

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

**CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO VEGETATIVO Y DE
LA FOTOSÍNTESIS EN LA VID CV. CABERNET SAUVIGNON,
EN EL VALLE DEL MAIPO**

CAROLINA ANDREA KUSCH GUTIÉRREZ

SANTIAGO-CHILE

2005

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO VEGETATIVO Y DE LA FOTOSÍNTESIS EN LA VID CV. CABERNET SAUVIGNON, EN EL VALLE DEL MAIPO

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Agrónomo
Mención: Fruticultura

CAROLINA ANDREA KUSCH GUTIÉRREZ

PROFESORES GUÍAS	CALIFICACIONES
Sr. Rodrigo Callejas R. Ingeniero Agrónomo, Dr. sc. agr.	7.0
Sr. Claudio Pastenes V. Ingeniero Agrónomo, Agr. Ph D.	7.0
PROFESORES CONSEJEROS	
Sr. Víctor García de Cortázar G. de C. Ingeniero Agrónomo, Dr. Sc.	7.0
Sr. Bruno Razeto M. Ingeniero Agrónomo, M. S.	6.8

SANTIAGO-CHILE
2005

ÍNDICE

CARACTERIZACIÓN DE LA FOTOSÍNTESIS EN LA VID CV. CABERNET SAUVIGNON, EN EL VALLE DEL MAIPO

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓN	5
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Material vegetal	7
Caracterización fotosintética de las hojas	7
Temperatura foliar	7
Contenido total de clorofilas en hojas	8
Intensidad luminosa, temperatura y humedad relativa del aire	8
Diseño experimental y análisis estadístico	8
RESULTADOS	9
DISCUSIÓN	19
CONCLUSIONES	23
BIBLIOGRAFÍA	24

CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO VEGETATIVO EN LA VID CV. CABERNET SAUVIGNON, EN EL VALLE DEL MAIPO

RESUMEN	27
ABSTRACT	28
INTRODUCCIÓN	29
MATERIALES Y MÉTODOS	30
Material vegetal	30
Evaluaciones de diagnóstico	30
Condición vegetativa y reproductiva de las plantas	30
Mediciones durante la temporada de estudio	31
Caracterización del crecimiento vegetativo	31
Seguimiento del desarrollo fenológico	31
Peso de poda	31
Diseño experimental y análisis estadístico	31
RESULTADOS	33
Condición vegetativa y reproductiva de las plantas	33
Caracterización del crecimiento vegetativo	33

Largo de brotes principales	33
Área foliar	35
Seguimiento del desarrollo fenológico de Cabernet Sauvignon	37
Peso de poda	37
DISCUSIÓN	38
CONCLUSIONES	40
BIBLIOGRAFÍA	41

CARACTERIZACIÓN DE LA FOTOSÍNTESIS EN LA VID CV. CABERNET SAUVIGNON, EN EL VALLE DEL MAIPO

RESUMEN

Con el propósito de caracterizar el comportamiento de la actividad fotosintética de plantas de vid cv. Cabernet Sauvignon durante la temporada de crecimiento, se realizó una investigación en la temporada 2002-2003 en un viñedo ubicado en la localidad de Huelquén, Valle del Maipo, Chile.

Se escogieron doce plantas al azar y se efectuaron mediciones de tasas de asimilación de CO₂, radiación fotosintéticamente activa (*PAR*) incidente, conductancia estomática y temperatura foliar a lo largo del día, entre las 8:00 h y 18:00 h, en seis oportunidades en la temporada. Las evaluaciones se realizaron en las hojas de los nudos 4, 8, 12 y 16 desde la base del brote hacia el extremo distal, considerando las dos exposiciones de la planta (este-oeste). En forma simultánea se midió la *PAR*, medida en forma horizontal y vertical, la temperatura y humedad relativa ambiental. Además, se realizaron mediciones del contenido de clorofila de hojas sanas.

Cada lado de la espaldera, conducida en orientación norte-sur es expuesto a diferentes condiciones ambientales determinando, en la exposición este, tasas más altas de asimilación de CO₂, niveles de conductancia estomática más altos, mayor contenido de clorofila y menores temperaturas foliares, respecto de la exposición oeste. Las mañanas presentaron condiciones ambientales más favorables para una adecuada actividad fotosintética, respecto de las condiciones de la tarde.

El déficit hídrico, comúnmente impuesto a las vides de interés enológico, sumado a la alta radiación y altas temperaturas del aire, determinan una disminución de las tasas de asimilación de CO₂ e inducen a un activo metabolismo fotorespiratorio.

El contenido de clorofila aumenta con la edad de la hoja, alcanzando el máximo hacia el envero para luego disminuir progresivamente hacia la cosecha.

Palabras clave: *Vitis vinifera* L., conductancia estomática, temperatura foliar, clorofila.

PHOTOSYNTHESIS OF GRAPEVINE CV. CABERNET SAUVIGNON, IN THE MAIPO VALLEY

ABSTRACT

Photosynthesis in grapevine cv. Cabernet Sauvignon, located in Huelquén in the Maipo Valley, Chile was characterized throughout the growing season 2002-2003.

Twelve plants, trained to a vertical trellis system, were selected in a randomized design and, CO₂ assimilation, stomatal conductance, leaf temperature and incident light were measured under field conditions along the day and the season. Measurements were carried out between 8:00 h and 18:00 h six times throughout the season, from the base to the top and in both sides of the canopy. Simultaneously, photosynthetic active radiation (*PAR*), temperature and relative humidity were measured. The chlorophyll content in healthy leaves was determined.

The environmental conditions in the East side determine a higher rate for photosynthesis, higher stomatal conductance, lower temperature, and higher chlorophyll content, compared to the West exposure. The environmental conditions in the morning were more favorable for suitable CO₂ assimilation than environmental condition in the afternoon. Plants grown under drought conditions added to the high incident light and air temperature induced a decrease in the rate for CO₂ assimilation, in turn, increasing photorespiration. The chlorophyll content increased with increasing leaf age, reaching the maximum value at veraison and then started to decline toward the end of the season.

Key words: *Vitis vinifera* L., stomatal conductance, leaf temperature, chlorophyll.

INTRODUCCIÓN

El proceso fotosintético es el que permite la acumulación de materia seca en las plantas y le confiere a éstas su condición autótrofa. Eso sí, aunque no se ha probado una correlación entre la actividad fotosintética en hojas con la capacidad de rendimiento en los vegetales, cualquier efecto que disminuya la tasa de asimilación de CO₂, determina una disminución en el crecimiento. En el caso de la vid, de interés enológico, no se espera necesariamente un alto rendimiento si no más bien una condición de calidad apropiada. En este caso, la relación entre calidad y rendimiento es inversamente proporcional. Aún así, el proceso fotosintético es fundamental en la exportación de azúcares a las bayas, constituyendo de manera importante el sustrato fermentable y, por otra, aunque en menor medida, para sustentar la síntesis de ácidos orgánicos como málico y tartárico, y de compuestos como antocianos, flavonoles y flavanoles, fundamentales en la calidad enológica final. La actividad fotosintética de la canopia está condicionada a muchos factores climáticos y fisiológicos, como la intensidad luminosa, la temperatura, el déficit de presión de vapor de agua y la edad de la hoja entre muchos otros (Kriedemann, 1968; Alleweldt *et al.*, 1982 y Zufferey *et al.*, 2000).

En condiciones de campo, en zonas de clima mediterráneo, el manejo vitivinícola se caracteriza por la imposición de fuertes restricciones de riego con el propósito de restringir el crecimiento vegetativo (Smart, 1985; Schultz y Matthews, 1993; Poni *et al.*, 1994; Gómez del Campo *et al.*, 2002 y Escalona *et al.*, 2003) y reducir el diámetro de las bayas (Matthews *et al.*, 1987; Coombe y McCarthy, 2000 y Sivilotti *et al.*, 2005). De esta manera se promueve, por una parte, la aireación y adecuada exposición de la zona frutal a condiciones de luz y temperatura, que generalmente mejoran la calidad de bayas y composición del vino (Smart, 1985; Dokoozlian y Kliewer, 1995 y Bergqvist *et al.*, 2001) y, por otra, el aumento de la relación piel/pulpa, particularmente importante en las variedades tintas. Pero al mismo tiempo, la restricción hídrica impone una limitante para el proceso fotosintético (Düring, 1988; Poni *et al.*, 1994; Lawlor, 1995 y Gómez del Campo *et al.*, 2002), fundamentalmente por el cierre de los estomas (Flexas y Medrano, 2002 y Sivilotti *et al.*, 2005), limitando el intercambio de gases entre las hojas y el aire (Wong, 1979; Chaves *et al.*, 1987 y Düring, 1991). Asimismo, la disminución en la pérdida de agua desde las hojas, originada por el estrés hídrico, induce un aumento de la temperatura foliar, lo que a su vez potenciaría la pérdida fotosintética, producto de la actividad fotorrespiratoria (Downton *et al.*, 1987 y Düring, 1988).

La actividad fotosintética en la vid suministra asimilados, a lo largo de la temporada, a los distintos receptáculos que demandan hidratos de carbono de acuerdo al desarrollo fenológico característico de cada momento. Tales receptáculos están constituidos por el tejido aéreo en crecimiento, los frutos, las raíces y las distintas estructuras destinadas al almacenamiento de reservas carbonadas. La vid es una especie de hoja caduca que inicia su brotación en primavera, fundamentalmente a partir de las reservas acumuladas en la temporada anterior. Hacia inicios de la época estival, los brotes se encuentran expandidos

en gran medida y ocurren crecimientos laterales desde los nudos basales de cada brote. Las bayas, por su parte, crecen en volumen siguiendo el patrón característico de crecimiento doble sigmoideo (Matthews *et al.*, 1987) consistente en un aumento inicial rápido, producto de la división celular, entrando en un breve receso y posteriormente aumentando nuevamente en volumen por la expansión celular (Coombe y McCarthy, 2000). En este último período, las bayas se constituyen en el receptáculo de mayor magnitud en la planta (Balcar y Hernández, 1988), acumulando los azúcares provenientes de las hojas y tomando su color definitivo.

En general, numerosas operaciones agronómicas de campo dicen relación con cambios en la relación fuente-receptáculo durante el período de crecimiento de los racimos. Por una parte, es común la necesidad de despuntar los brotes principales, de remover brotes laterales y eliminar hojas (Iacono *et al.*, 1995). Por otra, y considerando la mermada capacidad fotosintética producto del déficit hídrico (Alleweldt *et al.*, 1982), se recurre comúnmente a la remoción de racimos (Iacono *et al.*, 1995), con el objeto de ajustar la magnitud del receptáculo. Esta remoción de racimos, conocida como ajuste de carga, también se efectúa por considerarse esta práctica como conveniente para el metabolismo secundario en bayas. No obstante los fundamentos y mecanismos por los cuales esto ocurriría, no están del todo claro.

Muchas de las labores de manejo de canopia y modificación de la relación fruto/hojas, son realizadas de manera tradicional de acuerdo al conocimiento empírico de enólogos y vitivinicultores. Sin embargo, persisten incógnitas en cuanto a la importancia en el aporte de fotoasimilados de brotes en momentos específicos del crecimiento de frutos, así como de la relevancia de las hojas, en relación a su edad, respecto del suministro de azúcares a las bayas. En general, muchos de los estudios disponibles en vid, se refieren al proceso de fotosíntesis en momentos específicos de las plantas y en condiciones ambientales particulares o bien sólo en ciertos cultivares.

Debido a que la actividad fotosintética, como se dijo, es altamente dependiente de la condición de la planta, específicamente su estatus hídrico y del ambiente, ésta será característica para cada condición climática de crecimiento. Por lo tanto, el conocimiento y entendimiento de este proceso, a lo largo de la temporada de crecimiento y en condiciones ambientales específicas, es importante con el fin de modelar la asimilación de la planta completa (Schultz *et al.*, 1996), y de facilitar la previsión del efecto de modificaciones en la relación fuente-receptáculo sobre la capacidad productiva de ésta.

Gran parte de la producción vitivinícola en el mundo, se desarrolla en climas de tipo mediterráneo, caracterizado por altas temperaturas en la época estival, una alta intensidad luminosa y niveles de humedad ambiente que disminuyen fuertemente a lo largo del día (Chaves *et al.*, 1987).

El objetivo de este estudio fue caracterizar el comportamiento de la actividad fotosintética de plantas de vid cv. Cabernet Sauvignon, establecidas en el Valle del Maipo, Zona Central de Chile, durante la temporada de crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

El estudio se realizó durante la temporada 2002-2003 en un viñedo ubicado en la localidad de Huelquén, Región Metropolitana. Se utilizaron plantas de la variedad Cabernet Sauvignon, de siete años de edad, conducidas en espaldera, en orientación norte-sur, con una distancia de plantación de 2,5 m entre hilera y 1,5 m sobre hilera, con un rendimiento promedio de 12 ton · ha⁻¹. Las evaluaciones se realizaron en 12 plantas representativas del sector, escogidas al azar. En todas las plantas se llevó a cabo el manejo de canopia propio del campo que consistió en un chapodo temprano, realizado el día 16 de noviembre de 2002, más eliminación de feminelas de la exposición E, realizado el día 10 de diciembre de 2002.

Caracterización fotosintética de las hojas

Las hojas se clasificaron de acuerdo a su edad, según su fecha de aparición a lo largo del brote. Su capacidad de suministrar fotosintatos se determinó mediante la evaluación de las tasas de asimilación de CO₂, a lo largo del día, entre las 8:00 h y 18:00 h. Las evaluaciones se realizaron en las hojas de los nudos 4, 8, 12 y 16 desde la base del brote hacia el extremo distal, considerando las dos exposiciones de cada planta, mediante un analizador infrarrojo de gases (IRGA, LCI – ADC. UK). Secciones de hoja fueron colocadas en la cámara de medición, respetando el ángulo y posición de las mismas. Los datos se tomaron luego de 40 a 60 s, cuando las tasas de asimilación de CO₂ alcanzaron un valor constante. Las mediciones se realizaron tomando aire desde 1,5 m sobre la canopia. Simultáneamente a las mediciones de asimilación de CO₂, el analizador infrarrojo de gases calculó la conductancia estomática y concentración interna de CO₂. La radiación *PAR* incidente fue estimada por medio de un sensor *PAR* localizado en la cámara de medición. Las mediciones se realizaron cada 21 días, a partir de la segunda semana de noviembre y se prolongaron hasta la cosecha, correspondiente al mes de abril, y siempre con días completamente despejados.

Temperatura foliar

La temperatura foliar fue determinada en las mismas hojas utilizadas para las mediciones de asimilación de CO₂, previamente a dicha medición en las mismas horas y fechas, mediante un termómetro infrarrojo (CHY 100. TW). La temperatura foliar se determinó respetando el ángulo y posición de las hojas, tomando la precaución de no sombrearlas en el momento de medición.

Contenido total de clorofilas en hojas

El contenido de clorofila de las hojas, se determinó por medios no destructivos, utilizando un determinador portátil de clorofila (OPTI-SCIENCES, CCM-220. USA). Las mediciones fueron realizadas una vez al día, en cada fecha de medición de fotosíntesis y en las mismas hojas. Discos de hojas, previamente determinados con el medidor portátil, fueron congelados en nitrógeno líquido hasta su determinación de clorofila total en laboratorio, de acuerdo al método de Lichtenthaler y Wellbur (1983).

Intensidad luminosa, temperatura y humedad relativa del aire

La radiación fotosintéticamente activa (*PAR*), fue determinada mediante un radiómetro portátil (Licor, Li -182, Lincoln, USA), posicionando el sensor en posición horizontal y perpendicular al sol. La temperatura del aire y la humedad relativa fueron obtenidas por medio de un higrotermómetro digital (AZ 8701. TW), a 1,5 m de altura, ambas fueron medidas a la sombra. Estas mediciones se realizaron 5 veces durante el día, en forma simultánea a las mediciones de asimilación de CO₂ y temperatura foliar.

Diseño experimental y análisis estadístico

Las evaluaciones se realizaron en 12 plantas representativas del sector, escogidas al azar. En todas las plantas se llevó a cabo el manejo de canopia propio del campo.

Los resultados obtenidos se sometieron a análisis de varianza y en los casos que se presentaron diferencias significativas, se empleó la prueba de comparación múltiple de Tukey. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico computacional Statgraphics Plus 5.1 (Manugistics, Inc. Maryland, USA).

RESULTADOS

La temporada de crecimiento de las vides estuvo caracterizada por condiciones típicas de clima mediterráneo, con alta intensidad luminosa hacia el medio día, altas temperaturas y una disminución gradual de la humedad relativa del aire, en horas de la tarde. En la Figura 1 se observa la variación diaria de la intensidad luminosa, la temperatura y la humedad relativa del aire. La *PAR* presentó una cinética similar a lo largo de la temporada, comenzando a aumentar sus niveles desde la primera hora de medición y prácticamente igualándose los valores de luz perpendicular y horizontal, hacia el medio día, para luego comenzar a disminuir nuevamente durante horas de la tarde (Figura 1 A - F).

En la primera hora de medición, alrededor de las 8:30 h, la *PAR* perpendicular al sol alcanzó valores por sobre los 1200 $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ y al medirla horizontalmente, alcanzó valores cercanos a 400 $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ en todas las fechas de medición, y ambas alcanzaron los 2000 $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ al mediodía (Figura 1 A - E). Sin embargo, en el mes de abril, correspondiente a la última fecha de medición, durante la primera hora de medición, la *PAR* horizontal no superó los 400 $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ y al mediodía alcanzó niveles por debajo de los 2000 $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (Figura 1 F).

Como consecuencia de las altas intensidades luminosas, la temperatura del aire aumentó gradualmente a lo largo del día alcanzando niveles máximos hacia las 16:00 h para luego descender muy lentamente hacia horas de la tarde. La primera hora de medición presentó valores cercanos a 17 °C hasta alcanzar el máximo, con valores cercanos a los 35 °C hacia las 15:00 h aproximadamente, en todas las fechas de medición (Figura 1 G - L). Los valores más altos de temperatura del aire de la temporada, se registraron durante el mes de enero, alcanzando valores por sobre los 35 °C (Figura 1 I y J).

La humedad relativa del aire, a lo largo de la temporada, presentó un comportamiento opuesto al de la temperatura, comenzando a primeras horas del día con niveles altos, para luego descender drásticamente hacia las 15:00 h, mostrando una leve recuperación hacia horas de la tarde (Figura 1 M - R). El mes de febrero registró la humedad relativa del aire más baja de la temporada, con niveles inferiores al 15 %, alrededor de las 14:30 h (Figura 1 Q).

Como era esperable, la luz incidente en las hojas tuvo un comportamiento característico en cada lado de la espaldera a lo largo del día. En general, la exposición E comenzó en la primera hora de medición, con una *PAR* incidente relativamente baja, aumentando a un nivel máximo alrededor de las 11:00 h, en la cual la espaldera se encontraba completamente iluminada, para luego descender abruptamente, a medida que el sol comenzó a iluminar el lado opuesto de la espaldera (Figura 2 A - F). Por otra parte, la exposición O en las primeras horas del día, producto de su condición de sombra, alcanzó niveles de radiación *PAR* muy bajos, los cuales fueron aumentando aceleradamente para alcanzar su máximo alrededor de las 15:30 h, hora en la que este lado se encontraba totalmente iluminado y

luego descendió levemente hacia las últimas horas de la tarde (Figura 2 G - L). En general los niveles de exposición a la luz de las distintas hojas fue similar a lo largo de la temporada para cada hora del día, no obstante en ciertas fechas se observó una menor incidencia en las hojas basales, particularmente en la primera y última hora de medición, en la exposición E y O respectivamente (Figura 2).

En la Figura 3 se observa que la temperatura foliar a lo largo del día, en general en el lado E, aumentó progresivamente desde la mañana hacia el medio día, para luego mantenerse relativamente estable por el resto del día en todos los niveles de la canopia (Figura 3 B - F), exceptuando la medición de noviembre, mes en que la temperatura disminuyó hacia el medio día para luego aumentar nuevamente sus niveles hacia las 17:30 h (Figura 3 A). En la exposición O, por su parte, la temperatura foliar aumentó continuamente al avanzar el día, para alcanzar sus máximos niveles alrededor de las 18:00 h (Figura 3 G - K), exceptuando el mes de abril, en que los máximos se alcanzaron alrededor de las 15:15 h y luego disminuyó hacia las 18:00 h (Figura 3 L). Asimismo, el lado O de la canopia alcanzó, valores máximos promedio más altos en comparación al lado E. En el mes de enero se alcanzaron los mayores niveles de temperatura foliar de la temporada, que en el caso de la exposición O superaron los 35 °C (Figura 3 I y J).

Como se aprecia en la Figura 4, el comportamiento de la asimilación de CO₂ fue contrastante a cada lado de la espaldera de acuerdo a la iluminación directa e indirecta que recibieron. La exposición E presentó las tasas más altas de asimilación en las primeras horas del día, las que fueron disminuyendo a medida que el sol iluminaba la exposición O (Figura 4 A - F). Por su parte, las tasas de asimilación de la exposición O fueron relativamente bajas en las primeras horas del día, para luego comenzar a aumentar gradualmente sus niveles a medida que ésta se iluminó hacia las horas de la tarde (Figura 4 G - L). Sin embargo, los niveles de asimilación máximos obtenidos en la exposición E durante las primeras horas de la mañana, fueron siempre mayores a los alcanzados por la exposición O. Dicha tendencia se mantuvo a lo largo de la temporada (Figura 4). A partir del mes de diciembre, las hojas basales de la canopia perdieron importancia respecto de su capacidad de fijación de CO₂ en comparación con las hojas de la zona media-alta, particularmente en las primeras horas de la mañana para el lado E (Figura 4 B - F) y en las últimas horas de la tarde en el lado O (Figura 4 H - L). Durante los meses de noviembre y diciembre se alcanzaron las mayores tasas fotosintéticas de toda la temporada (Figura 4 A y B), con valores promedio de 27 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ en las dos primeras horas de medición. Es posible apreciar, asimismo, que los máximos de asimilación, a lo largo del día, se registraron en la exposición E de la espaldera, durante las primeras horas de la mañana (Figura 4 A - F).

A lo largo de la temporada, probablemente como resultado de la pérdida del contenido de agua de lluvias invernales remanente en el suelo y de la fuerte restricción del riego, las tasas de asimilación disminuyeron fuertemente en ambas exposiciones de la espaldera, pero más notoriamente en las hojas de la exposición O, es decir, aquellas iluminadas en horas de la tarde. (Figuras 4 J - L).

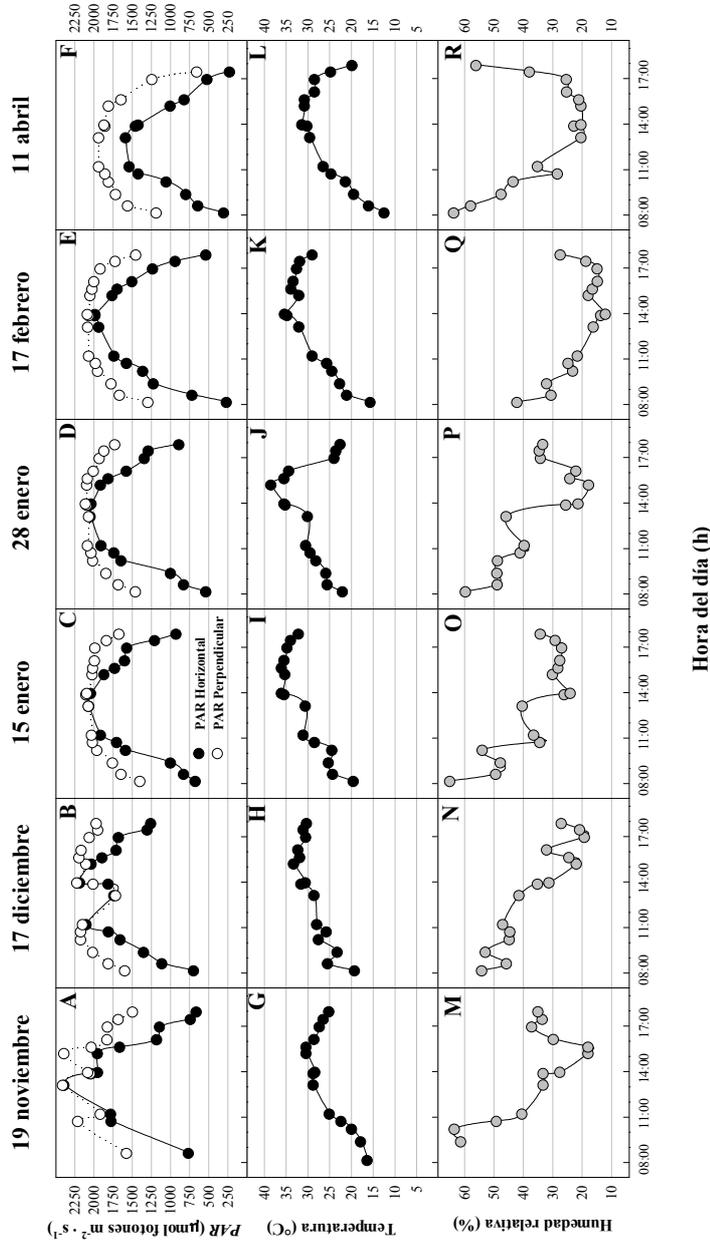


Figura 1. Evolución de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) horizontal, PAR perpendicular (A - F), temperatura (G - L) y humedad relativa del aire (M - R) a lo largo del día y de la temporada. Los valores fueron obtenidos simultáneamente a las mediciones de asimilación de CO₂ y temperatura foliar.

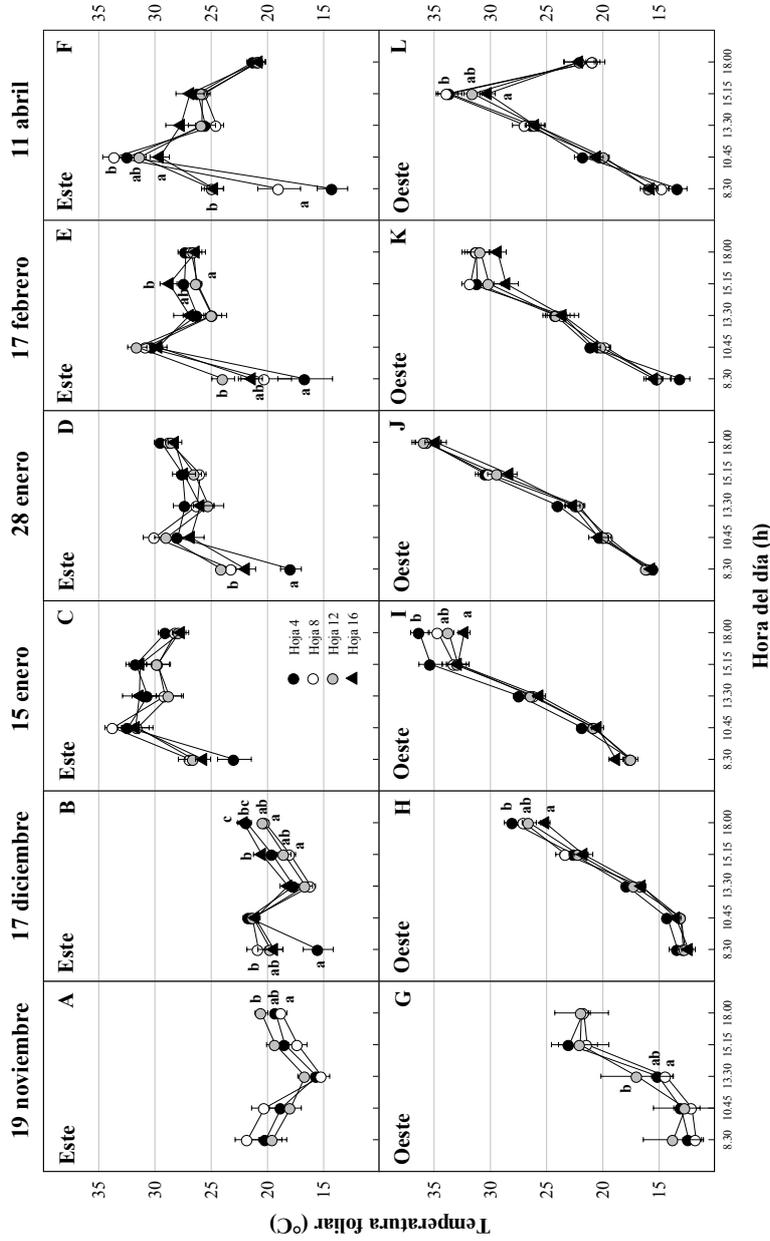


Figura 3. Evolución de la temperatura foliar a lo largo del día y de la temporada, en las exposiciones este (A - F) - oeste (G - L) de la espaldera. Letras distintas indican diferencias significativas entre las hojas, a una misma hora de medición ($p < 0,05$) según la prueba de comparación múltiple de Tukey.

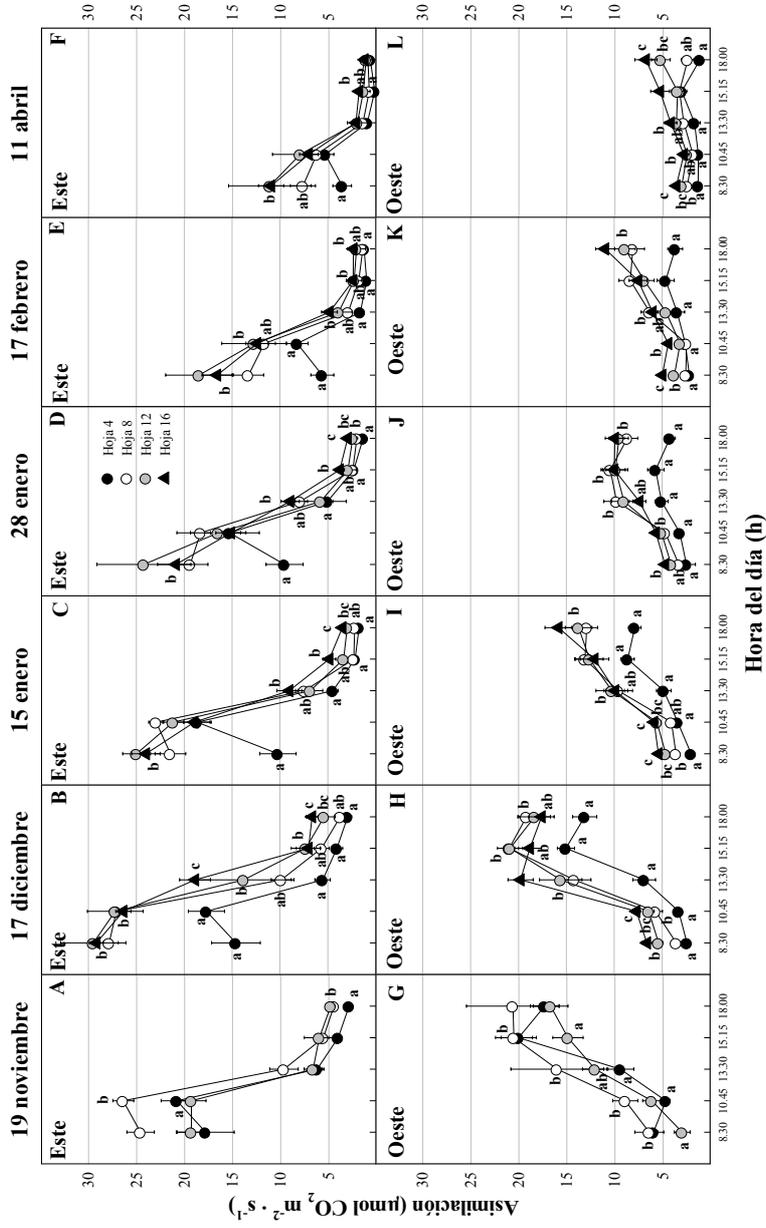


Figura 4. Evolución de la asimilación de CO₂ a lo largo del día y de la temporada, en las exposiciones este (A - F) - oeste (G - L) de la espaldera. Letras distintas indican diferencias significativas entre las hojas, a una misma hora de medición ($p < 0,05$) según la prueba de comparación múltiple de Tukey.

Los valores de asimilación están explicados de manera importante por la conductancia estomática (Figura 5). Lo mismo que en el caso de la asimilación de CO₂, esta varía a lo largo del día, en dirección opuesta para cada exposición de la espaldera. El lado E presentó altos niveles de conductancia en las primeras horas de la mañana, los que disminuyeron drásticamente hacia el medio día (Figura 5 A - F). El lado O, se mantiene con niveles bajos durante todo el día, durante la temporada, exceptuando la primera fecha de medición en que la conductancia comenzó con altos valores alrededor de la 8:30 h y luego disminuyó abruptamente (Figura 5 G). Por otra parte, la conductancia estomática fue relativamente alta sólo en los dos primeros meses de medición (Figura 5 A, B y G), ya que desde el mes de enero, comenzó a disminuir progresivamente. (Figura 5 C - F, I - L).

En los meses de noviembre y diciembre, en el lado E, la conductancia estomática alcanzó valores sobre los 0,9 mol H₂O m⁻² · s⁻¹ en las dos primeras horas de medición, y hacia las 15:30 h disminuyó bruscamente a niveles alrededor de los 0,3 mol H₂O m⁻² · s⁻¹ (Figura 5 A y B). En el lado O, durante el mes de noviembre, las hojas de la zona basal-media de la canopia superaron los 0,9 mol H₂O m⁻² · s⁻¹ y alrededor de las 15:30 h los valores descendieron bajo los 0,6 mol H₂O m⁻² · s⁻¹ (Figura 5 G). En el mes de diciembre, todos los valores se mantuvieron bajo los 0,6 mol H₂O m⁻² · s⁻¹ (Figura 5 H) y a partir del mes de enero hacia final de temporada, los niveles se mantuvieron bajo los 0,3 mol H₂O m⁻² · s⁻¹, durante todo el día (Figura 5 I - L).

En la Figura 6 se aprecia que la concentración interna de CO₂ (Ci), en la exposición E, se mantuvo relativamente estable a lo largo del día, con valores similares en las distintas alturas de la canopia. Sin embargo se observó una tendencia de disminución de sus valores a lo largo de la temporada, con valores más bien variables en la última fecha de medición (Figura 6 F). En cuanto a las hojas en posición O de la espaldera, la disminución de la Ci a lo largo del día fue notoriamente más marcada que el lado E (Figura 6 G - K). De la misma manera que ocurrió en el lado E, la última fecha de medición arrojó resultados variables a lo largo del día en las distintas hojas del lado O (Figura 6 L).

El contenido de clorofila de las hojas, en promedio, aumentó desde el mes de noviembre hasta fines de enero, en ambos lados de la espaldera, siendo en general, más alto en las hojas basales (Figura 7 A - D). Sin embargo, estas diferencias son significativas sólo en el mes de noviembre, donde las hojas de los nudos 4, 8 y 12 presentaban una edad de 44, 29 y 15 días, respectivamente, desde su expansión (Figura 7 A). Estas diferencias se fueron haciendo cada vez menores a medida que avanzó la temporada. Luego, desde fines de enero, coincidiendo con el estado de envero, hasta las últimas mediciones correspondientes al mes de abril, el contenido de pigmentos fotosintéticos comenzó a disminuir (Figura 7 E - F). Por otra parte, el contenido de clorofila de la exposición E tendió a ser levemente mayor respecto al contenido de la exposición O.

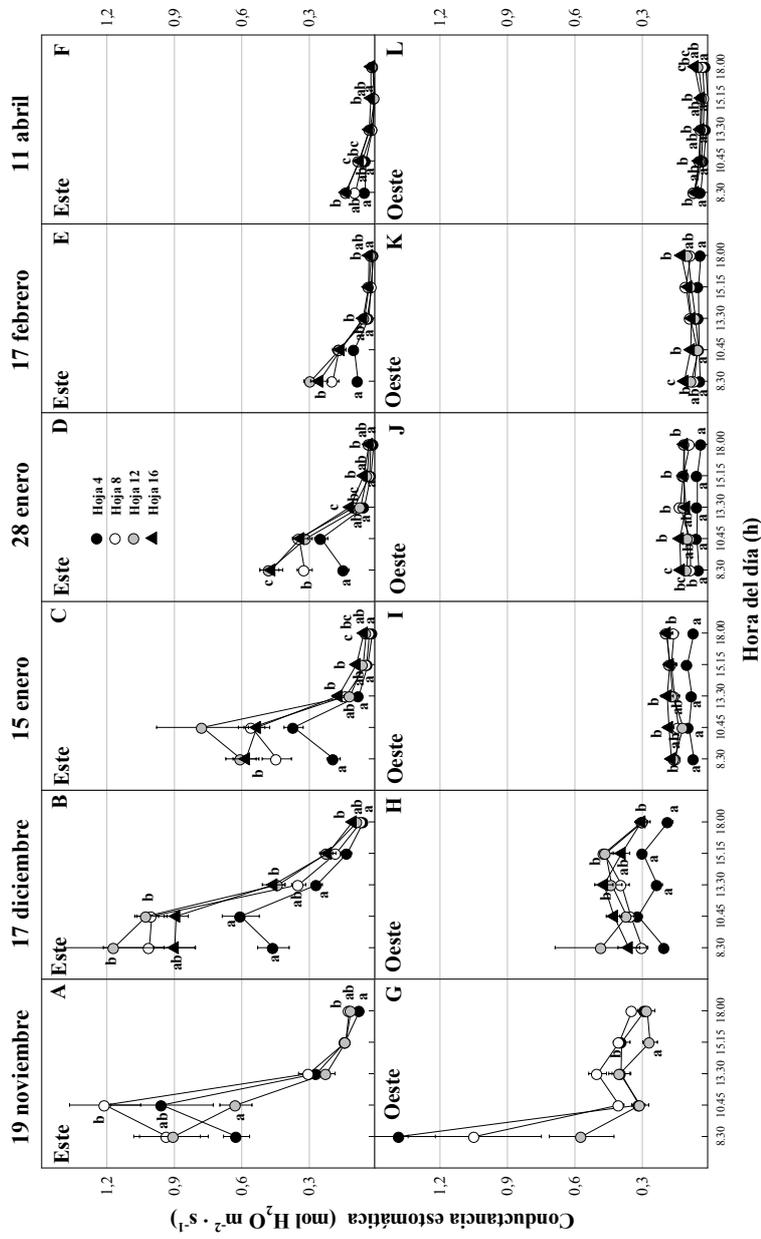


Figura 5. Evolución de la conductancia estomática a lo largo del día y de la temporada, en las exposiciones este (A - F) - oeste (G - L) de la espaldera. Letras distintas indican diferencias significativas entre las hojas a una misma hora de medición ($p < 0,05$) según la prueba de comparación múltiple de Tukey.

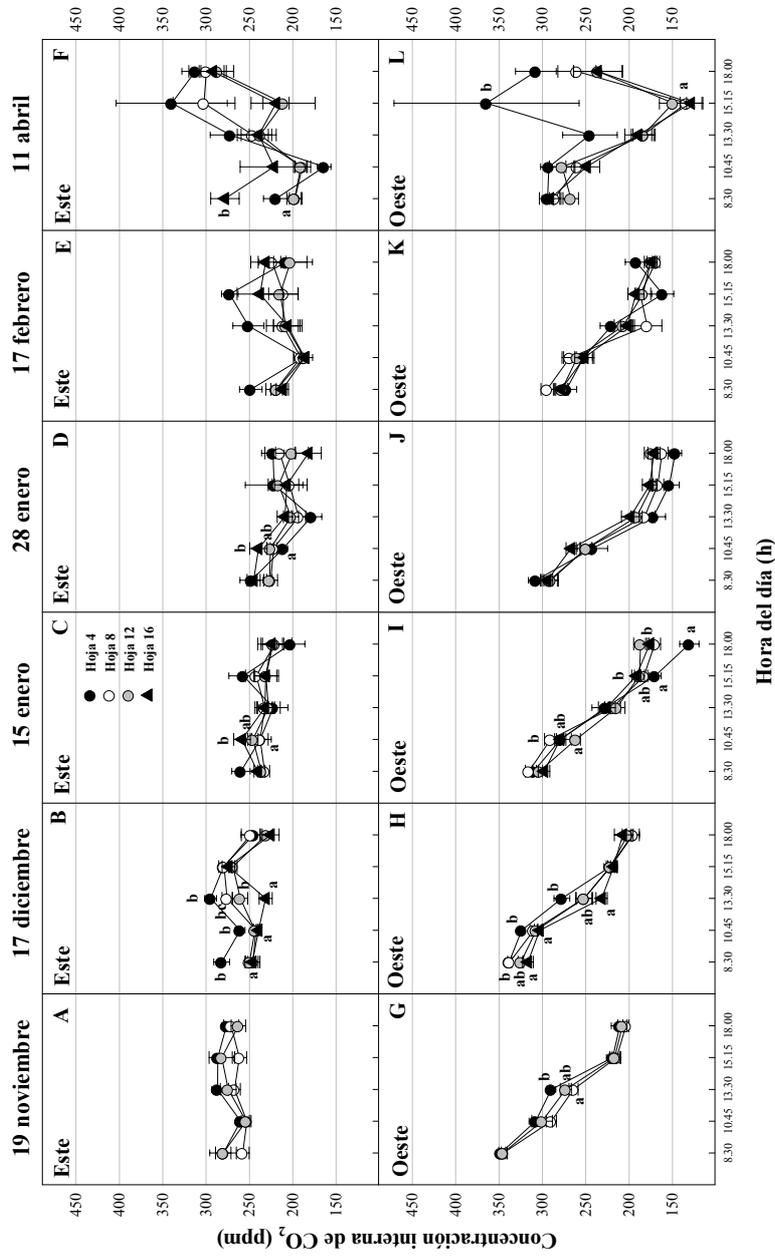


Figura 6. Evolución de la concentración interna de CO₂ a lo largo del día y de la temporada, en las exposiciones este (A - F) - oeste (G - L) de la espaldera. Letras distintas indican diferencias significativas entre las hojas, a una misma hora de medición, ($p < 0,05$) según la prueba de comparación múltiple de Tukey.

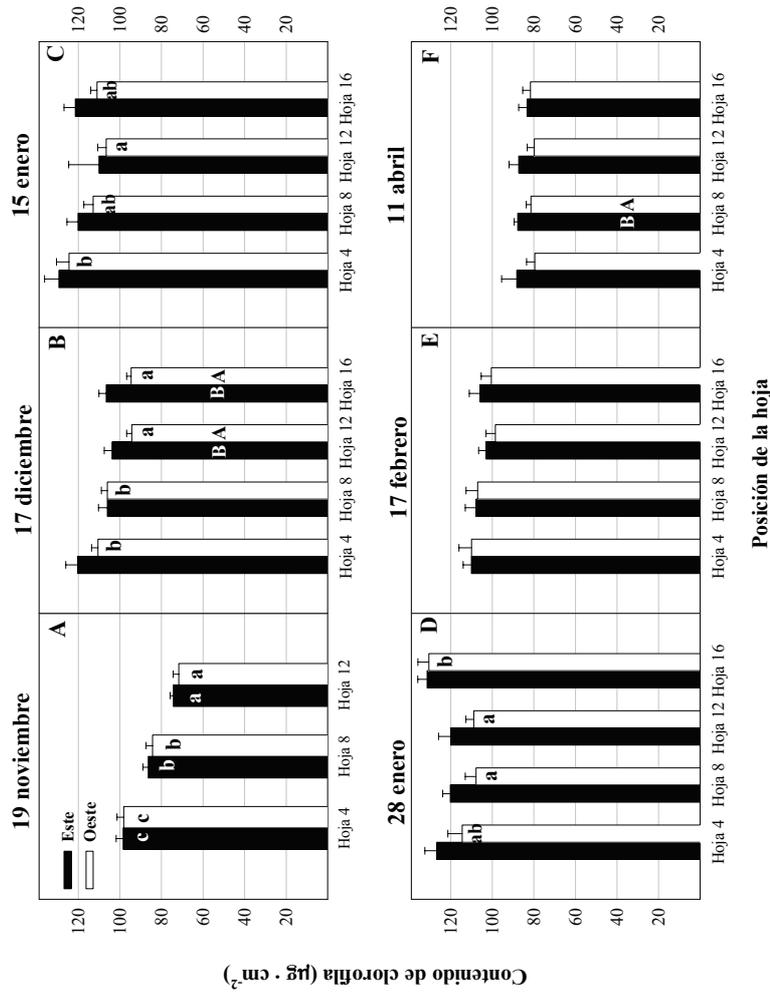


Figura 7. Evolución del contenido de clorofila a lo largo de la temporada, en las exposiciones este - oeste. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre hojas de una misma exposición, letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre exposiciones este-oeste, ($p < 0,05$) según la prueba de comparación múltiple de Tukey. Barras indican el error estándar correspondiente.

DISCUSIÓN

La orientación norte-sur del sistema de conducción en espaldera determina distintas combinaciones de iluminación, humedad relativa y temperatura del aire en ambos lados de la canopia, a lo largo del día y de la temporada en el que teóricamente cada lado se comporta de manera simétrica, pero inversa, interceptando un 50 % o menos de la radiación incidente diaria (Gil, 1998). Las condiciones ambientales imperantes en la época del estudio son típicas de climas mediterráneos, en los que predominan los días despejados en la temporada estival (Figura 1). Mientras las mañanas presentan temperaturas frescas, alta radiación y alta humedad relativa, en las tardes predominan altas temperaturas del aire, alta radiación y una humedad relativa muy baja, condiciones típicamente restrictivas para la adecuada actividad fotosintética de las plantas (Chaves *et al.*, 1987) (Figura 1). Las altas intensidades luminosas registradas durante todo el día, en todas las fechas de medición (Figura 1 A – F), señalan que el crecimiento del viñedo durante la temporada procede con niveles de luz superiores a la saturación, típicamente de entre 900 a 1200 $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (Smart y Robinson, 1991; Gil, 1998).

En general, los máximos niveles de luz incidente a ambos lados de la espaldera son coincidentes, con valores de 1500 a 1750 $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (Figura 2). Estos valores son menores a los observados horizontal y perpendicularmente, debido a la heterogeneidad del ángulo de las hojas. Cabe señalar que la espaldera, que tiene una separación entre hileras de 2,5 m, determina una iluminación diferenciada (Smart, 1985) desde las hojas superiores hacia las inferiores en el lado E durante la mañana y luego un sombreamiento más temprano desde las hojas basales a las superiores en el lado O durante la tarde (Figura 2).

Es sabido que hojas expuestas a la luz, con un buen suministro de agua y transpirando activamente, presentan una temperatura 5 °C menor a la temperatura del aire (Smart, 1985). En este estudio, a partir del mes de enero en adelante, la temperatura foliar se iguala, o en algunos casos supera la temperatura del aire, lo que estaría indicando una menor capacidad refrigerante del follaje (Figura 1 y 3). La importancia de las condiciones de temperatura del aire y la humedad relativa sobre la temperatura del follaje, en las condiciones del estudio, se hacen evidentes al observar las variaciones de temperatura foliar a lo largo del día durante la temporada. Las hojas expuestas a la luz en la primera mitad del día mantienen temperaturas foliares relativamente estables, o bien, con temperaturas bajas, sólo en la primera hora del día (Figura 3 A – F). Al contrario, las hojas expuestas a la luz en horas de la tarde, describen un aumento progresivo en la temperatura foliar a lo largo del día (Figura 3 G - L). Evidentemente, la luz directa en esta última condición (Figura 2 G - L), acompañada de una temperatura del aire elevada (Figura 1 G - L) y de niveles de humedad relativa del aire significativamente menores a los observados en horas de la mañana (Figura 1 M -R), determinan un importante déficit de presión de vapor de agua entre las cavidades sub-estomáticas y el aire (Düring, 1991 y Sivilotti *et al.*, 2005).

El déficit hídrico impuesto a las vides de interés enológico, tiene como objetivo la disminución del diámetro de bayas (Matthews *et al.*, 1987; Coombe y McCarthy, 2000 y Sivilotti *et al.*, 2005), aumentando así la relación piel/pulpa, además de contener el crecimiento vegetativo (Smart, 1985; Schultz y Matthews, 1993; Poni *et al.*, 1994; Gómez del Campo *et al.*, 2002 y Escalona *et al.*, 2003). Esto último, porque el metabolismo secundario a nivel de piel está fuertemente determinado por los niveles de luminosidad. Inicialmente en brotación, las plantas reciben riego suficiente, pero además cuentan con las reservas de agua de las precipitaciones de la temporada invernal. De hecho, bajo condiciones medianamente similares de temperatura, luminosidad y humedad del aire entre los meses de noviembre a diciembre, las tasas de asimilación de CO₂ en las hojas superiores no muestran diferencias notorias en cada lado de la espaldera (Figura 4 A, B, G y H). Ya en enero, sin embargo, la temperatura foliar se eleva fuertemente (Figura 3 C, D, I y J), con una notoria disminución en la tasa fotosintética de las mismas (Figura 4 C, D, I, J).

Kriedemann (1968) y Alleweldt *et al.* (1982) señalan que la tasa fotosintética depende también de la temperatura de la hoja, obteniéndose un óptimo con temperaturas que fluctúan entre 25-30 °C. Es importante consignar que aumentos de la temperatura foliar, por sobre los 30 °C, como ocurre a medio día en la exposición E entre los meses de enero y abril (Figura 3 C - F), así como en la exposición O entre las 15:15 y 18:00 h en los mismos meses (Figura 3 I - L), inducen un activo metabolismo fotorrespiratorio (Farquhar y Sharkey, 1982; Downton *et al.*, 1987 y Zufferey *et al.*, 2000). En este caso, la fotosíntesis neta se ve disminuida por la actividad oxigenasa de la enzima Rubisco. Aún cuando el metabolismo fotorrespiratorio implica una pérdida de CO₂ previamente fijado, es cada vez más evidente que puede ser útil como mecanismo fotoprotector (Wingler *et al.*, 2000). Esto, porque en condiciones de bajas concentraciones de CO₂ intercelular, los electrones provenientes de la descarboxilación de glicina se transfieren al oxígeno (Wingler *et al.*, 2000), formando agua y dicho transporte está acoplado a la síntesis de ATP mediante la fosforilación oxidativa.

En la Figura 4 se aprecia que las tasas de fotosíntesis neta alcanzadas durante la tarde, en la exposición O, fueron siempre menores respecto de las tasas alcanzadas durante la mañana, en la exposición E, coincidiendo con los resultados de Chaves *et al.* (1987), Correia *et al.* (1990), Düring, (1991), Hunter *et al.* (1994) y Gómez del Campo *et al.* (2002). Es importante señalar que esta situación se encuentra previamente documentada por Alleweldt *et al.* (1982), en cuyo estudio plantas bajo restricción hídrica, redujeron fuertemente sus tasas de asimilación neta y transpiración a lo largo del día, disminuyendo en la tarde en 2/3 los niveles alcanzados durante la mañana. A partir del mes de diciembre en adelante se observó un menor aporte en términos fotosintéticos de la zona basal de la canopia, en la primera hora de medición de la exposición E y en la última hora de la exposición O (Figura 4). Este menor aporte estaría dado por la restricción de luz debida al sombreado que provoca la espaldera contigua (Figura 2). Los distintos niveles de iluminación de las hojas así como la fuerte restricción hídrica en la práctica vitivinícola (Downton *et al.*, 1987 y Düring, 1988) acompañada de las condiciones ambientales imperantes, determinan fuertemente el funcionamiento fotosintético de las plantas (Chaves *et al.*, 1987 y Escalona *et al.*, 2003).

La restricción hídrica en el proceso fotosintético está claramente evidenciada, en una primera instancia, por el cierre estomático (Liu *et al.*, 1978; Wong, 1979 y Flexas y Medrano, 2002), cuya tendencia a disminuir la capacidad fotosintética de las hojas (Poni *et al.*, 1994) se acentúa aún más al observar las tasas de asimilación de CO₂ a lo largo del día hacia fines del mes de enero y en el mes de febrero (Figura 4 D, E, J y K). La conductancia estomática disminuye significativamente, y más fuertemente aún en las hojas de exposición O en horas de la tarde (Figura 5 J y K). Lo anterior, posiblemente contribuye al aumento sustantivo de las temperaturas foliares en esa misma exposición (Figura 3 J y K). En abril, además de la condición restrictiva, las hojas ya se encuentran en un avanzado estado de senescencia (Figura 7 F). El cierre estomático de mediodía (Chaves *et al.*, 1987; Downton *et al.*, 1987 y Correia *et al.*, 1990) (Figura 5), con la consecuente disminución de la fotosíntesis neta (Gómez del Campo *et al.*, 2002) (Figura 4), está asociado a altas intensidades luminosas y altas temperaturas (Chaves *et al.*, 1987 y Sivilotti *et al.*, 2005) (Figura 1).

Al observar la variación de Ci a lo largo del día, en ambas exposiciones, se aprecia una tendencia a disminuir, gradualmente en la exposición E y más fuertemente en la exposición O, no observándose diferencias entre hojas de distintas edades (Schultz *et al.*, 1996) (Figura 6). En general, cuando el contenido relativo de agua de una hoja disminuye, con el consecuente deterioro de la conductancia estomática (Wong, 1979), se observa una disminución de Ci (Lawlor, 1995; Wingler *et al.*, 2000 y Sivilotti *et al.*, 2005). Sin embargo, cuando la deshidratación sobrepasa cierto umbral, se ha observado que Ci aumenta nuevamente (Lawlor, 1995; Brodribb, 1996 y Tezara *et al.*, 1999). El hecho de que Ci aumente en condiciones de restricción hídrica severa, al mismo tiempo que aumenta el punto de compensación luminoso, se ha interpretado como el resultado de un predominio de la función respiratoria por sobre la fotosíntesis producto de una inhibición irreversible de la asimilación máxima de CO₂. Evidentemente, en el caso de las plantas de vid de nuestro estudio, a pesar de la importante baja en conductancia estomática (Figura 5), no se observan aumentos de Ci coincidiendo con los resultados obtenidos por Downton *et al.* (1987) y Schultz *et al.* (1996), excepto en el mes de abril, al final de la temporada (Figura 6 F y L), pero acompañadas de leves aumentos en conductancia estomática (Figura 5 F y L), y de la disminución en la temperatura foliar (Figura 3 F y L).

Por su parte Schultz *et al.* (1996), señalan que hojas sombreadas funcionan con niveles más altos de Ci, indicando bajos niveles de conductancia estomática y baja eficiencia de carboxilación respecto de hojas asoleadas, coincidiendo con el comportamiento de la Ci en la exposición O (Figura 6 G – L) que durante la mañana se encuentra sombreada y presenta altos niveles de Ci y luego van disminuyendo a medida que avanza el día y se va iluminando dicho lado de la espaldera.

El aumento del contenido de clorofila a medida que avanza la temporada, observado en la Figura 7, concuerda con lo señalado por Kriedemann (1968) que indica que el contenido de clorofila, el área foliar y la absorción de la radiación incidente, aumentan con la edad de la hoja. El comportamiento del contenido de clorofila, coincide además con los resultados de Candolfi-Vasconcelos y Koblet (1991) y Bertamini y Nedunchezian (2003), que

observaron un aumento gradual del contenido de clorofila desde floración, alcanzando el máximo nivel durante el envero, para luego disminuir progresivamente hacia cosecha. Esta leve disminución en el contenido de clorofilas hacia el mes de febrero y abril, podría corresponder a un mecanismo de adaptación de las hojas a la luz o bien a una senescencia temprana.

CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones experimentales en que se realizó esta investigación, se puede concluir que:

El crecimiento del viñedo, durante la temporada de estudio, procede con condiciones ambientales típicas de clima mediterráneo, con niveles de luz que superan a la saturación. Además las mañanas presentan una alta humedad relativa y temperaturas frescas, determinando una condición más favorable para una adecuada actividad fotosintética, respecto de las condiciones de la tarde.

Cada lado de la espaldera, conducida en orientación norte-sur es expuesto a diferentes condiciones ambientales determinando, en la exposición este, tasas más altas de asimilación de CO₂, niveles de conductancia estomática más altos, mayor contenido de clorofila y menores temperaturas foliares, respecto de la exposición oeste.

A partir del mes de diciembre en adelante la zona basal de la planta pierde importancia respecto de su capacidad de fijación de CO₂ en comparación con las hojas de la zona media-alta, particularmente en la primera hora de medición de la exposición E y en la última hora de la exposición O, dado por la restricción de luz debida al sombreado que provoca la espaldera contigua

El déficit hídrico, comúnmente impuesto a las vides de interés enológico, sumado a la alta radiación y altas temperaturas del aire, determinan un cierre estomático contribuyendo a su vez al aumento progresivo de la temperatura foliar, determinando así una disminución de las tasas asimilación de CO₂ e induciendo a un activo metabolismo fotorespiratorio.

El contenido de clorofila aumenta con la edad de la hoja, alcanzando el máximo hacia el envero para luego disminuir progresivamente hacia la cosecha.

BIBLIOGRAFÍA

- Alleweldt, G., R. Eibach and E. Rühl. 1982. Untersuchungen zum gaswechsel der rebe. I. Einfluß von temperatur, blattalter und tageszeit auf nettphotosynthese und transpiration. *Vitis* 21: 93-100.
- Balcar, J. y J. Hernández. 1988. Translocación de fotosintatos en sarmientos de la vid durante el período vegetativo. *Vitis* 27: 13-20.
- Bergqvist, J., N. Dokoozlian and N. Ebisuda. 2001. Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the central San Joaquin valley of California. *Am. J. Enol. Vitic.* 52(1): 1-7.
- Bertamini, M. and N. Nedunchezian. 2003. Photosynthetic functioning of individual grapevine leaves (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir) during ontogeny in the field. *Vitis* 42(1): 12-17.
- Brodribb, T. 1996. Dynamics of changing intercellular CO₂ concentration (C_i) during drought and determination of minimum functional C_i. *Plant Physiology*. 111(1): 179-185.
- Candolfi-Vasconcelos, M. and W. Koblet. 1991. Influence of partial defoliation on gas exchange parameters and chlorophyll content of field – grown grapevines – Mechanisms and limitations of the compensation capacity. *Vitis* 30: 129-141.
- Chaves, M., P. Harley, J. Tenhunen and O. Lange. 1987. Gas exchange studies in two Portuguese grapevine cultivars. *Physiol. Plantarum* 70: 639-647.
- Coombe, B. and M. McCarthy. 2000. Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian Journal of grape and wine research* 6: 131-135.
- Correia, M., M. Chaves and J. Pereira. 1990. Afternoon depression in photosynthesis in light grapevines leaves. Evidence for a high light stress effect. *J. Exp. Bot.* 41(225):417-426.
- Dokoozlian, N. and W. Kliewer. 1995. The light environment within grapevine canopies. I. Description and seasonal changes during fruit development. *Am. J. Enol. Vitic.* 46(2): 209-218.
- Downton, W., W. Grant and B. Loveys. 1987. Diurnal changes in the photosynthesis of field-grown grape vines. *New Phytol.* 105: 71-80.
- Düring, H. 1988. CO₂ assimilation and photorespiration of grapevine leaves: Responses to light and drought. *Vitis* 27: 199-208.

- Düring, H. 1991. Determination of the photosynthetic capacity of grapevine leaves. *Vitis* 30: 49-56.
- Escalona, J., J. Flexas, J. Bota and H. Medrano. 2003. Distribution of leaf photosynthesis and transpiration within grapevine canopies under different drought conditions. *Vitis* 42(2): 57-64.
- Farquhar, G. and T. Sharkey. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 33: 317-345.
- Flexas, J. and H. Medrano. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C₃ plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Annals of Botany.* 89(2):183-189.
- Gil, G. 1998. Bases de la productividad potencial de un viñedo. pp.29-57. *In: Tópicos de actualización en vitivinicultura y enología.* Chile
- Gómez Del Campo, M., C. Ruiz and J. Lissarrague. 2002. Effect of water stress on leaf area development, photosynthesis, and productivity in Chardonnay and Airén grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 53(2): 138-143.
- Hunter, J., R. Skrivan and H. Ruffner. 1994. Diurnal and seasonal physiological changes in leaves of *Vitis vinifera* L.: CO₂ assimilation rates, sugar levels and sucrolytic enzyme activity. *Vitis* 33: 189-195.
- Iacono, F., M. Bertamini, A. Scienza, and B. Coombe. 1995. Differential effects of canopy manipulation and shading of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. Leaf gas exchange, photosynthetic electron transport rate and sugar accumulation in berries. *Vitis* 34(4): 201-206.
- Kriedemann, P. 1968. Photosynthesis in vine leaves as function of light intensity, temperature, and leaf age. *Vitis* 7: 213-220.
- Lawlor, D. 1995. The effects of water déficit on photosynthesis. In: Environment and plant metabolism. Flexibility and acclimatation. Smirnoff, N. (ed). BIOS Scientific Publisher Oxford. Pp. 129-160.
- Lichtenthaler, H. and A. Wellbur. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extract in different solvents. *Biochemical Society Transactions* 603:591-592.
- Liu, W., R. Pool, W. Wenkert and P. Kriedemann. 1978. Changes in photosynthesis, stomatal resistance and abscisic acid of *Vitis Labruscana* through drought and irrigation cycles. *Am. J. Enol. Vitic.* 29(4):239-246.

- Matthews, M., M. Anderson and H. Schultz. 1987. Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet franc. *Vitis* 26: 147-160.
- Poni, S., A. Lakso, J. Turner and R. Melious. 1994. Interactions of crop level and late season water stress on growth and physiology of field-grown Concord grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 45(2): 252-258.
- Schultz, H. and M. Matthews. 1993. Growth, osmotic adjustment and cell-wall mechanics of expanding grape leaves during water deficits. *Crop Sci.* 33: 287-294.
- Schultz, H., W. Kiefer and W. Gruppe. 1996. Photosynthetic duration, carboxylation efficiency and stomatal limitation of sun and shade leaves different ages in field-grown grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Vitis* 35(4): 169-176.
- Sivilotti, P., C. Bonetto, M. Paladin and E. Peterlunger. 2005. Effect of soil moisture availability on Merlot: from leaf water potential to grape composition. *Am. J. Enol. Vitic.* 56(1): 9-18.
- Smart, R. 1985. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 36(3): 24-33.
- Smart, R. and M. Robinson. 1991. Sunlight into wine, a handbook for winegrape canopy management. *Winetitles*. Adelaide. Australia. 88 p.
- Tezara, W. V. Mitchell, S. Driscoll and D. Lawlor. 1999. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. *Nature*. 401(6756): 914-917.
- Wingler, A., P. Lea, W. Quick and R. Leegood. 2000. Photorespiration: metabolic pathways and their role in stress protection. *The Royal Society* 355: 1517-1529.
- Wong, S. 1979. Stomatal conductance correlates with photosynthetic capacity. *Nature* 282: 424-426.
- Zufferey, V., F. Murisier and R. Schultz. 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(1): 19-26.

CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO VEGETATIVO EN LA VID CV. CABERNET SAUVIGNON, EN EL VALLE DEL MAIPO

RESUMEN

Con el propósito de caracterizar el desarrollo vegetativo de plantas de vid cv. Cabernet Sauvignon durante de la temporada de crecimiento, se realizó un estudio en la temporada 2002-2003 en un viñedo ubicado en la localidad de Huelquén, Valle del Maipo, Chile.

Se evaluó porcentaje de brotación y fertilidad efectiva a principios de temporada, se midió semanalmente largo de brotes, largo y ancho de hojas y peso de poda a final de temporada. Adicionalmente se realizó un seguimiento del desarrollo fenológico.

Los resultados de este estudio, bajo las condiciones experimentales en que se realizó, indican que la tasa de crecimiento de brotes es ascendente desde brotación hasta 4 semanas antes de floración y luego se vuelve decreciente hasta la estabilización del crecimiento, 75 días después de brotación. La longitud del brote resultó ser un buen estimador del área foliar del mismo y a su vez un buen estimador del área foliar total de la canopia, basado en el alto coeficiente de determinación obtenido entre el área foliar del brote principal y su longitud. El cultivar Cabernet Sauvignon requirió 190 días a partir de brotación, para llegar a madurez de cosecha.

Palabras clave: *Vitis vinifera* L., brotación, fertilidad efectiva, desarrollo fenológico.

VEGETATIVE DEVELOPMENT OF GRAPEVINE CV. CABERNET SAUVIGNON, IN THE MAIPO VALLEY

ABSTRACT

In order to characterize the vegetative development of grapevine cv. Cabernet Sauvignon throughout the growing season, a study was carried out in a vineyard located in Huelquén, Maipo Valley, Chile during 2002-2003 growing season.

Budburst percentage and effective fertility was evaluated at the beginning of season. Shoot length, leaf length and leaf width were measured weekly and pruning weight was measured at the end of the season. Additionally the different phenological stages were recorded.

The results of this investigation, under field conditions, indicate that the rate of shoot growth increases rapidly until 4 weeks before bloom and then decreases rapidly until steady shoot elongation. The main leaf area and canopy leaf area are well estimated by shoot length. The cv. Cabernet Sauvignon required 190 days from budburst to maturity.

Key words: *Vitis vinifera* L., budburst, effective fertility, phenological stages.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las hojas durante la temporada de crecimiento es fundamental, debido a su importancia para la interceptación de luz solar y para el proceso fotosintético (Oliveira y Santos, 1995). Sin embargo, las hojas también son las principales responsables de la generación de sombra dentro de las plantas, lo cual puede causar una disminución en el rendimiento y en la calidad de bayas (Smart y Smith, 1988).

El largo de brotes, peso de poda y área foliar, entre otros parámetros, tienen una alta importancia sobre la calidad del vino (Smart y Robinson, 1991), y son índices indirectos útiles para la caracterización de la canopia (Dokoozlian y Kliewer, 1995). Por lo tanto, es necesario cuantificar su desarrollo para ir evaluando el vigor del viñedo durante la temporada y a lo largo del tiempo.

Adicionalmente, el conocimiento de los diversos estados fenológicos de la vid y su identificación es importante para llevar a cabo las prácticas culturales realizadas comúnmente en el viñedo. Al determinar la ocurrencia de los distintos estados fenológicos se facilita la coordinación de las labores a realizar dentro de las unidades productivas (Ortega-Farías *et al.*, 2002).

El objetivo de este estudio fue caracterizar el desarrollo vegetativo de plantas de vid cv. Cabernet Sauvignon, establecidas en el Valle del Maipo, Zona Central de Chile, durante la temporada de crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

El estudio se llevó a cabo durante la temporada 2002-2003 en un viñedo ubicado en la localidad de Huelquén, Región Metropolitana. Se utilizaron plantas de la variedad Cabernet Sauvignon, de siete años de edad, conducidas en espaldera, en orientación norte-sur, con una distancia de plantación de 2,5 m entre hilera y 1,5 m sobre hilera, con un rendimiento promedio de 12 ton · ha⁻¹. Las evaluaciones se realizaron en 12 plantas representativas del sector, escogidas al azar. En todas las plantas se realizó el manejo de canopia, propio del campo que consistió en un chapodo temprano, realizado el día 16 de noviembre de 2002, más eliminación de feminelas de la exposición E, realizado el día 10 de diciembre de 2002.

Evaluaciones de diagnóstico

Condición vegetativa y reproductiva de las plantas

Con el fin de caracterizar el viñedo, se contabilizó el número de yemas brotadas respecto del total de yemas y se registró el número de brotes que presentó cada planta, así como el número de racimos por brote. Posteriormente, se determinó el porcentaje de brotación, el coeficiente de fertilidad y la fertilidad efectiva de acuerdo a las siguientes fórmulas:

Porcentaje de brotación: $(N^{\circ} \text{ de yemas brotadas} / N^{\circ} \text{ de yemas totales}) \cdot 100$

Coeficiente de fertilidad: $(N^{\circ} \text{ de racimos totales} / N^{\circ} \text{ de yemas brotadas}) \cdot 100$

Fertilidad efectiva (%): $(N^{\circ} \text{ de brotes con racimo} / N^{\circ} \text{ de yemas totales}) \cdot 100$

Adicionalmente, se midió el diámetro del tronco de cada una de las plantas a una altura de 40 cm, con la finalidad de determinar el área de sección transversal de tronco (ASTT). Las mediciones se realizaron los días 22 de octubre del año 2002 (inicio de temporada) y el día 28 de abril del año 2003 (término de temporada). Para el cálculo se utilizó la fórmula del área de una circunferencia ($\pi \cdot r^2$).

Mediciones durante la temporada

Caracterización del crecimiento vegetativo

Para esta evaluación se escogieron 2 brotes por planta, 1 por cada exposición, procediendo a evaluar: fecha de brotación, largo del brote principal cada 7 días, largo de los entrenudos del brote principal al final de la temporada.

Paralelamente, se procedió a caracterizar el crecimiento de las hojas del brote principal en los brotes marcados para la medición antes descrita. Para ello, se determinó la fecha de aparición de las hojas y el área foliar, mediante la medición del largo y ancho máximo de todas las hojas del brote, cada 7 días, hasta que se estabilizó el crecimiento. Posteriormente, el área foliar se calculó utilizando el método de estimación de área foliar no destructivo para la vid, el cual relaciona el área foliar con el producto del largo por el ancho de la hoja ($R^2 = 0,99$) (Montero *et al.*, 2000).

$$\text{Área foliar} = \text{AM} \cdot \text{LM} \cdot a$$

Donde:

AM: Ancho máximo de la lámina foliar.

LM: Largo máximo de la lámina foliar.

a : 0,588 ; coeficiente del modelo usado para estimar área foliar en vid (Montero *et al.*, 2000).

Seguimiento del desarrollo fenológico

Se realizó un seguimiento de los distintos estados fenológicos, a partir del inicio de brotación (yema algodonosa) hasta cosecha. Los estados fenológicos corresponden a los propuestos por Fregoni (1998).

Peso de poda

Al final de la temporada, se evaluó el peso de poda de todas las plantas utilizadas en el estudio (invierno 2003), siguiendo el criterio de poda del predio.

Diseño experimental y análisis estadístico

Las evaluaciones se realizaron en 12 plantas representativas del sector, escogidas en forma completamente aleatorizada. En todas las plantas se realizó el manejo de canopia propio del campo.

Los resultados obtenidos se sometieron a análisis de varianza y en los casos que se presentaron diferencias significativas, se empleó la prueba de comparación múltiple de Tukey. Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa estadístico computacional Statgraphics Plus 5.1 (Manugistics, Inc. Maryland, USA).

RESULTADOS

Condición vegetativa y reproductiva de las plantas

Se observó un alto porcentaje de brotación (85,6 %), con un coeficiente de fertilidad de 163,8 % y una fertilidad efectiva del 78,9 % (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de brotación, coeficiente de fertilidad y fertilidad efectiva

	Porcentaje de brotación	Coeficiente de fertilidad (%)	Fertilidad efectiva
Promedio	85,6 (3,5)	163,8 (8,9)	78,9 (3,3)

Los valores indican el promedio de las mediciones realizadas en las 12 plantas utilizadas en el estudio. Valores entre paréntesis corresponden al error estándar.

En la evaluación de área de sección transversal de tronco, realizada a principio y final de temporada, a una altura de 40 cm desde el nivel del suelo, se observó un incremento cercano al 20 % (Cuadro 2).

Cuadro 2. Área de sección transversal de tronco a inicio y término de temporada.

	Área de sección transversal de tronco		
	Inicial	Final (cm ²)	Crecimiento
Promedio	8,609 (0,681)	10,251 (0,658)	1,642 (0,261)

Los valores indican el promedio de las mediciones realizadas en las 12 plantas utilizadas en el estudio. Valores entre paréntesis indican el error estándar correspondiente.

Caracterización del crecimiento vegetativo

Largo de brotes principales

El inicio de la brotación ocurrió el día 21 de septiembre del año 2002, se procedió, 19 días más tarde, a dar comienzo a las mediciones de largo de brotes. En la Figura 1 A, se observa la evolución del largo de los brotes principales y la comparación entre exposición E y exposición O, a lo largo de la temporada de crecimiento. Los brotes crecieron hasta el día 75 después de brotación, fecha en que se realizó el chapado o poda de verano. A partir de esa fecha los brotes mantuvieron el largo al cual fueron rebajados.

ascendente desde brotación hasta el día 19 después de brotación. Luego la tasa se volvió decreciente a medida que avanzó la temporada, tendencia que se observó en ambas exposiciones, llegando a ser nula a partir del chapodo, el día 75 después de brotación, (Figura 1 B).

En la Figura 2 se aprecia el largo de los entrenudos de los brotes principales al final de la temporada, de ambas exposiciones. La exposición E, presentó un largo de entrenudo promedio de 7,38 cm, mientras que la exposición O, presentó 7,48 cm. No se encontraron diferencias significativas al comparar ambas exposiciones, a excepción del entrenudo N° 18, en que la longitud de la exposición E fue significativamente menor respecto de la exposición O.

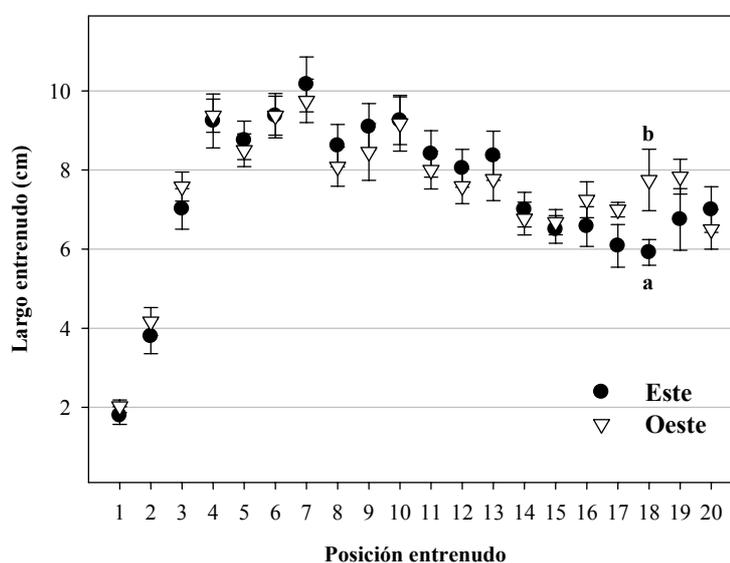


Figura 2. Largo de entrenudos de los brotes principales de las exposiciones E - O, al final de la temporada. Cada punto corresponde al promedio de 12 mediciones. Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$) según la prueba de comparación múltiple de Tukey. Las barras indican el error estándar correspondiente.

Área foliar

Las mediciones de largo y ancho máximo de hojas de brotes principales se iniciaron a principios del mes de octubre y cesaron a principios del mes de enero, una vez que se estabilizó el crecimiento. Se contabilizaron 20 hojas en promedio a lo largo del brote principal, en ambas exposiciones. En la Figura 3 se observa el área foliar estabilizada a final de temporada. No se encontraron diferencias significativas al comparar ambas exposiciones, a excepción de la hoja del nudo N° 19, en que el área foliar de la exposición E fue significativamente menor respecto de la exposición O.

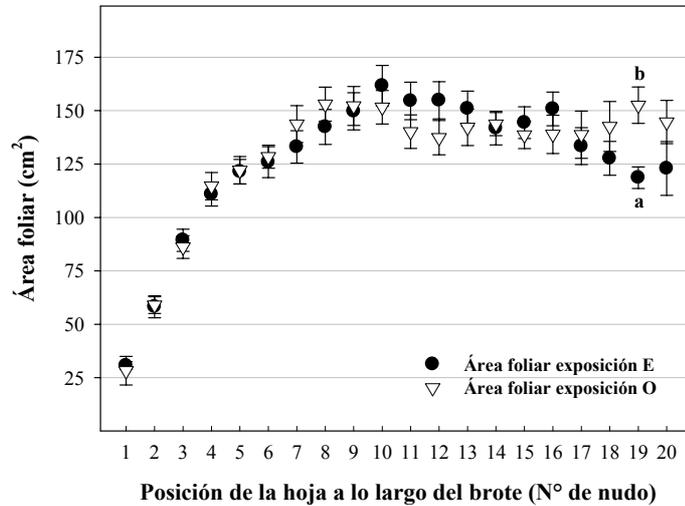


Figura 3. Área foliar estabilizada de los brotes principales, hacia el final del período de crecimiento, según la posición de la hoja en el brote, de las exposiciones E - O. Cada punto corresponde al promedio de 12 mediciones. Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$) según la prueba de comparación múltiple de Tukey. Las barras indican el error estándar respectivo.

La Figura 4 muestra la relación que existe entre el área foliar del brote principal y la longitud de éste. Se observa un valor de $R^2 = 0,90$ para la exposición este y un valor de $R^2 = 0,89$ para la exposición oeste.

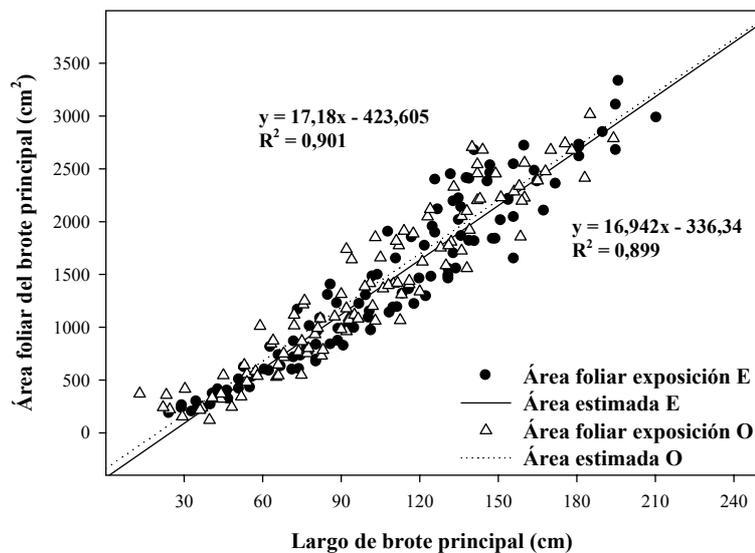


Figura 4. Relación entre el área foliar de los brotes principales y la longitud de éstos, en las exposiciones E - O durante la temporada de evaluaciones.

Seguimiento del desarrollo fenológico

La brotación se inició durante la tercera semana de septiembre. El día 22 de octubre, en tanto, se registró el estado de racimo visible, mientras que el envero se alcanzó 129 días después de brotación, el día 28 de enero. La cosecha se realizó 190 días después de brotación, correspondiendo al día 30 de abril, tal como se observa en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Seguimiento fenológico de la vid, variedad Cabernet Sauvignon durante la temporada 2002 – 2003.

Días después de brotación	Fecha	Estado fenológico
9	30 septiembre 2002	Hoja extendida
31	22 octubre 2002	Racimo visible
38	29 octubre 2002	Racimo separado
45	5 noviembre 2002	Botón floral separado
52	12 noviembre 2002	Plena floración
66	26 noviembre 2002	Fruto cuajado
103	2 enero 2003	Cierre de racimos
115	14 enero 2003	Inicio de envero
129	28 enero 2003	Envero
190	30 abril 2003	Cosecha

Peso de poda

En el Cuadro 4 se observan los pesos de poda evaluados a final de temporada, durante el receso invernal. Se obtuvo un valor de 1.966,8 g de peso de poda promedio por planta. El peso de poda individual de sarmiento, tuvo un valor promedio de 63,5 g y 1.311,2 g de peso de poda por metro lineal.

Cuadro 4. Pesos de poda evaluados a final de temporada, durante receso invernal.

	Peso de poda por planta	Peso individual de sarmiento (g)	Peso poda · m lineal ⁻¹
Promedio	1.966,8 (170,9)	63,5 (6,4)	1.311,2 (113,9)

Los valores corresponden al promedio de las mediciones realizadas en las 12 plantas utilizadas en el estudio. Valores entre paréntesis indican el error estándar respectivo.

DISCUSIÓN

Las evaluaciones de porcentaje de brotación, fertilidad efectiva y área de sección transversal de tronco, tuvieron por objetivo caracterizar el material vegetal del viñedo. Se observó que el porcentaje de brotación fue mayor que la fertilidad efectiva, lo que sugiere que del total de yemas que brotaron, no todas eran brotes fértiles. Por otra parte, el alto coeficiente de fertilidad obtenido, indica que esta variedad es capaz de formar más de un racimo por yema, coincidiendo con los resultados obtenidos por el Instituto de Desarrollo Rural (2005), para la misma variedad (Cuadro 1).

Smart y Robinson (1991), señalan que el largo de los brotes principales y el peso de poda son, entre otros, parámetros de gran importancia utilizados para definir el vigor de un viñedo y a su vez tienen gran importancia sobre la calidad del vino. Ellos mencionan que los valores óptimos de longitud de brotes deberían estar alrededor de los 100 cm, con un número de nudos entre 15 a 20, un peso de poda de 0,3 a 0,6 kg por metro lineal de copa, o un peso individual de sarmientos entre 20 a 40 g. Por otra parte se menciona que otro parámetro, de moderada importancia, es el largo de los entrenudos del brote principal, postulando que un valor promedio de vigor deseable debería ir entre los 6 a 8 cm. Sin embargo, Dokoozlian y Kliewer (1995) sostienen, para el mismo sistema de conducción, que el largo de brotes debería estar entre valores de 1,3 a 2 m y el peso de poda entre 1 a 1,5 kg por metro lineal de copa, para tener una densidad de canopia adecuada. Adicionalmente, los valores de peso de poda por planta son similares a los obtenidos por Matthews *et al.* (1987) en el cv. Cabernet Franc (Cuadro 4). Según estos datos, el viñedo utilizado en el estudio se encontraría en un rango de vigor medio a alto (Figuras 1 A y 2, Cuadro 4).

Matthews *et al.* (1987) postulan que la tasa de crecimiento de brotes principales, aumenta rápidamente hasta alcanzar el máximo aproximadamente 2 semanas después de floración, y luego disminuye rápidamente. Sin embargo, esta información difiere de aquella obtenida en este estudio, donde la tasa de crecimiento aumenta rápidamente hasta alcanzar el máximo 19 días después de brotación, es decir, aproximadamente 4 semanas antes de floración y luego la tasa de crecimiento vuelve a disminuir a medida que avanza la temporada, coincidiendo con los resultados obtenidos por el Instituto de Desarrollo Rural (2005). Este comportamiento diferente podría obedecer a las condiciones climáticas propias de cada zona de estudio y a las prácticas de manejo vitivinícola, como la restricción de riego, entre otras, que acortan el período de elongación de brotes (Matthews *et al.*, 1987) restringiendo el crecimiento vegetativo (Smart, 1985; Schultz y Matthews, 1993; Poni *et al.*, 1994; Gómez del Campo *et al.*, 2002 y Escalona *et al.*, 2003) (Figura 1 B).

La evolución de hojas individuales dentro del brote permitió determinar que el área foliar, medida a final de temporada, se incrementa a medida que aumenta la inserción de la hoja hacia la posición distal hasta el nudo 7. A partir del nudo 8 los valores se mantienen estables (Figura 3). Por otra parte, existe una fuerte relación entre el área foliar del brote

principal y la longitud de éste, presentando un coeficiente de determinación igual a 0,90 y 0,89 para las exposiciones E - O, respectivamente. Smart y Smith (1988) y Dobrowski *et al.* (2002) señalan que el área foliar por metro lineal de canopia puede ser estimada calculando el área foliar del brote a partir de la longitud del mismo (Figura 4).

El período desde brotación hasta envero fue de 129 días y hasta cosecha, de 190 días. Este comportamiento fenológico fue similar a lo observado por Villaseca *et al.* (1986) (Cuadro 3).

CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones experimentales en que se realizó este estudio, se puede concluir que:

La variedad Cabernet Sauvignon es capaz de formar más de un racimo por yema, dado el alto coeficiente de fertilidad obtenido.

La tasa de crecimiento de brotes es ascendente desde brotación hasta 4 semanas antes de floración y luego se vuelve decreciente, a medida que avanza la temporada, hasta la estabilización del crecimiento, 75 días después de brotación.

La longitud del brote principal es un buen estimador del área foliar del mismo y a su vez un buen estimador del área foliar total de la canopia.

El cultivar Cabernet Sauvignon requiere 129 días a partir de brotación, para alcanzar el estado de envero y 190 días para llegar a madurez de cosecha.

BIBLIOGRAFÍA

- Dobrowski, S., S. Ustin and J. Wolpert. 2002. Remote estimation of vine canopy density in vertically shoot-positioned vineyards: determining optimal vegetation indices. *Australian Journal of grape and wine research*. 8: 117-125.
- Dokoozlian, N. and W. Kliewer. 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(2): 219-226.
- Escalona, J., J. Flexas, J. Bota and H. Medrano. 2003. Distribution of leaf photosynthesis and transpiration within grapevine canopies under different drought conditions. *Vitis* 42(2): 57-64.
- Fregoni, M. 1998. *Viticultura di qualità*. Edizioni l' Informatore Agrario. S.r.l. 707 p.
- Gómez Del Campo, M., C. Ruiz and J. Lissarrague. 2002. Effect of water stress on leaf area development, photosynthesis, and productivity in Chardonnay and Airén grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 53(2): 138-143.
- Instituto de Desarrollo Rural. 2005. Caracterización fenológica de vid- zona norte. Campaña 2002-2003. Disponible en: <http://pronofruta.com.ar/hm/vid/fenovid/norte.htm> . Leído el 2 de junio de 2005.
- Matthews, M., M. Anderson and H. Schultz. 1987. Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet franc. *Vitis* 26: 147-160.
- Montero, F., J. De Juan, A. Cuesta and A. Brasa. 2000. Nondestructive methods to estimate leaf area in *Vitis vinifera* L. *HortScience* 35(4): 696-698.
- Oliveira, M and M. Santos. 1995. A semi-empirical method to estimate canopy leaf area of vineyards. *Am. J. Enol. Vitic.* 46(3): 389-391.
- Ortega-Farías, S., P. Lozano, Y. Moreno y L. León. 2002. Desarrollo de modelos predictivos de fenología y evolución de madurez en vid para vino cv. Cabernet Sauvignon y Chardonnay. *Agricultura Técnica* 62(1): 27-37.
- Poni, S., A. Lakso, J. Turner and R. Melious. 1994. Interactions of crop level and late season water stress on growth and physiology of field-grown Concord grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 45(2): 252-258.
- Schultz, H. and M. Matthews. 1993. Growth, osmotic adjustment and cell-wall mechanics of expanding grape leaves during water deficits. *Crop Sci.* 33: 287-294.

Smart, R. 1985. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 36(3): 24-33.

Smart, R. and S. Smith. 1988. Canopy management: Identifying the problems and practical solutions. pp. 109-115. *In: Proceedings second international cool climate viticulture and oenology symposium.* Auckland, New Zealand.

Smart, R. and M. Robinson. 1991. *Sunlight into wine, a handbook for winegrape canopy management.* Winetitles. Adelaide. Australia. 88 p.

Villaseca, S., R. Novoa y I. Muñoz. 1986. Fenología y sumas de temperaturas en 24 variedades de vid. *Agricultura Técnica* 46(1): 63-67.