendiente hubo valores por debajo del rango propuesto por García-Escudero *et al.* (2006) en 2008 y 2011, y valores indicativos de una producción alta respecto al vigor existente en 2012 (Figura 7.2). En el caso del manejo SD, el IR mayor en el hondón en 2011 estaba ocasionado por una producción significativamente mayor en esta zona bajo el mencionado manejo (Figuras 7.1 y 7.2). En los años 2008, 2010 y 2012 los IR mayores en la pendiente se dieron por distintos motivos. Así, en 2008 y 2010, el peso de poda fue menor en la pendiente respecto al hondón bajo el manejo SD, y no hubo diferencias en producción, por lo que el menor vigor en la pendiente parecía ser el motivo de un mayor IR. En 2012, el riego aplicado el 18 de junio supuso una recuperación de la producción en la pendiente, relativamente mayor que la del hondón, pero el peso de poda no se recuperó (Figuras 7.1 y 6.2). Por tanto, el mayor IR bajo SD en la pendiente estaba asociado a una mayor producción. Bajo el manejo SD, al igual que en el caso del manejo CV, en 2012 el IR estaba por encima del rango adecuado propuesto por García-Escudero *et al.* (2006). Por lo tanto, unas condiciones secas al inicio del ciclo, condicionaron el vigor, que no se vio influenciado por el riego del 18 de junio. No obstante, la producción se recuperó a causa de este riego, resultando en un exceso productivo respecto al vigor (Figura 7.2). A este respecto, Linares (2009) observó que la competencia de las cubiertas vegetales afectaba más al vigor porque ocurría antes de la floración. Asimismo, en el mismo estudio observó que la producción estaba menos influenciada por la competencia, ya que ésta competencia era menor al comienzo del desarrollo productivo.

7.3. RESUMEN

- En la pendiente todos los años el peso de racimos, el número de racimos y, por consiguiente, la producción eran menores bajo CV, aunque las diferencias sólo fueron significativas en algunos años. El mayor estrés hídrico, tanto durante el año en curso como en el precedente, hasta fechas intermedias entre cuajado y envero en el tratamiento CV podría ser la causa de estas diferencias. El peso de la baya no se vio afectado por los tratamientos en la zona de pendiente.
- En el hondón, donde no hubo diferencias iniciales en el estrés hídrico, tampoco se detectó ninguna tendencia definida para las diferencias entre tratamientos en relación a los componentes del rendimiento y el rendimiento final. En 2008 en el hondón un mayor número de racimos en SD que en CV no se reflejó en la producción total, lo que se debió al menor peso de los racimos. Esto indicaba que además del efecto del estrés del ciclo precedente, el número de racimos por cepa y el número de bayas por racimo también estaban influenciados por el estrés del ciclo en curso.
- La producción por cepa fue mayor en el hondón bajo SD en 2009 y 2011, y menor 2012. En los años 2011 y 2012 los resultados se explicaban por un mayor estrés desde floración hasta casi envero en la zona donde hubo menor producción.
- En el periodo 2008-2011 el número de racimos por cepa fue igual en ambas zonas. En 2008 el peso de los racimos fue mayor en hondón que en pendiente bajo CV y en 2009 bajo SD. La diferencia de 2008 coincidió con las diferencias encontradas en el estrés hídrico entre zonas desde cuajado hasta envero, sin embargo, esto no ocurrió en 2009.
- En el año 2012 todos los componentes del rendimiento y el rendimiento final fueron mayores en la pendiente que en el hondón en el tratamiento bajo SD. Ese año el estrés hídrico entre cuajado y envero fue mayor en el hondón, y aunque el riego aplicado en el envero hizo que a partir de ese momento el estado hídrico fuera mejor en el hondón, el peso de la baya resultó mayor en la pendiente.

**8. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO Y DE
LA POSICIÓN FISIAGRÁFICA SOBRE LA
CALIDAD DEL MOSTO Y DEL VINO**

8.1. RESULTADOS

8.1.1. Propiedades cualitativas del mosto

8.1.1.1. Grado alcohólico probable

El valor del grado alcohólico probable (GP) estuvo entre 11 y 14% Vol. en la pendiente bajo el manejo con CV y entre 12 y 14% Vol. bajo el manejo con SD. En la zona de hondón, los valores medios de GP fluctuaron entre 12 y 14% Vol. bajo CV y entre 11 y 14% Vol. bajo SD (Figura 8.1).

El GP fue significativamente mayor en el año 2012 en la pendiente bajo el manejo CV respecto al manejo SD. El resto de años los valores de esta variable no mostraron ninguna tendencia definida al comparar los resultados de los manejos CV y SD en la pendiente (Figura 8.1).

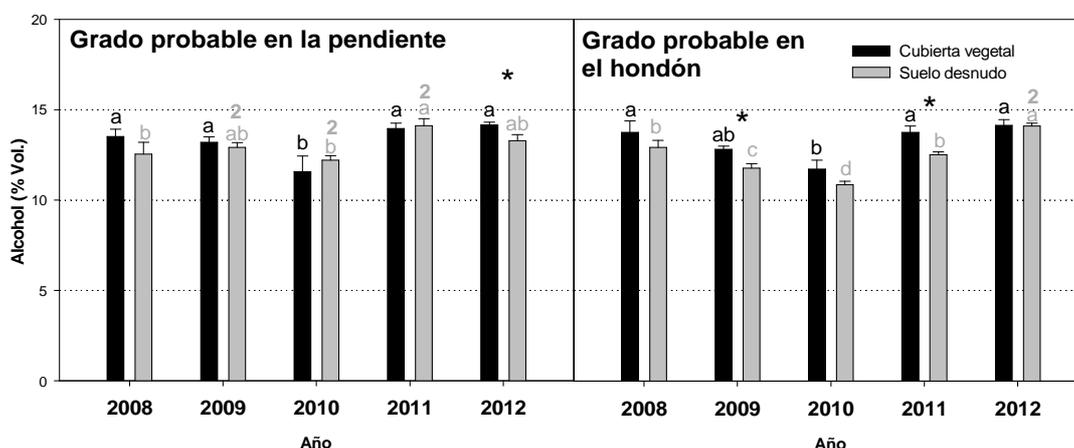


Figura 8.1. Grado alcohólico probable del mosto en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio. (*) Valores con un asterisco indican que hay diferencia significativa entre manejos dentro de la misma zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con cubierta vegetal en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con suelo desnudo en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05). (Letras a-d) Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas para un determinado manejo y zona en el periodo de estudio (Prob.<0,05).

En el hondón el GP fue significativamente mayor bajo CV en los años 2009 y 2011, y esta tendencia se mantuvo el resto de los años, si bien no se observaron más significaciones estadísticas (Figura 8.1).

Al comparar las zonas en el manejo bajo CV no se encontró ninguna diferencia significativa y los valores entre zonas fueron similares para cada uno de los años de estudio. Por el contrario, cuando se compararon las zonas bajo SD, el GP fue significativamente mayor en la pendiente en 2009, 2010 y 2011, mientras que en 2012 fue mayor en el hondón (Figura 8.1).

En la pendiente bajo CV el GP más bajo se obtuvo en 2010, alrededor de 12% Vol., y el resto de los años los valores se situaron alrededor de 14% Vol. Bajo el manejo SD, el valor más alto, alrededor de 14% Vol., se registró en 2011, sin diferenciarse de los años 2009 y 2012, mientras que los valores más bajos se obtuvieron en los años 2008 y 2010, si bien estos valores tampoco se diferenciaron respecto a los años 2009 y 2012. En el hondón, bajo el manejo CV, los valores más altos se registraron en 2008, 2011 y 2012 con valores alrededor de 14% Vol. El menor GP se midió en 2010, alrededor de 12% Vol., y en 2009 el valor del GP fue intermedio. En el hondón bajo el manejo SD el GP más bajo también se encontró en 2010, alrededor de 11% Vol., y el más alto en 2012, alrededor de 14% Vol. En 2008, 2009 y 2011 se midieron valores intermedios (Figura 8.1).

8.1.1.2. Acidez total tartárica

La acidez total tartárica (ATT) en la pendiente estaba comprendida entre 3,80 y 5,00 g L⁻¹ y en el hondón entre 3,80 y 5,40 g L⁻¹ (Figura 8.2).

Al comparar la ATT en la pendiente entre CV y SD, no se observó ninguna tendencia definida ni hubo diferencias significativas entre los manejos en ninguno de los años de estudio. Lo mismo ocurría al comparar los manejos en el hondón (Figura 8.2).

No hubo ninguna diferencia significativa entre zonas, pendiente y hondón, en la ATT bajo el manejo CV. No obstante, al comparar las zonas bajo SD, la ATT fue significativamente mayor en el hondón en 2010 y ocurrió lo opuesto en el año 2012, con una ATT mayor en la pendiente bajo SD (Figura 8.2).

La mayor ATT en la pendiente bajo CV se dio en el año 2008 (significativamente diferente de los años 2009, 2011 y 2012) y la menor en 2011 (significativamente diferente de los años 2008 y 2010), es decir, en los años 2009, 2010 y 2012 los valores de la ATT eran intermedios, alrededor de 4,00-5,00 g L⁻¹. En la pendiente bajo el manejo SD la mayor ATT fue de aprox. 6,00 g L⁻¹ y se registró en 2008 (Figura 8.2). La menor ATT se obtuvo en 2011, con una concentración por debajo de 4,00 g L⁻¹, siendo significativamente diferente de la de 2010, y en los años 2009 y 2012 se obtuvieron valores intermedios. En el hondón en el tratamiento bajo CV la mayor ATT tuvo lugar en 2008, siendo de alrededor de 7,00 g L⁻¹, la menor ATT en 2011, con una concentración inferior a 4,00 g L⁻¹, y el resto de años las concentraciones fueron intermedias. En el hondón en el tratamiento bajo SD la mayor ATT se obtuvo también en 2008, valores intermedios en 2009 y 2010, y los más bajos en 2011 y 2012, habiendo diferencias significativas entre estos tres grupos de años (Figura 8.2).

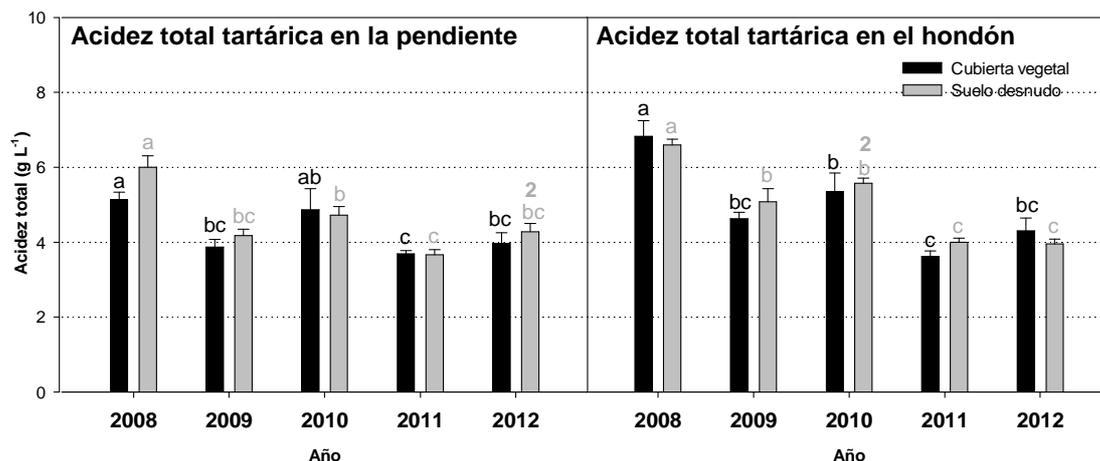


Figura 8.2. Acidez total tartárica (ATT) del mosto en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio. (*) Valores con un asterisco indican que hay diferencia significativa entre manejos dentro de la misma zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con cubierta vegetal en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con suelo desnudo en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05). (Letras a-d) Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas para un determinado manejo y zona en el periodo de estudio (Prob.<0,05).

8.1.1.3. Concentración de ácido L-málico

El rango de concentraciones de ácido L-málico (málico) en la zona de pendiente estuvo entre 1,10 y 1,90 g L⁻¹ bajo el manejo CV, y entre 1,30 y 2,10 g L⁻¹ bajo el manejo SD. En la zona de hondón los valores de málico fluctuaron entre 1,20 y 2,80 g L⁻¹ (Figura 8.3).

Al comparar CV y SD en la pendiente, sólo en el año 2011 la concentración de L-málico fue significativamente mayor bajo CV, mientras que en el hondón no hubo ninguna diferencia significativa en los años de estudio ni tampoco se apreciaba una tendencia definida en las diferencias entre CV y SD (Figura 8.3).

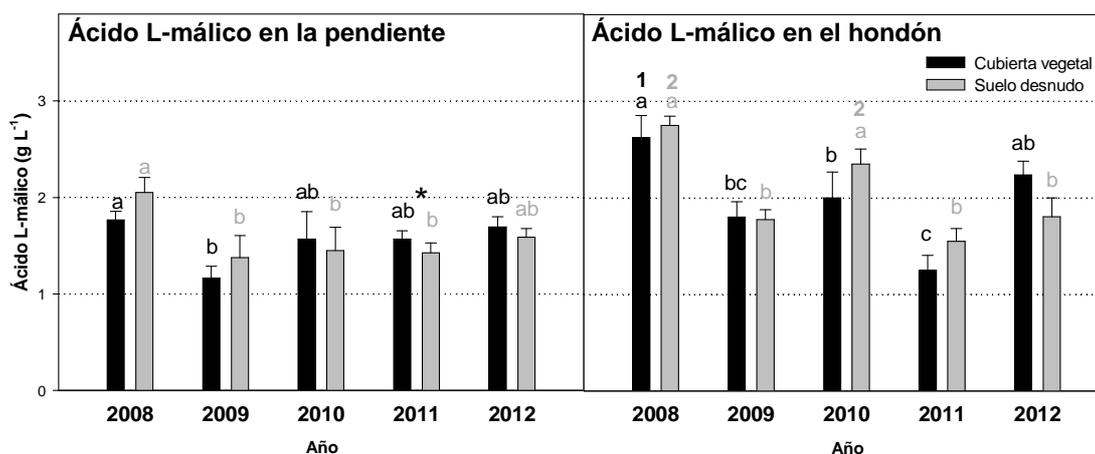


Figura 8.3. Concentración de ácido L-málico en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio. (*) Valores con un asterisco indican que hay diferencia significativa entre manejos dentro de la misma zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con cubierta vegetal en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con suelo desnudo en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05). (Letras a-d) Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas para un determinado manejo y zona en el periodo de estudio (Prob.<0,05).

La concentración de málico fue significativamente superior bajo CV en el hondón en 2008 en comparación con la pendiente. El resto de años, excepto en 2011, la concentración de málico parecía ser mayor en el hondón que en pendiente, pero no hubo significación en ningún caso. La concentración de málico bajo SD fue significativamente mayor en el hondón en 2008 y 2010 en comparación con la pendiente. El resto de años las concentraciones de málico también parecían ser mayores en el hondón, pero sin diferencias significativas (Figura 8.3).

En la pendiente, bajo el manejo CV la mayor concentración de málico se obtuvo en 2008, cerca de $2,00 \text{ g L}^{-1}$, y la menor en 2009, alrededor de $1,20 \text{ g L}^{-1}$. El resto de años las concentraciones de málico fueron intermedias. En el caso del manejo bajo SD la mayor concentración fue también la de 2008, siendo ligeramente superior a $2,00 \text{ g L}^{-1}$, no significativamente diferente de la de 2012, pero mayor que las de 2009, 2010 y 2011 (Figura 8.3). En la zona de hondón, la comparación de concentraciones entre años dio resultados semejantes a la pendiente, pero con valores mayores, como ya se ha indicado, por encima de $2,50 \text{ g L}^{-1}$ en 2008, y por encima de $2,00 \text{ g L}^{-1}$ en 2010. Las menores concentraciones se obtuvieron en 2011 bajo CV, y en 2009, 2011 y 2012 bajo SD (Figura 8.3).

8.1.1.4. pH

Los valores de pH estaban en el rango 3,50-4,00 en la pendiente y hondón, tanto bajo el manejo CV como bajo el manejo SD (Figura 8.4).

Ni en la pendiente ni en el hondón hubo diferencias significativas entre CV y SD en el valor de pH para cada uno de los años de estudio (Figura 8.4).

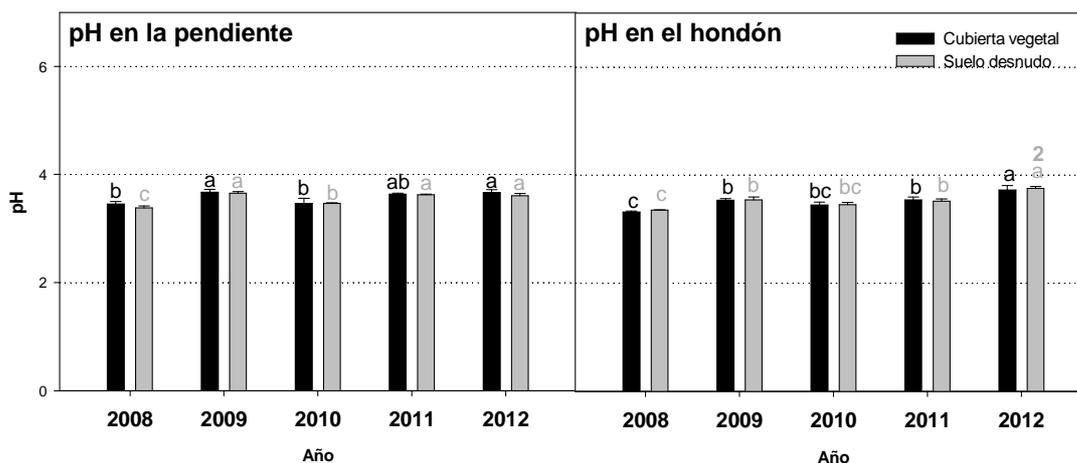


Figura 8.4. pH del mosto en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio. (*) Valores con un asterisco indican que hay diferencia significativa entre manejos dentro de la misma zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con cubierta vegetal en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con suelo desnudo en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05). (Letras a-d) Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas para un determinado manejo y zona en el periodo de estudio (Prob.<0,05).

Al comparar las zonas bajo CV tampoco se encontró ninguna diferencia en ninguno de los años, y la única diferencia significativa entre zonas se observó en 2012 bajo SD, con un valor de pH mayor en la zona de hondón (Figura 8.4).

En la pendiente los valores de pH más bajos se obtuvieron en 2008, seguido de 2010, alrededor de 3,40 bajo los dos manejos. El resto de años el pH fue más alto, si bien las diferencias cuantitativas fueron pequeñas (Figura 8.4). En la zona de hondón los valores más bajos se obtuvieron también en 2008 y 2010, alrededor de 3,40, bajo ambos manejos. Los valores más altos fueron de cerca de 3,80 y se obtuvieron en 2012. El resto de años los valores fueron intermedios y muy parecidos cuantitativamente (Figura 8.4).

8.1.1.5. Nitrógeno fácilmente asimilable

El nitrógeno fácilmente asimilable (NFA) sólo se analizó durante los últimos tres años de estudio. En la zona de pendiente los valores de NFA estaban entre 80 y 130 mg L⁻¹, aproximadamente. En el hondón los valores de NFA estuvieron entre 80 y 175 mg L⁻¹ (Figura 8.5).

Ni en la pendiente ni en el hondón se encontraron diferencias significativas debidas al manejo de CV y SD (Figura 8.5).

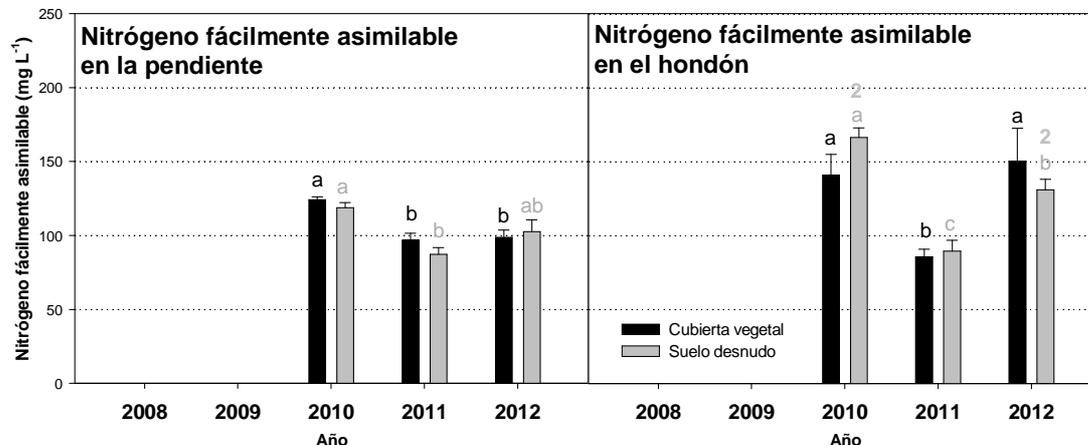


Figura 8.5. Concentración de nitrógeno fácilmente asimilable (NFA) en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierto vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio. (*) Valores con un asterisco indican que hay diferencia significativa entre manejos dentro de la misma zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con cubierta vegetal en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con suelo desnudo en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05). (Letras a-d) Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas para un determinado manejo y zona en el periodo de estudio (Prob.<0,05).

En el manejo bajo CV no hubo ninguna diferencia significativa en la concentración de NFA entre zonas, si bien las concentraciones de NFA en 2010 y 2012 parecían mayores en el hondón, y los valores en ambas zonas fueron similares en 2011 bajo CV. En el manejo bajo SD

los valores de NFA fueron significativamente mayores en el hondón respecto a la pendiente en 2010 y en 2012, e iguales en 2011 (Figura 8.5).

Las concentraciones más altas de NFA en la pendiente en el manejo CV ocurrieron en 2010, con valores alrededor de 120 mg L⁻¹. Bajo SD las concentraciones más altas se registraron también en 2010 y las más bajas en 2011, siendo los valores en 2012 intermedios, alrededor de 100 mg L⁻¹ (Figura 8.5). En el hondón y en el manejo CV las concentraciones más altas de NFA tuvieron lugar en 2010 y en 2012. En el manejo bajo SD también el valor más alto se midió en 2010, por encima de 150 mg L⁻¹, y el más bajo en 2011, alrededor de 80 mg L⁻¹ (Figura 8.5).

8.1.2. Propiedades cualitativas del vino

8.1.2.1. Grado alcohólico

El grado alcohólico o grado adquirido en vino (GA) mostraba rangos muy similares a los ya expuestos en el caso del GP en mosto. Así, los valores de GA estuvieron entre 11,10 y 14,20% Vol. en la pendiente bajo el manejo CV, y entre 12,26 y 14,25% Vol. bajo el manejo SD. En la zona de hondón, los valores de GA fluctuaron entre 12,04 y 14,04% Vol. bajo CV y entre 11,18 y 13,77% Vol. bajo SD (Figura 8.6).

En la pendiente en el año 2011 el GA fue significativamente mayor bajo SD, mientras que en el año 2012 el GA fue significativamente mayor bajo CV. Al comparar los manejos CV y SD en la zona de pendiente en el periodo de estudio no se observó ninguna tendencia definida de comportamiento entre los manejos. En el hondón el GA fue significativamente mayor bajo CV que bajo SD en 2009 y en 2011, y el GA bajo CV parecía ser mayor también bajo CV que bajo SD los otros años de estudio (Figura 8.6).

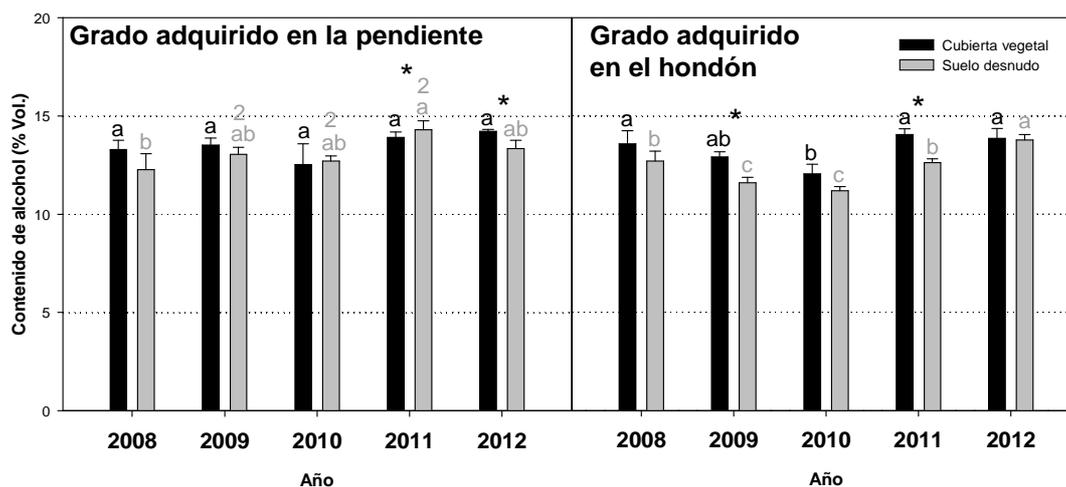


Figura 8.6. Grado alcohólico adquirido del vino en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio. (*) Valores con un asterisco indican que hay diferencia significativa entre manejos dentro de la misma zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con cubierta vegetal en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con suelo desnudo en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05). (Letras a-d) Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas para un determinado manejo y zona en el periodo de estudio (Prob.<0,05).

En el caso del manejo bajo CV, las dos zonas tuvieron unos valores de GA muy similares durante todo el periodo de estudio y no se observó ninguna diferencia significativa. Por el contrario, en los años 2009, 2010 y 2011 el GA bajo SD fue mayor en la pendiente, mientras que en 2008 y 2012 el GA fue prácticamente igual en ambas zonas (Figura 8.6).

En la pendiente los valores de GA fueron relativamente estables bajo CV durante los años de estudio. Bajo SD el valor más bajo se obtuvo en 2008, valores intermedios en 2009, 2010 y 2012, y el valor más alto se registró en 2011, alrededor de 14,00% Vol. frente a 12,00-13,00% Vol. del resto de los años de estudio (Figura 8.6). En el caso del hondón los valores de GA fueron más altos en 2008, 2011 y 2012 con valores alrededor de 13,50% Vol. bajo CV y entre 12,50-13,50% Vol. bajo SD. Los más bajos en SD se midieron en 2009 y 2010, con valores alrededor de 11,25% Vol (Figura 8.6).

8.1.2.2. Acidez total tartárica

En el vino los valores de acidez total tartárica (ATT) en la pendiente estaban comprendidos aproximadamente en el rango 3,90-5,00 g L⁻¹ bajo el manejo mediante CV y entre 3,50-5,20 g L⁻¹ bajo el manejo SD. Los rangos para la ATT en el hondón estaban entre 4,00-5,30 g L⁻¹ bajo CV y entre 3,90-5,50 g L⁻¹ bajo SD (Figura 8.7).

La ATT en la pendiente no mostró ninguna diferencia significativa entre CV y SD, y los valores observados fueron muy similares entre manejos para cada uno de los años de estudio. En el caso del hondón, la ATT fue mayor bajo CV en 2008 y menor bajo el mismo manejo en

2011, no habiendo diferencias significativas el resto de los años, ni habiendo una tendencia definida entre tratamientos (Figura 8.7).

No hubo diferencias significativas entre zonas, pendiente y hondón, para la ATT bajo CV. Bajo SD la ATT fue mayor en el hondón en 2010, no habiendo diferencias entre zonas el resto de años (Figura 8.7)

En el periodo de estudio en pendiente y bajo CV las mayores ATT ocurrieron en 2009 y 2011, valores alrededor de $5,00 \text{ g L}^{-1}$, y las más bajas tuvieron lugar en 2010 y 2012, aproximadamente $4,00 \text{ g L}^{-1}$. Bajo SD el patrón de comportamiento entre años fue similar a CV, ATT más altas en 2009 y 2011 y más baja en 2010 (Figura 8.7). En el hondón, las mayores ATT bajo CV se registraron en 2009, valores por encima de $5,00 \text{ g L}^{-1}$, mientras que los valores más bajos de ATT ocurrieron en 2010 y 2012. Bajo SD la mayor ATT ocurrió también en 2009, valores intermedios en 2008 y 2011, entre $4,00\text{-}5,00 \text{ g L}^{-1}$, y los valores más bajos de la ATT también se registraron en 2010 y 2012, valores alrededor de $4,00 \text{ g L}^{-1}$ (Figura 8.7).

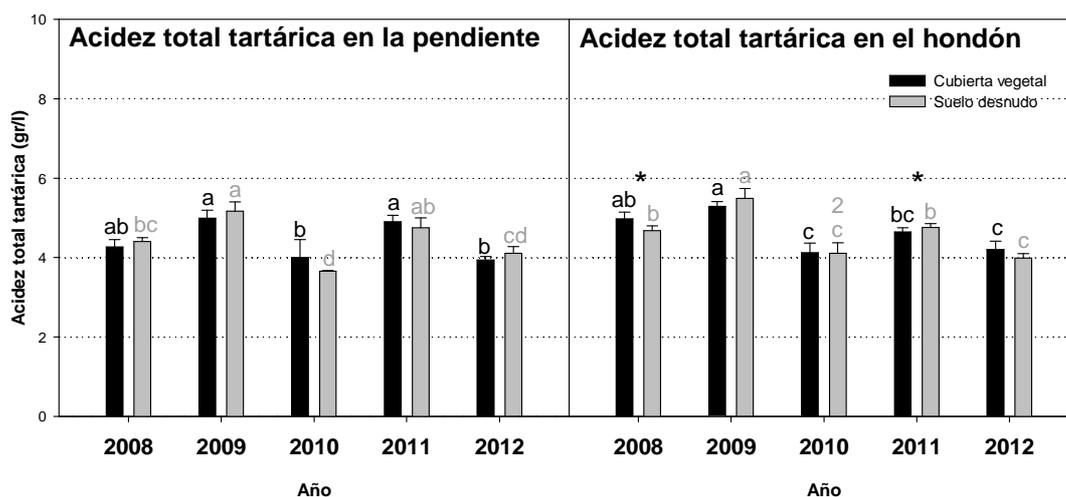


Figura 8.7. Acidez total tartárica (ATT) del vino en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio. (*) Valores con un asterisco indican que hay diferencia significativa entre manejos dentro de la misma zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con cubierta vegetal en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con suelo desnudo en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05). (Letras a-d) Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas para un determinado manejo y zona en el periodo de estudio (Prob.<0,05).

8.1.2.3. pH

El pH del vino en la pendiente estaba aproximadamente entre 3,50 y 4,20 en el manejo bajo CV y entre 3,40 y 4,10 en el manejo con suelo desnudo (SD). En la zona de hondón el pH variaba entre 3,30 y 4,20 bajo CV y entre 3,30 y 4,30 bajo SD (Figura 8.8).

El pH del vino en la pendiente fue mayor bajo CV que bajo SD en 2009, no habiendo diferencias el resto de los años. En el hondón el valor del pH fue también mayor en 2011 bajo CV y menor en 2008 y 2012. No hubo ninguna tendencia definida en el resto de los años.

Las únicas diferencias significativas entre zonas fueron bajo CV en 2011 en que el pH fue mayor en el hondón que en la pendiente y bajo SD en 2012 en que el pH fue también más alto en el hondón.

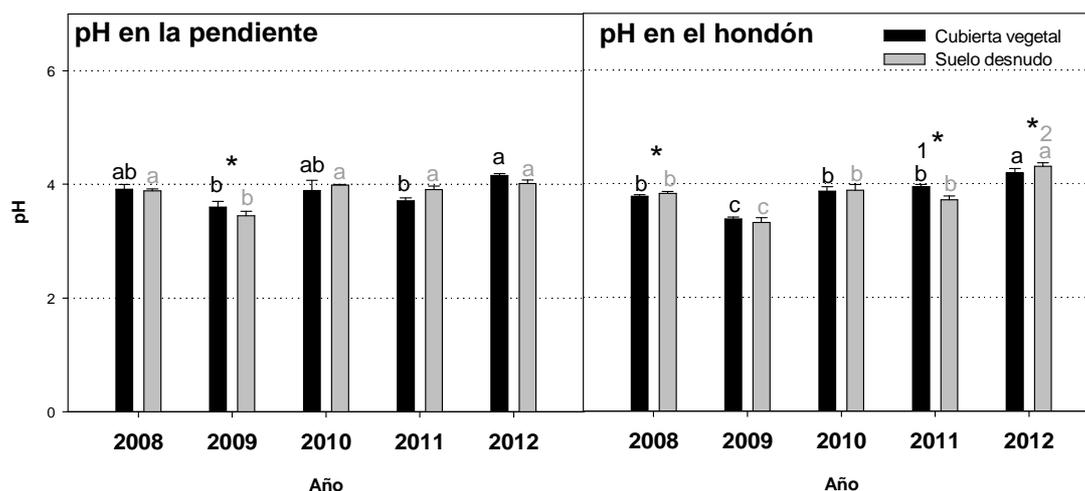


Figura 8.8. pH del vino en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio. (*) Valores con un asterisco indican que hay diferencia significativa entre manejos dentro de la misma zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con cubierta vegetal en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con suelo desnudo en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05). (Letras a-d) Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas para un determinado manejo y zona en el periodo de estudio (Prob.<0,05).

Los valores de pH más bajos en la pendiente se obtuvieron en 2009 y 2011 bajo CV, alrededor de 3,40-3,70, no significativamente diferentes de los años 2008 y 2010, pero sí más bajos que el pH en el año 2012, aproximadamente 4,10. En SD el valor más bajo ocurrió en 2009, y el resto de los años el pH fue más alto sin diferencias significativas entre años. En el hondón, tanto bajo CV como SD, los valores más bajos ocurrieron en 2009, estando alrededor de 3,30, y los valores más altos en 2012, aproximadamente 4,2. El resto de años los valores fueron intermedios con valores entre 3,70-3,95.

8.1.2.4. Concentración de antocianos

La concentración de antocianos en la pendiente estaba aproximadamente entre 370-530 mg L⁻¹ bajo el manejo CV y entre 230-470 mg L⁻¹ bajo SD. En el hondón, los valores fluctuaban en el rango 320-460 mg L⁻¹ bajo CV y entre 210-340 mg L⁻¹ bajo SD (Figura 8.9).

En la pendiente la concentración de antocianos tendía a ser mayor bajo CV frente al tratamiento de SD en el periodo de estudio, y esta diferencia fue significativa en 2011. En el

hondón la concentración de antocianos fue también mayor bajo CV respecto a SD en 2009, y las concentraciones en 2008 y 2010 también eran mayores bajo CV, aunque no hubo significación. En los últimos dos años no hubo diferencias para este parámetro entre CV y SD y las concentraciones observadas fueron muy similares bajo los dos manejos.

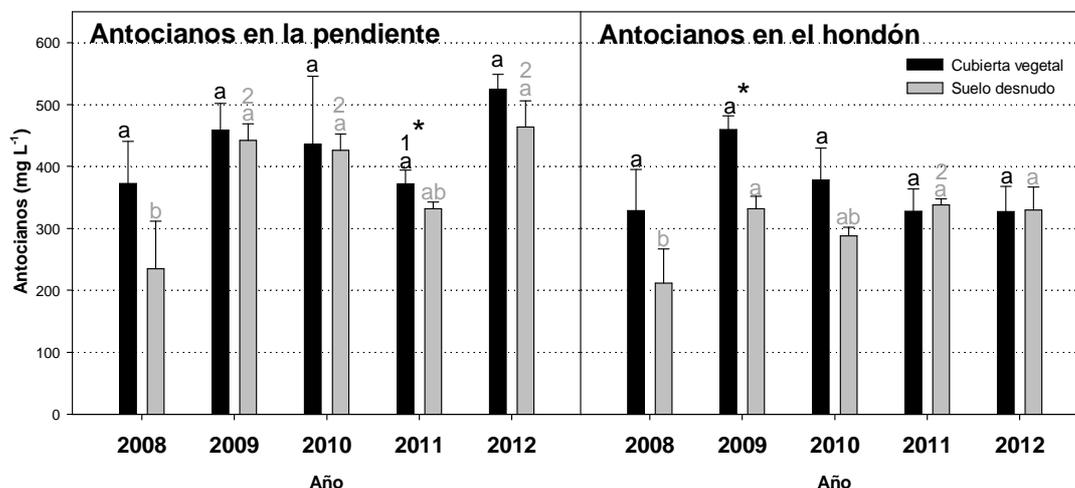


Figura 8.9. Concentración de antocianos (g L^{-1}) en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio. (*) Valores con un asterisco indican que hay diferencia significativa entre manejos dentro de la misma zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con cubierta vegetal en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con suelo desnudo en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05). (Letras a-d) Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas para un determinado manejo y zona en el periodo de estudio (Prob.<0,05).

En 2011 bajo CV la concentración de antocianos fue significativamente mayor en la pendiente que en el hondón. En el resto de los años, excepto en 2009, las concentraciones de antocianos eran aparentemente mayores en la pendiente, sin embargo, las diferencias no fueron significativas. Las diferencias entre zonas bajo SD mostraron una mayor concentración de antocianos en la pendiente en 2009, 2010 y 2012, y en 2011 ocurría lo opuesto, con una concentración de antocianos mayor en el hondón. En el año 2008 las concentraciones de antocianos bajo SD fueron muy similares en ambas zonas y no hubo diferencias significativas.

La gran variabilidad intra-interanual hizo que las concentraciones de antocianos no fueran diferentes en el periodo de estudio en la pendiente bajo CV, si bien en 2012 la concentración de antocianos fue de más de 500 mg L^{-1} , y en 2008 y 2011 de sólo unos 380 mg L^{-1} . En la pendiente bajo SD las concentraciones se comportaron de forma similar a los del manejo CV. En el hondón bajo CV no hubo tampoco diferencias significativas, pero en 2009 el valor medio fue de más de 450 mg L^{-1} , y en 2008, 2011 y 2012 de aprox. 320 mg L^{-1} . Bajo SD la concentración más baja fue en 2008, cerca de 210 mg L^{-1} , en 2010 la concentración fue intermedia aprox. 290 mg L^{-1} , y el resto de años se registraron las mayores concentraciones con valores de cerca de 330 mg L^{-1} .

8.1.2.5. Intensidad colorante

La intensidad colorante (IC) en la pendiente estaba aproximadamente entre 7,00 y 13,30 en el manejo bajo CV y entre 6,50 y 11,90 en el manejo bajo SD. Los valores de IC en el hondón estaban entre 5,70 y 12,30 bajo CV y entre 3,90 y 10,20 bajo SD (Figura 8.10).

En la pendiente no hubo ninguna diferencia significativa entre CV y SD para la IC, a pesar de que la IC bajo CV mostraba valores más altos que la IC bajo SD en todos los años, excepto en 2011. En el hondón la IC fue significativamente mayor bajo CV respecto a SD en 2009 y en 2011. La IC media bajo CV también era aparentemente más alta que la del SD en 2008 y en 2010, si bien las diferencias no eran significativas.

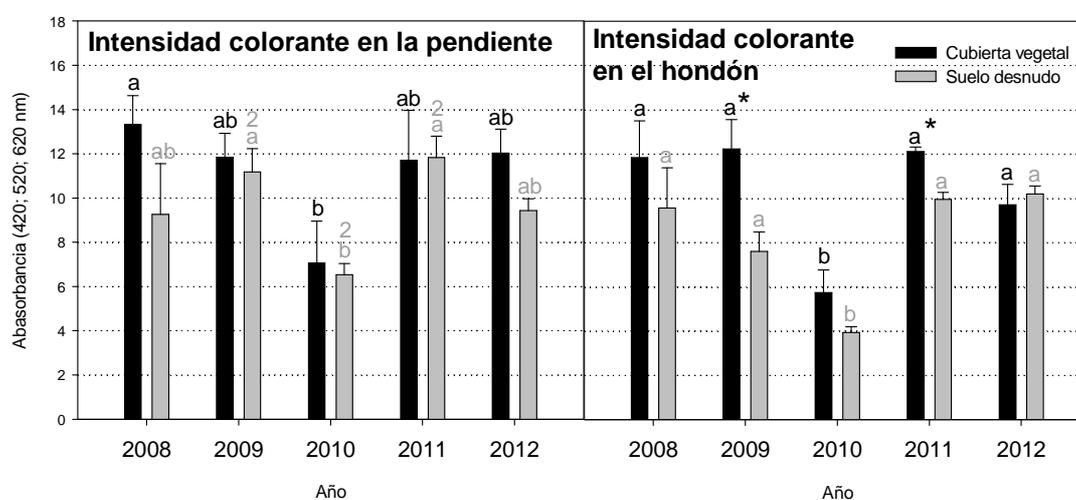


Figura 8.10. Intensidad colorante (Abs. 420; 520; 620 nm) en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio. (*) Valores con un asterisco indican que hay diferencia significativa entre manejos dentro de la misma zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con cubierta vegetal en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con suelo desnudo en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05). (Letras a-d) Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas para un determinado manejo y zona en el periodo de estudio (Prob.<0,05).

Bajo CV no hubo ninguna diferencia significativa entre zonas para la IC en ninguno de los años de estudio, y bajo SD la IC fue significativamente mayor en la pendiente respecto a hondón en 2009, 2010 y 2011.

En la pendiente bajo CV la IC más alta se obtuvo en 2008 y la más baja en 2010, con valores intermedios en 2009, 2011 y 2012. En pendiente bajo SD las IC más altas se obtuvieron en 2009 y 2011, la más baja también se registró en 2010, y valores intermedios en 2008 y 2012. En el hondón, las mayores IC bajo CV se obtuvieron en 2008, 2009, 2011 y 2012, y la IC más baja en 2010. Bajo el manejo SD el comportamiento de la IC fue semejante a CV, si bien con valores significativamente menores en 2009 y 2011, como se ha indicado anteriormente.

8.1.2.6. Índice de polifenoles totales

Los valores del índice de polifenoles totales (IPT) en la pendiente estaban en el rango 39,30-58,00 bajo el manejo mediante CV y entre 34,50-54,00 bajo el manejo mediante SD. En el hondón los valores del IPT estaban entre 33,50 y 55,00 bajo CV y entre 26,50 y 44,80 bajo SD (Figura 8.11).

El IPT en la pendiente fue significativamente mayor bajo CV respecto a SD en 2012, y se observaba una tendencia similar en 2008 y 2009. En el hondón el IPT era significativamente más alto bajo CV que bajo SD en 2009 y 2011, y la tendencia en 2008 y 2010 era también hacia valores aparentemente más altos bajo CV, si bien en 2012 los valores del IPT fueron similares en ambos manejos.

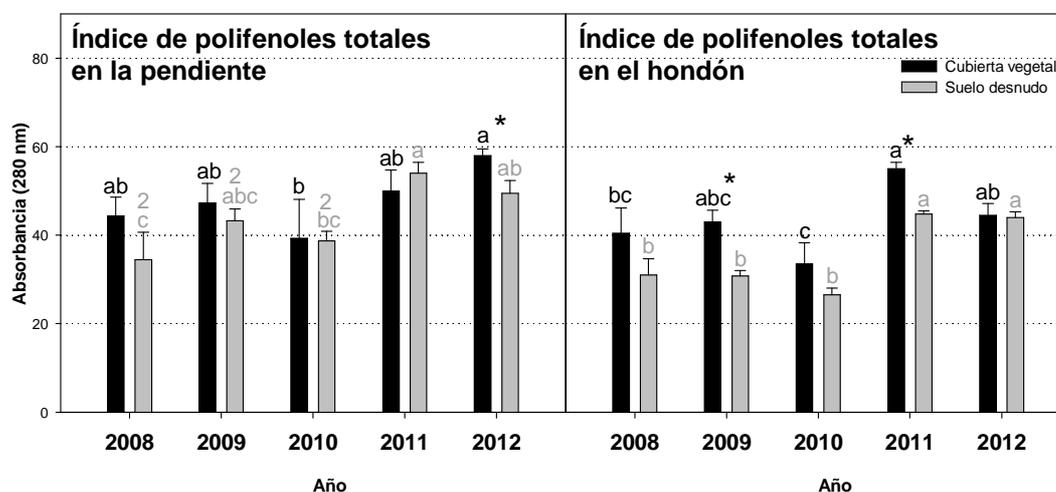


Figura 8.11. Índice de polifenoles totales (IPT) en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierta vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio. (*) Valores con un asterisco indican que hay diferencia significativa entre manejos dentro de la misma zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con cubierta vegetal en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con suelo desnudo en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05). (Letras a-d) Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas para un determinado manejo y zona en el periodo de estudio (Prob.<0,05).

Cuando se comparan las zonas bajo CV no se observó ninguna diferencia significativa entre pendiente y hondón. No obstante, bajo SD en 2008, 2009 y 2010 el IPT fue mayor en pendiente que en hondón.

El mayor IPT en la pendiente bajo CV se obtuvo en 2012, (alrededor de 60,00), y el menor en 2010, con valores intermedios el resto de los años. En el manejo bajo SD los mayores valores se registraron en 2011 y 2012 y los menores en 2008 y 2010, siendo intermedio el valor en 2009, alrededor de 42,00. En el hondón el mayor IPT bajo CV ocurrió en 2011 y el menor en 2010, con valores intermedios el resto de los años. Bajo el manejo SD los mayores valores

ocurrieron en 2011 y 2012, por encima de 40,00, y los menores en 2008, 2009 y 2010, alrededor de 30,00 en los primeros dos años y por debajo de este valor en el tercero.

8.1.2.7. Potasio

Los valores de la concentración de potasio (K) en la pendiente estaban en el rango 830-1560 mg L⁻¹. En el hondón la concentración de K estaba comprendida entre 870-1900 mg L⁻¹ (Figura 8.12).

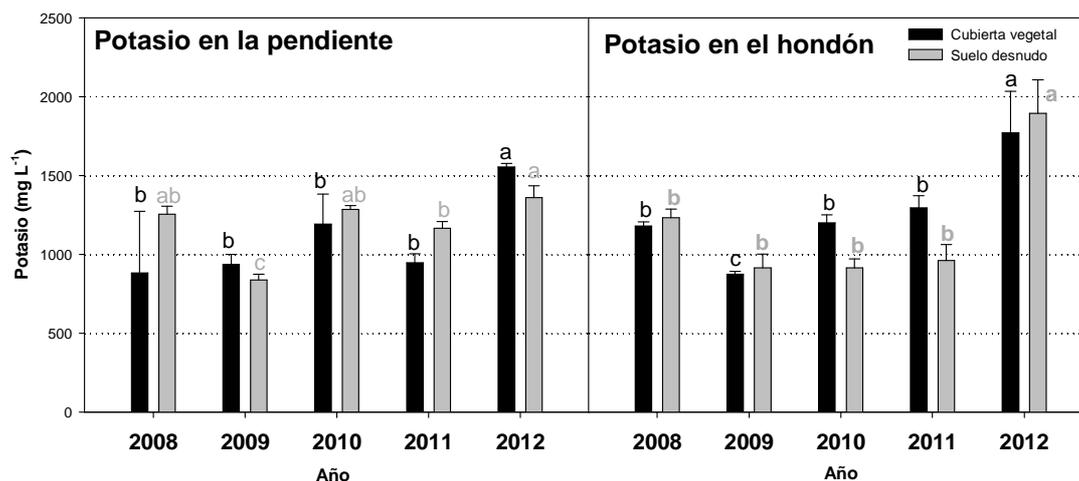


Figura 8.12. Concentración de potasio (K) (mg L⁻¹) en las dos zonas (pendiente y hondón) y bajo los dos manejos aplicados (cubierto vegetal y suelo desnudo) en la parcela de estudio. (*) Valores con un asterisco indican que hay diferencia significativa entre manejos dentro de la misma zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con cubierta vegetal en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican una producción significativamente mayor bajo el manejo con suelo desnudo en la zona en la que aparecen (Prob.<0,05). (Letras a-d) Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas para un determinado manejo y zona en el periodo de estudio (Prob.<0,05).

Ni en la pendiente ni en el hondón hubo ninguna diferencia significativa en las concentraciones de K entre los manejos de CV y SD.

Tampoco hubo diferencias significativas en las concentraciones de K cuando se comparaban las zonas, pendiente y hondón, dentro de cada uno de los manejos.

La mayor concentración de K en la pendiente bajo CV se obtuvo en 2012, siendo su valor de 1553 mg L⁻¹. El resto de los años no hubo diferencias significativas en las concentraciones de K, con un rango de valores entre 880 mg L⁻¹ en 2008, y 930-940 mg L⁻¹ en 2009 y 2011. En SD la mayor concentración se obtuvo también en 2012, 1360 mg L⁻¹, la concentración más baja fue la de 2009, poco mayor de 830 mg L⁻¹, y en 2008, 2010 y 2011 las concentraciones fueron intermedias. En el hondón bajo CV la mayor concentración de K se obtuvo también en 2012, al igual que en la pendiente, superando los 1700 mg L⁻¹, en 2009 se obtuvo la concentración más baja, 875 mg L⁻¹, y el resto de años las concentraciones fueron intermedias. En el hondón bajo SD la mayor concentración de K se obtuvo también en 2012,

superando los 1800 mg L⁻¹, y el resto de los años no hubo diferencias significativas para las concentraciones de K en el hondón, alcanzando una concentración de 900 mg L⁻¹ en 2009.

8.1.2.8. Atributos sensoriales

En la pendiente la calidad gustativa y la puntuación total fueron más altas en el vino de la cosecha de 2011 procedente del manejo bajo SD respecto al manejo de CV. En las cosechas del año 2010 y 2012 no hubo diferencias entre manejos en esta zona (Tabla 8.1).

Tabla 8.1. Puntuaciones de los atributos sensoriales de los vinos elaborados con las cosechas de los años 2010, 2011 y 2012. Puntuación para la calidad visual, la calidad olfativa, la calidad gustativa, el juicio global de los vinos y la suma total de puntos (puntuación total) para los vinos de cada zona de la parcela y manejo del suelo.

Año	Sitio	Manejo	Calidad visual	Calidad olfativa	Calidad gustativa	Juicio global	Puntuación total
2010	Pendiente	Cubierta vegetal	11	22	29	9	71
		Suelo desnudo	10	21	27 ²	8	66 ²
	Hondón	Cubierta vegetal	10	21*	27*	8	66*
		Suelo desnudo	9	17*	21 ^{2*}	7	54 ^{2*}
2011	Pendiente	Cubierta vegetal	9	19 ¹	28 ^{1*}	8 ¹	64 ^{1*}
		Suelo desnudo	9	21	31*	9	70*
	Hondón	Cubierta vegetal	10	22 ¹	32 ¹	9 ¹	73 ¹
		Suelo desnudo	10	21	31	9	71
2012	Pendiente	Cubierta vegetal	10 ¹	22 ¹	30 ¹	9 ¹	71 ¹
		Suelo desnudo	10 ²	23 ²	31 ²	9 ²	73 ²
	Hondón	Cubierta vegetal	6 ^{1*}	13 ^{1*}	20 ^{1*}	6 ^{1*}	45 ^{1*}
		Suelo desnudo	9 ^{2*}	21 ^{2*}	29 ^{2*}	8 ^{2*}	67 ^{2*}

Para cada uno de los años (*) Valores con un asterisco indican que hay diferencia significativa entre manejos dentro de cada zona (Prob.<0,05); (1) Valores con un 1 indican una calificación significativamente diferente bajo el manejo con cubierta vegetal entre las zonas (Prob.<0,05); (2) Valores con un 2 indican una calificación significativamente diferente bajo el manejo con suelo desnudo entre las zonas (Prob.<0,05).

En el hondón el vino procedente de la cosecha de 2010 obtuvo una valoración significativamente mejor bajo el manejo CV para la calidad olfativa, la calidad gustativa y la puntuación total. Por el contrario, el vino de la cosecha de 2012 procedente del hondón tuvo una valoración significativamente peor para todos los parámetros bajo el manejo CV en relación al vino procedente del manejo SD. No hubo diferencias significativas entre manejos dentro de la misma zona en el vino de la cosecha de 2011.

Bajo CV en el año 2010 no hubo diferencias significativas en ninguno de los parámetros de los atributos sensoriales entre la pendiente y el hondón. El vino de 2011 tuvo una mejor valoración de todos los parámetros excepto el de la calidad visual en la zona de hondón con respecto a la pendiente. Sin embargo, el vino de 2012 mostró mejor valoración en la pendiente que en el hondón bajo el manejo con CV.

Al comparar ambas zonas bajo el manejo SD, el vino resultante de la cosecha de 2010 obtuvo mejor valoración en la pendiente para la calidad gustativa y la puntuación total. En el

caso del vino de 2011 no hubo diferencias. Finalmente, el vino de 2012 obtuvo mejores puntuaciones en la pendiente bajo el manejo SD para todos los parámetros.

8.2. DISCUSIÓN

8.2.1. Grado alcohólico probable y grado adquirido en vino

Las diferencias observadas en la pendiente en el caso del GP y GA no mostraban ningún patrón claro de diferenciación entre manejos (Figuras 8.1 y 8.6). En esta zona, los potenciales hídricos mostraron un mayor estrés inicial bajo CV en la mayoría de los años de estudio, por tanto, no parecía que el estrés inicial en la pendiente estuviese afectando al grado de manera directa (Figura 4.2). En la mayoría de los trabajos en los que se ha comparado el manejo mediante cubiertas y suelo desnudo, se han observado incrementos del grado bajo el manejo mediante cubiertas (Ibáñez, 2013), bien asociados a un menor rendimiento bajo este manejo (Albuquerque *et al.*, 2008) o bien asociados a una reducción del vigor (Chaves *et al.*, 2010). La reducción de la producción, generalmente, se suele relacionar con un estrés hídrico previo al envero (Dry *et al.*, 2000; Matthews y Anderson, 1989; McCarthy, 1997; Ojeda *et al.*, 2001), resultando en mayores concentraciones de azúcares durante la maduración si el potencial hídrico en tallo en ese momento se sitúa en valores entre -1,20 MPa y -1,40 MPa (Ojeda, 2006). La reducción del vigor se asocia a un estrés durante el crecimiento inicial de los pámpanos hasta envero (Santesteban, 2003), aunque el estrés anterior a la floración también puede afectar al crecimiento lateral reduciendo la emisión de anticipados (Chaves *et al.*, 2010; Lopes *et al.*, 2011). Un vigor reducido resulta en una mayor incidencia de la radiación solar en la zona de racimos (Lopes *et al.*, 2008), que lleva consigo un aumento de la temperatura (Morlat *et al.*, 1993), resultando en un mayor grado hasta un límite de temperaturas que algunos autores establecen en 37°C (Bergqvist *et al.*, 2001; Kliewer, 1977). Del mismo modo, tanto una reducción de la producción como una reducción del vigor pueden resultar en cambios en el equilibrio y en la competencia por los fotosintetizados entre la parte vegetativa y uva en la cepa, pudiendo resultar así en cambios en el grado (Celette *et al.*, 2005). En el presente estudio, los mayores niveles de estrés observados bajo CV al inicio del ciclo en la pendiente, resultaron en una tendencia hacia una menor producción bajo este manejo (Figura 7.1). Por tanto, el GP y el GA no estaban claramente vinculados a una disminución productiva. En cuanto a la relación entre la producción y el peso de la madera de poda, expresado mediante el IR, el valor de este parámetro era algo mayor en SD (Figura 7.2). No obstante, el mayor IR bajo SD resultó de una producción mayor en la pendiente, ya que el peso de la madera de poda no mostraba diferencias entre manejos (Figuras 6.2 y 7.1). De este modo, un tamaño de dosel similar, con una producción ligeramente mayor no se tradujo a una mejora en el GP y en el GA en la pendiente, confirmando de nuevo que el GP y el GA no estaban influenciados por la producción.

En el hondón hubo una tendencia hacia un mayor GP y GA bajo el manejo CV respecto a SD, siendo significativas estas diferencias en 2009 y 2011 (Figuras 8.1 y 8.6). Sin embargo, prácticamente no hubo diferencias iniciales en el caso del potencial hídrico, excepto en el año 2011. Por contra, al final del ciclo los potenciales mostraron un mayor estrés bajo SD en 2009 y 2012. Por lo tanto, un mejor estado hídrico entre el envero y la maduración, pudo haber favorecido un mayor GP y GA bajo el manejo CV (Figura 4.2). En este sentido, el estrés hídrico entre el envero y la maduración debe ser moderado para asegurar una correcta maduración y acumulación de azúcares en la baya (Ojeda, 2006). Considerando el umbral propuesto por Acevedo-Opazo *et al.* (2010) de $-1,5$ MPa, sólo el potencial bajo SD antes de la cosecha superaba este límite en 2009, 2010 y 2012, mientras en 2008 y 2011 lo hacían los dos manejos. Consecuentemente el mayor estrés al final del ciclo pudo resultar en un menor GP y GA bajo el manejo SD, como también han documentado otros autores (Intrigliolo *et al.*, 2012; Van Zyl, 1984). A este respecto Roby *et al.* (2004) establecieron un rango de potenciales entre $-1,40$ y $-1,20$ MPa en hoja, por debajo del cual descendía la acumulación de azúcares. En el caso del hondón, la producción no mostró una influencia definida bajo el manejo mediante CV (Figura 7.1), coincidiendo así con Mercenaro *et al.* (2014) y Lopes *et al.* (2008), puesto que estos autores también observaron un aumento del grado bajo el manejo mediante cubiertas sin encontrar ninguna variación consistente en el rendimiento en estudios que duraron 2-3 años. Sin embargo, el Índice de Ravaz fue mayor bajo CV respecto a SD en los tres primeros años de estudio. En este caso, el mayor IR estuvo ocasionado por una reducción significativa del peso de la madera de poda (Figuras 6.2 y 7.2). Así, el mayor IR señalaba hacia una mayor temperatura por mayor incidencia de la radiación solar bajo el manejo CV, resultando en un mayor GP y GA. A este respecto, a pesar de que en campo es difícil separar los efectos de la radiación y la temperatura (Dokoozlian y Kliwer, 1996), en un ensayo realizado en invernadero Leibar *et al.* (2017) observaron que un aumento de la temperatura durante la maduración puede conllevar una aceleración en la acumulación de azúcares en la baya. Por lo tanto, el mejor estado hídrico durante la maduración junto con un efecto del descenso en el vigor bajo el manejo mediante CV pudo haber contribuido a un mayor GP y GA.

La pendiente y el hondón alcanzaron similar GP y GA bajo el manejo CV. Sin embargo, el GP y GA fueron mayores en la pendiente que en el hondón bajo SD en 2009, 2010 y 2011 y menores en 2012. Por lo tanto, el efecto de la cubierta vegetal en la zona de hondón igualó el GP y GA entre las dos zonas (Figuras 8.1 y 8.6). En relación con las diferencias bajo SD entre las zonas, el estrés tendía a ser mayor en el hondón bajo SD, apareciendo diferencias significativas desde poco antes del envero hasta el final del ciclo en 2011, y entre cuajado y envero en 2012

(Figura 4.2). De este modo, el mayor estrés después del envero en el hondón, que sobre todo se observó bajo SD, pudo haber supuesto una menor acumulación de azúcares en esta zona bajo ese manejo. En este sentido, Intrigliolo *et al.* (2012) observaron que un déficit hídrico después de envero, resultaba en una menor acumulación de azúcares, especialmente si el potencial en tallo sobrepasaba el umbral de estrés, que fijaron en $-0,94$ MPa. Del mismo modo, Leibar *et al.* (2017), en plantas aisladas en condiciones de invernadero, comprobaron que un potencial de $-1,55$ MPa retrasaba la maduración en 9 días frente a otro tratamiento con un potencial de $-0,81$ MPa. Este retraso lo relacionaron con una menor área foliar y una menor tasa fotosintética en plantas bajo mayor estrés, como también describen Martínez-Lüscher *et al.* (2015). En el año 2012 se invertía la tendencia con un mayor estrés durante la maduración en pendiente bajo SD, lo cual también supuso un menor grado en esta zona (Figuras 4.2, 8.1 y 8.6). Así, esto confirmaba la incidencia negativa del severo estrés post-envero sobre la acumulación de azúcares. Otros de los factores que, como se ha comentado anteriormente, pudiesen haber afectado al grado de manera conjunta con el estrés, fueron la modificación de la producción o del vigor, reflejados en el Índice de Ravaz. Así, el IR fue mayor en la pendiente respecto al hondón, en 2008 y 2010 bajo el manejo SD, a causa de un menor vigor en la zona de pendiente (Figuras 6.2 y 7.1). Por consiguiente, los racimos del hondón bajo SD podrían haber estado expuestos a una menor temperatura a la vez que sufrían una mayor competencia por parte de estructuras vegetativas, resultando en un menor GP y GA, como también se ha observado en otros trabajos (Bergqvist *et al.*, 2001; Maigre y Aerny, 2001).

8.2.2. Acidez total tartárica, ácido L-málico y pH

La ATT del mosto no se vio afectada en ninguna de las dos zonas por los manejos (Figura 8.2). En cuanto a la ATT en el vino, tampoco hubo diferencias en la pendiente entre manejos, si bien en el hondón en 2008 fue más alta bajo CV y en 2011 bajo SD, es decir, hubo dos diferencias pequeñas y opuestas entre los manejos (Figura 8.7). Los valores de pH en el mosto fueron muy similares para cada uno de los años de estudio, tanto entre manejos como entre zonas. En el caso del vino, los valores de pH concordaban con los valores de la acidez total tartárica y, en general, las mayores ATT se correspondían con los pH más bajos (Figura 8.8). De este modo, los resultados obtenidos coincidían con lo también observado por otros autores (García *et al.*, 2009; Ingels *et al.*, 2005; Karl *et al.*, 2016; Muscas *et al.*, 2017; Sweet y Schreiner, 2010), quienes tampoco encontraron ningún efecto consistente de las cubiertas sobre la acidez total. En el caso del málico, su concentración fue mayor bajo CV que bajo SD en 2011 en la pendiente (Figura 8.3). Hay autores que afirman que una reducción del vigor implica una mayor incidencia de la radiación solar sobre la zona de racimos, lo que lleva asociada una

mayor temperatura (Champagnol, 1984). De este modo, se facilita la combustión de málico, que ocurre a partir de los 30° C, lo que resulta en una disminución de la acidez y un aumento del pH (Karl *et al.*, 2016; Lopes *et al.*, 2011; Sagüés *et al.*, 2008; Spayd *et al.*, 2002). Así, en diversos trabajos se ha observado una reducción de la acidez total relacionada con un menor vigor y una mayor exposición de los racimos a causa del estrés generado por las cubiertas (Karl *et al.*, 2016). En este sentido, la menor concentración de málico bajo SD en 2011 en la pendiente, coincidió con un IR también significativamente mayor y, por tanto, un menor peso de madera de poda respecto a producción, lo cual pudo conllevar una mayor combustión de málico (Figuras 6.2 y 7.2).

Cuando se compararon las zonas, la ATT en el mosto tendía a ser mayor o igual en el hondón bajo ambos manejos, aunque la única diferencia significativa se encontró en 2010 bajo SD. El año 2012 fue la única excepción a esta tendencia, ya que bajo SD hubo una mayor ATT en la pendiente, siendo la diferencia significativa (Figura 8.2). En el caso del vino, la tendencia hacia una mayor ATT en el hondón se observaba en los tres primeros años, y durante los últimos dos años las dos zonas mostraban una ATT parecida (Figura 8.7). Teniendo en cuenta que en los primeros tres años hubo un menor IR en el hondón provocado por un mayor peso de la madera de poda bajo SD (Figuras 6.2 y 7.2), las mayores acideces en esos mismos años, seguramente se debieron a un mayor contenido de málico, como también lo confirmaban las diferencias encontradas bajo SD para este compuesto en 2008 y 2010. Esto probablemente ocurrió por una mayor degradación de málico donde el IR era mayor, tal y como se ha descrito al comparar los manejos. En el caso del pH, las zonas no mostraron diferencias que confirmasen tendencias claras, excepto en 2012 en mosto y vino bajo SD, con un mayor pH en el hondón (Figuras 8.4 y 8.8). En 2011 el pH del vino bajo CV fue mayor en el hondón. Los descensos en la ATT después de la fermentación maloláctica fueron perceptibles en el pH, aunque en el vino no aparecieron diferencias de pH relacionadas con la transformación del ácido málico a ácido láctico (Figura 8.8). Es decir, aunque en el hondón bajo SD en 2008 y 2010 hubo más málico, su transformación a ácido láctico no supuso mayores ascensos de pH en esta zona. Esto guarda buena relación con lo que algunos autores postulan sobre la naturaleza de estos ácidos, ya que afirman que el málico es un ácido más débil que el tartárico, y su descenso no influye de manera tan intensa en el pH del mosto (Boulton, 1980; Gawel *et al.*, 2000). Es más, las diferencias encontradas entre zonas en el pH fueron aisladas y no mostraban ninguna tendencia definida. En relación a cambios en el pH, un aumento de la concentración de potasio en la uva, puede resultar en una menor acidez y un pH más alto porque el potasio tiende a formar sales con el ácido tartárico (Mpelasoka *et al.*, 2003). Además, esto sobre todo ocurre en

la variedad 'Tempranillo', ya que es una variedad potasófila (Ibáñez *et al.* 2011). De este modo, a pesar de que no hubo diferencias significativas en las concentraciones de K, en 2011 bajo CV y en 2012 bajo SD en el hondón las concentraciones medias de K fueron mayores, pudiendo haber contribuido al mayor pH en esos años bajo los mencionados manejos respecto a la pendiente (Figura 8.12).

8.2.3. Compuestos fenólicos en mosto y vino: antocianos, Índice de Polifenoles Totales e Intensidad Colorante

En la pendiente la concentración de antocianos y el IPT fueron mayores bajo CV que bajo SD en 2011 y 2012 respectivamente, y la IC no mostró ninguna diferencia entre manejos en la pendiente (Figuras 8.9, 8.10 y 8.11). En el hondón la concentración de antocianos bajo CV fue mayor que bajo SD en el año 2009. La IC y el IPT también fueron significativamente mayores bajo CV en 2009 y 2011. Por lo tanto, estos resultados guardaban relación con lo observado por distintos autores que han documentado aumentos de la concentración de distintos compuestos fenólicos y compuestos relacionados con el color en vino a causa del manejo mediante cubiertas vegetales (Steenwerth y Guerra, 2012; Linares, 2009). Estas mayores concentraciones suelen resultar de tres principales efectos que la menor disponibilidad de agua a causa del consumo por las cubiertas suele generar. Por una parte, a través del aumento de la acumulación de compuestos polifenólicos y antocianos por una mayor biosíntesis (Ojeda *et al.*, 2002; Roby *et al.*, 2004). Por otra parte, una disminución de la producción asociada a un menor tamaño de la baya y, consecuentemente, una mayor relación hollejo/pulpa, también pueden resultar en una mayor concentración de los mencionados compuestos (Acevedo-Opazo *et al.*, 2010; Hepner *et al.*, 1985; Williams y Matthews, 1990). De similar manera, una mayor radiación solar y una mayor temperatura del racimo por la disminución del tamaño de dosel también pueden resultar en una mayor concentración de compuestos fenólicos y antocianos (Dokoozlian y Kliewer, 1996; Keller *et al.*, 1998; Lopes *et al.*, 2008; Monteiro y Lopes, 2007; Peña-Neira *et al.*, 2004). Así, cuando la temperatura se encuentra en un rango de 17-26°C, una exposición a la luz solar supone un aumento en antocianos y compuestos fenólicos (Bergqvist *et al.*, 2001). Junto con la mayor exposición, la amplitud térmica también tiene efectos positivos en la síntesis de compuestos fenólicos, y la reducción del vigor puede resultar en una mayor amplitud de temperaturas (Kliewer y Weaver, 1971). En este sentido, Bergqvist *et al.* (2001) observaron que un sombreado excesivo de la uva puede ser negativo, ya que la incidencia de la radiación solar y el consecuente aumento de la temperatura estimulan la síntesis de compuestos polifenólicos. No obstante, los mismos autores también matizaron que una excesiva incidencia de la luz solar puede generar pérdidas

de antocianos y otros compuestos fenólicos. Considerando los resultados de esta investigación, el estrés alrededor del periodo de cuajado no parecía ser el responsable de la mayor síntesis de compuestos fenólicos, ya que en 2009 bajo CV la concentración de la mayoría de dichos compuestos también estaba favorecida en el hondón, donde no se observaron diferencias iniciales en el potencial (Figura 4.2). El IR fue significativamente menor bajo CV en la pendiente en 2011, estando por debajo del rango óptimo (Figura 7.2), por lo que hubo un exceso de vegetación respecto a producción (García-Escudero *et al.*, 2006). No obstante, la concentración de antocianos fue mayor bajo CV en la pendiente, a pesar de que el resto de compuestos no mostraron el mismo comportamiento (Figura 8.9). En el caso del hondón, en 2009 el IR fue similar bajo ambos manejos, aunque el peso de la madera de poda fue menor bajo el manejo CV respecto a SD (Figuras 6.2 y 7.2), lo cual guardaba buena relación con la mayor concentración de compuestos fenólicos, antocianos y una mayor IC en ese año bajo CV. Las producciones medias fueron también menores en 2009 y 2011 en el hondón (Figura 7.1), pero sin significación estadística y el Índice de Ravaz fue similar bajo ambos manejos durante los dos años, situándose dentro del rango propuesto como óptimo para la variedad 'Tempranillo' en ambos casos (García-Escudero *et al.*, 2006). Las mencionadas reducciones productivas no fueron provocadas por una disminución del tamaño de la baya (Figura 7.1), por lo que el descenso productivo no parecía ser la causa de la mayor concentración de compuestos polifenólicos. Por consiguiente, las mayores concentraciones de compuestos polifenólicos bajo CV en el hondón seguramente fueron el resultado de un menor vigor en una situación de equilibrio entre producción y vegetación.

Al comparar las zonas dentro de cada manejo, la concentración de antocianos en 2009, 2010 y 2012 fue mayor en la pendiente que en el hondón bajo el manejo SD. En el manejo bajo CV, la concentración de antocianos fue mayor en pendiente que en hondón en 2011. El efecto que las cubiertas ejercieron en el hondón con mayores concentraciones de antocianos entre 2008 y 2010 tendía a igualar ambas zonas bajo este manejo, a diferencia de lo que ocurría con el manejo SD (Figura 8.9). La misma tendencia se observaba en el caso de la IC y del IPT, siendo la diferencia significativa en 2009, 2010 y 2011 en el caso de la IC, y en 2010, 2011 y 2012 en el caso del IPT (Figuras 8.10 y 8.11). Como ya se ha discutido al comparar los manejos en las dos posiciones fisiográficas, el ascenso del IR, cuando ocurre a través de la reducción del vigor, puede conducir a cambios que se dan en el microclima de los racimos, suponiendo un aumento en el contenido de antocianos y compuestos polifenólicos (Dokoozlian y Kliewer, 1996; Keller *et al.*, 1998; Lopes *et al.*, 2008; Monteiro y Lopes, 2007; Spayd *et al.*, 2002). Por tanto, las diferencias entre zonas bajo SD, con un menor vigor en 2009 y 2010 en la pendiente

respecto al hondón, resultando además en un mayor IR en la pendiente en 2010, parecían ser la principal causa de las diferencias encontradas en estos compuestos (Figuras 6.2 y 7.2). En cuanto al año 2012, el riego aplicado en la pendiente el 18 de junio resultó en un mejor estado hídrico en gran parte del periodo entre cuajado y envero en esta zona (Figura 4.2). En consecuencia, en 2012 la concentración de antocianos en la pendiente fue mayor. Finalmente, la única diferencia entre zonas bajo CV, tuvo lugar en el año 2011, con una mayor concentración de antocianos en pendiente que en hondón (Figura 8.9). En este caso, el vigor de la pendiente fue parecido al del hondón, y en la producción no se encontraron diferencias, a pesar de ser menor en la zona de pendiente (Figuras 6.2 y 7.1). En este año de estudio, entre cuajado y el momento del riego las condiciones climatológicas provocaron un intenso estrés en la pendiente, con un potencial cercano a $-1,50$ MPa antes del riego. No obstante, esta zona se regó varias veces alrededor de envero (Figura 4.2). Así, aunque estos riegos no afectasen ni a la producción ni al vigor, resultaron en una mayor concentración de antocianos, a pesar de que el IPT y la IC fueron similares a los del hondón.

8.2.4. Nitrógeno fácilmente asimilable

En cuanto al NFA no hubo diferencias significativas entre manejos en ninguna de las zonas (Figura 8.5). Estos resultados coincidían con los de otros autores que tampoco encontraron diferencias en el contenido de nitrógeno disponible para las levaduras en el mosto debido al manejo con cubiertas vegetales (Lee y Steenwerth, 2011; Sweet y Schreiner, 2010). Asimismo, en algunos trabajos, aun sin encontrar significación, se han registrado concentraciones medias de NFA inferiores bajo el manejo mediante cubiertas vegetales (Delalande *et al.* 2009). En el caso del presente estudio, además de la ausencia de diferencias significativas, las concentraciones tampoco mostraron ninguna tendencia consistente al comparar manejos (Figura 8.5).

Respecto a las diferencias entre zonas dentro de cada manejo del suelo, se apreció una mayor concentración de NFA en el hondón en dos de los tres años de estudio, 2010 y 2012, bajo el manejo SD, y lo mismo sucedía bajo CV, sin haber diferencias significativas en este caso (Figura 8.5). Como ya se ha mencionado en otros apartados, en suelos más profundos y en condiciones hídricas menos limitantes, las cubiertas vegetales compiten menos porque las cepas pueden absorber agua y nutrientes desde zonas más profundas (Centinari *et al.*, 2016). Así, en un estudio preliminar de los suelos de la parcela (Tabla 3.1), se encontró que en el hondón los suelos tenían un mayor contenido de materia orgánica (MO) respecto a la pendiente, y además las fluctuaciones de materia orgánica en el perfil mostraban valores de MO en horizontes profundos mayores en comparación con el horizonte suprayacente. En este

sentido cabe destacar que los niveles de MO en suelo condicionan la disponibilidad de nitrógeno para la vid (Choné *et al.* 2001). Por tanto, mientras la menor disponibilidad de agua pudo condicionar la absorción de nitrógeno a causa de la menor profundidad del suelo en la pendiente (Linares, 2009), la mayor profundidad explorable por las raíces tanto para el agua como para el nitrógeno, pudo resultar en una mayor concentración de este elemento en las bayas en el hondón, conduciendo a una mayor concentración de NFA.

8.2.5. Evaluación sensorial

Al comparar las puntuaciones medias obtenidas en la pendiente en los tres años en los que se hizo la evaluación, en 2011 la calidad gustativa y la puntuación total fueron más altas bajo SD que bajo CV (Tabla 8.1). A pesar de que no son muchos los trabajos en los que se haya estudiado la influencia de las cubiertas vegetales en las características sensoriales del vino, Uliarte *et al.* (2009) observaron que al comparar una cubierta espontánea con otra permanente y suelo desnudo, la cubierta vegetal espontánea obtenía las puntuaciones más bajas de valoración visual y olfativa. En este trabajo las diferencias en las variables de la calidad entre manejos también fueron menos consistentes y menores en la pendiente. Estos resultados concordarían con otros trabajos en los que no se encontraron diferencias en la preferencia de vinos procedentes de distintos manejos. En este sentido, Karl *et al.* (2016) evaluaron vinos de viñedos manejados mediante herbicida, laboreo, cubierta espontánea y trébol blanco, sin encontrar discriminaciones significativas entre manejos por parte de los panelistas.

Respecto a las diferencias entre los manejos en el hondón, en 2010 las puntuaciones fueron significativamente mayores para la calidad gustativa, olfativa y la puntuación total en el manejo bajo CV (Tabla 8.1). En 2011 las puntuaciones fueron similares y, por el contrario, en 2012 las puntuaciones fueron significativamente mayores bajo SD para todos los atributos evaluados. No obstante, en 2012 no se registró ninguna diferencia significativa entre los parámetros analizados en la calidad del vino. Por tanto, las diferencias en la puntuación se debieron seguramente a aspectos sensoriales adquiridos durante el proceso de vinificación. En 2011 hubo diferencias en el hondón con un GA mayor, un pH mayor, una acidez menor, una intensidad colorante mayor y con un IPT mayor bajo el manejo con cubiertas, a pesar de la ausencia de diferencias de puntuación en la cata (Figuras 8.6, 8.7, 8.8, 8.10 y 8.11). En 2010 el vino producido bajo CV también mostró valores más altos para casi todos los parámetros de calidad, aunque no se encontró ninguna significación. De manera similar, Jordan *et al.* (2016) observaron diferencias en la percepción sensorial de vinos procedentes de distintos manejos pero no pudieron establecer ninguna relación clara entre estas diferencias y los cambios en la

respuesta agronómica, ni tampoco en la composición del mosto y el vino. Finalmente, respecto a la mejor valoración olfativa y gustativa bajo el manejo con CV en 2010, existen también trabajos que coinciden con lo observado, señalando un carácter más afrutado y aromático de estos vinos, junto con una mejor estructura y armonía, y un alto potencial polifenólico y cromático (EVENA, 2012; Wheeler *et al.*, 2005).

En cuanto a la comparación de las dos zonas dentro de cada manejo, bajo CV en 2010 no hubo diferencias, en 2011 el hondón obtuvo mayor puntuación para todos los parámetros excepto la calidad visual, y en 2012 la puntuación fue opuesta a la de 2011 incluso también para la calidad visual (Tabla 8.1). Lo observado no se correspondía con los resultados expuestos en los parámetros de calidad del vino, ya que bajo el manejo con CV las zonas sólo se diferenciaron en la concentración de antocianos en 2011, con una mayor concentración en la pendiente (Figura 8.9). Bajo el manejo mediante SD, las diferencias en preferencia siempre daban una mejor puntuación en la pendiente. En este caso, las diferencias encontradas en las variables de calidad concordaban con los resultados de preferencia, ya que estos señalaban siempre a una mejor calidad del vino en la pendiente bajo el manejo SD.

8.3. RESUMEN

- En la pendiente el manejo bajo CV hizo que el GP fuera mayor que bajo SD en el año 2012. En el hondón esta diferencia fue más evidente, siendo significativa en los años 2009 y 2011. En cuanto a las diferencias entre zonas, en los años 2009, 2010 y 2011 el grado fue mayor en la pendiente respecto al hondón bajo SD y, por el contrario, en 2012 el grado fue más alto en el hondón. Por lo general, el mayor grado se daba cuando el estrés a partir del envero era menor.
- En la pendiente la concentración de ácido L-málico fue mayor bajo CV que bajo SD en el año 2011. En el hondón no hubo diferencias entre manejos en ninguno de los años. En cuanto a las diferencias entre zonas, en 2008 y 2010 la concentración de ácido L-málico fue mayor bajo SD en el hondón respecto a la pendiente. Estas diferencias parecían estar causadas por diferencias en el peso de poda, ya que un mayor sombreado pudo resultar en una menor temperatura en la zona de los racimos, dificultando la combustión del ácido L-málico.
- Los manejos no provocaron ninguna diferencia en la acidez total tartárica en ninguna de las zonas. Las diferencias entre zonas en la acidez total tartárica estaban relacionadas con una mayor concentración de ácido L-málico en el mosto, y en el caso del vino desaparecieron o disminuyeron después de la fermentación maloláctica.
- El pH no mostró ninguna tendencia clara y no parecía estar influenciado por el manejo en ninguna de las dos zonas. Las diferencias puntuales entre zonas, con un mayor pH en el hondón, tampoco mostraban ninguna tendencia clara.
- La influencia de la cubierta vegetal sobre los polifenoles, antocianos y la IC fue positiva, sobre todo en la zona del hondón. En cuanto a las diferencias entre zonas, todas correspondían a valores mayores de estas variables bajo el suelo desnudo en la pendiente. Estas diferencias fueron atribuidas a las diferencias de temperatura y radiación sobre el racimo provocadas por las diferencias en el peso de poda. Ninguna de las diferencias encontradas se podía atribuir al peso de la baya.
- El nitrógeno fácilmente asimilable no se vio afectado por el empleo de cubiertas vegetales, no obstante, el mosto del hondón tendía a tener una mayor concentración de nitrógeno fácilmente asimilable, lo que se corresponde con las mayores

concentraciones de nitrógeno foliar en esta zona. Esto, al igual que la concentración foliar de nitrógeno, se pudo deber a un mayor espesor del horizonte superficial más rico en materia orgánica y a un mayor volumen explorable de suelo.

- Las variables de calidad sensorial en la pendiente no estaban influenciadas por el manejo CV y las únicas diferencias encontradas mostraban una mejor valoración de los vinos bajo SD en 2011. En el hondón, los atributos sensoriales estuvieron positivamente influenciados por la cubierta vegetal solo en el año 2010.
- Las diferencias entre las zonas mostraron una mejor valoración de los vinos en el manejo CV en el hondón frente a la pendiente en 2011, y en la pendiente respecto al hondón en 2012. Sin embargo, en ningún caso se pudieron establecer relaciones claras entre la evaluación sensorial y los parámetros de calidad en mosto y vino. En el manejo SD, los vinos de la pendiente obtuvieron mejor puntuación en los casos en los que hubo diferencias, y en este caso los parámetros de calidad concordaron con las puntuaciones otorgadas por los evaluadores.

9. CONCLUSIONES

1. La cubierta vegetal en su fase activa favorece la K_{nosat} respecto al suelo que ha desarrollado costra superficial. El labrado del suelo provoca un fuerte aumento de la K_{nosat} , sin embargo, sus valores descienden a lo largo del tiempo hasta igualarse con los de la cubierta vegetal a causa de la formación de costra superficial.
2. En las fases iniciales del ciclo la cubierta vegetal compite con la vid por el agua solamente en la pendiente, debido a la menor capacidad de retención de agua del suelo en esta zona, incluso en los años en los que se riega en pendiente a finales del invierno. En el hondón, regado solamente una vez, antes del envero en 2012, hay en general un mayor estrés bajo suelo desnudo a partir del envero, a diferencia de la pendiente. Esta diferencia se puede atribuir a dos causas; por una parte, en los primeros tres años de estudio, al mayor vigor alcanzado por las cepas bajo el suelo desnudo, por otra, a la posible protección ejercida por el rastrojo de la cubierta vegetal frente a la evaporación.
3. Las menores concentraciones de N, P y Ca en hoja bajo cubierta vegetal en el hondón son atribuibles a la competencia ejercida por la cubierta. El mayor contenido de Mg en profundidad en el suelo se refleja en una mayor concentración foliar de este nutriente en el manejo bajo cubierta vegetal en pendiente. Asimismo, debido a la actividad radicular de la cubierta vegetal en la capa superficial del suelo, la absorción de Mn se encuentra favorecida en ambas zonas. En general, el mayor espesor del horizonte rico en nutrientes en el hondón concuerda con su mayor concentración foliar en la vid en esta zona con respecto a la pendiente.
4. La medida del diámetro de pámpano no permite estudiar la dinámica del crecimiento de la vid a lo largo del ciclo vegetativo, ya que sólo mide el rápido crecimiento inicial hasta el cuajado, que ocurre a partir de las reservas acumuladas en la cepa durante el ciclo anterior. No obstante, después de la parada de crecimiento en grosor de los pámpanos, el crecimiento en longitud y la emisión y crecimiento de nietos prosigue, pero el diámetro no varía.
5. En la pendiente el crecimiento de la vid está limitado bajo ambos manejos por la falta de agua y, por tanto, no hay diferencias en el peso de la madera de poda entre tratamientos. Sin embargo, en el hondón a pesar de que no hay diferencias al inicio del ciclo en el estrés hídrico, sí aparece una competencia por el N entre la vid y la cubierta, que se ve en los datos del análisis foliar. Esto resulta en un mayor peso de poda bajo suelo desnudo, pero sólo en los años de mayor disponibilidad hídrica.

6. En pendiente hay una tendencia general hacia una menor producción por cepa y de sus componentes bajo cubierta vegetal, excepto en el peso de la baya. La producción bajo el manejo de suelo desnudo, en general, es menor en la posición fisiográfica en la que el estrés hídrico desde floración hasta una fecha intermedia entre cuajado y envero es mayor.
7. El estrés hídrico entre cuajado y envero, si ocurre después de una cierta fecha entre estos dos estados fenológicos, no afecta de manera significativa a la producción del ciclo en curso. En cambio, si el estrés ocurre más cerca del cuajado que del envero, tiene un efecto significativo sobre la producción. Por tanto, los riegos tienen un efecto positivo en la producción en la primera mitad de la fase entre el cuajado y el envero.
8. Las cubiertas vegetales afectan positivamente al grado y a los compuestos fenólicos en el hondón. Esto hace que no haya diferencias entre zonas en el tratamiento de cubierta vegetal y, por el contrario, en el caso del suelo desnudo que los valores de estas variables sean mayores en pendiente. Si bien parece que la cubierta vegetal no ejerció influencia sobre la acidez málica de manera clara en ninguna de las dos zonas, en general, igualó las diferencias de la acidez málica entre pendiente y hondón.
9. Las diferencias en el grado fueron originadas por las diferencias de estrés a partir del envero, siendo el grado menor donde había un estrés severo. En cuanto al color, el tamaño de la baya no influyó sobre el mismo, pero parece que el crecimiento vegetativo de la viña y su esperado efecto sobre la radiación y temperatura del racimo fueron determinantes a la hora de generar diferencias entre tratamientos. La mayor acidez málica encontrada en hondón respecto a pendiente bajo el manejo de suelo desnudo, se podía explicar también con un mayor crecimiento vegetativo que contribuyó a reducir la combustión del málico.
10. La cubierta vegetal no influyó de manera consistente en los atributos sensoriales del vino. Sin embargo, las diferencias entre zonas bajo suelo desnudo fueron más definidas, lo que llevó a una mejor discriminación de los vinos de pendiente y de hondón, que se correspondía también con los parámetros químicos de calidad.

El estrés inicial que las cubiertas causan en la pendiente no se refleja ni en el crecimiento vegetativo ni en la calidad, pero sí se relaciona con una tendencia hacia una menor producción. En el hondón la cubierta vegetal incrementa la calidad en lo que respecta al grado y al color. Esto sucede por la competencia de la cubierta por el nitrógeno del suelo, lo que resulta en un menor crecimiento vegetativo asociado a un menor estrés durante la maduración, y a una mayor incidencia de la luz solar sobre los racimos. El conjunto de cambios provocados por el manejo mediante la cubierta vegetal mejora las variables relacionadas con la calidad, sobre todo en el hondón, igualando así ambas zonas del viñedo. No obstante, el efecto de una sequía prolongada hace que este efecto positivo de la cubierta se pierda debido a la falta de riego en el hondón en el caso del color y se llegue a invertir en el caso del grado.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, G., Saqib, M., Akhtar, J., Murtaza, G., Shahid, M., Hussain, A. 2016. Relationship between rhizosphere acidification and phytoremediation in two *Acacia* species. *Journal of Soils and Sediments*. 16 (4): 1392-1399.
- Acevedo-Opazo, C., Ortega-Farias, S., Fuentes, S. 2010. Effects of grapevine (*Vitis vinifera* L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: An irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. 97 (7): 956-964.
- Alburquerque, M. V., Yuste, R., Yuste, J. 2008. Influencia de las cubiertas vegetales de suelo en un viñedo de tempranillo en la D.O. Rueda. *Viticultura Enología Profesional*. 114: 34-41.
- Alexander, D. 1965. The effect of high temperature regimes or short periods of water stress on development of small fruiting saltana vines. *Australian Journal of Agricultural Research*. 16(5): 817-823.
- Aljibury, F.K., Christensen, L.P. 1972. Water penetration of vineyard soils as modified by cultural practices. *American Journal of Enology and Viticulture*. 23(1): 35-38.
- Azevedo, A.S., Kanwar, R.S., Horton, R. 1998. Effect of cultivation on hydraulic properties of an Iowa soil using tension infiltrometers. *Soil Science*. 163(1): 22-29.
- Baeza, P., Sánchez-de-Miguel, P., Centeno, A., Junquera, P., Linares, R., Lissarrague, J.R. 2007. Water relations between leaf water potential, photosynthesis and agronomic vine response as a tool for establishing thresholds in irrigation scheduling. *Scientia Horticulturae*. 114(3): 151-158.
- Barnard, C. 1932. Fruit bud studies: I, The Sultana. An analysis of the distribution and behaviour of the buds of sultana vine, together with an account of differentiation and development of the fruit buds. *Journal of the Council for Scientific and Industrial Research*. 5: 47-52.
- Barnard, C., Thomas, J.E. 1932. Fruit bud studies: II, The Sultana. Differentiation and development of the fruit buds. *Journal of the Council for Scientific and Industrial Research*. 5: 285-294.
- Barrios, A. 1995. Mapa de Suelos de Rioja Alavesa E:1/50000. GETMA. Vitoria-Gasteiz, España.
- Bates, T.R., Dunst, R.M., Joy, P. 2002. Seasonal dry matter, starch, and nutrient distribution in «Concord» grapevine roots. *HortScience*. 37(2): 313-316.
- Battany, M.C., Grismer, M.E. 2000. Rainfall runoff and erosion in Napa Valley vineyards: effects of slope, cover and surface roughness. *Hydrological Processes*. 14(7): 1289-1304.
- 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*. 52(1): 1-7.

- Biddoccu, M., Ferraris, S., Pitacco, A., Cavallo, E. 2017. Temporal variability of soil management effects on soil hydrological properties, runoff and erosion at the field scale in a hillslope vineyard, North-West Italy. *Soil and Tillage Research*. 165: 46-58.
- Blavet, D., De Noni, G., Le Bissonnais, Y., Leonard, M., Maillo, L., Laurent, J.Y., Asseline, J., Leprun, J.C., Arshad, M.A., Roose, E. 2009. Effect of land use and management on the early stages of soil water erosion in French Mediterranean vineyards. *Soil and Tillage Research*. 106(1): 124-136.
- Borga, M., Anagnostou, E.N., Bloeschl, G., Creutin, J.D. 2011. Flash flood forecasting, warning and risk management: the HYDRATE project. *Environmental Science and Policy*. 14(7): 834-844.
- Boulton, R. 1980. The Relationships between Total Acidity, Titratable Acidity and pH in Wine. *American Journal of Enology and Viticulture*. 31(1): 76-80.
- Boulton, R. 2001. The co-pigmentation of anthocyanins and its role in the colour of red wine: a critical review. *American Journal of Enology and Viticulture*. 52(2): 67-87.
- Bourde, L., Bagard, A., Salva, G., Uscidda, N., Vallee, D., Lavegne, C., Serpentine, M.J., Albertini, M. 1999. Intérêt de l'enherbement naturel maîtrisé et influence d'une concurrence limitée de l'herbe sur la production et la qualité des vins. *Revue Française d'Oenologie*. 179: 16-19.
- Bruggisser, O.T., Schmidt-Entling, M.H., Bacher, S. 2010. Effects of vineyard management on biodiversity at three trophic levels. *Biological Conservation*. 143(6): 1521-1528.
- Bugg, R.L., McGourty, G., Sarrantonio, M., Lanini, W.T., Bartolucci, R. 1996. Comparison of 32 cover crops in an organic vineyard on the north coast of California. *Biological Agriculture and Horticulture*. 13(1): 63-81.
- Calatrava, J., Barberá, G.G., Castillo, V.M., Barbera, G.G., Castillo, V.M. 2011. Farming practices and policy measures for agricultural soil conservation in semi-arid Mediterranean areas: The case of the Guadalentín basin in southeast Spain. *Land Degradation and Development*. 22(1): 58-69.
- Carsel, R.F., Parrish, R.S. 1988. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. *Water Resources Research*. 24(5): 755-769.
- Caspari, H.W., Neal, S., Naylor, A. 1997. Cover crop management in vineyards to enhance deficit irrigation in a humid climate. *Acta Horticulturae*. 449: 313-320.
- Cassel, D.K. 1983. Spatial and temporal variability of soil physical properties following tillage of Norfolk loamy sand. *Soil Science Society of America Journal*. 49(3-4): 196-201.
- Castellarín, S.D., Pfeiffer, A., Sivilotti, P., Degan, M., Peterlunger, E., Di Gaspero, G. 2007. Transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in ripening fruits of grapevine under seasonal water deficit. *Plant, Cell and Environment*. 30(11): 1381-1399.

- Celette, F., Findeling, A., Gary, C. 2009. Competition for nitrogen in an unfertilized intercropping system: The case of an association of grapevine and grass cover in a Mediterranean climate. *European Journal of Agronomy*. 30(1): 41-51.
- Celette, F., Gaudin, R., Gary, C. 2008. Spatial and temporal changes to the water regime of a Mediterranean vineyard due to the adoption of cover cropping. *European Journal of Agronomy* 29(4): 153-162.
- Celette, F., Ripoche, A., Gary, C. 2010. WaLIS—A simple model to simulate water partitioning in a crop association: The example of an intercropped vineyard. *Agricultural Water Management*. 97(11): 1749-1759.
- Celette, F., Wery, J., Chantelot, E., Celette, J., Gary, C. 2005. Belowground interactions in a vine (*Vitis vinifera* L.)-tall fescue (*Festuca arundinacea* Shreb.) intercropping system: Water relations and growth. *Plant and Soil*. 276(1-2): 205-217.
- Centinari, M., Poni, S., Intrigliolo, D.S., Dragoni, D., Lakso, A.N. 2012. Cover crop evapotranspiration in a northeastern US Concord (*Vitis labruscana*) vineyard. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 18(1): 73-79.
- Centinari, M., Vanden Heuvel, J.E., Goebel, M., Smith, M.S., Bauerle, T.L. 2016. Root-zone management practices impact above and belowground growth in Cabernet Franc grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 22(1): 137-148.
- Cerdán, O., Govers, G., Le Bissonnais, Y., Van Oost, K., Poesen, J., Saby, N., Gobin, A., Vacca, A., Quinton, J., Auerswald, K., Klik, A., Kwaad, F.J.P.M., Raclot, D., Ionita, I., Rejman, J., Rousseva, S., Muxart, T., Roxo, M.J., Dostal, T. 2010. Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data. *Geomorphology*. 122(1-2) 167-177.
- Champagnol, F. 1984. *Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*. Dehan Imprimerie, Montpellier, Francia.
- Champagnol, F. 1988. Rôle du potassium dans la physiologie de la vigne. *Progrès Agricole et Viticole*. 105(19): 431-435.
- Chantelot, E., Celette, F., Wery, J. 2004. Concurrence pour les ressources hydriques et azotées entre vigne et enherbement en milieu méditerranéen. *International Symposium in Quality Management in Viticulture and Enology*. Stuttgart, Alemania. pp. 171-184.
- Chaves, M.M., Santos, T.P., Souza, C.R., Ortuño, M.F., Rodrigues, M.L., Lopes, C.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S. 2007. Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Annals of Applied Biology*. 150 (2): 237-252.
- Chaves, M.M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J.M., Santos, T., Regalado, A. P., Rodrigues, M.L., Lopes, C.M. 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of botany*. 105(5): 661-676.

- Choné, X., Van Leeuwen, C., Dubourdieu, D., Gaudillere, J.P. 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of Botany*. 87: 477-483.
- Christensen, L.P., Kasimatis, A.N., Jensen, F.L. 1978. Grapevine nutrition and fertilization in the San Joaquin valley Oakland, CA. University of California. *Agriculture and Natural Resources*. 4087: 41pp.
- Cifre, J., Bota, J., Escalona, J.M., Medrano, H., Flexas, J. 2005. Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.): An open gate to improve water-use efficiency?. *Photosynthesis and Abiotic Stresses*. 106(2-3): 159-170.
- Clingeffer, P.R. 2010. Plant management research: status and what it can offer to address challenges and limitations. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 16: 25-32.
- Colugnati, G., Cattarossi, G., Crespan, G. 2004. Gestione del terreno in viticoltura. *Vigne Vini*. 11: 53-83.
- Cook, M.G., Zhang, Y., Nelson, C.J., Gambetta, G., Kennedy, J.A., Kurtural, S.K. 2015. Anthocyanin composition of merlot is ameliorated by light microclimate and irrigation in central California. *American Journal of Enology and Viticulture*. 66(3): 266-278.
- Coombe, B.G., Hale, C.R. 1973. The Hormone Content of Ripening Grape Berries and the Effects of Growth Substance Treatments. *Plant Physiology*. 51(4): 629-634.
- Cortell, J.M., Halbleib, M., Gallagher, A.V., Righetti, T.L., Kennedy, J.A. 2007. Influence of vine vigor on grape (*Vitis vinifera* L. Cv. Pinot Noir) anthocyanins. 1. Anthocyanin concentration and composition in fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(16): 6575-6584.
- Cortell, J.M., Halbleib, M., Gallagher, A.V., Righetti, T.L., Kennedy, J.A. 2005. Influence of vine vigor on grape (*Vitis vinifera* L. Cv. Pinot Noir) and wine proanthocyanidins. *Journal of agricultural and food chemistry*. 53(14): 5798-5808.
- Costello, M.J. 2010. Grapevine and soil water relations with nodding needlegrass (*Nassella cernua*), a California native grass, as a cover crop. *HortScience*. 45(4): 621-627.
- Cots-Folch, R., Martínez-Casasnovas, J.A., Ramos, M.C. 2009. Agricultural trajectories in a Mediterranean mountain region (Priorat, NE Spain) as a consequence of vineyard conversion plans. *Land Degradation and Development* 20(1): 1-13.
- Decagon Devices. 2006. Mini Disk Infiltrometer User's Manual, Version 3. Decagon Devices, Inc. Pullman, Washington, E.E.U.U.
- Delalande, M., Forget, C., Cazals, G., Tauzin, D. 2009. Enherbement du vignoble Méditerranéen avec des luzernes annuelles. *Progrès Agricole et Viticole*. 126(6): 135-148.
- Delas, J. 2000. La fertilisation de la vigne. Collection des Usuels Féret de la Vigne et du Vin. Editions Féret. Bordeaux, Francia.

- Delgado, R., Martín, P., Del Álamo, M., González, M.R. 2004. Changes in the phenolic composition of grape berries during ripening in relation to vineyard nitrogen and potassium fertilisation rates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 84(7): 623-630.
- Deloire, A., Carbonneau, A., Wang, Z.P., Ojeda, H. 2004. Vine and water a short review. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*. 38(1): 1-13.
- DeVetter, L.W., Dilley, C.A., Nonnecke, G.R. 2015. Mulches Reduce Weeds, Maintain Yield, and Promote Soil Quality in a Continental-Climate Vineyard. *American Journal of Enology and Viticulture*. 66(1): 54-64.
- Dokoozlian, N.K., Kliewer, W.M. 1996. Influence of light on grape berry growth and composition varies during fruit development. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 121(5): 869-874.
- Dousset, S., Goulet, E., Chaussod, R., Bartoli, F., Doledec, A.F., Andreux, F. 2004. Water-stable aggregates and organic matter pools in a calcareous vineyard soil under four soil-surface management systems. *Soil Use and Management*. 20(3): 318-324.
- Downey, M.O., Harvey, J.S., Robinson, S.P. 2004. The effect of bunch shading on berry development and flavonoid accumulation in Shiraz grapes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 10: 55-73.
- Dry, P.R., Loveys, B.R. 1998. Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 4: 140-148.
- Dry, P.R., Loveys, B.R., Düring, H. 2000. Partial drying of the rootzone of grape. II. Changes in the pattern of root development. *Vitis*. 39(1): 9-12.
- Dry, P.R., Loveys, B.R., McCarthy, M.G., Stoll, M. 2001. Strategic irrigation management in Australian vineyards. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*. 35(3): 129-139.
- Dufourcq, L., Gontier, E., Serrano, N., Ollat, N. 2005. Rapport surface foliaire et poids de récolte: incidences sur l'alimentation hydrique de la vigne, la qualité du moût, la qualité du vin a partir de quatre cépages de Midi-Pyrénées. *Progès Agricole et Viticole*. 122(2): 503-507.
- Dunn, G.M., Martin, S.R. 2000. Do temperature conditions at budburst affect flower number in *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon?. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 6(2): 116-124.
- Düring, H. 1986. ABA and water stress in grapevines. *Acta Horticulturae*. 179: 413-420.

- Esteban, M.A., Villanueva, M.J., Lissarrague, J.R. 2002. Relationships between different berry components in Tempranillo (*Vitis vinifera* L) grapes from irrigated and non-irrigated vines during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 82(10): 1136-1146.
- Esteban, M. A., Villanueva, M.J., Lissarrague, J.R. 1999. Effect of Irrigation on Changes in Berry Composition of Tempranillo During Maturation. Sugars, Organic Acids, and Mineral Elements. *American Journal of Enology and Viticulture*. 50 (4): 418-434.
- EVENA. 2012. *Ensayos de Cubiertas Vegetales en Viña 1995-2010*, 1.a ed. Fondo de Publicaciones del Gobierno de Navarra, Pamplona, España.
- F.A.O. 2000. *Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD)*. FAO, Roma.
- Farkas, C., Gyuricza, C., Birkas, M. 2006. Seasonal changes of hydraulic properties of a Chromic Luvisol under different soil management. *Biologia*. 61: 344-348.
- Fisher, D.S., Steiner, J.L., Endale, D.M., Stuedemann, J.A., Schomberg, H.H., Franzluebbbers, A.J., Wilkinson, S.R. 2000. The relationship of land use practices to surface water quality in the Upper Oconee Watershed of Georgia. *Forest Ecology and Management*. 128(1-2): 39-48.
- Flanzy, C. 2002. *Enología: Fundamentos científicos y enológicos*. Ediciones Mundi Prensa, Madrid.
- Fourie, J.C. 2010. Soil management in the Breede River valley wine grape region, South Africa. 1. Cover crop performance and weed control. *South African Journal of Enology and Viticulture*. 31(1): 14-21.
- Fourie, J.C., Louw, P.J.E., Agenbag, G. 2006. Cover Crop Management in a Chardonnay / 99 Richter Vineyard in the Coastal Region , South Africa . 2 . Effect of Different Cover Crops and Cover Crop Management Practices on Grapevine Performance. *South African Journal of Enology and Viticulture*. 27(2): 178-186.
- Freeman, B.M., Kliewer, M.W. 1983. Effect of Irrigation , Crop Level and Potassium Fertilization on Carignane Vines . II . Grape and Wine Quality. *American Journal of Enology and Viticulture* 34(3): 197-207.
- Gago, P., Cabaleiro, C., García, J. 2007. Preliminary study of the effect of soil management systems on the adventitious flora of a vineyard in northwestern Spain. *Crop Protection*. 26(4): 584-591.
- García-Escudero, E. 1991. Influencia de la dosis y del momento de aplicación del riego sobre la producción, desarrollo vegetativo, calidad del mosto y nutrición mineral de la vid (*Vitis vinifera* L.). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- García-Escudero, E. 2006. El aclareo de racimos como herramienta adecuada para el manejo del potencial productivo en el cultivo de la vid. *La Prensa del Rioja*. 161: 12-17.

- García-Escudero, E., Romero, I., Benito, A., Domínguez, N., Martín, I. 2013. Reference Levels for Leaf Nutrient Diagnosis of cv. Tempranillo Grapevine in the Rioja Appellation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 44(1-4): 645-654.
- García-Ruiz, J.M., Lana-Renault, N., Begueria, S., Lasanta, T., Regues, D., Nadal-Romero, E., Serrano-Muela, P., López-Moreno, J.I., Alvera, B., Martí-Bono, C., Alatorre, L.C. 2010. From plot to regional scales: Interactions of slope and catchment hydrological and geomorphic processes in the Spanish Pyrenees. *Geomorphology*. 120(3-4) 248-257.
- García, S., Muñoz, G., Cabello, F., Pérez-Jiménez, M.A., Ruíz-Colmenero, M., Bienes, R., Marqués, M.J. 2009. Ecosostenibilidad de viñedos de secano en pendiente manejados con cubiertas vegetales en el centro de España. Libro de actas IV Simposio Control y Degradación de Suelos y Cambio Global. Valencia, España.
- Gawel, R., Ewart, A., Cirami, R. 2000. Effect of root stock on must and wine composition and the sensory properties of Cabernet Sauvignon grown at Langhorne Creek, South Australia. *Australian and New Zealand Wine Industry Journal*. 15: 67-73.
- Gay, G., Bovio, M., Minati, J.L., Morando, A., Novello, V., Ambrosoli, R. 2004. La gestion du sol par rapport au système de conduite dans un vignoble en forte pente. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*. 38(1): 71-74.
- Giese, G., Velasco-Cruz, C., Roberts, L., Heitman, J., Wolf, T.K. 2014. Complete vineyard floor cover crops favorably limit grapevine vegetative growth. *Scientia Horticulturae*. 170: 256-266.
- Gil-Albert, F. 1980. Tratado de arboricultura frutal. Volumen I. Aspectos de la morfología y fisiología del árbol frutal. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.
- Ginestar, C., Easthan, J., Gray, S., Iland, P. 1998. Use of Sap-Flow Sensors to Schedule Vineyard Irrigation. II. Effects of Post-Veraison Water Deficits on Composition of Shiraz Grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*. 49: 213-420.
- Girona, J., Mata, M., del Campo, J., Arbonés, A., Bartra, E., Marsal, J., Arbones, A., Bartra, E., Marsal, J., Arbonés, a., Bartra, E., Marsal, J. 2006. The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards. *Irrigation Science*. 24(2): 115-127.
- González-Larreina, M. 1988. Caracterización analítica de los vinos de Euskal Herria. Tesis doctoral. Servicio de publicaciones de la Diputación Foral de Álava. Vitoria- Gasteiz, España.
- González, M. 1993. El vino Rioja. Caracterización Analítica. Gráficas Quintana. Logroño, España.
- Grinsted, M.J., Hedley, M.J., White, R.E., Nye, P.H. 1982. Plant-induced changes in the rhizosphere of rape (*Brassica napus* var.emerald) seedlings - 1. pH change and the increase in P concentration in the soil solution. *New Phytologist*. 91: 19-29.

- Guilpart, N., Metay, A., Gary, C. 2014. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. *European Journal of Agronomy*. 54: 9-20.
- Gulick, S.H., 1994. Cover-crop-enhanced water infiltration of a slowly permeable fine sandy loam. *Soil Science Society of America Journal*. 58(5): 1539-1546.
- Hale, C.R. 1977. Relation between potassium and the malate and tartrate contents of grape berries. *Vitis*. 16(1): 9-19.
- Hale, C.R., Buttrose, M.S. 1974. Effect of temperature on ontogeny of berries of *Vitis vinifera* L. cv. cabernet Sauvignon. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 99: 390-394.
- Hanna, R., Zalom, F.G., Elmore, C.L. 1995. Integrating cover crops into grapevine pest and nutrition management: the transition phase. *Sustainable Agriculture Technical Reviews*. 7(3): 48-52.
- Hanson, J. 2006. History of tillage. En: 28th Annual Zero tillage workshop program. <http://www.mandakzerotill.org/books/proceedings/Proceedings%202006/History%20of%20tillage.htm>
- Hardie, W.J., Considine, J.A. 1976. Response of Grapes To Water-Deficit Stress in Particular Stages of Development. *American Journal of Enology and Viticulture*. 27(2): 55-61.
- Harris, J.M., Kriedemann, P.E., Possingham, J. V. 1968. Anatomical aspects of grape berry development. *Vitis*. 7(2): 106-119.
- Hashizume, K., Samuta, T. 1999. Grape maturity and light exposure affect berry methoxypyrazine concentration. *American Journal of Enology and Viticulture*. 50(2): 194-198.
- Hatch, T.A., Hickey, C.C., Wolf, T.K. 2011. Cover crop, rootstock, and root restriction regulate vegetative growth of cabernet sauvignon in a humid environment. *American Journal of Enology and Viticulture*. 62(3): 298-311.
- Haverkamp, R., Ross, P.J., Smettem, K.R.J., Parlange, J.Y. 1994. Three-dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer: 2. Physically based infiltration equation. *Water Resources Research*. 30(11): 2931-2935.
- Hepner, Y., Bravdo, B., Loinger, C., Cohen, S., Tabacman, H. 1985. Effect of Irrigation and Crop Level on Growth , Yield and Wine Quality of Cabernet Sauvignon. *American Journal of Enology and Viticulture*. 36(1): 77-85.
- Hermle, S., Anken, T., Leifeld, J., Weisskopf, P. 2008. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. *Soil and Tillage Research*. 98(1): 94-105.

- Hickey, C.C., Hatch, T.A., Stallings, J., Wolf, T.K. 2016. Under-Trellis Cover Crop and Rootstock Affect Growth, Yield Components, and Fruit Composition of Cabernet Sauvignon. *American Journal of Enology and Viticulture*. 67(3): 281-295.
- Hidalgo, J., 2006. La calidad del vino desde el viñedo. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Hidalgo, L., Hidalgo, J. 2011. Tratado de Viticultura I. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Ibáñez, S. 2013. Gestión del suelo en viñedo mediante cubiertas vegetales. Influencia sobre el control del rendimiento y del vigor. Aspectos ecofisiológicos, nutricionales, microclimáticos y de calidad del mosto y del vino. Tesis doctoral. Universidad de La Rioja. Logroño, España.
- Ibáñez, S., Peregrina, F., García-Escudero, E. 2009. Respuesta de *Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo, a sistemas de mantenimiento del suelo a través de cubierta vegetal en el ámbito de la D.O.Ca. Rioja. VI Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas. Actas de Horticultura. Logroño, España. 54:938-943.
- Ibáñez, S., Pérez, J.L., González, L., García-Escudero, E., Peregrina, F., García-Escudero, E. 2011. Utilización de cubiertas vegetales en viñedos de D.O.Ca. Rioja (España). *Le Bulletin de l'OIV*. 84: 347-360.
- Ingels, C.A. 1998. Grower Practices, en: Ingels, C.A., Lyman-Bugg, R., McGourthy, G.T., Christensen, P. (Eds.), *Cover Cropping in Vineyards: A Grower's Handbook*. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Oakland, E.E.U.U. pp. 138-150.
- Ingels, C.A., Scow, K.M., Whisson, D.A., Drenovsky, R.E. 2005. Effects of cover crops on grapevines, yield, juice composition, soil microbial ecology, and gopher activity. *American Journal of Enology and Viticulture*. 56(1): 19-29.
- Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. 2007. Evaluation of grapevine water status from trunk diameter variations. *Irrigation Science*. 26(1): 49-59.
- Intrigliolo, D.S., Pérez, D., Risco, D., Yeves, A., Castel, J.R. 2012. Yield components and grape composition responses to seasonal water deficits in Tempranillo grapevines. *Irrigation Science*. 30(5): 339-349.
- Jackson, D.I., Lombard, P.B. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality-a review. *American journal of Enology and Viticulture*. 44(4): 409-430.
- Jiménez, L. 2005. Respuesta del viñedo mantenido mediante suelos enyerbados de *Festuca longifolia* nana (Aurora Gold) frente a suelos desnudos mediante laboreo. Trabajo fin de carrera. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Jiménez, L., Junquera, P., Linares, R., Lissarrague, J.R. 2007. Mantenimiento del suelo mediante *Festuca longifolia* nana, Aurora Gold, como alternativa al manejo del suelo mediante laboreo convencional. *Viticultura Enología Profesional*. 111: 5-18.

- Jirků, V., Kodešová, R., Nikodem, A., Mühlhanslová, M., Žigová, A. 2013. Temporal variability of structure and hydraulic properties of topsoil of three soil types. *Geoderma*. 204-205: 43-58.
- Jordan, L.M., Bjoerkman, T., Vanden Heuvel, J.E. 2016. Annual under-vine cover crops did not impact vine growth or fruit composition of mature cool-climate «Riesling» grapevines. *Horttechnology*. 26(1): 36-45.
- Kalmár, T., Bottlik, L., Kisic, L., Gyuricza, C., Birkas, M. 2013. Soil protecting effect of the surface cover in extreme summer periods. *Plant, Soil and Environment*. 59(9): 404-409.
- Kargas, G., Kerkides, P., Poulouvassilis, A. 2012. Infiltration of rain water in semi-arid areas under three land surface treatments. *Soil and Tillage Research*. 120: 15-24.
- Karl, A., Merwin, I.A., Brown, M.G., Hervieux, R.A., Vanden Heuvel, J.E. 2016. Impact of undervine management on vine growth, yield, fruit composition, and wine sensory analyses in Cabernet franc. *American Journal of Enology and Viticulture*. 67(3): 269-280.
- Keller, M., Arnink, K.J., Hrazdina, G. 1998. Interaction of nitrogen availability during bloom and light intensity during veraison. I. Effects on grapevine growth, fruit development, and ripening. *American Journal of Enology and Viticulture*. 49(3): 333-340.
- Kelly, B., Allan, C., Wilson, B.P. 2009. Soil indicators and their use by farmers in the Billabong Catchment, southern New South Wales. *Australian Journal of Soil Research*. 47(2): 234-242.
- Kennedy, J. 2002. Understanding grape berry development. *Practical Winery and Vineyard*. 4: 1-5.
- King, A.P., Berry, A.M. 2005. Vineyard $\delta^{15}\text{N}$, nitrogen and water status in perennial clover and bunch grass cover crop systems of California's central valley. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 109(3-4): 262-272.
- Kliever, W.M., Freeman, B.M., Hossom, C. 1983. Effect of irrigation crop level and potassium fertilization on Carignane vines. I. Degree of water stresses and effect on growth and yield. *American Journal of Enology and Viticulture*. 34(3): 186-196.
- Kliever, W.M. 1977. Influence of temperature, solar radiation and nitrogen on coloration and composition of emperor grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*. 28(2): 96-103.
- Kliever, W.M., Lider, L.A. 1970. Effects of day temperature and light intensity on growth and composition of *Vitis vinifera* L. Fruits. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 95(6): 766-769.
- Kliever, W.M., Weaver, R.J. 1971. Effect of crop level and leaf area on growth, composition, and coloration of 'Tokay' grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*. 22(3): 172-177.

- Klik, A., Rosner, J., Loiskandl, W. 1998. Effects of temporary and permanent soil cover on grape yield and soil chemical and physical properties. *Journal of Soil and Water Conservation*. 53(3): 249-253.
- Koundouras, S., Marinos, V., Gkoulioti, A., Kotseridis, Y., Van Leeuwen, C. 2006. Influence of vineyard location and vine water status on fruit maturation of nonirrigated cv. Agiorgitiko (*Vitis vinifera* L.). Effects on wine phenolic and aroma components. *Journal of agricultural and food chemistry*. 54(14): 5077-5086.
- Koundouras, S., Leeuwen, C. V, Seguin, G., Glories, Y. 1999. Influence de l'alimentation en eau sur la croissance de la vigne, la maturation des raisins et les caractéristique des vines en zone méditerranéene (exemple de Némee, Grèce, cépage Saint-Georges, 1997). *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*. 33(4): 149-160.
- Lalatta, F., 1992. Fertilización de árboles frutales. Ediciones CEAC. Barcelona, España.
- Lampinen, B.D., Shackel, K.A., Southwick, S.M., Olson, W.H. 2001. Deficit irrigation strategies using midday stem water potential in prune. *Irrigation Science*. 20(2): 47-54.
- Lanzarini, J.L., Juan-Mangione, J. 2009. La cultura de la vid y el vino: La vitivinicultura hace escuela, 1.a ed. Fondo vitivinícola de Mendoza. Mendoza, Argentina.
- Larreina, M., Larreina, M. 2006. Rioja alavesa: el gran vino del País Vasco. Diputación Foral de Álava. Departamento de Agricultura. Vitoria-Gasteiz, España.
- Lebon, G., Wojnarowicz, G., Holzapfel, B., Fontaine, F., Vaillant-Gaveau, N., Clément, C. 2008. Sugars and flowering in the grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Experimental Botany* 59(10): 2565-2578.
- Lee, J., Steenwerth, K.L. 2011. Rootstock and vineyard floor management influence on «Cabernet Sauvignon» grape yeast assimilable nitrogen (YAN). *Food Chemistry*. 127(3): 926-933.
- Leibar, U., Pascual, I., Morales, F., Aizpurua, A., Unamunzaga, O. 2017. Grape yield and quality responses to simulated year 2100 expected climatic conditions under different soil textures. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 97(8): 2633-2640.
- Leonard, J., Andrieux, P. 1998. Infiltration characteristics of soils in Mediterranean vineyards in southern France. *Catena*. 32(3-4): 209-223.
- Linares, R. 2009. Estudio del Empleo de Cubiertas Vegetales Temporales Para la Regulación del Régimen Hídrico, Crecimiento y Manejo Sostenible del Viñedo. Tesis doctoral. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Lipecki, J., Berbeć, S. 1997. Soil management in perennial crops: Orchards and hop gardens. *Soil and Tillage Research*. 43(1-2): 169-184.

- Lissarrague, J.R. 1986. Estudio de los efectos del riego en la producción, desarrollo vegetativo, calidad del mosto y nutrición mineral en la vid. Tesis doctoral. E.T.S.I.A Madrid. Madrid, España.
- Lissarrague, J.R. 2005. Las cubiertas vegetales como alternativa de mantenimiento de suelo en el viñedo. Su papel en el control del vigor y de la producción. Jornada Técnica APROVI «El control del vigor y del rendimiento en el marco de una viticultura de calidad». CIDA-Logroño. Logroño, España.
- Lombard, P., Wilson, W., Watson, B. 1988. Grass cover crops in vineyards. Proceedings of the Second International Symposium for Cool Climate Viticulture and Enology. New Zealand Society for Viticulture and Enology. Auckland, Nueva Zelanda. pp. 152-155.
- Lopes, C., Monteiro, A., Rückert, F.E., Gruber, B., Steinberg, B., Schultz, H.R. 2004. Transpiration of grapevines and co-habiting cover crop and weed species in a vineyard. A «snapshot» at diurnal trends. *Vitis*. 43(3): 111-117.
- Lopes, C.M., Monteiro, A., Machado, J.P., Fernandes, N., Araujo, A. 2008. Cover cropping in a sloping non-irrigated vineyard: II - Effects on vegetative growth, yield, berry and wine quality of «Cabernet Sauvignon» grapevines. *Ciência E Técnica Vitivinícola*. 23(1): 37-43.
- Lopes, C.M., Santos, T.P., Monteiro, A., Rodrigues, M.L., Costa, J.M., Chaves, M.M. 2011. Combining cover cropping with deficit irrigation in a Mediterranean low vigor vineyard. *Scientia Horticulturae*. 129(4): 603-612.
- López-Bermúdez, F., Romero-Díaz, A., Martínez-Fernández, J. 1998. Vegetation and soil erosion under a semi-arid Mediterranean climate: a case study from Murcia (Spain). *Geomorphology*. 24(1): 51-58.
- Maigre, D., Aerny, J., 2001. Enherbement permanent et fumure azotée sur cv. Gamay dans le Valais central. 1. Resultats agronomiques. *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture*. 33(3): 145-152.
- Maigre, D., Aerny, J., Murisier, F. 1995. Entretien des sols viticoles et qualité des vins de Chasselas: influence de l'enherbement permanent et de la fumure azotée. *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture*. 27(4): 237-251.
- Main, G., Morris, J., Striegler, K. 2002. Rootstock effects on chardonnay productivity, fruit, and wine composition. *American Journal of Enology and Viticulture*. 53(1): 37-40.
- Marqués, M.J., Bienes, R., Cuadrado, J., Ruiz-Colmenero, M., Barbero-Sierra, C., Velasco, A. 2015. Analysing perceptions attitudes and responses of winegrowers about sustainable land management in central Spain. *Land Degradation and Development*. 26(5): 458-467.
- Márquez, F., Rodríguez-Lizana, A., Giráldez, J.V., Espejo-Pérez, A.J. 2006. Evolución de la humedad del suelo en parcelas de olivar. *Vida Rural*. 236: 30-33.

- Martínez-Casasnovas, J.A., Ramos, M.C., Ribes-Dasi, M. 2005. On-site effects of concentrated flow erosion in vineyard fields: Some economic implications. *Catena*. 60(2): 129-146.
- Martínez-Casasnovas, J.A., Sánchez-Bosch, I. 2000. Impact assessment of changes in land use/conservation practices on soil erosion in the Penedès–Anoia vineyard region (NE Spain). *Soil and Tillage Research*. 57(11-2): 101-106.
- Martínez-Lüscher, J., Morales, F., Delrot, S., Sánchez-Díaz, M., Gomès, E., Aguirreolea, J., Pascual, I. 2015. Characterization of the adaptive response of grapevine (cv. Tempranillo) to UV-B radiation under water deficit conditions. *Plant Science*. 232: 13-22.
- Martínez de Toda, F. 2011. Claves de la viticultura de calidad, 2.a ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Matthews, M.A., Anderson, M.M. 1989. Reproductive development in grape (*Vitis vinifera* L.): responses to seasonal water deficits. *American Journal of Enology and Viticulture*. 40(1): 19-25.
- Matthews, M.A., Anderson, M.M., Schultz, H.R. 1987. Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in 'Cabernet franc'. *Vitis*. 26: 147-160.
- Mattschoss, R. 1995. Restricted spring growth: understanding the cause and managing the problem. *Australian Grapegrower and Winemaker*. 378A: 59-62.
- May, P. 2000. From bud to berry, with special reference to inflorescence and bunch morphology in *Vitis vinifera* L. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 6(2): 82-98.
- McCarthy, M.G. 1997. Effect of timing of water deficit on fruit development and composition of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. Tesis doctoral. University of Adelaide. Department of Horticulture, Viticulture and Oenology. Adelaide, Australia.
- McCarthy, M.G., Dry, P.R., Hayes, P.F., Davidson, D.M. 1992. Soil management and frost control, en: Coombe, B.G., Dry, P.R. (Eds.), *Viticulture*. Underdale. Adelaide, Australia. pp. 148-177.
- McCutchan, H., Shackel, K.A. 1992. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 117(4): 607-611.
- McGourty, B.G., Reganold, J. 2005. Managing vineyard soil organic matter with cover crops. *Proceedings of the Soil Environment and Vine Mineral Nutrition Symposium*. American Society for Enology and Viticulture. Davis, California.
- McGourty, G. 2004. Cover cropping systems for organically farmed vineyards. *Practical Winery and Vineyard Magazine*. 4:22pp.
- McGourty, G. 2008. Choosing cover crops. *Vineyard and Winery Management*. Septiembre 2008. 71-75.

- Medrano, H., Escalona, J.M., Cifre, J., Bota, J., Flexas, J. 2003. -year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Functional Plant Biology*. 30(6): 607-619.
- Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Escalona, J.-M., Pou, A., Fuentes, S., Flexas, J., Bota, J. 2014. Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 35: 499-517.
- Mercenaro, L., Nieddu, G., Pulina, P., Porqueddu, C. 2014. Sustainable management of an intercropped Mediterranean vineyard. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 192: 95-104.
- Messing, I., Jarvis, N.J. 1993. Temporal variation in the hydraulic conductivity of a tilled clay soil as measured by tension infiltrometers. *Journal of Soil Science*. 44(1): 11-24.
- Miller, J.J., Sweetland, N.J. 1998. Unsaturated hydraulic conductivity of conventional and conservation tillage soils in southern Alberta. *Canadian Journal of Soil Science*. 78(4): 643-648.
- Ministerio de Agricultura y Pesca Alimentación y Medio Ambiente. 2017. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivo 2016. Madrid, España.
- Monteiro, A., Lopes, C.M. 2007. Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 121(4): 336-342.
- Montgomery, D.R. 2007. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 104(33): 13268-13272.
- Monzón, J.P., Sadras, V.O., Andrade, F.H. 2006. Fallow soil evaporation and water storage as affected by stubble in sub-humid (Argentina) and semi-arid (Australia) environments. *Field crops research*. 98(2-3): 83-90.
- Moreno, F., Pelegrín, F., Fernández, J.E., Murillo, J.M. 1997. Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain. *Soil and Tillage Research*. 41(1-2): 25-42.
- Moreno, M.T., Cifre, J., Pou, A., Tomás, M., Cretazzo, E., Riera, D., Medrano, H., Gulias, J. 2007. The use of cover crops on *Vitis vinifera* L. cv. Manto Negro under mediterranean conditions: effects. XV Simposio Internacional GESCO. Porec, Croacia.
- Morlat, R., Jacquet, A. 2003. Grapevine root system and soil characteristics in a vineyard maintained long-term with or without interrow sward. *American Journal of Enology and Viticulture*. 54(1): 1-7.
- Morlat, R., Jacquet, A., Asselin, C. 1993. Principaux effets de l'enherbement contrôlé du sol, dans un essai de longue durée en Anjou. *Le Progrès Agricole et Viticole*. 19: 406-410.

- Mpelasoka, B.S., Schachtman, D.P., Treeby, M.T., Thomas, M.R. 2003. A review of potassium nutrition in grapevines with special emphasis on berry accumulation. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 9: 154-168.
- Muscas, E., Cocco, A., Mercenaro, L., Cabras, M., Lentini, A., Porqueddu, C., Nieddu, G. 2017. Effects of vineyard floor cover crops on grapevine vigor, yield, and fruit quality, and the development of the vine mealybug under a Mediterranean climate. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 237: 203-212.
- Myburgh, P.A. 2003. Responses of *Vitis vinifera* L. cv. Sultanina to water deficits during various pre- and post-harvest phases under semi-arid conditions. *South African Journal of Enology and Viticulture*. 24(1): 25-33.
- Naor, A., Bravdo, B., Hepner, Y. 1993. Effect of post-veraison irrigation level on Sauvignon blanc yield, juice quality and water relations. *South African Journal of Enology and Viticulture* 14(2): 19-25.
- Naor, A., Peres, M. 2001. Pressure-increase rate affects the accuracy of stem water potential measurements in deciduous fruit trees using the pressure-chamber technique. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 76(6): 661-663.
- Napoli, M., Orlandini, S. 2015. Evaluating the Arc-SWAT2009 in predicting runoff, sediment, and nutrient yields from a vineyard and an olive orchard in Central Italy. *Agricultural Water Management*. 153: 51-62.
- Nazrala, J.J.B. 2008. Influence of the management of the soil and covers in the canopy microclimate of vine, grape and wine composition. *Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Cuyo, Uruguay*. 40(1): 85-104.
- Novara, A., Gristina, L., Saladino, S.S., Santoro, A., Cerdá, A. 2011. Soil erosion assessment on tillage and alternative soil managements in a Sicilian vineyard. *Soil and Tillage Research*. 117: 140-147.
- Ojeda, H. 2006. Modelo para el control del estado hídrico del viñedo en función del tipo de vino buscado. XIX Congreso Mundial de la Viña y el Vino. Logroño, España.
- 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* 53(4): 261-267.
- Ojeda, H., Deloire, A., Carbonneau, A. 2001. Influence of water deficits on grape berry growth. *Vitis*. 40(3): 141-145.
- Ollat, N., Diakou-Verdin, P., Carde, J.P., Barrieu, F., Gaudillere, J.P., Moing, A. 2002. Grape berry development: A review. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*. 36(3): 109-131.

- Olmstead, M.A. 2006. Cover crops as a floor management strategy for Pacific Northwest vineyards. College of College of Agriculture, Human, and Natural Resource Sciences. Washington State University. Pullman, E.E.U.U.
- Olmstead, M.A., Wample, R.L., Greene, S.L., Tarara, J.M. 2001. Evaluation of potential cover crops for inland Pacific Northwest vineyards. *American journal of Enology and Viticulture*. 52(4): 292-303.
- Oñate, J.J., Peco, B. 2005. Policy impact on desertification: stakeholders' perceptions in southeast Spain. *Land Use Policy*. 22(2): 103-114.
- Organization Internationale de la Vigne et du Vin (OIV). 2016. Aspectos de la coyuntura mundial.
- Padgett-Johnson, M., Williams, L.E., Walker, M.A. 2000. The influence of *Vitis riparia* rootstock on water relations and gas exchange of *Vitis vinifera* cv. Carignane scion under non-irrigated conditions. *American Journal of Enology and Viticulture*. 51(2): 137-143.
- Papadakis, J. 1966. *Climates of the world and their agricultural potentialities*. Papadakis, J.(Ed.). Buenos Aires, Argentina.
- Pellegrino, A., Goz , E., Lebon, E., Wery, J., Goze, E., Lebon, E., Wery, J. 2006. A model-based diagnosis tool to evaluate the water stress experienced by grapevine in field sites. *European Journal of Agronomy*. 25(1): 49-59.
- Peña-Neira, A., Dueñas, M., Duarte, A., Hernández, T., Estrella, I., Loyola, E. 2004. Effects of ripening stages and of plant vegetative vigor on the phenolic composition of grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet Sauvignon in the Maipo Valley (Chile). *Vitis*. 43(2): 51-57.
- Pérez- lvarez, E.P. 2015. Influencia del uso de cubiertas vegetales sobre la fertilidad del suelo, la expresión vegetativa de la vid y la composición de la uva y del vino en un viñedo de Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) de la D.O.Ca Rioja. Tesis doctoral. Universidad de La Rioja. Logroño, España.
- Pérez- lvarez, E.P., Garde-Cerdán, T., Santamaría, P., García-Escudero, E., Peregrina, F. 2015. Influence of two different cover crops on soil N availability, N nutritional status, and grape yeast-assimilable N (YAN) in a cv. Tempranillo vineyard. *Plant and Soil*. 390(1-2): 143-156.
- Pirie, A.J.G. 1977. *Phenolics accumulation in red wine grapes (Vitis vinifera L.)*. Tesis doctoral. University of Sidney. Sidney, Australia.
- Poni, S., Lakso, A.N. 1994. Interactions of crop level and late season water stress on growth and physiology of field-grown Concord grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 45(2): 252-258.
- Poni, S., Lakso, A.N., Turner, J.R., Melious, R.E. 1993. The effects of pre-and post-veraison water stress on growth and physiology of potted Pinot Noir grapevines at varying crop levels. *Vitis*. 32: 207-214.

- Possner, D.R.E., Kliewer, W.M. 1985. The localisation of acids, sugars, potassium and calcium in developing grape berries. *Vitis*. 24: 229-240.
- Pou, A., Gulías, J., Moreno, M., Tomás, M., Medrano, H., Cifre, J. 2011. Cover cropping in *Vitis vinifera* L. cv. Manto Negro vineyards under Mediterranean conditions: Effects on plant vigour, yield and grape quality. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*. 45(4): 223-234.
- Pratt, C., Coombe, B.G. 1978. Shoot growth and anthesis in *Vitis*. *Vitis*. 17: 125-133.
- Prosdocimi, M., Cerda, A., Tarolli, P. 2016. Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review. *Catena*. 141: 1-21.
- Provedo, J., 1981. Influencia de la producción en la calidad del vino de Rioja. *Anales INIA*.
- Raclot, D., Le Bissonnais, Y., Louchart, X., Andrieux, P., Moussa, R., Voltz, M. 2009. Soil tillage and scale effects on erosion from fields to catchment in a Mediterranean vineyard area. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 134(3-4): 201-210.
- Ramos, M.C., Martínez-Casasnovas, J.A. 2004. Nutrient losses from a vineyard soil in Northeastern Spain caused by an extraordinary rainfall event. *Catena*. 55(1): 79-90.
- Ramos, M.C., Martínez-Casasnovas, J.A. 2006. Erosion rates and nutrient losses affected by composted cattle manure application in vineyard soils of NE Spain. *Catena*. 68(2-3): 177-185.
- Ramos, M.C., Martínez-Casasnovas, J.A. 2007. Soil loss and soil water content affected by land levelling in Penedes vineyards, NE Spain. *Catena*. 71(2): 210-217.
- Ramos, M.C., Porta, J. 1997. Analysis of design criteria for vineyard terraces in the Mediterranean area of North East Spain. *Soil Technology*. 10(2): 155-166.
- Reeve, A.L., Skinkis, P.A., Vance, A.J., Lee, J., Tarara, J.M. 2016. Vineyard floor management influences 'Pinot noir' vine growth and productivity more than cluster thinning. *HortScience*. 51(10): 1233-1244.
- Reynier, A. 2012. *Manual de Viticultura*. 11a Edición. Ediciones Omega. Barcelona, España.
- Ripoche, A., Metay, A.A.A., Celette, F., Gary, C. 2011. Changing the soil surface management in vineyards: immediate and delayed effects on the growth and yield of grapevine. *Plant and Soil*. 339(1-2): 259-271.
- Robinson, D.A., Phillips, C.P. 2001. Crust development in relation to vegetation and agricultural practice on erosion susceptible, dispersive clay soils from central and southern Italy. *Soil and Tillage Research*. 60(1-2): 1-9.
- Robinson, J. 2010. Critical Plant Tissue Values and Application of Nutritional Standards for Practical Use in Vineyards, en: *Soil Environment and Vine Mineral Nutrition Symposium*. P. Christensen and D.R. Smart (Eds.). pp. 61-68.

- Robinson, S., Davies, C., Simon P. Robinson, C.D. 2000. Molecular biology of grape berry ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 6: 175-188.
- Roby, G., Harbertson, J.F., Adams, D.A., Matthews, M.A. 2004. Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanins and tannins. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 10(2): 100-107.
- Romeyer, F.M., Macheix, J.J., Goiffon, J.J., Reminiac, C.C., Sapis, J.C. 1983. Browning capacity of grapes. 3. Changes and importance of hydroxycinnamic acid-tartaric acid esters during development and maturation of the fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 31(2): 346-349.
- Ruffner, H.P. 1982. Metabolism of tartaric and malic acids in vitis: A review-part B. *Vitis*. 21: 346-358.
- Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R., Marques, M.J. 2011. Soil and water conservation dilemmas associated with the use of green cover in steep vineyards. *Soil and Tillage Research*. 117: 211-223.
- Sagüés, A., Aguirrezábal, F., Cibriain, F., Suberviola, J., Oria, I. 2008. Cubiertas vegetales en viña. Reuniones del Grupo de Trabajo de Experimentación en Viticultura y Enología - 23a Reunión. Olite, España.
- Salazar, D., Melgarejo, P. 2005. Viticultura. Técnicas de cultivo de la vid, calidad de la uva y atributos de los vinos. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Santesteban, L.G., 2003. Evaluación del efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento, la fertilidad y la producción de la vid (*Vitis vinifera* L.) cv. «Tempranillo». Universidad Pública de Navarra. Pamplona/Iruña, España.
- Santesteban, L.G., Royo, J.B. 2006. Water status, leaf area and fruit load influence on berry weight and sugar accumulation of cv. 'Tempranillo' under semiarid conditions. *Scientia Horticulturae*. 109(1): 60-65.
- Scholander, P.F., Bradstreet, E.D., Hemmingsen, E.A., Hammel, H.T. 1965. Sap Pressure in Vascular Plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science*. 148: 339-346.
- Scholefield, P.B., Nealesb, T.F. 1978. Carbon Balance of the Sultana Vine (*Vitis vinifera* L.) and the Effects of Autumn Defoliation by Harvest-pruning. *Australian Journal of Plant Physiology*. 5: 561-570.
- Scholefield, P.B., Ward, R.C. 1975. Scanning electron microscopy of the developmental stages of the sultana inflorescence. *Vitis*. 14: 14-19.

- Sibille, I., Ojeda, H., Prieto, J., Maldonado, S., Lacapere, J.N., Carbonneau, A. 2007. Relation between the values of three pressure chamber modalities (midday leaf, midday stem and predawn water potential) of 4 grapevine cultivars in drought situation of the southern of France. Applications for the irrigation control. Conference of Groupe d'Etude des Systèmes de Conduite de la Vigne (GESCO).
- Sicher, L., Dorigoni, A., Stringari, G. 1995. Soil management effects on nutritional status and grapevine performance. *Acta Horticulturae*. 383: 73-82.
- Sims, J.T. 1986. Soil pH Effects on the distribution and plant availability of manganese, copper, and zinc. *Soil Science Society of America Journal*. 50(2): 367-373.
- Smart, D.R., Schwass, E., Lakso, A., Morano, L. 2006. Grapevine rooting patterns: A comprehensive analysis and a review. *American Journal of Enology and Viticulture*. 57(1): 89-104.
- Smart, R.E. 1974. Aspects of Water Relations of Grapevine (*Vitis vinifera* L.). *American Journal of Enology and Viticulture*. 25(2): 84-91.
- Smith, J., Holzapfel, B. 2002. How do rootstocks control scion vigour and yield in grapevine?. *Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker*. 5: 29-33.
- Smith, R., Bettiga, L., Cahn, M., Baumgartner, K., Jackson, L.E., Bensen, T. 2008. Vineyard floor management affects soil, plant nutrition, and grape yield and quality. *California Agriculture*. 62(4): 184-190.
- Soane, B.D., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., Roger-Estrade, J. 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research* 118: 66-87.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12.^a ed, Change. USDA-Natural Resources Conservation Service. Washington, DC, E.E.U.U.
- Somers, T.C. 1977. A connection between potassium levels in the harvest and relative quality in Australian red wines. *Australian Wine, Brewing and Spirit Review*. 24: 32-34.
- Song, J., Smart, R., Wang, H., Dambergs, B., Sparrow, A., Qian, M.C. 2015. Effect of grape bunch sunlight exposure and UV radiation on phenolics and volatile composition of *Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir wine. *Food Chemistry*. 173: 424-431.
- Spayd, S.E., Tarara, J.M., Mee, D.L., Ferguson, J.C. 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *American Journal of Enology and Viticulture*. 53(3): 171-182.
- Spring, J.L., Delabays, N. 2006. Essai d'enherbement de la vigne avec des espèces peu concurrentielles : aspects agronomiques. *Revue suisse de viticulture, arboriculture, horticulture*. 38(6): 355-359.

- Srinivasan, C., Mullins, M.G. 1976. Reproductive anatomy of the grapevine (*Vitis vinifera* L.): origin and development of the anlage and its derivatives. *Annals of Botany*. 40(5): 1079-1084.
- Staudt, G., Schneider, W., Leidel, J. 1986. Phases of berry growth in *Vitis vinifera*. *Annals of Botany*. 58: 789-800.
- Steenwerth, K., Belina, K.M. 2008. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. *Applied Soil Ecology*. 40(2): 359-369.
- Steenwerth, K., Guerra, B. 2012. Influence of floor management technique on grapevine growth, disease pressure, and juice and wine composition: A review. *American Journal of Enology and Viticulture*. 63(2): 149-164.
- Stern, R.A., Meron, M., Naor, A., Wallach, R., Bravdo, B., Gazit, S. 1998. Effect of fall irrigation level in Mauritius and Floridian Lychee on soil and plant water status, flowering intensity and yield. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 123(1): 150-155.
- Sun, Q., Sacks, G., Lerch, S., Vanden, J.E. 2011. Impact of shoot thinning and harvest date on yield components, fruit composition, and wine quality of Marechal Foch. *American Journal of Enology and Viticulture*. 62(1) 32-41.
- Suwardji, P., Eberbach, P.L. 1998. Seasonal changes of physical properties of an Oxic Paleustalf (Red Kandosol) after 16 years of direct drilling or conventional cultivation. *Soil and Tillage Research*. 49(1-2): 65-77.
- Swanepoel, J.J., Archer, E. 1988. The ontogeny and development of *Vitis vinifera* L. cv. Chenin blanc inflorescence in relation to phenological stages. *Vitis*. 27: 133-141.
- Sweet, R.M., Schreiner, R.P. 2010. Alleyway cover crops have little influence on Pinot noir grapevines (*Vitis vinifera* L.) in two western Oregon vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2(2): 240-252.
- Takeda, K., Fischer, D., Grisebach, H. 1988. Anthocyanin composition of *Sinapis alba*, light induction of enzymes and biosynthesis. *Phytochemistry*. 27(5): 1351-1353.
- Tarolli, P. 2014. High-resolution topography for understanding Earth surface processes: Opportunities and challenges. *Geomorphology*. 216: 295-312.
- Tejada, M., Benitez, C. 2014. Effects of crushed maize straw residues on soil biological properties and soil restoration. *Land Degradation and Development*. 25(5): 501-509.
- Tesic, D., Keller, M., Hutton, R.J. 2007. Influence of vineyard floor management practices on grapevine vegetative growth, yield, and fruit composition. *American Journal of Enology and Viticulture*. 58(1): 1-11.

-
- Tisseyre, B., Ojeda, H., Carillo, N., Deis, L., Heywang, M. 2005. Precision viticulture and water status, mapping the pre-dawn water potential to define within vineyard zones. Proceedings of 14th GESCO Congress. Geisenheim, Germany.
- Trigo-Córdoba, E., Bouzas-Cid, Y., Orriols-Fernández, I., Díaz-Losada, E., Mirás-Avalos, J.M. 2015. Influence of cover crop treatments on the performance of a vineyard in a humid region. Spanish Journal of Agricultural Research. 13(4).
- Ubalde, J.M., Sort, X., Poch, R.M., Porta, M. 2007. Influence of edapho-climatic factors on grape quality in Conca de Barberá Vineyards (Catalonia, Spain). Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin. 41(1): 33-41.
- Uliarte, E.M., del Monte, R.F., Parera, C.A., Catania, C.D., Avagnina, M.S. 2009. Influencia del manejo de suelo mediante coberturas vegetales establecidas en el desarrollo vegetativo, la producción y las características de vinos en viñedos bajo riego superficial (cv. Malbec). Boletín de la OIV. 82: 227-938.
- Unamunzaga, O., Besga, G., Castellón, A., Usón, M.A., Chéry, P., Gallejones, P., Aizpurua, A. 2014. Spatial and vertical analysis of soil properties in a Mediterranean vineyard soil. Soil Use and Management. 30(2): 285-296.
- Unger, P.W., Cassel, D.K. 1991a. Tillage implement disturbance effects on soil properties related to soil and water conservation: a literature review. Soil and Tillage Research. 19(4): 363-382.
- Unger, P.W., Stewart, B.A., Parr, J.F., Singh, R.P., 1991b. Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. Soil and Tillage Research. 20: 219-240.
- Van Huyssteen, L., Weber, H.W. 1980. The effect of selected minimum and conventional tillage practices in vineyard cultivation on vine performance. South African Journal for Enology and Viticulture. 1(2): 77-83.
- Van Huyssteen, L. 1988. Grapevine root growth in response to soil tillage and root pruning practices. South Africa Department of agriculture and water supply. The grapevine root and its environment. Institute of Stellenbosch. Stellenbosch, South Africa.
- Van Leeuwen, C., Choné, X., Trégoat, O., Gaudillère, J.P. 2001. The use of physiological indicators to assess vine water uptake and to manage vineyard irrigation. The Australian Grapegrower and Winemaker. 779: 18-24.
- Van Leeuwen, C., Friant, P., Chone, X., Tregoat, O., Koundouras, S., Dubourdieu, D. 2004. Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. American Journal of Enology and Viticulture. 55 (3): 207-217.
- Van Leeuwen, C., Seguin, G., 1994. Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* variété Cabernet franc, Saint-Émilion, 1990). Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin. 28: 81-110.
-

- Van Leeuwen, C., Tregoat, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D., Gaudillere, J.P. 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes?. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*. 43(3): 121-134.
- Van Zyl, J.L. 1984. Response of colombar grapevies to irrigation as regards quality aspects and growth. *South African Journal for Enology and Viticulture*. 5(1): 19-28.
- Vasconcelos, M., Greven, M., Winefield, C.S., Trought, M.C.T., Raw, V. 2009. The flowering process of *Vitis vinifera*: A review. *American Journal of Enology and Viticulture*. 60: 411-434.
- Verheijen, F.G.A., Jones, R.J.A., Rickson, R.J., Smith, C.J. 2009. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science Reviews*. 94(1-4): 23-38.
- Verstraeten, G., Poesen, J., Govers, G., Gillijns, K., Van Rompaey, A., Van Oost, K. 2003. Integrating science, policy and farmers to reduce soil loss and sediment delivery in Flanders, Belgium. *Environmental Science and Policy*. 6(1): 95-103.
- Wample, R.L., 1999. Irrigation management for high quality wine grape production. Considerations for western Oregon. *Proceedings of the Oregon Horticultural Society*. 90:139-148.
- Warrick, A.W. 1992. Models for disc infiltrometers. *Water Resources Research*. 28(5): 1319-1327.
- Watt, A.M., Dunn, G.M., May, P.B., Crawford, S.A., Barlow, E.W.R. 2008. Development of inflorescence primordia in *Vitis vinifera* L. cv. Chardonnay from hot and cool climates. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 14: 46-53.
- Wheaton, A.D., McKenzie, B.M., Tisdall, J.M. 2008. Management to increase the depth of soft soil improves soil conditions and grapevine performance in an irrigated vineyard. *Soil and Tillage Research*. 98(1): 68-80.
- Wheeler, S.J., Black, A.S., Pickering, G.J. 2005. Vineyard floor management improves wine quality in highly vigorous *Vitis vinifera* «Cabernet Sauvignon» in New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 33(3): 317-328.
- Willey, R.W. 1990. Resource use in intercropping systems. *Agricultural Water Management*. 17(1-3): 215-231.
- Williams, L.E. 2000. Grapevine water relations. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 16: 121-126.
- Williams, L.E., Araujo, F.J. 2002. Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 127(3): 448-454.

- Williams, L.E., Baeza, P. 2007. Relationships among ambient temperature and vapor pressure deficit and leaf and stem water potentials of fully irrigated, field-grown grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 58(2): 173-181.
- Williams, L.E., Matthews, M.A. 1990. Grapevine, en: Kozlowski, T.T. (Ed.), *Irrigation of Agricultural Crops*. Academic Press, London, pp. 1019-1055.
- Winkel, T., Rambal, S. 1993. Influence of water stress on grapevines growing in the field: from leaf to whole-plant response. *Australian Journal of Plant Physiology*. 20: 143-157.
- Wolpert, J.A., Phillips, P.P., Striegler, R.K., McKenry, M. V, Foott, J.H. 1993. Berber orchardgrass tested as cover crop in commercial vineyard. *California Agriculture*. 47(5): 23-25.
- Wood, J.C., Wood, M.K., Tromble, J.M. 1987. Important factors influencing water infiltration and sediment production on arid lands in New-Mexico. *Journal of arid environments*. 12(2): 111-118.
- Xi, Z.M., Zhang, Z.W., Cheng, Y.F., Li, H. 2010. The effect of vineyard cover crop on main monomeric phenols of grape berry and wine in *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. *Agricultural Sciences in China*. 9(3): 440-448.
- Yakushiji, H., Morinaga, K., Nonami, H., 1998. Sugar accumulation and partitioning in satsuma mandarin tree tissues and fruit in response to drought stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 123(4): 719-726.
- Yuste, J., Rubio, J., Baeza, P., Lissarrague, J. 1997. Aclareo de racimos y régimen hídrico: efectos en la producción, el desarrollo vegetativo y la calidad del mosto de la variedad 'Tempranillo' conducida en vaso. *Viticultura Enología Profesional*. 51: 28-35.
- Zahavi, T., Reuveni, M., Scheglov, D., Lavee, S. 2001. Effect of grapevine training systems on development of powdery mildew. *European Journal of Plant Pathology* 107(5): 495-501.
- Zhang, G., Chan, K.Y., Li, G.D., Huang, G. 2011. The effects of stubble retention and tillage practices on surface soil structure and hydraulic conductivity of a loess soil. *Acta Ecologica Sinica*. 31(6): 298-302.
- Zhang, R. 1997. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal*. 61(4): 1024-1030.