

**EFFECTO DE LA RADIACIÓN Y TEMPERATURA DE PLANTA
SOBRE EL CRECIMIENTO VEGETATIVO ESTIVAL DE
ARÁNDANO ‘O’NEAL’, INSTALADO EN PRIMAVERA**

por

Ing Agr. Florencia Benzano Naguila

TESIS de POST GRADO

Maestría en Ciencias Agrarias, opción CIENCIAS VEGETALES

Facultad de Agronomía

Universidad de la República Oriental del Uruguay

2007

Tesis aprobada por:

Director:

Nombre completo y firma

Co- director:

Nombre completo y firma

Fecha: _____

Autor:

Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos son para:

- el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) por otorgarme su beca “Premio INIA Las Brujas 40 años”, la cual me la entregaron debido a la escolaridad con que finalicé mis estudios de grado y me permitió realizar el postgrado.
- la Facultad de Agronomía (UDELAR) y sus integrantes, por el esfuerzo que realizan día a día para que el postgrado sea una realidad.
- el Ing. Agr. Oscar Bentancur del departamento de Estadística y Cómputo de la Facultad de Agronomía (UDELAR), por asesorarme y realizar el análisis estadístico de los datos de la tesis.
- el Ing. Agr. Víctor Martín del Centro de Investigaciones Nucleares de la Facultad de Ciencias (UDELAR), por enseñarnos a usar los equipos de medición de variables fisiológicas.
- el Técnico Agropecuario José Furest del GRAS de INIA Las Brujas, estación experimental Wilson Ferreria Aldunate, por su asesoramiento en la interpretación de las variables climáticas.
- el Ing. Agr. Enrique Muneé por permitirme realizar el ensayo en su quinta y cuidar del ensayo en todo momento junto con su capataz Sr. Víctor Vazquez.
- el personal de campo de fruticultura y el personal de la sección de Riego de INIA Las Brujas, estación experimental Wilson Ferreria Aldunate.
- mi familia por su permanente apoyo.

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro N°	Pág.
1. Parámetros de crecimiento de plantas de arándano sometidas a tratamientos de cobertura. Mediciones realizadas 15 días después de retirados los tratamientos 16
2. Efecto de los tratamientos de cobertura sobre variables fisiológicas en plantas de arándano y sobre la radiación fotosintéticamente activa, en distintas instancias de medición 22
3. Caracterización climática del período de tratamientos según presencia de la cobertura de caolinita sobre las plantas de arándano. Porcentaje de los días en que existió cobertura de caolinita con medias iguales o superiores a sus pares históricos 34
4. Crecimiento de plantas de arándano según tipo de tallo. Mediciones realizadas previo a la instalación de los tratamientos (21 de noviembre del 2006), una vez retirados los mismos (11 de abril del 2006) y al final del ensayo (3 de julio de 2006) 43
5. Evolución del largo de planta de arándano para cada tratamiento, según los tipos de tallos definidos. Mediciones realizadas previo a la instalación de los tratamientos (21 de noviembre del 2006), una vez retirados (11 de abril del 2006) y al final del ensayo (3 de julio de 2006) 43
6. Efecto de los tratamientos de cobertura sobre el número de nudos de los tipos de tallos definidos en plantas de arándano. Mediciones realizadas previo a la instalación de los tratamientos (21 de noviembre del 2006), una vez retirados (11 de abril del 2006) y al final del ensayo (3 de julio de 2006) 44
7. Evolución del número de tallos según tipo, en plantas de arándano sombreadas artificialmente. Mediciones realizadas previo a la instalación de los tratamientos (21 de noviembre del 2006), una vez retirados (11 de abril del 2006) y al final del ensayo (3 de julio de 2006) 45
8. Parámetros de desarrollo foliar en plantas de arándano tratadas con cobertura. Mediciones realizadas el 25 de abril del 2006 46
9. Comportamiento reproductivo de plantas de arándano sometidas a tratamientos de cobertura. Distribución de las yemas reproductivas y vegetativas en los tipos de tallos definidos en plantas de arándano. Medición realizada el 3 de julio del 2006 47

10. Tensión hídrica de suelo según momento del día en cada instancia de medición	50
11. Evolución diaria de la temperatura de suelo a los 15cm de profundidad	55
12. Efecto del sombreado artificial sobre variables fisiológicas en plantas de arándano y sobre la temperatura ambiente y radiación fotosintéticamente activa, en las tres primeras instancias de evaluación	57
13. Efecto del sombreado artificial sobre variables fisiológicas en plantas de arándano y sobre la temperatura ambiente y radiación fotosintéticamente activa, en las dos últimas instancias de evaluación	59
14. Efecto del sombreado artificial sobre variables fisiológicas y sobre la temperatura ambiente y PAR, según edad de la hoja en plantas de arándano, para las tres primeras instancias de medición	62
15. Efecto del sombreado artificial sobre variables fisiológicas y sobre la temperatura ambiente y radiación fotosintéticamente activa, según edad de la hoja en plantas de arándano, para las dos últimas instancias de medición	64
16. Análisis de regresión lineal y cuadrática de las variables fisiológicas y ambientales estudiadas en plantas de arándano sombreadas artificialmente. Comparación de los parámetros de las ecuaciones, con un intervalo de confianza del 95% (IC 95%), para cuando los tratamientos presentan igual relación entre pares de variables	68
17. Análisis de regresión lineal y cuadrática de las variables fisiológicas y ambientales estudiadas en plantas de arándano sombreadas artificialmente, según edad de la hoja. Comparación de los parámetros de las ecuaciones, con un intervalo de confianza del 95% (IC 95%), para cuando los tratamientos presentan igual relación entre pares de variables	70
18. Factor limitante de la tasa fotosintética y su valor en plantas de arándano tratadas con cobertura y testigo, según edad de la hoja durante el otoño e invierno. Caracterización climática de las instancias de medición	72
19. Tasa de respiración y eficiencia de carboxilación según edad de hoja, en plantas de arándano tratadas con cobertura (1° y 30 de marzo) y luego de retirar la misma (27 de abril y 6 de junio) y en las testigo	74

20. Tasa fotosintética según edad de hoja en plantas tratadas con cobertura y testigo, calculado con la fórmula correspondiente a cada factor limitante 76

Figura N°

1. Efecto de los tratamientos de cobertura sobre el largo de planta de arándano ($\text{cm} \cdot \text{planta}^{-1}$). 14

2. Efecto de los tratamientos de cobertura sobre la tasa de crecimiento de planta de arándano ($\text{cm} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$). Promedios diarios de variables ambientales en cada intervalo de medición del ensayo. 15

3. Clasificación de la planta de arándano según tipo de tallo. 35

4. Para cada tratamiento: A) ubicación de hoja adulta y nueva en la planta; B) acercamiento de hoja adulta; C) acercamiento de hoja nueva. 37

5. Planta a transplantar el 12 de octubre del 2005, antes y después de sacarla de la maceta y quitarle el sustrato. 38

6. Para cada tratamiento, A) vista del sistema vegetativo aéreo defoliado, previo a ser extraída la planta para el estudio de materia seca. Vista lateral del sistema radical: B) con el pan de tierra con el cual se extrajo; C) parcialmente limpio; D) totalmente limpio. 42

7. Tensiómetro enterrado 30cm en el suelo, en (A) parcela de malla roja 30% sombra y (B) parcela de caolinita. 49

8. Tensión hídrica (kPa) a los 15 y 30 cm de profundidad para cada tratamiento durante el período en que se aplicaron los mismos. Registro de precipitaciones (mm) en dicho período. 52

9. Evolución de la temperatura ambiente promedio diaria ($^{\circ}\text{C}$) según tratamiento, en cada intervalo de medición, dentro del período comprendido entre el 17 de diciembre del 2005 y el 2 de marzo del 2006.54

10. Evolución de la tasa de crecimiento promedio diario para cada intervalo de medición ($\text{cm} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$) en plantas de arándano tratadas con cobertura y testigo. Temperatura de suelo ($^{\circ}\text{C}$) promedio diaria y tensión hídrica de suelo (kPa) para cada tratamiento, multiplicados sus valores por 10. Precipitaciones ($\text{mm} \cdot \text{día}^{-1}$) y promedio diario de humedad relativa ambiente (%HR). Tukey, $p \leq 0.05$ 55

11. Caracterización climática de las instancias en las que se realizaron las curcas de A- concentración subestomática de CO₂, en hoja adulta de plantas de arándano tratadas con cobertura y testigo. (C: caolinita; M: malla; T: testigo). 74

12. Caracterización climática de las instancias en las que se realizaron las curcas de A- concentración subestomática de CO₂, en hoja nueva de plantas de arándano tratadas con cobertura y testigo. (C: caolinita; M: malla; T: testigo). 75

ABREVIATURAS

A: hoja adulta
A: tasa fotosintética
C: caolinita
Ci: concentración de CO₂ en la cámara subestomática
CV: coeficiente de variación
Día: instancia de evaluación
Día: instancia de evaluación
DPV: diferencia de presión de vapor
gs: conductancia estomática
HR: humedad relativa
M: malla roja 30% sombra
Momento: momento del día
Momento: momento del día
MS: materia seca
N: hoja nueva
PAR: radiación fotosintéticamente activa
T: tasa de transpiración
T: testigo
Tamb: temperatura ambiente
Th: temperatura de hoja
Trat: tratamiento
YR: yemas reproductivas
YV: yemas vegetativas

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACION.....	I
AGRADECIMIENTOS... ..	II
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
CAPITULO I.....	1
EFECTO DE LA RADIACIÓN Y TEMPERATURA DE PLANTA SOBRE EL CRECIMIENTO VEGETATIVO ESTIVAL DE ARÁNDANO ‘O’NEAL’, INSTALADO EN PRIMAVERA.....	2
RESUMEN.....	2
EFFECTS OF MODIFFYING INCIDENT SOLAR RADIATION AND LEAF TEMPERATURE ON SUMMER GROWTH OF SPRING-PLANTED ‘O’NEAL’ SOUTHERN Highbush BLUBERRY.	3
SUMMARY	3
INTRODUCCION.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
Material vegetal	8
Tratamientos y diseño estadístico.....	9
<i><u>Determinación del porcentaje de sombra producida por los tratamientos de caolinita y malla</u></i>	<i><u>9</u></i>
Clasificación de la parte aérea de la planta según el tipo de tallo	10
Mediciones de variables de crecimiento vegetativo y ambientales.....	10
<i><u>Variables de crecimiento vegetativo</u></i>	<i><u>10</u></i>

<i><u>Variables ambientales.....</u></i>	<i><u>11</u></i>
Mediciones fisiológicas	12
<i><u>Curvas diarias de PAR, temperatura de hoja, tasa fotosintética y conductancia estomática</u></i>	<i><u>12</u></i>
<i><u>Curvas de tasa fotosintética según concentración de CO₂ en la cámara subestomática.</u></i>	<i><u>12</u></i>
Análisis estadístico.....	13
RESULTADOS Y DISCUSION.....	13
Crecimiento vegetativo.....	13
<i><u>Evolución del largo y número de nudos por planta.....</u></i>	<i><u>13</u></i>
<i><u>Crecimiento vegetativo según tipo de tallo.....</u></i>	<i><u>15</u></i>
<i><u>Materia fresca, seca y área foliar.....</u></i>	<i><u>16</u></i>
Factores que afectan el crecimiento vegetativo aéreo.....	17
<i><u>Factores climáticos</u></i>	<i><u>17</u></i>
<i><u>Crecimiento de raíces.....</u></i>	<i><u>20</u></i>
<i><u>Yemas reproductivas y vegetativas.....</u></i>	<i><u>20</u></i>
Tasa fotosintética y crecimiento vegetativo.....	21
<i><u>Factores que determinan la tasa fotosintética</u></i>	<i><u>21</u></i>
<i><u>Efecto de la temperatura de hoja sobre la tasa fotosintética.....</u></i>	<i><u>23</u></i>
<i><u>Incidencia de la temperatura de hoja sobre la A vs la radiación fotosintéticamente activa</u></i>	<i><u>23</u></i>
<i><u>.....</u></i>	<i><u>23</u></i>
<i><u>Incidencia sobre la tasa fotosintética de la temperatura de hoja vs la conductancia</u></i>	<i><u>23</u></i>
<i><u>estomática</u></i>	<i><u>23</u></i>
<i><u>Factor limitante de la tasa fotosintética</u></i>	<i><u>24</u></i>

<i>¿Ocurre el proceso de fotoinhibición?</i>	<i>25</i>
<i>Conductancia estomática: factores que la determinan y efecto estacional sobre la misma</i>	<i>25</i>
<i>Incidencia sobre la gs de la PAR, temperatura foliar y tasa fotosintética</i>	<i>26</i>
CONCLUSIONES.....	27
BIBLIOGRAFÍA.....	28
CAPITULO II.....	31
EFFECTO DEL SOMBREADO ARTIFICIAL SOBRE VARIABLES EDAFOCLIMÁTICAS Y FISIOLÓGICAS EVALUADAS EN EL CULTIVO DEL ARÁNDANO	32
Heliofanía absoluta, relativa y otras variables consideradas en el primer capítulo	32
<i><u>Materiales y métodos.....</u></i>	<i><u>32</u></i>
<i><u>Caracterización climática del periodo con tratamientos de cobertura respecto a la serie histórica 1975 - 2005.....</u></i>	<i><u>33</u></i>
<i><u>Caracterización climática del periodo de tratamientos según presencia de cobertura de caolinita en las parcelas tratadas</u></i>	<i><u>33</u></i>
Crecimiento vegetativo.....	35
<i><u>Largo, número de nudos, número de tallos, materia fresca y seca por planta y por parte aérea y radical, área foliar y número de hojas</u></i>	<i><u>35</u></i>
<i>Materiales y métodos</i>	<i>35</i>
<i>Caracterización del material vegetal utilizado</i>	<i>37</i>
<i>Crecimiento vegetativo por planta</i>	<i>38</i>
<i>Crecimiento vegetativo aéreo según tipo de tallo</i>	<i>42</i>

<i>Materia fresca y seca foliar</i>	45
<i>Área foliar y número de hojas</i>	45
Yemas reproductivas y vegetativas	46
<u><i>Materiales y métodos</i></u>	<u>46</u>
<u><i>Distribución de las yemas reproductivas y vegetativas</i></u>	<u>46</u>
Tensión hídrica del suelo y régimen de precipitaciones	48
<u><i>Materiales y métodos</i></u>	<u>48</u>
<u><i>Caracterización hídrica de los primeros 30cm de sustrato</i></u>	<u>49</u>
Temperatura Ambiente.....	52
<u><i>Materiales y métodos</i></u>	<u>52</u>
<u><i>Evolución estacional de la temperatura ambiente y efecto de los tratamientos</i></u>	<u>53</u>
Temperatura de suelo.....	54
<u><i>Materiales y métodos</i></u>	<u>54</u>
<u><i>Evolución estacional de la temperatura de suelo y efecto de los tratamientos de cobertura</i></u>	<u>54</u>
Comportamiento diario de variables fisiológicas de plantas de arándano y ambientales, sometidas a tratamientos de cobertura.....	56
<u><i>Materiales y métodos</i></u>	<u>56</u>
<u><i>Comportamiento diario de variables fisiológicas según m² de área foliar de planta, temperatura ambiente y radiación fotosintéticamente activa, bajo tratamientos de cobertura</i></u>	<u>56</u>
<u><i>Comportamiento diario de variables fisiológicas, temperatura ambiente y radiación fotosintéticamente activa para los distintos tratamientos, según edad de la hoja</i></u>	<u>62</u>
Análisis de regresión y de varianza para las variables fisiológicas y climáticas consideradas	66

<i><u>Materiales y métodos.....</u></i>	<i><u>66</u></i>
<i><u>Resultados del análisis de regresión.....</u></i>	<i><u>67</u></i>
Determinación del factor limitante de la A, estudio de la eficiencia de carboxilación y de la tasa de respiración	71
<i><u>Materiales y métodos.....</u></i>	<i><u>71</u></i>
<i><u>Factor limitante de la tasa fotosintética, comportamiento de la eficiencia de carboxilación y de la tasa de respiración.....</u></i>	<i><u>72</u></i>
Tasa fotosintética estimada a partir de su factor limitante	75
<i><u>Materiales y métodos.....</u></i>	<i><u>75</u></i>
<i><u>Resultados</u></i>	<i><u>76</u></i>
BIBLIOGRAFÍA.....	76
CAPITULO III.....	80
CONCLUSIONES.....	81

CAPITULO I

EFFECTO DE LA RADIACIÓN Y TEMPERATURA DE PLANTA SOBRE EL CRECIMIENTO VEGETATIVO ESTIVAL DE ARÁNDANO ‘O’NEAL’, INSTALADO EN PRIMAVERA

Benzano Naguila, M^a Florencia

RESUMEN

En el Uruguay se ha dado una acelerada expansión del cultivo del arándano desde el año 2002. El propósito de las plantaciones es exportar fruta fresca hacia el Hemisferio Norte en los meses de contraestación. La inversión inicial es alta, representando las plantas un componente importante, lo cual vuelve de fundamental importancia disponer de medidas de manejo que permitan disminuir la merma de plantines y obtener precocidad productiva en la vida del cuadro. El objetivo del presente trabajo es durante el verano e inicio del otoño, disminuir la radiación incidente y temperatura de plantas de arándano Southern highbush (Híbridos interespecíficos principalmente *Vaccinium corymbosum* L.) variedad ‘O’Neal’ implantadas en primavera, buscando obtener un mayor crecimiento vegetativo. Para ello, se estudió el efecto del uso de la cobertura malla roja 30% de sombra y de la aplicación foliar de una formulación comercial de caolinita (4.1gr/planta de Surround WP ®) mediante atomizadora, sobre el crecimiento vegetativo y variables fisiológicas. Se observaron dos flujos de crecimiento, una relación positiva entre la tasa de crecimiento y la temperatura ambiente promedio diaria pero negativa entre dicha tasa y la radiación total incidente promedio diaria. La tasa fotosintética (A) fue limitada por temperaturas de hoja cercanas a los 38°C y luego por la radiación. Ambos tratamientos de cobertura disminuyeron la PAR, y además la malla la temperatura de hoja, pero sólo la malla incrementó el largo y número de nudos por planta respecto a los restantes tratamientos ($p \leq 0.05$), no explicándose los resultados por mayores A. La materia seca (MS) y el área foliar de planta no se diferenciaron entre tratamientos ($p \leq 0.05$). En las plantas cubiertas, el coincidente comportamiento observado entre sus A y sus conductancias

estomáticas (gs) desde el mediodía hacia la tarde, parecen explicarse por un posible menor grado de fotoinhibición.

PALABRAS CLAVE: caolinita, malla roja 30% sombra, tasa fotosintética, conductancia estomática

EFFECTS OF MODIFYING INCIDENT SOLAR RADIATION AND LEAF TEMPERATURE ON SUMMER GROWTH OF SPRING-PLANTED ‘O’NEAL’ SOUTHERN Highbush BLUBERRY.

SUMMARY

Blueberry culture in Uruguay has shown a quick expansion in the latest years. Its purpose is to export fresh fruit to the Northern Hemisphere at the counter season months. Initial investment is high, and plant costs are an important component. In consequence, is necessary to have appropriate tools to reach both a low plant mortality level and an earliest harvest in the life cycle of the planting. Looking for greater vegetative growth, the objective of the present study is to decrease the incident radiation and plant temperature on ‘O’Neal’ Southern highbush blueberry (interspecific hybrid, mainly *Vaccinium corymbosum* L.) plants planted in October. In this way, there were studied the effects of 30% red shading net (Chromatinet) and kaolinite film (4.1g/plant, Surround WP ®) on summer vegetative growth and physiological variables. Two vegetative growth fluxes were recorded and an inverse relationship between growth rate and total daily incident average radiation was found. Effect of a high leaf temperature (38°C) on net assimilation rate (A) seems to be stronger than that of the total incident radiation. Both shading treatments decreased the incident radiation, and the red shading net decreased the leaf temperature, too. However, only the net increased the branch length as well as the per-plant node number ($p \leq 0.05$). These results can’t be explained for a higher A ($p \leq 0.05$). Dry matter and per-plant leaf area were not affected by shading treatments ($p \leq 0.05$). Nonetheless, a coincident behaviour between A and stomatal conductance (gs), since noon to afternoon seems to be explained by a possible lower photo-inhibition process.

KEYWORDS: kaolinite, 30% shading red net, assimilation rate, stomatal conductance

INTRODUCCION

En el Uruguay el acelerado desarrollo comercial del cultivo de arándano data del año 2002, existiendo al año 2005, 3km² efectivos y previéndose 5km² para el año 2007. El veloz desarrollo registrado y el que sea la variedad 'O'Neal' la más plantada hasta el presente, son consecuencia de los elevados precios que alcanza la fruta fresca en el Hemisferio Norte durante los meses de setiembre-octubre, al inicio de la contraestación. Como se mencionó previamente, esto asociado a los altos costos de implantación, lleva a que para el productor sea importante disponer de medidas de manejo que le permitan lograr una excelente instalación del cultivo y acceder precozmente al desarrollo vegetativo necesario que le permita dejar que la planta produzca fruta. La implantación se está realizando en dos períodos del año, desde febrero a abril y desde setiembre a diciembre. Ambos presentan sus puntos críticos, siendo las del segundo período los elevados niveles de radiación y de temperatura que pueden afectar negativamente el crecimiento vegetativo estival.

Se ha observado que en el Hemisferio Norte y durante el verano, las plantas de arándano del grupo Highbush (*Vaccinium corymbosum* L.) presentan dos flujos en el crecimiento vegetativo aéreo, el primero de mayor magnitud de fines de junio a principios de julio y el siguiente de menor magnitud en agosto. Luego, de fines de agosto hacia principios de setiembre, se ha registrado el mayor flujo en el crecimiento del sistema radical (Korcak, 1988). En plantas del grupo Rabbiteye (*V. virgatum* Ait) y durante todo el período de crecimiento de las plantas, Darnell et al. (1992) observaron tres picos en el crecimiento vegetativo aéreo. El primero se observó hacia fines de abril previo a cosecha, el segundo hacia inicios de julio asociado a una mejor relación fuente/fosa y el tercero hacia mediados de agosto, asociado a una disminución en el largo del día, en la temperatura ambiental e intensidad de radiación. Según los autores, la depresión en el crecimiento vegetativo aéreo, observado durante el verano, puede explicarse por una disminución de la tasa fotosintética (A), ocasionada porque altos valores de evapotranspiración indujeron bajos potenciales de agua en el xilema, y/o porque altas intensidades de luz indujeron el proceso de fotoinhibición y/o por que se

dieron temperaturas ambientales superiores a las óptimas. La disminución del crecimiento total de planta registrada hacia octubre, la asocian al acortamiento del fotoperíodo y en consecuencia al comienzo de la iniciación floral, dado que son plantas que se inducen frente a esas condiciones. Distintos autores plantean que el aparato fotosintético de los arándanos se satura con bajas intensidades de radiación incidente, de entre 600 y $800\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ de flujo fotónico fotosintético según se trate de Highbush, de *V. darrowii* Camp (Moon et al., 1987) o de Rabbiteye (Teramura et al., 1979), lo cual estaría indicando que son plantas del tipo C_3 . En comparación con otras especies, resulta que si bien es una especie caduca su punto de saturación es menor al de los manzanos ($900-1000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) (Teramura et al., 1979) y similar al de los *Citrus* (Teramura et al., 1979; Blanke, 2000), en los que se ha observado ocurre el proceso de fotoinhibición. Dicho proceso se da frente a intensidades de radiación mayores al punto de saturación y puede ser favorecido por otras condiciones de estrés (Blanke, 2000). Tiene lugar en los centros de reacción del fotosistema II y puede ser un proceso no reversible (Taiz and Zeiger, 1991).

El rango de temperatura ambiental óptima para la A varía entre especies del género *Vaccinium*. Para *V. corymbosum* va de los 14 a 26°C y de los 25 a 30°C para *V. darrowii* Camp. (Moon et al., 1987), mientras que para *V. virgatum* Ait es de 25°C (Gough, 1994). La temperatura ambiente y la de hoja influyen positivamente sobre la diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire (Jifon and Syvertsen, 2003), la cual influye negativamente sobre la conductancia estomática (gs) y ésta sobre la disponibilidad de CO_2 .

Con el objetivo de manejar estas variables fisiológicas a favor del crecimiento vegetativo y la productividad, se ha evaluado en distintas especies, el efecto de aplicar una película de caolinita sobre las plantas ó de producir un sombreado parcial colocando mallas sobre las mismas.

En plantas de *Citrus* se ha observado que el uso de caolinita, al disminuir la radiación fotosintéticamente activa (PAR) incidente, disminuyó la temperatura de hoja y luego la diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire, aumentando en consecuencia respecto a las testigo la A, la gs y la eficiencia de uso del agua, acentuándose la diferencia al mediodía (Jifon and Syvertsen,

2003). Se ha observado que esta cobertura tiene un efecto positivo en el crecimiento vegetativo de plantas de *Citrus* (Jifon and Syvertsen, 2003) y de arándano (Spiers et al., 2003). Estos últimos señalan que en plantas de arándano Southern highbush variedad 'Magnolia', cuanto más temprano se aplica la caolinita en la estación de crecimiento, mayor es el crecimiento vegetativo, pudiendo ser explicado el efecto positivo por una mayor protección de las plantas contra el estrés calórico y el ataque de insectos.

Respecto al efecto de las mallas sobre las variables fisiológicas mencionadas, se ha observado que el uso de malla aluminizada 40 y 60% de sombra no afecta la composición espectral de la luz natural (Cohen et al., 2000) y en cítricos instalados en regiones semi-áridas (Cohen et al., 1997; Raveh et al., 2003; Cohen et al., 2005) dan lugar a resultados similares a los de la caolinita. Jifon y Syvertsen (2000) con malla aluminizada 60% sombra y Cohen et al. (2000) con la misma malla 40 y 60% sombra, trabajando en distintas especies de *Citrus* publican idénticas tendencias en el comportamiento de la g_s , A y eficiencia del uso del agua al mediodía de días despejados que las descritas para caolinita. Raveh et al. (2003) en plantas jóvenes de mandarina 'Murcott', con la misma malla y similares porcentajes de sombra, estudiaron su efecto sobre la concentración de CO_2 en la cámara subestomática (C_i) y observaron que aumentó junto con la g_s . Cohen et al. (2005) en pomelo, observaron que el incremento en la g_s y A , se asociaba a una disminución de la temperatura de hoja y a una reducción de la fotoinhibición reversible. Respecto al uso de malla negra 70% sombra ($\sim 500\mu mol \cdot m^{-2} \cdot seg^{-1}$) en mandarina 'Primosole', Germaná et al. (2001) observaron que disminuye la temperatura de suelo a los 40cm, la ambiental y la de hoja al mediodía, aumentando el potencial de agua del xilema, A , eficiencia del uso de agua y eficiencia cuántica al mediodía, mientras que el uso de malla blanca 30% sombra ($\sim 1000\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) causó efectos opuestos.

Así como la radiación afecta fuertemente la actividad fotosintética de las hojas, también se ha señalado que la calidad espectral de la misma afecta el desarrollo vegetativo e induce cambios morfológicos (Kasperbauer and Kaul, 1996), mediante la activación de fotoreceptores específicos como los fitocromos y criptocromos (Baraldi et al., 1998). Existen dos formas de fitocromos que

son las más conocidas, la Pr que absorbe principalmente luz roja (R) transformándose en Pfr y ésta que al absorber principalmente luz roja lejana (RL) pasa a la forma Pr, presentando ambas formas cierta absorbancia de luz azul. Como consecuencia del sombreado natural, la relación RL/R de la luz incidente aumenta, observándose una disminución del equilibrio de fitocromos ($\phi = Pfr/Ptot$) y en consecuencia tallos mas largos (Taiz and Zeiger, 1991). Germaná et al. (2001), en mandarina 'Primosole' bajo la malla negra 71%, observaron un mayor crecimiento vegetativo, hojas más largas y de verde más oscuro. Si bien estos efectos del sombreado, se asocian a menores ϕ , Baraldi et al. (1998) trabajando con plantas de durazneros y evaluando el efecto de radiación de igual intensidad pero espectralmente diferentes sobre el crecimiento vegetativo, observaron que el largo de planta no se incrementó al disminuir el ϕ . Incluso, aquel tratamiento que presentó menor ϕ (malla que incrementaba la proporción de luz RL y azul) disminuyó significativamente su largo de planta respecto a los restantes (malla transparente testigo, malla negra 80% sombra y malla que incrementaba la proporción R y RL), lo que se adjudicó a un efecto inhibitorio de la luz azul, a través de la acción de un criptocromo.

El objetivo del presente trabajo es disminuir la radiación incidente y temperatura de plantas de arándano Southern highbush, variedad 'O'Neal', instaladas en primavera, durante los meses más críticos del año, de modo de incrementar su A y obtener un mayor crecimiento vegetativo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Plantas de arándano Southern highbush, variedad 'O'Neal', producidas con el protocolo AR-VITRO ® del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, aclimatadas y rusticadas, se plantaron el 12 de octubre del 2005 en una quinta comercial ubicada en la localidad de Las Brujas, departamento de Canelones, Uruguay (Lat.: 34° 39'00.90" S, Long.: 56° 22'04.60" O, Altitud: 32 m.s.n.m). Se instalaron sobre camellones con orientación SO-NE, incorporándose en el hoyo de plantación, de 25cm de diámetro x 20cm de profundidad, 2.5lt de Biofertilizante 100% Orgánico

(Tratado SA) e igual volumen de turba. Se empleó mulch orgánico (aserrín de Eucaliptus) y riego localizado con dos cintas. El criterio de riego desde la plantación hasta el 20 de marzo del 2006 fue regar a partir de lecturas de tensiómetro mayores a 4kPa, elevándose luego el umbral crítico a 10kPa de tensión hídrica de suelo, hasta el 15 de abril en que se dejó de regar.

Tratamientos y diseño estadístico

1. CAOLINITA. Se preparó un caldo de 95gr de Surround WP ® (95% caolinita y 5% de coadyuvantes) y 0.5cc de adherente Dusilan AD por lt de agua. Se aplicó 43.5cc de solución por planta, de modo que quedaran recubiertas por una película blanca. Para ello se empleó una atomizadora de mochila (Maruyama Mist Duster MD 1500X). La primera aplicación se realizó el 26 de noviembre del 2005 y la última el 27 de marzo del 2006, resultando en 13 aplicaciones durante dicho período, en consecuencia a la frecuencia de las lluvias. La ocurrencia de éstas durante más de un día, llevó a que el cultivo estuviera descubierto durante un 30% de los días entre el 26 de noviembre del 2005 y el 10 de abril del 2006.

2. MALLA Chromatinet Roja 30% sombra (Polysack Plastics Industries, Nir Yitzhak-Sufa, Israel). Los paños de malla de 8 x 10m, se colocaron a 2.5m del suelo el 25 y 28 de noviembre del 2005 y se retiraron el 10 de abril del 2006.

3. TESTIGO: plantas sin cobertura.

Se empleó un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones y con submuestras.

Tamaño de parcela: 54 y 72 plantas, distribuidas en tres y cuatro filas de 18 plantas cada una. Los tratamientos caolinita y testigo presentaron cuatro parcelas de 54 plantas mientras que la malla dos parcelas. Para las mediciones de crecimiento, en esas parcelas se seleccionaron dos plantas de la fila central, mientras que en las restantes una por fila central.

Determinación del porcentaje de sombra producida por los tratamientos de caolinita y malla

Las mediciones de PAR se realizaron con Infrared Gas Analyser (IRGA, marca CIRAS-1, PP System), con cubeta PLC N con ventana con filtro de interferencia. Caolinita: en una planta de cada

parcela se colocaron dos tapas de cajas de Petri de plástico transparente. Se aplicó el caldo sobre las plantas y una vez secas se midió la PAR incidente inmediatamente por debajo de ellas y de una tapa limpia, registrándose cada valor tres veces. Malla: se midió la intensidad PAR incidente fuera y por debajo de la malla a la altura de las plantas. Luego en cada tratamiento se calculó la disminución de PAR bajo la cobertura, expresándose el resultado en porcentaje respecto a la medición sin cobertura. La película de caolinita provocó un 30% de sombreado y la cobertura de malla un 32%.

Clasificación de la parte aérea de la planta según el tipo de tallo

Estructura inicial: estructuras aéreas existentes al momento de la plantación y ramificaciones posteriores. Tallos de corona: aquellos generados luego de la plantación a partir de la corona. Tallos de base: aquellos generados desde la base de otro tallo, entre los primeros 2cm subsuperficiales y los 5cm sobre el nivel del suelo.

Mediciones de variables de crecimiento vegetativo y ambientales

Variables de crecimiento vegetativo

Entre el 21 de noviembre del 2005 y el 11 de abril del 2006, se midió el largo, número de nudos y número de tallos por planta, con una frecuencia aproximadamente semanal, siendo las restantes instancias de medición el 31 de mayo y 3 de julio. Dichas variables se midieron considerando la clasificación de la planta según tipo de tallo en cuatro de las instancias evaluativas: previo a la instalación de los tratamientos (21 de noviembre del 2005), inmediatamente luego de haberlos instalado (7 de diciembre 2005), al ser retirados (11 de abril del 2006) y al final del ensayo (3 de julio del 2006). A partir de los datos de largo y número de nudos por planta se calcularon la tasas de crecimiento promedio diario por planta en cada intervalo de medición, expresándose los resultados en $\text{cm} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ y $\text{número de nudos} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ y el crecimiento acumulado por planta para cada flujo de crecimiento detectado. Al final del ensayo (3 de julio del 2006) se midió el número de yemas reproductivas (YR), vegetativas (YV) y el número de nudos sin yema, expresándose los resultados en términos absolutos y cada 100 nudos. Se estudió la materia fresca y seca (MS) por

planta al inicio y final del ensayo diferenciándose hojas de tallos y raíces. Para el estudio inicial, el 12 de octubre se eligieron nueve plantas al azar del conjunto que iba a ser transplantado; para el final se eligió una planta representativa por parcela impar. a) Hojas: Las plantas se defoliaron el 25 de abril, clasificándose las hojas según tipo de tallo y edad de las mismas. Se definió como hoja nueva a aquellas de consistencia succulenta, lisas al tacto y de color verde claro y hoja adulta las de color verde más intenso, más consistentes y lámina más gruesa. El material así recolectado se colocó en una cámara de frío experimental a 0°C y 85% HR. b) Tallos y raíces: las plantas defoliadas se extrajeron del camellón con un pan de tierra cilíndrico de 30cm de alto por 45cm de diámetro. Durante el lavado de las raíces se colocaron tamices para impedir la pérdida de material radical fino. El material se secó durante 48hrs en estufa a 65°C (Hitec Yamato, Constant Temperatura Oven DN93). Las raíces luego de secadas se clasificaron en dos niveles de grosor: raicillas menores y mayores a 1mm de diámetro. Número de hojas por planta y cada 100 nudos: se contó y expresó el resultado diferenciándose según edad de la hoja y total por planta en aquellas empleadas para el estudio de materia fresca y seca y también en las que se midieron las variables fisiológicas. Área Foliar por planta: esta variable se midió en ocho de las nueve plantas defoliadas. Se empleó un medidor de área foliar (AAC-400 Hayashi Denkoh, Co LTD, Tokio, Japan) registrándose 5 veces cada lectura. Se calculó el peso específico de hoja ($\text{mgMS}\cdot\text{cm}^{-2}$), dividiéndose la MS total de las hojas entre su área foliar.

Variables ambientales

Se midió la temperatura de suelo (°C) el 7 de diciembre del 2005, 5 de enero, 16 de febrero y 5 de abril del 2006, en tres momentos del día: 7:40 a 9:30h, 12:00 a 14:00h y de 14:00 a 16:20h. Se empleó un termómetro de mercurio de suelo, enterrado 15cm en la ladera Este del cantero, a unos 20 cm al Sur Este de la planta. Semanalmente y para cada tratamiento, se registró la tensión hídrica de suelo luego de finalizado el riego, para lo cual el 2 de diciembre se colocó un tensiómetro a 15cm de profundidad (ψ_{15}) y otro a 30cm (ψ_{30}). En base a la información climática de INIA Las

Brujas se procesaron los promedios diarios, mensuales y de los períodos existentes entre los intervalos de medición de crecimiento, de la temperatura ambiente media, máxima y mínima (°C) y de la radiación total incidente estimada a partir de heliofanía ($\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$). Además para aquellos días en que se realizaron mediciones de tipo fisiológico, se consideró la información promedio diaria de humedad relativa ambiente (%) y se calculó el déficit de presión de vapor (kPa) (Allen et al., 1998).

Mediciones fisiológicas

Con excepción de la g_s que se midió empleando porómetro (AP-4 Porometer), las restantes variables analizadas se registraron usando IRGA.

Curvas diarias de PAR, temperatura de hoja, tasa fotosintética y conductancia estomática

Se confeccionaron con tres mediciones al día: mañana, entre 8:30 a 10:30h, mediodía, entre 12:30 a 14:30h y tarde, entre 16:00 a 18:30h, realizadas el 28 de diciembre del 2005, 18 y 26 de enero, 8 y 16 de febrero del 2006. El 8 de febrero no se recabó información por la tarde. Se registraron tres mediciones por hoja, en dos hojas por planta y en dos plantas por parcela. A partir del 18 de enero del 2006 se midió por separado en hoja nueva y adulta. Durante las tres primeras fechas se usó el CIRAS-1 con “molecular sieve” saturado, por lo cual de estos resultados se considerarán las tendencias y no los valores absolutos de la actividad fotosintética. Para obtener el dato de A y g_s por m^2 de área foliar de planta y total por planta se ponderó el valor en función de la proporción y del valor absoluto que el área foliar de cada tipo de hoja representa en la planta de cada tratamiento. Los datos de PAR, temperatura ambiente y temperatura de hoja, se ponderaron por la proporción del área foliar de cada tipo de hoja en la planta.

Curvas de tasa fotosintética según concentración de CO_2 en la cámara subestomática

El 1° y 30 de marzo, 27 de abril y 6 de junio del 2006, en una parcela por tratamiento y entre las 9:00 y 11:30h, condiciones de PAR no limitantes, se realizaron mediciones con el CIRAS-1,

variando la concentración de CO₂ en la celda de referencia, desde 0 a 2850 μmol*mol⁻¹ de CO₂. La combinación de cada tipo de hoja y concentración de CO₂ se registró tres veces, promediando e ingresándose luego los valores al programa Photosyn Assistant 1.1 (Dundee Scientific, Dundee, UK). Con el mismo se calculó la eficiencia de carboxilación y se graficaron las curvas correspondientes a cuando la A es limitada por la actividad de la Rubisco (V_cmáx), ó por la tasa de transporte de electrones (J_{máx}) ó por la tasa de utilización de la triosa fosfato (TPU). Luego se determinó el factor limitante a 25.9, 23.8 y 27.1 Pa de concentración interna de CO₂ (C_i) para caolinita, malla y testigo, respectivamente. Los valores de C_i se corresponden con sus promedios diarios del 16 de febrero del 2006.

Análisis estadístico

Se utilizó el programa SAS 9.1 (SAS Institute Cary, N.C.). Según la variable en estudio y la forma en que fueron recabados los datos, se empleó el Modelo Lineal General, el Lineal General Mixto, el Lineal Generalizado y el Modelo Lineal Generalizado Mixto. Independientemente del modelo usado, para cada variable de crecimiento se empleó como covariable, su valor previo al inicio del ensayo (21 de noviembre del 2005). Las variables fisiológicas se analizaron como medidas repetidas en el tiempo, no incluyéndose en el análisis los datos de A, temperatura de hoja y PAR del 8 de febrero, debido a que no se dispone de medidas para la tarde.

RESULTADOS Y DISCUSION

Crecimiento vegetativo

Evolución del largo y número de nudos por planta

La evolución del crecimiento vegetativo aéreo acumulado por planta, en largo y número de nudos, se corresponde con una curva doble sigmoide. Al final del período de cobertura, las plantas ubicadas bajo malla roja 30% sombra fueron más largas y de mayor número de nudos que las plantas de los demás tratamientos ($p \leq 0.05$), a pesar de los elevados coeficientes de variación (CV)

del 19% y 41%, respectivamente (Figura 1). En el período sin cobertura, si bien el crecimiento vegetativo aéreo fue mínimo, el largo (CV=21%) y número de nudos de las plantas (CV=84%) continuó siendo mayor en aquellas plantas que habían sido cubiertas con malla pero sólo respecto a las que habían sido tratadas con caolinita y al 10% de significancia. Los resultados de crecimiento medido como número de nudos no se muestran por presentar igual patrón de comportamiento.

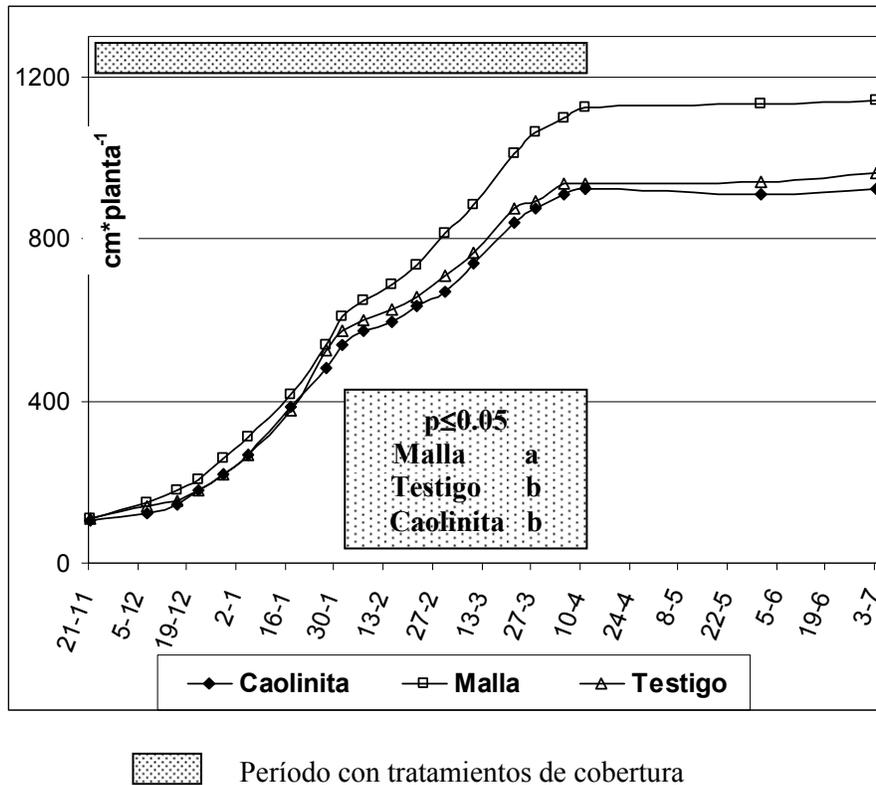
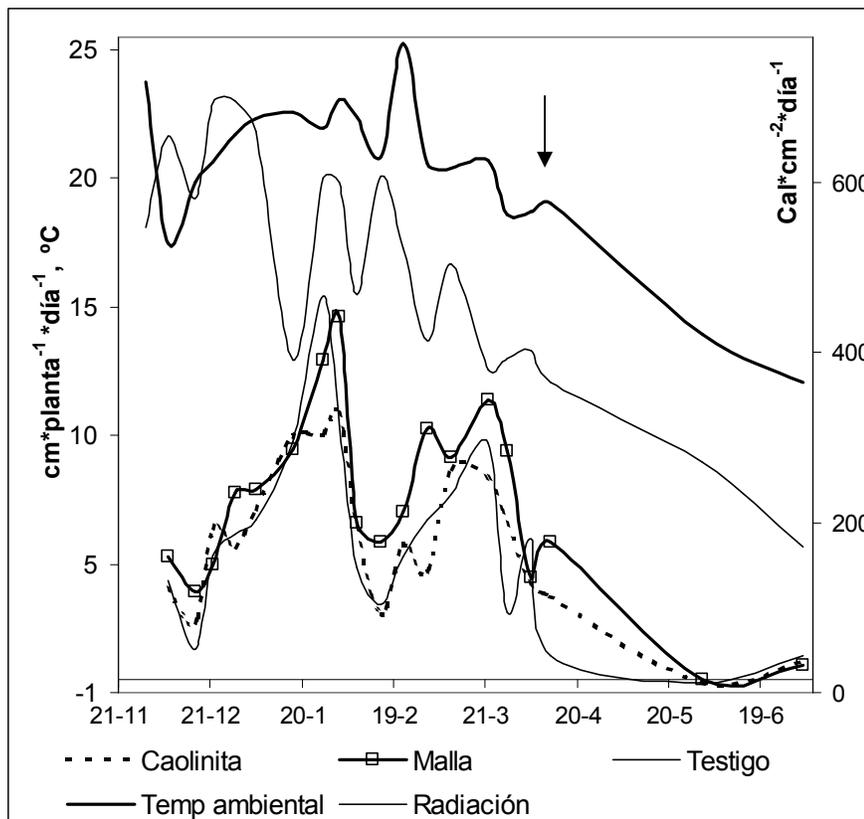


Figura 1: Efecto de los tratamientos de cobertura sobre el largo de planta de arándano (cm*planta⁻¹).

El número de tallos por planta, no fue afectado por los tratamientos ($p \leq 0.05$) (datos no mostrados).

La evolución de la tasa de crecimiento, tanto para largo (Figura 2), como para número de nudos, muestra dos flujos de crecimiento durante el período experimental. El primer y mayor flujo de crecimiento aéreo ($p \leq 0.05$), se registró del 16 de diciembre al 15 de febrero, observándose hacia fines de enero las mayores tasas de crecimiento. En dicho período se registraron incrementos en el largo total de 454, 472 y 509cm y en número de nudos totales de 459, 560 y 587, para caolinita, testigo y malla, respectivamente. El segundo flujo de crecimiento fue de menor magnitud, coincidentemente con lo reportado por Korcak (1988) para Highbush, registrándose entre el 15 de

febrero y el 5 de abril. Durante el mismo las plantas incrementaron su largo total en 328, 314 y 437cm y su número total de nudos en 298, 284 y 318nudos, para caolinita, testigo y malla, respectivamente. Las mayores tasas de crecimiento para el largo de planta se registraron entre el 10 y 22 de marzo (Figura 2), mientras que para el número de nudos se registraron 10 días antes (datos no mostrados). Hacia el otoño y una vez retirados los tratamientos, las tasas de crecimiento disminuyeron.



→ Momento en que se retiran los tratamientos

Figura 2: Efecto de los tratamientos de cobertura sobre la tasa de crecimiento de planta de arándano ($\text{cm} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$). Promedios diarios de variables ambientales en cada intervalo de medición del ensayo.

Crecimiento vegetativo según tipo de tallo

En el período en el cual las plantas estuvieron cubiertas con caolinita o malla, los tratamientos no afectaron el patrón de distribución del crecimiento vegetativo aéreo de la planta en los tres tipos de tallos definidos, “estructura inicial”, “tallos de base” y “tallos de corona” ($p \leq 0.05$).

El mayor crecimiento en largo de planta, se registró en los “tallos de base”, mientras que en número de nudos se registró en ellos y en los tallos de la “estructura inicial” ($p \leq 0.05$). Esto indica un mayor largo de entrenudos en los “tallos de corona” respecto a los de la “estructura inicial”, evidenciando un mayor vigor.

Materia fresca, seca y área foliar

Los tratamientos no afectaron la materia seca en términos absolutos o de porcentaje ni en la parte aérea ni en las raíces de las plantas ($p \leq 0.05$) (Cuadro 1), lo cual coincide con lo observado por Raveh et al. (2003) en mandarina ‘Murcott’, pero no con lo señalado por Shahak et al. (2002) en plantas de duraznero bajo malla roja, azul, amarilla, gris y perla 30% sombra y blanca 12%. Los porcentajes de MS total oscilaron entre el 40 y 53%. La MS total de raíces, la de raíces gruesas y la de raicillas fue mayor en las plantas ubicadas bajo malla respecto a las plantas testigo ($p \leq 0.05$).

Los tratamientos de sombra no afectaron el área foliar por planta, a diferencia de lo observado en plantas de tabaco como consecuencia del sombreado natural por Kasperbauer and Kaul (1996).

Dichos tratamientos tampoco incidieron sobre el número de hojas por planta ($p \leq 0.05$) (Cuadro 1).

Cuadro 1: Parámetros de crecimiento de plantas de arándano sometidas a tratamientos de cobertura. Mediciones realizadas 15 días después de retirados los tratamientos

		Caolinita	Malla	Testigo	p(≤ 0.05)	CV (%)
Materia	Parte aérea	94.7	108.8	76.2	ns	31.9
	Tallos + ramas	52.6	63.3	42.2	ns	28.7
Seca (MS)	Hojas	42.1	45.5	33.9	ns	43.8
	Raíces totales	41.2 ab	43.0 a	33.8 b	*	18.6
(gr)	Raíces gruesas	33.3 a	33.6 b	25.5 b	*	8.2
	Planta	135.9	151.8	110.0	ns	19.0
MS zona aérea/MS planta (%)		69.3	69.9	69.6	ns	11.6
Área foliar	Planta	3354	4040	2609	ns	41.7
	Hoja	5.0	4.8	3.9	ns	29.6
(cm²)	Planta	735	972	740	ns	0.9
	Cada 100 nudos	79	80	77	ns	6.9
Peso específico (mgMS cm⁻²)		11.1	11.0	12.6	ns	8.1

CV = coeficiente de variación

Dos o más tratamientos con la misma letra no difirieron por Tukey $p \leq 0.05$.

Durante el período con tratamientos, el mayor largo total y tasa de crecimiento por planta ($p \leq 0.05$) observadas bajo malla respecto a las testigo (Figura 1 y 2), no significaron un mayor destino de asimilados a la parte aérea en detrimento de la partición a las raíces. En este sentido, el porcentaje que la MS de la parte aérea representó en la MS total de la planta no varió entre tratamientos ($p \leq 0.05$) (Cuadro 1).

Factores que afectan el crecimiento vegetativo aéreo

Se observó que el riego fue homogéneo entre parcelas, al igual que el manejo fitosanitario y nutricional, por lo cual cabe relacionar los resultados de crecimiento vegetativo al efecto de los tratamientos sobre las variables climáticas, en función de la etapa fenológica del cultivo.

Factores climáticos

El rango de temperatura ambiente óptima para la A de los arándanos Southern highbush, resultante de los valores óptimos de sus parentales, oscila entre los 14 y 30°C (Moon et al., 1987; Gough, 1994). En base a esos valores, las temperaturas máximas promedio diarias registradas en el presente ensayo (25.1-28.3°C) parecen no haber representado condiciones limitantes severas para el crecimiento de la variedad 'O'Neal'. Sin embargo, su potencial de desarrollo en nuestros veranos, dependerá del peso genético que cada parental exprese en su comportamiento.

En la Figura 2 se presenta además de la evolución de las tasas de crecimiento en largo, la evolución de los promedios diarios de los intervalos de medición de la temperatura ambiente y radiación total incidente. En la misma se observa un paralelismo positivo desfasado en el tiempo, entre la evolución de la temperatura ambiente promedio diaria y la posterior tasa de crecimiento para todos los tratamientos. La radiación total incidente promedio diaria y dicha tasa también presentaron una relación desfasada en el tiempo pero inversa, aún con valores de radiación del año de estudio menores a los registros históricos (datos no mostrados). Esta relación puede responder al bajo punto de saturación por radiación de los arándanos (Moon et al., 1987; Teramura et al., 1979). Se observó que incrementos de la temperatura ambiente promedio diaria (dentro del rango de 12 a 25°C),

coincidentes con reducciones de la radiación total incidente promedio diaria (dentro del rango de 171 a 696cal*cm⁻²*día⁻¹) preceden a las máximas tasas de crecimiento, sugiriendo mejores A. En el primer flujo de crecimiento, las máximas tasas de crecimiento de todo el ensayo fueron antecedidas por promedios diarios de 22°C y 390cal*cm⁻²*día⁻¹, respectivamente, mientras que en el segundo flujo fueron antecedidas por una temperatura de 20°C y una radiación de 380cal*cm⁻²*día⁻¹.

La evolución de la tasa de crecimiento expresada en número de nudos mostró un comportamiento similar al del largo total de la planta, en relación a la evolución de los promedios diarios de la temperatura ambiente y de la radiación total incidente (datos no mostrados).

La menor magnitud del segundo flujo de crecimiento vegetativo aéreo puede ser analizada en función de la etapa fenológica en la que se encontraban las plantas, dado el gradual descenso en los promedios diarios de temperatura ambiente y de radiación total incidente. A medida que empiezan a reducirse el fotoperíodo y la temperatura ambiente, comienza a activarse en los frutales de hoja caduca la entrada en la dormición, así como cambios en la partición de carbohidratos que son consecuencia o condicionan una reducción en el crecimiento vegetativo. En los arándanos, dichas variables ambientales además controlan la inducción y diferenciación floral, identificándose para arándano Southern highbush, variedad 'Misty' en cámara de crecimiento, que fotoperíodos cortos (8h) y temperaturas bajas (21°C), son las condiciones donde mejor se da el proceso de inducción floral (Spann et al. 2004). Darnell et al. (1992) señalan que las plantas de Rabbiteye, hacia principios de octubre (Hemisferio Norte), priorizan la inducción en detrimento del crecimiento vegetativo aéreo y radical, mientras que contrariamente, Korcak (1988) para Highbush, afirma que hacia fines de agosto - inicios de setiembre, luego de un pico de crecimiento aéreo y durante el período de formación de yemas florales, se registra el mayor pico de crecimiento de raíces.

Al considerar los resultados de crecimiento respecto de los tratamientos y las variables climáticas, contrariamente a lo publicado en *Citrus* por Jifon and Syvertsen (2003) y en arándano por Spiers et al. (2003), las plantas tratadas con caolinita no se diferenciaron en su tamaño de planta con las testigo ($p \leq 0.05$). Ello puede relacionarse a que los bajos valores de temperatura ambiente y

radiación total incidente del verano 2005-2006 respecto a los valores históricos, no permitieron que el tratamiento expresara su potencial en lo que a largo de planta se refiere. Esta hipótesis se considera a partir de los resultados obtenidos en un ensayo realizado en enero y febrero del 2005 (Benzano, 2006, datos no publicados). Allí se observó que frente a un período experimental con un mes de enero más caliente y de mayor radiación total incidente, las plantas tratadas con igual dosis de caolinita que en el presente ensayo, presentaron un mayor crecimiento en largo que las testigo ($p \leq 0.10$). Durante ese enero se registró una mayor proporción de días con promedios de temperatura ambiente y radiación total incidente superiores a las de sus respectivos pares históricos, que durante el enero del 2006. Ello resultó en un incremento del 19 y 23% de días con valores mayores a sus pares históricos, correspondiéndose con un promedio mensual de 22.9°C y $627\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$, frente a 21.9°C y $529\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ en el presente ensayo.

Los cambios en el desarrollo de las plantas sombreadas, mayor largo y área foliar de planta y menor peso específico de hoja, son respuestas fotomorfogénicas ampliamente informadas (Taiz and Zeiger, 1991; Kasperbauer and Kaul, 1996; Baraldi et al., 1998). En el presente ensayo, el mayor largo de planta se comprobó en las plantas ubicadas bajo malla, pero no así en las sombreadas con cobertura de caolinita. Las diferencias pueden explicarse por un lado porque dicha cobertura existió durante solamente el 70% del período de tratamientos, mientras que las plantas ubicadas bajo malla estuvieron durante el 100% del período bajo sombra. Los resultados obtenidos bajo malla coinciden con los reportados en mandarina por Germaná et al. (2001) al usar malla negra 70% sombra y por Raveh et al. (2003) al usar una malla que no alteró la composición espectral de la luz incidente (Aluminet). Por otro lado, la calidad espectral de la luz resultante de cada tratamiento, también podría explicar los resultados obtenidos. La información presentada por Shahak et al. (2002) sobre la malla roja 30% sombra, indica que la misma aumenta la proporción de RL/R respecto a la luz natural, de 0.845 a 0.860. El mayor largo de planta coincide con los resultados observados por Kasperbauer and Kaul (1996) en plantas de tabaco sometidas a 5 minutos de luz con alta relación RL/R, indicando que esta malla podría dar lugar a luz con dicha relación. De ser así y considerando

las mediciones realizadas por Baraldi et al. (1998), la malla roja 30% sombra estaría disminuyendo el equilibrio de fitocromos (ϕ) de la luz resultante respecto a la natural. La magnitud de dicho evento y/o el que no incremente la proporción de luz azul, podría explicar su diferente efecto sobre el largo de planta respecto a lo planteado por Baraldi et al. (1998) en duraznero y con otras mallas. Dado que el efecto de la cobertura de caolinita sobre la composición espectral de la luz no fue estudiado en este trabajo ni se dispone de información al respecto, sus resultados de crecimiento no pueden ser relacionados con éste parámetro.

Crecimiento de raíces

Korcak (1988) señala que en Highbush el mayor flujo de crecimiento radical ocurre hacia fines de agosto y principios de setiembre (Hemisferio Norte) y Spiers (1995) observa incrementos significativos en el crecimiento radical cuando la temperatura de suelo disminuye de 37 a 16°C. Por tanto, el menor crecimiento vegetativo aéreo registrado en el segundo flujo, del 15 de febrero al 11 de abril, podría también ser consecuencia de una competencia con un flujo de crecimiento radical, ya que durante dicho período la temperatura del suelo disminuyó de 27 a 22°C (datos no mostrados). La mayor MS de raíces en plantas bajo malla respecto a las testigo ($p \leq 0.05$), no puede ser explicada por su efecto sobre la temperatura de suelo, ya que las disminuciones logradas por esta cobertura a los 15 cm de profundidad no fueron significativas (hasta 1.2°C) ($p \leq 0.05$).

Yemas reproductivas y vegetativas

El proceso de inducción floral que determina el número de YR cada 100 nudos, no fue afectado por los tratamientos ($p \leq 0.05$). En las plantas que habían recibido cobertura de malla y de caolinita, se registraron 12 y 10 YR/100 nudos, respectivamente, mientras que en las testigo 11 YR/100 nudos. Por planta, el número de YR y YV no fue afectado por los tratamientos de cobertura (114 YR y 894 YV para las que habían sido sombreadas con malla; 85 YR y 743 YV para las que habían sido tratadas con caolinita; 111 YR y 771 YV para las testigo).

Tasa fotosintética y crecimiento vegetativo

La A estimada por planta sólo llegó a ser superior el 16 de febrero en aquellas plantas tratadas con caolinita ($p \leq 0.05$) (datos no mostrados). Adicionalmente, se observó que las mayores tasas de crecimiento son precedidas por las mayores A estimadas por planta. Por tanto, los resultados obtenidos permiten inferir una relación positiva entre el crecimiento vegetativo aéreo y la A, en condiciones de ausencia de fruta, como lo han reportado Darnell et al. (1992) en Rabitteye.

Factores que determinan la tasa fotosintética

La A puede ser afectada por la radiación total incidente, la temperatura ambiente y de hoja, la g_s y la disponibilidad de agua y nutrientes (Flore and Lakso, 1988). Durante el período de evaluación, el comportamiento de la A y g_s de la mañana a la tarde resultó inverso al de la PAR y temperatura de hoja. El estudio de las primeras como medidas repetidas en el tiempo, indica que generalmente, ambas disminuyeron hacia el mediodía, asociándose principalmente al marcado incremento de la temperatura de hoja, de 22.6 a 37.8°C, no llegando a recuperarse hacia la tarde ($p \leq 0.05$) (datos no mostrados). La disminución de la g_s hacia el mediodía indica que su comportamiento es determinado por el incremento en la temperatura foliar y/o por la disminución de la A, siendo sus efectos mayores al efecto positivo que incrementos en la PAR tienen sobre la g_s (Taiz and Zeiger, 1991). Las menores A registradas por la tarde respecto a la mañana ($p \leq 0.05$), coincide con lo reportado para varios frutales por Flore y Lakso (1988). Los resultados confirmarían la hipótesis planteada inicialmente, respecto de que la A de la variedad 'O'Neal' respondería positivamente a disminuciones tanto en la intensidad de radiación como en la temperatura ambiente y de hoja, dado el bajo punto de saturación y los rangos óptimos de temperatura ambiente que se manejan para la mayoría de sus especies parentales (Moon et al., 1987; Teramura et al., 1979 y Gough, 1994).

Cuadro 2: Efecto de los tratamientos de cobertura sobre variables fisiológicas en plantas de arándano y sobre la radiación fotosintéticamente activa, en distintas instancias de medición

Variable	Fecha y momento del día en cada instancia de evaluación													
	⁷ Trat	8-2-06						16-2-06						
		Mañana	Mediodía	Tarde	Trat	Mañana	Mediodía	Tarde	Trat	Trat * día				
¹ TAN ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$)	Caolinita	6.0 ±0.8	4.1 ±0.9	s/d	ns	9.3 ±1.4	2.1 ±1.3	5.6 ±1.3	ns	ns				
	Malla	5.0 ±0.8	3.3 ±0.9	s/d	ns	9.4 ±1.4	3.2 ±1.3	5.6 ±1.3	ns	ns				
	Testigo	5.7 ±0.8	4.7 ±1.1	s/d	ns	10.2 ±1.4	1.9 ±1.3	4.2 ±1.3	ns	ns				
	⁸ Momento	5.6 ±0.6	4.0 ±0.7			a	b	b						
Momento * ⁹ día	ns	ns			9.7 ±1.3	2.4 ±1.2	5.2 ±1.2							
² gs ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Caolinita	190 ±29	73 ±51	110 ±25	a	181 ±25	71 ±36	125 ±36	a	ns				
	Malla	107 ±29	64 ±29	99 ±25	b	117 ±36	84 ±36	134 ±51	b	ns				
	Testigo	200 ±22	79 ±29	82 ±23	a	140 ±29	91 ±36	103 ±36	a	ns				
	Momento	a	b	b		a	b	b						
³ Th (°C)	Caolinita	23.6 ±0.5	30.6 ±0.6	s/d	ns	26.6 ±0.6	37.9 ±0.6	35.4 ±0.6	a	ns				
	Malla	22.7 ±0.5	29.2 ±0.7	s/d	ns	25.8 ±0.6	37.5 ±0.6	35.2 ±0.6	b	ns				
	Testigo	23.6 ±0.5	29.4 ±0.6	s/d	ns	26.5 ±0.6	37.8 ±0.6	35.7 ±0.6	a	ns				
	Momento	23.3 b ±0.4	29.8 a ±0.4			b	a	a						
	Momento * día	s/d	s/d			26.3 ±0.3	37.8 ±0.3	35.5 ±0.3						
⁴ PAR ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Caolinita	1246 ±64	1466 ±72	s/d	a	896 ±89	1011 ±89	938 ±89	a	a				
	Malla	907 ±64	1099 ±83	s/d	b	718 ±89	919 ±89	759 ±89	b	a				
	Testigo	1293 ±64	1339 ±72	s/d	a	893 ±89	1053 ±89	675 ±100	a	a				
	Momento	b	a			a	a	b						
⁵ HR (%)		81					73							
⁶ DPV (kPa)		0.6					0.7							

Dos o más celdas con la misma letra no difirieron por Tukey $p \leq 0.05$.

¹A: tasa fotosintética

²gs: conductancia estomática

³Th: temperatura de hoja

⁴PAR: radiación fotosintéticamente activa

⁵HR: humedad relativa

⁶DPV: déficit de presión de vapor

⁷Trat: tratamiento

⁸Momento: momento del día

⁹Día: instancia de evaluación

Efecto de la temperatura de hoja sobre la tasa fotosintética

Incidencia de la temperatura de hoja sobre la A vs la radiación fotosintéticamente activa

Como se puede observar en el Cuadro 2, el efecto positivo de bajos niveles de PAR sobre la A no se expresa en su totalidad frente a temperatura de hoja de 38°C (mediodía), por lo que la A sería mayormente determinada por esas temperaturas de hoja extremas, independientemente de la gs. Como se analizó, hacia el mediodía la A y la gs son afectadas negativamente por los valores en ascenso de la temperatura de hoja y además la primera por los niveles de PAR. Sin embargo, los menores valores de PAR registrados al mediodía del 16 de febrero respecto al 8 de febrero, frente a similares valores de conductancia, se tradujeron en menores A, explicándose los resultados por las mayores temperaturas foliares registradas (malla: 37°C; caolinita y testigo: 38°C).

Incidencia sobre la tasa fotosintética de la temperatura de hoja vs la conductancia estomática

Los resultados obtenidos en las cinco instancias de medición (datos no mostrados), indican que el comportamiento de la A hacia el mediodía parece responder en primera instancia al aumento en la temperatura de hoja y luego a la reducción en la gs ocasionada por un posible estrés hídrico, ya que la proporción en que la A varió de la mañana hacia el mediodía respecto a la gs, dependió de la temperatura de hoja alcanzada al mediodía. Principalmente en las plantas sombreadas con malla y en las testigo, se observó que en los mediodías menos calientes (temperatura de hoja bajo malla de 27 – 29°C y 29 - 31°C para los restantes tratamientos), las reducciones porcentuales de la A en relación a las disminuciones en la gs resultaron menores que frente a mediodías más calientes (temperatura de hoja de 31 – 38°C para malla y 33-38°C para testigo y caolinita). Las respuestas observadas de la A a variaciones en la temperatura de hoja estarían indicando que en la variedad ‘O’Neal’, la A disminuye gradualmente al aumentar la temperatura de hoja dentro de un rango de 22 a 29°C (temperatura ambiente correspondiente de 21 a 28°C, registradas durante las mañanas, datos no mostrados). Frente a elevados niveles de PAR, con temperaturas foliares mayores a 31°C - 33°C (temperatura ambiente de 31 a 32°C) la A disminuye su valor más de un 50% (datos no

mostrados del 26 de enero) y finalmente resulta mínima a temperaturas de hoja de 38°C (temperatura ambiente de 37 a 38°C). Por tanto, la variedad 'O'Neal' parecería tener una tolerancia al calor inferior al de alguno de sus parentales, ya que el óptimo de temperatura ambiente de *V. virgatum* Ait es de 25°C (Gough, 1994) y el de *V. darrowi* Camp. va desde los 25 a los 30°C (Moon et al., 1987).

De los tratamientos de cobertura sólo la malla logró disminuir la temperatura de hoja a lo largo del día respecto al testigo, en un rango de 0.5 a 1.6°C ($p \leq 0.05$). Los resultados indican que la hipótesis planteada respecto a que la disminución de la temperatura de hoja al mediodía mediante el uso de malla y la aplicación de caolinita sobre las plantas, incrementaría la g_s (Cohen et al., 1997) y la A como ha sido reportado en frutales con similar punto de saturación (Jifon and Syvertsen, 2000 y 2003; Cohen et al., 2005), no fue comprobado en el presente trabajo en arándanos frente a ambientes con similar temperatura (28 a 38°C). Si bien la malla disminuyó la temperatura de hoja, la discrepancia con lo publicado por esos autores, podría radicar en la magnitud de su efecto sobre la temperatura de hoja al mediodía. Considerando las reducciones logradas con Aluminet, 1.6, 2.7°C (Cohen et al., 1997) y 8°C (Jifon and Syvertsen, 2000), se observa que la disminución lograda por la malla roja fue insuficiente como para aumentar la A , a través de un efecto positivo sobre los procesos enzimáticos, así como también para incrementar la g_s , ya sea directamente a través del balance hídrico de la planta o indirectamente mediante el aumento de la A . Además, dicha disminución fue insuficiente hasta para contrarrestar el efecto negativo que disminuciones de la PAR tienen sobre la g_s , resultando los valores en las plantas sombreadas con malla menores al de los restantes tratamientos ($p \leq 0.05$).

Factor limitante de la tasa fotosintética

Como ya ha sido señalado (Taiz and Zeiger, 1991), se observó que frente a bajos niveles de PAR (913 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ bajo malla), la A estaría limitada por la regeneración de la Ribulosa BP. Frente a mayores PAR, la actividad de la Rubisco fue el paso metabólico limitante (datos no mostrados).

¿Ocurre el proceso de fotoinhibición?

Como se mencionó anteriormente, los resultados obtenidos parecen confirmar la hipótesis planteada respecto a que los arándanos podrían fotoinhibirse, por su bajo punto de saturación similar al de los *Citrus*, donde el proceso ha sido ampliamente señalado (Cohen et al., 2005; Blanke, 2000). A su vez, confirman la hipótesis de que la disminución de la radiación incidente sobre las plantas desfavorece la ocurrencia de la fotoinhibición, tal como se ha observado en pomelo (Cohen et al., 2005). Coincidentemente con el registro de los más bajos niveles de PAR de todo el período evaluado ($p \leq 0.05$), el 16 de febrero se registraron los mayores incrementos proporcionales de la A desde el mediodía a la tarde, al disminuir la temperatura foliar de 38 a 35 - 36°C. Esto indica que los bajos niveles de PAR de ese mediodía no afectaron el normal funcionamiento del aparato fotosintético, siendo a su vez más cercanos al óptimo de ésta variedad (Cuadro 2). En este sentido, el incremento porcentual de la A hacia la tarde en relación al aumento porcentual en la gs registrado en las testigo, fue el mayor de todo el período evaluado. Además fue mayor al de los restantes tratamientos, lo cual indica que en las plantas tratadas con cobertura, el proceso de fotoinhibición estaría condicionando en menor medida el comportamiento de la A desde el mediodía hacia la tarde. Los resultados estarían indicando que al igual que lo reportado para *Citrus* por Blanke (2000), la variedad 'O'Neal' tiende a fotoinhibirse a lo largo del día sin evidenciar síntomas y a recuperarse hacia el día siguiente.

Conductancia estomática: factores que la determinan y efecto estacional sobre la misma

En las mediciones realizadas desde el 28 de diciembre al 16 de febrero, se pueden definir dos períodos en el comportamiento de la gs (datos no mostrados). El primer período, que finaliza el 18 de enero (inclusive), presentó mayores valores de gs que el segundo, siendo significativa la superioridad entre dicha fecha y las del segundo período ($p \leq 0.05$). Durante el primer período, frente a iguales niveles de PAR promedio diarios, se observó una respuesta positiva a condiciones ambientales de baja demanda atmosférica por agua y/o mayores A, mientras que la respuesta fue

inexistente durante el segundo período. Al comparar días en ambos períodos, uno con 83% de HR, 17°C de temperatura ambiente y 0.4kPa de diferencia de presión de vapor frente a otro de 81% de HR, 18°C y 0.6kPa, se observa que la gs fue marcadamente superior en aquel día correspondiente al primer período ($p \leq 0.05$). Dentro del mismo, las mayores gs se registraron el 18 de enero frente a un ambiente menos demandante de agua y frente a mayores A que el 28 de ese mismo mes. Al considerar los tratamientos se observó un patrón en el comportamiento de la gs que indica que la diferencia en la disminución porcentual de la gs desde la mañana hacia el mediodía, es mayor entre días con alta y baja demanda por agua que entre plantas tratadas con caolinita y testigo dentro de un mismo día.

Incidencia sobre la gs de la PAR, temperatura foliar y tasa fotosintética

Los resultados de la PAR, temperatura de hoja y A presentados en el Cuadro 2, estarían indicando que frente a temperaturas de hoja no extremas (iguales o inferiores a los 35 - 36°C), la A responde positivamente a disminuciones de la PAR, contrarrestando su comportamiento, el efecto negativo que menores niveles de PAR e incrementos de la temperatura foliar tienen sobre la gs. En la tarde del 16 de febrero frente a menores niveles de PAR y muy superiores temperaturas de hoja que por la mañana del 8 de febrero, se registraron iguales gs ($p \leq 0.05$), lo que parece responder a las similares A. Al considerar los tratamientos se observa que dicho supuesto se confirma en las plantas tratadas con caolinita pero no en las sombreadas con malla. La cobertura de caolinita disminuyó los niveles de PAR un 30% pero frente a iguales A que las testigo presentó también iguales valores de gs. Sin embargo la malla, que también disminuyó la PAR y presentó iguales valores de A que las testigo, disminuyó la gs ($p \leq 0.05$). Los resultados indican que no se corroboró el efecto positivo sobre la gs que éste tipo de coberturas han presentado en plantas de *Citrus* (Cohen et al, 1997; Jifon and Syvertsen, 2000 y 2003; Cohen et al., 2005) y sugieren que el sombreado resultante de la malla sobre plantas de arándano, tiene un efecto negativo en su gs y además distinto al efecto resultante de la cobertura de caolinita.

CONCLUSIONES

La evolución del crecimiento de las plantas de arándano, mostró dos flujos de crecimiento vegetativo aéreo, uno hacia fines de enero y otro hacia fines de febrero – principios de marzo. El segundo flujo de menor magnitud ($p \leq 0.05$), estaría asociado al proceso de iniciación floral (Spann et al., 2004) y a un posible flujo de crecimiento de raíces (Korcak, 1988). Durante el período de aplicación de tratamientos de cobertura, la temperatura ambiente promedio diaria mostró una relación positiva con la tasa de crecimiento, mientras que la radiación total incidente promedio diaria presentó una relación inversa con dicha tasa, lo cual confirmaría la hipótesis de que los Southern highbush son proclives a fotoinhibirse. Además, el comportamiento diario de la A, gs, temperatura de hoja y PAR confirman la hipótesis del efecto positivo de disminuir elevados niveles de PAR y temperatura de hoja sobre la A. Si bien ambos tratamientos de cobertura disminuyeron la PAR y además la malla la temperatura foliar, ninguno de ellos incrementó la tasa fotosintética ($p \leq 0.05$). A pesar de ello, las plantas sombreadas con malla presentaron un mayor crecimiento vegetativo que las restantes, tanto en largo como en número de nudos por planta. La materia seca de la zona aérea así como el número de yemas reproductivas/100 nudos no llegó a diferenciarse entre tratamientos, pero la materia seca radical fue mayor bajo malla ($p \leq 0.05$). Los resultados sugieren que las plantas sombreadas con malla dispusieron de una mayor cantidad de carbohidratos, pero sin embargo como se mencionó anteriormente, ello no se corroboró ni con mayores A ni tampoco con mayores A estimadas de planta, la cual sólo en aquellas plantas tratadas con caolinita y en la medición del 16 de febrero fue superior que en los restantes tratamientos ($p \leq 0.05$). La no coincidencia entre los resultados de crecimiento vegetativo y los de A, sugiere que el diseño experimental empleado no fue el adecuado. En este sentido se observó que si bien el efecto de los tratamientos sobre la A no fue significativo y que la malla disminuyó la gs ($p \leq 0.05$), en la instancia de medición de menores niveles de PAR de todo el período, el incremento porcentual de la A desde el mediodía a la tarde, respecto al de la gs fue mayor en las testigo, lo cual está indicando un posible menor grado de fotoinhibición en las plantas tratadas con cobertura. De todos modos, la

discrepancia observada entre el efecto de estas coberturas sobre la g_s y la A de plantas de arándano respecto a lo observado en plantas de *Citrus*, parece responder a que en éstas la A responde a la g_s y ésta a la tasa de transpiración (Cohen et al., 1997), mientras que en los arándanos la A parece responder a la temperatura foliar y a la PAR, siendo la g_s mayormente determinada por la A. El mayor crecimiento vegetativo aéreo registrado en las plantas sombreadas con malla respecto a las sombreadas con caolinita ($p \leq 0.05$), puede responder a una posible disminución del ϕ bajo malla, así como también a la PAR resultante de la misma ya que las plantas tratadas con caolinita presentaron una adecuada cobertura durante un menor período. A su vez, dado que el período de cobertura se caracterizó por condiciones favorables para el crecimiento vegetativo (promedios diarios de temperatura ambiente y radiación), es posible que el efecto potencial de la caolinita no pudiera expresarse totalmente.

En base a estos resultados sería interesante profundizar en el estudio del posible proceso de fotoinhibición que puede estar ocurriendo en las plantas de arándano al mediodía de días estivales, así como también en el estudio de la incidencia de temperaturas foliares elevadas sobre su A. Ello permitiría disponer de medidas de manejo que potencien su crecimiento vegetativo durante los meses de mayor radiación y temperatura.

En este trabajo se lograron avances en definir y ajustar metodologías de medición adecuadas para la investigación en arándano, cultivo de reciente importancia en nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. FAO, Irrigation and drainage. Paper 56.
- Baraldi, R., F. Rapparini, A. Rotondi and G. Bertazza. 1998. Effects of simulated light environments on growth and leaf morphology of peach plants. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 73 (2). Pp: 251-258.
- Blanke, M.M. 2000. Photoinhibition in Citrus. *Proc. Intl. Soc. Citricult. IX Congr.* Pp: 619-622.

- Cohen S., S. Moreshet, L. Le Guillou, J.C. Simon and M. Cohen. 1997. Response of citrus trees to modified radiation regime in semi-arid conditions. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 48, N° 306, pp. 35-44.
- Cohen S., E. Raveh, Y. Li, A. Grava and E.E. Goldschmidt. 2000. Citrus Response to radiation load reduction: water use, photosynthesis, and productivity.
- Cohen S., E. Raveh, Y. Li, A. Grava and E.E. Goldschmidt. 2005. Physiological responses of leaves, tree growth and fruit yield of grapefruit trees under reflective shade screens. *Scientia Horticulturae* xxx (2005) xxx-xxx. In press. <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6TC3-4GR8N9M-1/2/f68414ab6fc4f3935f2a2623ae141bee>
- Darnell R.L., G.W. Stutte, G.C. Martin, G.A. Lang and J.D. Early. 1992. Developmental physiology of rabbiteye blueberry. *Horticultural Reviews*. Vol.13. 339-404.
- Flore, J.A. and A.N. Lakso. 1988. Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. *Horticultural Reviews*. Vol 11. Pp. 111-157.
- Germaná, C., A. Continella and E. Tribulato. 2001. Bio-agronomic Effects of net shading on 'Primosole' mandarin. *Acta Hort.* 559, ISHS. Proc. 5th Protect. Cult. Mild Winter Clim. Eds. Fernandez, Martinez y Castilla.
- Gough R.E. 1994. Ch. 4. Climatic Requirements. In: *The Highbush blueberry and its management*. Food Product Press, The Haworth Press. pp 67-78.
- <http://www.inia.org.uy/online/site/951411.php> (Base de datos de INIA)
- Jifon, J.L. and J. Syvertsen. 2000. Reducing midday irradiance increases net CO₂ assimilation in citrus leaves. *Abstract. HortScience*, Vol.35 (3).P:476.
- Jifon J.L and J.P. Syvertsen, 2003. Kaolin particle film applications can increase photosynthesis and water use efficiency of 'Ruby Red' grapefruit leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128 (1):107-112).
- Kasperbauer, M.J. and K. Kaul. 1996. Cap. 18. Light quantity and quality effects on source-sink relationships during plant growth and development. In: *Photoassimilate distribution in plants and*

crops. Source-sink relationships. Zamski, E. and A.A. Schaffer. Ed. Marcel Dekker, Inc. Pp. 421 – 440.

- Korcak, R.F. 1988. Nutrition of blueberry and other calcifuges. Subcap.: IV Roots. In: Horticultural Reviews. Vol 10. Ed. Jules Janick, Purdue University.

- Moon J.W., J.A. Flore and J.F. Hancock, Jr. 1987. A comparison of carbon and water vapor gas exchange characteristics between a diploid and Highbush blueberry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112 (1):134-138.

- Raveh E., S. Cohen, T. Raz, D. Yakir, A. Grava and E. E. Goldschmidt. 2003. Increased growth of young citrus trees under reduced radiation load in a semi-arid climate. Journal of Experimental Botany, Vol. 54, No.381, pp.365-373. <http://jxb.oxfordjournals.org/cgi/content/full/54/381/365>

- Shahak Y., E.E. Gusasakovsky, Y. Cohen, S. Lurie, R. Stern, S Kfir, A. Naor, I. Atzmon, I. Doron and Y. Greenblat-Avron. 2002. Colornets: A new approach for light manipulation in fruit trees. Acta Hort., Proc. Intern. Congr. Hort. Toronto.

- Spann, T.M., J.G. Williamson and R.L. Darnell. 2004. Photoperiod and temperature effects on growth and carbohydrate storage in Southern highbush blueberry interspecific hybrid. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129 (3): 294-298.

- Spiers, J.M. 1995. Substrate temperatures influence root and shoot growth of Southern highbush and rabbiteye Blueberries. HortScience 30 (5). Pp.: 1029-1030.

- Spiers J.D., F.B. Matta, D. Marshall, 2003. Effects of kaolin particle clay particle film on Southern highbush (*Vaccinium corymbosum*) blueberry plants. Small Fruits Review, Vol. 2 (4).

- Taiz, L. and E. Zeiger. 1991. Plant Physiology. Ed. The Benjamin/Cummings publishing company, Inc. p.1-565.

- Teramura, A.H., F.S. Davies and D.W. Buchanan. 1979. Comparative photosynthesis and transpiration in excised shoots of rabbiteye Blueberry. HortScience, 14 (6): 723-724.

CAPITULO II

EFFECTO DEL SOMBREADO ARTIFICIAL SOBRE VARIABLES EDAFOCLIMÁTICAS Y FISIOLÓGICAS EVALUADAS EN EL CULTIVO DEL ARÁNDANO

En éste capítulo de la tesis se muestran y analizan con mayor detalle los resultados de algunas de las variables edafoclimáticas y fisiológicas ya presentadas en el primero. Los mismos no fueron incluidos en el capítulo central de la tesis porque no fueron afectados por los tratamientos o porque no presentaron asociación alguna con los patrones de crecimiento vegetativo registrados o porque se priorizó la presentación de los resultados de otras variables en la acotada primera parte. Para cada variable analizada, se describe la metodología empleada o se complementa la descripción de la misma, de haber sido ya presentada en el primer artículo, mostrándose los resultados a continuación. Se complementa la exposición de resultados con imágenes fotográficas que aportan a la comprensión del ensayo y sus resultados.

Heliofanía absoluta, relativa y otras variables consideradas en el primer capítulo

Materiales y métodos

Además de las variables ya descritas en el primer capítulo, en base a la información climática de INIA Las Brujas se procesaron los promedios diarios, mensuales y de los períodos existentes entre los intervalos de medición de crecimiento vegetativo de la heliofanía absoluta (horas de sol existentes en el día) y relativa (Hel rel, proporción de horas de sol reales sobre horas de sol posibles expresado en porcentaje). Con el objetivo de caracterizar el período experimental respecto a las medias históricas (1975 a 2005) se contabilizó el número de días con valores menores a sus correspondientes promedios históricos diarios expresándose el valor en términos absolutos y porcentuales.

Caracterización climática del período con tratamientos de cobertura respecto a la serie histórica

1975 - 2005

El período de diciembre del 2005, enero, febrero y marzo del 2006 se caracterizó por presentar temperaturas mensuales medias, de 19.6, 21.9, 21.7 y 19.3°C y máximas, de 26.6, 28.3, 28.2 y 25.1°C, que resultaron menores a sus medias históricos. En dicho período, entre un 57 a 71% de los días por mes presentaron valores inferiores a sus medias históricas. Respecto a la heliofanía y la radiación, los promedios mensuales registrados desde enero hasta marzo también fueron menores (7.9, 8.4 y 7.5 horas de sol y 529, 515 y 419cal*m⁻²*día⁻¹, respectivamente), presentando un rango de 23 a 48% de días por mes con valores inferiores a sus medias históricas.

Las menores temperaturas e intensidades de radiación respecto a las medias históricas, pueden estar atenuando el posible efecto positivo de los tratamientos de cobertura sobre el crecimiento vegetativo del cultivo.

Caracterización climática del período de tratamientos según presencia de cobertura de caolinita en las parcelas tratadas

Durante los 135 días del período de aplicación de los tratamientos, las plantas tratadas con caolinita estuvieron el 70% del tiempo cubiertas por una adecuada película blanca, distribuyéndose en un 3 % de ese período en noviembre, un 23% en diciembre, 23% en enero, 20.7% en febrero y 23 y 7.4% en marzo y abril, respectivamente. Los primeros cuatro días del ensayo (noviembre), se caracterizaron por presentar los promedios de temperatura más altos de todo el período, siendo la máxima y media de 32 y 24°C, respectivamente. Los promedios de heliofanía y radiación relativa indican que fueron días despejados y de alta radiación (Cuadro 3). En diciembre, los 23 días en que el cultivo estuvo cubierto, se caracterizaron por presentar los más altos valores de heliofanía y radiación relativa promedios de todo el período (82 y 67%, respectivamente), presentando el 91% de esos días valores iguales o superiores a sus respectivos pares históricos. Respecto, a las temperaturas promedio máximas y medias, tan sólo un 52 y 39% de los días, respectivamente,

presentaron valores iguales y/o superiores a sus respectivos promedios históricos, siendo sus valores promedios de 27 y 20°C. Durante enero, 21 días presentaron cobertura, predominando entre éstos, los días despejados y con altas radiaciones (62% de los 21 días), pero con temperaturas máximas y medias menores a sus respectivos pares históricos. En febrero, durante el período en que el cultivo estuvo cubierto, la proporción de días igual o más despejados y con igual o mayor radiación que sus respectivos pares históricos fue mayor que en enero (77%). Los promedios de temperatura indican la presencia de días más frescos que en enero y que en años promedios. Los restantes días de esos meses, cultivo sin cobertura de caolinita, se caracterizaron por presentar cielo más cubierto y con menor radiación, principalmente en los días de enero, con temperaturas máximas y medias mayormente más frescas. En marzo, durante 20 días las parcelas tratadas con caolinita presentaron cobertura, siendo bastante despejados (Hel rel=60%) pero más frescos que años promedios.

Cuadro 3: Caracterización climática del período de tratamientos según presencia de la cobertura de caolinita sobre las plantas de arándano. Porcentaje de los días en que existió cobertura de caolinita con medias iguales o superiores a sus pares históricos

Estado cultivo	Mes	Temperatura (°C)						Heliofanía			Radiación		
		Media			Máxima			Mínima	Absoluta (hrs/día)	Relativa (%)	Absoluta (cal cm ⁻² día ⁻¹)	Relativa (%)	Relativa (%)
		¹ E	² H	%	E	H	%						
Con cobertura de Caolinita	11	24.4	20.0	100	32.2	26.1	100	16.4	9.8	69.1	606	59.7	75.0
	12	19.9	21.4	39	27.1	27.4	52	12.3	11.8	81.9	695	66.9	91.3
	1	22.0	22.9	33	29.5	29.0	48	15.2	10.0	70.6	612	60.5	61.9
	2	21.6	22.1	41	28.5	27.8	55	15.3	9.4	70.7	552	60.6	77.3
	3	19.2	20.3	35	25.5	25.8	50	13.0	7.5	61.2	417	55.3	60.0
	4	19.2	18.0	75	26.1	23.4	75	13.8	7.9	67.2	393	58.6	50.0

¹E: datos promedios del ensayo

²H: datos promedios históricos

Crecimiento vegetativo

Largo, número de nudos, número de tallos, materia fresca y seca por planta y por parte aérea y radical, área foliar y número de hojas

Materiales y métodos

Se empleó igual metodología a la descrita en el primer capítulo.

En la Figura 3 se muestra un esquema de la clasificación realizada de la planta de arándano según los tipos de tallos definidos.

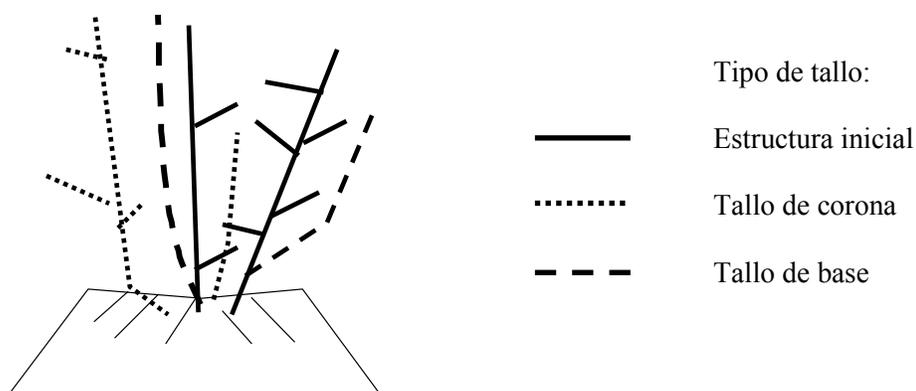


Figura 3: Clasificación de la planta de arándano según tipo de tallo.

En la Figura 4 se muestra la clasificación realizada de las hojas según edad y su ubicación en la planta, para cada tratamiento.

Planta tratada con CAOLINITA

A)



B)



C)



Planta tratada con cobertura MALLA Chromatinet ROJA 30% sombra

A)

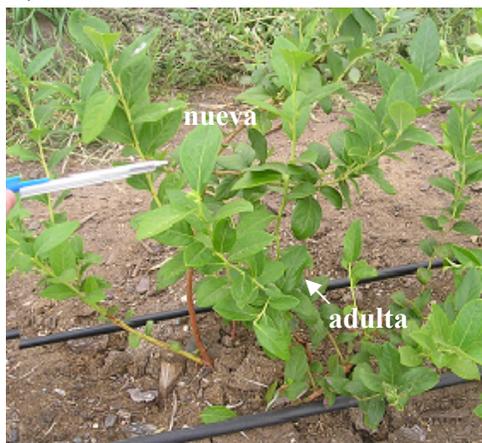


B)



Planta TESTIGO

A)



B)



C)



Figura 4: Para cada tratamiento: A) ubicación de hoja adulta y nueva en la planta; B) acercamiento de hoja adulta; C) acercamiento de hoja nueva.

Caracterización del material vegetal utilizado

Las plantas transplantadas el 12 de octubre del 2005, presentaron un largo promedio de planta de 0.38m, 28 nudos, 5 tallos y 22 hojas, siendo su área foliar estimada de 86.4cm² (Figura 5). Su materia seca fue de 10.2g, constituyendo el 55.8% de la materia fresca. Los tallos, ramas y hojas representaron el 63% de la materia seca total de la planta, mientras que las raíces, el 37% restante. El porcentaje de materia seca en cada parte de la planta, indica que la estructura aérea presentó un mayor contenido de agua que las raíces, siendo sus respectivos valores, 48.8 y 74.0%. Al mes y medio aproximadamente, 21 de noviembre del 2005, previo a la instalación de los tratamientos, las plantas seleccionadas en las parcelas diseñadas, presentaron igual promedio de largo, número de

nudos y de tallos, siendo de 1.06m, 112 nudos y 2.7 tallos por planta, respectivamente. El largo de entrenudos osciló entre 1.00, 0.94 y 0.92cm, en las futuras parcelas de malla, caolinita y testigo, respectivamente.

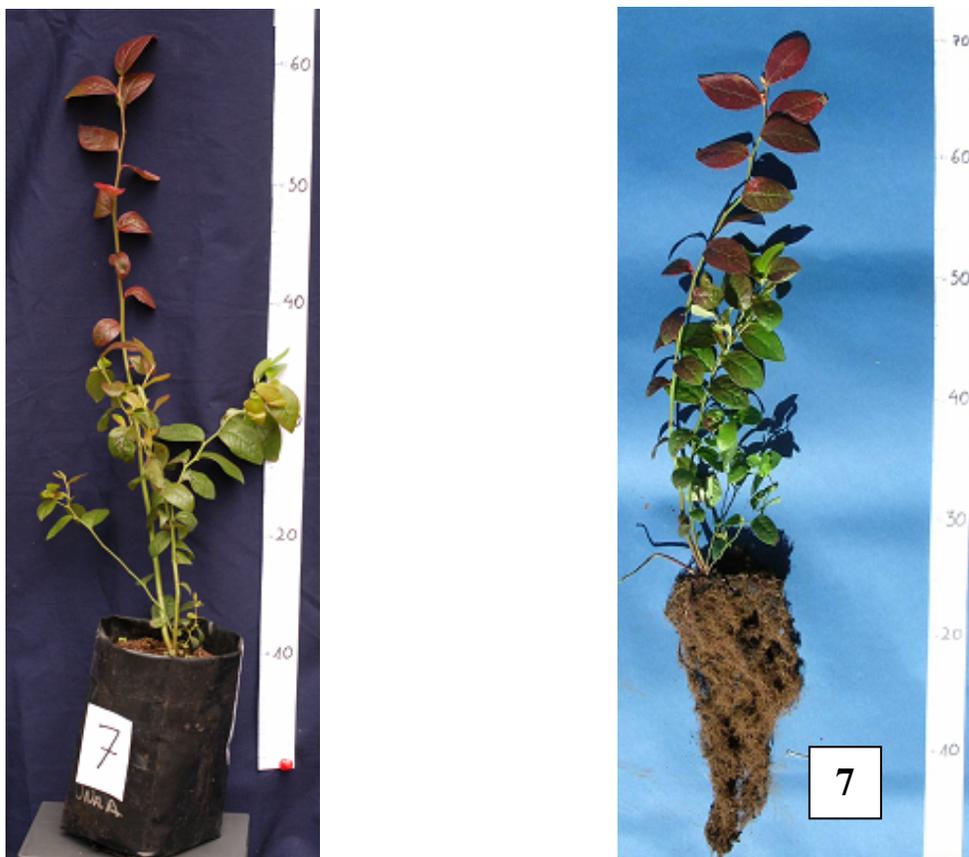


Figura 5: Planta a transplantar el 12 de octubre del 2005, antes y después de sacarla de la maceta y quitarle el sustrato.

Crecimiento vegetativo por planta

Al final del período con tratamientos de cobertura, las plantas ubicadas bajo malla resultaron más largas y de mayor número de nudos, que las tratadas con caolinita y testigo ($p \leq 0.05$), a pesar de los altos coeficientes de variación, 19 y 62%, respectivamente (datos presentados en el primer capítulo). El número de tallos por planta no fue afectado por los tratamientos ($p \leq 0.05$), observándose un promedio de entre 7.0 y 7.5 tallos por planta desde el final del período con tratamientos. El coeficiente de variación de esta variable fue de 162% durante el período con tratamientos de cobertura y luego de 70%, lo cual seguramente interfiere en la detección de

diferencias estadísticas. Al final del primer período (con cobertura), el largo de entrenudos de cada tratamiento presentó mínimas variaciones respecto a sus valores iniciales: las plantas tratadas con caolinita lo incrementaron en un 5%, las sombreadas con malla en un 2% y las testigo 0%. Al final del ensayo las plantas correspondientes a las parcelas que habían recibido cobertura, disminuyeron mínimamente su valor, mientras que las testigo lo aumentaron levemente, resultando en entrenudos de 1.00cm para malla, 0.97 para la caolinita y 0.95cm en las testigo.

La materia seca de planta y de la zona aérea, no fue afectada por los tratamientos ($p \leq 0.05$). Nuevamente los coeficientes de variación resultaron elevados (Cuadro 1, presentado en el primer capítulo). La materia seca de tallos y ramas bajo malla y en las tratadas con caolinita, no llega a detectarse como significativamente distinto (Cuadro 1).

Con menores coeficientes de variación (18.6%), la materia seca de raíces por planta llegó a ser superior en las plantas ubicadas bajo malla respecto a las testigo, mientras que la materia seca de raíces gruesas llegó a ser superior en ambos tratamientos de cobertura ($p \leq 0.05$). En la Figura 6 se muestra el desarrollo vegetativo aéreo y de raíces de una de las tres plantas muestreadas en cada tratamiento.

Planta tratada con CAOLINITA (30% sombra real)

A)



D)



Planta tratada con cobertura MALLA Chromatinet ROJA 30% sombra (32% sombra real)

A)



B)



C)



D)



Planta TESTIGO

A)



B)



C)



D)



Figura 6: Para cada tratamiento, A) vista del sistema vegetativo aéreo defoliado, previo a ser extraída la planta para el estudio de materia seca. Vista lateral del sistema radical: B) con el pan de tierra con el cual se extrajo; C) parcialmente limpio; D) totalmente limpio.

Crecimiento vegetativo aéreo según tipo de tallo

Durante el período con tratamientos de cobertura, los mismos no afectaron la distribución del crecimiento vegetativo aéreo en los distintos tipos de tallos definidos ($p \leq 0.05$) (Figura 3).

Previo a la instalación de los tratamientos, el 11 de noviembre del 2005, en los tallos denominados “estructura inicial” se ubicó el mayor largo y número de nudos por planta ($p \leq 0.05$) (Cuadro 4). Al retirar los tratamientos, el 11 de abril del 2006, si bien el estudio de largo y número de nudos totales por planta como medidas repetidas en el tiempo, mostró diferencias entre la malla y restantes tratamientos ($p \leq 0.05$) (datos presentados en el primer capítulo), al estudiar esas variables de la planta puntualmente y según tipo de tallos, se observa que los tratamientos no afectaron la distribución del crecimiento vegetativo aéreo dentro de sus plantas ($p \leq 0.05$) (Cuadros 5 y 6). Al final de dicho período, el mayor largo y número de nudos de la planta se registró en los “tallos de base”, diferenciándose la última variable sólo con los “tallos de corona” ($p \leq 0.05$). Hacia el final del ensayo, si bien el crecimiento vegetativo aéreo fue muy bajo, el mayor largo de la planta ubicado en los “tallos de base” se diferenció solamente con el largo de planta ubicado en la “estructura inicial” y el número de nudos no varió entre los distintos tipos de tallos ($p \leq 0.05$) (Cuadro 4). Los resultados indican un mayor vigor en el crecimiento ubicado en los “tallos de base y de corona” respecto al

registrado en la estructura inicial, tanto al final del período con tratamientos de cobertura como al final del ensayo.

Cuadro 4: Crecimiento de plantas de arándano según tipo de tallo. Mediciones realizadas previo a la instalación de los tratamientos (21 de noviembre del 2006), una vez retirados los mismos (11 de abril del 2006) y al final del ensayo (3 de julio de 2006)

Tipo de tallo	21-11-05		11-4-06		3-7-06	
	Largo (cm)	Nº nudos	Largo (cm)	Nº nudos	Largo (cm)	Nº nudos
Estructura inicial	96.3±4.5 a	184.2±0.09 a	305.7±30.6 b	320.2±0.09 ab	264.8±37.1 b	294.3±0.10 ns
Tallos de base	15.5±7.2 b	94.5±0.3 b	494.8±52.7 a	461.3±0.15 a	514.2±52.0 a	444.9±0.17 ns
Tallos de corona	12.2±7.3 b	75.4±0.2 b	315.7±60.3 b	279.2±0.18 b	340.0±62.6 ab	270.1±0.19 ns

Dos o más celdas con la misma letra no difirieron por Tukey $p \leq 0.05$.

Cuadro 5: Evolución del largo de planta de arándano para cada tratamiento, según los tipos de tallos definidos. Mediciones realizadas previo a la instalación de los tratamientos (21 de noviembre del 2006), una vez retirados (11 de abril del 2006) y al final del ensayo (3 de julio de 2006)

Tratamiento	Largo (cm)											
	21-11-05				11-4-06				3-7-06			
	Estructura inicial	Tallos de corona	Tallos de base	$p \leq 0.05$	Estructura inicial	Tallos de corona	Tallos de base	$p \leq 0.05$	Estructura inicial	Tallos de corona	Tallos de base	$p \leq 0.05$
Caolinita	91.0±8	13.1±11	25.7±11	ns	321.1±43	191.4±122	422.9±66	ns	287.8±58	123.0±133	468.1±70	ns
Malla	94.7±8	13.7±10	13.9±11	ns	343.1±44	348.6±64	558.1±68	ns	285.8±58	403.4±65	516.7±71	ns
Testigo	103.3±8	9.9±11	6.8±15	ns	252.9±47	407.2±78	503.5±92	ns	218.2±59	493.5±83	557.9±100	ns
Promedio	96.3±4	12.2±7	15.5±7		305.7±31	315.7±60	494.8±53		263.8±37	340.0±63	514.2±52	
$p \leq 0.05$	a	b	b		b	b	a		b	ab	a	

Dos o más celdas con la misma letra no difirieron por Tukey $p \leq 0.05$.

Cuadro 6: Efecto de los tratamientos de cobertura sobre el número de nudos de los tipos de tallos definidos en plantas de arándano. Mediciones realizadas previo a la instalación de los tratamientos (21 de noviembre del 2006), una vez retirados (11 de abril del 2006) y al final del ensayo (3 de julio de 2006)

Tratamiento	Número de nudos											
	21-11-05				11-4-06				3-7-06			
	Estructura inicial	Tallos de corona	Tallos de base	p≤0.05	Estructura inicial	Tallos de corona	Tallos de base	p≤0.05	Estructura inicial	Tallos de corona	Tallos de base	p≤0.05
Caolinita	89.9±0.1	18.1±0.4	33.2±0.2	ns	324.2±0.2	117.5±0.4	472.6±0.2	ns	286.7±0.2	99.9±0.4	484.9±0.2	ns
Malla	91.5±0.1	17.2±0.2	18.8±0.3	ns	355.2±0.1	376.9±0.2	479.7±0.2	ns	337.3±0.1	406.7±0.2	387.2±0.2	ns
Testigo	111.7±0.1	14.1±0.3	8.1±0.8	ns	285.1±0.2	491.7±0.2	433.0±0.4	ns	263.6±0.2	484.9±0.2	469.1±0.4	ns
Promedio	97.2±0.1	16.4±0.2	17.2±0.3		320.2±0.1	279.2±0.2	461.3±0.2		294.3±0.1	270.1±0.2	444.9±0.2	
p≤0.05	a	b	b		ab	b	a		ns	ns	ns	

Dos o más celdas con la misma letra no difirieron por Tukey p≤0.05.

El número de tallos por planta según tipo no fue afectado por los tratamientos. Al final del período con tratamientos de cobertura el número de “tallos de corona” y de “tallos de base” fue mayor al registrado en la “estructura inicial”, sin embargo al final del ensayo las plantas presentaron un mayor número de “tallos de corona” (Cuadro 7).

Esta información junto con la de largo y número de nudos de los “tallos de base”, indica que entre el final del período de cobertura y del ensayo, las plantas perdieron tallos pequeños, ya que el número de los mismos disminuyó marcadamente pero no así su largo y número de nudos.

Cuadro 7: Evolución del número de tallos según tipo, en plantas de arándano sombreadas artificialmente. Mediciones realizadas previo a la instalación de los tratamientos (21 de noviembre del 2006), una vez retirados (11 de abril del 2006) y al final del ensayo (3 de julio de 2006)

Tratamiento	Número de tallos											
	21-11-05				11-4-06				3-7-06			
	Estructura inicial	Tallos de corona	Tallos de base	p≤0.05	Estructura inicial	Tallos de corona	Tallos de base	p≤0.05	Estructura inicial	Tallos de corona	Tallos de base	p≤0.05
Caolinita	2.1±0.2	0.3±0.3	0.9±0.3	ns	1.8±0.3	6.3±0.2	6.0±0.2	ns	2.6±0.3	7.1±0.2	1.9±0.3	ns
Malla	2.0±0.2	0.6±0.6	0.6±0.4	ns	1.8±0.3	5.8±0.2	9.0±0.2	ns	2.6±0.3	5.2±0.2	2.4±0.3	ns
Testigo	2.6±0.2	0.5±0.5	0.3±0.6	ns	1.8±0.3	5.8±0.2	10.2±0.2	ns	2.8±0.3	5.7±0.2	2.6±0.2	ns
Promedio	2.2±0.1	0.5±0.3	0.5±0.3		1.8±0.2	6.0±0.1	8.2±0.1		2.6±0.2	5.9±0.1	2.6±0.2	
p≤0.05	a	b	b		b	a	a		b	a	b	

Dos o más celdas con la misma letra no difirieron por Tukey p≤0.05.

Materia fresca y seca foliar

La materia seca foliar representó entre el 41.2 y 44.5% de la total aérea. Las hojas adultas no presentaron mayor materia fresca y seca que las hojas nuevas, independientemente de los tratamientos (p≤0.05) (Cuadro 8).

Área foliar y número de hojas

Al final del período de cobertura, el área foliar por planta y el porcentaje de foliación, no presentaron diferencias entre tratamientos, oscilando entre 2609 y 4040 cm²*planta⁻¹ y 77 y 80 hojas cada 100 nudos, testigo y malla, respectivamente (Cuadro 1, presentado en el primer capítulo). El área foliar representada por las hojas adultas resultó mayor que el de las nuevas (Cuadro 8).

Los tratamientos de cobertura no afectaron el área foliar, número de hojas ni materia fresca y seca según edad de la hoja (p≤0.05). Los coeficientes de variación del área foliar (42%), materia fresca foliar (42%) y materia seca foliar (44%) por planta según tratamiento y según tratamiento y tipo de hoja, 43%, 42% y 45%, respectivamente, resultaron elevados pudiendo incidir sobre la no significancia estadística de valores muy distantes. La proporción que cada tipo de hoja representó en el área foliar total, varió entre tratamientos. En las tratadas con caolinita las hojas adultas

representaron un 72% del área total, lo cual representa un 17% más que en las testigo. La relación positiva entre el tamaño promedio de hoja y el sombreado natural observada en plantas de tabaco, por Kasperbauer y Kaul (1996), no se observó en el presente ensayo como respuesta al uso de sombra artificial ($p \leq 0.05$).

Cuadro 8: Parámetros de desarrollo foliar en plantas de arándano tratadas con cobertura. Mediciones realizadas el 25 de abril del 2006

Tratamiento	Edad de la hoja	Área foliar (cm ²)		Número de hojas	Materia Fresca (g)	Materia Seca (g)
		Por planta	Por hoja		Por planta	
	Adulta	2090±337	4,7±0.5	486±0.2	60.8±10	26.1±4.2
	Nueva	1244±337	4,4±0.5	313±0.2	33.0±10	13.7±4.2
Caolinita		2426.3±530	5.0±0.8	515±0.2	72.8±15	31.5±6.6
Malla	Adulta	2403.2±530	4.7±0.8	585±0.2	64.9±15	28.8±6.6
Testigo		1441.4±681	4.5±1.0	380±0.3	44.6±20	18.0±8.5
Caolinita		927.5±530	5.0±0.8	220±0.4	25.6±15	10.5±6.6
Malla	Nueva	1636.8±530	4.9±0.8	387±0.3	42.9±15	16.7±6.6
Testigo		1167.8±681	3.4±1.0	360±0.4	30.6±20	13.9±8.5

Dos o más celdas con la misma letra no difirieron por Tukey $p \leq 0.05$. Las celdas sin letras indican no significancia estadística.

Yemas reproductivas y vegetativas

Materiales y métodos

Se siguió igual metodología a la descrita en el primer capítulo

Distribución de las yemas reproductivas y vegetativas

Las plantas empleadas en este estudio fueron las mismas que se muestrearon con una frecuencia casi semanal a lo largo del ensayo con el fin de estudiar el comportamiento del largo y del número de nudos por planta en cada tratamiento. El estudio de esta última variable como medidas repetidas en el tiempo mostró una superioridad en las plantas cubiertas con malla. Sin embargo el estudio puntual del número de nudos el 3 de julio del 2006, a diferencia del análisis anteriormente

mencionado, no mostró diferencias entre tratamientos. Dado que el primero da resultados más fiables, sus valores son los que se presentan en el Cuadro 9.

Los tratamientos no afectaron la distribución de yemas reproductivas y vegetativas en los tallos de la planta ni en el total de la misma. Independientemente de los tratamientos, los “tallos de corona” presentaron menor número de yemas reproductivas ($p \leq 0.05$). Al relativizar dicha variable al número de nudos del tipo de tallo en cuestión, se observa que en la “estructura inicial” se encuentra la mayor cantidad de yemas reproductivas cada 100 nudos, siendo significativa la diferencia con los “tallos de corona” (Cuadro 9). El número de yemas vegetativas no varió según el tipo de tallo ($p \leq 0.05$).

Cuadro 9: Comportamiento reproductivo de plantas de arándano sometidas a tratamientos de cobertura. Distribución de las yemas reproductivas y vegetativas en los tipos de tallos definidos en plantas de arándano. Medición realizada el 3 de julio del 2006

Tratamiento	Tipo de tallo	N° por planta			Cada 100 nudos	
		Nudos	Yemas Reproductivas	Yemas Vegetativas	Yemas Reproductivas	Yemas Vegetativas
Caolinita		952±0.1 b	85±0.2	743±0.1	10±2.4	77±2.6
Malla		1148±0.1 a	114±0.1	894±0.1	12±2.2	76±2.4
Testigo		1012±0.1 b	111±0.1	771±0.1	11±2.2	76±2.4
	Estructura inicial	294±0.1	42±0.1 a	279±0.1	12,4±1.4 a	75±1.7
	Tallos de base	445±0.2	41±0.1 a	318±0.1	11,2±1.4 ab	78±1.7
	Tallos de corona	270±0.2	21±0.2 b	228±0.1	7,1±1.5 b	79±1.8

Dos o más celdas con la misma letra no difirieron por Tukey $p \leq 0.05$.
Las celdas sin letras indican no significancia estadística.

Tensión hídrica del suelo y régimen de precipitaciones

Materiales y métodos

Con el objetivo de realizar una curva diaria de tensión de agua en el suelo, el 7 de diciembre del 2005, 5 y 18 de enero, 16 de febrero, 5 de abril y 30 de mayo del 2006, se recabó la información registrada por los tensiómetros colocados a 15 y 30cm de profundidad (Figura 7), durante la mañana (8:30 a 9:50h), al mediodía (13:30 a 15:30h) y en la tarde (16:00 a 17:40h). En el análisis estadístico las profundidades fueron consideradas como repeticiones.

A)



B)



Figura 7: Tensiómetro enterrado 30cm en el suelo, en (A) parcela de malla roja 30% sombra y (B) parcela de caolinita.

También se llevó a cabo un registro pluviométrico en el predio. Para ello se colocó un pluviómetro de boca circular en posición vertical, de modo que el inicio de la apertura se ubicara a 1.5m del suelo. Se registró el volumen de agua recogido luego de cada lluvia.

Caracterización hídrica de los primeros 30cm de sustrato

Como se puede observar en la Figura 10, durante el período en que el umbral de riego fue de 4kPa (hasta el 20 de marzo), los promedios diarios de tensión hídrica de suelo resultaron bajos para todos los tratamientos, siendo los valores similares entre sí (rango: 2.2 y 3.6kPa). Estos resultados indicarían que las láminas y frecuencias del riego mantuvieron un nivel de agua en el sustrato que se ubica entre el punto de saturación (tensión hídrica de suelo de 0kPa) y el de capacidad de campo (10kPa) (Pizarro, 1990). En consecuencia, los valores de tensión registrados durante dicho período no variaron en respuesta a la presencia de lluvias. Hacia el final del período de aplicación de los

tratamientos de cobertura (5 de abril), con un umbral de riego superior (10kPa), el rango de valores de potencial fue mayor, oscilando entre 3.7 y 7.6kPa, pero de todos modos, el contenido de agua en las parcelas continuó siendo superior al de capacidad de campo. El rango de valores de tensión se incrementó aún más a los 45 días de haber suspendido el riego, el 30 de mayo, siendo las tensiones de 7.6, 19.8 y 26.8kPa, testigo, malla y caolinita respectivamente. Por tanto, los resultados indican que durante el experimento, el contenido de agua en el suelo llegó a ser inferior al de capacidad de campo sólo en las parcelas cuyas plantas habían recibido tratamientos de cobertura y recién luego de haber suspendido totalmente el riego.

El promedio de tensión hídrica resultante de las dos profundidades de suelo evaluadas (Figura 10), indica que las parcelas de los tratamientos de cobertura presentaron un menor contenido de agua que las testigo el 18 de enero y 30 de mayo y además las de caolinita también el 5 de abril ($p \leq 0.05$).

En el Cuadro 10 se observa que mientras se regó durante la mañana, la tensión hídrica del suelo resultó menor en ese momento que durante el resto del día ($p \leq 0.05$).

Cuadro 10: Tensión hídrica de suelo según momento del día en cada instancia de medición

Tensión hídrica de suelo (kPa)						
Momento del día (hrs)	7-12-05	5-01-06	18-01-06	16-02-06	5-04-06	30-05-06
8:30 - 9:50	1.7±0.3 b	1.4±0.4 b	2.3±0.3 b	2.2±0.2 b	4.9±0.9 b *	17.2±3.1 ns
13:30 - 15:30	3.6±0.3 a	3.9±0.4 a	3.6±0.3 a	4.0±0.2 a	6.5±0.9 a	18.4±3.1 ns
16:00 - 17:40	3.8±0.3 a	3.8±0.4 a	3.3±0.3 a	4.1±0.2 a	6.9±0.9 a	18.6±3.1 ns

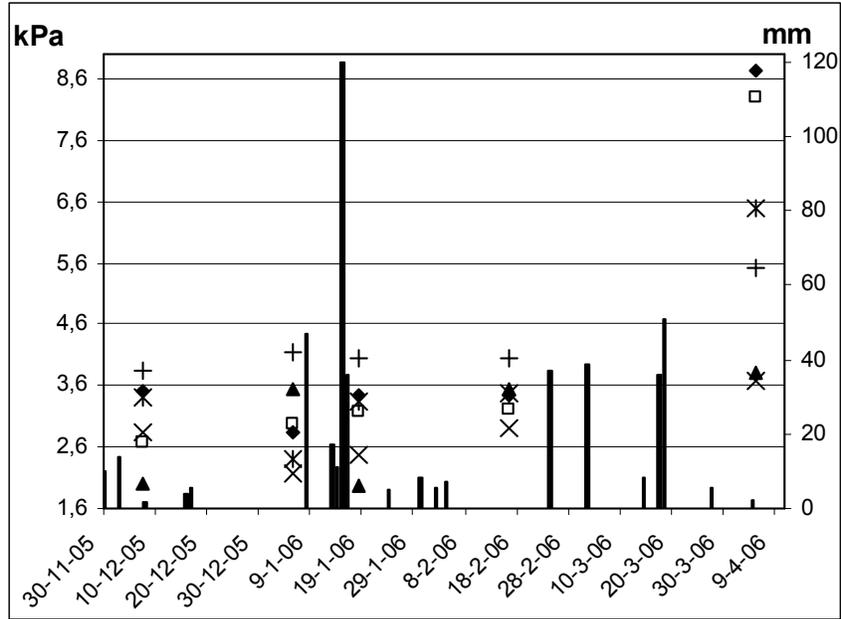
Dos o más celdas con la misma letra no difirieron por Tukey $p \leq 0.05$.

* Nota: medición realizada a las 10:10AM

El diseño experimental no permitió realizar un análisis estadístico de la tensión hídrica de suelo según profundidad para cada tratamiento. Se observó que a 30cm de profundidad el contenido de agua fue superior al correspondiente a capacidad de campo. En general, en las parcelas ubicadas bajo malla y en las correspondientes a caolinita el sustrato a 30cm de profundidad tiende a estar más seco que en las testigo, no observándose un patrón claro a los 15cm (Figura 8). Las diferencias se acentúan aún más en la medición del 5 de abril como consecuencia de haberse aumentado el umbral

crítico de riego de 4 a 10kPa. Las mayores tensiones no se explicarían por una mayor evaporación desde el sustrato, ya que los tratamientos no afectaron la temperatura de suelo y además, como se analizará más adelante, bajo malla la temperatura ambiente fue generalmente menor ($p \leq 0.05$). Por tanto esas mayores tensiones indicarían un mayor consumo de agua por parte de las plantas sombreadas, el cual no se pudo constatar en mayores A y tasas de transpiración (Cuadro 12), pero sí en una mayor A estimada por planta en las tratadas con caolinita el 16 de febrero y en el mayor largo de planta y materia seca de raíces de las plantas ubicadas bajo malla ($p \leq 0.05$) (Cuadro 1, presentado en el primer capítulo).

Al considerar los valores de tensión hídrica de suelo dentro de cada tratamiento, se observa que durante diciembre, enero y febrero, el sustrato bajo malla estuvo más húmedo a 15cm que a 30cm de profundidad, mientras que en las parcelas tratadas con caolinita los valores fueron muy similares entre profundidades. En las testigo, se observó el mismo patrón que en las sombreadas con malla, excepto en la medición del 5 de enero, donde a 30cm de profundidad el contenido de agua fue mayor (Figura 8).



Tratamientos	Tensión hídrica de suelo (kPa) según profundidad		Precipitaciones (mm)
	a 15cm	a 30cm	
Caolinita	◆	✱	█
Malla	□	+	
Testigo	▲	×	

Figura 8: Tensión hídrica (kPa) a los 15 y 30 cm de profundidad para cada tratamiento durante el período en que se aplicaron los mismos. Registro de precipitaciones (mm) en dicho período.

Temperatura Ambiente

Material y métodos

Se registró en una parcela de cada tratamiento, mediante el uso de tres termómetros con registrador marca Hobo. Con el fin de simular una casilla agrometeorológica, cada dispositivo se colocó dentro de dos tubos de PVC de distinto diámetro, colocados a 1.5m de altura, perpendicularmente al suelo y con orientación Norte - Sur. El tubo de mayor diámetro, de 20cm, contenía en su interior al más estrecho, de 5cm, el cual colgaba ubicándose en el eje central del primero. El termómetro con registrador se colocó de igual modo dentro del tubo de menor diámetro, pero de forma que se

ubicara en el centro del mismo. Se programaron para que recabaran datos cada una hora. El 16 de diciembre del 2005 fueron colocados por primera vez y el 5 de julio del 2006 retirados definitivamente. Debido a un error en la reprogramación se dispone de datos para el período del 16 de diciembre al 7 de marzo y para del período 12 de abril al 3 de julio del 2006.

Ambos tipos de estructura, previo a ser colocadas en el ensayo, fueron chequeadas en la casilla meteorológica de la estación experimental climática de INIA Las Brujas, Estación Experimental “Wilson Ferreira Aldunate”.

En el análisis estadístico, las repeticiones fueron las horas del día, analizándose cada día por separado.

Evolución estacional de la temperatura ambiente y efecto de los tratamientos

La temperatura ambiente promedio diaria medida en una parcela de cada tratamiento, resultó ser en general menor bajo malla roja 30% sombra. A partir del análisis estadístico de esta variable (datos no mostrados), se obtiene que en el período abarcado desde el 17 de diciembre del 2005 al 7 de marzo del 2006 y bajo malla, el 61% de los días presentaron una temperatura ambiental promedio diaria menor que en el testigo ($p \leq 0.05$) (Figura 9). Por su lado, la parcela de caolinita presentó igual temperatura ambiente promedio diaria que la testigo en el 95% de los días. En el período sin tratamientos, medido desde el 12 de abril al 3 de julio de 2006, el 61% y 91% de los días para malla y caolinita, respectivamente, presentaron igual temperatura que la testigo ($p \leq 0.05$).

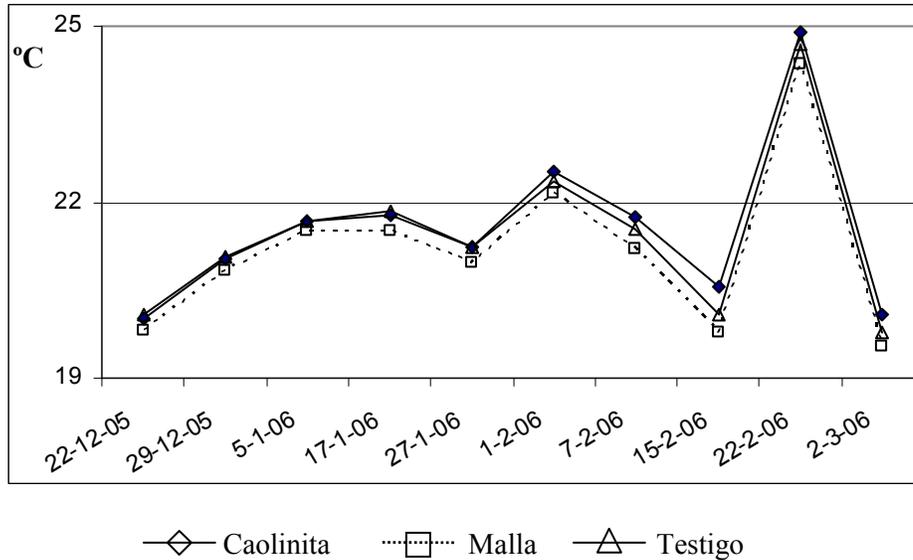


Figura 9: Evolución de la temperatura ambiente promedio diaria (°C) según tratamiento, en cada intervalo de medición, dentro del período comprendido entre el 17 de diciembre del 2005 y el 2 de marzo del 2006.

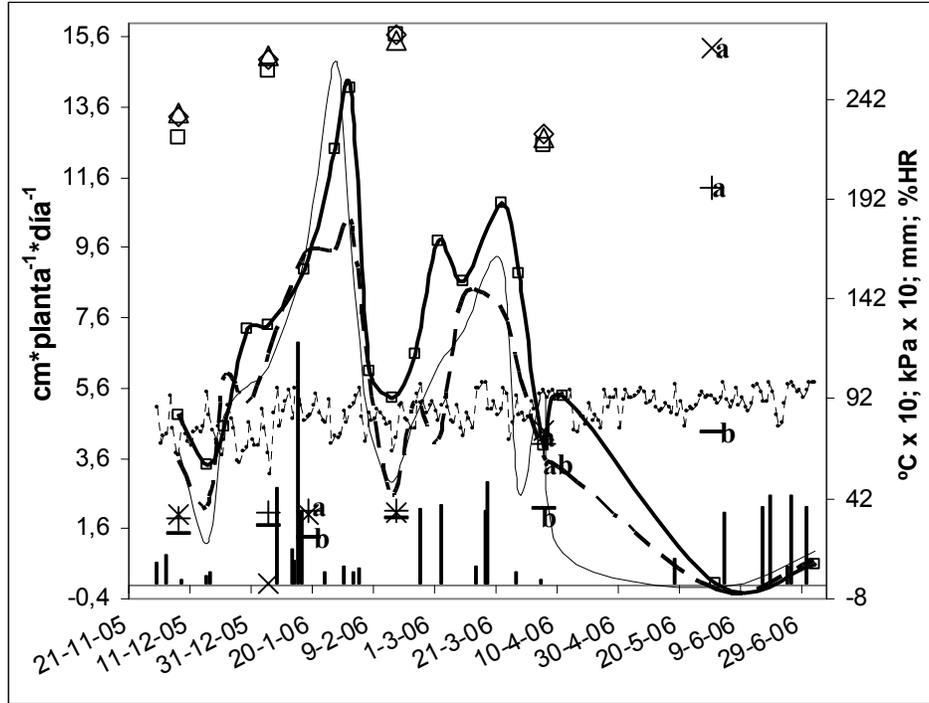
Temperatura de suelo

Material es y métodos

Igual a lo descrito en el primer capítulo.

Evolución estacional de la temperatura de suelo y efecto de los tratamientos de cobertura

En la Figura 10 se observa que los flujos de crecimiento vegetativo aéreo se dieron a temperaturas de suelo de entre 21 y 29°C. Los resultados no coinciden con lo reportado por Spiers (1995) para arándano Southern highbush y Rabbiteye, ya que los mayores flujos de crecimiento vegetativo aéreo tuvieron lugar en presencia de las mayores temperaturas de suelo registradas. La misma aumentó desde diciembre hasta febrero como consecuencia del efecto estacional, registrándose los máximos de cada momento del día en este mes (Cuadro 11), disminuyendo luego los promedios en la medición de abril (22.2°C) (Figura 10).



Tratamientos	Tasa de crecimiento promedio diario	Temperatura de suelo	Tensión hídrica	Precipitaciones	Humedad relativa ambiente
Caolinita	---	◇	X	█	⋮
Malla	—	□	+		
Testigo	—	△	—		

Figura 10: Evolución de la tasa de crecimiento promedio diario para cada intervalo de medición ($\text{cm} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$) en plantas de arándano tratadas con cobertura y testigo. Temperatura de suelo ($^{\circ}\text{C}$) promedio diaria y tensión hídrica de suelo (kPa) para cada tratamiento, multiplicados sus valores por 10. Precipitaciones ($\text{mm} \cdot \text{día}^{-1}$) y promedio diario de humedad relativa ambiente (%HR). Tukey, $p \leq 0.05$.

Independientemente de los tratamientos, el suelo incrementó su temperatura a lo largo de día en todas las instancias de medición excepto en la del 5 de abril, donde los valores del medio día (12:00 a 14:00) no se diferenciaron de la media tarde (14:00 a 16:20) ($p \leq 0.05$) (Cuadro 11).

Cuadro 11: Evolución diaria de la temperatura de suelo a los 15cm de profundidad

Momento	Temperatura de suelo ($^{\circ}\text{C}$)							
	7-12-05	$p \leq 0.05$	5-01-06	$p \leq 0.05$	16-02-06	$p \leq 0.05$	5-04-06	$p \leq 0.05$
Mañana	21.4±0.3	c	25.5±0.2	b	25.8±0.2	c	21.7±0.2	b
Medio día	23.3±0.3	b	26.0±0.2	b	27.6±0.2	b	22.4±0.2	a
Media tarde	24.4±0.3	a	26.6±0.2	a	28.6±0.3	a	22.5±0.2	a

Dos o más tratamientos con la misma letra no difirieron por Tukey $p \leq 0.05$.

Al evaluar el efecto de los tratamientos, se observó que la cobertura resultante de la malla no disminuyó la temperatura de suelo respecto al testigo ($p \leq 0.05$).

Comportamiento diario de variables fisiológicas de plantas de arándano y ambientales, sometidas a tratamientos de cobertura

Materiales y métodos

Los materiales y la metodología utilizados fueron la de las curvas diarias de PAR, temperatura de hoja, tasa fotosintética, tasa de transpiración y conductancia estomática, ya explicadas en el primer capítulo. Los resultados de tasa de transpiración y temperatura ambiente correspondientes a las curvas diarias, presentados en el presente capítulo, fueron también analizados como medidas repetidas en el tiempo. Al igual que para las otras variables fisiológicas estudiadas, el análisis de éstas no incluye los datos recabados el 8 de febrero debido a que no se dispone de datos para el momento del día denominado “tarde”.

El análisis de las variables medidas según edad de la hoja, se realizó para cada instancia de medición dentro de sí y no como medidas repetidas en el tiempo.

Comportamiento diario de variables fisiológicas según m^2 de área foliar de planta, temperatura ambiente y radiación fotosintéticamente activa, bajo tratamientos de cobertura

Los análisis de las variables fisiológicas y ambientales como medidas repetidas en el tiempo indican que por la mañana las plantas presentaron una mayor tasa fotosintética, conductancia estomática (gs) y menor tasa de transpiración que durante el resto del día ($p \leq 0.05$). La temperatura ambiente y de hoja aumentaron hacia el medio día, mientras que la radiación fotosintéticamente activa (PAR) de la mañana y del medio día fueron estadísticamente iguales y superiores a las de la tarde ($p \leq 0.05$) (Cuadro 12). La magnitud en que alguna de esas variables fue superior o inferior en determinado momento del día varió según la instancia de medición, ya que para alguna de ellas fue significativa

la interacción entre fecha de medición y momento del día ($p \leq 0.05$), como se puede observar en los Cuadros 12 y 13.

Cuadro 12: Efecto del sombreado artificial sobre variables fisiológicas en plantas de arándano y sobre la temperatura ambiente y radiación fotosintéticamente activa, en las tres primeras instancias de evaluación

Variable	Instancia de medición y momento del día															
	28-12-05				18-1-06				26-1-06							
	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento * Tratamiento * día	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento * Tratamiento * día	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento * Tratamiento * día				
¹ A ($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$)	¹¹ C	4.5 ±0.9	1.2 ±0.6	0.9 ±0.6	ns	ns	5.2 ±0.9	2.3 ±0.9	2.5 ±0.9	ns	ns	2.8 ±1.0	0.6 ±0.8	0.7 ±0.8	ns	ns
	¹² M	3.5 ±0.9	0.8 ±0.6	0.5 ±0.6	ns	ns	4.3 ±0.7	2.8 ±0.9	1.1 ±0.8	ns	ns	2.6 ±1.0	0.9 ±0.8	0.8 ±0.7	ns	ns
	¹³ T	3.5 ±0.9	0.7 ±0.6	0.7 ±0.6	ns	ns	4.7 ±0.8	2.4 ±0.9	2.3 ±0.9	ns	ns	3.1 ±1.0	0.5 ±0.8	0.9 ±0.8	ns	ns
	Momento * día	3.9 ±0.7	0.9 ±0.4	0.7 ±0.3		4.8 ±0.5	2.5 ±0.7	2.0 ±0.7		2.8 ±0.9	0.8 ±0.6	0.7 ±0.6				
		a	b	b		a	ab	b		a	b	b				
² T ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$)	C	1.2 ±0.4	2.2 ±0.3	2.3 ±0.3	ns	ns	1.2 ±0.4	1.0 ±0.4	0.9 ±0.4	ns	ns	1.0 ±0.4	1.1 ±0.3	1.3 ±0.3	ns	ns
	M	1.1 ±0.4	1.9 ±0.3	1.6 ±0.3	ns	ns	0.8 ±0.3	1.0 ±0.4	0.3 ±0.4	ns	ns	1.0 ±0.4	1.2 ±0.3	1.4 ±0.3	ns	ns
	T	1.1 ±0.4	2.2 ±0.3	2.4 ±0.3	ns	ns	1.4 ±0.3	1.2 ±0.4	1.1 ±0.4	ns	ns	1.1 ±0.4	1.4 ±0.3	1.9 ±0.3	ns	ns
	Momento * día	1.1 ±0.3	2.1 ±0.2	2.1 ±0.2		1.1 ±0.2	1.1 ±0.2	0.7 ±0.3		1.0 ±0.3	1.3 ±0.3	1.5 ±0.3				
		b	a	ab		a	a	a		a	a	a				
³ gs ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$)	C	201 ±23	132 ±29	102 ±29	a	ns	247 ±25	157 ±36	122 ±25	a	ns	157 ±29	72 ±25	83 ±25	a	ns
	M	157 ±23	80 ±23	65 ±23	b	ns	216 ±23	51 ±36	86 ±36	b	ns	159 ±23	69 ±29	61 ±23	b	ns
	T	216 ±25	105 ±25	158 ±29	a	ns	253 ±29	146 ±29	161 ±29	a	ns	168 ±25	53 ±23	101 ±23	a	ns
	Momento * día	191 ±14	106 ±15	108 ±16		239 ±15	118 ±20	124 ±18		162 ±15	65 ±15	82 ±14				
		a	b	b		a	b	b		a	b	b				

(Continuación del Cuadro 12)

Variable	Instancia de medición y momento del día															
	28-12-05				18-1-06				26-1-06							
	Tratamiento	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Tratamiento * día	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Tratamiento * día	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Tratamiento * día
⁴ Th (°C)	C	28.6 ±0.6	36.4 ±0.6	37.8 ±0.6	a	ns	22.6 ±0.9	29.2 ±0.6	28.5 ±0.6	a	ns	26.1 ±0.6	33.0 ±0.6	34.1 ±0.6	a	ns
	M	27.0 ±0.6	35.8 ±0.6	36.7 ±0.6	b	ns	21.8 ±0.7	27.4 ±0.6	26.8 ±0.6	b	ns	25.6 ±0.6	31.4 ±0.6	33.1 ±0.6	b	ns
	T	28.6 ±0.6	36.4 ±0.6	37.8 ±0.6	a	ns	23.5 ±0.7	29.0 ±0.6	28.3 ±0.7	a	ns	26.7 ±0.6	33.0 ±0.6	35.0 ±0.6	a	ns
	Momento	28.0 ±0.4	36.2 ±0.3	37.4 ±0.3			22.6 ±0.4	28.6 ±0.3	27.9 ±0.4			26.1 ±0.4	32.5 ±0.3	34.0 ±0.3		
		b	a	a			b	a	a			b	a	a		
⁵ Tamb (°C)	C	27.7 ±0.6	35.7 ±0.6	37.3 ±0.6	a	ns	21.3 ±0.9	28.0 ±0.6	27.3 ±0.6	a	ns	24.7 ±0.6	31.7 ±0.6	33.1 ±0.6	a	ns
	M	26.3 ±0.6	35.2 ±0.6	36.3 ±0.6	b	ns	20.8 ±0.7	26.5 ±0.6	26.5 ±0.6	b	ns	24.6 ±0.6	30.8 ±0.6	32.5 ±0.6	b	ns
	T	27.4 ±0.6	35.7 ±0.6	37.3 ±0.6	a	ns	22.3 ±0.7	27.9 ±0.6	27.4 ±0.7	a	ns	25.5 ±0.6	31.8 ±0.6	34.3 ±0.6	a	ns
	Momento	27.1 ±0.4	35.5 ±0.3	36.9 ±0.3			21.5 ±0.5	27.5 ±0.3	27.1 ±0.4			24.9 ±0.4	31.4 ±0.3	33.3 ±0.3		
		b	a	a			b	a	a			c	b	a		
⁶ PAR (µmol m ⁻² seg ⁻¹)	C	1096 ±100	1310 ±89	1107 ±89	a	ab	1259 ±142	1343 ±89	1379 ±100	a	a	1374 ±100	1410 ±89	1175 ±89	a	a
	M	919 ±100	1071 ±89	810 ±89	b	b	981 ±116	1095 ±89	439 ±100	b	b	1031 ±100	993 ±89	903 ±89	b	b
	T	1342 ±100	1273 ±89	1172 ±89	a	a	1341 ±116	1323 ±89	1018 ±116	a	a	1412 ±100	1441 ±89	1237 ±89	a	a
	Momento	a	a	b			a	a	b			a	a	b		
⁷ HR (%)		66					83					70				
⁸ DPV (kPa)		1.2					0.4					0.8				

Dos o más celdas con la misma letra no difirieron por Tukey p ≤ 0.05.

Nota:

- se considera que los datos de la tasa fotosintética y de transpiración están subestimados dado que se utilizó el IRGA con el “molecular sieve” saturado
- las referencias numéricas de las abreviaciones presentadas a continuación son válidas para los cuadros 12, 13, 14, 15, 16 y 17.

¹A: tasa fotosintética
²T: tasa de transpiración
³gs: conductancia estomática
⁴Th: temperatura de hoja
⁵Tamb: temperatura ambiente
⁶PAR: radiación fotosintéticamente activa
⁷HR: humedad relativa
⁸DPV: diferencia de presión de vapor

⁹Momento: momento del día
¹⁰Día: instancia de evaluación
¹¹C: caolinita
¹²M: malla
¹³T: testigo
¹⁴N: hoja nueva
¹⁵A: hoja adulta

Cuadro 13: Efecto del sombreado artificial sobre variables fisiológicas en plantas de arándano y sobre la temperatura ambiente y PAR, en las dos últimas instancias de evaluación

Variable	Tratamiento	Instancia de medición y momento del día											
		8-2-06						16-2-06					
		Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Tratamiento * día			
¹ A ($\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$)	¹¹ C	6.0 ±0.8	4.1 ±0.9	s/d	ns	9.3 ±1.4	2.1 ±1.3	5.6 ±1.3	ns	ns			
	¹² M	5.0 ±0.8	3.3 ±1.1	s/d	ns	9.4 ±1.4	3.2 ±1.3	5.6 ±1.3	ns	ns			
	¹³ T	5.7 ±0.8	4.7 ±0.9	s/d	ns	10.2 ±1.4	1.9 ±1.3	4.2 ±1.3	ns	ns			
	Momento	ns	ns			a	b	b					
	Momento * día					9.7 ±1.3	2.4 ±1.2	5.2 ±1.2					
Tasa de transpiración ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$)	C	1.2 ±0.2	1.5 ±0.2	s/d	ab	1.9 ±0.6	2.9 ±0.5	2.8 ±0.5	ns	ns			
	M	1.1 ±0.2	1.4 ±0.2	s/d	b	1.7 ±0.6	3.2 ±0.5	3.0 ±0.5	ns	ns			
	T	1.5 ±0.2	1.9 ±0.2	s/d	a	2.0 ±0.6	3.9 ±0.5	3.0 ±0.5	ns	ns			
	Momento	ns	ns			b	a	a					
	Momento * día					1.9 ±0.5	3.3 ±0.5	2.9 ±0.5					
Conductancia estomática ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$)	C	190 ±29	73 ±51	110 ±25	a	181 ±25	71 ±36	125 ±36	a	ns			
	M	107 ±29	64 ±29	99 ±25	b	117 ±36	84 ±36	134 ±51	b	ns			
	T	200 ±22	79 ±29	82 ±23	a	140 ±29	91 ±36	103 ±36	a	ns			
	Momento	165 ±16	72 ±22	97 ±14		146 ±17	82 ±21	121 ±24					
		a	b	b		a	b	b					

(Continuación del Cuadro 13)

Variable	Tratamiento	Instancia de medición y momento del día								
		8-2-06			16-2-06					
		Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Tratamiento * día
Temperatura de hoja (°C)	C	23.6 ±0.5	30.6 ±0.6	s/d	ns	26.6 ±0.6	37.9 ±0.6	35.4 ±0.6	a	ns
	M	22.7 ±0.5	29.2 ±0.7	s/d	ns	25.8 ±0.6	37.5 ±0.6	35.2 ±0.6	b	ns
	T	23.6 ±0.5	29.4 ±0.6	s/d	ns	26.5 ±0.6	37.8 ±0.6	35.7 ±0.6	a	ns
	Mo - mento	b	a			a	b	b		
	Momento * día					26.3 ±0.3	37.8 ±0.3	35.5 ±0.3		
Temperatura ambiente (°C)	C	22.4 ±0.5	29.3 ±0.5	s/d	ns	25.9 ±0.6	37.5 ±0.6	35.1 ±0.6	a	ns
	M	21.9 ±0.5	28.3 ±0.6	s/d	ns	25.3 ±0.6	37.4 ±0.6	35.2 ±0.6	b	ns
	T	22.5 ±0.5	28.4 ±0.5	s/d	ns	25.9 ±0.6	37.7 ±0.6	35.8 ±0.6	a	ns
	Mo - mento	b	a			b	a	a		
	Momento * día					25.7 ±0.3	37.6 ±0.3	35.4 ±0.3		
Radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$)	C	1246 ±64	1466 ±72	s/d	a	896 ±89	1011 ±89	938 ±89	a	a
	M	907 ±64	1099 ±83	s/d	b	718 ±89	919 ±89	759 ±89	b	a
	T	1293 ±64	1339 ±72	s/d	a	893 ±89	1053 ±89	675 ±100	a	a
	Momento	ns	ns			a	a	b		
⁷ HR (%)		81				73				
⁸ DPV (kPa)		0.6				0.7				

Dos o más celdas con la misma letra no difirieron por Tukey $p \leq 0.05$.

Nota: los datos del 8 de febrero se analizaron por separado de las restantes fechas, no integrando el análisis de medidas repetidas en el tiempo. A diferencia de las otras instancias de medición, no se pudieron realizar en esa fecha mediciones durante la tarde.

La malla disminuyó la temperatura ambiente y de hoja, así como los niveles de PAR, respecto a los restantes tratamientos. La magnitud con que la PAR disminuyó varió entre las fechas de medición, no detectándose diferencias el 16 de febrero, instancia que se caracterizó por presentar los menores niveles de PAR de todas las instancias evaluativas ($p \leq 0.05$) (Cuadro 13).

El comportamiento de la A en respuesta a variaciones en la temperatura foliar dentro del rango de 21.8 a 28.6°C presentado en el primer capítulo, se definió en base a los resultados registrados por las mañanas de las distintas instancias de medición. Las mayores tasas se observaron frente a menores temperaturas foliares, cuando la radiación fotosintéticamente activa no interfirió, ya sea, siendo similar a la del mediodía (26 de enero) o menor que en las restantes mañanas (16 de febrero). En este sentido, en las mañanas del 28 de diciembre y 18 de enero, frente a similares valores de PAR y conductancias estomáticas, la A resultó mayor frente a temperaturas foliares menores, de 21.8 a 23.5°C vs 27.0 a 28.6°C. Al comparar los resultados de mañanas más frescas con otras más calientes, 26 de enero vs 28 de diciembre y 8 de febrero vs 16 de febrero, vemos que el efecto positivo de menores temperaturas foliares sobre la A no resulta en mayores tasas, debido a la presencia de mayores valores de PAR el 26 de enero y 8 de febrero (Cuadros 12 y 13).

Los coeficientes de variación de la conductancia estomática (10%), la temperatura de hoja (1.2%) y ambiente (1.3%) y de la PAR (6%), no fueron elevados, resultando mayores para las variables A (20%) y tasa de transpiración (18%).

Comportamiento diario de variables fisiológicas, temperatura ambiente y radiación

fotosintéticamente activa para los distintos tratamientos, según edad de la hoja

En los Cuadros 14 y 15, se presenta el análisis del comportamiento de las variables fisiológicas según tratamiento y edad de hoja dentro de cada instancia de medición.

Cuadro 14: Efecto del sombreado artificial sobre variables fisiológicas y sobre la temperatura ambiente y radiación fotosintéticamente activa, según edad de la hoja en plantas de arándano, para las tres primeras instancias de medición

Variable	Tratamiento	Edad de hoja	Instancia de medición y momento del día														
			28-12-05			18-01-06			26-01-06			Tratamiento * Edad de hoja	Edad de hoja				
			Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Edad hoja			Mañana	Medio día	Tarde	
¹ A (μmolCO ₂ *m ⁻² *seg ⁻¹)	¹⁰ C	¹⁴ N					4.7	1.6	2.4		2.3	0.6	0.8		1.2 d	1.4b	
	¹¹ M						3.6	2.7	0.7		4.3	1.6	1.3		1.4 cd		
	¹² T						4.5	2.4	2.5		2.4	0.9	1.0		1.4 bcd		
	C	¹⁵ A	4.1	1.4	1.0	ns	5.6	4.5	3.9	ns	4.0	1.9	1.3	ns	2.4 abc	2.5a	
	M		3.6	0.9	0.6	ns	5.6	4.1	3.3	ns	2.9	0.6	0.8	ns	2.4 ab		
	T		3.7	0.8	0.8	ns	5.7	4.0	3.7	ns	4.9	1.4	2.2	ns	2.8a		
	Tukey		3.8a	1.0b	0.8b		5.0a	3.2b	2.7b		3.5a	1.2b	1.2b				
	Tasa de transpiración (mmol*m ⁻² *seg ⁻¹)	C	N					1.6	1.0	1.1		1.2	1.1	1.2		ns	1.4b
		M						0.8	1.0	0.4		1.5	1.3	1.4		ns	
		T						1.4	1.3	0.9		1.4	1.6	2.0		ns	
C		A	1.4	2.3	2.3	ns	1.2	1.8	1.3	1.3	1.7	1.9	2.0	1.5	ns	2.0a	
M			1.3	2.0	1.6	ns	1.0	1.9	1.1	1.0	1.9	1.9	2.0	1.7	ns		
T			1.3	2.3	2.5	ns	1.4	1.8	1.1	1.3	2.2	2.1	2.7	2.0	ns		
Tukey			1.3b	2.2a	2.2a		1.2 ab	1.5 a	1.0 b		ns	ns	ns				
Tukey Edad de hoja *		N					1.3a	1.1b	0.8a		ns	ns	ns	ns			
momento del día			A				1.2a	1.8a	1.2a		ns	ns	ns	ns			

(Continuación del Cuadro 14)

Variable	Tratamiento	Edad de hoja	Instancia de medición y momento del día															
			28-12-05				18-01-06				26-01-06				Tratamiento *	Edad de hoja		
			Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Edad hoja	Mañana	Medio día	Tarde			Tratamiento	
Conductancia estomática (mmol*m ⁻² *seg ⁻¹)	C	N	171	147	102		225	40	78		121b	121	55	74		ns	79 b	
	M		151	96	65		186	69	28			137	26.1	53		ns		
	T		237	126	137		225	125	117			130	36	83		ns		
	C	A	258	127	117	154a	278	213	187	ns	202a	202	97	105	ns	ns		144 a
	M		169	44	64	98 b	286	92	177	ns		209	103	108	ns	ns		
	T		212	99	160	161a	227	190	163	ns		236	94	143	ns	ns		
	Tukey		200a	107b	106b		21a	23b	24b			173a	69 b	94 b				
Temperatura de hoja (°C)	C	N					22.2	29.1	29.1		26.2	26.1	33.5	34.2		ns	ns	
	M		21.3	27.3	26.7		21.3	27.3	26.7			25.6	31.7	33.2		ns		
	T		23.4	29.0	28.1		23.4	29.0	28.1			26.9	33.3	35.2		ns		
	C	A	28.9	36.4	37.8	34.4a	21.4	29.2	28.1	26.5a	25.8	25.8	32.3	33.8	31.0	ns		ns
	M		27.1	35.8	36.7	33.2b	21.3	27.5	26.8	25.2b		25.3	31.0	33.1	30.0	ns		
	T		28.7	36.4	37.8	34.3a	22.0	28.4	27.7	26.4a		26.1	32.3	34.4	31.4	ns		
	Tukey		28.2c	36.2b	37.4a		21.9c	28.4a	27.7b			26.0c	32.4b	34.0a				
Temperatura ambiente (°C)	C	N					21.1	27.8	27.8		ns	24.7	32.1	33.2		ns	ns	
	M		20.4	26.3	26.3		20.4	26.3	26.3			24.7	30.9	32.6		ns		
	T		22.3	27.9	27.2		22.3	27.9	27.2			25.6	32.0	34.4		ns		
	C	A	27.9	26.5	27.5	ns	20.1	28.2	26.9	25.3	ns	24.6	31.2	33.1	ns	ns		ns
	M		35.7	35.2	35.7	ns	20.4	26.9	26.7	24.5		24.6	30.5	32.8	ns	ns		
	T		37.3	36.3	37.3	ns	20.8	27.4	26.9	25.4		25.1	31.3	33.9	ns	ns		
	Tukey		27.3c	35.5b	36.9a		20.9b	27.4a	27.0a			24.9c	21.3b	33.3a				

Continuación del Cuadro 14)

Variable	Tratamiento	Instancia de medición y momento del día															
		28-12-05					18-01-06					26-01-06					
		Edad de hoja	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Edad de hoja	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Edad de hoja	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Tratamiento * Edad de hoja
Radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$)	C					1256	1456	1232			1389	1367	1173			ns	
	M	N				997	1173	387		ns	1033	985	871			ns	ns
	T					1367	1370	970			1427	1446	1230			ns	
	C		1137	1310	1103	1183 a	1256	1140	1429	1290 a		1371	1494	1177	1329 a	ns	
	M	A	929	1071	809	936b	977	904	539	818b	ns	1033	1022	981	987 b	ns	ns
	T		1350	1274	1168	1264 a	1367	1190	962	1176 a		1349	1454	1254	1360 a	ns	
	Tukey		1138 ab	1218 a	1026 b		1158 ab	1205 a	920b			1267 a	1295 a	1114 b			

Dos o más celdas con la misma letra no difirieron por Tukey $p \leq 0.05$.

Cuadro 15: Efecto del sombreado artificial sobre variables fisiológicas y sobre la temperatura ambiente y radiación fotosintéticamente activa, según edad de la hoja en plantas de arándano, para las dos últimas instancias de medición

Variable	Tratamiento	Instancia de medición y momento del día									
		8-02-16					16-02-06				
		Edad de hoja	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Edad de la hoja	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento
¹⁴ A ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$)	C		4.9	2.9	s/d		8.9	1.7	5.9		
	M	¹⁴ N	4.4	2.1	s/d	4.0b	8.3	3.2	4.6		ns
	T		5.1	4.6	s/d		9.7	0.9	3.8		
	C		8.2	6.5	s/d	ns	8.5	1.4	4.2	ns	
	M	¹⁵ A	6.8	7.5	s/d	ns	6.9a	10.0	1.9	6.3	ns
	T		7.5	4.9	s/d	ns		9.4	1.9	4.7	ns
Tukey		6.2	4.7	s/d		9.1a	4.9b	1.9c			

(Continuación del Cuadro 15)

Variable	Tratamiento	Edad de hoja	Instancia de medición y momento del día								
			8-02-16			16-02-06					
			Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Edad de la hoja	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento
Tasa de transpiración (mmol*m ⁻² *seg ⁻¹)	C	N	1.0	1.3	s/d	1.3b		1.5	2.1	2.2	2.0b
	M		1.0	1.0	s/d			1.3	2.0	2.2	
	T		1.5	1.8	s/d			1.6	3.2	2.0	
	C	A	1.4	2.0	s/d	ns	1.7a	1.5	2.5	2.0	ns
	M		1.4	2.1	s/d	ns		1.3	3.2	2.6	ns
	T		1.5	2.2	s/d	ns		1.6	3.6	2.9	ns
	Tukey		1.3b	1.7a	s/d		1.5b	2.8a	2.3a		
	Edad de hoja* momento del día	N	1.2a	1.4a	s/d			ns	ns	ns	
		A	1.4a	2.1b	s/d			ns	ns	ns	
	Conductancia estomática (mmol*m ⁻² *seg ⁻¹)	C	N	152	39	81	89b		161	87	85
M		101		72	72	103			34	67	
T		153		65	67	129			60	56	
C		A	237	79	118	154a	164a	189	94	145	ns
M			228	104	156	98b		145	197	199	ns
T			313	123	118	161a		165	127	147	ns
Tukey			197a	80b	102bb		149a	100b	117ab		
Tratamiento * momento		C	195	59a	100a			ns	ns	ns	
		ab									
		M	164b	88a	114a			ns	ns	ns	
	T	233a	94a	93a			ns	ns	ns		
Edad hoja * momento	N	135b	59a	74b			ns	ns	ns		
	A	260a	102a	131a			ns	ns	ns		
Temperatura de hoja (°C)	C	N	23.7	30.9	s/d	ns		26.8	38.2	35.5	ns
	M		22.7	29.4	s/d			25.8	37.3	35.4	
	T		23.7	29.6	s/d			26.6	38.1	35.5	
	C	A	23.3	30.4	s/d	27.1	ns	26.4	37.6	35.4	ns
	M		23.0	28.8	s/d	26.0		25.9	37.5	34.7	ns
	T		23.3	29.0	s/d	26.4		26.4	37.4	35.5	ns
	Tukey		23.3b	29.7a	s/d		26.3c	37.7a	35.3b		
Temperatura ambiente (°C)	C	N	22.5	29.5	s/d	ns		26.1	37.7	35.2	ns
	M		21.8	28.5	s/d			25.3	37.0	35.3	
	T		22.6	28.6	s/d			25.9	38.0	35.4	
	C	A	22.2	29.3	s/d	ns	ns	25.7	37.4	35.0	ns
	M		22.3	28.2	s/d	ns		25.4	37.7	34.8	ns
	T		22.2	28.3	s/d	ns		25.8	37.5	35.9	ns
	Tukey		22.3b	28.7a	s/d		25.7c	37.5a	35.3b		

(Continuación del Cuadro 15)

Variable	Tratamiento	Edad de hoja	Instancia de medición y momento del día									
			8-02-16			16-02-06						
			Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Edad de la hoja	Mañana	Medio día	Tarde	Tratamiento	Edad de hoja
Radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$)	C	N	1281	1462	s/d			873	1003	918		
	M		905	1081	s/d	ns		716	1011	753		ns
	T		1322	1402	s/d			888	999	719		
	C	A	1173	1474	s/d	1348a		923	1020	961	ns	
	M		912	1052	s/d	987b	ns	721	714	773	ns	ns
	T		1222	1187	s/d	1283a		906	1174	610	ns	
	Tukey		1136b	1276a	s/d			838ab	987a	789b		

Dos o más celdas con la misma letra no difirieron por Tukey $p\leq 0.05$.

En los Cuadros 14 y 15, se observa que existe un patrón en el comportamiento de las variables fisiológicas, el que se repite al comparar hojas nuevas y adultas: tanto la A, la tasa de transpiración y la conductancia estomática resultan mayores en las hojas adultas respecto a las nuevas ($p\leq 0.05$).

Análisis de regresión y de varianza para las variables fisiológicas y climáticas consideradas

Materiales y métodos

Mediante el uso del SAS 9.1 (SAS Institute Cary, N.C.) se realizó un análisis de regresión según tratamiento y además según edad de hoja dentro de los mismos, con los datos de A, conductancia estomática, temperatura ambiental y de hoja y radiación fotosintéticamente activa, recabados desde el 28 de diciembre del 2005 al 16 de febrero del 2006. Se estudió si la relación existente entre pares de variables resultaba lineal o cuadrática ($p\leq 0.05$). De las regresiones ajustadas se presenta el coeficiente de determinación (R^2) y los parámetros de las ecuaciones, así como la comparación entre los mismos con un intervalo de confianza del 95%.

Resultados del análisis de regresión

En las mediciones realizadas desde diciembre hasta febrero, las temperaturas ambientales y foliares registradas a nivel de tratamientos o de tratamientos y edad de la hoja, no presentaron relación lineal ni cuadrática con los niveles de PAR ($p \leq 0.05$). Ambas temperaturas presentaron patrones similares a lo largo del día, en lo que a valores y significancias estadísticas se refiere ($p \leq 0.05$) (Cuadros 12 y 13). En este sentido en los Cuadros 16 y 17 se observa que a la asociación existente entre ellas se ajusta una relación cuadrática convexa (estimador de β_1 positivo). También resultó cuadrática convexa la relación entre los valores de temperatura recabados para cada tratamiento. Sin embargo cuando se considera la edad de la hoja para cada tratamiento, la relación que mejor se ajusta a los datos resulta ser la lineal, excepto para las hojas nuevas de las testigo que mantienen una relación cuadrática.

Si bien la relación entre los datos de tasa de transpiración y niveles de PAR fue lineal y positiva, al considerar los tratamientos sólo la malla se ajusta a dicha relación, siendo bajísimo el poder predictivo de la ecuación resultante (R^2). Dicha tasa mostró una relación cuadrática cóncava (estimadores de β_1 negativos), con la temperatura foliar y ambiente. Sin embargo esa relación se mantuvo sólo para el tratamiento testigo. Bajo malla la relación entre la tasa de transpiración y las temperaturas fue lineal y positiva mientras que para las tratadas con caolinita sólo se registró relación entre dicha tasa y la temperatura ambiental, siendo la misma también lineal y positiva ($p \leq 0.05$). La relación entre la tasa de transpiración y la conductancia estomática fue cuadrática convexa (estimador de β_1 positivo).

Coincidentemente con lo planteado en el primer capítulo, la relación que mejor se ajustó al comportamiento de la A frente a temperaturas de hoja de 20 a 39°C, fue la lineal negativa (Cuadros 16 y 17). Así mismo la relación entre la A y la temperatura ambiente resultó lineal y negativa, para el rango de temperaturas evaluadas (18.8 a 38.9°C). También fue lineal y negativa la relación resultante entre los valores registrados para dicha tasa y el rango de niveles de PAR (226 a 1652 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$). La relación entre la A y la conductancia estomática resultó cuadrática con un

máximo, para el rango de valores de conductancia de 17.2 a 241.0mmol*m⁻²*seg⁻¹. Sin embargo al considerar los tratamientos, dicha relación se mantuvo sólo para las tratadas con caolinita, mientras que en las ubicadas bajo malla la relación fue lineal y positiva, no ajustándose relación alguna para las testigo (p≤0.05).

La conductancia estomática presentó una relación cuadrática convexa (β1 positivo) con la PAR (p≤0.10), pero al considerar los resultados dentro de cada tratamiento y dentro de éstos según la edad de la hoja, no se registró relación alguna (datos no mostrados). La relación entre la conductancia estomática y la temperatura ambiente y de hoja resultó cuadrática pero cóncava (β1 negativo) (p≤0.05). Las relaciones de la conductancia con las variables de temperatura y radiación descriptas, responden a que en algunas instancias de medición, se observó que hacia la tarde la temperatura de hoja tendía a incrementarse respecto a la del mediodía, al igual que la conductancia estomática, mientras que los niveles de PAR disminuían.

Cuadro 16: Análisis de regresión lineal y cuadrática de las variables fisiológicas y ambientales estudiadas en plantas de arándano sombreadas artificialmente. Comparación de los parámetros de las ecuaciones, con un intervalo de confianza del 95% (IC 95%), para cuando los tratamientos presentan igual relación entre pares de variables

Variable		Parámetros de regresión	Caolinita	Malla	Testigo	IC 95%	
Independiente	Dependiente						
Radiación Fotosintéticamente Activa (μmol*m ⁻² *seg ⁻¹)	¹ A	R ²		0.055	0.05		
		Intercepto		6.6	6.02	ns	
		a		-0.002	-0.002	ns	
	Tasa de transpiración		R ²	0.074			
			Intercepto	0.73			
			a	0.00096			

(Continuación Cuadro 16)

Variable		Parámetros de regresión	Caolinita	Malla	Testigo	IC 95%
Independiente	Dependiente					
Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de hoja	R ²	0.99	0.99	0.99	
		intercepto	0.46	-0.36	-1.11	ns
		a	1.04	1.14	1.18	ns
	A	b	-0.0014	-0.00307	-0.004	ns
		R ²	0.18	0.29	0.38	
		intercepto	10.21	12.52	13.77	ns
	Tasa de transpiración	a	-0.23	-0.3	-0.34	ns
		R ²	0.31	0.28	0.45	
		intercepto	-1.15	-0.57	5.879	
	IC (95%)	a	0.09	0.07	-0.38	
		b			0.008	
			a	a	b	
	Conductancia estomática	R ²	0.14	0.36	0.41	
		intercepto	499.80	850.39	1235.96	ns
		a	-24.94	-46.4	-70.24	ns
Temperatura de hoja (°C)	A	b	0.36	0.68	1.06	ns
		R ²	0.20	0.33	0.42	
		Intercepto	10.97	13.91	15.15	ns
	Tasa de transpiración	a	-0.25	-0.33	-0.38	ns
		R ²		0.24	0.39	
		Intercepto		-1.135	5.38	
Conductancia estomática	a		0.092	-0.34		
	b			0.0074		
	R ²	0.14	0.39	0.42		
Conductancia estomática (mmol*m ⁻² *seg ⁻¹)	A	intercepto	219.0	900.8	497.8	
		a	-4.3	-47.4	-23.7	
		b		0.66	0.32	
	Tasa de transpiración	R ²	0.47	0.65		
		Intercepto	0.69	-1.23		
		a	0.03	0.07		
IC (95%)	b		-0.00012			
	R ²	0.20	0.14	0.10		
	Intercepto	0.68	0.95	1.15	ns	
IC (95%)	a	0.01	0.011	0.011	ns	
	b	2.53*10 ⁻⁵	-2.9*10 ⁻⁵	-2.7*10 ⁻⁵	ns	

Dos o más celdas con la misma letra no difirieron por Tukey $p \leq 0.05$.

Nota:

- Casillas en blanco indican que los pares de variables en cuestión no presentan relación lineal ni cuadrática
- *: indica que la relación fue significativa al 10%.

Cuadro 17: Análisis de regresión lineal y cuadrática de las variables fisiológicas y ambientales estudiadas en plantas de arándano sombreadas artificialmente, según edad de la hoja. Comparación de los parámetros de las ecuaciones, con un intervalo de confianza del 95% (IC 95%), para cuando los tratamientos presentan igual relación entre pares de variables

Variables		Parámetros de regresión	Caolinita		Malla		Testigo		IC (95%)	
Independiente	Dependiente		Adulta	Nueva	Adulta	Nueva	Adulta	Nueva		
Radiación Fotosintéticamente Activa ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$)	¹ A	R ²		0.15				0.069		
		Intercepto		8.16				6.08	ns	
		a		-0.004				-0.002	ns	
	Tasa de transpiración	R ²		0.13	0.10		0.06			
		Intercepto		2.41	0.76		1.25		ns	
		a		-	0.0012		0.00074			
		IC (95%)		0.00086a	b		b			
	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de hoja	R ²	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	
			intercepto	5.28	8.16	4.84	4.29	5.89	-2.93	
			a	-0.0013	-0.0040	-0.0009	-0.001	-0.0017	1.32	
b								-	0.0063	
IC (95%)			a	a	a	a	a	b		
A		R ²	0.50	0.10	0.33		0.44	0.35		
		intercepto	14.78	9.0	13.31		14.42	12.95	ns	
		a	-0.36	-0.2	-0.32		-0.35	-0.33	ns	
		R ²	0.41			0.36	0.42	0.48		
		intercepto	-0.64			-1.39	-1.29	8.17		
Tasa de transpiración		a	0.08			0.09	0.11	-0.54		
		b						0.01		
		IC (95%)	a			a	a	b		
		R ²	0.44	0.34	0.20		0.50	0.32		
Conductancia estomática		intercepto	644.3	1176.4	263.7		1156.2	1304.3		
	a	-31.4	-69.2	-5.4		-63.8	-75.9			
	b	0.43	1.05			0.94	1.15			
	IC (95%)	a	a	b		a	a			

(Continuación del Cuadro 17)

Variables		Parámetros de regresión	Caolinita		Malla		Testigo		IC (95%)	
Independiente	Dependiente		Adulta	Nueva	Adulta	Nueva	Adulta	Nueva		
Temperatura de hoja (°C)	A	R ²	0.53	0.15	0.35		0.47	0.37		
		intercepto	15.93	10.73	14.10		15.57	14.63	ns	
		a	-0.39	-0.24	-0.34		-0.38	-0.37	ns	
	Tasa de transpiración	R ²	0.53			0.35	0.47	0.42		
		intercepto	-0.74			-1.41	-1.4	9.29		
		a	0.08			0.09	0.11	-0.60		
	Conductancia estomática	R ²	0.47	0.36	0.23		0.48	0.37		
		intercepto	692.9	1218.9	282.1		1166.6	1561.6		
		a	-33.0	-68.5	-5.9		-62.1	-89.9		
		b	0.43	1.00			0.89	1.34		
		IC (95%)	b	b	a	a	b	b		
	Conductancia estomática (mmol*m ⁻² *seg ⁻¹)	A	R ²	0.62				0.52		
			Intercepto	-1.89				-1.044		ns
			a	0.07				0.05		ns
			b	-0.00012				-5.7*10 ⁻⁵	b	
Tasa de transpiración		R ²	0.02	0.21	0.07	0.10	0.05	0.19		
		Intercepto	0.58	1.04	1.33	0.74	1.57	0.84		
		a	0.01	0.004	0.004	0.08	0.008	0.01		
	b	-3.2*10 ⁻⁵				-2.0*10 ⁻⁵	-3.0*10 ⁻⁵			
	IC (95%)	b	a	a	a	b	b			

Dos o más celdas con la misma letra no difirieron por Tukey p≤0.05.

Nota:

- Casillas en blanco indican que los pares de variables en cuestión no presentan relación lineal ni cuadrática.

Determinación del factor limitante de la A, estudio de la eficiencia de carboxilación y de la tasa de respiración

Materiales y métodos

Los datos empleados en los análisis detallados a continuación, fueron recabados según la metodología de las curvas de tasa fotosintética según concentración subestomática de CO₂ (Ci) descrita en el primer capítulo. El procesamiento de los mismos con la sección “ACi mechanstic”

del programa Photosyn Assistant 1.1 (Dundee Scientific, Dundee, UK), dio lugar a: *a*) la curva W_c , correspondiente a cuando la tasa fotosintética (A) es limitada por la actividad de la Rubisco ($V_{c\text{máx}}$), *b*) la curva W_j , correspondiente a cuando la A es limitada por la tasa de regeneración de la RuBP ($J_{\text{máx}}$) y *c*) la W_p que se corresponde a cuando la tasa de utilización de la triosa fosfato (TPU) es la limitante de la A . Mediante el uso de las mismas se determinó el factor limitante de la A y su valor. Los datos de tasa de respiración que se presentan en el Cuadro 19 son los calculados por la sección “Aci Empirical Análisis”, al estimar la eficiencia de carboxilación.

Factor limitante de la tasa fotosintética, comportamiento de la eficiencia de carboxilación y de la tasa de respiración

Las curvas de W_c , W_j y W_p estimadas para cada edad de hoja desde marzo a junio del 2006 indican que la utilización de la triosa fosfato (TPU) no limita la A , siendo en general la actividad de la Rubisco ($V_{c\text{máx}}$), el factor limitante (Cuadro 18).

Cuadro 18: Factor limitante de la tasa fotosintética y su valor en plantas de arándano tratadas con cobertura y testigo, según edad de la hoja durante el otoño e invierno. Caracterización climática de las instancias de medición

Tratamiento	Edad de hoja	Valor del factor limitante				1-3-06		30-3-06		27-4-06		6-6-06	
		1-3-06	30-3-06	27-4-06	6-6-06	¹ PAR ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$)	² Th (°C)	PAR	Th	PAR	Th	PAR	Th
		Caolinita	55	28	31	34	1054	28.7	1422	25.7	1294	24.9	1284
Malla	Nueva	47	26	12	34	887	27.9	1023	23.8	1211	25.3	1247	19.1
Testigo		74	42	<i>278</i>	34	1413	30.1	1376	25.5	1346	25.3	1201	19.8
Caolinita		33	32	41	18	1304	29.1	1149	24.5	1303	24.7	1266	19.6
Malla	Adulta	<i>203</i>	40	36	23	913	28.3	947	23.9	1190	24.6	1079	18.8
Testigo		49	<i>213</i>	38	33	1410	30.1	1295	25.2	1297	24.7	1098	19.9

Nota:

- números en negrita indican que la A fue limitada por la actividad de la enzima Rubisco
- números en itálica indican que la A fue limitada por la regeneración de la Ribulosa BP

¹PAR: radiación fotosintéticamente activa

²Th: temperatura de hoja

La eficiencia de carboxilación y la máxima actividad de la Rubisco ($V_{cm\acute{a}x}$), factores determinantes de la A (Taiz and Zeiger, 1991), disminuyeron su valor desde marzo hacia junio (Cuadro 18), junto con la temperatura de hoja, al pasar ésta de 30 a 19°C (Figuras 11 y 12).

Dicho comportamiento coincide con lo señalado por Taiz y Zeiger (1991), respecto al comportamiento de esas variables en respuesta de la temperatura de hoja. Sin embargo, estos resultados se contradicen con lo analizado en el primer capítulo respecto a que la A disminuye gradualmente a medida que la temperatura de hoja aumenta de 22 a 29°C. La discrepancia puede que responda al período del año en que se realizaron las curvas de A-Ci, ya que hacia el invierno las plantas de arándano van entrando en dormición. Por tanto, puede que la gradual entrada de las plantas en dormición, haya influido en las menores eficiencias de carboxilación y $V_{cm\acute{a}x}$ registradas hacia el invierno, a medida que tanto la temperatura ambiental y la de hoja disminuían (Figuras 11 y 12).

A diferencia de lo esperado, dado las mayores A observadas en las hojas adultas durante diciembre y febrero (Cuadros 14 y 15), la eficiencia de carboxilación desde marzo a junio en los tratamientos de cobertura, resultó ser mayor en las hojas nuevas que en las adultas. Este comportamiento, también podría responder a la entrada en el proceso de dormancia en el que se supone estaban entrando las plantas, sugiriendo un mayor avance de las hojas adultas en el mismo (Cuadro 19).

En las plantas ubicadas bajo malla, las hojas adultas presentan en general, una menor eficiencia de carboxilación que en los restantes tratamientos, mientras que al comparar entre las nuevas, las mayores eficiencias de carboxilación se observan en alguno de los tratamientos de cobertura.

La tasa de respiración en los tratamientos de cobertura resultó mayor en las hojas nuevas que en las adultas, pero no así en las testigo (Cuadro 19). Independientemente de la edad de la hoja, la tasa de respiración tiende a ser menor en las plantas correspondientes al tratamiento malla (Cuadro 19).

Cuadro 19: Tasa de respiración y eficiencia de carboxilación según edad de hoja, en plantas de arándano tratadas con cobertura (1° y 30 de marzo) y luego de retirar la misma (27 de abril y 6 de junio) y en las testigo

Tratamiento	Edad de hoja	Tasa de respiración ($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$)				Eficiencia de carboxilación ($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1} / (\text{Pa CO}_2)$)			
		1-3-06	30-3-06	27-4-06	6-6-06	1-3-06	30-3-06	27-4-06	6-6-06
Caolinita	Nueva	-13.5	-4.4	-17.2	-4.9	1.3	0.1	5.4	0.8
Malla		-9.1	-4.1	-4.6	-4.6	0.8	0.7	0.5	0.4
Testigo		-10.9	-4.4	-1.7	-2.9	0.8	0.3	0.2	0.4
Caolinita	Adulta	-6.4	-5.1	-3.2	-2.5	0.7	0.5	0.4	0.3
Malla		-3.0	-3.4	-3.2	-2.2	0.4	0.4	0.3	0.3
Testigo		na	-4.6	-4.8	-3.1	na	0.5	0.6	0.5

Nota: “na” significa que el programa no pudo calcular el valor de la variable en cuestión.

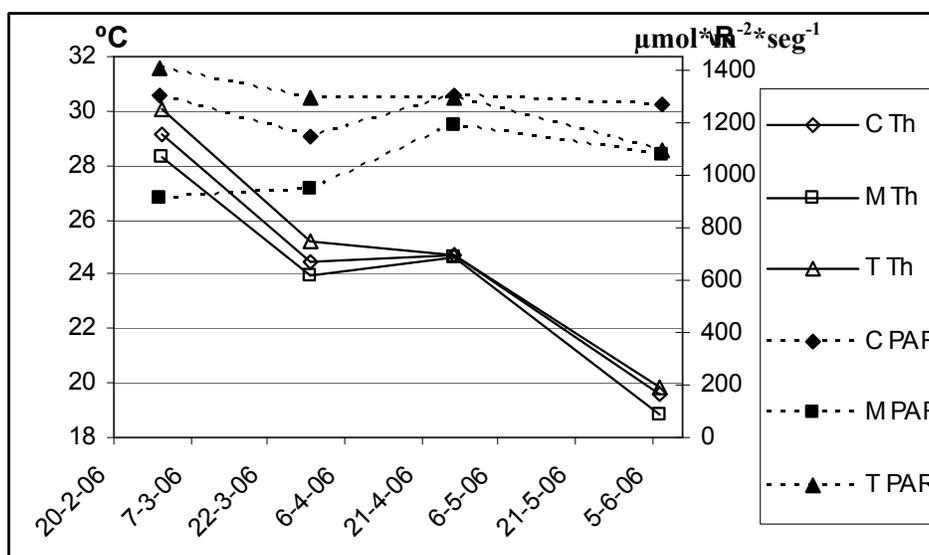


Figura 11: Caracterización climática de las instancias en las que se realizaron las curvas de A-concentración subestomática de CO_2 , en hoja adulta de plantas de arándano tratadas con cobertura y testigo. (C: caolinita; M: malla; T: testigo).

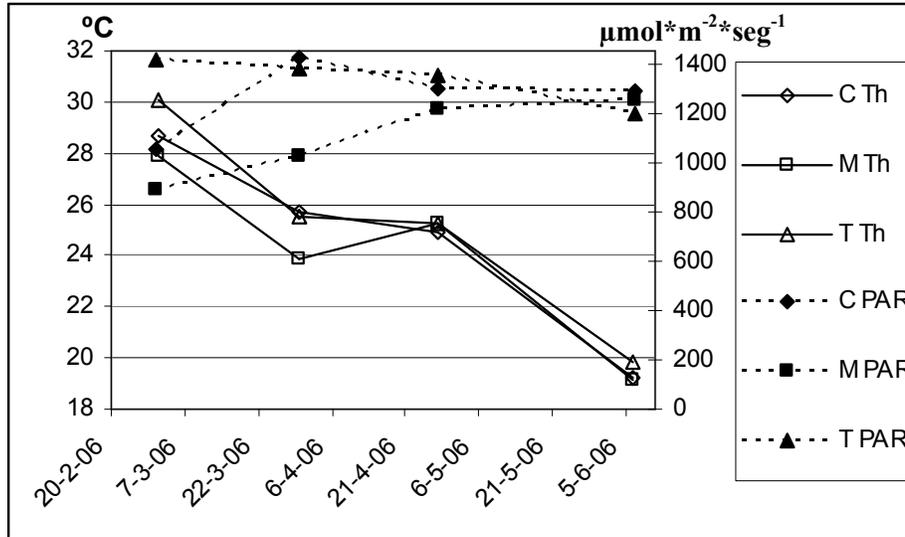


Figura 12: Caracterización climática de las instancias en las que se realizaron las curvas de A-concentración subestomática de CO_2 , en hoja nueva de plantas de arándano tratadas con cobertura y testigo. (C: caolinita; M: malla; T: testigo).

Tasa fotosintética estimada a partir de su factor limitante

Material y métodos

Mediante el uso de las fórmulas de A de cada factor limitante, se calculó el valor de dicha tasa. Para ello se consideró el valor del factor limitante en cuestión y su correspondiente tasa de respiración estimada por la sección "ACi mechanstic".

Resultados

Como se puede observar en el Cuadro 20, cuando la tasa de transporte de electrones provenientes de la fase luminosa de la fotosíntesis, limita la regeneración de la Ribulosa bifosfato, pasando ésta a ser el factor limitante de la A, los valores estimados de la tasa fotosintética aumentan.

Cuadro 20: Tasa fotosintética según edad de hoja en plantas tratadas con cobertura y testigo, calculado con la fórmula correspondiente a cada factor limitante

Tratamiento	Edad de hoja	Tasa Fotosintética Estimada ($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$)			
		1-3-06	30-3-06	27-4-06	6-6-06
Caolinita	Nueva	13.6	4.7	12.8	9.8
Malla		10.7	3.7	3.3	14.6
Testigo		20.4	4.2	<i>21.9</i>	10.6
Caolinita	Adulta	9.0	10.4	10.2	6.7
Malla		<i>21.0</i>	8.4	8.2	12.5
Testigo		13.7	<i>20.4</i>	19.8	11.0

Nota:

- números en negrita indican que el factor limitante de la A fue la actividad de la enzima Rubisco
- números en itálica indican que el factor limitante de la A fue la regeneración de la Ribulosa BP

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. FAO, Irrigation and drainage. Paper 56.
- Baraldi, R., F. Rapparini, A. Rotondi and G. Bertazza. 1998. Effects of simulated light environments on growth and leaf morphology of peach plants. Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 73 (2). Pp: 251-258.
- Blanke, M.M. 2000. Photoinhibition in Citrus. Proc. Intl. Soc. Citricult. IX Congr. Pp: 619-622.
- Cohen S., E. Raveh, Y. Li, A. Grava and E.E. Goldschmidt. 2000. Citrus Response to radiation load reduction: water use, photosynthesis, and productivity.

- Cohen S., E. Raveh, Y. Li, A. Grava and E.E. Goldschmidt. 2005. Physiological responses of leaves, tree growth and fruit yield of grapefruit trees under reflective shade screens. *Scientia Horticulturae* xxx (2005) xxx-xxx. In press.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6TC3-4GR8N9M-1/2/f68414ab6fc4f3935f2a2623ae141bee>
- Cohen S., S. Moreshet, L. Le Guillou, J.C. Simon and M. Cohen. 1997. Response of citrus trees to modified radiation regime in semi-arid conditions. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 48, N° 306, pp. 35-44.
- Darnell R.L., G.W. Stutte, G.C. Martin, G.A. Lang and J.D. Early. 1992. Developmental physiology of rabbiteye blueberry. *Horticultural Reviews*. Vol.13. 339-404.
- Flore, J.A. and A.N. Lakso. 1988. Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. *Horticultural Reviews*. Vol 11. Pp. 111-157.
- Germaná, C., A. Continella and E. Tribulato. 2001. Bio-agronomic Effects of net shading on 'Primosole' mandarin. *Acta Hort.* 559, ISHS. Proc. 5th Protect. Cult. Mild Winter Clim. Eds. Fernandez, Martinez y Castilla.
- Gough R.E. 1994. Ch. 4. Climatic Requirements. In: *The Highbush blueberry and its management*. Food Product Press, The Haworth Press. pp 67-78.
- <http://www.inia.org.uy/online/site/9514I1.php> (Base de datos de INIA)
- Jifon J.L and J.P. Syvertsen, 2003. Kaolin particle film applications can increase photosynthesis and water use efficiency of 'Ruby Red' grapefruit leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128 (1):107-112).
- Jifon, J.L. and J. Syvertsen. 2000. Reducing midday irradiance increases net CO₂ assimilation in citrus leaves. *Abstract. HortScience*, Vol.35 (3).P:476.
- Kasperbauer, M.J. and K. Kaul. 1996. Cap. 18. Light quantity and quality effects on source-sink relationships during plant growth and development. In: *Photoassimilate distribution in plants*

and crops. Source-sink relationships. Zamski, E. and A.A. Schaffer. Ed. Marcel Dekker, Inc. Pp. 421 – 440.

- Korcak, R.F. 1988. Nutrition of blueberry and other calcifuges. Subcap.: IV Roots. In: Horticultural Reviews. Vol 10. Ed Jules Janick, Purdue University.
- Moon J.W., J.A. Flore and J.F. Hancock, Jr. 1987. A comparison of carbon and water vapor gas exchange characteristics between a diploid and Highbush blueberry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112 (1):134-138.
- Pizarro, F. 1990. Riegos localizados de alta frecuencia. Ed. Mundiprensa.
- Raveh E., S. Cohen, T. Raz, D. Yakir, A. Grava and E. E. Goldschmidt. 2003. Increased growth of young citrus trees under reduced radiation load in a semi-arid climate. Journal of Experimental Botany, Vol. 54, No.381, pp.365-373.
<http://jxb.oxfordjournals.org/cgi/content/full/54/381/365>
- Shahak Y., E.E. Gusasakovsky, Y. Cohen, S. Lurie, R. Stern, S Kfir, A. Naor, I. Atzmon, I. Doron and Y. Greenblat-Avron. 2002. Colornets: A new approach for light manipulation in fruit trees. Acta Hort., Proc. Intern. Congr. Hort. Toronto.
- Spann, T.M., J.G. Williamson and R.L. Darnell. 2004. Photoperiod and temperature effects on growth and carbohydrate storage in Southern highbush blueberry interspecific hybrid. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129 (3): 294-298.
- Spiers J.D., F.B. Matta, D. Marshall, 2003. Effects of kaolin particle clay particle film on Southern highbush (*Vaccinium corymbosum*) blueberry plants. Small Fruits Review, Vol. 2 (4).
- Spiers, J.M. 1995. Substrate temperatures influence root and shoot growth of Southern highbush and rabbiteye Blueberries. HortScience 30 (5). Pp.: 1029-1030.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 1991. Plant Physiology. Ed. The Benjamin/Cummings publishing company, Inc. p.1-565.

- Teramura, A.H., F.S. Davies and D.W. Buchanan. 1979. Comparative photosynthesis and transpiration in excised shoots of rabbiteye Blueberry. HortScience, 14 (6): 723-724.

CAPITULO III

CONCLUSIONES

La evolución del crecimiento de las plantas de arándano, mostró dos flujos de crecimiento vegetativo aéreo, uno hacia fines de enero y otro hacia fines de febrero – principios de marzo. El segundo flujo de menor magnitud ($p \leq 0.05$), estaría asociado al proceso de iniciación floral (Spann et al., 2004) y a un posible flujo de crecimiento de raíces (Korcak, 1988). A diferencia de lo planteado por Spiers (1995), el comportamiento del crecimiento vegetativo aéreo, coincidió con la evolución de las temperaturas de suelo dentro de un rango de 21 a 29°C (Figura 8). Durante el período de aplicación de tratamientos de cobertura, la temperatura ambiente promedio diaria mostró una relación positiva con la tasa de crecimiento, mientras que la radiación total incidente promedio diaria presentó una relación inversa con dicha tasa, lo cual confirmaría la hipótesis de que los Southern highbush son proclives a fotoinhibirse. Además, el comportamiento diario de la A, gs, temperatura de hoja y PAR confirman la hipótesis del efecto positivo de disminuir elevados niveles de PAR y temperatura de hoja sobre la A. Si bien ambos tratamientos de cobertura disminuyeron la PAR y además la malla la temperatura foliar, ninguno de ellos incrementó la tasa fotosintética ($p \leq 0.05$). A pesar de ello y de los elevados CV de las variables de crecimiento vegetativo, las plantas sombreadas con malla presentaron un mayor crecimiento vegetativo que las restantes, tanto en largo como en número de nudos por planta. El desarrollo del área foliar no fue afectado por los tratamientos de sombra, a diferencia de lo señalado por distintos autores (Kasperbauer and Kaul, 1996; Taiz and Zeiger, 1991), así como tampoco el comportamiento reproductivo medido en número de yemas reproductivas/100nudos. Si bien la relación entre MS aérea y MS total de la planta no varió entre tratamientos, la materia seca de raíces fue mayor en las plantas sombreadas con malla pero no así la materia seca de la zona aérea, la cual no varió entre tratamientos ($p \leq 0.05$). Esta no coincidencia entre significancias pareciera responder al elevado coeficiente de variación de la materia seca aérea (31.9%). El mayor crecimiento radical registrado bajo malla no puede atribuirse a un posible efecto de la misma sobre la temperatura de suelo ($p \leq 0.05$).

Dado que se constató un riego homogéneo entre parcelas, el menor contenido de agua en el suelo, registrado en alguna de las instancias de medición en las parcelas tratadas con cobertura, indica un consumo de agua diferencial de sus plantas respecto a las testigo ($p \leq 0.05$).

Los resultados sugieren, principalmente para las plantas sombreadas con malla, que su disponibilidad de carbohidratos fue mayor, pero sin embargo como se mencionó anteriormente, ello no se corroboró ni con mayores A ni tampoco con mayores A estimadas de planta, la cual sólo en aquellas plantas tratadas con caolinita y en la medición del 16 de febrero resultó superior que en los restantes tratamientos ($p \leq 0.05$). La mayor A estimada de planta registrada en ellas en esa fecha puede que responda a la interacción entre la mayor A de las hojas adultas y la composición de su follaje, en el cual el área representada por las hojas adultas no llegó a diferenciarse de los restantes tratamientos ($p \leq 0.05$).

La no coincidencia entre los resultados de crecimiento vegetativo y los de A, así como los elevados coeficientes de variación de ambos tipos de variables sugieren que el diseño experimental empleado no fue el adecuado. En este sentido se observó que si bien el efecto de los tratamientos sobre la A no fue significativo y que la malla disminuyó la gs ($p \leq 0.05$), el mayor incremento porcentual de la A en relación al de la gs, se observó en las testigo, en la instancia de medición que presentó los menores niveles de PAR registrados en todo el período y en la medida que las temperaturas de hojas del mediodía disminuyeron hacia la tarde.

De todos modos, la discrepancia observada en el presente trabajo, entre el efecto de la cobertura de caolinita y de malla sobre la gs y la A de plantas de arándano, respecto a lo observado en plantas de *Citrus*, parece responder a que en éstas últimas la A responde a la gs y ésta a la tasa de transpiración (Cohen etl., 1997), mientras que en los arándanos la A parece responder a la temperatura foliar y a la PAR, y la gs a la A.

El mayor crecimiento vegetativo aéreo registrado en las plantas sombreadas con malla respecto a las sombreadas con caolinita ($p \leq 0.05$), puede responder a una posible disminución del ϕ bajo malla, así como también a que las plantas tratadas con caolinita presentaron una adecuada cobertura durante

un menor período. Así mismo, se considera relevante en las respuestas observadas en los tratamientos de cobertura, las condiciones climáticas de la temporada del ensayo. Ella se caracterizó por temperaturas ambientales y radiaciones inferiores a las de años promedio, incidiendo negativamente en la expresión del efecto potencial de las coberturas sobre el crecimiento vegetativo aéreo y las variables fisiológicas medidas en las plantas de arándano Southern highbush, variedad 'O'Neal'.

En base a estos resultados, mejorando el diseño del ensayo de modo de disminuir los CV, sería interesante profundizar en el estudio del posible proceso de fotoinhibición que puede estar ocurriendo en las plantas de arándano al mediodía de días estivales, así como también en el estudio de la incidencia de temperaturas foliares elevadas sobre su A. Ello permitiría avanzar en el conocimiento de medidas de manejo que potencien su crecimiento vegetativo durante los meses de mayor radiación y temperatura.

En este trabajo también se lograron avances en definir y ajustar metodologías de medición adecuadas para la investigación en arándano, cultivo de reciente importancia en nuestro país.