

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA LUMÍNICA Y LA
FOTOSÍNTESIS EN VIDES SULTANINA CONDUCIDAS EN
PARRÓN**

FERNANDO ANDRÉS CALVO FUENZALIDA

Santiago, Chile

2013

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA LUMÍNICA Y LA FOTOSÍNTESIS EN
VIDES SULTANINA CONDUCIDAS EN PARRÓN**

**CHARACTERIZATION OF THE LIGHT DYNAMICS AND PHOTOSYNTHESIS
IN SULTANA VINES GROWN UNDER TRELLIS SYSTEM**

FERNANDO ANDRÉS CALVO FUENZALIDA

Santiago, Chile

2013

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA LUMÍNICA Y LA FOTOSÍNTESIS EN
VIDES SULTANINA CONDUCIDAS EN PARRÓN**

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniero Agrónomo
Mención: Manejo de Suelos y Aguas

FERNANDO ANDRÉS CALVO FUENZALIDA

PROFESOR GUÍA	Calificaciones
Sr. Víctor García de Cortázar G. de C. Ingeniero Agrónomo, Dr. Ing.	7,0
PROFESORES EVALUADORES	
Sr. Claudio Pastenes V. Ingeniero Agrónomo, PhD.	6,0
Sr. Eduardo Loyola M. Ingeniero Agrónomo, Enólogo, Dr.	6,2
COLABORADOR	
Sr. Manuel Pinto C. Ingeniero Agrónomo, Mg Sc. Dr. Ing.	

Santiago, Chile
2013

ÍNDICE

	Página
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
MATERIALES Y MÉTODO.....	9
RESULTADOS	16
DISCUSIÓN.....	29
CONCLUSIONES.....	31
BIBLIOGRAFÍA.....	32

RESUMEN

Con el propósito de caracterizar el ambiente lumínico y fotosintético de la uva de mesa conducida bajo sistema de parrón, se realizó el presente estudio durante los meses de enero y marzo del año 2008, en un predio ubicado en la localidad de Isla de Maipo, Región Metropolitana, Chile.

Se estudiaron cuatro plantas de vigor medio, midiéndose en ellas la penetración vertical de luz. Con esta información se separó el follaje en tres capas: una expuesta mayoritariamente al sol llamada capa superior, una capa media expuesta a una condición de manchas de sol y una capa inferior expuesta mayoritariamente a condiciones de sombra.

Las hojas de la capa superior del parrón se encuentran sometidas a condiciones lumínicas y térmicas adversas, presentando indicios de fotoinhibición de carácter no permanente, alcanzando valores de F_v/F_m de entre 0,72 y 0,71 unidades. Además presentan valores de rendimiento cuántico inferior a las otras capas, y respiraciones oscuras más elevadas. La asimilación máxima de CO_2 fluctuó entre 13,78 y 12,51 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. La capa superior representa el 7% del IAF.

Las hojas de la capa media se desarrollan en un ambiente dinámico, caracterizado por la ocurrencia de hasta 240 manchas de sol por hora. Estas condiciones de intermitencia lumínica favorecieron el correcto funcionamiento del aparato fotosintético, no mostrando signos de fotoinhibición, presentando valores de F_v/F_m superiores a 0,8 unidades, rendimientos cuánticos más altos que la capa superior y temperaturas foliares dentro de los rangos óptimos para la fotosíntesis. La asimilación máxima de CO_2 fluctuó entre 11,06 y 11,48 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Esta capa representa el 41% del IAF.

Las hojas situadas en la capa inferior del follaje muestran adaptaciones a la condición de sombreado, disminuyendo la tasa de respiración oscura y el punto de compensación lumínica, y elevando su rendimiento cuántico. Además presenta valores de F_v/F_m superiores a 0,8 unidades durante todo el día. Esto les permitiría mantener economías de carbono positivas. La asimilación máxima de CO_2 fluctuó entre 2,78 y 4,27 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. La capa inferior representa el 52% del IAF.

Palabras clave: fotoinhibición, fluorescencia de la clorofila, asimilación de CO_2 , manchas de sol, fotosíntesis.

ABSTRACT

The objective of this research was to characterize the light and photosynthetic environment in Sultana grapevines grown on an overhead trellis system. The study was located in Isla de Maipo, Chile.

Four plants were measured, obtaining vertical profiles of direct PFD penetration, and therefore separating the canopy in three layers: a top one exposed mostly to the sun, a mid one established in a sun and shade condition (sunflecks), and a lower one exposed mostly to the shade.

The top layer showed some photoinhibition symptoms, related with decreased F_v/F_m values, a lower quantum yield and higher values of dark respiration. On the other hand, the mid layer showed higher F_v/F_m values, a higher quantum yield and lower values of dark respiration. It also showed a rate of 240 sunflecks per hour, allowing an adequate performance of the photosynthetic system. The lower layer showed shadow acclimatization, reducing their light compensation point and dark respiration values, making possible to keep a positive CO_2 assimilation.

Key words: Photoinhibition chlorophyll fluorescence, CO_2 assimilation, sunflecks, photosynthesis.

INTRODUCCIÓN

La producción de uva de mesa representa uno de los principales rubros frutícolas del país. Aporta ingresos por 1.289 millones US\$ FOB (ODEPA, 2011), abarcando 53.926 ha entre las regiones III Y VIII (ODEPA, 2010). La variedad Sultanina ocupa el 29,6 % de esta superficie siendo la más cultivada (ODEPA, 2010) y aportando un valor FOB de 312 millones US\$ anuales.

El sistema de conducción de uva de mesa bajo el sistema de parrón español se presenta comúnmente en zonas de clima cálido tales como el Centro Norte de Chile (Gil, 1997). Bajo este manejo es posible obtener buena calidad de fruta si se asegura una correcta iluminación de toda la planta. Esto se logra al permitir transmisiones al suelo de entre un 20 y 40% de la radiación (Gil, 1997). Según Smart (1988), trabajando en vides conducidas en espaldera, las variaciones en el número de brotes influyen en la magnitud del sombreamiento. Con bajas densidades de brotes, el número de aberturas en el follaje permitirá manchas de sol que mejoran la condición lumínica dentro de la copa. En cambio, densidades altas producirán niveles de luz inferiores en el interior de la copa, pudiendo incluso ser inferiores al punto de compensación lumínica. Particular importancia cobra esto último bajo manejos ineficientes, donde es común encontrar intercepciones de hasta un 97% que provocan un efecto de sombreamiento interno y posible parasitismo de hojas al no superar estas el punto de compensación (Gil, 1997). A su vez la capa superior de hojas, permanente expuesta a la luz, podría presentar problemas de fotoinhibición (Saenz-Diez, 2009) lo que es evidente en observaciones a terreno (amarillamiento de hojas) con la consecuente pérdida de capacidad fotosintética y de nutrientes, principalmente nitrógeno. Es importante asegurar una suficiente masa fotosintética durante toda la temporada, y especialmente durante el periodo de llenado de bayas.

La luz absorbida por la clorofila en las hojas puede seguir tres destinos: ser usada en la fotosíntesis, ser disipada como calor o reemitida como fluorescencia. Un indicador de esta última es la relación F_v/F_m . Estos mecanismos operan en competencia, por lo que el aumento de uno involucra la disminución del resto. Por esto, el cuantificar la producción de fluorescencia de la clorofila otorga información del estado de los otros procesos (Maxwell y Johnson, 2000). Es sabido que la temperatura óptima foliar para el proceso fotosintético es de entre 25 y 30 °C (Kriedemann, 1968). Se sabe que la fotoinhibición o estrés fotónico ocurren al inactivarse el sistema fotosintético primario del fotosistema II (FSII), y se manifiesta como una reducción del rendimiento cuántico según Powles (1984, citado por Iacono y Sommer, 1996). Este rendimiento cuántico obtenido al medir fluorescencia indica la eficiencia fotoquímica del FSII. También se sabe que el FSII es la parte más sensible al daño por luz del aparato fotosintético. El grado de fotoinhibición de una hoja se relaciona tanto con el tiempo de exposición a la radiación como con la intensidad de esta radiación (Düring, 1991).

García de Cortazar et al. (2005) indican que en Chile, bajo condiciones de manejo tradicional (incluyendo deshoje, desbrote, arreglo de racimos, etc.) normalmente todas las capas de hojas superan el punto de compensación lumínica. Las hojas posicionadas dentro de la copa experimentan una situación lumínica que varía continuamente, donde la radiación difusa, es complementada por las manchas de sol, y así compensan las pérdidas por respiración (Kriedemann et al., 1973). Al penetrar la radiación en el follaje, las longitudes visibles (400-700 nm) son fuertemente absorbidas, especialmente bajo alta densidad de brotes. A su vez las longitudes cercanas al infrarrojo (700-1000 nm) presentan menores absorciones (Smart, 1988).

De manera práctica, García de Cortázar et al. (2005) caracterizaron el parrón en tres capas foliares: superiores (40-60 cm sobre el alambre), centrales (20-40 cm sobre el alambre) e inferiores (0-20 cm sobre el alambre). Esta estratificación dependerá obviamente de cada parrón y de su grado de esponjamiento. Se han determinado las contribuciones individuales de cada grupo de hojas, conociendo que la capa media aporta aproximadamente el 45% de los asimilados a la planta durante el período de llenado de bayas (García de Cortázar et al., 2005). A su vez esta capa presenta una condición altamente variable y dinámica, caracterizada particularmente por las manchas de sol (“sunfleck”) que ocurren a lo largo del día, estas manchas tienen diferentes duraciones e intensidades lumínicas. Se conoce su importancia para el balance energético dentro del parrón, y se tienen algunos datos de estos parámetros, pero no son lo suficientemente precisos por limitaciones instrumentales. Por esto resulta importante caracterizar la condición de estas hojas con instrumentos más adecuados.

A partir de estos datos y evidencias, nace la necesidad de conocer de mejor forma la condición lumínica al interior del parrón, determinar cómo varía durante el día y la temporada, y como afecta a la fotosíntesis a través de procesos como la fotoinhibición.

El objetivo de este trabajo es caracterizar el ambiente lumínico y fotosintético de la uva de mesa bajo sistema de parrón, con énfasis en la zona del follaje de alta frecuencia de manchas de sol, denominada capa dinámica de hojas.

Esta tesis se enmarca en la realización de un Proyecto Fondecyt 1070788 titulado “Caracterización del Estrés Fotónico en vid y la participación de las proteínas ELIPs como potenciales agentes de fotoprotección”.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en el Predio Las Pircas, ubicado en la localidad de Isla de Maipo, Región Metropolitana. Las coordenadas geográficas corresponden a 33°46'49.14" S de latitud, 70°53'21.29"O de longitud. Se midieron cuatro plantas de *Vitis vinífera* var. Sultanina representativas de un cuartel en producción, siendo la planta la unidad experimental. El parrón estaba plantado a una distancia de 3,5 x 3,5 metros. Las mediciones en terreno se realizaron en dos campañas, correspondiendo las fechas a dos momentos fenológicos, una vez ocurrida la pinta y el de madurez de cosecha. Las fechas correspondieron a los días 31 de enero y 1 de febrero de 2008 para la primera campaña, y para la segunda los días 12 y 13 de marzo de 2008.

Al inicio del estudio se recorrió el parrón elegido y se seleccionaron las plantas a utilizar. Se escogieron plantas de vigor medio, representativas de la condición general del parrón. Las cuatro plantas pertenecían a la misma hilera y se ubicaban una al lado de la otra. Se respetó una distancia entre las calles de tránsito y las plantas a muestrear para evitar la intervención de factores como el polvo y la excesiva exposición al sol.

Caracterización del ambiente lumínico

Para caracterizar el ambiente lumínico se confeccionaron perfiles de penetración de luz, que describen como varía la intensidad lumínica al penetrar la luz en el follaje. Estos perfiles se obtuvieron a través de la metodología descrita por García de Cortázar et al. (2005), y que utiliza como sensor una sonda lineal de cuantos (SS1, Delta-T Devices, Reino Unido) que mide 1 metro y consta de 64 sensores individuales. La sonda se insertó verticalmente de manera que permitiera ubicar los primeros 20 cm de esta bajo el alambre y los 80 cm restantes sobre él (Figura 1). Se midió individualmente cada planta, aprovechando la grilla establecida por los alambres del parrón como guía, que permitió realizar 49 mediciones por planta (Figura 2), cubriendo así completamente el marco de plantación.

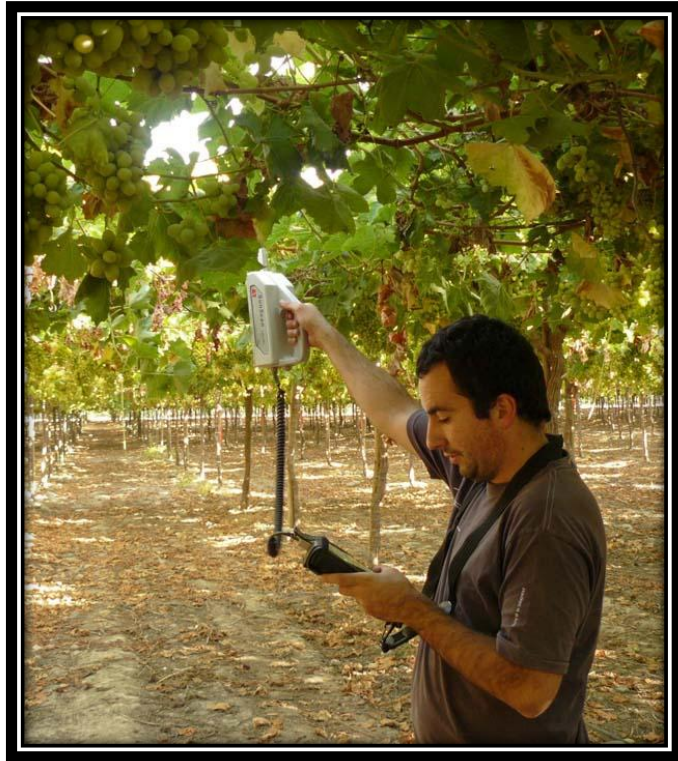


Figura 1. Medición vertical del follaje con la sonda lineal de cuantos SS1.

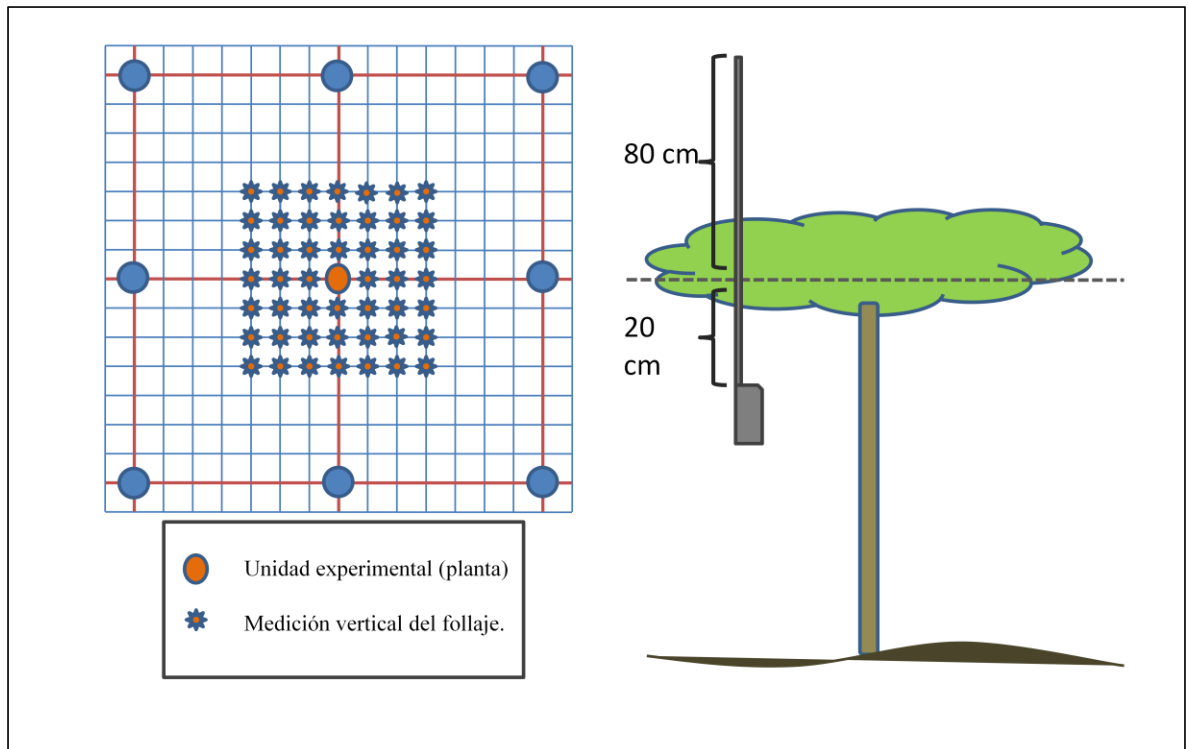


Figura 2. Disposición de las mediciones de la sonda lineal de cuantos dentro de la planta.

Las mediciones verticales se realizaron en distintos horarios a lo largo del día, enfocándose en cubrir al menos una muestra temprano en la mañana, una al mediodía y otra avanzada la tarde. Obtenidos los datos se procedió a calcular perfiles verticales de probabilidad de estar al sol para cada medición. Estos perfiles permiten determinar para cada altura con respecto al alambre la probabilidad que tienen las hojas de estar al sol. El punto de discriminación para determinar que hoja está al sol y que hoja a la sombra equivale a la mitad del valor máximo de intensidad lumínica medido por la sonda. Finalmente se obtienen perfiles en donde se relaciona la probabilidad de estar al sol con altura sobre el alambre. El ajuste de las curvas se realizó mediante el software computacional LAB Fit (Brazil, 2011).

Conociendo estos perfiles de probabilidad, se procedió a separar el parrón en capas que efectivamente representaron las condiciones que se desea contrastar, es decir: hojas expuestas a plena luz, hojas expuestas a una condición dinámica de manchas de sol, y hojas expuestas mayoritariamente a la sombra. Para identificar estas capas, previo a la campaña de medición se realizaron mediciones de perfiles y se identificaron zonas con 20% de probabilidad de estar al sol (hojas expuestas mayoritariamente a la sombra, denominada capa inferior), zonas con 50% de probabilidad de estar al sol (denominada capa media) y hojas expuestas permanentemente al sol, que conforman la capa superior (Criterio según García de Cortázar et al., 2005). Los resultados de esta clasificación se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Alturas y probabilidad de estar al sol de las capas de hojas.

Capa	Altura con respecto al alambre	Probabilidad media de estar al sol
Inferior	-10 a 10 cm	Menor al 20%
Media (Dinámica)	10 a 30 cm	50 %
Superior	Más de 30 cm	Mayor al 80%

El índice de área foliar (IAF) se estimó según la metodología descrita por Monteith y Unsworth (2008). Se sabe que para un parrón el coeficiente de extinción (K) corresponde al de una distribución foliar esférica (García de Cortázar et al., 2005), donde el valor de K puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$K = \frac{0,5}{\text{seno } \beta}$$

Por lo tanto para cada IAF se puede calcular como:

$$IAF = \frac{\ln(\text{fracción solar transmitida})}{-K}$$

La descripción lumínica de la capa media de hojas se abordó estudiando el comportamiento de las manchas de sol. Esto se logró instalando fotodiodos modelo PHC201A (NEC Electronics, Japón) ordenados en crucetas de cuatro puntas, un fotodiodo en cada punta (Figura 3).

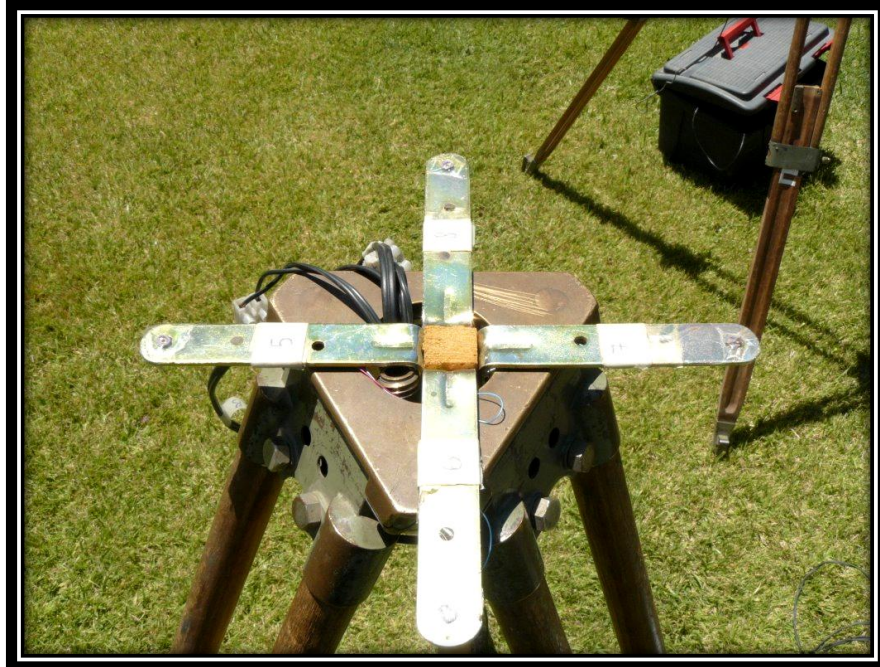


Figura 3. Cruceta con cuatro fotodiodos, destinada a medir las manchas de sol.

Se instalaron dos crucetas, cada una en una planta, a la altura establecida para la capa media de hojas. Las crucetas fueron fijadas apropiadamente para evitar movimientos y los fotodiodos estuvieron activos durante todo el día de medición. La intensidad de muestreo fue de 120 mediciones por minuto. Los datos se almacenaron en un datalogger modelo CR-1000 (Campbell Scientific, EE.UU.) para posteriormente ser extraídos y analizados computacionalmente.

Para obtener una referencia de la radiación fotosintéticamente activa (PFD, cantidad de fotones entre 400 y 700 nm por metro cuadrado y por segundo) que entra al sistema se instaló un sensor modelo QS2 (Delta-T Devices Inc., Reino Unido) en una plataforma elevada un metro sobre el parrón, evitando así el efecto de sombreado de alguna hoja o sarmiento. Estos datos se registraron con una frecuencia de 6 mediciones por hora. A partir de estos datos se confeccionaron curvas que relacionan la intensidad de PFD con hora del día.

Caracterización del ambiente térmico

Simultáneamente se registró la temperatura foliar para cada una de las capas. Para esto se utilizaron termocuplas en unión de Cobre-Constantan adosadas a las hojas por el envés, fijadas con papel engomado (Figura 4). En total se dispuso de diez termocuplas, tres instaladas en cada capa y una instalada como referencia de la temperatura del aire. Esta última fue ubicada a un metro sobre el parrón protegida de la radiación solar. Estos datos fueron registrados por un datalogger modelo DL2e (Delta-T Devices Inc., Reino Unido), con muestreos cada 5 minutos durante todo el día de medición. A partir de estos datos se confeccionaron curvas temperatura foliar v/s hora.



Figura 4. Termocupla instalada en una hoja. El círculo indica la posición exacta donde se está midiendo la temperatura.

Caracterización del comportamiento fotosintético

La descripción del ambiente fotosintético de las plantas se realizó a través de mediciones de absorción de CO_2 y de emisión de fluorescencia. La absorción de CO_2 se cuantificó a través de un analizador de gases infrarrojo CIRAS (PP Systems, Reino Unido). El equipo se conecta a la hoja a través de una cámara tipo Parkinson, donde se mide la diferencia de concentración de CO_2 entre el aire que entra y sale. La concentración de entrada a la

cámara es de 350 ppm de CO₂, absorbiendo la planta parte de este carbono. A partir de estos intercambios el equipo entrega parámetros como Absorción de CO₂ y Conductancia Estomática. Para evaluar la respuesta de las hojas a distintas intensidades de luz se confeccionó una escala a partir de filtros neutros que permiten el paso de fracciones de la luz total. La fuente de luz del equipo, una lámpara que entrega una intensidad de 1.300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, fue considerada como el punto de radiación máxima. Posteriormente y con los diferentes filtros se midió la absorción a distintas intensidades lumínicas de manera decreciente, y finalmente se midió la absorción en condición de oscuridad, cubriendo la hoja y la cámara con una tela negra opaca. Los diferentes puntos de medición y sus respectivas intensidades se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Intensidades lumínicas ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) con las que se midió absorción de CO₂.

Punto de Medición	Intensidad Lumínica
Luz	1300
1	1050
2	800
3	580
4	200
5	60
6	30
Oscuridad	0

Las mediciones de absorción de CO₂ se llevaron a cabo en dos hojas de cada capa, y se realizaron alrededor del medio día. Por la complejidad del método y el tiempo que toma, sólo se logró realizar un muestreo diario para cada capa. A partir de los datos obtenidos se confeccionaron curvas que relacionan intensidad lumínica y asimilación de CO₂. Las curvas fueron ajustadas a una parábola no rectangular, obteniendo así los valores de asimilación máxima (A_{max}), rendimiento cuántico, respiración oscura y punto de compensación lumínica.

Para cuantificar la emisión de fluorescencia se utilizó un fluorómetro modelo PEA (Hansatech, Reino Unido). Se realizaron mediciones a las 9, 12, 15 y 17 horas, con dos repeticiones para cada capa. Las hojas escogidas fueron cubiertas con pinzas 20 minutos antes de la medición, con la intención de aclimatarlas a la oscuridad. Al momento de medir se abren las pinzas y se inserta la sonda del fluorómetro. Los datos fueron almacenados por el fluorómetro y luego fueron transferidos a un computador para su análisis.

Estimación de la carga frutal

La determinación de la carga frutal se realizó a través de un conteo visual de las plantas estudiadas y de las de las hileras adyacentes. Una consultora independiente contratada por el predio realizó un conteo de racimos, y los datos obtenidos por ella son similares a los esperados por el predio y a aquellos emanados de nuestro conteo. El número de racimos promedio fue de 41 por planta.

Análisis Estadístico

Se procedió a comparar las diferentes capas de hojas a través comparación de medias y análisis de T de Student.

RESULTADOS

Ambiente Lumínico

La radiación medida aumentó con el transcurso del día, obteniendo los valores máximos en el medio día solar. El día 31 de enero se presentó totalmente soleado con valores de radiación máximos cercanos a los $1900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La condición climática del día 1 de Febrero fue soleada (Figura 5), con excepción de un par de momentos en el día (cerca de las 13 y 15 horas) donde algunas nubes cubrieron el cielo, reflejándose en disminuciones de la radiación. Los valores máximos registrados rodearon los $1900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

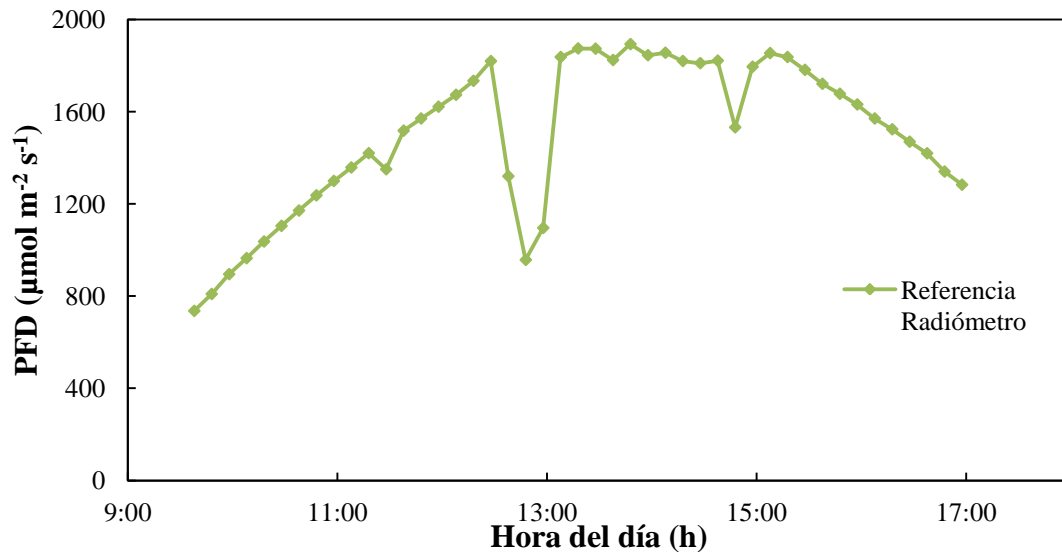


Figura 5. Radiación fotosintéticamente activa expresada como PFD ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para el día 1 de Febrero.

Durante la segunda campaña de medición se registraron valores máximos de PFD de alrededor de $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ con condiciones de día soleado (Figura 6). Esta condición se mantuvo para los dos días de medición. La posición dentro de la planta en que se ubican las diferentes capas foliares determina la intensidad luminosa a la que se ven expuestas durante el día (Figura 6). Es importante destacar la que intensidad de la radiación varía fuertemente al producirse las manchas de sol, lo que se nota particularmente en la capa media de hojas (Figura 7).

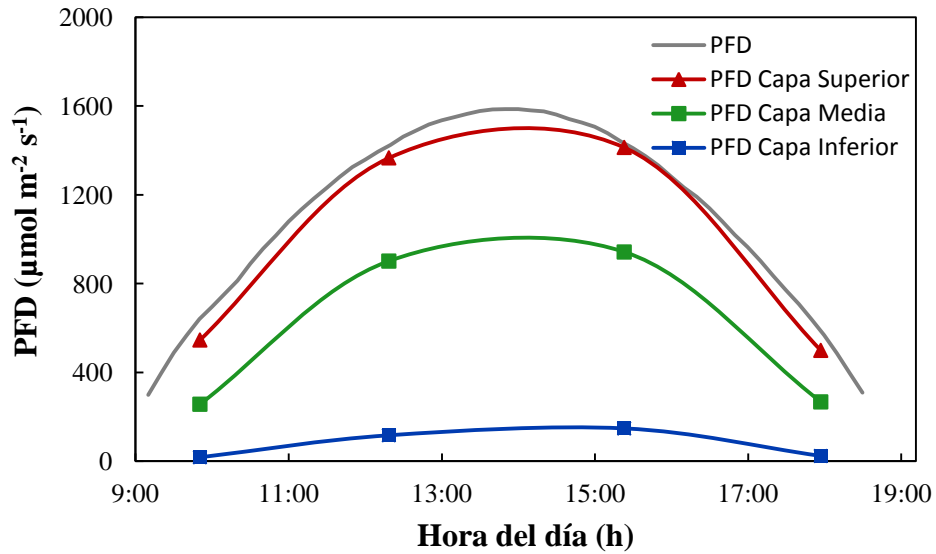


Figura 6. Radiación fotosintéticamente activa medida sobre un plano horizontal, a distintas alturas dentro del parrón. El PFD de las capas se estimó a partir de la probabilidad de estar al sol de estas. 13 de marzo.

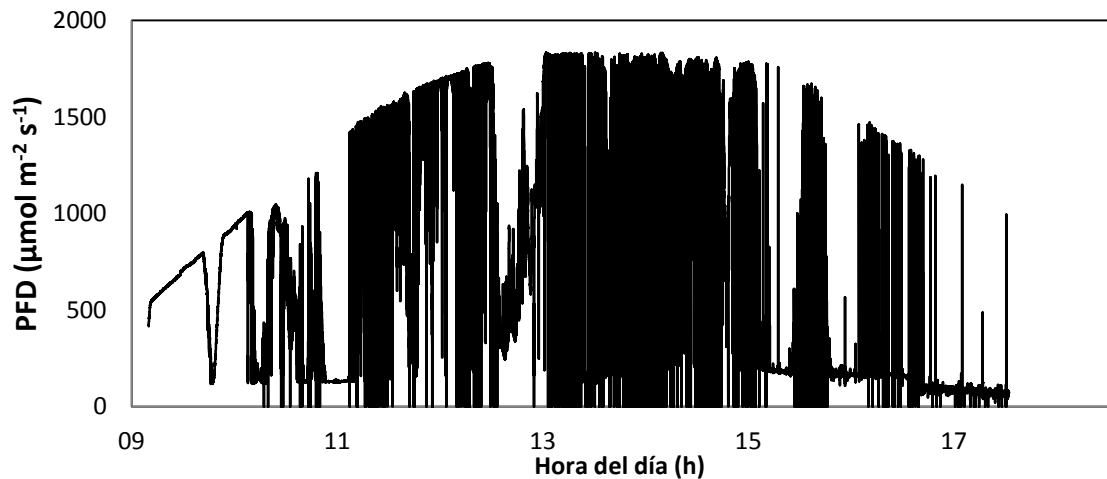


Figura 7. Radiación fotosintéticamente activa recibida por un sensor en la capa media de hojas, para el día 01 de enero.

Para la primera campaña de medición la frecuencia de manchas aumenta al avanzar el día (Figura 7), llegando a valores máximos después del medio día, y manteniendo valores en la tarde comparativamente mayores a los de la mañana (Figura 8b). Esto se debe al aumento en la velocidad del viento que ocurre en las tardes. El comportamiento es similar para la segunda campaña de medición.

Con respecto a la duración de las manchas, más del 40% de estas tuvieron una duración menor a 0,5 segundos. Alrededor del 75% de más manchas tienen una duración menor a los dos segundos (Figura 8a).

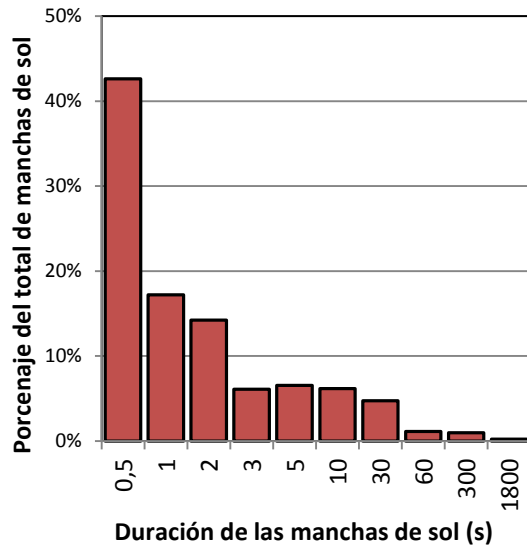


Figura 8a. Cantidad de manchas de sol por hora, primera campaña de medición.

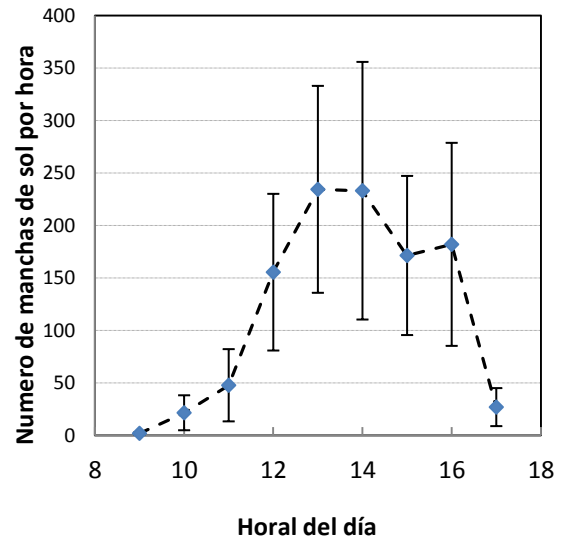


Figura 8b. Proporción de manchas de sol de acuerdo a su duración, primera campaña de medición.

Durante la segunda campaña de medición la intensidad de manchas de sol aumenta de manera constante para alcanzar el máximo al final del día (Figura 9b). Con respecto a la duración de las manchas, más del 40% de estas tuvieron una duración menor a 0,5 segundos. Alrededor del 75% de más manchas tienen una duración menor a los dos segundos (Figura 9a).

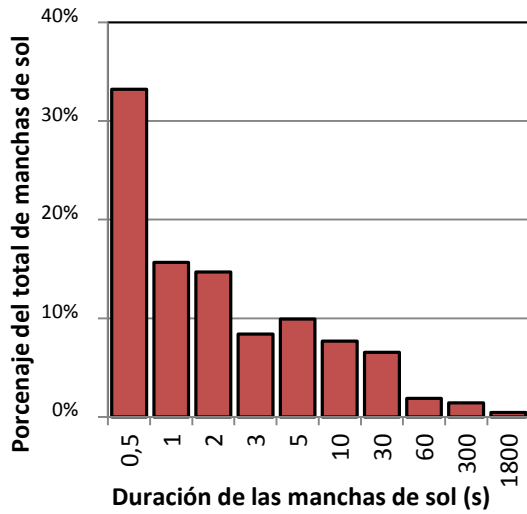


Figura 9a. Cantidad de manchas de sol por hora, segunda campaña de medición.

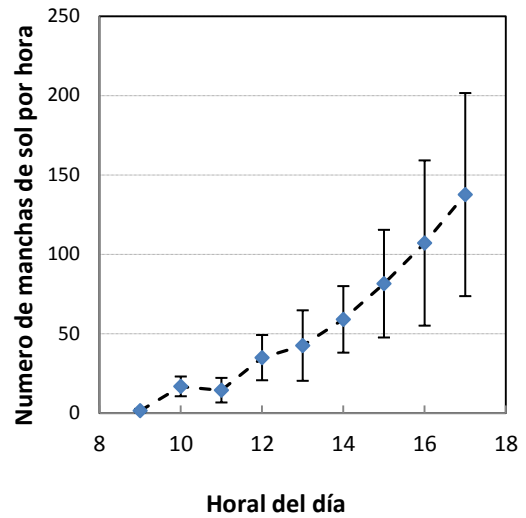


Figura 9b. Proporción de manchas de sol de acuerdo a su duración, segunda campaña de medición.

Probabilidad de estar al sol

A continuación se muestran los perfiles de probabilidad de estar al sol, obtenidos alrededor de las 14 horas (Figuras 10 y 11). La luz, al penetrar en la canopia es interceptada por las hojas, por lo que disminuye gradualmente su intensidad. Los perfiles muestran la probabilidad de una hoja de estar al sol a una determinada hora del día. Las hojas de la capa inferior tienen bajísimas probabilidades de estar al sol. La capa media, por definición, incluye a hojas cuya probabilidad bordee el 50%. Finalmente, las capas superiores tienen una probabilidad superior al 80%.

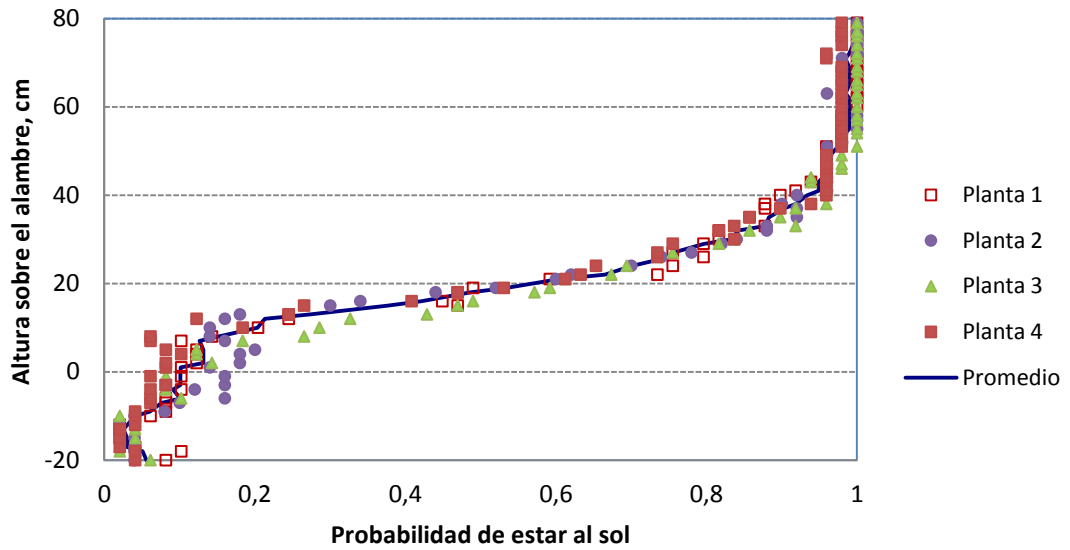


Figura 10. Perfil de probabilidad de estar al sol para el 1 de Febrero, 14 horas.

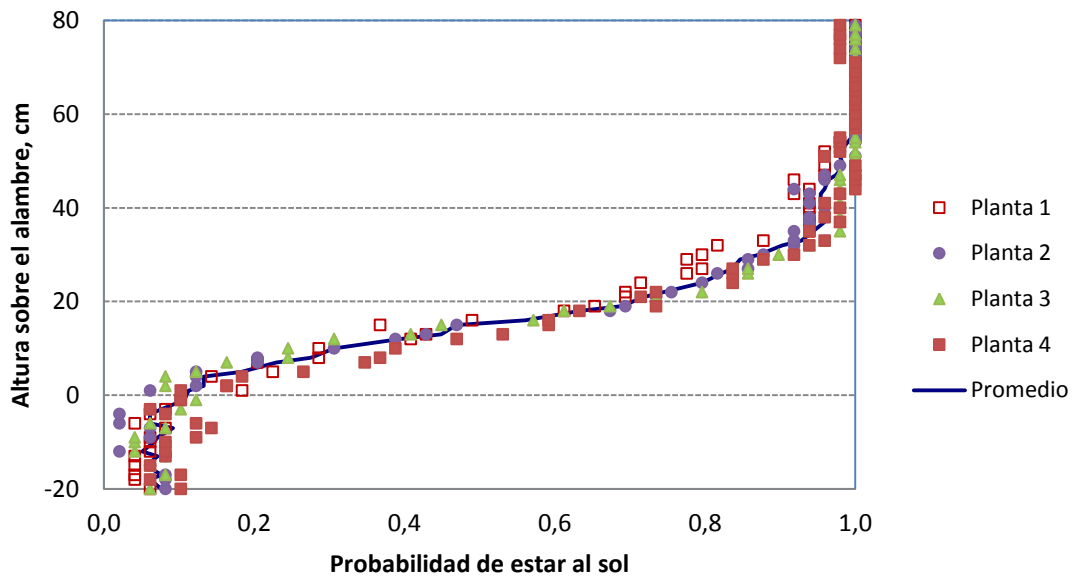


Figura 11. Perfil de probabilidad de estar al sol para el 12 de Marzo, 13 horas.

Para determinar si entre las dos campañas la cobertura aumentó o disminuyó, se calcularon los perfiles promedio para cada campaña (Cuadro 3). Estos perfiles incluyen los datos de todas las plantas medidas cerca del medio día solar. Los resultados para el medio día solar muestran una mayor penetración de la radiación durante la segunda campaña (Cuadro 3).

Cuadro 3. Probabilidad media de las hojas de estar expuestas a la luz directa según su posición en la planta.

Distancia desde el alambre	Primera Campaña 01 de febrero (Error Estándar)	Segunda Campaña 12 de marzo (Error Estándar)
70 cm	0,989 (0,005)	1,000
50 cm	0,969 (0,017)	0,985 (0,010)
30 cm	0,785 (0,013)	0,872 (0,027)
10 cm	0,239 (0,031)	0,306 (0,030)
-10 cm	0,040 (0,011)	0,066 (0,010)

La penetración de la luz depende del ángulo de inclinación solar, por lo que varía con el transcurso del día. Las mayores penetraciones se presentan en los horarios cercanos al mediodía. Entre las 9:45 y 18 horas, la probabilidad de estar al sol de la capa media varía entre 0,41 y 0,47, la de la capa superior entre 0,93 y 0,95 y entre 0,02 y 0,03 para la capa inferior. El valor máximo se obtiene cerca de las 13 horas alcanzando una probabilidad de 0,60, 0,97 y 0,08 respectivamente para cada capa. Para graficar las curvas se realizó un ajuste según el modelo Gompertz (Figura 12).

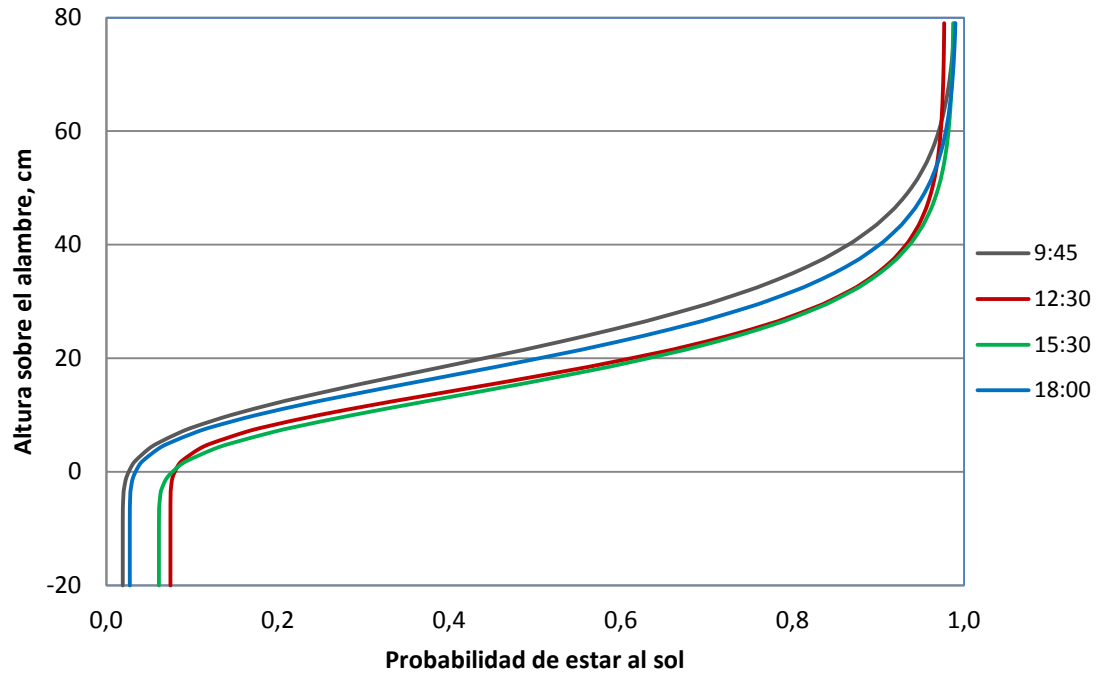


Figura 12. Evolución de la probabilidad de estar al sol durante el día, para el 13 de marzo.

Índice de área foliar

Las estimaciones de IAF se calcularon individualmente para cada planta y para cada campaña de medición. Para confirmar si existe alguna variación de área foliar entre las dos campañas se utilizaron los datos de las cuatro plantas para calcular el IAF de cada campaña. En el Cuadro 4 se muestran esos resultados.

Cuadro 4. Valores de IAF obtenidos para las campañas de medición.

	IAF	Error Estándar
Campaña 1	5,5	0,18
Campaña 2	4,1	0,19

Luego de calculado el IAF se procedió determinar cómo se distribuye este entre las capas. Para la primera campaña, la capa inferior representa un 53%, la capa media un 40% y la capa superior un 7% del IAF respectivamente (Figura 13a). En la segunda campaña de medición, la distribución del IAF mantuvo proporciones similares (52, 41 y 7%) (Figura 13b). En las Figuras 13a y 13b también se muestran la fracción soleada y a la sombra del IAF por cada capa, donde la capa inferior presenta un 9% de hojas al sol, la capa media un 54% y la capa superior un 96%, medidos en la primera campaña. En la segunda campaña los valores fueron 11, 69 y 96% respectivamente. Durante la primera campaña, el 33% del IAF estuvo bajo condición de sol. En la segunda campaña, el 40% del IAF estuvo expuesto a la luz.

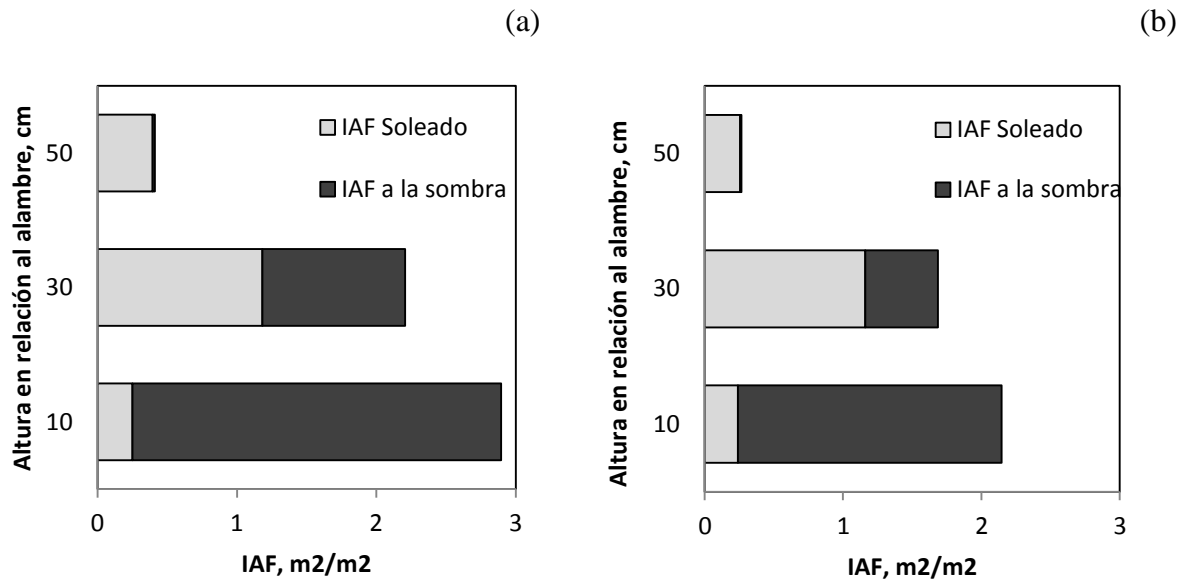


Figura 13. Perfiles verticales de IAF. Se muestra la proporción de IAF Soleado e IAF a la sombra, para la primera (a) y segunda campaña de medición (b).

Ambiente Térmico

La temperatura foliar aumenta en todas las capas de hojas desde temprano en la mañana a partir de la salida del sol. La energía que permite estos cambios de temperatura es la radiación solar. En la Figura 14 se muestra que para un día con nublados intermitentes, la temperatura foliar desciende al descender la radiación incidente. Estas variaciones son coincidentes con las mostradas en la Figura 4. En esta figura no se muestra la temperatura del aire, debido a que los valores medidos son inexactos por exposición directa de la termocupla al sol.

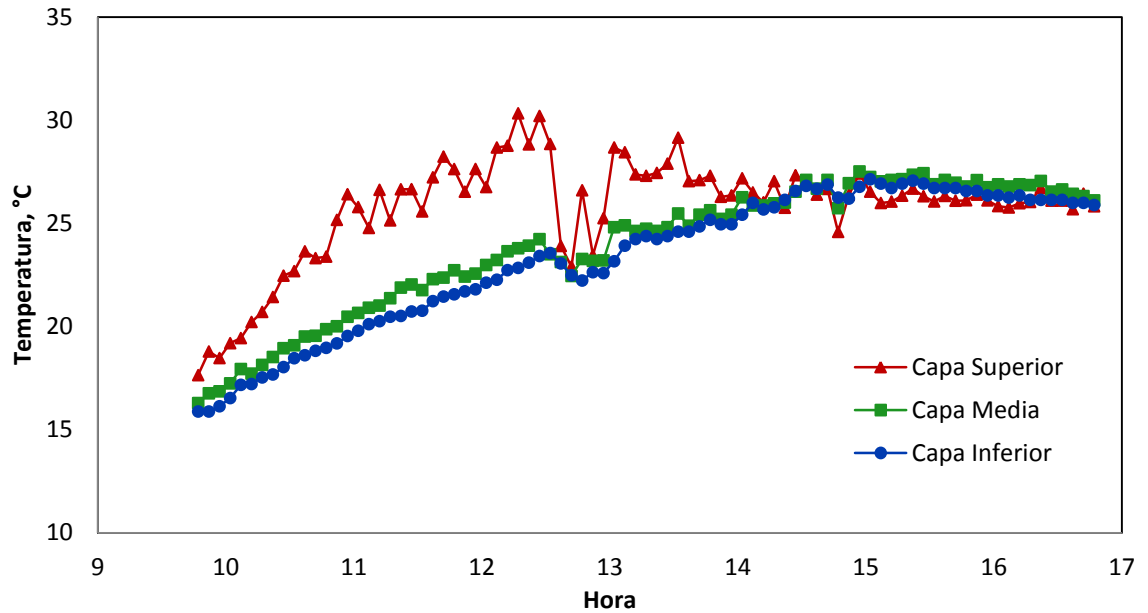


Figura 14. Temperaturas foliares para las tres capas de hojas, medidas el 1 de Febrero.

Para un día donde la radiación solar llega directamente a las plantas, las temperaturas tienen un comportamiento ajustado a una curva diaria de variación. No se observan grandes variaciones en períodos cortos de tiempo. En la Figura 15 también se incluye la temperatura del aire, y corresponde al día 13 de marzo.

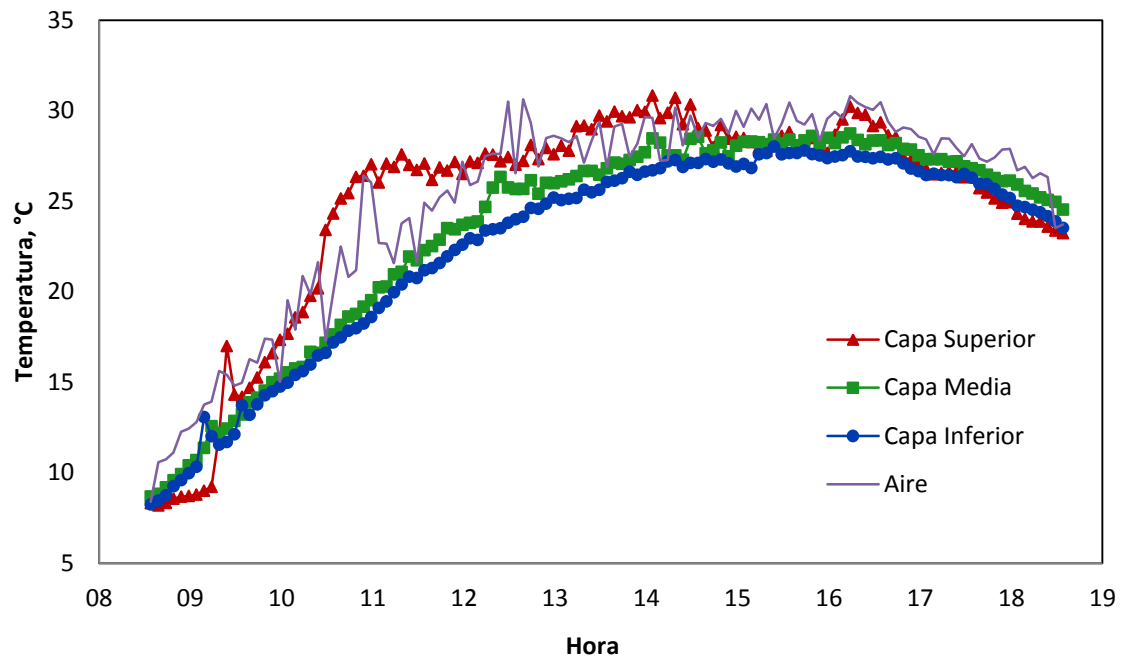


Figura 15. Temperaturas foliares y del aire para las tres capas de hojas, medidas el 13 de Marzo.

Fluorescencia/Eficiencia fotoquímica máxima

La capacidad fotoquímica varió entre las capas foliares (Figuras 16 y 17). La capa superior registró valores considerablemente más bajos que las capas media e inferior. Esto indicaría una eficiencia fotoquímica menor, explicable por la saturación de los centros colectores de luz del PSII. Se aprecian recuperaciones parciales del F_v/F_m a las 17 horas, explicables por la reducción de la radiación que se produce a esas horas de la tarde. Las capas media e inferior mantuvieron valores similares, diferenciándose principalmente a las 12 y 15 horas. Esto indica que la capa media reduce levemente su eficiencia fotoquímica cerca del mediodía, pero esta se recupera durante la tarde.

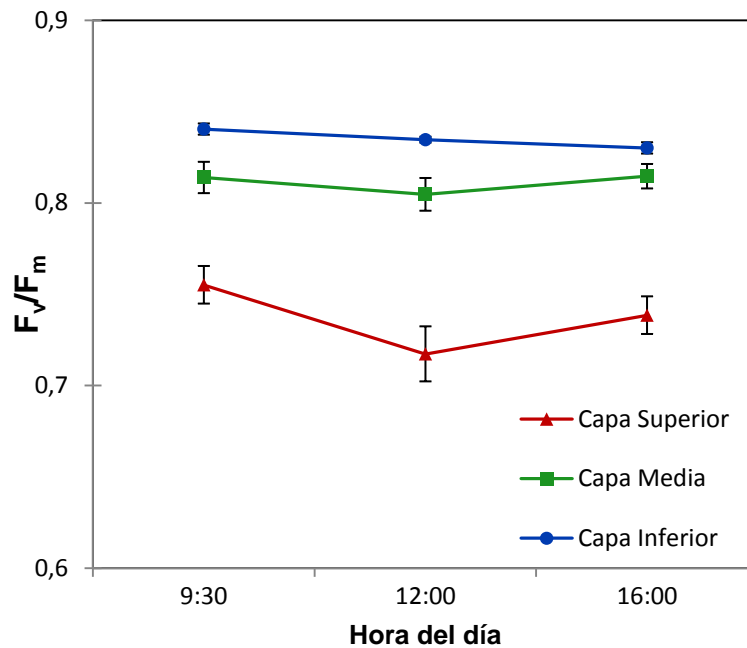


Figura 16. Valores de F_v/F_m promedio para la primera campaña de Medición. Los valores para las 09:30 horas incluyen solo un día de datos.

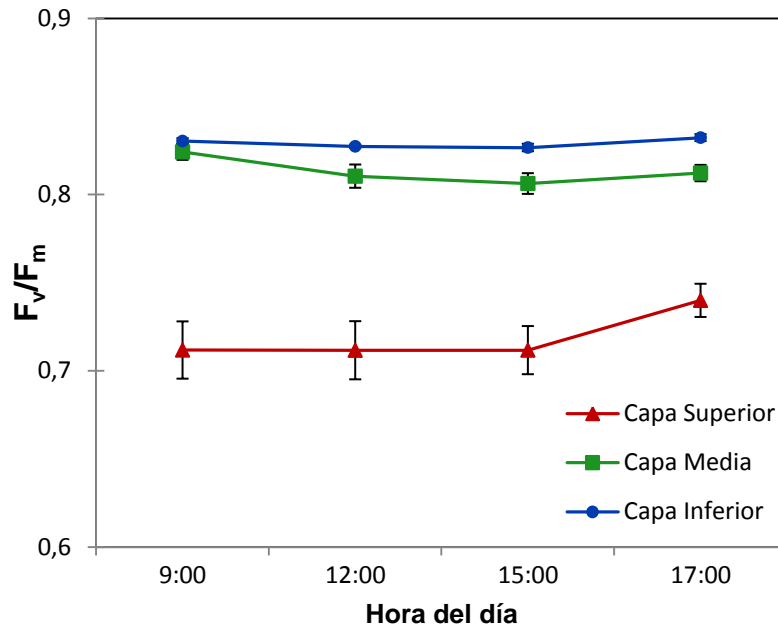


Figura 17. Valores de F_v/F_m promedio para la segunda campaña de Medición.

Asimilación neta de CO_2 .

La posición de las diferentes capas foliares dentro de la hoja incide en la forma en que estas responden a la luz. La asimilación máxima (A_{max}) de CO_2 es similar para las hojas de las capas superiores y media ($13,78$ y $11,06 \mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$) (Figuras 18 y 19, Cuadro 5). Las hojas de la capa inferior muestran una menor tasa fotosintética máxima ($2,78 \mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$). A su vez, la capa inferior muestra un punto de compensación lumínica menor con respecto a las otras capas (Cuadro 5). El rendimiento cuántico tiende a ser mayor en la capa superior, y similar entre la capa media e inferior. El punto de compensación lumínica es menor en las hojas de la capa inferior, y presenta valores mayores para las capas media y superior.

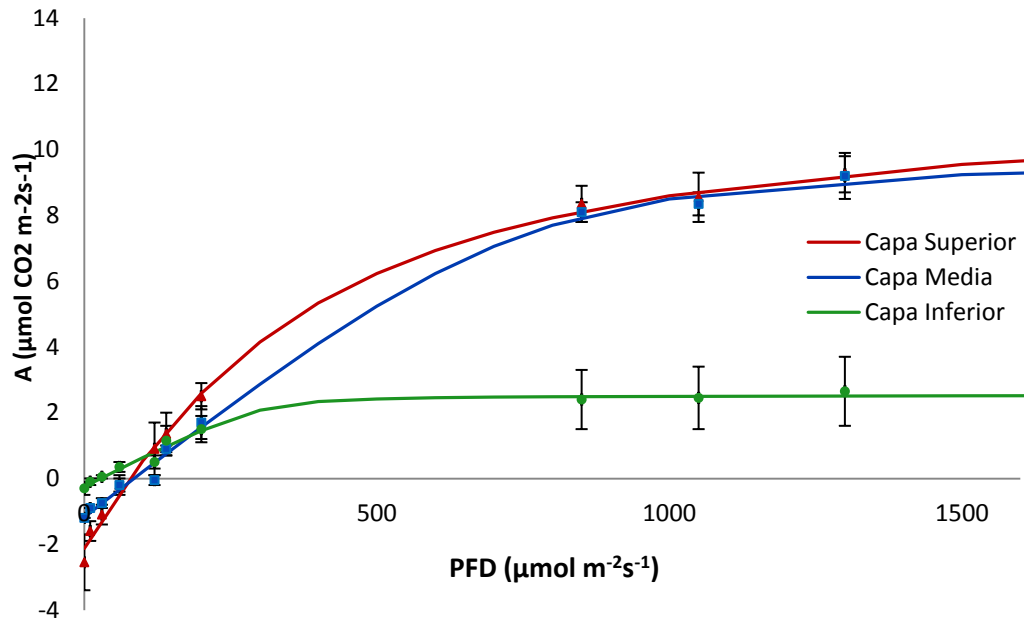


Figura 18. Curvas de absorción de CO₂ para la primera campaña de medición. n=2

Cuadro 5. Valores medios para respiración oscura y asimilación máxima de CO₂, obtenidos de la predicción de curvas, para la primera campaña de medición.

Capa Foliar	Respiración Oscura $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Compensación Lumínica $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Rendimiento Cuántico $\mu\text{mol CO}_2/\mu\text{mol fotones}$	Amax $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Superior	-2,12	80	0,030	13,78
Media	-1,16	80	0,014	11,06
Inferior	-0,24	30	0,009	2,78

Para la segunda campaña de medición los valores de Amax son menores para la capa inferior ($4,57 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), mientras que para las capas media y superior alcanzan valores superiores ($11,48$ y $12,51 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). La capa inferior presenta valores de respiración oscura comparativamente menores a los de las capas media y superior (Figura 19 y Cuadro 6).

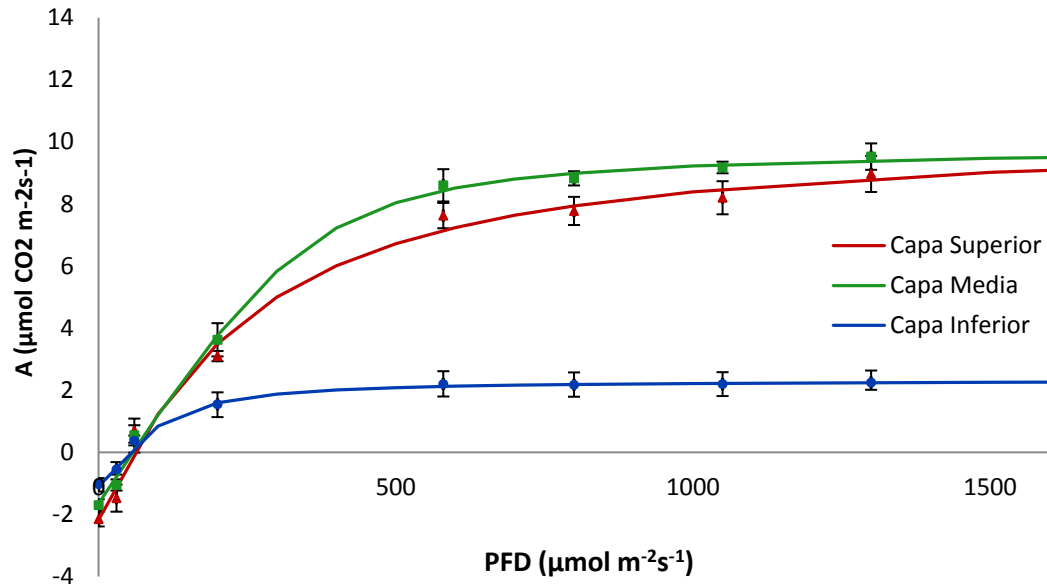


Figura 19. Curvas de absorción de CO_2 para la segunda campaña de medición, datos de los días 12 y 13 de marzo. $n=4$

Cuadro 6. Valores medios para respiración oscura y asimilación máxima de CO_2 , obtenidos de la predicción de curvas, para la segunda campaña de medición.

Capa Foliar	Respiración Oscura $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Compensación Lumínica $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Rendimiento Cuántico $\mu\text{mol CO}_2/\mu\text{mol fotones}$	Amax $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Superior	-2,17	60	0,041	12,51
Media	-1,64	60	0,029	11,48
Inferior	-0,87	50	0,025	4,27

DISCUSIÓN

La disminución de la cobertura foliar medida hacia la segunda campaña de medición confirma lo descrito Dokoozlian y Kliever (1995, citado por Cordova 2002) para Cabernet Sauvignon. Esto es explicable por posibles manejos de desbrote, y también por la senescencia natural de las hojas. Pavez (1996) indica además que luego de pinta disminuye la tasa de crecimiento foliar. Lo importante es que estos datos confirman que la planta no siguió aumentando su masa foliar, deteniéndose el crecimiento vegetativo luego de la pinta.

La temperatura foliar depende del balance energético resultante entre la energía absorbida de la radiación solar y de la emitida por otros cuerpos, y la energía emitida por enfriamiento de la hoja (Sánchez de Miguel, 2007). La posición de las hojas dentro del parrón determina el nivel exposición a la luz solar que presentan. Es por esto que la capa superior presenta las mayores temperaturas foliares. La capa inferior presenta las menores temperaturas, explicado por encontrarse mayoritariamente sombreada. La capa media, al desarrollarse en una condición de manchas de sol, presenta temperaturas intermedias. Las disminuciones bruscas en la radiación solar, producto de nubosidad, conllevan disminuciones en las temperaturas foliares para todas las capas (Figura 4 y Figura 11). A su vez, las hojas disminuyen su temperatura gracias a la condición de viento, al aumentar este la efectividad del intercambio de calor con el ambiente. Esto último explica el comportamiento que presentan las hojas desde la mitad de la tarde en adelante, momento en el cual la velocidad del viento aumenta en la zona del estudio. Smart y Robinson (1991) describen un rango óptimo de temperaturas foliares para el desarrollo de la fotosíntesis de entre los 25 y 30 °C. También se ha descrito que temperaturas foliares superiores a 30 °C afectan la fotosíntesis a través de fotorrespiración (Saenz-Diez, 2009), lo que indicaría que la capa superior estaría en una condición donde podría verse afectada la fotosíntesis.

La reducción vertical de los valores de PFD mostrados en las figuras 8, 9 y 10 muestran un descenso continuo en la capacidad de penetración de las manchas de sol. Esto se explica porque el parrón es una unidad que genera una cobertura uniforme del suelo, donde la variabilidad espacial de la cobertura foliar es baja. García de Cortázar et al. (2005) describen características similares en parrones en la zona del Valle de Elqui, Chile.

La capa superior de hojas estuvo sometida durante gran parte del día a altos niveles de PFD, lo cual genera estrés lumínico y térmico, mostrando indicios de fotoinhibición, con valores de la relación F_v/F_m que bordearon las 0,72 y 0,71 unidades relativas (Figuras 13 y 14). Flexas et al. (2001) describen que para un día típico de verano en parras ambientadas a la luz, la disminución del valor F_v/F_m de 0,8 a 0,7 unidades puede ser producto de la fotoinactivación del 40 a 50% de los centros del PSII. Estos centros inactivos protegerían a los centros restantes, al disipar energía no radiativa. Bertamini y Nedunchezian (2004) plantean que los valores de F_v/F_m disminuyen desde la mañana al mediodía, se mantienen mínimos al mediodía para luego aumentar entre medio día y la tarde, tendencia que se refleja en lo observado en la figura 13. Ögren et al. (1984, citado por Bertamini y Nedunchezian, 2004), identificaron tiempos de recuperación completa de fotoinhibición

en hojas de Lemna de 10 horas. Esto último indicaría que el efecto de fotoinhibición de las hojas de la capa superior es parte de un ciclo diario y reversible, a la par por lo expuesto por García de Cortázar et al. (2005). Es importante también destacar que la capa superior de hojas solo representa un 7% del IAF total, por lo que su fotoinhibición debería tener un bajo impacto en la tasa fotosintética global de la planta.

Las hojas de la capa media, al estar aclimatadas a una condición dinámica de luz, presentan niveles de rendimiento cuántico intermedio. Al parecer, el régimen de manchas de sol que reciben diariamente permite un correcto desarrollo de la fotosíntesis y disminuye los riesgos de fotoinhibición, presentando niveles de F_v/F_m por encima de las 0,8 unidades (figuras 13 y 14). Esto es similar a lo observado por Kriedemann et al. (1973) que reportan incrementos en el rendimiento cuántico al alternar iluminación alta y atenuada, en hojas de vid. En la misma línea, Pearcy et al. (1985) describen un aumento en la eficiencia de la luz al comparar hojas iluminadas permanentemente con hojas iluminadas alternadamente.

García de Cortázar et al. (2005) describen que la diferencia de las tasa máxima de asimilación de CO_2 entre las capas media y superior de hojas se hace mínima después del mediodía. Esto es coherente con lo encontrado en el presente estudio, y se explicaría por una disminución en la eficiencia fotosintética de la capa superior de hojas. A su vez, las hojas de la capa inferior logran mantener economías de carbono positivas, ajustando sus valores de respiración oscura, punto de compensación lumínica y rendimiento cuántico. Saenz-Diez (2009) describe un comportamiento similar para hojas aclimatadas a condición de sombra.

CONCLUSIONES

La exposición continua a la radiación solar de la capa superior de hojas provocó evidencias de fotoinhibición de carácter no permanente.

La condición de manchas de sol presente en la capa media permite un adecuado desempeño fotosintético de las hojas, expresado en valores altos de rendimiento cuántico y altos valores de F_v/F_m .

Las hojas que se desarrollan la capa inferior de hojas presentan menor capacidad fotosintética máxima, lo que se compensa con respiraciones oscuras más bajas. Lo último se resume finalmente en una economía de carbono positiva.

BIBLIOGRAFÍA

- Bertamini, M., K. Muthuchelian, and N. Nedunchezian. 2004. Photoinhibition of photosynthesis in sun and shade grown leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Photosynthetica* 42(1): 7-14.
- Córdova, C. 2002. Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa en parrones de vid “sultanina”, en dos localidades; Paihuano (IV Región) y Santiago (Región Metropolitana). Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 35h.
- Düring, H. (1991). Determination of the photosynthetic capacity of grapevine leaves. *Vitis* 30: 49 -56.
- Flexas J, Hendrickson L, Chow WS. 2001. Photoinactivation of photosystem II in high light-acclimated grapevines. *Australian Journal of Plant Physiology*. 28:755–764. OK
- García de Cortázar, V., C. Córdova, and M. Pinto. 2005. Canopy structure and photosynthesis modelling of grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. Sultana) grown on an overhead (parrón) trellis system in Chile. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 11(3): 328-338.
- Gil, G. 1997. Fruticultura el potencial productivo: crecimiento vegetativo y diseño de huertos y viñedos. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile. 342p.
- Iacono, F. and K.J. Sommer. 1996. Photoinhibition of photosynthesis and photorespiration in *Vitis vinifera* under field conditions – effects of light climate and leaf position. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 2(1):10-20.
- Kriedemann, P.E., 1968. Photosynthesis in vine leaves as function of light intensity, temperature, and leaf age. *Vitis* 7:213-220.
- Kriedemann, P.E., E. Törökfalvy, and R.E. Smart. 1973. Natural occurrence and photosynthetic utilisation of sunflecks by grapevine leaves. *Photosynthetica* 7(1):18-27.
- LABFit. 2011. [en línea]. Brazil: AB Fit Curve Fitting Software (Nonlinear Regression and Treatment of Data Program) V 7.2.48 (1999-2011). Recuperado en: <<http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/>> Consultado el: 10 de abril de 2013.
- Maxwell, K. and G. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51(345):659-668.
- Monteith, J.L. y Unsworth, M.H. 2008. *Principles of Environmental Physics*. Londres, Reino Unido: Academic Press. 418p.

Oficina de estudios y políticas agrarias, Ministerio de Agricultura, Chile (Ed.). 2010, oct. Mercado de la uva de mesa. Santiago, Chile: ODEPA. 15p. Recuperado en: < <http://www.odepa.gob.cl> > Consultado el: 09 de junio de 2013.

Oficina de estudios y políticas agrarias, Ministerio de Agricultura, Chile (Ed.). 2012, mar. Boletín frutícola: Avance enero-febrero 2012. Santiago, Chile: ODEPA. 17p. Recuperado en: < <http://www.odepa.gob.cl> > Consultado el: 17 de junio de 2013.

Pavéz, J. 1996. Caracterización del desarrollo vegetativo y microclima luminoso y su influencia sobre la calidad de la fruta en cv. Thompson Seedless. Memoria Ingeniero Agrónomo. Quillota, Chile: Universidad Católica de Valparaíso. 120h.

Pearcy, R. W., K. Osteryoung, and H.W. Calkin. 1985 . Photosynthetic responses to dynamic light environments by Hawaiian trees. The time course of CO₂ uptake and carbon gain during sunflecks. *Plant Physiol.* 79:896-902.

Saenz-Diez, D. 2009. Respuesta fotosintética de hojas de vid desarrolladas a diferentes condiciones de luz. Tesis Ingeniero Agrónomo y Magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención Producción Frutícola. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 51h.

Sánchez de Miguel, 2007. Producción y distribución de fotoasimilados en la vid (*Vitis vinifera* L.) durante el período de maduración: cambios en la respuesta fotosintética a la luz de las hojas por factores biológicos, ambientales y culturales. Tesis Doctoral. Madrid, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid. 415h. Recuperado en: <http://oa.upm.es/1099/1/PATRICIA_SANCHEZ_DE_MIGUEL.pdf> Consultado el: 18 de abril de 2013.

Smart, R. E. 1988. Shoot spacing and canopy light microclimate. *American Journal of Enologic Viticulture* 39(4): 325-333.

Smart, R. and M. Robinson 1991. Sunlight into wine. A handbook for winegrape canopy management. Adelaida, Australia: Winetitles. 88p.