

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Comportamiento del Intercambio de Gases a Nivel  
de toda la Planta en Vid (*Vitis vinífera*) bajo  
Condiciones de Riego Diferentes

Por:

JOSÉ MARÍA URDIANO RODRÍGUEZ

**TESIS**

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el  
Título de:

Ingeniero Agrónomo en Horticultura

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Febrero de 2008

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y  
aprobada como requisito, para optar el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO  
EN HORTICULTURA

COMITÉ PARTICULAR

---

Dr. Víctor Manuel Reyes Salas

Asesor principal

---

Dr. Reynaldo Alonso Velasco

Sinodal

---

Ing. Gerardo Rodríguez Galindo

Sinodal

---

Ing. Eliseo Salvador González Sandoval  
Sinodal suplente

El Coordinador de la División de Agronomía

---

Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Febrero de 2008

## INDICE DE CONTENIDO

	PAGINA
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
REVISION DE LITERATURA	
Historia y Origen.....	4
Clasificación taxonómica.....	5
Descripción botánica.....	5
Exigencias climáticas.....	6
MATERIALES Y METODOS.....	7
TRATAMIENTOS.....	7
VARIABLES EVALUADAS .....	9
RESULTADOS.....	14
DISCUSIÓN.....	37
CONCLUSIONES.....	44
LITERATURA CITADA.....	45

## **DEDICATORIA**

### **A mi madre Angelina:**

Por ese apoyo incondicional tanto en las buenas como en las malas, por darme esas palabras de aliento cuando los necesité, por darme la fuerza necesaria para seguir luchando por alcanzar esta meta que me planteé cuando sentía que no podría llegar a ella y por ser mi inspiración para romper cualquier barrera y llegar al éxito.

### **A la memoria de mi padre Lorenzo:**

Que aunque lo perdí de pequeño, siempre le dedico mis logros.

### **A mi hermano Ramiro Alejandro:**

Por estar conmigo desde el principio, compartiendo alegrías y malos ratos, por dejar a un lado tus intereses personales, para darnos la oportunidad a nosotros tus hermanos, y por el apoyo sincero y completo que solo tú podrías haberme dado.

### **A mis hermanos Liliana, Aurora y Jesús.**

Por el simple hecho de existir y dar felicidad a mi familia.

### **A mi Flaquita: Blanca**

Por todos los momentos tan especiales que hemos vivido juntos, haciendo más livianos los ratos difíciles, por darme razones siempre para estar feliz y brindarme ese amor limpio y sincero que siempre había buscado.

### **Y muy especialmente a Defino, Tía María, Tío Luís y Mi abuela:**

Por creer en mí, apoyarme sin interés alguno y darme el empuje para llegar a este momento, siendo parte importante de mi vida y de toda mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi alma mater: la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en dónde me desarrolle profesionalmente, a la cual le debo este logro.

De manera muy especial y sincera, al Dr. Víctor Manuel Reyes Salas y al Dr. Reynaldo Alonso Velasco, por su gran apoyo y colaboración para la realización de este trabajo de investigación, así como por su disponibilidad para ayudar, tanto a mí ,como a todo alumno que se acerque a ellos.

A todas aquellas personas, que me brindaron su amistad en estos casi cinco años de mi vida, a quienes aprecio sinceramente, mis amigos:

Ing. Fernando Contreras Fermín “Fer”

Ing. Adalberto Reyes Ávila “El Doctor”

Ing. Rodolfo Morales Santos “El Campeche”

Ing. Ramiro Rodríguez Hernández

Pedro César José Barriga “El Face”

Francisco Figueroa Velasco ”Paquito”

Jeiver Díaz Delgado

Victor Armenio Díaz Delgado

Jorge Antonio Martínez Gámez

Magdalena Ramírez Olvera

Manuel Martínez Mendóza

Manuel Morales Huerta “El Mane”

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tasa promedio diario acumulada de asimilación neta de CO <sub>2</sub> a nivel de toda la cepa ( <b>NCER<sub>canopy</sub></b> ) durante el 2003 de los tratamientos, control ( <b>C</b> ) y déficit ( <b>D</b> ) .....	<b>22</b>
<b>Tabla 2.</b> Tasa promedio diario acumulada de asimilación neta de CO <sub>2</sub> a nivel de toda la cepa expresada por unidad superficie de área foliar ( <b>NCER<sub>h</sub></b> ) durante el 2003 de los tratamientos, control ( <b>C</b> ) y déficit ( <b>D</b> ) .....	<b>23</b>
<b>Tabla 3.</b> Tasa acumulada de asimilación neta de CO <sub>2</sub> a nivel de toda la cepa ( <b>NCER<sub>canopy</sub></b> ) durante el 2004 de los tratamientos, control ( <b>C</b> ) déficit ( <b>D</b> ) .....	<b>24</b>
<b>Tabla 4.</b> Tasa promedio diario acumulada de asimilación neta de CO <sub>2</sub> a nivel de toda la cepa expresada por unidad superficie de área foliar ( <b>NCER<sub>h</sub></b> ) durante el 2004 de los tratamientos, control ( <b>C</b> ) y déficit ( <b>D</b> ) .....	<b>25</b>
<b>Tabla 5.</b> Tasa acumulada de asimilación neta de CO <sub>2</sub> a nivel de toda la cepa ( <b>NCER<sub>canopy</sub></b> ) durante el 2004 de los tratamientos, control ( <b>C</b> ) control déficit ( <b>CD</b> ) .....	<b>26</b>
<b>Tabla 6.</b> Tasa promedio diario acumulada de asimilación neta de CO <sub>2</sub> a nivel de toda la cepa expresada por unidad superficie de área foliar ( <b>NCER<sub>h</sub></b> ) durante el 2004 de los tratamientos, control ( <b>C</b> ) y control déficit ( <b>CD</b> ).	<b>27</b>
<b>Tabla 7.</b> Área foliar de las cepas en las que se realizaron las mediciones de la tasa de asimilación neta CO <sub>2</sub> a nivel de toda la cepa al final del 2003 y 2004 .....	<b>30</b>
<b>Tabla 8.</b> Producción en base a número de racimos .....	<b>33</b>
<b>Tabla 9.</b> Producción en base a peso fresco.....	<b>34</b>

**Tabla 10.** Producción Numero de racimos por metro cuadrado de área foliar .....**35**

**Tabla 11.** Producción kilogramos por metro cuadrado de área foliar .....**36**

**Tabla 12.** Tasa promedio acumulada de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa (**NCER<sub>canopy</sub>**) durante el 2003 y 2004 de los tratamientos, control (**C**) control déficit (**CD**), y la Tasa promedio diario acumulada de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa expresada por unidad superficie de área foliar (**NCER<sub>h</sub>**) durante el 2003 y 2004 de los tratamientos, control (**C**) déficit, (**D**) control (**C**) y Control déficit (**CD**).....**43**

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Evolución diurna de la Radiación fotosintéticamente activa durante los días de evaluación de los años 2003 y 2004. Cada observación representa la media de tres valores determinados en períodos de 15 minutos en la hora.....	15
<b>Figura 2.</b> Evolución diurna de la temperatura en las evaluaciones del año 2003 y 2004. Cada observación representa la media de tres valores determinados en períodos de 15 minutos en la hora.....	16
<b>Figura 3.</b> Evolución estacional del agua de riego aplicada en los tratamientos <b>C, D</b> y <b>CD</b> en los años 2003 y 2004. ....	17
<b>Figura 4.</b> Evolución diurna del Potencial hídrico de tallo ( $\Psi_{stem}$ ) en los tratamientos <b>C, D</b> y <b>CD</b> en las evaluaciones de los años 2003 y 2004.....	19
<b>Figura 5.</b> Evolución diurna de la Conductancia Estomática ( $g_s$ ) de los tratamientos <b>C,D</b> y <b>CD</b> en las evaluaciones de los años 2003 y 2004. ....	21
<b>Figura 6.</b> Evolución diurna de la tasa de asimilación neta $CO_2$ a nivel de toda la cepa ( $NCER_{canopy}$ ) en las evaluaciones de los años 2003 y 2004. Cada punto representa la media de 6 determinaciones.....	29
<b>Figura 8.</b> Tasa de asimilación neta de $CO_2$ por metro cuadrado de área foliar <b>(A)</b> tratamientos C vs D 2003 – 2004 y <b>(B)</b> C vs CD 2004 <b>(B)</b> .....	31



**Figura 9.** Tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de hoja (**A**) en los tratamientos **C vs D** y **C vs CD** en el 2004. ....32

**Figura 11.** Relación entre tasa neta de asimilación de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa **NCER<sub>canopy</sub>** y la radiación fotosintéticamente activa **PAR**.....41

**Figura 12.** Relación entre tasa neta de asimilación de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa **NCER<sub>canopy</sub>** y la temperatura del aire. ....42

## INTRODUCCIÓN

No resulta tarea fácil cuantificar las necesidades hídricas de la vid, ni tampoco la respuesta de la planta al aporte de agua, ya que a la dificultad de establecer el adecuado balance hídrico hay otros factores que, como el sistema de conducción, los cambios de la masa vegetativa a medida que avanza la estación y el incremento de la transpiración también afectan al consumo de agua. A este panorama habría que añadir consideraciones tan importantes como el hecho de que en la vid no sólo se deben evaluar las necesidades de agua con el fin de optimizar su capacidad productiva, sino también como el estado hídrico de la planta afecta la calidad del mosto para una buena vinificación. A pesar de algunas lagunas de conocimiento en este ámbito la regulación del riego, el Riego Deficitario Controlado (RDC) es un buen método de control del rendimiento y de la calidad. Existen numerosos trabajos que evidencian que un déficit hídrico produce cambios significativos en el crecimiento vegetativo (Schultz y Matthews, 1993; Poni et al (1993), Ussahatanonta et al, 1996) y en la composición química de las bayas (Reynolds y Naylor, 1994; Jackson y Lombard, 1993). Sin embargo, el periodo fenológico más apropiado para la restricción hídrica aún no está claro, o puede ser diferente en función de la finalidad productiva y las condiciones de manejo del viñedo. En investigaciones realizadas en Israel, Bravdo y Naor (1997) encontraron vinos de mejor calidad en viñas que fueron sometidas a déficit hídrico moderados durante toda la temporada. Otros autores indican que un déficit hídrico entre envero y cosecha incrementa significativamente la producción de antocianos, lo que implica un mejor color en variedades tintas

(Matthews et al., 1990; Nadal y Arola, 1995). Además, la falta de agua durante el período de inducción floral (que ocurre entre floración y envero) puede afectar de manera considerable la floración de la temporada siguiente (Matthews y Anderson, 1989) y a la tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> en plantas puede verse afectada por condiciones de déficit hídrico de corta (horas o días) o larga (días o semanas) duración. La respuesta a condiciones de corta duración puede ser un por cambios en la apertura estomática. La respuesta a condiciones de larga duración se caracteriza por cambios en el desarrollo vegetativo y en la capacidad fotosintética del mesófilo de la hoja. (Schulze, 1986). Algunos autores han considerado que la limitación en la difusión de CO<sub>2</sub> impuesta por el cierre estomático es una de las primeras causas de la disminución de la fotosíntesis en condiciones de estrés hídrico (Sharkey, 1990). No solo el cierre estomático sino también la disminución en la conductancia del mesófilo son las principales limitaciones en el proceso de la fotosíntesis bajo estrés hídrico (Chávez, 1991). Sin embargo en otro estudio no se encontró efecto de estos factores sobre la fotosíntesis. (Delfine et al., 2001) En otros trabajos se menciona que un fuerte déficit hídrico durante el periodo de actividad vegetativa de la planta, origina una bajada importante en las tasas de fotosíntesis, lo que normalmente deriva en una reducción de la producción (Bravo y Naor 1997).

## OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son:

- 1) Establecer la importancia relativa sobre la capacidad de asimilación de CO<sub>2</sub> de toda la planta en viñas sometidas a déficit hídrico, de reducciones del tamaño del dosel respecto a disminuciones en fotosíntesis foliar.
- 2) Establecer la posible relación entre la reducción de la asimilación de CO<sub>2</sub> de toda la planta y la reducción en la producción en respuesta al estrés hídrico

## REVISION DE LITERATURA

### HISTORIA Y ORIGEN

La especie *Vitis vinífera*, la especie del viejo mundo, es la planta de la antigüedad que produce la uva y cuya mención es frecuente en la Biblia.

El origen de esta especie se atribuye a las regiones ubicadas entre y al sur de los mares Caspio y Negro en el Asia Menor (Winkler , 1974), la cual ha sido llevada de región a región por el hombre civilizado a todos los climas templados y mas recientemente se ha cultivado en climas subtropicales. De esa especie se han derivado ininidad de variedades de vid. Vinífera es también un progenitor de muchas vides híbridas obtenidas en el este de los Estados Unidos, en donde los fitotécnicos quisieron introducir algunas de las cualidades de vinífera a sus vides.

*Vitis vinífera* fue traída a México por los españoles y áreas que ahora ocupan California y Arizona. Las vides introducidas por los misioneros prosperaron y algunas crecieron hasta alcanzar gran tamaño. Los colonizadores ingleses trajeron vides del viejo mundo haciendo plantaciones a lo largo de la costa del Atlántico en las colonias de Massachusetts, New York, Pennsylvania, Virginia, Carolina del Norte, Carolina del Sur, y Georgia.

Estos intentos fallaron debido a la presencia del insecto filoxera y de enfermedades fungosas tales como: la pudrición negra y los mildius veloso y polvoriento, así como a las bajas temperaturas del invierno y a los veranos cálidos y húmedos de esos estados.

## CLASIFICACIÓN TAXONOMICA

Reino:	Vegetal
Clase:	Dicotiledónea
Orden:	Rhamnales
Familia:	Vitaceae
Género:	<i>Vitis</i>
Especie:	<i>Vinífera</i>

## DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

La vid es una planta con flores, esto es, una angiosperma, de la clase de las dicotiledóneas, de la subclase con flores más simples (*choripetalae*), pero en el grupo dotado de cáliz y corola (*Dyalypetalae*), es decir, el más avanzado.

Es una planta leñosa que tiene por lo general una vida muy larga, tiene un largo periodo juvenil (3-5 años), durante el cual no es capaz de producir flores; en general, las yemas que se forman durante un año no se abren hasta el año siguiente. Tiene un aparato radicular que se hace imponente con los años, pero se desarrolla y explora el terreno con menos minuciosidad que el de una hierba.

Las raíces difieren de los tallos en cuanto a que carecen de nudos y entrenudos. El método usual de propagación de la vid es por estaca de tallo. Las raíces se originan de regiones meristemáticas cercanas a la superficie de la estaca y la mayoría de ellas se desarrollan cerca de las yemas en los nudos. Estas raíces que se originan de otras raíces se denominan adventicias.

Las tres partes de la hoja son el limbo, el peciolo y dos estípulas. Estas últimas son escamas anchas, cortas que salen de la base ensanchada del peciolo que circunda al tallo en forma parcial. El par de estípulas son visibles en las hojas jóvenes al inicio de la estación de crecimiento, pero pronto se secan o se caen.

La flor y el fruto constituyen las partes reproductoras de la vid. La inflorescencia se inicia a fines de la primavera y verano precedentes en que ocurre la floración y fructificación. El racimo se presenta opuesto a una hoja foliar en la misma posición de un zarcillo, hacia el cual, con frecuencia muestra formas transicionales (Winkler 1974).

Las flores son producidas en racimos y puede haber en cada uno de ellos algunos cientos.

### **EXIGENCIAS CLIMATICAS**

- Apertura de yemas: 9-10 °C
- Floración: 18-22 °C
- De floración a cambio de color: 22-26° C
- De cambio de color a maduración: 20-24° C
- Vendimia: 18-22° C

### **MATERIALES Y METODOS**

El trabajo se realizó en cepas de 14 años de la variedad cv. Pinot Noir sobre un pie SO4 plantadas a un marco de 1,70 X 3,10 m en una parcela comercial de viña en Raimat (LLeida). Esta zona se caracteriza por tener un clima continental bastante seco, con oscilaciones térmicas marcadas, inviernos muy fríos y veranos cálidos donde se superan los 35°.

La temperatura media anual alcanza los 15 grados centígrados, con un nivel de precipitaciones de entre 385 y 450 mm/año. La insolación media anual llega a las 2.800 horas de sol despejado al año, y sus suelos se caracterizan por provenir de materiales pardo-calizos, con escasa arcilla y bastante pobres en materia orgánica.

## TRATAMIENTOS

Las mediciones se realizaron en cepas sometidas a diferentes tratamientos de riego (**C**: Control; **CD**: Control Déficit y **D**: Déficit).

En los tres casos se definieron unos niveles de estrés hídrico (medido en forma de potencial hídrico de hoja al medio día solar  $\Psi_h$ ) y tan solo se regaban cuando las medidas de  $\Psi_h$  sobrepasaban el umbral establecido.

En el tratamiento control (**C**) se definió un umbral en  $-0.8$  MPa para toda la campaña, en el tratamiento control déficit (**CD**) en  $-0.8$  MPa desde brotación a envero y en  $-1.2$  MPa de envero a vendimia y el tratamiento déficit (**D**) en  $-1.2$  MPa, durante toda la campaña.

Así la aplicación del agua de riego se realizó en base al potencial hídrico de hoja  $\Psi_h$ . Para cada referencia / tratamiento (parcela elemental) se realizaron



2 mediciones por día del  $\Psi_h$  y se promediaron los dos valores. Si los valores del  $\Psi_h$  en cualquiera de los tratamientos sobrepasaban el umbral preestablecido se aplicaba un riego con una duración de 3-4 horas. Mas detalle del procedimiento se encuentra en Girona et al., (2006).

En el primer año las evaluaciones se realizaron comparando los tratamientos **C** vs. **D**, los días 4 y 18 de julio, 6 y 8 de agosto del año 2003, a partir de las 6:00 y hasta las 18:00 horas (hora solar). En el segundo año se continuó con la evaluación de los tratamientos **C** vs. **D** y se realizaron los días 16, 21, 28 de julio y el 25 de agosto del 2004. Las evaluaciones para los tratamiento, **C** vs. **CD** se realizaron los días 4, 11 y 18 de agosto del 2004, a partir de las 6:00 y hasta las 18:00 horas (hora solar).

### ***Variables evaluadas***

#### ***Área foliar***

Se recopilaron individualmente todas las hojas de las cepas evaluadas. Para cada cepa se tomó una submuestra de 50 hojas de cada grupo sobre las cuales se determinó el área foliar con el medidor de área (Área measurement system, DELTA-T DEVICES LTD, Burwell- Cambridge, GB) y el peso seco de hoja. A partir del ratio gr (peso seco)/ cm<sup>2</sup> del peso seco total de hojas por cepa se estimó el área foliar total de cada cepa.

### ***Velocidad del aire***

Las lecturas de la velocidad del aire que entran en la cámara del sistema abierto se realizaron con un termo anemómetro (Modelo Testo 425; TESTO, Lenzkirsch, Alemania) se tomaron lecturas cada 15 minutos y todos los valores comprendidos en un periodo de una hora se promediaron para obtener una media horaria.

### ***Tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa (NCER<sub>canopy</sub>)***

Para la evaluación del comportamiento de la tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa (**NCER<sub>canopy</sub>**) se utilizaron 2 sistemas abiertos, uno para cada tratamiento en estudio, utilizando la metodología descrita por Corelli-Grappadelli y Magnanini (1993). Ésta consiste en una cámara de plástico transparente Mylar® melinex 401 de un grosor de 0,05 mm de una forma rectangular, la cámara tiene una altura de 2m, 2m de largo y 1.20m de ancho,

con un volumen interior de  $4.8 \text{ m}^3$  (en el interior se coloca una cepa). Cada cámara dispone de un ventilador centrífugo modelo 25/20 M6 1/5 c.v. 9/7 de 900 R.P.M. que proporciona, a la cámara, un flujo constante de aire a través de un tubo de polivinylcarbonato (PVC) de un diámetro externo de 20 cm. En el tubo se colocó un termo anemómetro con el fin de medir la velocidad y la temperatura del aire que entra a la cámara. Otro de los componentes principales de este sistema es un IRGA portátil modelo ADC LCA-4 (Gas Exchange System The Analytical Development Co. Ltd., Hoddesdon, England) utilizado en las determinaciones del primer año y que se conectó  $\frac{1}{2}$  hora en el sistema abierto del tratamiento **C** y  $\frac{1}{2}$  hora en el sistema abierto del tratamiento **D**, proporcionando los valores del diferencial de concentración de  $\text{CO}_2$  del aire que entra y sale de la cámara de cada sistema abierto.

Las mediciones del segundo año se realizaron de igual forma que el año anterior, a excepción del IRGA donde se utilizaron 4 módulos de análisis de  $\text{CO}_2$  (LICOR, modelo Li-820 Lincoln, U.S.A.) 2 de los cuales se conectaron en el sistema abierto del tratamiento **C** y 2 en el sistema abierto del tratamiento **D**. Se utilizó la misma metodología en la evaluación de los tratamientos **C** vs. **CD**. Estos módulos de análisis proporcionaron los valores de la concentración de  $\text{CO}_2$  del aire que entra y sale de la cámara de forma continua para cada sistema abierto.

Los valores del diferencial de  $\text{CO}_2$  y la velocidad del aire fueron introducidos en la expresión propuesta por Miller et al. (1996), a partir de la cual se determinó la tasa de asimilación neta de  $\text{CO}_2$  por cepa ( $NCER_{Canopy}$ ).

$$NCER_{canopy} = \frac{\Delta CO_2 (\mu l \cdot l^{-1}) \cdot Q_a (l \cdot \min^{-1})}{29.2 (\mu l \cdot \mu ol^{-1}) \cdot 60 (s \cdot \min^{-1})}$$

Donde:

**$NCER_{Canopy}$**  = Tasa de asimilación neta de  $CO_2$  a nivel de toda la copa ( $\mu mol CO_2 \cdot \text{árbol}^{-1} \cdot s^{-1}$ )

$$\Delta CO_2 = [CO_2]_{Ref} - [CO_2]_{Ana}$$

$$Q_a (L \cdot \min^{-1}) = V_a (m \cdot s^{-1}) \times S_{tubo} (m^2) \times 1000 (L \cdot m^{-3}) \times (1/60) (min \cdot s^{-1})$$

$V_a$ =Velocidad del aire que entra a la cámara valor calculado por el termo anemómetro

$S_{tubo}$ =Diámetro interno del tubo por donde se conduce el caudal de aire

**Tasa de asimilación neta de  $CO_2$  a nivel de toda la cepa expresada por unidad superficie de área foliar ( $NCER_h$ )**

Esta variable se evaluó partir de la media horaria de la tasa de asimilación neta de  $CO_2$  por cepa ( $NCER_{Canopy}$ ) de las evaluaciones del 2003 y 2004 y considerando el área foliar total del árbol de acuerdo con la formula:

$$NCER_h = \frac{NCER_{Canopo}}{\text{área foliar}}$$

### ***Tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> foliar (A)***

La tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de hoja (**A**) se realizó con un IRGA portátil modelo ADC LCA-4 (Gas Exchange System The Analytical Development Co. Ltd., Hoddesdon, England). Se tomaron 12 lecturas para cada tratamiento **C** vs. **D** de igual forma para **C** vs. **CD**, las lecturas se realizaron en hojas maduras y expuestas a iluminación, iniciando por la mañana 6:00 (hora solar) y con un intervalo de 1 hora hasta las 16:00 horas.

### ***Radiación fotosintéticamente activa (PAR)***

La radiación fotosintéticamente activa (**PAR**) incidente sobre el cultivo fue determinada con ceptómetro AccuPAR (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, U.S.A.) Las mediciones se realizaron colocando la barra de par en posición horizontal a la altura del pecho a un costado de los árboles en los cuales se aplicaron los tratamientos y con una frecuencia de cada 15 minutos. Todos los valores determinados en el periodo de una hora se promediaron para obtener la media horaria, durante el intervalo de medición de (**NCER<sub>canopy</sub>**).

### ***Temperatura***

Las lecturas de la temperatura se realizaron con un termo anemómetro (Modelo Testo 425; TESTO, Lenzkirsch, Alemania). Se determinó la temperatura del aire que entra al sistema abierto cada 15 minutos, posteriormente se promediaron los valores de cada hora para obtener una media horaria.

### ***Conductancia estomática ( $g_s$ )***

La conductancia estomática ( $g_s$ ) se determinó con un porómetro “steady state” (LICOR, modelo Li -1600, Lincoln, U.S.A.). En el manejo del porómetro se evitaron las condiciones que pueden convertirse en fuentes de error descritas por McDermitt (1990). Dichas mediciones se realizaron cada hora en 5 hojas de cada tratamiento y se promediaron para obtener la media horaria.

### ***Potencial hídrico de tallo ( $\Psi_{stem}$ )***

Para la determinación del potencial hídrico de tallo ( $\Psi_{stem}$ ) se utilizó una cámara de presión (Soil Moisture Equipment, modelo 3005. Santa Barbara, CA, USA), equipada con un manómetro de presión de  $\pm 0.02$  MPa. Las determinaciones se realizaron sobre hojas que se encontraban en la zona más próxima al tallo principal y previamente embolsadas al menos dos horas antes de la lectura para asegurar un equilibrio en la hoja con el resto del árbol (Shackel et al., 1997). Se realizaron 2 lecturas en cada uno de los tratamientos para posteriormente obtener un promedio.

## **RESULTADOS**

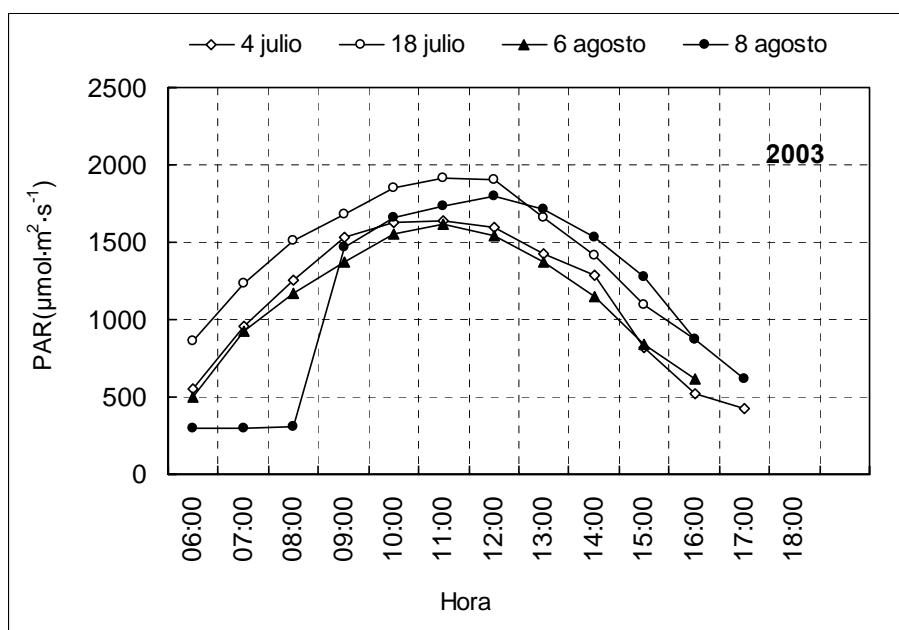
### **Parámetros climáticos**

### ***Radiación fotosintéticamente activa (PAR)***

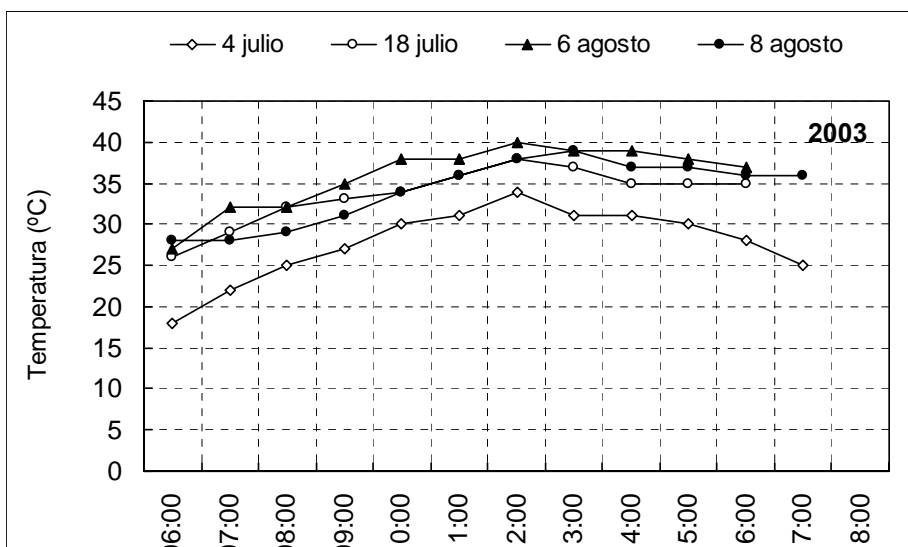
En el primer año de estudio (4 de julio, 18 Julio, 6 de agosto y 8 de agosto del 2003) se registraron lecturas de **PAR** por encima de los  $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  durante la primera hora de medida 6:00 de la mañana (hora solar) para los cuatro días de evaluaciones y se observaron lecturas máximas en un rango de  $1619 - 1920 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  (Fig. 1). En el segundo año (16, 21, 28 de julio y 4, 11, 18, 25 de agosto del 2004) se registraron lecturas de **PAR** por encima de los  $400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  durante las primeras horas de lecturas (6:00 y 7:00 de la mañana hora solar) para los siete días de evaluaciones. Las lecturas máximas se observaron en un rango de entre  $1825$  y los  $1902 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  (Fig. 1).

### Temperatura

En el primer año (2003) las temperaturas registradas durante la mañana (6:00 am hora solar) oscilaron entre  $18^\circ\text{C}$  el 4 de julio y  $28^\circ\text{C}$  el 8 de agosto. Las temperaturas máximas registradas estuvieron en un rango de  $34-40^\circ\text{C}$  (Fig. 2), mientras que en el segundo año (2004) las temperaturas por la mañana dependieron más del día en cuestión de análisis:  $21.3^\circ\text{C}$  el 4 de agosto,  $24.7^\circ\text{C}$  el 21 de julio, mientras que las temperaturas máximas estuvieron en un rango de  $30.4$  a  $35.1^\circ\text{C}$  (Fig. 2).



**Figura 1.** Evolución diurna de la Radiación fotosintéticamente activa durante los días de evaluación de los años 2003 y 2004. Cada observación representa la media de tres valores determinados en períodos de 15 minutos en la hora.



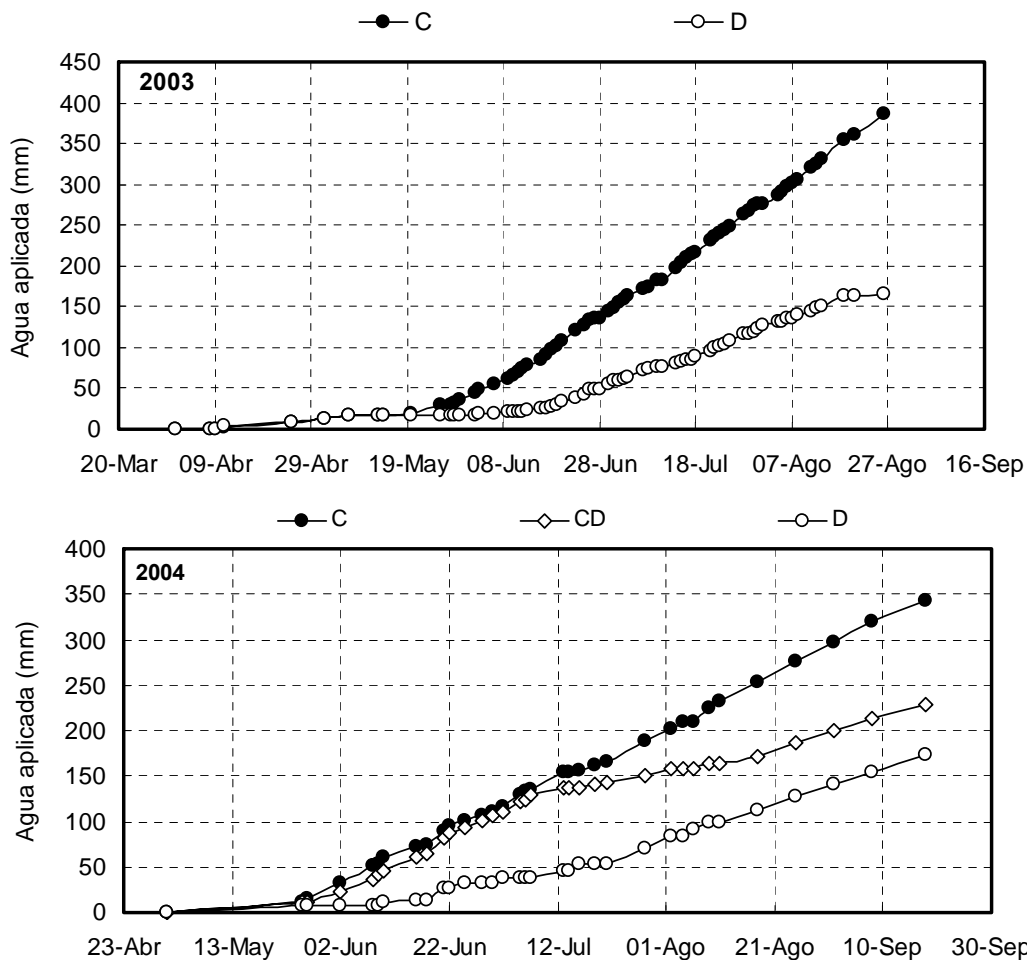


**Figura 2.** Evolución diurna de la temperatura en las evaluaciones del año 2003 y 2004. Cada observación representa la media de tres valores determinados en períodos de 15 minutos en la hora.

***Agua de riego aplicada***

En el primer año (2003) se aplicaron 385.9 mm de agua de riego al tratamiento **C** mientras que al tratamiento **D** se le aplicaron 166.4 mm. Estas cantidades se distribuyeron desde el periodo de brotación hasta cosecha. (Fig. 3).

En el segundo año (2004) al tratamiento **C** se le aplicaron 343.3 mm, al tratamiento **CD** 228.7, y al tratamiento **D** 172.5 mm (Fig. 3).

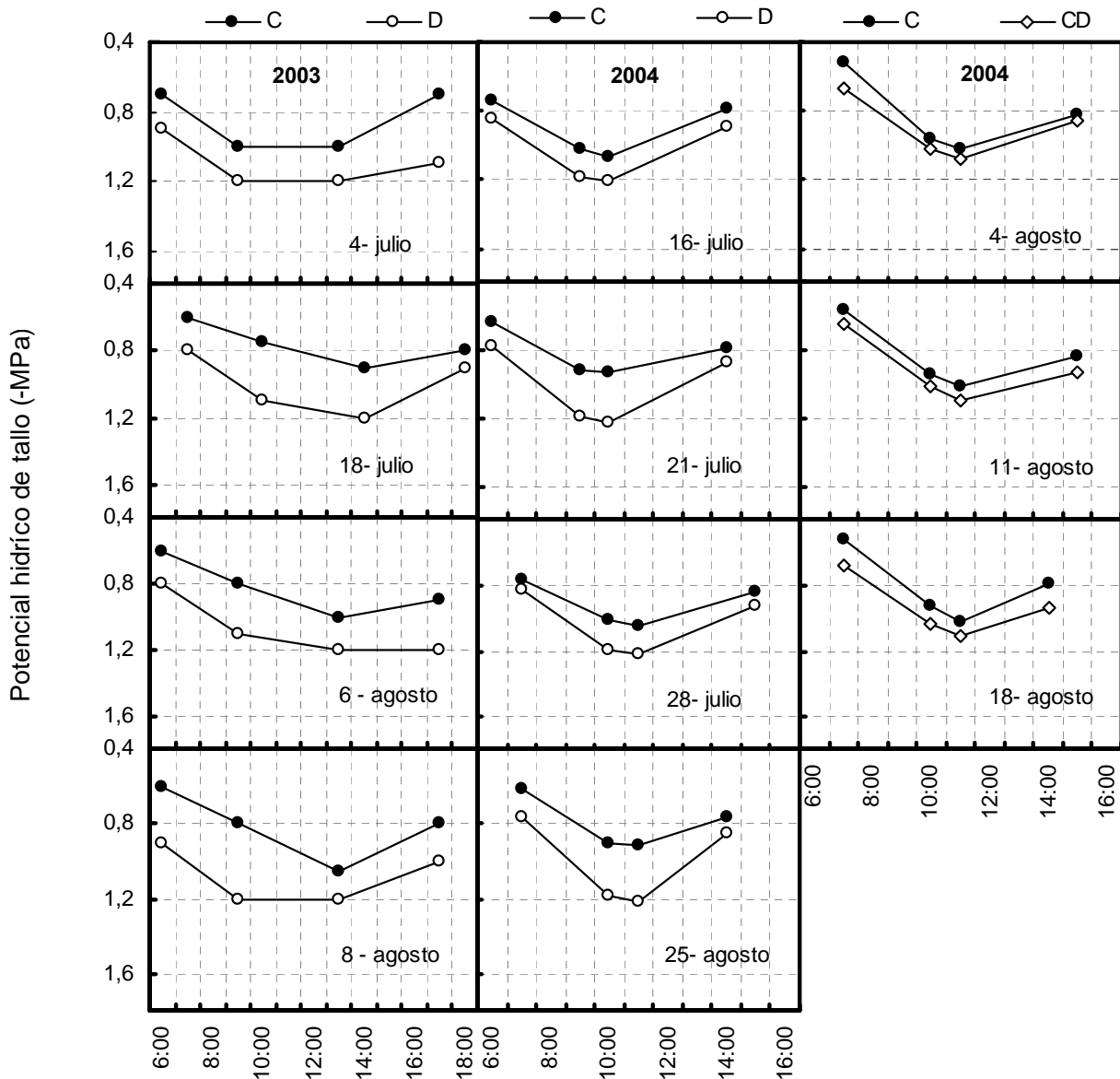


**Figura 3.** Evolución estacional del agua de riego aplicada en los tratamientos **C**, **D** y **CD** en los años 2003 y 2004.

**Potencial hídrico de tallo ( $\Psi_{stem}$ )**

Las lecturas de  $\Psi_{stem}$  observadas durante la mañana (6:00 h) del primer año estuvieron entre -0.6 y -0.9 MPa descendiendo al medio día a valores mínimos en un rango de -0.9 a -1.2 MPa en función del día y el tratamiento aplicado. En cuanto a las diferencias entre tratamientos, el tratamiento **D** presentó una tendencia clara a valores de  $\Psi_{stem}$  más negativos, el tratamiento **C**. Además las máximas diferencias se presentaron alrededor de medio día (14:00) en la mayoría de las valoraciones (Fig. 4).

En la segunda evaluación (2004) las primeras lecturas por la mañana del  $\Psi_{stem}$  para el tratamiento **C** estuvieron en un rango de -0.6 a -0.7 MPa. Éstos descendieron a valores mínimos al medio día en un rango de -0.92 a -1.06 MPa. En el tratamiento **D** los valores de las primeras lecturas estuvieron en un rango de -0.76 a -0.84 MPa y descendieron al medio día a valores de en un rango de -1.21 a -1.22 MPa en función del día, y para el tratamiento **CD** las lecturas matutinas registradas fueron en un rango de -0.65 a -0.68 MPa para descender al medio día a valores de entre -1.08 y -1.11 MPa. En cuanto a las diferencias entre tratamientos, el tratamiento **D** y **CD** presentaron una tendencia clara a valores de  $\Psi_{stem}$  más negativos que el tratamiento **C**. Las máximas diferencias se presentaron un poco después de medio día en todas las lecturas. Además se observó que el tratamiento **D** mostró valores más negativos que el tratamiento **CD** (Fig. 4)

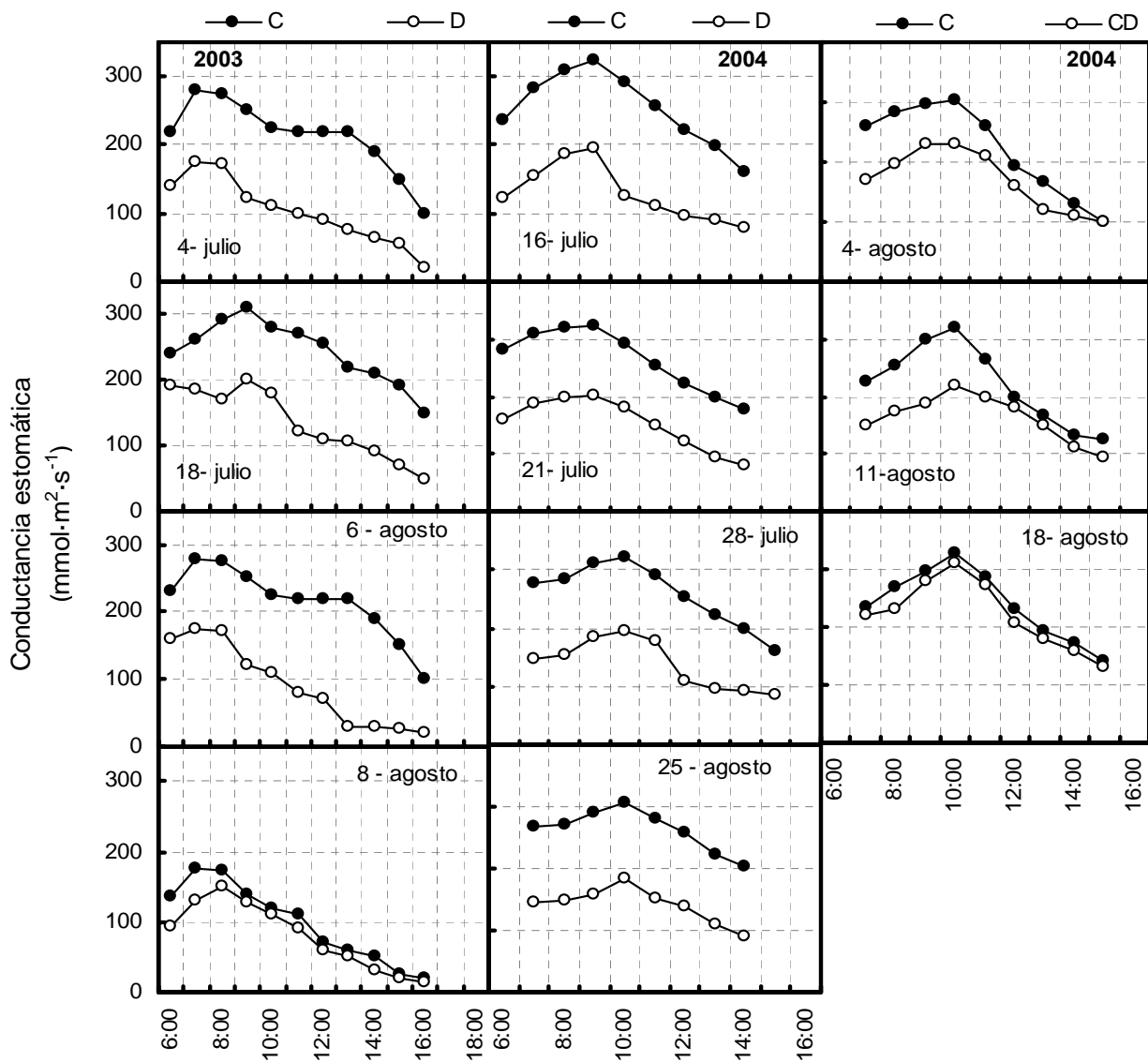


**Figura 4.** Evolución diurna del Potencial hídrico de tallo ( $\Psi_{stem}$ ) en los tratamientos C, D y CD en las evaluaciones de los años 2003 y 2004.

**Conductancia estomática ( $g_s$ )**

Durante la primera evaluación (2003), el tratamiento **C** presento valores de  $g_s$  más altos que el tratamiento **D** (Fig. 4). De modo que las lecturas por la mañana fueron por encima de los  $100 \text{ mmol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  para los dos tratamientos, y se alcanzaron máximos para el tratamiento **C** en un rango de 175 a  $310 \text{ mmol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ , mientras que para el tratamiento **D**, los valores máximos observados estuvieron en un rango de 150 a  $200 \text{ mmol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  para después descender por la tarde en los dos tratamientos (Fig. 5).

Durante la segunda evaluación (2004), en general el comportamiento diurno de la conductancia estomática fue similar al del año anterior. El tratamiento **C** presentó valores de  $g_s$  más altos que el tratamiento **D** y **CD** (Fig. 4). Las lecturas por la mañana, para los tratamientos **C**, **D** y **CD** se situaron por encima de los  $100 \text{ mmol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  y los máximos para el tratamiento **C** fueron en un rango de 308 a  $328 \text{ mmol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  mientras que para el tratamiento **D** los valores máximos observados estuvieron en un rango de 184 a  $200 \text{ mmol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ . Para el tratamiento **CD** los valores máximos observados estuvieron en 211 a  $311 \text{ mmol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  para después descender por la tarde en todos los tratamientos (Fig. 5).



**Tasa de asimilación neta de  $CO_2$  a nivel de toda la cepa ( $NCER_{canopy}$ )**

En el 2003 se observó en promedio un valor de 2.53 molCO<sub>2</sub>·cepa<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup> para el tratamiento **C** y de 0.88 molCO<sub>2</sub>·cepa<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup> para el tratamiento **D**. Lo que implica una diferencia en promedio de un 65% entre los tratamientos (Tabla 1).

**Tabla 1.** Tasa promedio diario acumulada de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa (**NCER<sub>canopy</sub>**) durante el 2003 de los tratamientos, control (**C**) y déficit (**D**)

Tratamientos	Días de evaluación				Promedio
	4-julio (molCO <sub>2</sub> ·cepa <sup>-1</sup> ·día <sup>-1</sup> )	18-julio (molCO <sub>2</sub> ·cep a <sup>-1</sup> ·día <sup>-1</sup> )	6-agosto (molCO <sub>2</sub> ·cep a <sup>-1</sup> ·día <sup>-1</sup> )	8-agosto (molCO <sub>2</sub> ·cep a <sup>-1</sup> ·día <sup>-1</sup> )	
<b>Control</b>	3.19	2.67	2.01	2.24	<b>2.53</b>
<b>Déficit</b>	0.84	1.03	0.80	0.88	<b>0.89</b>
Diferencia (%)	74	61	60	61	<b>65</b>

*Tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa expresada por unidad superficie de área foliar (**NCER<sub>h</sub>**)*

La estimación **NCER<sub>h</sub>** de los tratamientos **C** vs. **D** en el 2003 se observó en promedio para el tratamiento **C** 0.29 molCO<sub>2</sub>·m<sup>2</sup>·día<sup>-1</sup> mientras que para el tratamiento **D** fue de **0.24** molCO<sub>2</sub>·m<sup>2</sup>·día<sup>-1</sup>. Mostrando una diferencia de un 16% (Tabla 2)

**Tabla 2.** Tasa promedio diario acumulada de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa expresada por unidad superficie de área foliar (**NCER<sub>h</sub>**) durante el 2003 de los tratamientos, control (**C**) y déficit (**D**)

Tratamiento	Días de evaluación				Promedio
	4-julio (molCO <sub>2</sub> ·m <sup>2</sup> ·día <sup>-1</sup> )	18-julio (molCO <sub>2</sub> ·m <sup>2</sup> ·día <sup>-1</sup> )	6-agosto (molCO <sub>2</sub> ·m <sup>2</sup> ·día <sup>-1</sup> )	8-agosto (molCO <sub>2</sub> ·m <sup>2</sup> ·día <sup>-1</sup> )	
<b>Control</b>	0.37	0.31	0.23	0.26	<b>0.29</b>
<b>Déficit</b>	0.23	0.28	0.22	0.24	<b>0.24</b>
Diferencia (%)	37	7.7	4.8	6.0	<b>16.2</b>

En el 2004 los tratamientos registraron valores promedio de la tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> de 5.24 mol-cepa<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup> para el tratamiento **C** y para el tratamiento **D** fueron de 2.02 mol-cepa<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup> mostrando una diferencia promedio de un 61%. (Tabla 3).

**Tabla 3.** Tasa acumulada de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa (**NCER<sub>canopy</sub>**) durante el 2004 de los tratamientos, control (**C**) déficit (**D**)

	Días de evaluación
--	--------------------



<b>Tratamientos</b>	16-julio (molCO <sub>2</sub> ·cep a <sup>-1</sup> ·día <sup>-1</sup> )	21-julio (molCO <sub>2</sub> ·cep a <sup>-1</sup> ·día <sup>-1</sup> )	28-julio (molCO <sub>2</sub> ·cep a <sup>-1</sup> ·día <sup>-1</sup> )	25-agosto (molCO <sub>2</sub> ·cep a <sup>-1</sup> ·día <sup>-1</sup> )	Promed io
<b>Control</b>	5.74	4.51	4.54	6.17	<b>5.24</b>
<b>Déficit</b>	2.19	2.10	1.99	1.80	<b>2.02</b>
Diferencia (%)	62	53	56	71	<b>61</b>

***Tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa expresada por unidad superficie de área foliar (NCER<sub>h</sub>)***

La estimación **NCER<sub>h</sub>** de los tratamientos **C** vs. **D** en el 2004 se observó en promedio para el tratamiento **C** 0.63 mol CO<sub>2</sub>·m<sup>2</sup>·día<sup>-1</sup> mientras que para el tratamiento **D** fue de 0.54 molCO<sub>2</sub> ·m<sup>2</sup>·día<sup>-1</sup>. Mostrando una diferencia de un 14.2% (Tabla4)

**Tabla 4.** Tasa promedio diario acumulada de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa expresada por unidad superficie de área foliar (**NCER<sub>h</sub>**) durante el 2004 de los tratamientos, control (**C**) y déficit (**D**)

	Días de evaluación			
<b>Tratamiento</b>	16-julio	21-julio	28-julio	25-agosto

s					Promedi
	(molCO <sub>2</sub> ·m ²·día <sup>-1</sup> )	(molCO <sub>2</sub> ·m ²·día <sup>-1</sup> )	(molCO <sub>2</sub> ·m ²·día <sup>-1</sup> )	(molCO <sub>2</sub> ·m ²·día <sup>-1</sup> )	o
<b>Control</b>	0.60	0.47	0.47	0.64	<b>0.54</b>
<b>Déficit</b>	0.68	0.66	0.62	0.56	<b>0.63</b>
Diferencia	-14	-39	-31	12	<b>-15.6</b>
(%)					

En la evaluación de los tratamientos **C** vs **CD** se registraron valores promedio de 4.9 molCO<sub>2</sub>·cepa<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup> para el tratamiento **C**, y de 2.9 molCO<sub>2</sub>·cepa<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup> para el tratamiento **CD**. Ello implica una diferencia de un 41 %.(Tabla 5).

**Tabla 5.** Tasa acumulada de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa (**NCER<sub>canopy</sub>**) durante el 2004 de los tratamientos, control (**C**) control déficit (**CD**).

Tratamientos	Días de evaluación			Promedio
	4-agosto (molCO <sub>2</sub> ·cepa <sup>-1</sup> ·día <sup>-1</sup> )	11-agosto (molCO <sub>2</sub> ·cepa <sup>-1</sup> ·día <sup>-1</sup> )	18-agosto (molCO <sub>2</sub> ·cepa <sup>-1</sup> ·día <sup>-1</sup> )	
<b>Control</b>	5.03	4.84	4.94	<b>4.94</b>
<b>Control Déficit</b>	3.54	2.70	2.46	<b>2.90</b>
Diferencia (%)	30	44	50	<b>41</b>

*Tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa expresada por unidad superficie de área foliar (**NCER<sub>h</sub>**)*

La estimación **NCER<sub>h</sub>** de los tratamientos **C** vs.**CD** en el 2004 se observó en promedio para el tratamiento **C** 0.51 molCO<sub>2</sub>·m<sup>2</sup>·día<sup>-1</sup> mientras que para el tratamiento **CD** fue de **0.36** molCO<sub>2</sub> ·m<sup>2</sup>·día<sup>-1</sup>. Mostrando una diferencia de un 30% (Tabla 6)

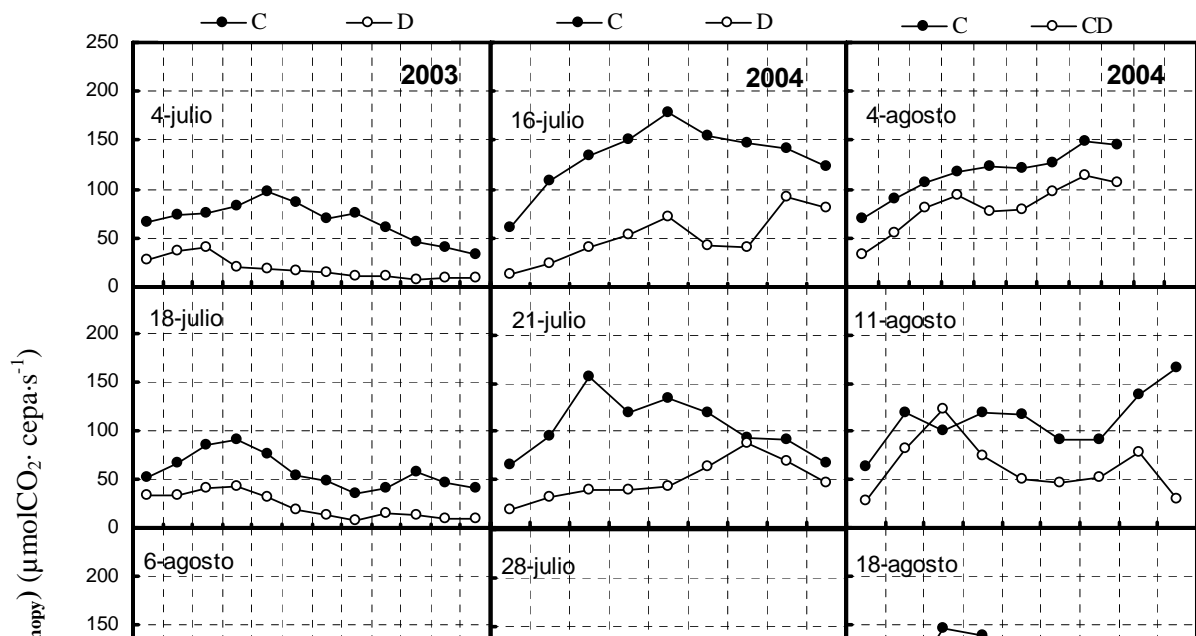
**Tabla 6.** Tasa promedio diario acumulada de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa expresada por unidad superficie de área foliar (**NCER<sub>h</sub>**) durante el 2004 de los tratamientos, control (**C**) y control déficit (**CD**)

Tratamientos	Días de evaluación			Promedio
	4-agosto (molCO <sub>2</sub> ·m <sup>2</sup> ·día <sup>-1</sup> )	11-agosto (molCO <sub>2</sub> ·m <sup>2</sup> ·día <sup>-1</sup> )	18-agosto (molCO <sub>2</sub> ·m <sup>2</sup> ·día <sup>-1</sup> )	
<b>Control</b>	0.52	0.50	0.51	<b>0.51</b>
<b>Control</b>	0.44	0.33	0.30	<b>0.36</b>
<b>Deficit</b>				
Diferencia	16	33.5	40.5	<b>30</b>
(%)				

*Evaluación diurna de la tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa (NCER<sub>canopy</sub>)*

En el 2003 la evolución diurna de la tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa (NCER<sub>canopy</sub>) para el tratamiento **C** se observaron valores inferiores a los 100 μmolCO<sub>2</sub>·cepa·s<sup>-1</sup> mientras que para el tratamiento **D** los

valores no superaron los  $50 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{cepa}\cdot\text{s}^{-1}$  En el 2004 el tratamiento **C** en general supero los  $100\mu\text{molCO}_2\cdot\text{cepa}\cdot\text{s}^{-1}$  el tratamiento **C** supero en algunas horas del día los  $50 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{cepa}\cdot\text{s}^{-1}$  y en el tratamiento **CD** los valores observados promedio fueron entre los 50 y los  $100 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{cepa}\cdot\text{s}^{-1}$  (Fig. 6).



**Figura 6.** Evolución diaria de la tasa de asimilación neta CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa (**NCER<sub>canopy</sub>**) en las evaluaciones de los años 2003 y 2004. Cada punto representa la media de 6 determinaciones.

### ***Estimación del área foliar***

En el 2003 al tratamiento **C** se le estimó una área foliar de 8.61 m<sup>2</sup>, mientras que al tratamiento **D** se le estimó una área foliar de 3.60 m<sup>2</sup> presentando una diferencia de un 56% entre tratamientos (Tabla 7).

En el 2004 al tratamiento **C** se le estimó una área foliar de 9.57 m<sup>2</sup>, mientras que al tratamiento **D** se le estimó una área foliar de 3.22 m<sup>2</sup> mostrando una diferencia del 64%. Con respecto al tratamiento **CD** se le estimó una área foliar de 8.03 m<sup>2</sup> presentando una diferencia de un 16% con respecto al tratamiento **C** (Tabla 7).

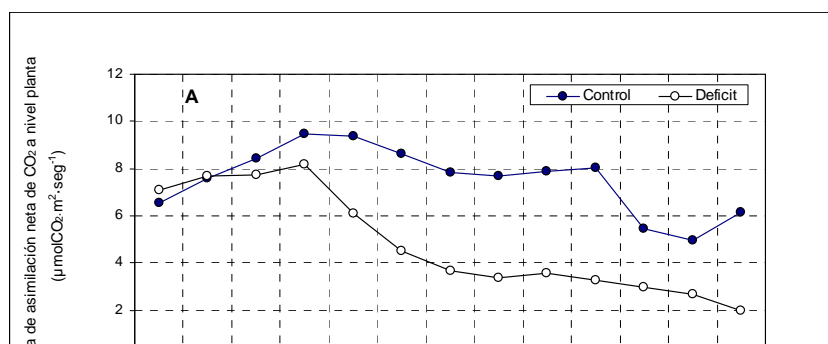
**Tabla 7.** Área foliar de las cepas en las que se realizaron las mediciones de la tasa de asimilación neta CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa al final del 2003 y 2004

Tratamiento	Año			
	2003		2004	
	Área foliar (m <sup>2</sup> )	Diferencia (%)	Área foliar (m <sup>2</sup> )	Diferencia (%)
Control	8.61		9.57	
Déficit	3.60	56	3.22	64
Control déficit			8.03	16

*Tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado de área foliar a nivel de toda la planta (NCER<sub>Canopo</sub>/m<sup>2</sup>)*

La evaluación de los tratamientos **C** vs. **D** en el 2003-2004 los valores diarios de  $NCER_{Canopo}/m^2$  para el tratamiento **C**, promediaron  $7.5 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  mientras que para el tratamiento **D** fue de  $5.1 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Mostrando una diferencia de un 32% (Fig. 8).

En el 2004 en la evaluación de los tratamientos **C** vs. **CD** los valores de  $NCER_{Canopo}/m^2$  para el tratamiento **C** promediaron  $8.3 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  mientras que para el tratamiento **CD** fue de  $7.3 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  mostrando una diferencia de un 12.1% (Fig. 8).

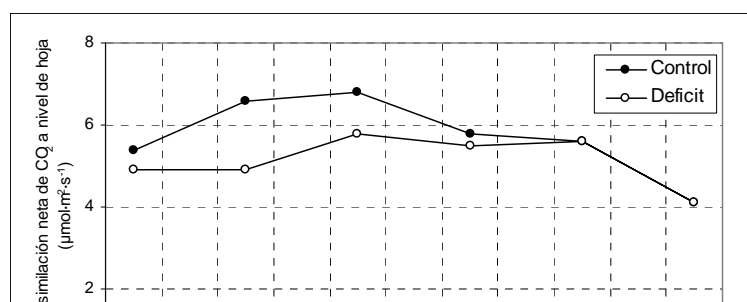


**Figura 8.** Tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado de área foliar (A) tratamientos C vs D 2003 – 2004 y (B) C vs CD 2004 (B).

**Tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado de área foliar a nivel de hoja (A)**

En la comparación de los tratamientos **C** vs. **D** la tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de hoja **A** en el tratamiento **C** el promedio diario fue de 5.7  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  mientras que para el tratamiento **D** el promedio diario se observó un valor de 5.1  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  mostrando una diferencia de un 10 % (Fig. 9).

Al realizar la comparación de los tratamientos **C** vs. **CD** el promedio diario de **A** observado para el tratamiento **C** fue de 5.8  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  y en el tratamiento **CD** fue de 5.4  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  encontrándose una diferencia de un 7% (Fig. 9).





**Figura 9.** Tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de hoja (**A**) en los tratamientos **C** vs **D** y **C** vs **CD** en el 2004.

### **Producción**

La producción en base al número de racimos en el 2003 el tratamiento **C** obtuvo mayor producción con un número de racimos de 148 mientras que el tratamiento **D** el número de racimos cosechados fueron de 84 presentando una diferencia de un 43% y durante el 2004 el tratamiento **C** se le cosecharon un total de 95 racimos y al tratamiento **D** 22 racimos presentando una diferencia de un 77% al realizar la cosecha de los tratamientos **C** vs. **CD** el tratamiento **C** se le cosecharon 95 racimos mientras que al tratamiento **CD** se le cosecharon 52 racimos presentando una diferencia de un 45% (Tabla 8).

**Tabla 8.** Producción en base a número de racimos

Tratamiento	Año de cosecha			
	2003		2004	
	Numero de Racimos	Diferencia (%)	Numero de Racimos	Diferencia (%)
Control	148		95	
Déficit	84	43	22	77
Control déficit			52	45

Por lo que respecta a la cosecha en base a peso fresco, en el 2003, en el tratamiento **C** se cosecharon 13.8 Kg mientras que en el tratamiento **D** se cosecharon 3.64 Kg mostrando una diferencia de un 72 %. Durante el 2004, en el tratamiento **C** se cosecharon 13.6 Kg mientras que al tratamiento **D** se le cosecharon 1.34 Kg mostrando una diferencia de un 88%. Y el tratamiento **CD** se le cosecharon 10.1 Kg, encontrándose una diferencia de un 25 % con respecto al tratamiento **C** (Tabla 9)

**Tabla 9.** Producción en base a peso fresco

Tratamiento	Año de cosecha			
	2003		2004	
	Peso Fresco (kg)	Diferencia (%)	Peso Fresco (kg)	Diferencia (%)

Control	13.8		13.6	
Déficit	3.6	72	1.3	88
Control déficit			10.1	25

Al expresar la cosecha en número de racimos por metro cuadrado de área foliar, en el 2003 el tratamiento **C** presentó una producción en número de racimos por metro cuadrado de área foliar de 17 racimos, mientras que el tratamiento **D** presentó una producción de 24 racimos. En el 2004 el tratamiento **C** mostró una producción de 8.5 racimos mientras que en el tratamiento **D** fue de 7.5 racimos y el tratamiento **CD** presentó 5.6 (Tabla 10).

**Tabla 10.** Producción Numero de racimos por metro cuadrado de área foliar

Tratamiento	Año de cosecha					
	2003			2004		
	Numero de Racimo s	Área foliar (m <sup>2</sup> )	Racimos/ m <sup>2</sup>	Numero de Racimo s	Área foliar (m <sup>2</sup> )	Racimos /m <sup>2</sup>

Control	148	8.6	17	95	11.1	8,5
Déficit	84	3.5	24	22	2.9	7,5
Control déficit				52	9.2	5,6

Al realizar los cálculos para determinar la producción en Kilogramos por metro cuadrado de área foliar ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ ) en el 2003 el tratamiento **C** mostró una producción de  $1.6 \text{ Kg}/\text{m}^2$  mientras que en el tratamiento **D** fue de  $1.0 \text{ Kg}/\text{m}^2$  En el 2004 en el tratamiento **C** se obtuvo  $1.4 \text{ Kg}/\text{m}^2$  mientras que en el tratamiento **D** fu de  $0.44 \text{ Kg}/\text{m}^2$  y en **CD**  $1.09 \text{ Kg}/\text{m}^2$  (Tabla 11).

**Tabla 11.** Producción kilogramos por metro cuadrado de área foliar

Tratamiento	Año de cosecha					
	2003			2004		
	Peso Fresco (kg)	Área foliar ( $\text{m}^2$ )	$\text{Kg}/\text{m}^2$	Peso Fresco (kg)	Área foliar ( $\text{m}^2$ )	Kg / $\text{m}^2$
Control	13.8	8.6	1,6	13.6	11.1	1.02
Déficit	3.6	3.5	1.0	1.3	2.9	0.44

Control déficit

10.1

9.2

1.09

---

## DISCUSIÓN

Las condiciones ambientales (Figs.1y 2) en los diferentes días de estudio en general muestran valores que suponen condiciones óptimas para la asimilación de CO<sub>2</sub>. Ya que los valores promedios de **PAR** observados durante el 2003 y el 2004 estuvieron no muy lejos del límite de 1500  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  que supondría una saturación lumínica a nivel de hoja. (Sirois y Coopero, 1964; Lakso y Seeley, 1978; Palmer y Rom, 1986; Reddy et al., 1994). Sin embargo en este estudio se observó que dicho limite puede llegar a los 1800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  (Fig. 11).

Obsérvese no obstante que al analizar los efectos de la radiación solar sobre fotosíntesis en una planta completa (Fig.11), la referencia se presenta a valores superiores de radiación en este sentido Lakso(1980) ya aportaba en manzano que los efectos de la radiación incidente en hojas semi iluminadas del interior hacia que a mayor radiación mayor fotosíntesis, sin que se observara el efecto de saturación

Por otro lado las temperaturas promedio por día registradas en el 2003 estuvieron por encima del rango optimo y en el 2004 por debajo de éste. El rango óptimo para la asimilación de CO<sub>2</sub> se sitúa entre 20 y 30° C (Forsyth y Hall, 1965; Kriedermann, 1968; Lakso y Seeley, 1978; Tombesi, 1988; Thormann, 1978).

Los parámetros que caracterizan el estado hídrico de las plantas  $\Psi_{stem}$  y  $g_s$  (Figs. 4 y 5) tuvieron un comportamiento similar en el 2003 y 2004. El potencial hídrico de tallo  $\Psi_{stem}$  para el tratamiento **D y CD** fueron más negativo que el tratamiento **C**, lo que permite reafirmar que la limitación de agua disponible en el suelo reduce el potencial hídrico (Castel y Fereres, 1982; Tan y Buttery, 1982; Behboudian et al., 1986). También se observó que la conductancia estomática  $g_s$  para el tratamiento **D y CD** presentaba valores más bajos que el tratamiento **C**, la reducción en la conductancia estomática en los tratamientos que están expuestos a un déficit hídrico puede atribuirse a que las raíces expuestas a un suelo con bajo contenido de agua aprovechable dejan de sintetizar citoquininas por lo que la ausencia de esta hormona podría reducir la apertura estomática. (Itai y Benzioni, 1976 ; Vaadia, 1976). Otra de las causas que puede provocar el la reducción de la conductancia estomática es la síntesis de ácido abscísico en las raíces y que podrían llegar a la hoja e inducir el cierre estomático (Zhang et al., 1987 ; Passioura, 1988 ; Gowing et al., 1993). No obstante el factor que mas probablemente podría influir en el cierre estomático es la turgencia de la célula guarda de los estomas que por la falta de agua se contraen y el estoma se cierra (Shiao, T., Bradford, K.J., 1983)

Los valores observados de la tasa de asimilación neta de  $CO_2$  a nivel de toda la cepa ( $NCER_{canopy}$ ) en el 2003 y 2004 (Fig. 6) mostraron que las cepas a las cuales se les aplicó el tratamiento **C** fijan más  $CO_2$  que aquellas cepas a las cuales se les aplicó el tratamiento **D y CD**.

El descenso en la capacidad de fijación de CO<sub>2</sub> del tratamiento **CD** es principalmente por efecto en la reducción de la conductancia estomática, ya que se observan diferencias con respecto al **C** de un 32%(Fig 5), y no tanto por el efecto en la reducción del área foliar, ya que solo se aprecia un 16% de diferencia (Tabla 7), respuesta que se identifica mas como un efecto a corto plazo del déficit hídrico. Sin embargo, en el tratamiento **D** las diferencias observadas muestran que el efecto podría ser más por la reducción del área foliar que por la reducción de la conductancia estomática, aun con las diferencias con respecto al control de la conductancia es de un 44.9% (Fig 5) mientras que en el área foliar es de 60% (Tabla 7), respuesta que se identifica mas como un efecto a largo plazo. Resultados similares reporta Schulze, (1986) donde menciona que la respuesta al déficit hídrico a condiciones de corta duración puede ser un ajuste en la tasa fotosintética por cambios en la apertura estomática. y la respuesta a condiciones de larga duración se caracteriza por cambios en el desarrollo vegetativo.

Resulta interesante analizar los datos de asimilación de CO<sub>2</sub> por unidad de superficie de hoja en cada uno de los tratamientos (Tablas 2,4 y 6) frente a los de asimilación por cepa (Tablas 1,3 y 5) y cuyo resumen se presenta en la tabla (Tabla 12). Se observa como en el 2003 las diferencias en asimilación a nivel de unidad de superficie de hoja entre **C** y **D** son pequeñas y algo superiores en **C** mientras que en el 2004 son superiores en **D**, a la vez que las diferencias entre **C** y **CD** fueron superior en **C**



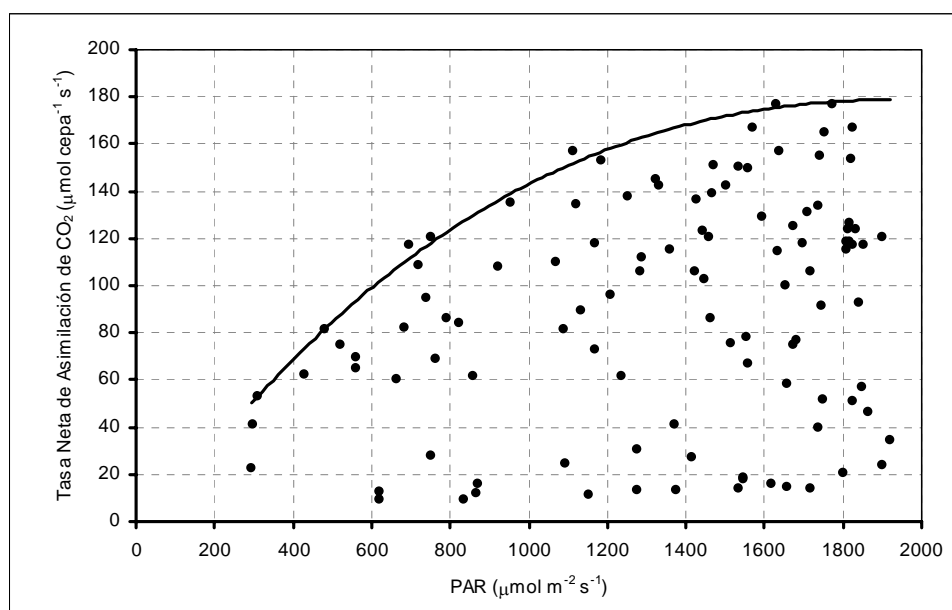
Aun no habiendo evaluado el porcentaje de hoja iluminada en los diferentes casos es evidente que en las cepas de los tratamientos **C** y **CD** hay mucho mas hojas que en el tratamiento **D**, y en consecuencia abra mas hojas no iluminadas en **C** y **CD** que en **D** la observación de que **D** sea mas productiva a nivel de superficie de hoja pone en manifiesto el gran interés que los sistemas de formación y de distribución de luz en el dosel pueden tener sobre la capacidad fotosintética global por planta.

Existen numerosos trabajos sobre como la formación de cepas y la distribución de la cobertura (Hojas) afectan a la producción y calidad de la vendimia (Yuste, J., 1995). Pero en la mayoría de ellos no se habían cuantificado los efectos como se hace en este trabajo, es evidente el gran interés que podría tener el utilizar las técnicas de estudio con sistemas abiertos para avanzar en estos temas.

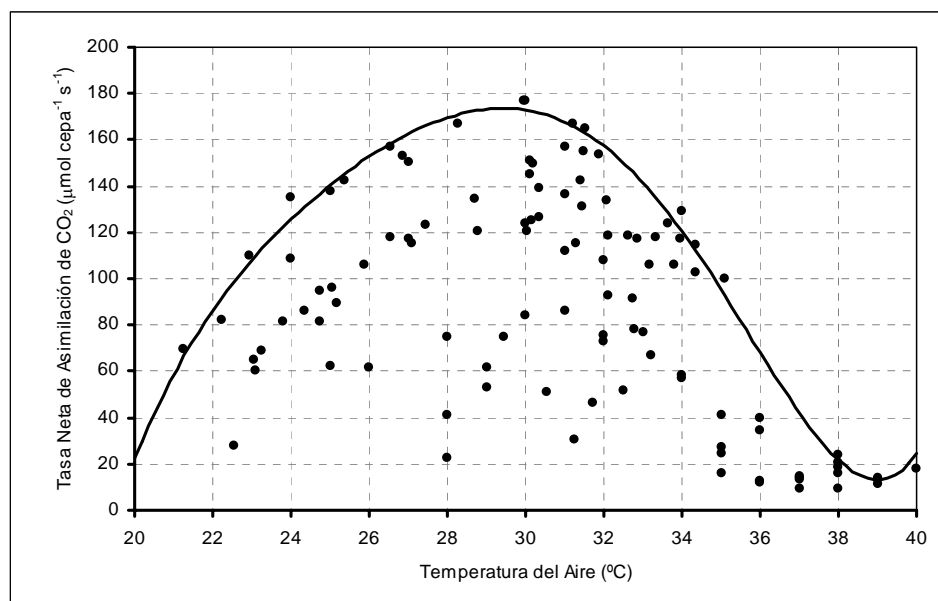
El efecto del déficit hídrico se manifestó de forma muy clara sobre la producción de uva tanto en base a numero de frutos como en peso fresco (Tablas 8 y 9) ya que el tratamiento con las condiciones optimas de humedad en el suelo **C** estuvo por encima de aquellos tratamientos a los cuales se les aplico una restricción hídrica **D** y **CD** esto se puede atribuir a que un déficit hídrico severo después de la floración afecta negativamente la fructificación e incluso, induce a la abscisión de racimos posiblemente por mal desarrollo de la yema floral. Por otro lado, diferencias en el tamaño de la uva se relacionan con el déficit de agua en la planta ya que se reduce el crecimiento de la baya, y en

consecuencia el peso del racimo (Matthews et al., 1987; Matthews y Anderson, 1988).

La asimilación de CO<sub>2</sub> tanto para el tratamiento **C** como para el tratamiento **D** del año 2003 al 2004 se incrementó, esto puede ser el efecto de varias condiciones primero los valores en la conductancia estomática en el 2003 fueron mas bajos que en el 2004 lo que pudo provocar las diferencias en la asimilación de CO<sub>2</sub> y la temperatura ya que en la evaluación del año 2003 se registraron temperaturas superiores a los 35°C mientras que en el año 2004 las temperaturas registradas no superaron este valor y al correlacionar la temperatura con la **NCER<sub>canopy</sub>** se manifiesta que la tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> desciende a los 30°C (Fig. 12). Comportamientos parecidos se han referenciado para otras especies como en melocotón (Girona et al., 1993), donde se menciona una caída abrupta de la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> a una temperatura de 32-36°C.



**Figura 11.** Relación entre tasa neta de asimilación de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa **NCER<sub>canopy</sub>** y la radiación fotosintéticamente activa **PAR**



**Figura 12.** Relación entre masa neta de asimilación de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa **NCER<sub>canopy</sub>** y la temperatura del aire.

**Tabla 12.** Tasa promedio acumulada de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa (**NCER<sub>canopy</sub>**) durante el 2003 y 2004 de los tratamientos, control (**C**) control déficit (**CD**), y la Tasa promedio diario acumulada de asimilación neta de CO<sub>2</sub> a nivel de toda la cepa expresada por unidad superficie de área foliar (**NCER<sub>h</sub>**) durante el 2003 y 2004 de los tratamientos, control (**C**) déficit, (**D**) control (**C**) y Control déficit (**CD**)

Tratamiento	Año			
	2003		2004	
	<b>NCER<sub>canopy</sub></b> (molCO <sub>2</sub> -cepa <sup>-1</sup> · día <sup>-1</sup> )	<b>NCER<sub>h</sub></b> (molCO <sub>2</sub> -m <sup>2</sup> · día <sup>-1</sup> )	<b>NCER<sub>canopy</sub></b> (molCO <sub>2</sub> -cepa <sup>-1</sup> · día <sup>-1</sup> )	<b>NCER<sub>h</sub></b> (molCO <sub>2</sub> -m <sup>2</sup> · día <sup>-1</sup> )
Control	2.53	0.29	5.24	0.54
Déficit	0.89	0.24	2.02	0.63
Control			4.94	0.51
Control déficit			2.90	0.36

## CONCLUSIONES

- En el efecto del déficit hídrico sobre la adquisición de  $\text{CO}_2$  a nivel de toda la planta, ha resultado ser mucho más importante las reducciones de área foliar que la fijación de  $\text{CO}_2$  por unidad de área foliar.
- Las reducciones producidas, en respuesta al estrés hídrico, en fotosíntesis , área foliar y producción están coordinadas

## **BIBLIOGRAFIA UTILIZADA**

Behboudian, M.H.;R.R. Walker y E. Torotkalvy,1986. Effects of water stress and salinity on photosynthesis of pistacho. *Scientia Horticulturae*. 29:251-261.

Blackman, P.G. y W.J. Davies, 1985. Root to shoot communication in maize plants of the effect of soils drying. *J. Exp. Bot.* 36(162):39-48.

Bravdo, B., and A. Naor, 1997. Effect of water regime on productivity and quality of fruit and wine. *Acta Hortic.* 427:15-26.

Castel, J.R. y E. Fereres, 1982. Responses of young almond trees to two drought periods in the field. *J.Hort. Sci.* 57 (2):175-187.

Cháves,M.M. 1991. Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany* 42(234), 1-16.

Corelli-Grapadelli, L. y Magnani, E., 1993. A whole tree system for gas exchange studies. *HortScience* 28: 41-45.

Delfine, S.Loreto, F. and Alvino, A.,2001. Drought-stress effects on physiology growth and biomasa production of rainfed and irrigated bell pepper. *Journal of America Society of Horticultural Sciences.* 126(3), 297-304.

Forsyth, F.R., e I. V. Hall. 1965. Effect of leaf maturity, temperature, carbon dioxide concentration, and light intensity on rate of photosynthesis in

clonallines of the lowbush blueberry *Vaccinium angustifolium* Ait. under laboratory conditions. *Can J. Bot.* 43 : 893-899.

Girona, J.; M. Mata; O.A. Goldhamer; R.S. Johnson y T.M. OeJong, 1993. Patterns of soil and tree water status and leaf functioning during regulated deficit irrigation scheduling in peach. *J.Amer.Soc.Hort.Sci.* 118(5): 580-586.

Girona, J., Mata, M. Del campo, J. Arbonés, A. Bartra, E. Marsal J. 2006. The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards. *Irrig. Sci.* 24: 115-127

Goldhamer, D.A., J. Dunai y L. Ferguson, 1993. Irrigation requirements of manzanillo olive trees and responses to sustained deficit irrigation. *Acta Horticulturae* 335: 365-371.

Gowing, D.J.G., H.G. Jones, and W.J. Davis 1993. Xylem-transported abscisic acid-the relative importance of its mass and its concentration in the control of stomatal aperture. *Plant Cell and Environment* 16(4):453-459.

Hendrickson A.H. y F.J. Veihmeter, 1950. Irrigation experiments with apricots. *Amer.soc. Hort. Sci. proc.* 55: 1-10.

Itia, C., Benzioni, 1976 Water stress and hormonal response. In *Water and Plant Life: problems and Modern Approaches*. Lange, O.L., Kappen y

E.D. Schulze (eds.) *Escol. Stud.* Vol. 19. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, : 176-188.

Jackson, D., and P. Lombard. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality. A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 44:409-430. Kirk, R. E. 1968 *Experimental Design: procedures for the behavioral sciences.* 577 p. Belmont, California, USA.

Kriedemann, P.E. 1968. Photosynthesis in vine leaves as a function of light intensity, temperature and leaf age. *Vitis* 7: 213-220.

Kuang, J.B.; N.C. Turner y I.A. Henson, 1990 Influence of xylem water potential on leaf elongation and osmotic adjustment of wheat and lupin. *Journal of Experimental Botany* 41(223):217-221.

Lakso, A.N., y E.J Seeley. 1978. Environmentally induced response of apple tree photosynthesis. *HortScience* 13 : 646- 650.

Lakso, A.N., 1980. Aspect of canopy photosynthesis and productivity in the apple tree *Acta Horticulturae* 114.

Larson, K.D.; T.M. DeJong y R.S. Jhonson, 1988. Physiological and growth responses of mature peach trees postharvest water stress. *J.Amer.Soc.Hort.Sci.* 113(3):296-300.



Matthews, M., and M. Anderson. 1988. Fruit ripening in *Vitis vinifera*: responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* 39:313-320.

Matthews, M., and M. Anderson. 1989. Reproductive development in grape (*Vitis vinifera* L.): responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* 40:16-26.

Matthews, M., M. Anderson, and H. Shultz. 1987. Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet franc. *Vitis* 26:147-160.

Matthews, M., R. Ishii, M. Anderson, and M. O'mahony. 1990. Dependence of wine sensory attributes on vine water status. *J. Sci. Food Agric.* 51:231-335.

McDermitt, D.K., 1990. Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. *HortScience* 25(12):1538-1548.

Miller D.P., Howell, G.S. y Flore, J.A., 1996. A whole-plant, open gas-exchange system for measuring net photosynthesis of potted woody plants. *HortScience* 31(6):944-946.

Nadal, M., and L. Arola. 1995. Effects of limited irrigation on the composition of must and wine of Cabernet Sauvignon under semi-arid conditions. *Vitis*

34:151-154. Ough, C.S. 1992. Tratado básico de Enología. 294 p. trad. Concepción Llaguno y María Dolores Cabezudo. Acribia, Zaragoza, España.

Nerd, A. y A. Benzoni, 1988 Effect of water deficit on vegetative growth and fruit development in Jojoba. J.Amer.Soc.Hort. Sci. 113 (3): 440-444.

Palmer, J. W., y C.R. Rom. 1986. Preliminary results using a whole canopy 'gas exchange system on field grown apple trees. In: Regulation of Photosynthesis in Fruit Crops, p. 90-91, T.E. DeJong (Ed.). Proc. Intl. Workshop, Davis, California. USA.

Passioura, J.B. 1988 root singlas control leaf expansion in wheat seedlings growing in drying soil. Aust. J. Plant Physiol. 15:687-693.

Poni, S., A.N. Lakso., J.R. Turner., and R. Melious. 1993. The effects of pre-and post-verasion water stress on growth and phisiology of potted pinot Noir grapevines at varying crop levels. Vitis 32:207-214.

Reddy, V.R., L.B. Pachepsky, y B. Acock. 1994. Response of crop photosynthesis to carbon dioxide, temperature, and light : Experimentation and modeling. HortScience 29 (12) : 1415-1422.

Reynolds, A., and A. Naylor. 1994. Pinot noir and Riesling grapevines respond to water stress duration and soil water - holding capacity. HortScience 29:1505-1510. SAG. 1999. Vinos y Viñas. Catastro Vitícola Nacional. Disponible en <http://www.sag.gob.cl>.

Sahackel, K.A.; Ahmadi, H.; Biasi, W.; Buchner, R.; Goldhamer, D.A.; Gurusinghe, S.; Hasey, J.; Kester, D.; Kruger, B.; Lampine, F.; McGourty, G.; Micke, W.; Mitcham, E.; Olson, B.; Pelletrany, K.; Philips, H.; Ramos, D.; Schwankl, L.; Sibbet, S.; Snyder, R.; Southwick, S.; Stevenson, M.; Thorpe, M.; Weinbaum, S.; Yaeger, J.; 1997 Plant Water estatus as an index of irrigation needs in deciduous fruit trees. HortTechnology 7(1): 23-28.

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. Stevens, R., and G. Harvey. 1996. Soil water depletion rates under large grapevines. Australian Journal of Grape and Wine Research 2:155-162. Ureta, F. 1984. Manual de análisis de vino. 301 p. Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.

Schulze, E.D., 1986. Carbon dioxide and water vapor exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. Ann. Rev. Plant Physiol. 37:247-274.

Sharkey, T.D., 1990 water stress effects on photosynthesis. Photosynthetica 24:651.

- Shiao, T., Bradford .K.J., 1983 Physiological correspondences of cellular water deficit. In H.M. Taylor, W.R. Jordan, T.M. Sinclair, eds. Limitation of effects water use in crop production. ASA,CSSA,SSSA, pag 227-265.
- Sirois, S.L., y C.R. Coopero 1964. The influence of light intensity , temperature and atmospheric carbon dioxide concentration on the rate of apparent photosynthesis of a mature apple tree. Maine Agr. Exp. Sta. Bul. 626. EE. UU.
- Smart, R.E. 1984. Some aspects of climate, canopy microclimate, vine physiology, and wine quality. In : Proc. Int. Symp. Cool Climate Viticulture and Enology, p. 1-19.
- Steinberg, S.L.; J.C. Miller, Jr. y M.J. McFarland. 1990. Dry matter partitioning and vegetative growth of young peach trees under water stress. Aust.J.Plant Physiol. 17:23-36.
- Swietlik, D.; R.F. Korcak y M. Faust, 1983. Stomatal and non-stomatal inhibition of photosynthesis in water-stressed apple seedlings. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108:54-58.
- Tan, C.S. y B. R. Buttery, 1982.The effect of soil moisture stress to various fractions of the root system on transpiration, photosynthesis, and internal water relations of peach seedlings. J. Amer.Soc. Hort. Sci. 107(5):845-849.

Terry, N.; L.J. Waldon y S.E. Taylor, 1983. Environmental influences on leaf expansion. En: J.E. Dale y F.L. Milthorpe (Eds.). The Growth and functioning of leaves. Cambridge University Press. Cambridge, U.K.:179-205.

Thorman,H. 1978. Some photosynthetic characteristics of apple, paer,olive and grape-vine leaves. Agropiante 10:51-55.

Tombesi, A. 1988. Intercettazione luminosa ed efficienza produttiva dell ólivo. Frutticoltura 3/88 : 21-26.

Uriu, K., 1965. Soil management and irrigation of peach orchards. Tai del Congresso del pesco C. Delaini; R. Gozzi, A. Beneditti y C. la rosa (eds.) Camara di Commercio, Industria e Agricoltura di Verona- Italy : 383-397.

Ussahatanonta, S., D. Jackson, and R. Rowe. 1996. Effects of nutrient and water stress on vegetative and reproductive growth in *Vitis vinifera* L.. Australian Journal of Grape and Wine Research 2:64-69.

Vaadia, Y., 1976 Plant hormones and water stress. Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B 273:513-522.

Yuste J.B: 1995. Comportamiento fisiológico y agronómico de la vid (*Vitis Vinifera* L.) en diferentes sistemas de conducción en secano y regadio  
Tesis Doctoral U:P.de Madrid.

Zhang, J., Schurr U. and Davies, W.J. 1987 Control of stomatal by abscisic acid which apparently originates in the roots *J.Exp. Bot.* 38 (192): 1174-1181.