

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA, RESPUESTA  
PRODUCTIVA Y COMPOSICIÓN DE LA  
UVA EN VIÑEDOS DE LA VARIEDAD TANNAT (*VITIS  
VINÍFERA* L.) CONDUCIDOS EN  
LIRA Y ESPALDERA, EN EL SUR DE URUGUAY**

**por**

**Álvaro Andrés MONTAÑA CHARLE**

**TESIS presentada como uno  
de los requisitos para  
obtener el título de *Magister*  
en Ciencias Agrarias opción  
Ciencias Vegetales**

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
Octubre, 2013**

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Ing. Agr. Msc. Luis Viega, Ing. Agr. PhD. Gustavo González-Neves, Ing. Agr. PhD. Hernán Ojeda e Ing. Agr. PhD. Milka Ferrer, el 10 de octubre de 2013. Autor: Ing. Agr. Álvaro Montaña. Directora: Ing. Agr. PhD. Milka Ferrer.

*Dedico este trabajo a mi Familia*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi agradecimiento a las siguientes personas sin cuya ayuda hubiera sido imposible la elaboración de esta tesis:

- A Milka Ferrer, Directora de esta tesis que ha demostrado en todo momento su apoyo y entusiasmo, así como por las orientaciones y correcciones en la redacción de esta tesis.
- A Luis Viega y Gustavo González, por su ayuda y colaboración en todo momento, desde la toma de datos en campo hasta la elaboración del documento final.
- A Nicolás Glison, por su ayuda en la toma de datos de campo, por sus observaciones y buenos consejos.
- A todos mis compañeros de la Unidad de Sistemas Ambientales, y en especial a Juan Pablo, Carolina por su cercanía y su importante aporte en la fase final de este trabajo.
- A Valentín, Clara, Beatriz y Guillermo, por acercarse tan oportunamente.
- Al Departamento de Producción Vegetal y a la Unidad de Sistemas Ambientales: por haberme puesto a disposición todos los medios posibles.

## TABLA DE CONTENIDO

|  | Página |
|--|--------|
| PÁGINA DE APROBACIÓN.....  | II     |
| AGRADECIMIENTOS .....  | IV     |
| RESUMEN .....  | VIII   |
| SUMMARY .....  | IX     |
| 1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....   | 1      |
| 1.1. LA ARQUITECTURA DE LA VID, ASPECTOS GENERALES .....   | 2      |
| 1.2. SUPERFICIE FOLIAR TOTAL.....  | 3      |
| 1.3. SUPERFICIE FOLIAR EXTERNA .....   | 4      |
| 1.4. SUPERFICIE FOLIAR EXPUESTA POTENCIAL .....  | 4      |
| 1.5. DENSIDAD DE LA CANOPIA.....   | 5      |
| 1.6. POSICIÓN DE LOS RACIMOS .....   | 6      |
| 1.7. COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO.....   | 6      |
| 1.7.1. <u>Respuesta de la vid a la luz y eficiencia</u><br><u>fotosintética de las arquitecturas de planta</u> ..... | 6      |
| 1.7.2. <u>Influencia de la temperatura en la actividad</u><br><u>fotosintética</u> .....                             | 8      |
| 1.7.3. <u>Influencia de la arquitectura sobre el estado hídrico de</u><br><u>la planta</u> .....                     | 8      |
| 1.8. RESPUESTA AGRONÓMICA .....  | 9      |
| 1.8.1. <u>Rendimiento y sus componentes</u> .....  | 9      |
| 1.8.2. <u>Desarrollo vegetativo</u> .....  | 10     |
| 1.8.3. <u>Producción y partición de la Materia Seca</u> .....  | 11     |
| 1.9. EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA.....  | 11     |
| 1.10. INFLUENCIA DE LA ARQUITECTURAS SOBRE EL<br>MICROCLIMA DE LA PLANTA .....                                       | 12     |
| 1.10.1. <u>Microclima lumínico</u> .....   | 13     |
| 1.10.2. <u>Microclima térmico</u> .....  | 14     |
| 1.11. INFLUENCIA DE LA ARQUITECTURA DE PLANTA EN EL  |        |

|   |    |
|---|----|
| MICROCLIMA DE LOS RACIMOS.....  | 15 |
| 1.11.1. <u>Microclima lumínico de los racimos</u> .....   | 15 |
| 1.11.2. <u>Microclima térmico de los racimos</u> .....  | 16 |
| 1.12. COMPOSICIÓN DE LAS BAYAS.....   | 18 |
| 1.12.1. <u>Contenido de azúcares</u> .....  | 18 |
| 1.12.2. <u>Acidez y pH</u> .....  | 19 |
| 1.12.3. <u>Antocianos</u> .....   | 21 |
| 2. <u>LA ARQUITECTURA DE LA PLANTA MODIFICA LA EFICIENCIA</u><br><u>EN EL USO DEL AGUA Y LA PARTICIÓN DE ASIMILADOS EN VITIS</u><br><u>VINÍFERA L. (CV. TANNAT)</u> ..... | 23 |
| 2.1. RESUMEN.....   | 23 |
| 2.2. SUMMARY .....  | 24 |
| 2.3. INTRODUCCIÓN .....   | 25 |
| 2.4. MATERIALES Y MÉTODOS .....   | 26 |
| 2.4.1. <u>Condiciones del ensayo</u> .....  | 26 |
| 2.4.2. <u>Caracterización geométrica de la canopia</u> .....  | 27 |
| 2.4.3. <u>Determinaciones fisiológicas</u> .....  | 27 |
| 2.4.4. <u>Estimación del contenido de agua en el suelo</u> .....  | 28 |
| 2.4.5. <u>Determinación del estado hídrico de las plantas</u> .....   | 28 |
| 2.4.6. <u>Eficiencia en el uso del agua (EUA)</u> .....   | 28 |
| 2.4.7. <u>Caracterización del microclima de la canopia</u> .....  | 29 |
| 2.4.8. <u>Producción de uva y Materia Seca</u> .....  | 29 |
| 2.4.9. <u>Expresión vegetativa</u> .....  | 29 |
| 2.4.10. <u>Análisis de la composición de las bayas</u> .....  | 29 |
| 2.4.11. <u>Análisis estadístico</u> .....   | 30 |
| 2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....  | 30 |
| 2.5.1 <u>Geometría de la canopia</u> .....  | 30 |
| 2.5.2 <u>Potencial hídrico foliar, fotosíntesis y transpiración</u> .....   | 32 |
| 2.5.3 <u>Respuesta vegeto - productiva</u> .....  | 34 |
| 2.5.4 <u>Eficiencia en el uso del agua</u> .....  | 35 |
| 2.5.5. <u>Composición de la uva</u> .....   | 39 |

|  |    |
|--|----|
| 2.6. CONCLUSIONES. ....  | 40 |
| 2.7. BIBLIOGRAFÍA .....  | 41 |
| 3. <u>MODIFICACIONES MICROCLIMÁTICAS INDUCIDAS POR LA</u><br><u>ARQUITECTURA LIRA Y ESPALDERA Y SUS EFECTOS SOBRE</u><br><u>LA COMPOSICIÓN Y SANIDAD DE LAS BAYAS.</u> ..... | 46 |
| 3.1. RESUMEN.....  | 46 |
| 3.2. SUMMARY .....   | 47 |
| 3.3. INTRODUCCIÓN. ....  | 48 |
| 3.4. MATERIALES Y MÉTODOS. ....  | 50 |
| 3.4.1. <u>Condiciones del ensayo</u> .....   | 50 |
| 3.4.2. <u>Características mesoclimáticas de la zona de ensayo</u> .....  | 50 |
| 3.4.3. <u>Determinación de la posición de los racimos en la</u><br><u>canopia</u> .....  | 51 |
| 3.4.4. <u>Determinaciones microclimáticas</u> .....  | 51 |
| 3.4.5. <u>Análisis de los indicadores de respuesta fisiológica</u> .....   | 52 |
| 3.4.6. <u>Análisis de la composición de las bayas</u> .....  | 52 |
| 3.4.7. <u>Análisis estadístico</u> .....   | 53 |
| 3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....   | 53 |
| 3.5.1. <u>Descripción de las canopias y posición de los racimos</u> .....  | 53 |
| 3.5.2. <u>Condiciones microclimáticas</u> .....  | 55 |
| 3.5.3. <u>Análisis de los indicadores de respuesta fisiológica</u> .....   | 59 |
| 3.5.4. <u>Composición de las bayas</u> .....   | 61 |
| 3.5.5. <u>Sanidad de los racimos</u> .....   | 64 |
| 3.6. CONCLUSIONES. ....  | 65 |
| 3.7. BIBLIOGRAFÍA .....  | 66 |
| 4. <u>DISCUSIÓN GENERAL</u> .....  | 74 |
| 5. <u>BIBLIOGRAFÍA GENERAL</u> .....   | 76 |

## RESUMEN

La arquitectura de la planta, entre otros, es un importante factor en el crecimiento y desarrollo de las vides, ya que modifica la intercepción de la radiación y el estado hídrico de la planta. El objetivo de esta Tesis fue evaluar el comportamiento fisiológico y agronómico cv. Tannat (*Vitis vinífera* L.), en dos arquitecturas de la planta, lira y espaldera. Ambas arquitecturas se evaluaron en situación de cultivo comercial en la temporada 2007-2008 en la zona sur de Uruguay. Se realizó una caracterización geométrica de la canopia y un estudio ecofisiológico, donde se determinaron aquellos principales indicadores que definen la arquitectura de la planta. La espaldera, a escala de hoja, presentó una mayor Eficiencia en el Uso del agua (EUA), definida como  $FN/Eh$  (Fotosíntesis Neta/Transpiración), explicado por una mayor FN en comparación con la lira. Por otra parte, cuando se expresaron los resultados a escala de planta (EUApI), el consumo potencial de agua por planta alcanza 17,52 y 10,15  $mmoles H_2O \cdot pl^{-1} \cdot s^{-1}$ ; y la asimilación neta potencial alcanza 74,4 y 24,97  $\mu moles CO^2 \cdot pl^{-1} \cdot s^{-1}$  (lira y espaldera, respectivamente). A partir de estos valores, y la proporción de hojas expuestas de las plantas, la arquitectura en lira mostró una mayor EUApI ( $4,24 \mu moles CO^2 \cdot pl^{-1} \cdot s^{-1} / mmol H_2O \cdot pl^{-1} \cdot s^{-1}$ ) con respecto a la espaldera ( $2,46 \mu moles CO^2 \cdot pl^{-1} \cdot s^{-1} / mmol H_2O \cdot pl^{-1} \cdot s^{-1}$ ). En la lira, la mayor concentración de azúcares por baya, y mayor producción de azúcares por planta, fue determinada por una partición de asimilados hacia los racimos mayor (75,2%) con respecto a la espaldera (52,5%). La EUA productiva en todo el ciclo de crecimiento evaluada como  $g_{azúcares} \cdot pl^{-1} / Kg H_2O \cdot pl^{-1}$  fue 57% mayor en la lira. La arquitectura de planta con canopia dividida aumentó la proporción de hojas y racimos expuestos, lo que mejoró el comportamiento productivo de las plantas. La EUA dependió de la escala de evaluación, siendo más eficiente la lira cuando fue evaluada como planta entera. Las plantas conducidas en espaldera, mostraron un rendimiento en uva y concentración de azúcares inferiores a los de la lira. El ensayo mostró a la lira como la arquitectura que mejor se adaptó a las condiciones meteorológicas de la temporada 2007-2008 del sur de Uruguay.

**Palabras claves:** Sistema de conducción, Fotosíntesis, Transpiración, EUA, Composición de la uva.

# WATER USE EFFICIENCY, PRODUCTIVE PERFORMANCE AND BERRY COMPOSITION IN TANNAT VINEYARDS (*VITIS VINÍFERA* L.) VERTICAL TRELLIS AND LYRE TRAINED, IN THE SOUTH OF URUGUAY

## SUMMARY

Plant architecture, among others, is an important factor in vine performance, inducing different physiological effects by modifying solar radiation interception and plant water status. The aim of this Thesis was to evaluate both physiological and agronomic performance in Tannat (*Vitis vinífera* L.) trained in lyre and vertical trellis. The evaluation was performed in commercial conditions in season 2007-2008 in the south of Uruguay. A canopy geometric characterization and an eco-physiological study were performed, where principal plant architecture parameters were determinate. Vertical trellis, at leaf scale, shown grate water use efficiency (WUE), defined as NP/T (Net Photosynthesis/Transpiration), due to a grater NP than those the lyre. Moreover, to plan scale (WUEpl), the water consumption reached 17.52 y 10.15  $mmoles H_2O.pl^{-1}.s^{-1}$ ; and potential net assimilation 74.4 y 24.97  $\mu moles CO_2.pl^{-1}.s^{-1}$  (lyre and vertical trellis respectively). There was also a relative decrease of FN (47%) and Eh (51%) in the lyre respect to the vertical trellis. From these values and exposed leaves proportion, lyre architecture shown a greater EUApl ( $4.24 \mu moles CO_2.pl^{-1}.s^{-1}/mmol H_2O.pl^{-1}.s^{-1}$ ) than vertical trellis ( $2.46 \mu moles CO_2.pl^{-1}.s^{-1}/mmol H_2O.pl^{-1}.s^{-1}$ ). In lyre plants, the higher sugars concentration per berry, and the higher production of sugars per plant, was determined by a favored partition of assimilates towards clusters (75.2%) respect to vertical trellis (52.5%). Productive WUE in the growing season ( $g_{sugars}.pl^{-1}/ Kg H_2O.pl^{-1}$ ) was 57% grater in lyre plants. Lyre architecture increased the proportion of exposed leaves and clusters and thus productive plant performance. Plant architecture produced a significant modification on vegetative-productive balance and berry composition. WUE depended on both plant architecture and evaluation scale, and lyre showed a higher WUE at plant scale. Vertical trellis plants reached lower yields and sugars concentrations than lyre plants. This study showed the lyre plant architecture as the better adapted for the meteorological conditions of 2007-2008 season.

**Key words:** Trellis system, Photosynthesis, Transpiration, WUE, Berry composition.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La disponibilidad de agua es el principal factor limitante de la producción agrícola y ganadera en diferentes ambientes. Limitación que, ante las previsiones de Cambio Climático Global realizadas por organismos internacionales, serán mucho mayores en los próximos años. En este sentido, uno de los temas claves a considerar es la eficiencia con la que las plantas usan el agua, pero sin perder de vista el hecho de que las previsiones de Cambio Climático Global no son extrapolables a cualquier región. Por ello es importante definir de la manera más precisa posible el escenario de estudio.

Para la zona sur del Uruguay con suelos en su mayoría profundos y con alta capacidad de retener agua útil para las plantas, y si se tiene en cuenta además que las previsiones de Cambio Climático para esta región del continente sudamericano, son de aumento en el total de precipitaciones anuales, deberían tomarse diferentes alternativas en el estudio de la eficiencia en el uso del agua.

La viticultura en Uruguay ocupa 7909 hectáreas, de las cuales 80% se ubica en la zona sur del país, la que presenta una extensa trayectoria vitivinícola.

La composición de las uvas –para una región dada- depende de muchos factores, entre los que conviene destacar a la alimentación hídrica de la planta como unos de los principales componentes diferenciadores del *terroir* y al microclima de los racimos. La arquitectura de la planta, es un importante factor en el crecimiento y desarrollo de las vides, ya que modifica las características de la cobertura vegetal y por tanto la intercepción de la radiación y el estado hídrico de la planta, lo que induce respuestas fisiológicas diferenciales.

En el marco del Proyecto: *Estrategias de Reconversión del Sector Vitivinícola Uruguayo*, el objetivo de esta Tesis ha sido evaluar el comportamiento fisiológico y agronómico cv. Tannat (*Vitis vinífera* L.), en dos arquitecturas de la planta, lira y espaldera que representan el 92% de los sistemas de conducción de los viñedos del país. Ambas arquitecturas evaluadas en situación de cultivo comercial y para las condiciones meteorológicas de la temporada 2007-2008 en la zona sur de Uruguay.

## 1.1. LA ARQUITECTURA DE LA VID, ASPECTOS GENERALES

Huglin (1986) interpreta que el término "sistema de conducción" en el sentido que le da Carbonneau (1980), representa una síntesis de dos grupos de operaciones vitícolas:

- a) aquellas que constituyen lo que normalmente se llama modo de conducción y que comprenden la altura de tronco, el tipo de poda, el nivel de carga en yemas, el posicionamiento de los sarmientos, que será responsable de la arquitectura de la cubierta vegetal, las diversas operaciones en verde que son correctoras del equilibrio entre la parte vegetativa y la parte productiva (roñado, deshojado, raleo de racimos);
- b) la densidad y disposición de las cepas en la plantación, así como la orientación de las filas.

Smart y Robinson (1991), reportan que a partir de 1980, ha habido un importante incremento en la toma de conciencia, acerca de la importancia que puede tener la conducción de la canopia sobre el rendimiento y la composición de las uvas.

Varios trabajos han demostrado que la forma de la vegetación tiene una marcada influencia sobre la regulación del agua en la planta como también sobre la maduración de la uva. Esta influencia se ejerce a través de la capacidad de la superficie foliar de interceptar y transmitir la radiación solar, lo que repercute fundamentalmente sobre su potencial fotosintético, y el estado hídrico de las plantas (Carbonneau y Cargnello 2003, Katerji *et al.*, 1994).

Según el sistema de conducción es posible aumentar la superficie foliar expuesta a la radiación solar directa en más de un 50 % en las arquitecturas con canopia dividida, lo que a su vez permite una mayor producción de uva sin efectos negativos sobre la calidad (Katerji *et al.*, 1994), el aumento de la superficie foliar por la arquitectura en lira tiene como consecuencia una mayor intercepción de la radiación, y es el factor que explicaría un aumento de la producción sin una disminución de la calidad enológica. Esta afirmación es comprobada por los trabajos de investigación iniciados por Carbonneau (1980) que comparó sistemas en liras abiertas con sistemas planos y demostró que los primeros, aumentando la superficie foliar sin provocar

superposición del follaje, dan mejores resultados productivos. Resultados similares fueron reportados por otros autores como Ferrer *et al.* (2008), Ferrer (2007), Smart y Robinson (1991), en diferentes condiciones de cultivo.

La arquitectura de planta determina, en unas condiciones dadas, el modo de aprovechamiento de los recursos del medio, tanto aéreos, a través de la distinta geometría del canopia (luz, CO<sub>2</sub>, temperatura, etc.), como edáficos, condicionado por la densidad y marco de plantación (agua y nutrientes).

La cubierta vegetal o canopia actúa de dos maneras diferentes sobre la fisiología de la planta y del cultivo:

a) Por un lado, la distribución y cantidad de las hojas (sistema de captadores de energía) interacciona con la radiación solar (la fuente energética), para determinar la cantidad de energía disponible para la fotosíntesis (Smart, 1973).

b) Por otro lado, la importancia de la cubierta vegetal no se limita al papel de captador de la energía solar, sino que según su geometría, va a influir de distinta manera modificando las características climáticas que le rodean (evapotranspiración, temperatura, humedad relativa en el interior de la canopia, etc.) y creando un microclima a nivel de hojas y racimos que va a repercutir en la fisiología de la planta y calidad de la cosecha.

## **1.2. SUPERFICIE FOLIAR TOTAL**

Watson (1947) aplicó el concepto del área foliar para medir el potencial productivo de los cultivos en el campo y definió el índice de área foliar (IAF) como el área de la hoja verde por unidad de área del suelo.

La superficie foliar constituye el captador de la energía solar que transforma la energía luminosa en energía química. El rendimiento fotosintético es pequeño, pues sólo alrededor del 1 % de la energía luminosa se transforma en energía química. Este rendimiento depende de la fotosíntesis y de la cantidad de superficie foliar iluminada (Smart y Robinson 1991, Champagnol 1984).

La superficie foliar total de una parcela de vid es de 2 a 6 veces superior a la superficie del suelo (López-Lozano *et al.*, 2009) y el rendimiento fotosintético de una parcela, aumenta con el índice foliar, pero a partir de un cierto nivel, el solapamiento del follaje limita la cantidad de hojas que reciben una iluminación directa (Smart y Robinson, 1991). No sería, por tanto, un buen índice del comportamiento del sistema de conducción.

### **1.3. SUPERFICIE FOLIAR EXTERNA**

La intercepción de radiación solar por la canopia depende mayoritariamente de la Superficie Foliar Externa (SA), es decir, de la cantidad de  $m^2$  de superficie foliar externa (Champagnol, 1984).

La SA representa en un caso ideal, la mayor parte de la fotosíntesis global de la vegetación del viñedo en ausencia de factores limitantes de orden térmico, hídrico, mineral o de cualquier otro estrés biótico o abiótico (Carbonneau *et al.*, 1991); es por lo tanto, un buen estimador de la potencialidad de una arquitectura de planta (Huglin, 1986).

Carbonneau (2010), Carbonneau y Cargnello (2003) muestran que los sistemas de conducción con arquitecturas tradicionales tienen alrededor de  $8000 m^2 \cdot ha^{-1}$ , mientras que sistemas con canopias divididas permiten alcanzar SA incluso superiores a los  $10000 m^2 \cdot ha^{-1}$ .

La ventaja de usar la SA está en que puede estimarse con relativa sencillez, cualquiera que sea la arquitectura de la parte aérea de la planta y permite establecer comparaciones entre sistemas de conducción.

### **1.4. SUPERFICIE FOLIAR EXPUESTA POTENCIAL**

Carbonneau (1995) introduce un nuevo concepto de superficie foliar externa que es el denominado Superficie Foliar Expuesta potencial (SFEP), tomando como base un modelo para estimar la intercepción de la radiación solar por la viña, desarrollado por Riou *et al.* (1989). Este concepto combina las nociones de intercepción de

radiación global incidente, pérdida de parte de esta radiación y sobre todo, de eficacia de respuesta fisiológica de las hojas (fotosíntesis) en el rango de iluminación útil. En el caso de la viña, el cálculo de la superficie foliar expuesta útil para diversos sistemas de conducción no tiene en cuenta más que las zonas de la superficie foliar externa directamente iluminadas, teniendo que deducir aquellas áreas sombreadas parcialmente y las zonas que no reciben iluminación suficiente a lo largo de todo el día; si sólo es una parte del día serán penalizadas con un coeficiente. Los valores determinados por Ferrer (2007) a nivel nacional dieron valores promedio de SFEp de 8000 y 5000 m<sup>2</sup>/há para liras y espalderas respectivamente.

## **1.5. DENSIDAD DE LA CANOPIA**

La competencia simplemente física entre las hojas por la energía solar, explica, en gran parte, el aumento hasta un cierto límite asintótico de la fotosíntesis de la planta con el IAF (Carbonneau *et al.*, 1992), debido a que si se continúa aumentando la superficie foliar sin aumentar la SA aumentará el sombreadamiento en el interior de la canopia (Smart y Robinson 1991).

La relación entre el área foliar (IAF) y la superficie expuesta (SA) denominado IAF/SA, es un índice útil del grado de sombreadamiento de la canopia (Bravetti *et al.* 2012, Smart *et al.* 1985a). Otra relación útil que evalúa la densidad de la canopia, dada por Smart (1985) es el número de capas de hojas de la canopia (LLN), normalmente medidas de cara a cara, en canopias verticales. Se vio que estos índices estuvieron mejor correlacionados con el análisis del mosto y vino que la superficie expuesta o el volumen de la cepa (Smart *et al.*, 1985b).

Fernández *et al.* (1976) recomiendan para las condiciones de Uruguay, 4-5 capas de hojas para canopias verticales, dos a cada lado de la espaldera y entre 2-3 en el caso de un parral.

Smart *et al.* (1985a) sostiene que la canopia ideal tiene valores de 3 capas de hojas y  $IAF/SA = 1.5$ ; aunque añade que éstos requieren ser confirmados experimentalmente para una gran gama de climas y cultivares. Las canopias más

densas tendrán una proporción indeseable de hojas a la sombra. Las canopias menos densas que el ideal propuesto, serán ineficientes al interceptar la radiación.

## **1.6. POSICIÓN DE LOS RACIMOS**

La posición que ocupan los racimos en la canopia tiene una especial importancia pues ello va a condicionar el metabolismo de las bayas y en consecuencia su composición. También tiene importancia en relación con la fertilidad de las yemas, pues en la zona de racimos es donde se sitúan los órganos de renovación y están, por tanto, sometidos al mismo microclima. Asimismo, también es de capital importancia de cara al desarrollo de enfermedades a hongos; así, aquellos sistemas bajos con los racimos cerca del suelo y porte descendente de la vegetación tendrán condiciones más favorables para el desarrollo de enfermedades fúngicas (Smart y Robinson, 1991).

La posición de los racimos puede medirse haciendo referencia a la distancia en la que se encuentran con respecto al suelo o bien dando el reparto del porcentaje de racimos que se encuentran al exterior e interior, mediante la técnica del *Point Quadrat* (Smart *et al.*, 1985a).

## **1.7. COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO**

La fotosíntesis es el eje central de la fisiología de la planta. De forma directa o indirecta las características del medio, el diseño de la plantación y las técnicas de cultivo van a repercutir en la tasa fotosintética de la planta y por tanto en el comportamiento vegetativo y reproductor de la vid del año en curso y siguientes.

### **1.7.1. Respuesta de la vid a la radiación y eficiencia fotosintética de las arquitecturas de planta**

Según Castillo y Castellvi (2001), entre el 25-30% de la energía absorbida es devuelta como radiaciones infrarrojas y cerca del 70-75% es utilizada para la

transpiración o dispersado por convección. La fotosíntesis sólo emplea una mínima parte, esto es, un 1-2%.

Smart (1985) estima que entre un 81 % y 89% de la fotosíntesis global de la planta, según el sistema de conducción, se debe a las hojas exteriores.

Las curvas de respuesta fotosintética a la luz presentan una primera fase en la que el rendimiento del flujo de fotones va aumentando de forma rápida, a continuación comienza la fase de saturación, caracterizada porque la pendiente de la curva se hace menor, o lo que es lo mismo, el rendimiento del flujo de fotones va disminuyendo, hasta llegar a una fase de meseta o asintótica en la que un aumento del flujo de fotones fotosintéticos (PPF) no se corresponde prácticamente con un aumento de la fotosíntesis, es el punto de saturación lumínica (Champagnol, 1984).

Smart (1985) para la variedad Gewurztraminer, da un punto de compensación de  $15-20 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  y de saturación de  $700 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  obtenidos poco antes de vendimia a una temperatura entre  $15-25^{\circ}\text{C}$ . El punto de compensación está alrededor del 1-2% de la radiación solar fotosintéticamente activa si consideramos que la radiación PAR en un día completamente despejado de verano y en nuestras condiciones puede alcanzar los  $2000 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Casi todo lo expuesto anteriormente, se refiere al comportamiento a nivel de hoja individual, pero la fotosíntesis de una hoja no refleja el comportamiento de todas las hojas la canopia de la planta, debido a la diferente respuesta de éstas según su edad y posición.

Dada la escasa participación que tienen las hojas del interior la canopia en la fotosíntesis total de la planta, interesa particularmente estimar la fotosíntesis por cepa como el producto de la fotosíntesis media de las hojas exteriores por la superficie foliar externa de la cepa. Aquellos sistemas de conducción que desarrollen una gran superficie externa que esté bien iluminada tendrán una mayor tasa fotosintética global (Zufferey *et al.*, 2000).

Orlandini *et al.* (2008) muestran la relación existente entre el área foliar expuesta y la fotosíntesis bruta media por planta en el Cabernet Sauvignon según diversos sistemas de conducción. Se observa que las relaciones aumentan linealmente cuando

el área foliar expuesta varía desde valores bajos a valores más altos, aunque no máximos.

Carbonneau (1980), señala que de todos los sistemas estudiados, la lira “V” es el que produce más azúcares por cepa así como un mejor rendimiento fotosintético.

En algunas canopias densas, la cantidad de luz que llega a las hojas del interior no supera el punto de compensación, estas hojas son parásitas, sin embargo, estas hojas interiores pueden recibir luz de forma intermitente, gracias al viento (Smart y Robinson, 1991).

Según Orlandini *et al.* (2008), Smart y Robinson (1991), se puede decir que a mayor superficie externa de la cepa y menor solapamiento de la vegetación, mayor tasa de fotosíntesis por m<sup>2</sup> de suelo y que cuanto mejor estén expuestas las hojas a la radiación directa, mayor será el rendimiento del flujo de fotones ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} / \text{PPDF}$ ).

### **1.7.2. Influencia de la temperatura en la actividad fotosintética**

La temperatura de la hoja ejerce una acción sobre la fotosíntesis a nivel del cloroplasto y a nivel del estoma (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Entre 10-25°C existe un efecto estimulante muy claro. Al contrario de lo que sucede con la radiación global, donde la saturación aparece muy rápido, la temperatura afecta positivamente a la fotosíntesis en una gran amplitud (Zufferey *et al.*, 2000).

Más allá del intervalo óptimo, la temperatura posee un efecto depresivo sobre la fotosíntesis por inhibición progresiva de la actividad enzimática, lo que es muy marcado a partir de los 30°C (Carbonneau *et al.*, 1992).

Greer y Weedon (2012) reportaron que la tasa fotosintéticas promedio para la variedad Semillon, medidas *in situ* disminuyeron con el aumento de la temperatura, donde fueron inhibidas un 60% a 45°C comparadas con las de una temperatura de 25°C.

### **1.7.3. Influencia de la arquitectura sobre el estado hídrico de la planta**

La disponibilidad hídrica es un factor limitante de la actividad fotosintética de las hojas, incluso más que las altas temperaturas. Está generalmente admitido que la

máxima asimilación de CO<sub>2</sub> se produce en ausencia de estrés hídrico. Kriedemann y Smart (1971) muestran sin embargo, que la actividad fotosintética de las variedades Syrah y Sultanina se mantiene cerca del máximo en tanto el potencial hídrico no descienda por debajo de -1,0 MPa, a valores inferiores a este nivel, la fotosíntesis desciende bruscamente.

Diversos estudios sugieren que el sistema de conducción puede afectar al estado hídrico de la planta.

Los coeficientes de cultivo (*kc*) son función del tamaño de la canopia de las viñas y de cuanto de ella está expuesta a la radiación directa del sol. La relación entre el tamaño de la canopia y grado de exposición con el consumo de agua de las vides ha sido extensamente estudiada por Williams y Biscay (2001). Su investigación ha mostrado que los coeficientes de cultivo para la vid pueden ser estimados para un viñedo, estimando el porcentaje de suelo sombreado del viñedo.

Carbonneau (1980) estudia la evapotranspiración real estacional de diez sistemas de conducción en el área de Burdeos. La media de diez años de experiencia muestra que los sistemas anchos, semiabiertos como la lira, registraron los máximos valores y los menores valores a los sistemas sometidos a despunte (*Re* y *Ro*) así como los monoplanos.

Lakso y Pool (2005) muestran que los sistemas con canopia dividida tienen mayor necesidad de agua que los sistemas simples, porque la evapotranspiración real está en función de la transpiración foliar según Escalona *et al.* (2003), y de la superficie foliar total de la cepa según Ferrer *et al.* (2008), Ferrer (2007).

## **1.8. RESPUESTA AGRONÓMICA**

### **1.8.1. Rendimiento y sus componentes**

Dado que se requiere una adecuada exposición lumínica en la zona de fructificación del interior de los árboles, los diseños de éstos que maximizan la exposición en el interior de la canopia, generalmente, tienen mayor eficiencia de conversión de la energía luminosa en cosecha que aquellos con canopias que producen un gran sombreado en su interior (Arreola-Dávila *et al.*, 2006).

Ferrer *et al.* (2008) reportan que la arquitectura en lira registró rendimientos por planta significativamente superiores a los de la espaldera. Los porcentajes de aumento del rendimiento para la lira varían entre el 36,4 % y el 66,3 % en comparación a los rendimientos de la espaldera, cifras comparables a las comunicadas por Zufferey *et al.* (2000). Aumentos de los rendimientos entre el 80 % y 90 % de la lira frente a la espaldera son reportados en Orlandini *et al.* (2008).

En todos los casos, esas diferencias fueron explicadas por un aumento significativo del número de racimos por planta en la lira, debido a la mayor inducción dada por una mayor iluminación de la zona de producción, tal como se muestra en Smart y Robinson (1991).

### **1.8.2. Desarrollo vegetativo**

La evaluación del desarrollo vegetativo se determina a través del peso de la madera de poda y del agostamiento, principalmente.

Diversos ensayos, ponen de manifiesto la influencia del sistema de conducción en el crecimiento y desarrollo vegetativo a través de la cantidad de superficie foliar que desarrollan (Orlandini *et al.* 2008, Ferrer 2007, Schultz 1995, Smart y Robinson 1991), microclima térmico y luminoso alrededor de la propia planta (Carbonneau *et al.* 2000, Smart *et al.* 1985a), sentido del crecimiento de los pámpanos (Morris y Main 2010, Carbonneau y Cargnello 2003, Champagnol, 1984).

Smart *et al.* (1985a) no obtuvieron diferencias significativas en el peso de madera de poda ni en el peso medio del sarmiento entre distintos sistemas de conducción, pero sí observaron diferencias de vigor entre tratamientos que se manifestaron en el número de nudos en el principal y en feminelas por pámpano. En relación al agostamiento el sistema en espaldera fue el que tuvo mayor número de nudos agostados en el envero y el tratamiento opuesto fue el "shade", el más sombreado, resultado que concuerda con Schneider *et al.* (1989).

Ferrer *et al.* (2008), Orlandini *et al.* (2008), reportaron que el mayor vigor de las plantas conducidas en espaldera explicaban el mayor peso individual y total de los sarmientos, frente a los de las plantas conducidas en lira.

### **1.8.3. Producción y partición de la Materia Seca**

La cantidad de materia seca que es capaz de producir un sistema de conducción es, una medida de la eficacia fotosintética y de la eficacia en la intercepción de la energía solar (Schultz, 1995). Sin embargo, tan importante o más es el reparto de esta materia seca en la planta entre la parte vegetativa y productiva.

Williams y Biscay (2001) estudiaron la evolución de la materia seca a lo largo del ciclo vegetativo en el cv. Chenin blanc con una densidad de 1680 cepas.ha<sup>-1</sup> y obtuvieron un reparto de la materia seca de la parte aérea al momento de vendimia de 55% en racimos, 27% en hojas y 18% en sarmientos. Datos similares fueron reportados por Ferrer (2007) para la variedad Merlot.

Orlandini *et al.*, (2008), comunica que plantas con arquitectura en lira tuvieron una partición de Materia Seca mayor hacia los racimos, el relación a la espaldera.

## **1.9. EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA**

En el proceso de intercambio de gases, en el que las plantas incorporan a su biomasa carbono de la atmósfera también tiene lugar una pérdida de vapor de agua desde la planta a la atmósfera. Así, la eficiencia en el uso del agua (EUA) de las plantas puede entenderse de manera genérica como el volumen de agua que éstas necesitan consumir (transpirar) para incorporar a su biomasa una determinada cantidad de carbono proveniente de la atmósfera. De esta manera, la eficiencia en el uso del agua de las plantas dependerá principalmente de dos tipos de factores: en primer lugar, de aquellas características propias de la especie y variedad que tengan relación con la capacidad de optimización de los procesos de asimilación de carbono y de evapotranspiración de agua; y en segundo lugar, de las características del ambiente en el que crece y se desarrolla la planta (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Por otra parte, la eficiencia en el uso del agua también dependerá de la escala a la que se considere, pues la eficiencia en el uso del agua puede ser considerada a escala de cultivo o de ecosistema, a escala de planta entera y a escala de hoja. Además del nivel de organización considerado, la escala temporal, esto es el período de tiempo

que se considera en la medida de la EUA, añade complejidad tanto a la medida como a la interpretación fisiológica y ecológica de este indicador (Tarara *et al.*, 2005).

La EUA de los cultivos y ecosistemas tan sólo puede ser estimada de una manera aproximada, pues en condiciones de campo resulta muy difícil conocer con exactitud la cantidad de agua que realmente han consumido las plantas y su crecimiento en biomasa acumulada. Así, habitualmente, el consumo de agua se estima a partir de datos indirectos de precipitación (ingreso de agua) y el volumen de agua perdido por escurrimiento, percolación o evaporación directa del suelo y que en ningún caso ha sido consumida por las plantas (Medrano *et al.*, 2007).

Por otra parte, otro factor determinante a la hora de medir o estimar la EUA de cultivos y ecosistemas es la forma de medir o estimar la producción de biomasa y, en el caso de los cultivos, qué se considera producción: la biomasa total producida o la parte del cultivo que es cosechada. En cualquier caso, la producción de biomasa radicular habitualmente se ignora por razones metodológicas, siendo en el mejor de los casos estimada (Medrano *et al.*, 2007).

La medida de la eficiencia en el uso del agua a escala foliar tiene un enorme valor experimental. Uno de los principales motivos es la posibilidad de representar un indicador de medida relativamente sencilla que pueda ser representativo de la EUA a escala de planta entera (Flexas *et al.*, 2010). Desde este punto de vista, se han desarrollado principalmente dos técnicas para su medida: el intercambio de gases, técnica que generalmente integra un período de tiempo breve o muy breve, y el análisis de la discriminación isotópica del carbono, que integra un período de tiempo mucho mayor (Poni *et al.*, 2009).

## **1.10. INFLUENCIA DE LA ARQUITECTURA SOBRE EL MICROCLIMA DE LA PLANTA**

Las características macro y mesoclimáticas nos dan un abanico de condiciones para el cultivo de la vid y mediante la elección del sistema de conducción apropiado, se pretende optimizar las condiciones impuestas por el medio. Por ello, la elección del sistema de conducción es tanto más crítica cuanto más limitante sea la energía

solar disponible y los imperativos de calidad de la uva sean más elevados (Huglin, 1986).

### **1.10.1. Microclima lumínico**

Las plantas son capaces de absorber, reflejar y transmitir la luz que incide sobre su superficie. Las hojas absorben la porción de radiación solar comprendida entre 400-700nm, denominada radiación fotosintéticamente activa (PAR), cuyas unidades son  $\mu\text{mol}$  de fotones.  $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  o  $\mu\text{Einstein}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (Champagnol, 1984).

Las medidas realizadas por Smart (1985) en Australia con la variedad Syrah, mostraron que las hojas de vid transmitían un 4 %, reflejaban el 6% y absorbían el 90% de la radiación fotosintéticamente activa. De esta forma, una hoja que intercepte el máximo de PPF en un día despejado ( $2500 \mu\text{E}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) transmitirá  $100 \mu\text{E}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a la hoja directamente detrás de ella y la tercera hoja recibirá sólo  $4 \mu\text{E}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , por debajo del punto de compensación de la luz para la fotosíntesis (Mabrouk *et al.* 1997, Champagnol 1984).

La capa más externa de hojas es la principal responsable de la fotosíntesis de la planta (Smart *et al.*, 1985a) y responsable en un 70% de la total, cuando la planta ha desarrollado completamente su canopia, el 30% restante corre a cargo de hojas expuestas a la luz difusa u hojas del interior que reciben ráfagas de sol (Smart *et al.* 1985a, Champagnol 1984).

El sistema de conducción determina la distribución y orientación del follaje del canopia externo e interno y por tanto la cantidad y calidad de la radiación luminosa interceptada por éste (Mabrouk *et al.* 1997, Smart y Robinson 1991, Carbonneau, 1980).

Desde el punto de vista cuantitativo, la luz sirve de fuente energética a las hojas interiores para la fotosíntesis, pero se dijo anteriormente que el rendimiento efectivo de estas hojas está muy por debajo de su potencial, debido a la escasez de luz directa que llega. Cuantas más capas de hojas tenga la canopia, mayor será el sombreamiento en el interior de la misma, afectando tanto a la fotosíntesis como a la calidad del racimo (Smart y Robinson 1991, Smart *et al.* 1985b).

Smart *et al.* (1982) demostraron que existe una correlación positiva entre la iluminación recibida en la hoja del nudo 3 y la productividad de ese nudo el año siguiente. Los autores concluyeron que la mejora de rendimientos por yema en canopias divididas fue debida a una mejora en la iluminación de los nudos de la base que portarán los frutos al año siguiente. Queda aún por dilucidar si la mejora en la fertilidad es debida a la mejor iluminación del limbo de la hoja subyacente o a la iluminación que recibe la yema misma, pero existe unanimidad en que la modificación del microclima luminoso en la zona de renovación de yemas es la principal responsable de la mejora en la brotación, fertilidad y producción (Ferrer *et al.* 2008, Ferrer 2007, Huglin 1986).

### **1.10.2. Microclima térmico**

La temperatura y la radiación son los principales factores climáticos que regulan la fisiología de la planta, en ausencia de otros factores limitantes tales como el agua o los nutrientes minerales. La temperatura óptima para el crecimiento de la vid oscila entre 25-35°C, (Huglin y Schneider 1998, Champagnol 1984).

La carga energética sobre una hoja totalmente expuesta a la radiación solar es muy alta. Sin embargo, esa energía puede ser disipada por la emisión de radiación de onda larga (calor sensible) y por transpiración (calor latente) (Taiz y Zeiger, 2002). La temperatura de la hoja depende entonces de las condiciones ambientales y de las conductancias del flujo de vapor de agua desde el interior del limbo hasta la capa límite. Una superficie mojada, expuesta al aire, cede tanto más vapor de agua por unidad de tiempo y área cuanto mayor sea el gradiente de presión de vapor entre la superficie y el aire. Por otra parte, la radiación intensa calienta la superficie foliar lo que origina un gradiente de presión de vapor más acusado. Cualquier incremento de la diferencia de presión de vapor entre la hoja y la atmósfera incrementa la pérdida de calor latente, suponiendo que otras conductancias a través del continuo suelo-planta-aire no sean limitantes (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Zufferey *et al.* (2000) reportaron para las variedades Chasselas y Riesling, una tasa fotosintética máxima para hojas sobre los brotes principales y opuestas al racimo a una temperatura de hoja entre 27 y 32 ° C.

Smart (1985), en una revisión sobre las técnicas culturales que inciden en la canopia y su repercusión en la producción y calidad, afirma que las hojas expuestas a la luz, que no carecen de agua y que transpiran activamente, se calientan menos de 5°C por encima de la temperatura ambiente; mientras que las hojas sombreadas pueden tener temperaturas por debajo de la temperatura ambiente debido a la refrigeración provocada por la transpiración. Según Gates (1962), las hojas expuestas a la luz podrían presentar temperaturas hasta 20°C superiores a la del aire, y 1,5°C menor, para hojas sombreadas. Para las temperaturas observadas, se muestra que la transpiración debe tener una fuerte importancia relativa en reducir la temperatura de las hojas.

### **1.11. INFLUENCIA DE LA ARQUITECTURA DE PLANTA EN EL MICROCLIMA DE LOS RACIMOS**

El microclima de la zona de racimos está fuertemente influenciado por la arquitectura de la planta y por las técnicas de cultivo que inciden en la cantidad y distribución de la superficie foliar, como el deshojado, desfeminado y roñado, tanto por las técnicas en sí como por el momento de su ejecución. El riego, el manejo de suelo elegido, la fertilización, etc., son técnicas que inciden indirectamente en el microclima de la planta Carbonneau y Cargnello 2003, Carbonneau *et al.* 2000, Katerji *et al.* 1994, Coombe 1987).

El análisis microclimático presenta la complicación de que los efectos de la temperatura, la iluminación, el viento y la humedad relativa, se confunden, e interaccionan entre sí.

#### **1.11.1. Microclima lumínico de los racimos**

La cantidad y calidad de la radiación solar que llega al interior del canopia, en la zona de racimos, va a condicionar la respuesta de los pigmentos fotosintéticos y fitocromos (Smart *et al.*, 1985a), repercutiendo, así, en la composición del mosto y la fertilidad de las yemas que serán las que porten los racimos y regeneren el canopia al año siguiente (Archer y Strauss 1989).

Dokoozlian y Kliewer (1995), trabajando con Cabernet Sauvignon y Pinot Noir en condiciones controladas, demostraron que la radiación visible intensifica el crecimiento del fruto, la acumulación de azúcares y de antocianos. Estas respuestas se saturan a muy bajas intensidades luminosas, entre 1-10% de la radiación solar global, cantidades que se producen en viñedos con canopias muy densas.

Smart *et al.* (1985b) obtuvo que las canopias sombreadas de cv. Shiraz, producían mostos y vinos con más  $K^+$ , pH, ácido málico y menor acidez total y menos color.

Según Ferrer *et al.* (2009), Ferrer (2007), Smart y Robinson (1991), Smart *et al.* (1985b) y Carbonneau (1980), una forma de mejorar el microclima en la zona de racimos es dividiendo la canopia en dos paredes de vegetación y conseguir así, un menor solapamiento de la vegetación en cada pared, mayor iluminación de las hojas y yemas de esa zona y mayor aireación de los racimos, lo que en muchos casos repercute en un mejor estado sanitario de los mismos.

Morrison y Noble (1990) separaron los efectos del sombreado de hojas y racimos en la calidad del mosto, llegando a la conclusión de que el tamaño de la baya, pH, azúcares,  $K^+$  y ácido málico, son afectados por el sombreado de la hoja y no había efecto sobre éstos cuando se sombreaban los frutos, sin embargo, el sombreado de los racimos reducía el contenido de antocianos y polifenoles totales.

Smart *et al.* (1985a), estudiando el microclima de racimos en el cv. Shiraz bajo distintos sistemas de conducción, obtienen medidas de radiación extremadamente variables tanto en el tiempo como en el espacio dentro del canopia.

Las medidas realizadas en racimos variaban entre un rango de 10 a 2250  $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ . Los tratamientos y el vigor tienen mayor efecto en los valores altos de PAR medidos en el racimo; en otras palabras, las diferencias de los microclimas de las canopias se deben a la proporción de racimos exteriores.

### **1.11.2. Microclima térmico de los racimos.**

Los estudios sobre el microclima, han ayudado al análisis de las canopias y de muchas prácticas culturales, pero no han avanzado en la comprensión de los efectos de la temperatura per se. La temperatura de la baya, es probablemente el factor

ambiental más importante durante su desarrollo y maduración. Los efectos de la temperatura en la composición del mosto han sido ampliamente estudiados, así, es reconocido el efecto que ésta tiene en el tamaño de la baya, la acidez (málica fundamentalmente pues el tartárico no es afectado), pH, azúcares o la coloración de la epidermis y por tanto en el contenido de fenoles (Coombe, 1987).

Las prácticas culturales que crean una estructura de canopia donde los racimos reciben suficiente luz para la síntesis de antocianos, pero donde las bayas están protegidas del excesivo calentamiento, se mostrarían apropiadas para la producción de fruta con óptimos niveles de antocianos (Haselgrove *et al.*, 2000).

Kliwer y Lider, citados por Coombe (1987), encontraron que las bayas de racimos soleados estaban hasta 11 °C más calientes que la de los racimos sombreados y tenían mayor °Brix y menor acidez total. Koblet *et al.*, citados por Coombe (1987), también mostraron que las uvas soleadas tenían más azúcares y menor acidez total y málica que los racimos sombreados.

El rango de temperatura óptima para la síntesis de antocianos es de 25 °C a 30 °C durante el día pero existe además una fuerte relación sinérgica con radiación solar recibida (Tarara *et al.*, 2008). Mientras que en bayas expuestas a temperaturas por encima de 30 °C a 35 °C la acumulación de antocianos podría verse afectada por ausencia de síntesis o degradación del compuesto (Mori *et al.* 2007, Spayd *et al.* 2002, Haselgrove *et al.* 2000).

El sistema de conducción permite explicar, en gran parte, las variaciones microclimáticas observadas a nivel de racimos al determinar la exposición relativa de los racimos a la radiación solar.

Carbonneau *et al.* (2000), afirman que tanto la iluminación como la temperatura a nivel de hojas y racimos aumenta con el grado de apertura de la vegetación, consiguiéndose el máximo con el sistema de lira en “U” y el mínimo con el sistema de espaldera estrecha con vegetación muy solapada. Además, la holgura en la zona de racimos tiene un efecto positivo sobre la iluminación y temperatura de racimos y hojas. La temperatura a nivel de los racimos está igualmente en función de su proximidad al suelo.

El tamaño de las bayas, el pH, el contenido de K, los azúcares del mosto y el ácido málico son influenciados por el nivel de exposición del follaje, mientras que los antocianos y el total de fenoles se ven afectados por el nivel de exposición de los racimos (Morrison y Noble, 1990).

La exposición de los racimos hacia el oeste, hacia el este o en el centro de la canopia, define microclimas diferentes que causan distintas características y composición de las bayas, obedeciendo a la mayor o menor exposición a la radiación y a la temperatura (Deloire y Hunter, 2005).

## **1.12. COMPOSICIÓN DE LAS BAYAS**

Smart *et al.* (1985b) observaron cómo el microclima generado por el propio sistema de conducción afecta a la fisiología de la planta entera y, por último a las características del mosto y vino.

Resulta por tanto imprescindible hacer referencia no sólo a la geometría de la canopia y el rendimiento de las plantas sino también al microclima de la zona de racimos, para explicar algunos resultados obtenidos del análisis de la composición de las bayas.

### **1.12.1. Contenido de azúcares**

Ferrer *et al.* (2008), Ferrer (2007), Katerji *et al.* (1986), Carbonneau *et al.* (1978) sostienen que el contenido en azúcares en las bayas está ligado simultáneamente a la producción total de azúcares en la cepa, a la facilidad de traslocación de azúcares hacia los racimos (facilitado por el despunte en algunos sistemas) y al reparto de estos azúcares en función del número de bayas.

Los sistemas con microclima medianamente iluminado y cálido (lira V y doble plano descendente) son los que presentan las bayas más azucaradas (Ferrer 2007, Haselgrove *et al.* 2000, Carbonneau *et al.* 1978). Los sistemas con la vegetación muy densa (vertical ancho) son los que tienen menor contenido de azúcares. Smart *et al.* (1985b) observaron que de los cuatro sistemas ensayados, el más sombreado ("shade") era el que menos °Brix obtuvo.

La explicación a estos resultados es dada a través de la mayor superficie foliar expuesta de las liras (frente a las espalderas), gracias al ensanchamiento de la vegetación en la parte superior de la vegetación y mejor intercepción de la radiación a medio día.

Carbonneau (1992) estudió desde 1979-85 el comportamiento del sistema en lira frente a la espaldera, en las variedades Merlot y Cabernet Sauvignon con diferentes patrones y tipos de suelo, obteniendo todos los años, excepto el último, un mayor contenido de azúcares en el mosto procedente del sistema en lira. Según el autor, la explicación yace en la excelente captura de la energía solar realizada por la lira. Coincidentemente Ferrer (2007) presenta resultados desde 2001 a 2004, donde se registraron contenidos de azúcares siempre superiores para la lira en relación a la espaldera.

### **1.12.2. Acidez y pH**

La baya contiene ácidos tartárico, málico y cítrico principalmente. Un 90 % del ácido de la baya corresponde a tartárico. Su síntesis ocurre en hojas y bayas jóvenes por metabolización de azúcares. Con procesos oxidativos del ácido ascórbico y el ácido flucónico (Ribéreau-Gayon, 1976). La acumulación de ácido tartárico está poco influenciada por la temperatura pero si frecuentemente afectada por las condiciones hídricas. La degradación de este ácido es de poca magnitud y se almacena como sal, principalmente de calcio (Gil, 2001).

Aunque las bayas son capaces de sintetizar ácido málico, la mayor parte de sus precursores provienen de las hojas (Winkler, 1974), ligando la actividad vegetativa con la síntesis. Durante la maduración, la degradación de este ácido es de alta magnitud y se ve fuertemente afectada por las altas temperaturas. La disminución del ácido málico ocurre por oxidación, al ser un importante sustrato para la respiración (Coombe, 1987).

La concentración de ácidos es máxima durante el envero disminuyendo posteriormente por transformación en azúcares y por formación de sales (Coombe, 1987).

Numerosas experiencias demuestran que la acidez es menos elevada en racimos que reciben una buena iluminación y están sometidos a un microclima térmico cálido. Según Haselgrove *et al.* (2000) la acidez está muy ligada al microclima interior luminoso y térmico del canopia. Así mismo, Smart *et al.* (1982) encontraron una correlación positiva entre el contenido de ácido málico y la superficie foliar de la cepa y negativamente con la exposición del fruto. Tanto Smart *et al.* (1985b) como Carbonneau (1980) obtuvieron diferencias en la composición de los racimos provenientes de diferentes sistemas de conducción, y coinciden en que la temperatura es el principal factor que afecta la composición ácida de las baya ya que el ácido málico estaba más influenciado por el microclima térmico que el tartárico.

El pH aumenta durante la maduración de la baya, estabilizándose durante la madurez de la pulpa, aumentando levemente en los primeros estadios de la sobremadurez.

El ácido tartárico posee una mayor capacidad buffer que el málico, lo que lo hace de gran importancia en el establecimiento y mantenimiento del pH bajo en uvas y mostos en condiciones ambientales cálidas (Possner y Kliewer, 1985).

El potasio tiene grandes implicaciones en el pH y en el mantenimiento del ácido tartárico. La acumulación de  $K^+$  en la baya es baja durante el envero, pero aumenta significativamente durante la maduración, paralelamente al aumento de sacarosa y al flujo de agua desde el floema. Factores que induzcan estrés en la planta, reducirán la producción de sacarosa en las hojas y disminuirán la formación de ácidos orgánicos, mientras que la acumulación de  $K^+$  en la uva se verá favorecida, aumentando el pH (Smart y Robinson 1991, Possner y Kliewer 1985).

Un follaje bien expuesto antes y después del envero permite mantener un nivel máximo de fotosíntesis en las hojas jóvenes y mantener la actividad de las hojas viejas (Possner y Kliewer 1985). Según la teoría de Boulton, citado por Smart *et al.* (1985b), un pH alto en mosto y vino se debe a un alto contenido de  $K^+$  y estos altos niveles de  $K^+$  están asociados con un microclima sombreado. El microclima sombreado causa acumulación de  $K^+$  en pámpanos antes del envero, lo que está asociado con altos contenidos de  $K^+$  en el fruto.

### **1.12.3. Antocianos**

Las antocianos de la uva son los pigmentos responsables del color de los vinos tintos. Están localizados en la vacuola de las células del hollejo y en las tres o cuatro primeras capas celulares de la hipodermis, siendo su concentración muy baja en la pulpa (Ojeda 2007, Reynier 2002, González-Neves 1999, Price *et al.* 1995).

Los antocianos comienzan a acumularse en la película desde envero para luego llegar a un máximo nivel en la madurez tecnológica (González-Neves y Ferrer 2005, Gil y Yuste 2003). Hay evidencia que sugiere que la concentración de antocianos puede declinar en las últimas fases del desarrollo de la baya (Kennedy *et al.*, 2002).

Los antocianos (flavonoides) compuestos por una antocianidina y glucosa son responsables de otorgar el color rojo o negro a las uvas. El color se desarrolla de forma exponencial luego del envero y durante la maduración de la uva, hasta que decrece la velocidad de acumulación en la baya una vez alcanzada la madurez de la pulpa (Ojeda 2007, Ribéreau-Gayon 1976), requiriendo de luz y temperatura para su síntesis.

La exposición de los racimos a la radiación solar produce temperaturas de 5 a 10 °C más elevadas que los racimos sombreados. Si bien los primeros pueden presentar una mayor coloración debido a la mayor intercepción de luz, depende de que la temperatura no sea excesiva. El rango de temperatura óptima para la síntesis de antocianos es de 25 °C a 30 °C durante el día según Mori y Goto-Yamamoto (2007), y de 15° a 25° C según Kliewer (1977). En bayas expuestas a temperaturas por encima de 30 °C a 35 °C la acumulación de antocianos podría verse afectada por ausencia de síntesis o degradación del compuesto (González-Neves 2005, Spayd *et al.* 2002, Haselgrove *et al.* 2000).

En un viñedo, donde las filas están orientadas norte - sur, la exposición de los racimos hacia el oeste, hacia el este o en el centro de la canopia, define microclimas diferentes que causan distintas características y composición de las bayas, obedeciendo a la mayor o menor exposición a la radiación y a la temperatura (Deloire y Hunter, 2005).

Los principales resultados de esta Tesis se presentan y discuten en formato de artículos de investigación. Capítulo 2: “LA ARQUITECTURA DE LA PLANTA MODIFICA LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA Y LA PARTICIÓN DE ASIMILADOS EN VITIS VINIFERA L. (CV. TANNAT)”, artículo que aborda los aspectos fisiológicos que son modificados por el diferente arreglo de las hojas de cada una de las arquitectura de planta evaluadas. Capítulo 3: “MODIFICACIONES MICROCLIMÁTICAS INDUCIDAS POR LA ARQUITECTURA LIRA Y ESPALDERA Y SUS EFECTOS SOBRE LA PRODUCCIÓN, COMPOSICIÓN Y SANIDAD DE LAS BAYAS”, artículo con énfasis en el análisis de las diferencias aportadas por las arquitecturas de planta en la composición y sanidad de los racimos. Ambos artículos serán enviados para su publicación a la Revista Agrociencia de la Facultad de Agronomía.

## **2. LA ARQUITECTURA DE LA PLANTA MODIFICA LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA Y LA PARTICIÓN DE ASIMILADOS EN VITIS VINIFERA L. (CV. TANNAT)**

### **2.1. RESUMEN**

La arquitectura de planta, entre otros, es un importante factor en el crecimiento y desarrollo de las vides, ya que induce respuestas fisiológicas diferenciales a través de la modificación de la intercepción de la radiación, del estado hídrico de la planta y el microclima de racimos y hojas. En la zona sur de Uruguay, con precipitación media anual de 1170mm, suelos fértiles y profundos, se evaluó la respuesta del cv. Tannat, a la arquitectura de planta, lira y espaldera, con el objetivo de estudiar su respuesta ecofisiológica, con énfasis en los balances del agua y del carbono, los indicadores vegeto-productivos y la composición de la uva. Se determinaron, para ambas arquitecturas, Fotosíntesis Neta (FN), conductancia estomática ( $g_s$ ), transpiración (Eh) y potencial hídrico foliar de base ( $\psi_{Fb}$ ) y activo ( $\psi_F$ ), de hojas expuestas, en dos fechas durante la maduración, con diferentes condiciones hídricas del suelo. En la primer fecha, la lira registró un  $\psi_{Fb}$  de -0,38MPa, menor al obtenido en la espaldera -0,21MPa y un descenso relativo de FN(47%) y Eh(51%). No hubo diferencia ( $p < 0.05$ ) en estos indicadores entre arquitecturas de planta en la segunda fecha. La arquitectura de planta modificó la eficiencia en el uso del agua (EUA), el equilibrio vegeto-productivo y la concentración de azúcares de las bayas. La EUA dependió de la escala de estimación y, globalmente, la lira evaluada como planta entera, mostró mayores niveles de eficiencia productiva en el uso del agua. El conjunto del ensayo mostró a la lira como la arquitectura de planta que mejor se adaptó a las condiciones meteorológicas de la temporada 2007/2008 del sur de Uruguay.

**Palabras claves:** Estado hídrico; Fotosíntesis, Sistema de conducción; Conductividad estomática, EUA

## 2.2. SUMMARY

### **Plant architecture modifies Water Use Efficiency and distribution of assimilates in *Vitis vinifera* L. (cv. Tannat)**

Plant architecture, among others, is an important factor in vines performance, inducing different physiological effects by modifying solar radiation interception and water status of the plant. In southern region of Uruguay, in which 1170 mm annual rainfall average occurs, with deep and fertile soils, we evaluated Tannat cv. performance trained in lyre and vertical trellis. For both trellis systems, it was determined net photosynthesis, stomatal conductance, transpiration and active and predawn leaf water potential of exposed leaves on two dates with different soil water conditions. Both vegetative and productive parameters were evaluated. On first determination date, the lyre registered a  $\psi_B$  of -0.37 MPa, less than that we obtained in the vertical trellis. There was also a relative decrease of FN (47%) and Eh (51%) in the lyre respect to the vertical trellis. There were no significant differences in these parameters between trellis systems on the second evaluation date. Plant architecture caused a significant modification on vegetative-productive balance and berry composition. Efficiency in Water Use (WUE) was affected by trellis system and evaluation scale. WUE depended on rating scale, and globally, the lyre architecture, evaluated as whole plant showed higher productive efficiency levels. Lyre was the architecture that best suits on 2007/2008 meteorological conditions where, there was no water restriction in post-veraison, by means of greater water consumption and consequently could achieve better growth performance.

**Keywords:** Water status; Photosynthesis, Trellis system; Stomatal conductance; WUE

### 2.3. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha habido un incremento en la toma de conciencia, sobre la importancia del efecto que tiene el arreglo espacial de las hojas sobre el comportamiento fisiológico, y la composición de las uvas (Orlandini *et al.*, 2008), ya que juega un papel importante en la regulación del balance entre el crecimiento vegetativo y la potencialidad productiva (Ferrer *et al.*, 2008; Louran *et al.*, 2008; Carbonneau y Cargnello, 2003; Carbonneau, 1996). Según Smart y Robinson (1991) se entiende por conducción de la canopia, al conjunto de decisiones y técnicas que determinan la disposición de los órganos aéreos de la planta en el espacio, y es un importante factor en el desempeño de las vides, ya que induce respuestas fisiológicas diferenciales a través de la modificación de la intercepción de la radiación y del estado hídrico de la planta (Flexas *et al.*, 2010; Ferrer *et al.*, 2008; Ferrer, 2007; Belmonte, 2006; Smart y Robinson, 1991). Una óptima maduración de la baya depende de la superficie foliar disponible total, pero sobre todo del grado de exposición y de la funcionalidad de dichas hojas (Matti y Storchi, 2001), del microclima en el que maduran los racimos, y de las traslocaciones que se dirigen hacia los racimos (Boewa *et al.*, 2011; Schultz, 1995). La arquitectura de planta se convierte entonces en un factor importante, ya que el arreglo espacial de las hojas condiciona el aprovechamiento de los recursos del ambiente.

La variedad Tannat que ha representado cambios importantes en el desarrollo comercial del sector vitivinícola uruguayo y es cultivada predominantemente bajo dos sistemas de conducción: lira abierta y espaldera (Ferrer *et al.*, 2008).

Estos sistemas, establecen arquitecturas de planta que modifican su estado hídrico, elemento que a partir del envero, es relevante para lograr un resultado productivo y enológico positivo. El establecimiento de una restricción hídrica moderada desde floración, inducida por la mayor superficie evaporante de la lira, conduce a un detenimiento del crecimiento vegetativo en envero, lo que favorece la partición de asimilados hacia los racimos, (Ferrer, 2007; Ojeda *et al.*, 2004; Bota *et al.*, 2004; Deloire *et al.*, 2003). Esto sería muy favorable en la región sur de Uruguay, que presenta frecuentemente lluvias copiosas durante la maduración de los racimos

(Ferrer *et al.*, 2008). En la lira, generalmente se obtienen rendimientos por planta y por superficie superiores a los de la espaldera y las bayas cosechadas en estas plantas presentan una aptitud enológica igual o superior a las del sistema en espaldera. Según Medrano *et al.* (2007) la superficie foliar total, la arquitectura de la planta y el cultivo determinan el gasto real de agua frente a una determinada demanda atmosférica. La planta desarrolla su arquitectura foliar en función de sus características genéticas y la disponibilidad de recursos durante el crecimiento. Así, se establece una interdependencia entre la disponibilidad de agua, el tamaño de las plantas y la cantidad de hojas. El resultado final se puede evaluar a través de la eficiencia en el uso del agua (EUA) o sea la relación entre la (FN) y la transpiración (Eh) a nivel de hoja aunque también puede ser considerada a escala de cultivo, o escala de planta entera (Poni *et al.*, 2009; Medrano *et al.*, 2007; Katerji *et al.*, 2006).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento fisiológico y agronómico cv. Tannat (*Vitis vinifera* L.), en dos arquitecturas de la planta, lira y espaldera. En el estudio se hizo énfasis en los balances de agua y carbono, el rendimiento y la composición de las bayas, evaluados en situación de cultivo comercial para las condiciones meteorológicas de la temporada 2007-2008 en la zona sur de Uruguay.

## **2.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.4.1. Condiciones del ensayo**

El ensayo fue realizado durante la temporada 2007-2008 en un viñedo comercial de la variedad Tannat (Fig. 1), ubicado en la zona sur de Uruguay (34°34' sur; 56°15' oeste).

Las parcelas estaban representadas por dos viñedos contiguos de la misma edad (19 años), injertados sobre SO4, con dos sistemas de conducción: lira abierta (3 m x 1 m) y espaldera (2,5 mx 1,1m), con igual número de yemas por planta (18). Los suelos fueron Brunosoles éutricos profundos, con una lámina transpirable de 135 milímetros. No existieron limitaciones edáficas ni existió ningún gradiente por el cual se viera beneficiada o perjudicada alguna arquitectura de planta. Todas las

técnicas de cultivo (abonado, aplicaciones fitosanitarias, mantenimiento del suelo) se aplicaron por igual en ambas parcelas de ensayo.



**Figura 1.** Detalle de viñedos de Tannat en espaldera (izq.); viñedos de Tannat en lira (der), en Canelones, Uruguay.

#### **2.4.2. Caracterización geométrica de la canopia**

En enero, se determinaron sobre 20 plantas para cada arquitectura: Índice de Área Foliar (IAF) (Disegna *et al.*, 2003); Superficie Foliar Expuesta potencial (SFEp) (Carbonneau, 1995); Superficie foliar externa (SA), por aproximación a figuras geométricas fáciles de evaluar; y como Índice de densidad de la vegetación se utilizó el cociente IAF/SA. La determinación de la posición relativa de los órganos aéreos, así como el número de capas de hojas y porcentaje de hojas y racimos que están expuestos fueron realizados por el método de Point Quadrat (Smart *et al.*, 1982).

#### **2.4.3. Determinaciones fisiológicas**

En cada parcela se eligieron 4 plantas homogéneas en vigor, en dos filas contiguas. En cada planta, según la exposición de la vegetación (lado expuesto al Este o al Oeste), y 3 posiciones (alta, media y baja) con 3 repeticiones, se seleccionaron y marcaron hojas sanas y completamente desarrolladas, lo que totalizó 72 muestras por cada arquitectura de planta. Se determinaron la fotosíntesis neta (FN), conductancia estomática ( $g_s$ ), tasa transpiratoria (Eh) mediante Analizador Infrarojo de gases, IRGA (LI-COR 6400), en hojas expuestas, respetando su orientación original. La

primera medición fue realizada en el estado fenológico de 90% de envero (21/2/2008) entre las 12 y 13:30h y la segunda en estado fenológico próximo a cosecha (13/3/2008) en dos momentos: entre 11 y 12:30h. y entre 15 y 16:30h. A partir de la medida de radiación PAR interceptada y la estimación del área foliar en cada zona de la canopia, se realizó la separación del área foliar en dos zonas tal como fue descrito por Escalona *et al.* (2003) (Figura 2).

#### **2.4.4. Estimación del contenido de agua en el suelo**

Se realizaron balances hídricos simultáneos en cada parcela considerando la evolución de los coeficientes de cultivo ( $kc$ ) de ambas arquitecturas de planta según la metodología propuesta por (Williams y Ayars, 2005). Según el contenido hídrico del suelo, se eligieron los momentos para realizar las determinaciones fisiológicas, estimado para la primera fecha (21/2/2008) 47,2mm, (Fracción de agua transpirable en el suelo) FTSW= 0,35; y para la segunda fecha (13/3/2008) 108mm, FSTW = 0,80, según (Lebon *et al.*, 2003).

#### **2.4.5. Determinación del estado hídrico de las plantas**

Se determinó mediante la cámara de presión (Scholander *et al.*, 1965) midiendo el Potencial Hídrico Foliar de base ( $\psi_{Fb}$ ), (entre las 3:30 y 4:30 hs) y durante las medidas de fotosíntesis ( $\psi_F$ ) (11:00; 12:00 y 15:00 hs, dependiendo de la fecha de muestreo), sobre una muestra de 10 hojas sanas este y oeste, totalmente desarrolladas e insertas en brotes fértiles, utilizando una cámara PMS, modelo 600.

#### **2.4.6. Eficiencia en el Uso del Agua (EUA)**

Se calculó la EUA a diferentes escalas de evaluación:

- a) EUA, a nivel de hoja según la relación instantánea:  $FN / Eh$ ,
- b) EUApl, a nivel de planta según la relación:  $FNpl / Ehpl$  a partir de las tasas de FN y Eh a nivel de hoja, y de la estimación de la abundancia relativa de hojas en las zonas interna y externa de la canopia (Escalona *et al.*, 2003),

- c) EUAc, a nivel de ciclo de cultivo: a partir del consumo de agua del ciclo (Williams y Ayars, 2005) y de la producción total de materia seca renovable (MS) y su partición en hojas, racimos y madera del año.

#### **2.4.7. Caracterización del Microclima de la canopia**

Se registraron durante el ciclo del cultivo, porcentaje de humedad relativa (%HR) y temperatura (T) de la canopia, mediante datalogger Hobo Pro v2, instalados en el interior de la canopia a la altura del alambre de poda. La medida de radiación PAR en las hojas se realizó con un sensor quantum, LI-COR 185A. El déficit de presión de vapor de agua (D) se calculó como:  $D = es - [\%HR * es / 100]$ , donde “es” es la presión de vapor a saturación (kPa),  $es = 0,6108 \exp[(17,27 * T) / (T + 237,3)]$

#### **2.4.8. Producción de uva y materia seca**

Al momento de cosecha se pesó la uva producida por planta individual sobre 30 plantas. Se determinaron número y peso individual de racimos para cada planta, y el número de racimos por planta afectados por podredumbres.

La partición de asimilados se estimó a partir de la materia seca (MS) acumulada en hojas, racimos, y sarmientos, de una muestra de 20 brotes para cada arquitectura de planta extraídos al azar y de diferentes plantas. Posteriormente fueron separados racimos, sarmientos y hojas y secadas en estufa por 40 días a 60° C, hasta peso constante.

#### **2.4.9. Expresión vegetativa**

Se registró semanalmente la evolución del largo total de 10 brotes por cada arquitectura de planta hasta alcanzar su largo final.

Durante la poda invernal, se determinó el peso de madera de sarmientos del año sobre un total de 30 plantas para cada arquitectura de planta.

#### **2.4.10. Análisis de la composición de las bayas**

Al momento de la cosecha se determinó, según el protocolo de la O.I.V (1990), el contenido de azúcares por refractometría con un refractómetro modelo Atago N1, la

acidez total por volumetría y el pH por potenciometría con un aparato Hanna modelo H18521 (Hanna Inst., Italia), en muestras de 250 bayas por duplicado a cosecha tecnológica tomadas según el método propuesto por Carbonneau *et al.* (1991). El momento de la cosecha tecnológica se decidió evaluando el balance entre el contenido de azúcares y la acidez total, y el valor de pH.

#### **2.4.11. Análisis estadístico**

Los datos obtenidos fueron analizados mediante Análisis de Varianza, con una probabilidad de error ( $p < 0,05$ ) con el paquete estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2009).

## **2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **2.5.1. Geometría de la canopia**

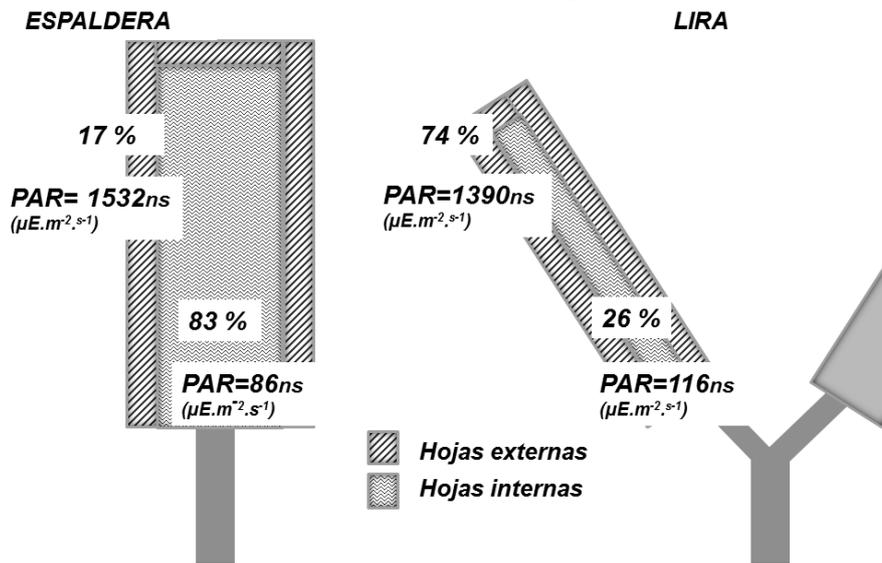
En el Cuadro 1 se presentan los resultados de la caracterización geométrica para ambas arquitecturas de planta. Se encontraron diferencias significativas en todos los indicadores que refieren a la caracterización geométrica de las plantas. Si bien la espaldera cuenta con un mayor IAF, el arreglo espacial de las hojas no contribuye a lograr un buen grado de exposición pues una gran parte de las hojas se encuentran en el interior de la canopia, similares resultados han sido reportados por Ferrer (2007), Katerji *et al.* (1994) y Smart *et al.* (1985a). La lira, mostró tener valores de SFEp, SA, e IAF/SA cercanos a los obtenidos por Smart *et al.* (1985a), comparando sistemas de canopia simple y dividida. Aunque Smart y Robinson (1991), establecieron que el porcentaje de hojas internas no debería exceder del 10-20% para obtener una buena calidad y cantidad de iluminación en el interior de la planta, el valor obtenido para la espaldera en este ensayo fue muy inferior (Figura 2).

**Cuadro 1.** Efectos de las arquitecturas, lira y espaldera sobre las dimensiones y densidad de la canopia. Índice de área foliar (IAF), Superficie Foliar Expuesta potencial (SFEp), Superficie foliar externa (SA), Densidad de la canopia (SA/IAF).

| Indicador  | ARQUITECTURA |           |
|--|--------------|-----------|
|  | Lira         | Espaldera |
| IAF  | 3,31**       | 4,17**    |
| SFEp (m <sup>2</sup> .pl <sup>-1</sup> )               | 2,96**       | 2,03**    |
| SA (m <sup>2</sup> .pl <sup>-1</sup> )                 | 2,83*        | 2,16*     |
| Volumen de canopia (m <sup>3</sup> .pl <sup>-1</sup> ) | 0,462*       | 0,653*    |
| SA/IAF   | 1,17**       | 1,93**    |
| N° capas de hojas                                      | 3,9**        | 8,7**     |
| Racimos expuestos (%)                                  | 60           | 15        |

\*, \*\*, Indican diferencias significativas al  $p \leq 0,05$  y  $p \leq 0,01$ , respectivamente

Orlandini *et al.* (2008), Smart y Robinson (1991), Smart (1985) entre otros, demuestran que el microclima sombreado del interior de canopias densas, conduce a una menor actividad fotosintética, menor fertilidad de las yemas y peores condiciones de maduración (Ferrer, 2008). En principio, una mayor superficie foliar va asociada una mayor capacidad fotosintética de la planta, pero a medida que va aumentando esta superficie foliar, sin que se modifique el espacio disponible para cada planta, la densidad foliar va aumentando, como sucede en la espaldera, lo que empobrece el microclima de los racimos y el alto grado de solapamiento disminuye la tasa fotosintética de las hojas interiores (Zufferey *et al.*, 2000; Smart y Robinson, 1991). No existieron diferencias significativas en la cantidad de radiación PAR interceptado, pero la proporción de hojas pertenecientes a la capa externa fue marcadamente superior para la lira. En la espaldera, un 83% de hojas estuvo recibiendo una radiación PAR media inferior a los  $90 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

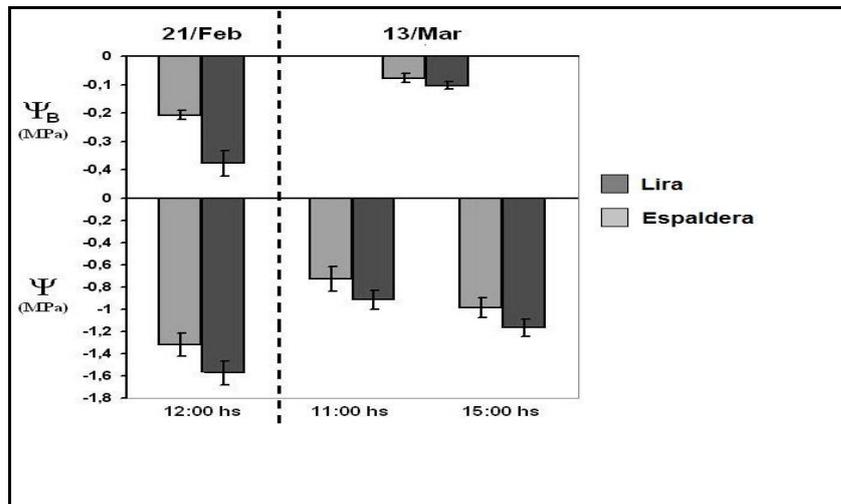


**Figura 2.** Partición de la superficie foliar en porcentaje según hojas internas y externas (%) y radiación PAR ( $\mu E.m^{-2}.s^{-1}$ ) medio incidente para lira y espaldera. (ns indica no significativo)

Se aprecia que el arreglo espacial de las hojas de cada arquitectura modificó la abundancia relativa de las hojas expuestas a una radiación PAR superior a  $700 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$ , valor que corresponde al punto de saturación en luz (Champagnol, 1984).

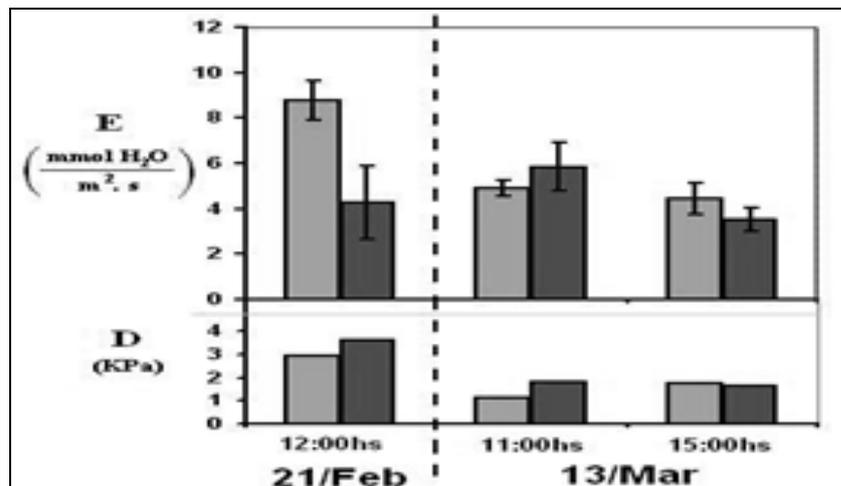
### **2.5.2. Potencial hídrico foliar, fotosíntesis y transpiración**

La alta variabilidad que caracteriza al régimen pluviométrico del Uruguay (CV >60% para el total mensual entre años según DNM), determinó para este año en particular, un primer período de deficiencia hídrica y un segundo período con ausencia de deficiencias que pudieron ser evaluados sobre las plantas a través de la medida del potencial hídrico foliar de base ( $\psi_{Fb}$ ). El  $\psi_{Fb}$  de la lira medido el 21/Feb fue menor al registrado por la espaldera (Fig. 3), alcanzando un valor de  $-0,38 MPa$ , lo que implica un déficit hídrico moderado (Carbonneau, 1998).



**Figura 3:** Potencial hídrico de base determinado antes del amanecer ( $\Psi_B$ ) (arriba) y potencial hídrico ( $\Psi$ ) (abajo) de hojas, según fecha y hora de determinación. Barras Claras: espaldera. Barras oscuras: lira Abierta. Barras de error: IC ( $t_{\alpha/2}$ );  $\alpha = 0,05$ ;  $n = 10$

No hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en  $\psi_{Fb}$  entre las arquitecturas el 13/Mar, pero los valores fueron mayores que la fecha anterior, esto puede explicarse por el alto contenido de agua en el suelo (FTSW= 0,80) para esta fecha.



**Figura 4:** Arriba: Tasa transpiratoria ( $E_h$ ) de hojas a las cuales le incidía un FFFA  $> 1000 \mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ . Abajo: Déficit de presión de vapor de agua ( $D$ ) en KPa. Según fecha y hora de determinado. **Barras Claras:** espaldera. **Barras oscuras:** lira abierta. Barras de error: IC ( $t_{\alpha/2}$ );  $\alpha = 0,05$ ;  $n = 20, 8, 16, 13, 11, 19$  de izq. a der.

El  $\Psi_{Fb}$  del 21/Feb 12hs y 13/Mar 15hs, fue menor en la lira (Fig.3), lo que concuerda con reportes de Ferrer *et al.* (2008), Ferrer (2007). La menor Eh en la lira en la primera fecha se debe a que presenta una  $g_s$  menor que la espaldera, lo que podría explicarse por el menor potencial hídrico foliar (Fig. 4), lo que coincide con reportes previos de Schultz (1995) y González-Padierna (1994).

La arquitectura de planta tuvo en conjunto importantes consecuencias para la fisiología y la morfología de las plantas provocando, a corto y medio plazo, un descenso del potencial hídrico y de la  $g_s$ , lo que concuerda con Medrano *et al.* (2007).

### 2.5.3. Respuesta vegeto-productiva

El seguimiento del estado hídrico de la planta, medido como potencial foliar de base, mostró que la arquitectura en lira registra valores significativamente más bajos a los de la espaldera en acuerdo a lo señalado por Ferrer (2007). Estos hechos dan lugar a una disminución del área foliar total y del vigor expresado como largo medio de sarmientos (Cuadro 2). Según Louran *et al.* (2008), Ferrer (2007), el menor largo de sarmientos para la lira podría también explicarse por una posición más inclinada con respecto a los sarmientos verticales de la espaldera.

**Cuadro 2.** Efectos de las arquitecturas, lira y espaldera sobre la expresión vegetativa y componentes del rendimiento.

| Indicador                            | ARQUITECTURA |           |
|--------------------------------------|--------------|-----------|
|                                      | Lira         | Espaldera |
| <b>Brotos por planta</b>             | 18,2 ns      | 17,6 ns   |
| <b>Largo final de sarmientos (m)</b> | 0,68**       | 1,06**    |
| <b>Peso madera de poda (Kg/pl)</b>   | 0,432*       | 0,615*    |
| <b>Nº racimos por planta</b>         | 30,2*        | 25*       |
| <b>Peso de racimo (Kg)</b>           | 0,440*       | 0,356*    |
| <b>Producción (Kg/pl)</b>            | 13,64**      | 9,17**    |

\*, \*\*, Indican diferencias significativas al  $p \leq 0,05$  y  $p \leq 0,01$ , respectivamente

El número de racimos fue significativamente superior en la lira con respecto a la espaldera (Cuadro 2). Si se tiene en cuenta que en la poda de invierno se dejó el mismo número de yemas por planta en ambas arquitecturas, este número superior de racimos puede ser explicado por una fertilidad mayor de las yemas de la arquitectura en lira, consecuencia de condiciones de iluminación más favorables para el proceso de inducción (Smart y Robinson, 1991; Carbonneau, 1980).

#### **2.5.4. Eficiencia en el uso del agua**

El cierre estomático explica el bajo valor de FN registrado el mismo día (21 de feb), (Cuadro 3). La correlación entre  $g_s$  y FN fue de  $r^2 = 0,71$ , ( $p < 0,01$ ). No existieron diferencias significativas en FN, Eh y  $g_s$ , entre los sistemas de conducción el 13/Mar, lo que se explica por el alto contenido de agua en el suelo (Fig. 4, Cuadro 3).

Los valores de Eh de la espaldera no aparecen limitados por  $g_s$ . Las variaciones en las dos fechas se asocian más al valor del déficit de presión de vapor (Fig. 4, Cuadro 3).

El déficit de presión de vapor de la lira fue siempre mayor o igual que el registrado en la espaldera (Fig. 4). En todas las situaciones, la EUA de la lira fue menor, más aún el 13/Mar 11h., a pesar que la  $g_s$  fuera igual a la espaldera (Cuadro 3). En la lira menores  $\psi_F$  presentaron menores valores de  $g_s$  y FN. Sin embargo en la espaldera no se observó la misma asociación, ya que el 12/Feb se registró el menor  $\psi$  pero no la menor  $g_s$  y FN. Los valores de FN se asociaron más a los valores de  $g_s$  que al estado hídrico de las hojas, lo que se observa en los valores de potencial hídrico foliar ( $\psi$ ), lo que concuerda con reportes de Boewa *et al.* (2011), Medrano *et al.* (2007).

La arquitectura determinó diferencias en el microclima de la canopia, reflejadas en el valor del déficit de presión de vapor.

Cabe aclarar que, EUA a escala de hoja no siempre refleja la EUA a escala de planta o de cultivo, aparecen involucrados muchos otros factores además de los estrictamente fisiológicos (ej., diferencias en el PAR recibido en cada capa de follaje, período de integración de las variables FN y Eh), (Escalona *et al.*, 2003).

**Cuadro 3:** Fotosíntesis neta (**FN**), conductancia estomática ( $g_s$ ) y eficiencia en el uso del agua (**EUA**) según fecha y hora de determinación. **FN** y  $g_s$  son de hojas a las cuales le incidía un FFFA  $> 1000 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$ . Los datos (excepto EUA) son expuestos como promedio  $\pm$  IC ( $t_{\alpha/2}$ );  $\alpha = 0,05$ ;  $n = 20, 8, 16, 13, 11, 19$  de arriba hacia abajo.

| <b>FECHA</b>  | <b>ARQUITEC-TURA</b> | <b>FN</b><br>( $\mu$ moles $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ ) | $g_s$<br>( $mmol H_2O.m^{-2}.s^{-1}$ ) | <b>EUA</b><br>( $\mu$ moles $CO_2.m^{-2} / mmol H_2O.m^{-2}$ ) |
|---------------|----------------------|---|--|--|
| <b>21/feb</b> | Espaldera            | $11,8 \pm 1,5$                                    | $0,21 \pm 1,5$                         | 1,86   |
| <b>12hs</b>   | Lira                 | $6,3 \pm 2,5$                                     | $0,09 \pm 1,5$                         | 1,61   |
| <b>13/mar</b> | Espaldera            | $12,3 \pm 1,4$                                    | $0,25 \pm 1,5$                         | 3,69   |
| <b>11hs</b>   | Lira                 | $12,4 \pm 2,7$                                    | $0,24 \pm 1,5$                         | 2,89   |
| <b>13/mar</b> | Espaldera            | $7,9 \pm 2,4$                                     | $0,19 \pm 1,5$                         | 3,10   |
| <b>15hs</b>   | Lira                 | $8,7 \pm 1,5$                                     | $0,16 \pm 1,5$                         | 2,90   |

\* Para EUA se usaron los resultados de todas las hojas medidas

Según Schultz (1995), Smart y Robinson (1991), la HR(%) registrada en las arquitecturas de planta de canopia dividida como la lira es similar a la registrada al ambiente, mientras que el HR(%) de la espaldera es mayor. Esta última entonces, estaría funcionando como un acumulador de vapor de agua, dado su mayor número de capas de hojas, modificando la D (Cuadro 1).

Cuando se analiza la información según situación hídrica, se observa que la mayor proporción de superficie foliar externa de la lira hace compensar el descenso en la FN instantánea para el 21/Feb (Cuadro 3), lo que resulta en una mayor FN a nivel de planta. En la situación de alta disponibilidad hídrica (13/Mar), la menor tasa de FN a nivel de planta de la espaldera se debe a su gran superficie foliar interna (83%) con FN instantánea inferior, con respecto a su IAF.

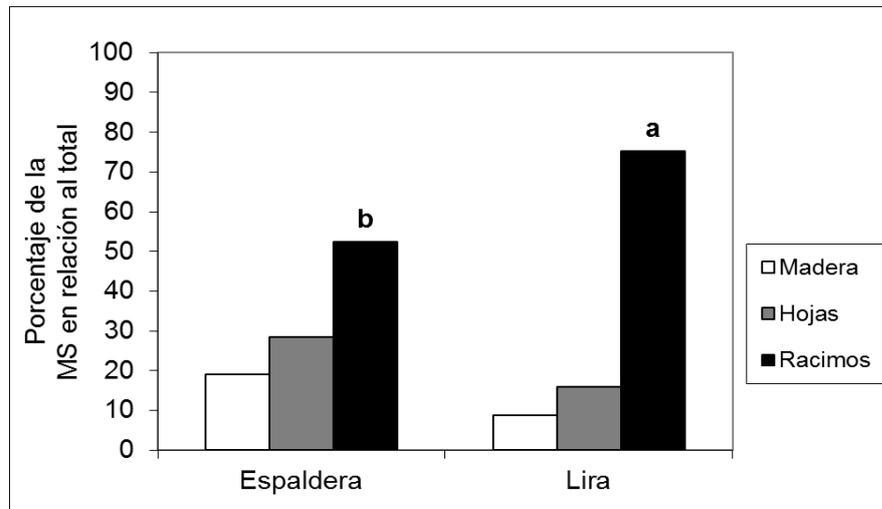
**Cuadro 4.** Eficiencia en el Uso del Agua a escala de planta según arquitectura de planta, lira y espaldera y para dos condiciones hídricas. Fotosíntesis Neta (FN), Transpiración (Eh), Eficiencia en el Uso del Agua por planta (EUApI).

| Indicador  | 21/Feb<br>(disponibilidad hídrica baja) |           | 13/Mar<br>(disponibilidad hídrica alta) |           |      |           |
|--|---|-----------|---|-----------|------|-----------|
|  | 12hs                                    |           | 11hs                                    |           | 15hs |           |
|  | Lira                                    | Espaldera | Lira                                    | Espaldera | Lira | Espaldera |
| <b>FN planta</b><br>( $\mu\text{moles CO}_2 \cdot \text{pl}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )    | 18,2                                    | 16,4      | 36,3                                    | 15,8      | 24,7 | 10,8      |
| <b>Eh planta</b><br>( $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{pl}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 12,9                                    | 15,8      | 18,1                                    | 14,1      | 10,7 | 12,8      |
| <b>EUApI</b><br>( $\mu\text{moles CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$ )                       | 1,4*                                    | 1,0*      | 2,0**                                   | 1,1**     | 2,3  | 0,9       |

\*, \*\*, Indican diferencias significativas al  $p \leq 0,05$  y  $p \leq 0,01$ , respectivamente. Análisis en pares de medias para cada situación hídrica.

La tasa Eh a nivel de planta es superior para la espaldera en la situación de baja disponibilidad hídrica, resultado que se explica porque no existieron limitantes estomáticas a la transpiración, dado por un estado de hidratación más favorable con respecto a la lira, estos resultados están de acuerdo con reportes previos de Medrano *et al.* (2007). A partir de estos valores, se verificó que la EUApI es mayor para las plantas con arquitectura en lira con respecto a la de las espalderas, independientemente de la condición hídrica del suelo y del momento del día, para el 13/Mar.

Se observaron diferencias significativas en la producción total y en la distribución de la materia seca para cada arquitectura de planta (Figura 5 y Cuadro 5). Al igual que en reportes de Bota *et al.* (2004), estas diferencias se explican por el mayor nivel de restricción hídrica registrada en la lira, respecto de la espaldera (Figura 1). Esta restricción, según Ferrer *et al.* (2008), Ferrer (2007), Carbonneau y Cargnello (2003), Deloire *et al.* (2003), inducen un cese prematuro del crecimiento vegetativo, que favorece la acumulación de materia seca en los racimos.



**Figura 5:** Partición de la materia seca renovable expresada en porcentaje, según arquitectura de planta espaldera (izq.); lira (der.). *a, b*, Indican diferencias significativas al  $p \leq 0,05$  y  $p \leq 0,01$ , respectivamente

Mediante estas aproximaciones de FNpl y EUApl y partición de la materia seca renovable, fue posible determinar en gran parte el mejor desempeño productivo de las plantas con arquitectura en lira.

Si se compara el consumo hídrico de las plantas en relación a la producción de azúcares por planta y la MS renovable del ciclo completo del cultivo, se llega a nuevas escalas en la Eficiencia en el Uso del Agua (Cuadro 5). Las diferencias en el consumo de agua a lo largo del ciclo fueron explicadas por la diferente superficie foliar expuesta, de tal manera que la lira sombreó el suelo antes que la espaldera, lo que estableció diferencias en los valores de coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) para cada arquitectura de planta, este resultado fue similar al reportado por Ferrer *et al.* (2008) y Williams y Ayars (2005). Cuando se tomaron en cuenta a las diferencias registradas en la producción de MS renovable total y el consumo de agua durante todo el ciclo de cultivo, se observó una mayor EUA para la producción de MS en la lira. A pesar de que la lira consumió un volumen de agua mayor, fue además su mayor producción de MS renovable total la que determinó la mayor eficiencia.

En cuanto a la EUA productiva, tomando en cuenta la MS producida en los racimos y la cantidad de azúcares total acumulados en las bayas, la espaldera mostró menores eficiencias (Cuadro 5). Esto pudo explicarse porque la partición de

asimilados en la espaldera favoreció más a la acumulación en hojas y sobre todo al crecimiento vegetativo medido como madera de poda. En la lira, un mayor rendimiento final y con una mayor concentración de azúcares en los racimos, fueron determinantes en aumentar los valores de EUA en la producción de azúcares.

**Cuadro 5.** Consumo de agua, Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) para la producción de Materia Seca (EUAc), racimos (EUAr) y azúcares por planta (EUAaz), según arquitectura de planta, lira y espaldera.

| <b>Indicador</b>                          | <b>Lira</b>                | <b>Espaldera</b>           |
|---|----------------------------|----------------------------|
| <b>Consumo agua (mm)</b>                  | 406                        | 360                        |
| <b>Consumo agua (L/pl)</b>                | 1128                       | 990                        |
| <b>MS renovable total (g/pl)</b>          | 3418*                      | 3108*                      |
| <b>MS en racimos (g/pl)</b>               | 2570**                     | 1632**                     |
| <b>EUAc (g MS / Kg H<sub>2</sub>O)</b>    | 2,80                       | 3,14                       |
| <b>EUAr (g MS rac/ Kg H<sub>2</sub>O)</b> | <b>2,22</b>                | <b>1,65</b>                |
| <b>EUA az (g az/ Kg H<sub>2</sub>O)</b>   | <b>1,87</b>                | <b>1,25</b>                |
|   | (2280 g azucares / planta) | (1234 g azucares / planta) |

\*, \*\*, Indican diferencias significativas al  $p \leq 0,05$  y  $p \leq 0,01$ , respectivamente

### **2.5.5. Composición de la uva**

La arquitectura en lira, aún con una mayor producción (Cuadro 2), logró un contenido de azúcares significativamente superior al de las plantas en espaldera (Cuadro 6). No se registraron diferencias significativas en la acidez total ni en el pH, ni se alcanzaron los valores prefijados como de madurez tecnológica para este ensayo (Cuadro 6). Estos resultados no concuerdan con lo propuesto por Smart *et al.* (1985b), quienes demostraron que, al aumentar la exposición de los racimos a la radiación solar, el pH aumenta. Entre diversos autores como Smart y Robinson (1991), Carbonneau y Cargnello (2003), Belmonte (2006), Ferrer (2007), se destaca el importante papel de la relación entre SFEp y SA con el rendimiento y la composición final de los mostos. En general se aconsejan valores óptimos de

SFEp/Rend de 1 a 1,2 m<sup>2</sup> de hojas expuestas por kg de producción., pues aseguran una buena maduración de los racimos.

**Cuadro 6.** Composición de los mostos según arquitectura de planta, lira y espaldera.

| Indicador          | ARQUITECTURA |           |
|--------------------|--------------|-----------|
|                    | Lira         | Espaldera |
| Azúcares (g/L)     | 215**        | 171**     |
| Acidez total (g/L) | 4,9 ns       | 4,9 ns    |
| pH                 | 3,19 ns      | 3,24 ns   |

*\*, \*\*, ns, Indican diferencias significativas al  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$  y no significativo, respectivamente.*

## 2.6. CONCLUSIONES

La lira contribuyó a aumentar la proporción de hojas expuestas, incrementando el nivel de actividad fotosintética global de las plantas. El mayor grado de exposición de las hojas de la lira, aumentó el consumo de agua y en consecuencia indujo un cese precoz del crecimiento vegetativo. Esto modificó fuertemente la partición de la materia seca en favor de su acumulación en los racimos.

Las plantas conducidas en espaldera, mostraron un rendimiento y concentración de azúcares inferiores a los de las plantas en lira.

La Eficiencia en el Uso del Agua depende de la escala de evaluación, y globalmente, la lira evaluada como planta entera mostró mayores niveles de eficiencia en la producción de azúcares.

El conjunto del ensayo mostró a la lira como la arquitectura que mejor se adaptó a las condiciones meteorológicas de la temporada 2007/2008 del sur de Uruguay.

## Agradecimientos

Se agradece especialmente al Ing. Agr. Gustavo Blumetto y al Tec. Enol. Luis Púa, ambos de Establecimiento Juanicó S.A., por su paciencia y su atento cuidado a las parcelas en que se realizó este ensayo.

## 2.7. BIBLIOGRAFÍA

- Belmonte M. 2006. Efecto del manejo de riego y de la canopia en las relaciones hídricas de la planta, las características de la baya y la productividad en *Vitis vinifera* cv. Cabernet sauvignon. *Revista Enología* 12 (1): 16-26.
- Boewa P, Begdanoff C, Usher K, Estergaard B, Watson M. 2011. Effects of Irrigation and Crop Load on Leaf Gas Exchange and Fruit Composition in Red Winegrapes Grown on a Loamy Sand. *American Journal Enology and Viticulture*. 62 (1). 9-22.
- Bota J, Stasyk O, Flexas J, Medrano H. 2004. Effect of water stress on partitioning of  $^{14}\text{C}$ -labelled photosynthates in *Vitis vinifera*. *Functional Plant Biology*. 31: 697-708.
- Carbonneau A. 1998. Aspects qualitatifs. En : *Traté d'irrigation*, Tiercelin J. R., Tec et Doc Lavoisier Ed., pp. 258 – 276.
- Carbonneau A. 1996: General relationship within the whole-plant: Examples of the influence of vigour status, crop load and canopy exposure on the sink “berry maturation” for the grapevine. *Acta Horticulturae*. 427: 99-118.
- Carbonneau A. 1995. La surface foliaire exposée potentielle. Guide pour sa mesure. *Le Progrès Agricole et Viticole*. 112 (9): 204-212.
- Carbonneau A. 1980. Recherche sur les systèmes de conduite de la vigne: essai de maîtrise du microclimat et de la plante entière pour produire économiquement du raisin de qualité. [Tesis Doctoral] Universidad de Burdeos II. Ed. INRA. 235 p.
- Carbonneau A, Cargnello G. 2003. Architectures de la vigne et systèmes de conduite. La Vigne. France. 187p.

- Carbonneau A, Moueix A, Leclair N, Renoux J. 1991. Proposition d'une méthode de prélèvement de raisins à partir de l'analyse de l'hétérogénéité de maturation sur un cep. *Bulletin de l' O.I.V.* 727/728, 679-690.
- Deloire A, Carbonneau A, Federspiel B, Ojeda H, Wang Z, Costanza P. 2003. La vigne et l'eau. *Progrès agricole et viticole.* 4: 79-90.
- Di Rienzo J, Casanoves F, Balzarini M, González L, Tablada M, Robledo C. 2009. InfoStat, versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. 336p.
- Disegna E, Méndez M, Rodríguez P, Dellacassa E. 2003. Sistema de estimación de área foliar en vid (Cv. Tannat). CD ROM, 2003. INIA, Montevideo, Uruguay.
- Escalona J, Flexas J, Bota J, Medrano H. 2003. Distribution of leaf photosynthesis and transpiration within grapevine canopies under different drought conditions. *Vitis.* 42 (2): 57-64.
- Ferrer M. 2007. Efecto del clima de las regiones vitícolas de Uruguay, de las variaciones climáticas y de la interacción aportada por el microclima y la ecofisiología de los sistemas de conducción Espalier y Lyre sobre Merlot. [Tesis de Doctorado]. ENSAM. Montpellier 260p.
- Ferrer M, González-Neves G, Priore E, Montaña A, Carbonneau A. 2008. Los componentes de rendimiento, la expresión vegetativa y los indicadores fisiológicos de *Vitis vinífera* cv. Merlot en función de la arquitectura de la planta. *Revista Agrociencia.* Vol. 12 (1): 6-19.
- Flexas J, Galmés J, Gallé A, Gulías J, Pou A, Ribas-Cabro M, Tomás M, Medrano H. 2010. Improving water use efficiency in grapevines: potential physiology targets

- for biotechnological improvement. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 16: 106-121.
- González-Padierna C. 1994. Estudio ecofisiológico y agronómico de cuatro sistemas de conducción de la vid (*Vitis vinifera* L.): Cubiertas vegetales simples versus divididas. [Tesis Doctoral]. Departamento De Producción Vegetal: Fitotecnia. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 244 p.
- Katerji N, Mastrorilli M, Rana G. 2006. Analysis and improvement of water efficiency for crops cultivated in the mediterranean regions: the state of the art. *WEMED Project Report*, CIHEAM Bari, Italy, 32p.
- Katerji N, Daudet F, Carbonneau A, Ollat N. 1994. Etude à l'échelle de la plante entière du fonctionnement hydrique et photosynthétique de la vigne : comparaison des systèmes de conduite traditionnel et en lyre. *Vitis*. 33 : 197-203.
- Lebon E, Dumas V, Pieri Ph, Schultz H. 2003. Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards. CSIRO Publishing. *Functional Plant Biology*. 30: 699-710.
- Louran G, Dauzat J, Lecoq J, Lebon E. 2008. Influence of trellis system and shoot positioning on light interception and distribution in two grapevine cultivars with different architectures: an original approach based on 3D canopy modelling. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 14: 143-152.
- Matti G, Storchi P. 2001. Grapevine production efficiency as affected by trellising system. In *Compte Rendu XII GESCO*, 285-290.
- Medrano H, Bota J, Cifre J, Flexas J, Ribas-Carbó M, Gulías J. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas*. (43) 63-84

- Ojeda H, Deloire A, Wang Z, Carbonneau A. 2004. Determinación y Control del Estado Hídrico de la Vid. Efectos Morfológicos y Fisiológicos de la Restricción Hídrica en Vides. *Viticultura y Enología Profesional*. 90: 27-43.
- Orlandini S, Dalla Marta A, Mattii G. 2008. Analysis and agrometeorological modelling of grapevine responses to different trellising systems. *Vitis* 47:(2). 89-96
- Poni S, Bernizzoni F, Civardi S, Gatti M, Camin F. 2009. Performance and water-use efficiency (single-leaf vs. whole-canopy) of well-watered and half-stressed split-root Lambrusco grapevines grown in Po Valley (Italy). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129: 97–106.
- Scholander P, Hammer E, Bradstreet E, Hemmingsen A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148: 339-346.
- Schultz H. 1995. Grape canopy structure, light microclimate and photosynthesis. I: A two-dimensional model of the spatial distribution of surface area densities and leaf ages in two canopy systems. *Vitis*, 34 (4): 211-215.
- Smart R, Robinson M. 1991. Sunlight Into Wine. A handbook for winegrape canopy management. Winetitles, Adelaide. 88 pp.
- Smart R. 1985. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 36(3): 230-239.
- Smart R, Robinson M, Due G, Brien C. 1985a. Canopy microclimate modification for the cultivar Shiraz. I. Definition of canopy microclimate. *Vitis*, 24: 17-31.

Smart R, Robinson M, Due G, Brien C. 1985b. Canopy microclimate modification for the cultivar Shiraz. II. Definition of canopy microclimate. *Vitis*, 24: 119-128.

Smart R, Shaulis N, Lemon E. 1982. The effect of Concord vineyard microclimate on yield. II. The interrelations between microclimate and yield expression. *American Journal of Enology and Viticulture*, 33(2): 109-116.

Williams L, Ayars J. 2005. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132: 201-211.

Zufferey V, Murisier F, Schultz H. 2000. A model analysis of the photosynthetic response of *Vitis vinifera* L. cvs Riesling and Chasselas leaves in the field. I. Interaction of age, light and temperature. *Vitis*, 39: 19-26.

### **3. MODIFICACIONES MICROCLIMÁTICAS INDUCIDAS POR LA ARQUITECTURA LIRA Y ESPALDERA Y SUS EFECTOS SOBRE LA PRODUCCIÓN, COMPOSICIÓN Y SANIDAD DE LAS BAYAS.**

#### **3.2. RESUMEN**

Una forma de modificar el microclima en la zona de racimos es dividiendo la canopia en dos paredes de vegetación y conseguir así, una menor superposición de la vegetación en cada pared. Este trabajo se llevó a cabo en dos parcelas contiguas de la variedad Tannat con arquitectura en lira y espaldera, con idénticas técnicas de cultivo, en el sur de Uruguay, durante la temporada 2007/2008. Su objetivo fue evaluar los efectos de la arquitectura de planta sobre el microclima del racimo, rendimiento de la planta, la composición y sanidad de las bayas. La arquitectura de la planta modificó el microclima de la zona de racimos, debido a que el menor número de capas de hojas en la lira disminuyó la densidad de la canopia y aumentó tanto el nivel térmico como lumínico, con respecto a la espaldera. El rendimiento por planta fue significativamente superior para la lira, y presentó indicadores de respuesta fisiológica más cercanos a los recomendados por otros autores. En las bayas de la lira se registró potencial antociánico (ApH1) y contenido de azúcares significativamente mayores, a los registrados en la espaldera pero, no se encontraron diferencias en la acidez total ni en el pH. La incidencia de podredumbres en los racimos fue significativamente inferior en las plantas con arquitectura en lira. Para las condiciones de este ensayo, la arquitectura en lira registró un mejor desempeño fisiológico y productivo, explicado por la mejora en la exposición del follaje. Podría considerarse a la lira como una alternativa válida para obtener uvas de mayor aptitud enológica.

**Palabras claves:** *Arquitectura de planta, microclima, sanidad, composición de la uva.*

### 3.1. SUMMARY

One possible way for microclimate improvement in clusters zone is achieved by dividing the canopy into two walls and get well, less vegetation overlap on each row, greater illumination in clusters and buds zone. This work was carried out during 2007/2008 growing season in the south of Uruguay, in two adjacent var. Tannat plots, with lyre and vertical trellis plant architecture. Plants are of the same age and get identical cultural practices. Its main objective was to evaluate the effects of plant architecture on clusters microclimate, plant yield, and composition and health of berries. Plant yield was significantly higher for the lyre, and physiological response indicators were closer to those recommended. Clusters zone microclimate was strongly influenced by plant architecture, since the fewer leaves layers and better leaf area distribution in lyre architecture contributed to reduce canopy density and increase both thermal and light levels. Lyre architecture differed significantly from vertical trellis, and recorded a greater anthocyanin potential (ApH1) and sugar content in berries. In relation to total acidity and pH, no differences were found between plant architectures. The incidence of clusters rottenness was markedly lower in lyre plants. For the conditions of this study, the lyre architecture performed better in physiological and productive ways, since the improved foliage and clusters exposure. Lyre plan architecture could be considered as a valid improvement alternative to obtain higher quality winemaking grapes.

**Palabras claves:** *Trellis system, microclimate, berry health, berry composition.*

### 3.3. INTRODUCCIÓN

El microclima de la canopia incide sobre la fisiología de la planta y condiciona su producción y la calidad de la misma (Smart, 1985). El microclima de la zona de racimos está fuertemente influenciado por la arquitectura de la planta y por las técnicas de cultivo que inciden en la cantidad y distribución de la superficie foliar (Bravetti *et al.*, 2012; Ferrer, 2007; Haselgrove *et al.*, 2000; Carbonneau, 2000; Smart y Robinson, 1991; Intrieri; 1987; Smart *et al.*, 1985b; Carbonneau, 1980), como el deshojado, desfeminelado y roñado, tanto por las técnicas en sí como por el momento de su ejecución (Smart y Robinson, 1991).

La dinámica térmica diaria es diferente entre racimos expuestos parcial o totalmente a la radiación solar y aquellos sombreados durante algún momento del día (Tomasi *et al.*, 2003; Haselgrove *et al.*, 2000).

Según varios autores, (Ferrer *et al.*, 2008; Ferrer, 2007; Carbonneau y Cargnello, 2003; Carbonneau *et al.*, 1991; Smart *et al.*, 1985b; Carbonneau, 1980) una forma de mejorar el microclima en la zona de racimos se logra dividiendo la canopia en dos paredes de vegetación y conseguir así, un menor solapamiento de la vegetación en cada pared, mayor iluminación de las hojas y yemas de esa zona. Esta mayor aireación de los racimos, en muchos casos repercute en un mejor estado sanitario de los racimos (Jouvert y Archer, 2002; Champagnol, 1984).

La arquitectura de la planta y la compactación de los racimos provocan modificaciones en el microclima de la zona de los racimos y el tiempo de mojado de las bayas, lo que influye sobre la incidencia de las podredumbres (Smart y Robinson, 1991). Esto es importante en Uruguay, donde las condiciones de humedad y temperatura desde floración a cosecha son favorables para el desarrollo de podredumbres de racimo, y particularmente para la variedad Tannat de racimos muy compactos (Ferrer *et al.*, 2009).

Bayas sometidas a altos niveles de radiación y temperatura tienen menor tamaño (Deloire y Hunter, 2005; Spayd *et al.*, 2002; Bergqvist *et al.*, 2001; Price *et al.*, 1995; Crippen y Morrison, 1986), mayores niveles de sólidos solubles y menor acidez titulable (Tomasi *et al.*, 2003; Bergqvist *et al.*, 2001; Price *et al.*, 1995), menor

contenido de ácido málico (Price *et al.*, 1995), mayor contenido de antocianos (Mori *et al.*, 2007; Tomasi *et al.*, 2003; Smart *et al.*, 1985b), mayor contenido de fenoles en la cáscara (Price *et al.*, 1995) y pH más alto (Deloire y Hunter, 2005; Bergqvist *et al.*, 2001).

Smart *et al.* (1985b) estudiando el microclima de racimos en el cv. Shiraz bajo distintos sistemas de conducción, obtienen medidas de radiación extremadamente variables tanto en el tiempo como en el espacio dentro del canopia y concluyen que las canopias sombreadas de cv. Shiraz, producían mostos y vinos con más K<sup>+</sup>, pH, ácido málico y menor acidez total y menos color.

Las medidas de radiación realizadas en racimos varían en un rango de 10 a 2250  $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Los tratamientos y el vigor tienen mayor efecto en los valores altos de PAR medidos en el racimo que en los bajos; en otras palabras, las diferencias de los microclimas de las canopias se deben a la proporción de racimos exteriores (Chorti *et al.*, 2010; Spayd *et al.*, 2002; Archer y Strauss, 1989; Intrieri, 1987).

La temperatura de la baya, es probablemente el factor ambiental más importante durante su desarrollo y maduración. Los efectos de la temperatura en la composición del mosto han sido ampliamente estudiados (Tarara *et al.*, 2008), así, es reconocido el efecto que ésta tiene en el tamaño de la baya, la acidez (málica fundamentalmente pues el tartárico no parece muy afectado), pH, °Brix o la coloración de la epidermis y por tanto en el contenido de fenoles (Mori *et al.*, 2007; Coombe, 1987).

Según Carbonneau *et al.* (2000), Carbonneau (1980), el sistema de conducción permite explicar, en gran parte, las variaciones microclimáticas observadas a nivel de racimos al determinar la exposición relativa de los racimos a la radiación solar.

Este trabajo estudia algunos de esos factores para explicar las diferencias en la composición de las bayas provenientes de dos parcelas contiguas de la variedad Tannat con arquitectura en lira y espaldera, de la misma edad, e idénticos manejos culturales, en el sur de Uruguay. El objetivo fue determinar las diferencias microclimáticas térmicas, lumínicas e higrométricas inducidas por la arquitectura de planta lira y espaldera para interpretar su relación con la producción, composición y sanidad de las bayas.

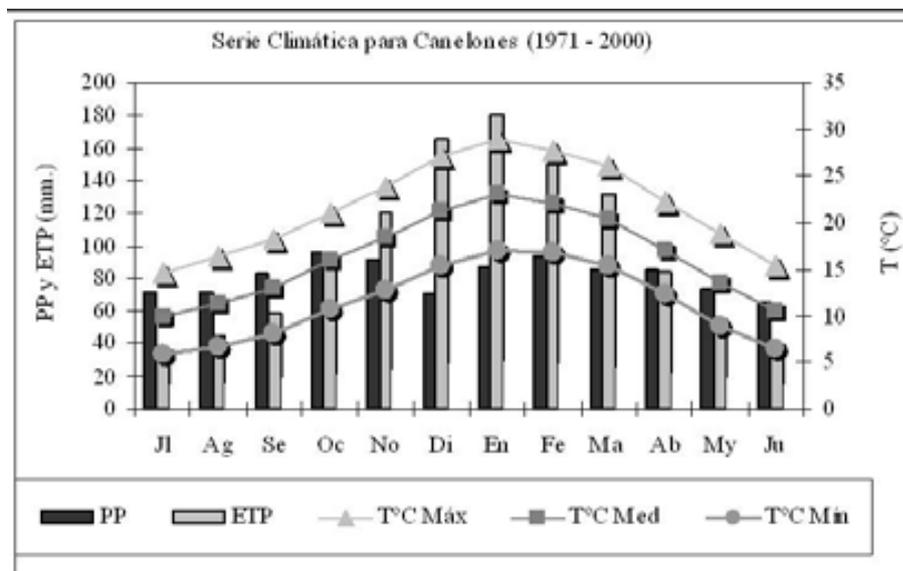
### 3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.4.1. Condiciones del ensayo

El ensayo fue realizado durante la temporada 2007-2008 en un viñedo comercial de la variedad Tannat, ubicado en la zona sur de Uruguay (34°34' latitud sur; 56°15' longitud oeste).

Las parcelas de observación estaban representadas por dos viñedos contiguos de la misma edad (19 años), injertados sobre SO4, con dos sistemas de conducción: lira abierta (3,0 m x 1,0 m) y espaldera (2,5 mx 1,1m), con igual número de yemas por planta (18). Los suelos fueron Brunosoles éutricos profundos, con una lámina transpirable de 135 milímetros. No existieron limitaciones edáficas ni existió ningún gradiente por el cual se viera beneficiada o perjudicada alguna arquitectura de planta. Todas las técnicas de cultivo (abonado, aplicaciones fitosanitarias, mantenimiento del suelo) se aplicaron por igual en ambas parcelas de ensayo.

#### 3.4.2. Características mesoclimáticas de la zona ensayo



**Figura 1.** Caracterización climática para la zona de Canelones, Precipitaciones (PP), Evapotranspiración potencial (ETP), Temperatura Máxima, Mínima, Media (TMáx, TMín, TMed). (Fuente: DNM, 1961-2000)

Los registros climáticos se obtuvieron de estación meteorológica de INIA Las Brujas, que cumple con las normas OMM y está ubicada a 10km del ensayo.

Se realizaron balances hídricos simultáneos en cada parcela considerando la evolución de los coeficientes de cultivo ( $kc$ ) de ambas arquitecturas de planta según la metodología propuesta por (Williams y Ayars, 2005).

El Potencial Hídrico Foliar de base ( $\psi_{Fb}$ ), (entre las 3:30 y 4:30 hs) se determinó mediante la metodología de la cámara de presión (Scholander *et al.*, 1965) en floración, envero y cosecha, sobre una muestra de 10 hojas sanas este y oeste, totalmente desarrolladas e insertas en brotes fértiles. Se utilizó una cámara de presión PMS, modelo 600.

#### **3.4.3. Determinación de la posición de los racimos en la canopia**

En envero, se determinaron sobre 20 plantas para cada arquitectura: Índice de Área Foliar (IAF) (Disegna *et al.*, 2003); Superficie foliar externa (SA), por aproximación a figuras geométricas fáciles de evaluar; y como Índice de densidad de la vegetación se utilizó IAF/SA. La determinación de la posición relativa de los órganos aéreos, así como el número de capas de hojas (NCH) y porcentaje de hojas y racimos que están expuestos fueron realizados por el método de *Point Quadrat* (Smart *et al.*, 1982).

#### **3.4.4. Determinaciones microclimáticas**

La intensidad de radiación incidente sobre los racimos se midió con un medidor Quantum LI-COR, LI-185A. El sensor se ubicó sobre la cara de los racimos respetando su orientación y exposición original, sobre 100 racimos elegidos aleatoriamente para cada arquitectura de planta, luego de que alcanzaron su máxima expansión foliar.

Se registraron durante el ciclo del cultivo, porcentaje de humedad relativa (%HR) y Temperatura (T) de la canopia, mediante datalogger Hobo Pro v2, instalados en el interior de la canopia a la altura del alambre de poda.

La intensidad de radiación media en el interior de la canopia se determinó adicionalmente con sensores de luz y temperatura Hobo Data Logger UA-002-64.

Para el seguimiento de la temperatura de los racimos se colocaron 3 sensores registradores Kooltrak, en el interior de los racimos en cada arquitectura de planta.

La integral térmica al nivel de los racimos se realizó sumando todos los registros de temperatura que superaron el umbral de 10 °C, 30 °C, 35 °C, y 40 °C, en cada arquitectura de planta.

La humedad a la que estuvieron sometidos los racimos se comparó mediante la contabilización de los períodos en horas diarias con HR superior a 90% al interior de la canopia.

#### **3.4.5. Análisis de los indicadores de respuesta fisiológica**

Se calculó la relación entre la Superficie Foliar Expuesta potencial (SFEp) y el rendimiento, expresada como  $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$  de uva producida.

La SFEp se determinó utilizando la metodología propuesta por Carbonneau (1995).

El rendimiento final se midió en 30 plantas por cada arquitectura de planta, donde se cuantificaron el número total de racimos y número de racimos afectados por podredumbres por planta, se utilizó un criterio de selección visual, donde cualquier racimo, que presentaba al menos un 10% de sus bayas afectadas y con presencia del micelios característicos (English *et al.*, 1989), se separó de los racimos aptos para la vinificación.

#### **3.4.6. Análisis de la composición de las bayas**

El seguimiento de la maduración de la uva se realizó a partir de enero y hasta el momento de la cosecha. Se extrajeron muestras de 250 bayas cortando trozos de racimos de 3 a 5 bayas tomadas según la metodología propuesta por Carbonneau *et al.* (1991). Los muestreos se efectuaron una vez por semana y se determinó por duplicado, Los contenidos de azúcares fueron determinados por refractometría con un refractómetro modelo Atago N1, la acidez total por volumetría y el pH por potenciometría con un aparato Hanna modelo H18521 (Hanna Inst., Italia). El último muestreo se realizó el día de la cosecha, que en ambos casos fue efectuada

considerando la relación entre las concentraciones de azúcares y la acidez total, así como el pH de los mostos.

A cada muestra se la fraccionó en dos partes, destinando la mitad de las bayas a los análisis clásicos y la otra mitad a la estimación del potencial polifenólico.

Los análisis de potencial total en antocianos (ApH1), y de potencial en antocianos extraíbles (ApH3,2) se realizaron empleando el método propuesto por Glories y Augustin (1993), incorporando modificaciones en los cálculos, de acuerdo con González-Neves (2005). Se realizaron a partir de dos macerados de la uva entera triturada, realizadas durante 4 horas con soluciones de pH 1 y 3,2 respectivamente. Los macerados fueron filtrados, centrifugados y analizados por duplicado con un espectrofotómetro Shimadzu UV-1240 MINI (Shimadzu Corp., Japón), utilizando celdas de cuarzo (para las medidas en el ultravioleta) y de vidrio, de 1 cm de recorrido óptico. La riqueza polifenólica se determinó midiendo la absorbancia a 280 nm, mientras que los antocianos fueron analizados según Ribéreau-Gayon y Stonestreet, citados por González-Neves *et al.* (2010).

Los índices fueron calculados considerando las diluciones respectivas, de acuerdo con González-Neves (2005) y el porcentaje de antocianos extraíbles (EA%), según lo propuesto por Glories y Augustin (1993).

#### **3.4.7. Análisis estadístico**

Los datos obtenidos fueron analizados mediante Análisis de Varianza, con una probabilidad de error ( $p < 0,05$ ) con el paquete estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2009).

### **3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.5.1. Descripción de las canopias y posición de los racimos**

A pesar de que el número de yemas fue homogeneizado para ambas arquitecturas de planta, se determinaron importantes diferencias en la cantidad y arreglo de las hojas lo que concuerda con los resultados publicados por Ferrer *et al.* (2008) y Louran *et al.* (2008).

La arquitectura de planta modificó la cantidad de capas de hojas, la densidad de la canopia y por lo tanto la posición y exposición de los racimos (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Efectos de las arquitecturas, lira y espaldera sobre las dimensiones y densidad de la canopia. Índice de Área Foliar (IAF), Superficie foliar externa (SA), Superficie Foliar Expuesta potencial (SFEp).

| Indicador                                   | ARQUITECTURA |           |
|---|--------------|-----------|
|   | Lira         | Espaldera |
| <b>IAF</b>                                  | 3,31**       | 4,17**    |
| <b>SA (m<sup>2</sup>.pl<sup>-1</sup>)</b>   | 2,83*        | 2,16*     |
| <b>SFEp (m<sup>2</sup>.pl<sup>-1</sup>)</b> | 2,96**       | 2,03**    |
| <b>SA/IAF</b>                               | 1,17**       | 1,74**    |
| <b>N° capas de hojas</b>                    | 3,9**        | 8,7**     |
| <b>Racimos expuestos (%)</b>                | 60           | 15        |

\*, \*\*, Indican diferencias significativas al  $p \leq 0,05$  y  $p \leq 0,01$ , respectivamente

En acuerdo con Ferrer *et al.* (2008), Ferrer (2007), Carbonneau y Cargnello (2003), Smart y Robinson (1991), Smart (1985) y Carbonneau (1980), la superficie foliar externa fue incrementada fuertemente por la división de la canopia en dos planos de la lira con respecto a la espaldera. Si bien la espaldera cuenta con mayor IAF, éste no contribuyó a aumentar el porcentaje de hojas expuestas a la radiación directa del sol. El índice de densidad de la canopia SA/IAF que representa el grado de solapamiento de las hojas, mostró en la espaldera, valores significativamente más altos que los de la lira, lo que concuerda con Bravetti *et al.* (2012) y Smart *et al.* (1985a).

La espaldera contó con mayor número de capas de hojas y los racimos se ubicaron en la zona baja y central de la canopia, resultando en un menor porcentaje de racimos exteriores con respecto a la lira (Cuadro 1). La canopia de la espaldera mostró valores por encima del rango óptimo (1 – 1,5) citado por Smart y Robinson (1991),

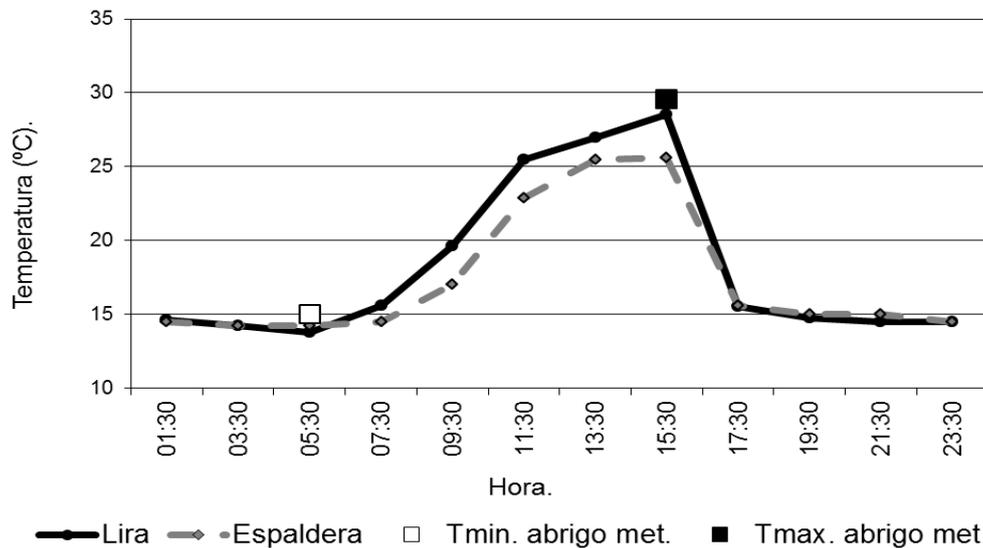
indicando que estaría más densa de lo recomendado (Cuadro 1). Asimismo Reynolds *et al.* (1994), trabajando con el cv. Pinot Noir en British Columbia (Canadá) mostraron como normal para esa región valores de 2,8 y 3,1 capas de hojas para una espaldera conducida en cordón bilateral similar a la evaluada en este ensayo. Tanto el número de capas de hojas (3,9), como el índice de densidad de la canopia (1,17) para la lira revelaron valores al rango recomendado en ese ensayo, y con un mayor porcentaje de racimos expuestos (60%). Según varios autores, (Ferrer *et al.* 2008, Ferrer 2007, Carbonneau y Cargnello 2003, Carbonneau *et al.* 1991, Smart *et al.* 1985b, Carbonneau 1980) este diferente grado de porosidad de la canopia y de exposición a la radiación solar de los órganos aéreos de la planta, serían los principales factores para mejorar el microclima en la zona de los racimos.

### **3.5.2. Condiciones microclimáticas**

Las arquitecturas de planta lira y espaldera mostraron comportamientos térmicos diferentes a nivel de los racimos, durante la maduración de las bayas. Se midieron temperaturas mayores en la lira durante todo el día, asemejándose a las de espaldera en las últimas horas de la tarde. Por la noche, las temperaturas registradas se igualaron hasta las primeras horas de la mañana del día siguiente, similares resultados fueron obtenidos por Morrison y Noble (1990) con el cv. Cabernet sauvignon. (Figura 2).

El comportamiento térmico descrito coincidió además con lo reportado por Spayd *et al.* (2002) y Smart *et al.* (1985b); pero fue contrario a lo reportado por Ferrer (2007), donde se muestra un comportamiento térmico inverso entre las dos arquitecturas de planta. Se observaron amplitudes térmicas mayor y menor para la lira y espaldera respectivamente, a la registrada en el abrigo meteorológico (13°C). Millar (1972) coincidió con estas diferencias comparando racimos expuestos y sombreados, y a su vez mostró que la temperatura del aire durante el día siempre fue intermedia entre racimos expuestos y sombreados. En este estudio, la temperatura nocturna del aire (en Abrigo Meteorológico) fue superior a la temperatura a nivel de los racimos, por estar instalado a mayor altura. Debido a la pérdida de radiación terrestre durante la noche, el aire más cercano a la superficie del suelo es el más frío,

fenómeno conocido como inversión térmica (Juan Chiara, comunicación personal, 5 de octubre de 2012).



**Figura 2.** Evolución diaria\* de la temperatura media (de tres sensores) en los racimos según arquitectura de planta y temperaturas máxima y mínimas en el abrigo meteorológico. \*Corresponde al día de mayor temperatura registrada en el abrigo meteorológico durante la maduración (07/02/2008).

Comparando ambas arquitecturas de planta se observa que las temperaturas durante la noche no difirieron, pero las temperaturas durante el día fueron siempre mayores en la lira. La mayor temperatura a nivel de racimo en la lira, estaría explicada por el mayor grado de exposición a la radiación solar de los racimos, como es reportado por varios autores (Tomasi *et al.*, 2003; Haselgrove *et al.*, 2000; Archer y Strauss, 1989; Crippen y Morrison, 1986).

Las temperaturas máximas a menudo excedieron el rango crítico de 30 °C - 35 °C para el funcionamiento fisiológico de la planta (Haselgrove *et al.*, 2000; Archer y Strauss, 1989; Champagnol, 1984). Además, debería tenerse en cuenta que la duración del intervalo diario de dichas temperaturas excesivas es más importante que el registro térmico alcanzado (Spayd *et al.*, 2002). Se podría sugerir según Mori *et al.* (2007) y Bergqvist *et al.* (2001), que en las uvas de la lira se redujo la velocidad de síntesis de antocianos o que sufrieron alguna degradación, además de haberse

disminuido el tenor de los ácidos por la respiración (Haselgrove *et al.*, 2000; Coombe, 1987; Smart *et al.*, 1985b).

**Cuadro 2.** Período (Horas/día) donde se superó un umbral térmico según arquitectura, en la temporada 2007-2008. *Durante la primera década de la maduración (desde 25/1/2008 al 05/02/2008).*

| ARQUITECTURA     | >10°C                | >30°C             | >35°C             | >40°C      |
|------------------|----------------------|-------------------|-------------------|------------|
| <b>Lira</b>      | 23,5<br>(23,3; 23,7) | 6,1<br>(5,8; 6,4) | 3,0<br>(2,8; 3,2) | 0<br>( - ) |
| <b>Espaldera</b> | 23,6<br>(23,2; 23,9) | 4,0<br>(3,5; 4,5) | 2,1<br>(1,9; 2,3) | 0<br>( - ) |

*Valores promedios de tres sensores con límites inferior y superior de los intervalos de confianza (95%)*

Al igual que en este trabajo, Spayd *et al.* (2002) coincidieron en que los racimos expuestos sufrieron mayor cantidad de horas con temperaturas superiores al óptimo (25 a 30°C) reportado por González-Neves (2005).

El número de horas por día en los cuales se superaron determinados umbrales de temperatura de base 10°C, 30°C, 35°C, 40°C, fueron mayores en la lira, pero no se encontraron diferencias en el intervalo con base 40°C por no haberse alcanzado esa temperatura en ningún momento durante el transcurso de esa semana de la maduración (Cuadro 2). Estos valores obtenidos son similares a los reportados por Spayd *et al.* (2002).

La llegada de luz a los racimos fue afectada por las diferencias en el grado de exposición de los mismos, lo que concuerda con (Ferrer, 2007; Haselgrove *et al.*, 2000; Crippen y Morrison, 1986; Smart *et al.*, 1985a) (Cuadro 3).

Como se esperaba, no se encontraron diferencias significativas en el PAR ambiental entre las dos parcelas del ensayo, ya que éste fue determinado a la misma hora del día para las dos arquitecturas de planta.

**Cuadro 3.** Microclima lumínico de los racimos según arquitectura, lira y espaldera.

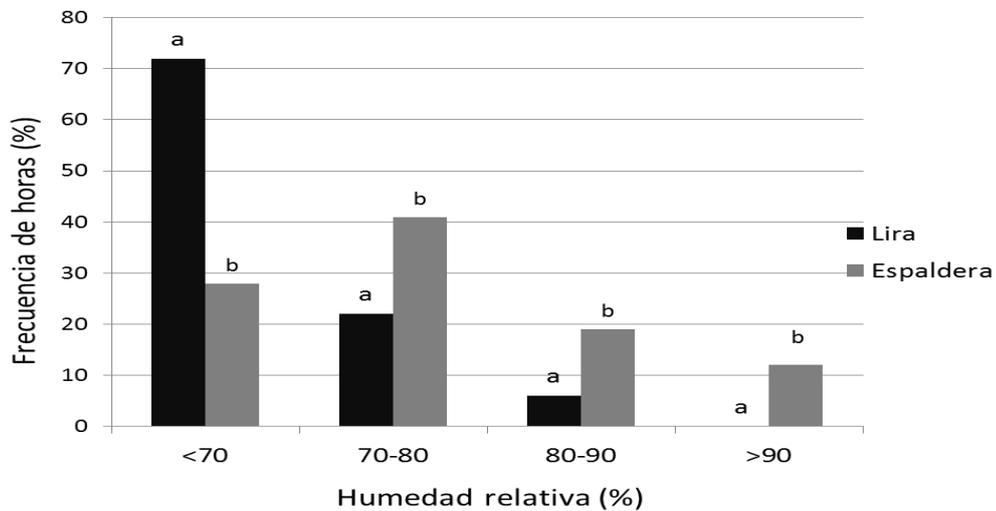
| ARQUITECTURA     | PAR ambiente<br>$\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ | PAR racimos<br>$\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ | Intercepción<br>% |
|------------------|---|--|-------------------|
| <b>Lira</b>      | 1860 ns   | 975**  | 52,4              |
| <b>Espaldera</b> | 1868 ns   | 181**  | 9,7               |

\*, \*\*, ns. Indican significancia a  $p\leq 0,05$ ,  $p\leq 0,01$  y no significativo, respectivamente.

La espaldera tuvo el menor porcentaje de racimos expuestos, lo que ocasionó una menor intercepción de luz. Solamente un 10 % el PAR ambiental alcanza a los racimos de la espaldera (Cuadro 3). Según Archer y Strauss (1989) e Intrieri (1987), estas diferencias se explican por la proporción de racimos interiores para cada arquitectura de planta pues, a mayor número de capas de hojas, la cantidad de luz que atraviesa la estructura va a ser menor (Smart y Robinson, 1991; Smart *et al.*, 1985b). La cantidad de luz recibida junto a la temperatura de los racimos están muy relacionadas a la síntesis de antocianos, según es reportado entre otros por Chorti *et al.* (2010), Bergqvist *et al.* (2001), Haselgrove *et al.* (2000), Intrieri (1987) y Kliewer (1970).

En la Figura 3, se presenta el efecto de la arquitectura de planta sobre la humedad relativa del aire medida dentro de la canopia. La humedad relativa del interior de la canopia de la lira fue menor a la determinada para la espaldera, lo que concuerda con reportes previos de Ferrer *et al.* (2009), Smart *et al.* (1985a).

Según Smart y Robinson (1991), durante el día, la transpiración de las hojas podría hacer aumentar la humedad relativa dentro de canopias densas. Si por el contrario la canopia es abierta y bien ventilada como en la lira de este experimento, se estaría favoreciendo la disipación del vapor de agua generado, y sobretodo aumentando el nivel térmico de la superficie de las hojas y del aire adyacente, haciendo aumentar el déficit de presión de vapor, lo que concuerda con lo reportado por Dalla Marta *et al.* (2005).



**Figura 3.** Porcentaje de horas según rango de humedad relativa dentro de la canopia, según arquitectura de planta, lira y espaldera. (a, b, Indican diferencias significativas al  $p \leq 0,05$  y  $p \leq 0,01$ , respectivamente).

Se observa para la espaldera –arquitectura de canopia densa- el porcentaje de horas durante el cual la humedad relativa sobrepasa el 70%, es muy superior al determinado para la lira. Autores como Ferrer *et al.* (2009), Jouvert y Archer (2002) y Smart y Robinson (1991), Champagnol (1984), han destacado el efecto de una alta humedad relativa en la zona de los racimos y del período de hoja mojada, en el establecimiento y diseminación de enfermedades a hongos.

### **3.5.3. Análisis de los indicadores de respuesta fisiológica**

La arquitectura de planta influye muy significativamente sobre el rendimiento por planta, el número y peso de racimo y el peso de poda. El rendimiento final de uva producida fue significativamente superior en las plantas con arquitectura en lira (Cuadro 4). Esta mayor productividad de la lira ha sido reportada previamente por Ferrer *et al.* (2008), Orlandini *et al.* (2008), Ferrer (2007) y Archer y Strauss (1989).

Teniendo en cuenta que en la poda de invierno se dejó el mismo número de yemas por planta en ambos sistemas, este número superior de racimos puede ser explicado por una fertilidad mayor de las yemas de la arquitectura en lira, consecuencia de

condiciones de iluminación más favorables para el proceso de inducción en el año anterior, según ha sido explicado previamente por otros autores (Ferrer, 2007; Katerji *et al.*, 1994; Smart y Robinson, 1991; Carbonneau, 1980).

La mayor superficie foliar externa (SA) que posee la lira es favorable a su capacidad de asimilación de carbono que será destinado en parte a la acumulación en los racimos tal como fue expresado por Ferrer (2007), Carbonneau y Cargnello (2003), Tomasi *et al.* (2003), Zufferey *et al.* (2000), Carbonneau (1980).

**Cuadro 4.** Crecimiento vegetativo, rendimiento y los indicadores fisiológicos, según arquitectura, lira y espaldera.

| Indicador                                       | ARQUITECTURA |           |
|---|--------------|-----------|
|   | Lira         | Espaldera |
| <b>Brotos por planta</b>                        | 18,2 ns      | 17,6 ns   |
| <b>Peso madera de poda (Kg.pl<sup>-1</sup>)</b> | 0,432*       | 0,615*    |
| <b>Nº racimos por planta</b>                    | 30,2*        | 25*       |
| <b>Peso de racimo (Kg)</b>                      | 0,440*       | 0,356*    |
| <b>Producción (Kg.pl<sup>-1</sup>)</b>          | 13,64**      | 9,17**    |
| <b>Relación SFep/Producción</b>                 | 0,22 ns      | 0,22 ns   |

\*, \*\*, ns. Indican diferencias significativas al  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$  y no significativo, respectivamente.

La relación SFep/Producción (expresada como  $m^2 \cdot Kg^{-1}$  de uva producida), es un indicador de la relación Fuente/Fosa de la planta. Para Carbonneau (1995), esta relación debería aproximarse a valores entre 0,4 y 0,7  $m^2$  de hojas expuestas a la radiación solar por cada Kg de uva, para lograr plantas equilibradas desde el punto de vista productivo. Los valores de este índice tanto para la lira como para la espaldera (Cuadro 4) son inferiores a los recomendados. El aumento de rendimiento en la lira no significó una disminución de esta relación, gracias a la mayor SFep en dicha arquitectura. Los valores observados en este ensayo para ambas arquitecturas de planta están muy por debajo de los valores reportados por Ferrer *et al.* (2008) y

estarían indicando que los rendimientos fueron demasiado elevados para la capacidad de producción de asimilados. A pesar de que la espaldera contó con un mayor IAF, el arreglo espacial de sus hojas aumentó el solapamiento y la densidad de la canopia, no contribuyó a lograr indicadores de equilibrio en la relación Fuente/Fosa de las plantas.

#### **3.5.4. Composición de las bayas**

La arquitectura en lira, aún con una mayor producción, logró un contenido de azúcares significativamente superior al de las plantas conducidas en espaldera (Cuadro 5). No se registraron diferencias significativas en la acidez total ni en el pH. Diversos autores tales como Ferrer (2007), Belmonte (2006), Carbonneau y Cargnello (2003), Smart y Robinson (1991), destacan el importante papel de la relación entre SA con el rendimiento y la composición final de los mostos (Cuadro 4). Este ensayo muestra la importancia del aumento de la SFep por la utilización de una pared de hojas dividida o en volumen para lograr un incremento en la relación Fuente/Fosa y mejorar la partición de asimilados hacia los racimos, tal como se reportan en Ferrer *et al.* (2008) y Katerji *et al.* (1994).

La acidez total –contrariamente a lo esperado- no fue afectada significativamente por la modificación en el régimen térmico de los racimos inducida por arquitectura de planta (Cuadro 5). Según Tomasi *et al.* (2003), Bergqvist *et al.* (2001), Price *et al.* (1995), el aumento de la temperatura registrado produciría un aumento en la tasa de respiración del ácido málico (sustrato muy activo en la respiración). Según (Mattheus y Kriedeman (2005) y Bergqvist *et al.* (2001), la mayor extensión de los períodos en los cuales los racimos de la lira están expuestos a temperaturas mayores a 30 °C aumentarían el catabolismo del ácido málico.

Asimismo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de pH de las bayas a cosecha ni se alcanzaron los valores prefijados como de madurez tecnológica para este ensayo (Cuadro 5). Estos resultados no concuerdan con lo propuesto por Smart *et al.* (1985b), quienes demostraron que, al aumentar la exposición de los racimos a la radiación solar, el pH aumenta.

Según el contenido hídrico del suelo, se detectaron dos fases con condiciones contrastantes. La primera fase con restricción hídrica abarcó el período comprendido entre floración y mediados de maduración, donde el contenido de agua bajó hasta 47,2mm, (Fracción de agua transpirable en el suelo) FTSW= 0,35. La segunda fase, con ausencia de restricción hídrica desde mediados de maduración hasta la cosecha, donde el contenido de agua estimado fue de 108mm, FSTW = 0,80.

**Cuadro 5.** Composición de los mostos según arquitectura de planta, lira y espaldera.

|  |         |         |
|--|---------|---------|
| <b>Potencial en Antocianos Totales</b>     | 1523*   | 824*    |
| <b>(ApH1) (mg EMG . L<sup>-1</sup>)</b>    | 636,5*  | 406,5*  |
| <b>Potencial en Antocianos extraíbles</b>  |         |         |
| <b>(ApH3,2) (mg EMG . L<sup>-1</sup>)</b>  |         |         |
| <b>Extractibilidad de Antocianos (EA%)</b> | 58,3    | 50,7    |
| <b>Acidez total (g/L)</b>                  | 4,9 ns  | 4,9 ns  |
| <b>pH</b>                                  | 3,19 ns | 3,24 ns |

\*, \*\*, ns. Indican diferencias significativas al  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$  y no significativo, respectivamente.

Plantas sometidas a valores de potencial hídrico foliar de base de -0,5 Mpa, considerado un estrés hídrico severo, durante la maduración, provoca su bloqueo y disminuye la acumulación de azúcares con respecto a individuos testigo sin restricción hídrica (Roby *et al.*, 2004). Teniendo en cuenta esta referencia, podríamos explicar estas aparentes contradicciones, ya que durante la fase de crecimiento vegetativo y la primera mitad del período de maduración se produjeron importantes episodios de abatimiento de la lámina de agua del suelo, que hizo llegar al estado hídrico de las plantas, muy próximo a este umbral (-0,4 MPa y -0,2 MPa para la lira y espaldera respectivamente).

Las condiciones meteorológicas de este año no permitieron alcanzar la madurez tecnológica según los indicadores fijados en este estudio, en particular el pH para ninguna de las dos arquitecturas de planta.

La concentración de antocianos totales fue superior en las bayas de la lira, lo que concuerda con resultados de Ferrer (2007), González-Neves *et al.* (2006) y Carbonneau (1996). Según Mori *et al.* (2007) y Spayd *et al.* (2002), las temperaturas altas (35 °C) reducen los contenidos en antocianos en comparación con temperaturas de 25 °C.

La mayor cantidad de horas con temperaturas superiores a 35°C registradas en la lira con respecto a la espaldera (Cuadro 2) que modifican la relación entre las tasas de síntesis y degradación, no explicarían las diferencias halladas en la concentración de antocianos totales.

Si bien podría existir un efecto positivo de la cantidad de luz recibida por los racimos sobre la síntesis de antocianos, según es reportes de Chorti *et al.* (2010), Bergqvist *et al.* (2001), Intrieri (1987), Kliewer (1970), estas diferencias podrían deberse a los diferentes niveles de restricción hídrica a los que estuvieron sometidas las plantas a lo largo de la temporada.

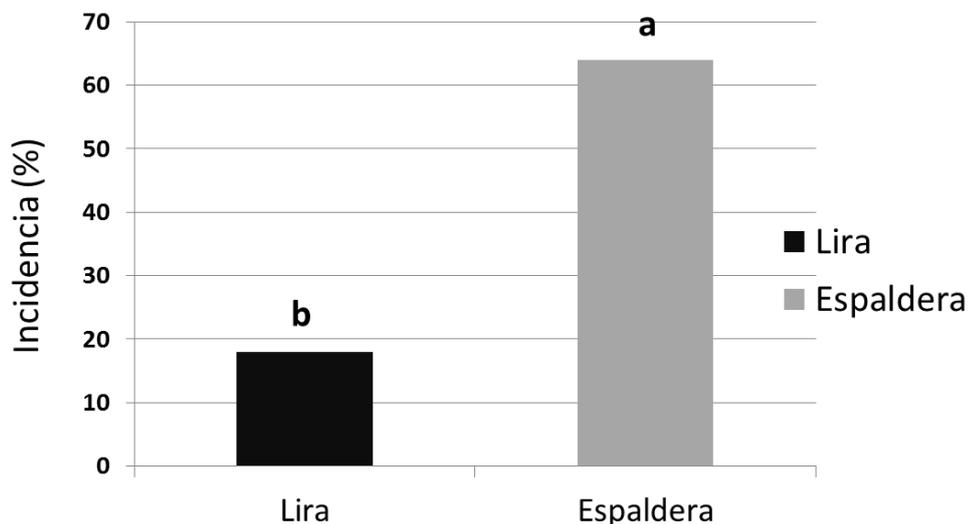
El estado hídrico fue diferente entre las dos arquitecturas (-0,4 MPa y -0,2 MPa para la lira y espaldera respectivamente) desde la floración y durante la fase de crecimiento herbáceo de las bayas, hasta la primera mitad del período de maduración. Según Ojeda (2007), Ojeda *et al.* (2002) en variedades tintas, valores entre -0,4 y -0,6 MPa son ideales para favorecer la síntesis de antocianos y aromas. La mayor concentración de antocianos en la lira podría deberse a esta situación hídrica diferencial inducida por la arquitectura de planta.

González-Neves *et al.* (2010) realizan un estudio plurianual (2001-2004) sobre el potencial polifenólico en uvas de la variedad Tannat, donde se deja en claro el importante efecto de las condiciones agrometeorológicas del año en la composición final de las bayas. Los valores de Potencial en Antocianos totales (ApH1) presentados en dicho trabajo oscilan para las espalderas evaluadas entre 1395 y 3005 (mg EMG . L<sup>-1</sup>); y 1284 y 4086 (mg EMG . L<sup>-1</sup>) para las liras. Tomando a estos valores de la región como punto de comparación para los obtenidos en este trabajo, puede inferirse que las condiciones generales de maduración de 2007-2008 no fueron favorables, dando como resultado valores de Potencial en Antocianos totales

cercanos al límite inferior del rango de variación registrado por González-Neves *et al.* (2010), incluso muy inferiores como es el caso de las uvas de la espaldera.

### 3.5.5. Sanidad de los racimos

La incidencia de podredumbres fue significativamente superior en la espaldera con respecto a la lira (Figura 4), lo que coincide con Ferrer *et al* (2009), que reportan un efecto significativo de las arquitecturas de planta sobre la incidencia de podredumbres de racimos en la variedad Tannat.



**Figura 4.** Incidencia de podredumbres de racimos expresada en porcentaje, según lira y espaldera. *Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).*

La humedad relativa es uno de los factores meteorológicos más importantes en el desarrollo de podredumbres de racimo según reportan Smart y Robinson (1991), ya que se encuentra en relación estrecha con el período de hoja mojada (Della Marta *et al.*, 2005). En presencia de agua libre o humedad relativa superior al 90% y con temperaturas de 20 a 24 ° C a partir del envero, se favorece la penetración de los tubos germinativos de los hongos a la baya (Broome *et al.*, 1995).

La arquitectura de planta modificó el intercambio de agua y energía dentro de la canopia determinando períodos de mayor humedad relativa en el aire dentro de la espaldera (Figura 3). La menor incidencia de podredumbres registrado en la lira, podría explicarse por la mayor exposición de los racimos a la radiación solar que hizo aumentar la temperatura de la superficie de las bayas a una velocidad mayor por las mañanas (Figura 2), disminuyéndose así el período con presencia de rocío sobre las bayas.

### **3.6. CONCLUSIONES**

La arquitectura de planta modificó el microclima de los racimos y la producción de uva, tanto en forma cuantitativa como cualitativa.

La influencia más clara de la arquitectura de planta sobre la composición de las uvas, fue sobre la acumulación de azúcares y el potencial en antocianos totales.

Las diferencias halladas en la composición de las bayas reflejan una compleja interacción de factores, donde se hace difícil la individualización de sus efectos. La relación entre el arreglo de la superficie foliar con el rendimiento, el estado hídrico de la planta y el microclima de los racimos, tomarían un rol principal.

El empleo de una arquitectura de canopia dividida como la lira, modificó las condiciones higrométricas en la zona de los racimos, lo que se tradujo en una disminución de la incidencia de podredumbres.

La arquitectura de planta en lira tuvo un mejor desempeño en la mayoría de los indicadores evaluados para las condiciones agrometeorológicas del año de ensayo, que no permitieron alcanzar la madurez tecnológica según los indicadores fijados en este estudio y se convirtió en una buena alternativa de manejo para aumentar la aptitud enológica de las uvas.

### **Agradecimientos**

Se agradece especialmente al Ing. Agr. Gustavo Blumetto y al Tec. Enol. Luis Púa, ambos de Establecimiento Juanicó S.A., por su paciencia y su atento cuidado a las parcelas en que se realizó este ensayo.

### 3.7. BIBLIOGRAFÍA

- Archer E, Strauss H. 1989. Effect of Shading on the performance of *Vitis vinífera* L. cv. Cabernet Sauvignon. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 10(2): 74-77.
- Belmonte M. 2006. Efecto del manejo de riego y de la canopia en las relaciones hídricas de la planta, las características de la baya y la productividad en *Vitis vinifera* cv. Cabernet sauvignon. *Revista Enología*, 12(1): 16-26.
- 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.
- Bravetti B, Lanari V, Manni E, Silvestroni O. 2012. Canopy density modification and crop control strategies on “Montepulciano” (*Vitis vinífera* L). *Acta Horticulturae*, (ISHS) 931: 331-337.
- Broome J, English J, Marois J, Latorre A, Aviles J. 1995. Development of an Infection Model for Botrytis BunchRot of Grapes based on wetness duration and temperature. *Phytopatology*, 85(1) : 97-102
- Carbonneau A. 1996: General relationship within the whole-plant: Examples of the influence of vigour status, crop load and canopy exposure on the sink “berry maturation” for the grapevine. *Acta Horticulturae*, 427: 99-118.
- Carbonneau A. 1995. La surface foliaire exposée potentielle. Guide pour sa mesure. *Le Progrès Agricole et Viticole*, 112 (9): 204-212.

- Carbonneau A. 1980. Recherche sur les systèmes de conduite de la vigne: essai de maîtrise du microclimat et de la plante entière pour produire économiquement du raisin de qualité. [Tesis Doctoral] Universidad de Burdeos II. Ed. INRA. 235 pp.
- Carbonneau A, Cargnello G. 2003. Architectures de la vigne et systèmes de conduite. La Vigne. France. 187p.
- Carbonneau A, Lebon E, Mabrouk H, Sinoquet H. 2000. Interactions « Canopy shape x vigour level » : Consequences on architecture and microclimate of the grape. Proceedings of the V Symposium on grapevine Physiology. Ed. B.A. Bravdo. *Acta Horticulturae*, 526: 91-105.
- Carbonneau A, Moueix A, Leclair N, Renoux J. 1991. Proposition d'une méthode de prélèvement de raisins à partir de l'analyse de l'hétérogénéité de maturation sur un cep. *Bulletin de l' O.I.V*, 727/728, 679-690.
- Coombe B. 1987. Influence of temperature on composition and quality of grapes. *Acta Horticulturae*, 206: 23-47.
- Crippen D, Morrison J. 1986. The effects of sun exposure on the compositional development of Cabernet Sauvignon berries. *American Journal of Enology and Viticulture*, 37: 235-242.
- Champagnol, F. 1984. Elements de Physiologie de la vigne et de la viticulture generale. B.P. 13 Prades-le-Lez, 34980 Saint-Gely-du-Fesc, France. 361p.
- Chorti E, Guidoni S, Ferrandino A, Novello V. 2010. Effect of different cluster sunlight exposure levels on ripening and anthocyanin accumulation in Nebbiolo grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61(1): 23-30.

- Dalla Marta A, Magarey R, Orlandini S. 2005. Modelling leaf wetness duration and downy mildew simulation on grapevine in Italy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132: 84–95.
- Deloire A, Hunter J. 2005. Microclimat des grappes et maturation du raisin. *Le Progrès Agricole et Viticole*, 122: 151 – 157.
- Di Rienzo J, Casanoves F, Balzarini M, González L, Tablada M, Robledo C. 2009. InfoStat, versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. 336p.
- Disegna E, Méndez M, Rodríguez P, Dellacassa E. 2003. Sistema de estimación de área foliar en vid (Cv. Tannat). CD ROM, 2003. INIA, Montevideo, Uruguay.
- English J, Thomas C, Marois J, Gubler W. 1989. Microclimates of grapevine canopies associated with leaf removal and control of Botrytis bunch rot. *Phytopathology*, 79: 395-401.
- Ferrer M. 2007. Effet du climat des régions viticoles de l'Uruguay, des variations climatiques et de l'interaction apportée par le microclimat et l'écophysiologie des systèmes de conduite Espalier et Lyre sur Merlot. [Tesis de Doctorado]. ENSAM. Montpellier. France. 260p.
- Ferrer M, Camussi G, González-Neves G, Echeverria G, Montaña A, Carbonneau A. 2009. Condiciones predisponentes para las podredumbres de racimo: clima, variedad y técnicas de cultivo. *Revista Enología*, 4 (2): 1-10.
- Ferrer M, González-Neves G, Priore E, Montaña A, Carbonneau A. 2008. Los componentes de rendimiento, la expresión vegetativa y los indicadores fisiológicos de *vitis vinífera* cv. Merlot en función de la arquitectura de la planta. *Revista Agrociencia*, Vol. 12 (1): 6-19.

- Flexas J, Galmés J, Gallé A, Gulías J, Pou A, Ribas-Cabro M, Tomás M, Medrano H. 2010. Improving water use efficiency in grapevines: potential physiology targets for biotechnological improvement. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16: 106-121.
- Glories Y, Augustin M. 1993. Maturité phénolique du raisin, conséquences technologiques: application aux millésimes 1991 et 1992. In: C. R. Colloque Journée Techn. CIVB, Bordeaux. pp. 56-61.
- González-Neves G. 2005. Etude de la composition polyphénolique des raisins et des vins des cépages Merlot, Cabernet-Sauvignon et Tannat provenant de vignes conduites en Lyre et en Espalier dans le sud de l'Uruguay. [These Doctorat]. ENSAM. Montpellier. France. 279 p.
- González-Neves G, Ferrer M, Gil G, Charamelo D, Balado J, Barreiro L, Bochicchio R, Gatto G, Tessore A. 2010. Estudio plurianual del potencial polifenólico de uvas Tannat. *Revista Agrociencia*, 14(2): 10-21.
- González-Neves G, Gil G, Barreiro L, Ferrer M, Franco J. 2006. Composición fenólica de las uvas de las principales variedades tintas de *Vitis vinifera* cultivadas en Uruguay. *Revista Agrociencia*, 10(2): 1-14.
- Haselgrove L, Botting D, van Heeswijck R, Hoj P, Dry P, Ford C, Iland P. 2000. Canopy microclimate and berry composition: The effect of bunch exposure on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L cv. Shiraz grape berries. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6: 141–149.
- Intrieri C. 1987. Experiences on the effect of vine spacing and trellis-training system on canopy micro-climate, vine performance and grape quality. *Acta Horticulturae*, 206: 69-87.

- Jouvert S, Archer E. 2002. The critical importance of preventive Botrytis control in red wine cultivars. (en línea). Chestnut Hill, Vinitech. s.p. Consultado 12 may. 2012. <http://www.vinitech.com>
- Kliewer W. 1970. Effect of day temperature and light intensity on coloration of *Vitis vinifera* L. grapes. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 95: 693-697.
- Katerji N, Daudet F, Carbonneau A, Ollat N. 1994. Etude à l'échelle de la plante entière du fonctionnement hydrique et photosynthétique de la vigne : comparaison des systèmes de conduite traditionnel et en lyre. *Vitis*, 33 : 197-203.
- Lebon E, Dumas V, Pieri Ph, Schultz H. 2003. Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards. CSIRO Publishing. *Functional Plant Biology*, 30: 699-710.
- Louran G, Dauzat J, Lecoœur J, Lebon E. 2008. Influence of trellis system and shoot positioning on light interception and distribution in two grapevine cultivars with different architectures: an original approach based on 3D canopy modelling. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 14: 143-152.
- Mattheus M, Kriedeman P. 2005 Water deficit yield and berry size as factors for composition and sensory attributes of red wine. *ASVO Proceedings*, 46-54.
- Millar A. 1972. Thermal regime of grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 23(4): 173-176.
- Mori K, Goto-Yamamoto N, Kitayama M, Hashizumem K. 2007. Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *Journal Experimental of Botany*, 58: 1935-1945.

- Morrison J, Noble A. 1990. The effects of leaf and cluster shading on the composition of Cabernet Sauvignon grapes and on fruit and wine sensory properties. *American Journal of Enology and Viticulture*, 41(3): 193-200.
- Orlandini S, Dalla Marta A, Mattii G. 2008. Analysis and agrometeorological modelling of grapevine responses to different trellising systems. *Vitis*, 47:(2). 89-96
- Ojeda H. 2007. Irrigation qualitative de précision de la vigne. *Le Progress Agricole et Viticole*. 7: 1-13.
- Ojeda H. 2007. Los compuestos fenólicos de la uva. *Revista Enología*, 4: 1-11.
- Ojeda H, Andary C, Kraeva E, Carbonneau A, Deloire A. 2002. Influence of pre- and post-véraison 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. 261-267.
- Price S, Breen P, Valladao M, Watson B. 1995. Cluster sun exposure and quercetin in Pinot noir grapes and wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 46(2): 187-194.
- Reynolds A, Price S, Wardle D, Watson B. 1994. Fruit environment and crop level effects on Pinot noir. I. Vine performance and fruit composition in British Columbia. *American Journal of Enology and Viticulture*, 45(4): 452-459.
- Roby G, Harbertson J, Adams D, Matthews M. 2004. Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: anthocyanins and tannins. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10: 100-107.

- Scholander P, Hammer E, Bradstreet E, Hemmingsen, A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148: 339-346.
- Smart R. 1985. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 36(3): 230-239.
- Smart R, Robinson M. 1991. Sunlight Into Wine. A handbook for winegrape canopy management. Winetitles, Adelaide. 88 p.
- Smart R, Robinson M, Due G, Brien C. 1985a. Canopy microclimate modification for the cultivar Shiraz. I. Definition of canopy microclimate. *Vitis*, 24: 17-31.
- Smart R, Robinson M, Due G, Brien C. 1985b. Canopy microclimate modification for the cultivar Shiraz. II. Definition of canopy microclimate. *Vitis*, 24: 119-128.
- Smart R, Shaulis N, Lemon E. 1982. The effect of Concord vineyard microclimate on yield. II. The interrelations between microclimate and yield expression. *American Journal of Enology and Viticulture*, 33(2): 109-116.
- Spayd S, Tarara J, Mee D, Ferguson J. 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(3): 171-182.
- Tarara J, Lee J, Spayd S, Scagel C. 2008. Berry Temperature and Solar Radiation Alter Acylation, Proportion, and Concentration of Anthocyanin in Merlot Grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 59(3): 235-247.
- Tomasi D, Pitacco A, Pascarella G. (2003) Bunch and berry temperature and anthocyanin synthesis and profile in Cabernet sauvignon. *American Journal of Enology and Viticulture*, 4: 3-15.

Williams L, Ayars J. 2005. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132: 201-211.

Zufferey V, Murisier F, Schultz H. 2000. A model analysis of the photosynthetic response of *Vitis vinifera* L. cvs Riesling and Chasselas leaves in the field. I. Interaction of age, light and temperature. *Vitis*, 39: 19-26.

#### 4. DISCUSIÓN GENERAL

Existen varias escalas para abordar el estudio de la Eficiencia en el Uso del Agua, que van desde evaluaciones a nivel de hoja, planta o cultivo, hasta nivel de ecosistema. Dentro de estas escalas, se han evaluado en viticultura, la eficiencia entre variedades con el objetivo de seleccionar las que mejor se adapten a diferentes *terroirs* o a las predicciones de escenarios para el Cambio Climático Global. En este trabajo, se estudió como dos arquitecturas de planta son capaces de inducir importantes variaciones en el comportamiento agronómico y en la eficiencia en el uso del agua para la misma variedad y situación de cultivo. Los resultados presentados en esta Tesis abren nuevas perspectivas para esta clase de estudios, que podrían junto a los tradicionales enfoques, aumentar la base teórica para la adaptación varietal a diferentes ambientes. Podría afirmarse entonces, que para una misma variedad, su arquitectura puede hacer variar su potencial adaptativo frente al componente edafo-climático de cada *Terroir*.

En este trabajo se estudió como el arreglo de las hojas de dos arquitecturas de planta, determinaron que la radiación PAR interceptada por cada capa de hojas fuera diferente, lo que hizo variar la tasa de fotosíntesis y transpiración y por tanto la eficiencia en el uso del agua.

La abundancia relativa de grupos de hojas con diferente grado de exposición fue determinante de la Eficiencia en el Uso del Agua a nivel de planta para cada arquitectura.

Las diferencias detectadas en el grado de exposición foliar por cada arquitectura, determinaron los valores de consumo de agua estimados, que provocaron un abatimiento diferencial de las reservas de agua en el suelo. Esto fue verificado mediante la determinación el estado hídrico de las plantas medido como Potencial Hídrico Foliar de base. Estas diferencias establecieron el cese anticipado del crecimiento vegetativo en las liras, lo que contribuyó a aumentar la partición relativa de la materia seca producida hacia los racimos.

La producción de azúcares por planta fue superior en la lira, ya que mostró rendimientos en uva superiores a los de la espaldera, y con una concentración de azúcares mayor.

También se observaron diferencias en la posición de los racimos, constatándose que los racimos en la espaldera ocupan fundamentalmente la porción inferior y central de la canopia. Es justamente en esa zona donde se registraron los valores de humedad relativa más altos y de temperatura más bajos, factores determinantes de la incidencia y severidad de los ataques por podredumbres de racimos. En este aspecto, la arquitectura en lira mantuvo los racimos fuera del follaje, con lo que mejoró el microclima, favoreciendo a la maduración de la uva. En este aspecto, los mayores valores en la cantidad de luz interceptada y temperatura, fueron registrados en los racimos de la lira. Esto también tuvo efecto en el metabolismo secundario de las bayas, evaluado como concentración de antocianos totales, que fue otra vez, superior en las bayas provenientes de la lira.

Para las condiciones agrometeorológicas de la temporada 2007-2008 del sur de Uruguay en que se realizó este ensayo, se observó que la arquitectura de planta modificó la fisiología y microclima de la canopia, donde se observó que la lira tuvo un desempeño agronómico superior al de la espaldera en la mayoría de los indicadores evaluados.

Uno de los resultados más relevantes de este trabajo ha sido el modo en que se realizaron las evaluaciones, ya que no abundan estudios similares donde se compare la Eficiencia en el Uso del Agua para la misma variedad con diferentes arquitecturas de planta.

## **5. BIBLIOGRAFÍA GENERAL**

- Archer E, Strauss H. 1989. Effect of Shading on the performance of *Vitis vinífera* L. cv. Cabernet Sauvignon. South African Journal of Enology and Viticulture. 10(2): 74-77.
- Arreola-Dávila J, Herrera E, Trejo R, Flores A, Parra R, Borja A. 2006. Sunlight availability and nut production after thinning of pecan trees (*Carya illinoensis* K. Koch). Revista Chapingo. Serie horticultura. 12(2): 177-181.
- Azcón-Bieto J, Talón M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. 2da Edición. Mc Graw Hill. Interamericana de España. 651p.
- Belmonte M. 2006. Efecto del manejo de riego y de la canopia en las relaciones hídricas de la planta, las características de la baya y la productividad en *Vitis vinifera* cv. Cabernet sauvignon. Revista Enología. 12(1): 16-26.
- 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.
- Boewa P, Begdanoff C, Usher K, Estergaard B, Watson M. 2011. Effects of Irrigation and Crop Load on Leaf Gas Exchange and Fruit Composition in Red Winegrapes Grown on a Loamy Sand. American Journal Enology and Viticulture. 62(1): 9-22.
- Bota J, Stasyk O, Flexas J, Medrano H. 2004. Effect of water stress on partitioning of <sup>14</sup>C-labelled photosynthates in *Vitis vinífera*. Functional Plant Biology. 31: 697-708.

- Bravetti B, Lanari V Manni E, Silvestroni O. 2012. Canopy density modification and crop control strategies on “Montepulciano” (*Vitis vinífera* L). *Acta Horticulturae*. (ISHS) 931: 331-337.
- Broome J, English J, Marois J, Latorre A, Aviles J. 1995. Development of an Infection Model for Botrytis BunchRot of Grapes based on wetness duration and temperature. *Phytopatology*. 85(1) : 97-102
- Carbonneau A. 2010. Évolution de la conduite du vignoble: de l'histoire aux nouveaux systèmes de conduite. *Le Progrès Agricole et Viticole*. 127(5-6): 109-130.
- Carbonneau, A. 1998. Aspects qualitatifs, 258 – 276. In *Tratado d'irrigation*, Tiercelin J. R., Tec et Doc Lavoisier ed., 1011p.
- Carbonneau A. 1996: General relationship within the whole-plant: Examples of the influence of vigour status, crop load and canopy exposure on the sink “berry maturation” for the grapevine. *Acta Horticulturae*. 427: 99-118.
- Carbonneau A. 1995. La surface foliaire exposée potencialle. Guide pour sa mesure. *Le Progrès Agricole et Viticole*. 112 (9): 204-212.
- Carbonneau A. 1992. Estudio ecofisiológico de los principales sistemas de conducción, interés cualitativo y económico de las viñas en lira primeros resultados de su comportamiento en clima cálido y seco. *Vitivinicultura* 6: 18-32.
- Carbonneau A. 1980. Recherche sur les systèmes de conduite de la vigne: essai de maîtrise du microclimat et de la plante entière pour produire économiquement du raisin de qualité. Tesis Doctoral de la Universidad de Burdeos II. Ed. INRA. 235p.

- Carbonneau A, Cargnello G. 2003. Architectures de la vigne et systèmes de conduite. La Vigne. 187p.
- Carbonneau A, Lebon E, Mabrouk H, Sinoquet H. 2000. Interactions « Canopy shape x vigour level » : Consequences on architecture and microclimate of the grape. Proceedings of the V Symposium on grapevine Physiology. Ed. B.A. Bravdo. Acta Horticulturae. 526: 91-105.
- Carbonneau A, Riou C, Guyon D, Riou J, Schneider C. 1992. Agrométéorologie de la vigne en France. Luxembourg, Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, 169p.
- Carbonneau A, Moueix A, Leclair N, Renoux J. 1991. Proposition d'une méthode de prélèvement de raisins à partir de l'analyse de l'hétérogénéité de maturation sur un cep. Bulletin de l' O.I.V. 727/728: 679-690.
- Carbonneau A, Casteran P, Leclair P. 1978. Essai de détermination en biologie de la plante entière, de relations essentielles entre le bioclimat naturel, la physiologie de la vigne et la composition du raisin. Annals Amélioration des Plantes. 28: 195-221.
- Castillo F, Castellvi F. 2001. Agrometeorología. Mundi-Prensa. 517p.
- Coombe B. 1987. Influence of temperature on composition and quality of grapes. Acta Horticulturae 206: 23-47.
- Crippen D, Morrison J. 1986. The effects of sun exposure on the compositional development of Cabernet Sauvignon berries. American Journal of Enology and Viticulture. 37: 235-242.

- Champagnol, F. 1984. Elements de Physiologie de la vigne et de la viticulture generale. B.P. 13 Prades-le-Lez, 34980 Saint-Gely-du-Fesc, France. 361p.
- Chorti E, Guidoni S, Ferrandino A, Novello V. 2010. Effect of diferent cluster sunlight exposure levels on ripening and anthocyanin accumulation in Nebbiolo grapes. American Journal of Enology and Viticulture. 61(1): 23-30.
- Dalla Marta A, Magarey R, Orlandini S. 2005. Modelling leaf wetness duration and downy mildew simulation on grapevine in Italy. Agricultural and Forest Meteorology. 132: 84–95.
- Deloire A, Hunter J. 2005. Microclimat des grappes et maturation du raisin. Progrès Agricole et Viticole. 122: 151–157.
- Deloire A, Carbonneau A, Federspiel B, Ojeda H, Wang Z, Costanza P. 2003. La vigne et l'eau. Progrès Agricole et Viticole. 4: 79-90.
- Di Rienzo J, Casanoves F, Balzarini M, González L, Tablada M, Robledo C. 2009. InfoStat, versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. 336p.
- Disegna E, Méndez M, Rodríguez P, Dellacassa E. 2003. Sistema de estimación de área foliar en vid (Cv. Tannat). CD ROM, 2003. INIA, Montevideo, Uruguay.
- Dokoozlian N, Kliewer W. 1995. The light environment within grapevine canopies. II. Influence of leaf area density on fruit zone light environment and some canopy assessment parameters. Am. J. Enol. Vitic. 46: 219- 226.
- English J, Thomas C, Marois J, Gubler W. 1989. Microclimates of grapevine canopies associated with leaf removal and control of Botrytis bunch rot. Phytopathology 79: 395-401.

- Escalona J, Flexas J, Bota J, Medrano H. 2003. Distribution of leaf photosynthesis and transpiration within grapevine canopies under different drought conditions. *Vitis* 42 (2): 57–64.
- Fernández J, Balear L, Meyer M. 1976. Eficiencia de la actividad fotosintética de vides en el Uruguay. En: Simposio Latinoamericano de la vid y el vino. Cuaderno Técnico n° 38 del Laboratorio Tecnológico del Uruguay. Montevideo. 27-35.
- Ferrer M, Camussi G, González-Neves G, Echeverria G, Montaña A, Carbonneau A. 2009. Condiciones predisponentes para las podredumbres de racimo: clima, variedad y técnicas de cultivo. *Revista Enología*. 4(2): 1-10.
- Ferrer M, González-Neves G, Priore E, Montaña A, Carbonneau A. 2008. Los componentes de rendimiento, la expresión vegetativa y los indicadores fisiológicos de vitis vinífera cv. Merlot en función de la arquitectura de la planta. *Revista Agrociencia*. 12(1): 6-19.
- Ferrer M. 2007. Effet du climat des régions viticoles de l'Uruguay, des variations climatiques et de l'interaction apportée par le microclimat et l'écophysiologie des systèmes de conduite Espalier et Lyre sur Merlot. Tesis de Doctorado. ENSAM. Montpellier. 260p.
- Flexas J, Galmés J, Gallé A, Gulías J, Pou A, Ribas-Cabro M, Tomás M, Medrano H. 2010. Improving water use efficiency in grapevines: potential physiology targets for biotechnological improvement. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 16: 106-121.
- Gates M. 1962. Leaf temperature and energy Exchange. *Theoretical and Applied Climatology*. 12(2): 321-336.

- Gil G. 2001. Madurez de la fruta y manejo poscosecha ; fruta de clima templado y subtropical y uva de vino. Santiago de Chile, Universidad Católica de Chile. 413 p.
- Gil M, Yuste J. 2003. Maturation phénolique des raisins rouges du cépage Tempranillo conduit en gobelet dans différents conditions édapho-climatiques de la Vallée du Duero (Espagne). *Le Progress Agricole et Viticole*. 120(19). 417-422.
- Glories Y, Augustin M. 1993. Maturité phénolique du raisin, conséquences technologiques: application aux millésimes 1991 et 1992. In: C. R. Colloque Journée Techn. CIVB, Bordeaux. 56-61.
- González-Neves G. 2005. Etude de la composition polyphénolique des raisins et des vins des cépages Merlot, Cabernet-Sauvignon et Tannat provenant de vignes conduites en Lyre et en Espalier dans le sud de l'Uruguay. Tesis de Doctorado. ENSAM. Montpellier, 279 p.
- González-Neves G, Ferrer M, Gil G, Charamelo D, Balado J, Barreiro L, Bochicchio R, Gatto G, Tessore A. 2010. Estudio plurianual del potencial polifenólico de uvas Tannat. *Agrociencia*. 14(2): 10-21.
- González-Neves G, Gil G, Barreiro L, Ferrer M, Franco J. 2006. Composición fenólica de las uvas de las principales variedades tintas de *Vitis vinifera* cultivadas en Uruguay. *Agrociencia* 10(2): 1-14.
- González-Neves G, Ferrer M. 2005. Evolución de los índices de estimación del potencial polifenólico durante la maduración de uvas tintas en el sur de Uruguay. *Viticultura y Enología Profesional*. 99. 2-8.

- González-Neves G. 1999. Color y composición de vinos tintos jóvenes de tannat, cabernet sauvignon y merlot de Uruguay. *Viticultura y Enología Profesional*. 64. 43-50.
- González-Padierna C. 1994. Estudio ecofisiológico y agronómico de cuatro sistemas de conducción de la vid (*Vitis vinifera* L.): Cubiertas vegetales simples versus divididas. Departamento De Producción Vegetal: Fitotecnia. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Tesis Doctoral. 244 p.
- Greer D, Weedon M. 2012. Modelling photosynthetic responses to temperature of grapevine (*Vitis vinifera* cv. Semillon) leaves on vines grown in a hot climate. *Plant, Cell & Environment*. 35(6): 1050–1064.
- Haselgrove L, Botting D, van Heeswijck R, Hoj P, Dry P, Ford C, Iland P. 2000. Canopy microclimate and berry composition: The effect of bunch exposure on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L cv. Shiraz grape berries. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 6: 141–149.
- Huglin P, Schneider C. 1998. *Biologie et écologie de la vigne*. Ed. TEC et DOT. París. 372p.
- Huglin P. 1986. *Biologie et ecologie de la vigne*. Payot Lausanne. París. 372 p.
- Intrieri C. 1987. Experiences on the effect of vine spacing and trellis-training system on canopy micro-climate, vine performance and grape quality. *Acta Horticulturae* 206: 69-87.
- Jouvert S, Archer E. 2002. The critical importance of preventive Botrytis control in red wine cultivars. (en línea). Chestnut Hill, Vinitech. s.p. Consultado 12 may. 2012. Disponible en: <http://www.vinitech.com>

- Katerji N, Mastrorilli M, Rana G. 2006. Analysis and improvement of water efficiency for crops cultivated in the mediterranean regions: the state of the art. WEMED Project Report. CIHEAM Bari. Italy. 32p.
- Katerji N, Daudet F, Carbonneau A, Ollat N. 1994. Etude à l'échelle de la plante entière du fonctionnement hydrique et photosynthétique de la vigne: Comparaison des systèmes traditionnel et en Lyre. *Vitis*. 33: 197-203.
- Katerji N, Daudet F. 1986. Etude in situ du fonctionnement hydrique et photosynthétique d'une vigne conduite en lyre. *Agronomie*. 6(8): 709-716.
- Kennedy J, Matthews M, Waterhouse A. 2002. Effect of maturity and vine water status on grape skin and wine flavonoids. *American Journal of Enology and Viticulture*. 53: 268-274.
- Kliewer W. 1977. Influence of temperature, solar radiation and nitrogen on coloration and composition of Emperor grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*. 23: 71-77.
- Kliewer W. 1970. Effect of day temperature and light intensity on coloration of *Vitis vinifera* L. grapes. *Journal of the American Society of Horticultural Science*. 95: 693-697.
- Kriedemann P, Smart R. 1971. Effects of irradiance, temperature and leaf water potential on photosynthesis of vine leaves. *Photosynthetica*. 50: 6-15.
- Lakso A, Pool R. 2005. Drought stress on vine growth, function, ripening and implications for wine quality. 29th Annual New York Wine Industry Workshop. 86-90.

- Lebon E, Dumas V, Pieri Ph, Schultz H. 2003. Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards. CSIRO Publishing. *Functional Plant Biology* 30: 699-710.
- López-Lozano R, Baret F, García I, Bertrand N, Casterad A. 2009. Optimal geometric configuration and algorithms for LAI indirect estimates under row canopies: The case of vineyards. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149: 1307-1316.
- Louran G, Dauzat J, Lecoeur J, Lebon E. 2008. Influence of trellis system and shoot positioning on light interception and distribution in two grapevine cultivars with different architectures: an original approach based on 3D canopy modelling. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 14: 143-152.
- Mabrouk H, Sinoquet H, Carbonneau A. 1997. Canopy structure and radiation regime in grapevine. II. Modeling radiation interception and distribution inside the canopy. *Vitis* 36(3): 125-132.
- Mattheus M, Kriedeman P. 2005 Water deficit yield and berry size as factors for composition and sensory attributes of red wine. *ASVO Proceedings* 46-54.
- Matti G, Storchi P. 2001. Grapevine production efficiency as affected by trellising system. In *Compte Rendu XII GESCO*, 285-290.
- Medrano H, Bota J, Cifre J, Flexas J, Ribas-Carbó M, Gulías J. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 43: 63-84.
- Millar A. 1972. Thermal regime of grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 23(4): 173-176

- Mori K, Goto-Yamamoto N, Kitayama M, Hashizumem K. 2007. Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *Journal Experimental of Botany*. 58: 1935-1945.
- Morris J, Main G. 2010. Response of Concord grapevines to varied shoot positioning and pruning methods in a warm, long-season growing region. *American Journal of Enology and Viticulture*. 61(2): 201-213.
- Morrison J, Noble A. 1990. The effects of leaf and cluster shading on the composition of Cabernet Sauvignon grapes and on fruit and wine sensory properties. *American Journal of Enology and Viticulture*. 41(3): 193-200.
- Ojeda H. 2007. Irrigation qualitative de precisión de la vigne. *Le Progress Agricole et Viticole*. 7: 1-13.
- Ojeda H. 2007. Los compuestos fenólicos de la uva. *Revista Enología*, 4: 1-11.
- Ojeda H, Deloire A, Wang Z, Carbonneau A. 2004. Determinación y Control del Estado Hídrico de la Vid. Efectos Morfológicos y Fisiológicos de la Restricción Hídrica en Vides. *Viticultura y Enología Profesional*. 90: 27-43.
- Ojeda H, Andary C, Kraeva E, Carbonneau A, Deloire A. 2002 Influence of pre- and post-véraison 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. 261-267.
- Orlandini S, Dalla Marta A, Mattii G. 2008. Analysis and agrometeorological modelling of grapevine responses to different trellising systems. *Vitis* 47(2): 89-96.

- Poni S, Bernizzoni F, Civardi S, Gatti M, Camin F. 2009. Performance and water-use efficiency (single-leaf vs. whole-canopy) of well-watered and half-stressed split-root Lambrusco grapevines grown in Po Valley (Italy). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129: 97–106.
- Possner D, Kliewer W. 1985: The localization of acids, sugars, potassium and calcium in developing grape berries. *Vitis* 24, 229-240.
- Price S, Breen P, Valladao M, Watson B. 1995. Cluster sun exposure and quercetin in Pinot noir grapes and wine. *American Journal of Enology and Viticulture*. 46(2): 187-194.
- Reynier A. 2002. *Manual de viticultura. Guía técnica de viticultura. 2º Edición.* Madrid, Mundi Prensa. 542p.
- Reynolds A, Price S, Wardle D, Watson B. 1994. Fruit environment and crop level effects on Pinot noir. I. Vine performance and fruit composition in British Columbia. *American Journal of Enology and Viticulture*. 45(4): 452-459.
- Ribéreau-Gayon P. 1976. *Traité d'oenologie, sciences et techniques du vin, Paris.* Dunod, 671 p.
- Riou C, Valancogne C, Pieri P. 1989. Un modèle simple d'interception du rayonnement solaire par la vigne – Vérification expérimentale. *Agronomie*. 9: 441-450.
- Roby G, Harbertson J, Adams D, Matthews M. 2004. Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: anthocyanins and tannins. *Australian Journal of Grape and Wine Research*.10: 100-107.

- Schneider C, Ancel J, Heywang M. 1989. Étude comparative de plusieurs systèmes de conduite sur deux cépages d 'Alsace. Bulletin de l'O.I.V 62(705-706): 782-793.
- Scholander P, Hammer E, Bradstreet E, Hemmingsen, A. 1965. Sap pressure in vascular plants. Science. 148: 339-346.
- Schultz H. 1995. Grape canopy structure, light microclimate and photosynthesis. I: A two-dimensional model of the spatial distribution of surface area densities and leaf ages in two canopy systems. Vitis. 34(4): 211-215.
- Smart R, Robinson M. 1991. Sunlight Into Wine. A handbook for winegrape canopy management. Winetitles, Adelaide. 88p.
- Smart R. 1985. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. American Journal of Enology and Viticulture. 36(3): 230-239.
- Smart R, Robinson M, Due G, Brien C. 1985a. Canopy microclimate modification for the cultivar Shiraz. I. Definition of canopy microclimate. Vitis. 24: 17-31.
- Smart R, Robinson M, Due G, Brien C. 1985b. Canopy microclimate modification for the cultivar Shiraz. II. Definition of canopy microclimate. Vitis. 24: 119-128.
- Smart R, Shaulis N, Lemon E. 1982. The effect of Concord vineyard microclimate on yield. II. The interrelations between microclimate and yield expression. American Journal of Enology and Viticulture. 33(2). 109-116.
- Smart R. 1973. Sunlight interception by vineyards. American Journal of Enology and Viticulture. 24: 141-147.

- Spayd S, Tarara J, Mee D, Ferguson J. 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot. *American Journal of Enology and Viticulture*. 53(3): 1717-182.
- Taiz L, Zeiger E. 2002. *Plant Physiology*. Third Edition. Sunderland, USA. 1338p.
- Tarara J, Lee J, Spayd S, Scagel C. 2008. Berry Temperature and Solar Radiation Alter Acylation, Proportion, and Concentration of Anthocyanin in Merlot Grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*. 59(3): 235-247.
- Tarara J, Perez Peña J, Keller M. 2005. Using whole-vine photosynthesis to understand the effects of water deficit on premium wine grapes. *Acta Horticulturae*. 689: 301–305.
- Tomasi D, Pitacco A, Pascarella G. (2003) Bunch and berry temperature and anthocyanin synthesis and profile in Cabernet sauvignon. *American Journal of Enology and Viticulture*. 4: 3-15.
- Watson D. 1947. Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*. 11: 41-76.
- Williams L, Ayars J. 2005. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*. 132: 201-211.
- Williams L, Biscay P. 2001. Partitioning of dry weight, nitrogen, and potassium in Cabernet Sauvignon grapevines from anthesis until harvest. *American Journal of Enology and Viticulture*. 42(2): 113-117.
- Winkler A. 1974. *General viticulture*. University of California Press. 710p.

Zufferey V, Murisier F, Schultz H. 2000. A model analysis of the photosynthetic response of *Vitis vinifera* L. cvs Riesling and Chasselas leaves in the field. I. Interaction of age, light and temperature. *Vitis* 39: 19-26.