

Comparación de dos sistemas modernos de conducción de Cerezo (*Prunus avium*) en base a la eficiencia de intercepción lumínica

C. GODOY¹ & J. TOGNETTI²

¹Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce.

²Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.
Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce.
carlosgodoy2004@yahoo.com.ar

GODOY, C. & J. TOGNETTI. 2007. Comparación de dos sistemas modernos de conducción de Cerezo (*Prunus avium*) en base a la eficiencia de intercepción lumínica. *Rev. Fac. Agron. Vol 106 (2): 177-188.*

Los sistemas de conducción modernos de cerezos son diseñados para maximizar la intercepción lumínica y optimizar su distribución en el canopeo, y de esta manera incrementar la productividad y mejorar la calidad de los frutos. Se evaluaron dos sistemas: Eje Central (EC) con moderadamente alta densidad de plantación y Tatura Modificado (TM) con muy alta densidad, en términos de intercepción de energía lumínica y distribución del área foliar en el canopeo, en una plantación comercial durante dos temporadas consecutivas. El perfil de intercepción de TM puso en evidencia una mayor iluminación en el centro de la doble fila con respecto a EC en el centro de la fila. La intercepción a nivel del suelo fue de 21 % en EC y de 38 % en TM, habiéndose determinado un índice de área foliar (IAF) para EC de 2,02 y de 3,89 para TM. La eficiencia en la penetración de la luz en el canopeo fue mayor en TM que en EC. Al evaluar el diámetro basal de las ramas laterales, los árboles conducidos en TM resultaron más equilibrados.

Palabras claves: *Prunus avium* - luz - Eje Central - Tatura - área foliar - intercepción de luz - Sistemas de conducción de cerezo.

GODOY, C. & J. TOGNETTI. 2007. A comparison of two modern sweet cherry (*Prunus avium*) training systems on the basis of light interception efficiency. *Rev. Fac. Agron. Vol 106 (2): 177-188.*

Modern cherry training systems are aimed at increasing light interception and optimizing light distribution within the canopy, and therefore increasing productivity and improving fruit quality. Two systems were studied: an intermediate to high density Central Axis (EC) system and a very high density V-trellis (TM) system, on the basis of light interception and canopy arrangement, on a commercial orchard during two consecutive years. TM light interception profile exhibited higher light availability in the middle of the double row than EC in the middle of the row. Light interception at the ground level was 21 % in EC and 38 % in TM; and the leaf area index (IAF) was 2.02 in EC and 3.89 in TM. Light penetration into the canopy efficiency was higher in TM than in EC. In terms of basal diameter of lateral branches, trees were more balanced in TM than in EC.

Keywords: *Prunus avium* - light - Central Axis - Tatura - leaf area - light interception.

INTRODUCCIÓN

La productividad de un monte frutal, en términos de materia seca total, es función de la intercepción de luz disponible (Wünsche *et al.*, 1996). La producción de fruta de calidad comercial depende, además, de la distribución

de la luz en el interior de la copa (Robinson & Lakso, 1991). Durante el desarrollo del fruto, la deficiencia lumínica puede provocar una disminución del tamaño del fruto, afectando al mismo tiempo su color y el nivel de sólidos solubles (Flore & Layne, 1999).

En los montes frutales modernos se pro-

cura maximizar la intercepción lumínica en el corto plazo (Flore *et al.*, 1996). Este principio básico también se aplica a las plantaciones de cerezos (Simunovic, 1995). Se puede aumentar el nivel de intercepción lumínica a través del incremento del número de plantas por hectárea (Loreti *et al.*, 1996) y de la optimización de la forma del árbol (Wagenmakers & Callensen, 1995).

En la actualidad se tiende hacia el diseño rectangular de plantación, es decir, utilizar una mayor distancia entre las filas que la distancia entre los árboles en la fila. De esta manera se forma un seto continuo de follaje sobre la fila, manteniéndose suficiente espacio entre las filas para permitir el paso de la maquinaria, y a su vez proveer a la iluminación de las plantas por ambos lados (Razeto Migliaro, 1992).

La orientación N – S permite una iluminación más homogénea de los árboles (Razeto Migliaro, 1992). En el hemisferio sur, cuando las filas están orientadas E-W, la mayor parte de la radiación absorbida es captada por el lado norte del canopeo (Zufferey & Murisier, 1997). En las filas orientadas E–W se tiene en general una intercepción total similar (Charles-Edwards & Thorpe, 1976; Robinson & Lakso, 1991) o incluso levemente superior a la N–S (Corelli & Sansavini, 1988), pero una distribución sobre los dos lados de la fila bastante asimétrica (Corelli & Sansavini, 1988; Jackson, 1980). Además la calidad de los frutos suele ser superior en el lado expuesto al sol en filas orientadas E-W (Jackson, 1980). Cabe esperar que esta situación se intensifique conforme aumenta la latitud, por efecto de la declinación solar.

La distribución de la luz en el interior de la copa puede resultar favorecida por el empleo de árboles de menor porte, que suelen presentar un mayor porcentaje de hojas bien expuestas a la luz (Bargioni, 1988; Hampson *et al.*, 2004), debido a la mayor relación entre superficie y volumen del árbol (Bellini, 1994) y a la menor proporción de esqueleto (Bargioni, 1988).

Los nuevos esquemas de producción en cerezos procuran precocidad de fructificación y la factibilidad de ejecutar labores desde el

suelo y/o la mecanización (Kulczewski, 2001). Los montes de cerezos en alta densidad (sobre 700 plantas por ha) permiten un incremento de la producción temprana al reducirse el período improductivo inicial, una mayor eficiencia en las operaciones culturales del monte y el aumento de la producción de fruta en relación al crecimiento vegetativo (Valenzuela Medina, 1995). El canopeo se debe manejar para producir la mayor cantidad de fruta lo más cerca posible del suelo (Simunovic, 1995). Los cerezos tienen un hábito de crecimiento vigoroso y erecto (Boucher & Adams, 1995), presentando una marcada acrotonía (Claverie, 2001), entrada en producción tardía y tendencia a brotar en ángulos muy cerrados (Long, 2001a). El control del vigor y el manejo del canopeo en cerezos se efectúa a través de la poda en verde, el empleo de reguladores de crecimiento, la racionalización del riego (Boucher & Adams, 1995) y la ortopedia o arqueamiento de brotes (Flore *et al.*, 1996). También se puede recurrir a la utilización de portainjertos enanizantes (Edin *et al.*, 1997) o la combinación de portainjertos estándares con variedades de fructificación precoz y hábito de crecimiento semidrádifero (Valenzuela Medina, 1995).

Los nuevos sistemas de conducción de cerezos se basan en la alteración del hábito de crecimiento de los árboles que, al permitir una adecuada penetración de la luz al interior de la copa, estimule la generación temprana de yemas florales (Valenzuela Medina, 1998). Entre dichos sistemas figuran el Spindle y sus variantes (Flore *et al.*, 1996; Hrotkò *et al.*, 1998; Hrotkò *et al.*, 1999; Long, 2001), el Vasito Español (Gallinat, 1998; Long, 2001a), el Solaxe (Claverie *et al.*, 1997) y el Tatura Trellis (Van den Ende, 1998; Flore *et al.*, 1996). En la Argentina, varios de estos sistemas de conducción modernos se están implementando en el valle inferior del río Chubut, en el alto valle del río Negro y en el sudeste de la provincia de Buenos Aires.

El sistema Eje Central, considerado una variante del Spindle (Flore *et al.*, 1996), se basa en lograr una cantidad de ramas laterales so-

bre el eje lo más pronto posible. Estas ramas laterales constituirán los cargadores de fruta y ayudarán al equilibrio del árbol en el corto plazo (Valenzuela Medina, 1998).

En el sistema Tatura las plantas están apoyadas sobre una estructura en forma de V (Van den Ende, 1998) dispuesta en forma perpendicular a la fila. Una variante (Tatura Modificado o «V-trellis») consiste en plantar los árboles en forma inclinada, alternándolos hacia cada lado de la estructura en V y conduciéndolos en eje simple sin podar (Valenzuela Medina, 1998). La peculiaridad de esta variante del Tatura es la utilización de una gran cantidad de árboles por unidad de superficie (Valenzuela Medina, 1995), dado que son plantados en doble fila.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la captación de energía lumínica y la distribución del área foliar en el canopeo de cerezos en dos sistemas: Eje Central con moderadamente alta densidad de plantación y Tatura Modificado con muy alta densidad de plantación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La parcela experimental fue demarcada, en base al desarrollo y homogeneidad de las plantas, dentro de una plantación comercial ubicada en las cercanías de la localidad de Cmte. Nicanor Otamendi, Pdo. de Gral Alvarado (Pcia. de Buenos Aires), a 38° 07' S y 57° 49' W.

Los cerezos pertenecían a la variedad autofértil 'Sweetheart', injertados sobre *Prunus mahaleb* de semilla ('seedlings') y fueron plantados sobre camellones a fin de disminuir el riesgo de asfixia radical. Las filas de la plantación estaban orientadas en dirección NW – SE. Los sistemas de conducción evaluados fueron: 1- Eje Central (EC) y 2- Tatura Modificado (TM):

1. Eje Central (Figura.1): las plantas se dispusieron a 2 m entre plantas en la fila x 5 m entre filas (1.000 pl / ha). Este sistema favoreció el desarrollo de un eje central fuerte, procurando obtener un árbol con una forma piramidal. En la segunda y tercera temporada se aplicó Promalina® (GA₄₊₇ + BA, 5000 ppm) a

yema hinchada, en mezcla con pintura en base a látex, puntualmente en yemas seleccionadas para promover su brotación. Los brotes elegidos fueron sometidos a torsión en la base para tornarlos horizontales, sujetándolos con gramapas al suelo. En el caso en que las ramificaciones alcanzaran un diámetro mayor a 1/3 del eje, éstas fueron recortadas para evitar la excesiva competencia con el eje. Se aplicó poda en verde a fin de contener el follaje dentro del sistema adoptado. La poda de producción incluyó los rebajes de las laterales para aumentar la producción de ramilletes y las podas de renovación.

2. Tatura Modificado (Figura 2): las plantas fueron apoyadas en una estructura en forma de V, dispuesta perpendicularmente a las filas. Los árboles se plantaron alternadamente a lo largo del camellón, es decir en tresbolillo,



Figura 1. Cerezos "Sweetheart" conducidos en Eje Central, en plena floración.

"Sweetheart" cherries trained on a Central Axis system in full bloom.



Figura 2. Cerezos "Sweetheart" conducidos en Tatura Modificado, en plena floración.

"Sweetheart" cherries trained on a Modified Tatura system in full bloom.

a 1,50 m entre plantas en la fila, en doble fila, x 5 m entre camellones (2.667 pl / ha). En la segunda y tercera temporada se aplicó Promalina® (GA₄₊₇ + BA, 5000 ppm) a yema hinchada, en mezcla con pintura en base a látex, puntualmente en yemas seleccionadas para promover su brotación. Los brotes elegidos fueron sometidos a torsión en su base, sujetándolos seguidamente a los alambres de la estructura. Mediante poda en verde se eliminaron las ramas que crecían dentro de la V. La prolongación de los ejes (líderes) se doblaron hasta la horizontal, a fin de controlar el vigor y el equilibrio de los árboles (Claverie *et al.*, 1997). Se permitió que los líderes se unan, de acuerdo a los primeros esquemas de Tatura (Loomis & Connor, 2002). La poda de producción consistió en recorte de los laterales a fin de aumentar

la producción de ramilletes («dardificación») y podas intensas de renovación.

Las observaciones se realizaron durante dos temporadas consecutivas sobre las mismas plantas. Los lotes ya habían entrado en producción comercial en la primera temporada. Previo al inicio de la maduración de los frutos se realizó poda en verde (Denholm & Connor, 1982), a los efectos de mantener la arquitectura del canopeo conforme al sistema de conducción elegido.

Intercepción de la radiación

Se midió la intercepción de radiación fotosintéticamente activa (RFA) bajo condición de cielo despejado, una vez que se produjo el viraje del color de fondo de los frutos, que marca el inicio de la maduración. Las determinaciones de RFA se hicieron el 9/12/2000 y 9/12/2001, mediante el empleo de un sensor cuántico lineal LI 191 SB (Li-Cor, Inc. Lincoln, Nebraska, USA) dispuesto transversalmente a la dirección de las filas. La restricción impuesta por la longitud del sensor (1 m) se superó, en cada caso, con una serie de lecturas a lo largo de una línea (Nobel *et al.*, 1993). Se midió la RFA a las siguientes distancias desde la fila: 0 m, 0.5 m, 1 m, 1.5 m, 2 m y 2.5 m, a cada lado de la fila, en tres niveles o alturas: 0 m, 1 m, 2 m. Se efectuaron tres repeticiones para cada combinación de distancia y altura. A lo largo de la fila el TM presentó un canopeo homogéneo, en cambio el EC registró cierta desuniformidad (no se muestran los datos). Por tal motivo la transecta de medición cortó la fila aproximadamente a ¼ de la distancia entre plantas, de manera que se muestreó a través de la zona central de la copa.

La intercepción relativa se calculó como

$$IR = (1 - I/I_0) * 100,$$

donde:

I= RFA incidente en el nivel n

I₀= RFA incidente al tope del canopeo

Para cada altura, se ajustaron curvas de intercepción relativa (IR) con respecto a la distancia entre filas, mediante regresión lineal múltiple. Se integraron los modelos correspondientes a la IR registrada a distintos niveles. La intercepción media (IM, expresada en porcentaje) fue calculada como el cociente entre el valor de la integral de IR y la distancia entre filas. Se efectuó el análisis de varianza de la intercepción media a nivel del suelo (IM_0) de acuerdo al siguiente modelo:

$$IM_0 = \text{Sist.} + \text{Año} + \text{Sist.} \cdot \text{año} + \varepsilon$$

Las IM_0 correspondientes a ambos sistemas se compararon aplicando el test de Duncan.

A partir de la curva IR correspondiente a 0 m se calculó la porción de la interfila en que la intercepción relativa fue inferior al 10 %.

Las determinaciones de RFA se realizaron alrededor del mediodía solar; no obstante, se tuvieron en cuenta posibles cambios en la inclinación de los rayos solares con el transcurso del tiempo, de acuerdo con la siguiente ecuación (Linacre, 1992; Oke, 1987):

$$\text{senb} = \text{senf} \cdot \text{send} + \text{cosf} \cdot \text{cosd} \cdot \text{cosH}$$

donde:

β : elevación solar

ϕ : latitud

δ : declinación solar

H: ángulo horario

Se efectuó un análisis de varianza de la RFA considerando al senb (planta) como fuente de variación, a fin de evaluar si la demora en medir cada planta del ensayo resultó un efecto significativo.

Área foliar y estructura del canopy

En las mismas fechas en que se realizaron las determinaciones de RFA, se efectuó el muestreo para la determinación del área foliar por árbol, en ambos sistemas de conducción. Se escogieron 3 ramilletes al azar, determinán-

dose el área foliar de todas las hojas correspondientes a cada ramillete; y 9 hojas expandidas de brotes individualizadas al azar, determinándose la superficie de cada hoja. Con una regla estándar se midió la longitud de todas las ramas cargadoras (con ramilletes) y de todos los brotes presentes en cada planta, discriminando por estratos: 0 m – 0.5 m, 0.5 m – 1.0 m, 1.0 m – 1.5 m, 1.5 m – 2.0 m, más de 2 m y líder. Se efectuaron 3 repeticiones por sistema de conducción. A su vez, se muestrearon 5 ramas cargadoras al azar, registrándose su longitud y el número de ramilletes; y 5 brotes al azar, determinándose su longitud y el número de hojas expandidas. El área foliar de las hojas correspondientes a cada ramillete y de las hojas individuales de brotes se determinó con un equipo Li-3100 (Li-cor, Inc. Lincoln, Nebraska, USA).

El área foliar por árbol se obtuvo a partir de la ecuación:

$$AF = R \cdot r \cdot AFR + B \cdot h \cdot AFh$$

donde:

$R = \sum$ longitud de ramas cargadoras por planta (m)

$r =$ número de ramilletes promedio por metro de rama cargadora

$AFR =$ área foliar promedio de las hojas presentes en 1 ramillete (m^2)

$B = \sum$ longitud de brotes por planta (m)

$h =$ número promedio de hojas expandidas por metro de brote

$AFh =$ área foliar promedio de 1 hoja expandida de brote (m^2)

El índice de área foliar (IAF) se expresó como:

IAF_{monte} : cociente entre el área foliar promedio por planta y el marco de plantación;

$IAF_{\text{árbol}}$: cociente entre el área foliar promedio y el área de suelo efectivamente ocupada, correspondiente a la proyección de la copa (Bellini, 1994);

IAF_E : índice de área foliar (monte) por estrato incluyendo el total de la copa;

IAF_C : índice de área foliar (monte) por estrato incluyendo sólo las ramas cargadoras.

Por otro lado, con el propósito de evaluar las características de la planta en cada sistema de conducción, se midió el diámetro basal de las ramas laterales y se calculó el coeficiente de variación correspondiente a cada sistema.

Distribución de la radiación en el perfil

Una forma clásica de representar la captación de la luz por el follaje es la basada en una extensión de la ley de Lambert:

$$I/I_0 = e^{-k \cdot IAF}$$

en la que k representa el coeficiente de extinción de la luz por el canopeo. Al tratarse de un monte frutal con un diseño, densidad y disposición particular de plantas, este modelo debe ser tomado con salvedades. En tal sentido, Jackson (1980) propuso una modificación que tiene en cuenta la proporción de la luz que sería transmitida al suelo a través de los espacios libres («gaps») entre las plantas. El coeficiente de extinción calculado según el modelo clásico en el caso de montes frutales refleja las propiedades geométricas y ópticas del canopeo, así como la incidencia de los aspectos estructurales propios del sistema de conducción. Para señalar dicha salvedad, hemos denominado a los coeficientes calculados como k_g (coeficientes de extinción generales). Los k_g fueron calculados relacionando la IM obtenida a distintos niveles para cada planta con el $IAF_{\text{árbol}}$ y el IAF_{monte} acumulados por estrato de canopia, de acuerdo con la ecuación: $\ln(I/I_0) = -k_g \cdot IAF$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Intercepción de la radiación

Comparando los perfiles de intercepción de

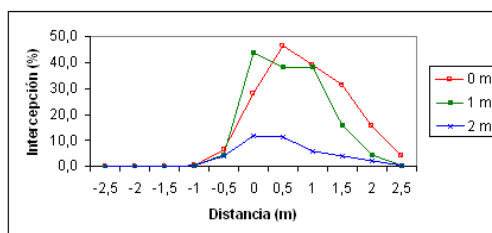


Figura 3. Perfiles de intercepción de luz de cerezos "Sweetheart" conducidos en Eje Central, a diferentes alturas, correspondientes a la temporada 2001. Izquierda a derecha: interfila lado NE a interfila lado SW.

Light interception profiles of "Sweetheart" cherries trained on a Central Axis system at different heights in the 2001 season. Left to right: NE to SW clear alleyway.

ambos sistemas de conducción (Figuras 3 y 4) se observa que el TM permitió una mayor iluminación en el centro de la doble fila, en relación al EC en el centro de la fila; situación que está en consonancia con el propósito del diseño del «Tatura trellis». El ángulo de 60° que forman las ramas primarias dispuestas en V, constituyendo una horqueta con el tronco, fue seleccionado por los diseñadores del sistema Tatura original como resultado del compromiso entre la maximización del área superior del canopeo y la recepción de suficiente luz solar directa en el interior de dicha horqueta (Den-

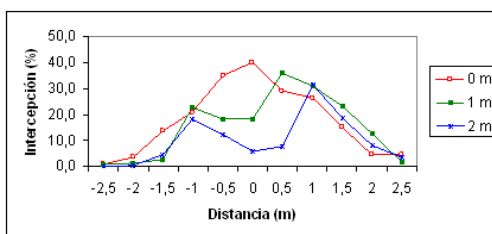


Figura 4. Perfiles de intercepción de RFA de cerezos "Sweetheart" conducidos en Tatura Modificado, a diferentes alturas, correspondientes a la temporada 2001. Izquierda a derecha: interfila lado NE a interfila lado SW.

Light interception profiles of "Sweetheart" cherries trained on a Modified Tatura system at different heights in the 2001 season. Left to right: NE to SW clear alleyway.

Tabla 1. Análisis de varianza de la intercepción media a nivel del suelo (IM_0).

Analysis of variance of the mean interception at ground level (IM_0).

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	Pr>F
Sistema	1	0,082	0,082	18,56	0,0026
Año	1	0,095	0,095	21,68	0,0016
Sist. * año	1	0,020	0,020	4,55	0,0655
Error	8	0,035	0,004		
Tot. Corr.	11	0,232			
$R^2 = 0,85$		C.V.= 22,5 %			

holm & Connor, 1982).

En promedio para ambos años la IM_0 fue de 21 % en EC y de 38 % en TM, resultando significativamente distinta ($p=0,0026$, Tabla 1).

Asimismo, en EC la franja de interfila que recibió una intercepción menor al 10 % fue de 30,8 % y en TM de 14,2 %. Estos resultados sugieren que EC posee una menor capacidad de interceptar luz que TM. Cabe acotar que la elevada densidad de plantación del TM, al disponerse los árboles en filas dobles, es una característica propia del sistema e intrínsecamente vinculada a la particular arquitectura del canopeo. Por otro lado, la distancia entre camellones en los dos sistemas evaluados fue equivalente. La mayor intercepción que tiene lugar en TM puede explicarse en gran medida por la mayor captación de luz que tiene lugar en la interfila, que estaría relacionada con la arquitectura del canopeo y el consecuente incremento del área expuesta (Valenzuela Medina, 1995).

La mayor intercepción registrada en el lado S-W se relaciona con la orientación de las filas en dirección NW – SE (Figuras 3 y 4). Tanto en TM como en EC se recomienda plantar siguiendo

la dirección N-S (Valenzuela Medina, 1998; Van den Ende, 1998) desde el punto de vista del aprovechamiento de la luz solar, sin embargo existen otros factores que entran en juego a la hora de definir la dirección de las filas, tales como la topografía del terreno y la dirección del viento predominante (Razeto Migliaro, 1992). En general, tratándose de sistemas de conducción en plano y latitudes medias, cuando las filas están orientadas N-S la repartición de la energía interceptada es simétrica para los lados este y oeste del follaje (Bellini, 1994), en cambio, cuando las filas están orientadas de E a W la mayor parte de la radiación es interceptada por el lado norte del canopeo en el hemisferio sur (Zufferey & Murisier, 1997). Por ende, la asimetría registrada en la intercepción a ambos lados de la fila, así como el desplazamiento del centro de los perfiles de intercepción hacia el lado S-W (Figuras 3 y 4) son el resultado de la orientación de las filas en la plantación y la declinación solar a los 38° de latitud S.

Por otro lado, el análisis de varianza de la intercepción de RFA (Tabla 2) indicó que la demora en medir cada planta del ensayo, que

Tabla 2. Análisis de varianza de RFA interceptada. Hora = seno $\hat{a}$ (planta).

Analysis of variance of intercepted PAR.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	Pr>F
Sistema de conducción	1	1622	1622	6,34	0,0131
Año	1	2467	2467	9,63	0,0024
Año x sistema	1	415	415	1,62	0,2054
Distancia desde fila	1	31884	31884	124,5	0,0001
Altura desde suelo	1	248	248	0,97	0,3267
Hora de medición	12	1393	116	0,45	0,9377

implicó un cambio en el ángulo de incidencia de los rayos solares (expresado en términos de elevación solar), no resultó significativa ($p > 0,94$).

Área foliar y estructura del canopeo

Los valores de IAF de EC fueron inferiores en casi un 50% a los de TM (en promedio para ambas temporadas: 2,02 vs. 3,89, respectivamente). El IAF registrado para EC en el presente ensayo puede significar una importante limitación para la producción, de acuerdo a lo obtenido por Cittadini (2002). El bajo IAF de EC puede atribuirse al marco de plantación y a la menor altura de las plantas en comparación con TM.

En manzano, la mayor cantidad de radiación interceptada por plantas conducidas en Y, comparadas con aquellas conducidas en huso y EC, se ha explicado como resultado de la geometría de la copa y del mayor IAF (3,6; 2,6 y 1,7 para los tres sistemas, respectivamente, Loreti *et al.*, 1996). Estos autores propusieron mejorar la interceptación lumínica incrementando el número de plantas por hectárea, sin necesidad de aumentar la densidad de la copa. Del mismo modo, Corelli & Sansavini (1988) argumentaron en favor de diseños con filas cercanas entre sí, con canopeo discontinuo, poco elevado y expandido lateralmente. El límite a la distancia entre filas estaría dado por la sombra proyectada por los árboles de las filas contiguas y por el espacio necesario para el paso de la maquinaria (Corelli & Sansavini, 1988). Aumentar la interceptación lumínica por incremento de la altura de la planta puede determinar la formación de un amplio volumen de copa improductiva en la parte inferior. Además, desde un punto de vista práctico, determina mayores costos de cosecha y poda debido a la necesidad del empleo de escalera.

En la Figura 5 se observa que en EC el área foliar disminuyó progresivamente con la altura a partir de 0,5 m, en cambio, en TM la distribución fue bastante homogénea hasta los 2 m de altura, lo que se vió confirmado por el test de comparaciones múltiples de Duncan (tabla 3). En este sistema una proporción relativamente alta del área foliar se situó por encima de los 2 m.

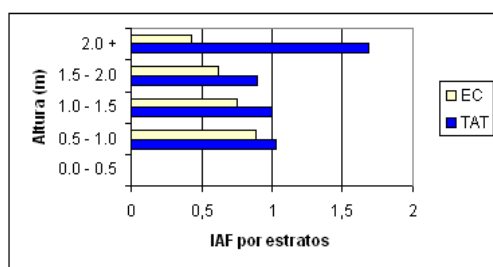


Figura 5. Índice de área foliar (monte) correspondiente a diferentes estratos de hojas (IAF_e) en dos sistemas de conducción de cerezo en alta densidad (temporada 2001).

Leaf area index – orchard- corresponding to different leaf layers (IAF_e) in two cherry high-density-training systems, 2001 season.

Tabla 3. Promedios de índices de área foliar (monte) por estrato de canopeo correspondientes a dos sistemas de conducción de cerezo en alta densidad (temporada 2001). Letras iguales indican diferencias no significativas ($p < 0.05$) según el test de Duncan.

Leaf area index –orchard- means for each canopy layer, corresponding to two training systems at high planting densities. Means followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.05$) according to Duncan's test.

Altura relativa	EC		TM	
0.0 – 0.5	0,01	D	0,01	D
0.5 – 1.0	0,88	A	1,04	AB
1.0 – 1.5	0,75	AB	1,07	AB
1.5 – 2.0	0,62	B	0,89	B
> 2.0	0,33	C	1,31	A
Líder	0,10	D	0,38	C

En la Tabla 4 se observa que TM presentó una proporción mayor de la zona fructífera (dada por IAF_c) y una distribución más homogénea de ramilletes que EC. Hampson *et al.* (2004) determinaron que los manzanos conducidos en Y tendieron a dar más dardos y una menor proporción de brotes vegetativos que los conducidos en Spindle. En EC se presentó una disminución gradual de ramas fructíferas con la altura, desde los 0,5 m hasta el extremo apical, variando del mismo modo que el área foliar por estrato ($\% IAF_e$). En cambio, en el TM una importante proporción del área fructífera se encontró en la parte superior de la copa.

Tabla 2. Índice de área foliar por estrato (% IAF_E) e índice de área foliar correspondiente a ramilletes por estrato (IAF_C, % IAF_C), para cada sistema de conducción evaluado (temporada 2001).

Leaf area index per leaf layer -% IAF_E-, and leaf area index corresponding to fruiting spurs per leaf layer -IAF_C, % IAF_C-, for both training systems (2001 season).

Altura relativa	EC			TM		
	IAF _C	% IAF _C	% IAF _E	IAF _C	% IAF _C	% IAF _E
Líder	0,1	3,9	3,9	0,4	8,1	8,1
> 2.0	0,1	5,1	8,9	0,8	16,2	28,1
1.5 – 2.0	0,3 ± 0,1	9,7	23,9	0,6 ± 0,2	13,8	19,2
1.0 – 1.5	0,4 ± 0,0	13,8	29,0	0,7 ± 0,3	15,5	22,6
0.5 – 1.0	0,6 ± 0,0	21,8	34	0,9 ± 0,3	18,9	22,0
0.0 – 0.5	0	0	0,4	0	0	0
Total	1,5	54,3	100	3,4	72,5	100

En los árboles frutales, el crecimiento vegetativo y su equilibrio con la fructificación son procesos en competencia dinámica que influyen sobre el desarrollo de la planta (Tustin, 1997). La carga frutal es considerada uno de los medios más prácticos y efectivos de controlar el crecimiento del árbol. En tal sentido, el hábito semi-dardífero y la precocidad de los cultivares, características presentes en 'Sweetheart', juegan un rol importante en la densificación de los montes de cerezo (Valenzuela Medina, 1995; Long, 2001b).

El diámetro promedio de la base de las ramas laterales en EC fue de 3,2 cm, con un c.v.= 29,4 %, mientras que en TM fue de 2,2 cm y el c.v.= 15,9 %, lo que indica que en EC algunas laterales han desarrollado excesivamente, compitiendo con el eje y desequilibrando la planta. En general, la inclinación de las ramas influye sobre el crecimiento y la fructificación al actuar sobre el control apical y el modelo de ramificación (Tustin, 1997). Posiblemente la inclinación del eje a 60° con respecto a la horizontal en el TM haya alterado la acrotonía y de esta manera contribuido al equilibrio de la planta. La ubicación de las ramas en posición horizontal disminuye el crecimiento e incrementa la floración (Tustin, 1997). En los cerezos, el momento y el grado de arqueamiento de los brotes resultan más críticos que en otros frutales. Cuando los brotes son doblados tempranamente tienden a continuar su crecimiento terminal curvándose hacia arriba; si

se los dobla tardíamente en la temporada pueden romperse; y en caso que se los doble severamente puede estimularse la gomosis (Flore *et al.*, 1996). El TM facilita la conducción de los brotes, permitiendo que los mismos sean sujetos a los alambres de la estructura de sostén. La mayor facilidad de ortopedia podría haber contribuido también a que los árboles en el sistema TM resultaran más equilibrados que en EC.

Distribución de la radiación en el perfil

En la Figura 6 se presenta la relación entre la intercepción lumínica y el área foliar acumulada en los distintos estratos, para ambos sistemas de conducción. Si bien estas representaciones gráficas son más aplicables a canopeos continuos (como los de cultivos herbáceos) que a montes frutales, también en este último caso pueden aportar información acerca de las características de la atenuación de la luz en el canopeo en forma comparativa. En la Figura 6 se puede observar que:

- la atenuación de luz se inició con menores valores de IAF en el EC, debido a la diferente arquitectura del canopeo (Figura 5);
- la atenuación de luz ocurrió a diferente ritmo en ambos sistemas, resultando más paulatina en el caso del TM, a causa también de la distinta estructura de canopeo;
- en ambos sistemas la intercepción al final de cada curva, correspondiente al nivel del suelo, fue bastante similar, tal como se puede apreciar en los perfiles de intercepción

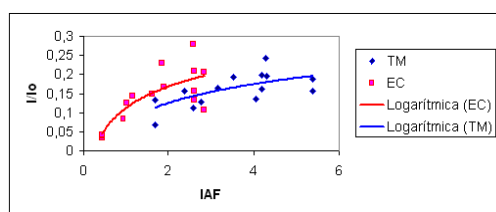


Figura 6. Relación (logarítmica) entre la proporción interceptada de la radiación incidente (IM) y el índice de área foliar (monte) acumulado por estrato de canopia en los dos sistemas de conducción evaluados.

Log relationship between the intercepted fraction of incident radiation –IM– and leaf area index –orchard– accumulated per layer of the canopy in both training systems.

(Figuras 3 y 4).

Los k_g calculados tanto en base al IAF árbol como al IAF monte fueron menores en TM que en EC (Tabla 5), lo que indica una mejor penetración de la luz dentro del perfil del canopeo en el caso del TM. De acuerdo a lo comentado al analizar la figura 6, dichos coeficientes de extinción, calculados según el modelo clásico, estarían reflejando diferencias en la estructura del canopeo, íntimamente ligada al sistema de conducción.

En el cerezo la saturación de la fotosíntesis se alcanza cuando las hojas reciben de 30 a 50 % de la luz incidente (Edin *et al.*, 1997; Flore & Layne, 1999). En condiciones de baja iluminación se produce un envejecimiento muy rápido de los ramilletes que se traduce en la reducción de su superficie foliar y en la disminución del número de yemas florales hasta llegar a su completa desaparición (Edin *et al.*,

Tabla 3. Coeficiente de extinción general (k_g) para ambos sistemas de conducción, calculados en relación al IAF árbol y al IAF monte ($Kg_{\text{árbol}}$ y Kg_{monte} , respectivamente).

General extinction coefficients – k_g – for both training systems, calculated for either tree or orchard based leaf area index – $Kg_{\text{árbol}}$ and Kg_{monte} , respectively–.

$Kg_{\text{árbol}}$ EC = $0,056 \pm 0,010$	$R^2 = 0,65$
$Kg_{\text{árbol}}$ TM = $0,033 \pm 0,008$	$R^2 = 0,53$
Kg_{monte} EC = $0,075 \pm 0,013$	$R^2 = 0,68$
Kg_{monte} TM = $0,040 \pm 0,006$	$R^2 = 0,74$

1997). Un adecuado nivel de luz solar asegura el desarrollo de ramilletes fuertes, con una alta relación hoja:fruto (Van den Ende, 1998). Flore *et al.* (1996) determinaron que niveles inferiores al 20 % tuvieron efectos perjudiciales sobre la floración de cerezos. Durante el desarrollo del fruto, una baja iluminación disminuye el tamaño del fruto y el rendimiento, el color del fruto y su contenido en sólidos solubles y el cuajado e induce una caída de frutos anticipada (Flore & Layne, 1999). En un estudio en el que se empleó sombreado natural en cerezas ‘Bing’ (Patten & Proebsting, 1986), encontraron que el color a la madurez resultó drásticamente afectado, desde el punto de vista comercial, cuando los niveles de luz eran menores que el 10 – 15 % de la luz incidente. A partir de los modelos ajustados por estos autores, no se observan importantes cambios en el color por encima del 30 %. En el presente ensayo, los niveles de luz disponibles superaron el 50 % de la radiación incidente a nivel del suelo, en ambos sistemas de conducción (Figuras. 3 y 4), de manera que, alrededor del mediodía solar, todo el follaje se encontró expuesto a niveles superiores a los de saturación fotosintética (Edin *et al.*, 1997; Flore & Layne, 1999).

Los valores de IM demuestran una relativamente baja eficiencia de ambos sistemas, en lo que respecta a la captación de la energía disponible. A fin de aumentar la eficiencia de captación de luz en ambos sistemas de conducción se presentan algunas propuestas. En TM, la mejora en la eficiencia de captación de luz no pasaría necesariamente por un aumento de la densidad del canopeo. Una alternativa podría ser rediseñar el sistema, considerando un posible cambio en la estructura y en el marco de plantación. La variación del ángulo en el que se disponen las plantas en la V, no tendría efecto significativo entre 40° y 180°, según se desprende de los modelos de simulación de Denholm & Connor (1982). De acuerdo con estos autores, la radiación difusa procedente del cielo y la dispersión en el interior de la cubierta vegetal desempeñan un papel

importante en la respuesta fotosintética del sistema Tatura trellis. Por lo expuesto, emerge como interesante la posibilidad de maximizar la eficiencia en la captación de energía lumínica a través de la reducción de la distancia entre filas, combinado en el caso del Tatura con una variación en el ángulo de la V. En el caso de EC, teniendo en cuenta su baja eficiencia global en cuanto a intercepción lumínica y el poco aprovechamiento de la superficie, ya que más de la cuarta parte de la interfila está desaprovechada, debería replantearse el esquema de plantación. Si el ancho de labor de la maquinaria deja de ser limitante, entonces se podría ensayar una disminución de la distancia entre filas.

CONCLUSIONES

El sistema TM presentó una mayor iluminación en el centro de la doble fila, con respecto al EC en el centro de la fila.

Tanto la intercepción total de luz como el índice de área foliar fueron mayores en TM que en EC, que presentó un bajo aprovechamiento de la luz en la interfila.

La penetración de la luz en el canopeo fue más eficiente en TM que en EC.

Los árboles conducidos con el sistema TM resultaron más equilibrados.

Ambos sistemas presentaron una relativamente baja eficiencia de captación de luz, lo que sugiere la conveniencia de su rediseño.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud al Dr. Guillermo A. Dosio (Universidad Nacional de Mar del Plata) por la revisión crítica del manuscrito. Subsidiado por UNMDP.

BIBLIOGRAFÍA

Bargioni G. 1988. Forme di allevamento e tecniche di potature: come cambieranno? *Frutticoltura* 50(1-2): 97-104.

Bellini E. 1994. Ecofisiologia dell'allevamento e della potatura nel pesco (corso). Dipartimento di Ortoflorofrutticoltura – Università di Firenze / Facultad de Ciencias Agropecuarias – Universidad de Córdoba. Córdoba, Argentina.

Boucher W.D. & G. Adams. 1995. Influence of orchard production system and cultivar on early productivity of sweet cherry (*Prunus avium*): effects on tree growth and fruit production and quality. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 35: 781-787.

Cittadini E.D. 2002. Principales factores que definen la producción potencial del cerezo: un enfoque usando simulación de crecimiento. XXV Congreso Argentino de Horticultura, I encuentro virtual de las ciencias hortícolas.

Claverie J. 2001. Sistemas de conducción desarrollados en Francia. En: Kulczewski B. (Ed.). Seminario Internacional de cerezos: actualización comercial, variedades, portainjertos y sistemas de conducción. Curicó, Chile. pp: 169 – 175.

Claverie J., J.M. Lespinasse & P.E. Lauri. 1997. Arcina® Fercer + Tabel® Edabriz + Solaxe : pour un nouveau type de verger. *Fruits & Légumes* 155.

Corelli L. & S. Sansavini. 1988. Tipologia ed efficienza produttiva degli impianti frutticoli. *Frutticoltura* 50 (1-2): 87 – 96.

Charles-Edwards D.A. & M.R. Thorpe. 1976. Inteception of diffuse and direct-beam radiation by a hedgerow apple orchard. *Annals of Botany* 40: 603-613.

Denholm J.V. & D.J. Connor. 1982. Potential photosynthesis in trellis-type orchard canopies. *Australian Journal of Plant Physiology*. 9: 629-640.

Edin M., J. Lichou & R. Saunier. 1997. Cerise, les variétés et leur conduite. Ctifl. Paris. 238 p.

Flore J.A. & D.R. Layne. 1999. Photoassimilate production and distribution in cherry. *HortScience* 34(6): 1015-1019.

Flore J.A., C.D. Kesner & A.D. Webster. 1996. Tree canopy management and the orchard environment: principles and practices of pruning and training. In: Cherries: crop physiology, production and uses. Webster A.D. & N.E. Looney (eds.). CAB International, Wallingford, U.K. 259-277 pp.

Gallinat M. 1998. El cultivo de cereza en España. En: Simposio internacional del cultivo de cerezas, Trelew, Chubut.

Hampson C.R., H.A. Quamme, F. Kappel, & R.T. Brownlee. 2004. Varying density with constant rectangularity : I. Effects on apple tree growth and light interception in three training systems over ten years. *HortScience* 39(3): 501-506.

Hrotkò K., L. Magyar & G. Simon. 1999. Esperienze sulle forme di allevamento del ciliegio a fusetto in Ungheria. *Frutticoltura* 61(3): 34-101.

Hrotkò K, G. Simon & L. Magyar. 1998. Training of slender spindle trees for intensive sweet cherry orchards. *Acta Horticulturae* 468: 465-470.

- Jackson J.E.** 1980. Light interception and utilization by orchard systems. *Horticultural Reviews* 2: 208-267.
- Kulczewski B.** 2001. Sistemas de conducción, portainjertos y variedades: ilustración de algunas realidades de Europa, Norteamérica y Oceanía. En: Kulczewski B. (ed.). Seminario Internacional de cerezos: actualización comercial, variedades, portainjertos y sistemas de conducción. Curicó, Chile. pp. 4-25
- Linacre E.** 1992. Climate data and resources. Routledge. London & NewYork. 366 pp.
- Long L.** 2001a. Cherry training systems: selection and development. PNW 543. Oregon State University-University of Idaho-Washington State University. 26 pp
- Long L.** 2001 b. Visión norteamericana de variedades. En: Kulczewski B. (Ed.). Seminario Internacional de cerezos: actualización comercial, variedades, portainjertos y sistemas de conducción. Curicó, Chile. Pp. 26-46
- Loomis R.S. & D.J. Connor.** 2002. Ecología de cultivos: productividad y manejo en sistemas agrarios. Mundi-Prensa. España. 591 pp.
- Loreti F., A. Tellini, R. Muleo, S. Morini & C. Masetti.** 1996. Light environment at harvest time in two different nectarine training systems. *Acta Horticulturae* 374: 103-112.
- Nobel P.S., I.N. Forseth & S.P. Long.** 1993. Canopy structure and light interception. In: Photosynthesis and production in a changing environment, a field and laboratory manual. Hall D.O., J.M.O. Scurlock, H.R. Bolh r-Nordenkamp, R.C. Leegood, S.P. Long (Eds.). Chapman & Hall, London. pp. 79-90.
- Oke T.R.** 1987 (2^a ed.). Boundary layer climates. Routledge. London & NewYork. 435 pp.
- Patten K.D. & E.L. Proebsting.** 1986. Effect of different artificial shading times and natural light intensities on the fruit quality of 'Bing' sweet cherry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 111(3): 360-363.
- Razeto Migliaro B.** 1992. Para entender la fruticultura. Vivarium, Santiago, Chile. 303 pp.
- Robinson T. L. & A. N. Lakso.** 1991. Bases of yield and production efficiency in apple orchard systems. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116(2): 188-194.
- Simunovic Y.M.** 1995. Fisiología y aspectos básicos del cultivo del cerezo. En: Seminario internacional: El cultivo del cerezo, Universidad de Talca, Chile.
- Tustin S.** 1997. Fisiología della potatura e dell'allevamento: come regolare lo sviluppo vegeto-produttivo di rami e branche. *Frutticoltura* 59(3): 53-55.
- Valenzuela Medina L.** 1995. Sistemas de conducción en cerezo, nuevas tendencias. En: Seminario internacional: El cultivo del cerezo, Universidad de Talca, Chile.
- Valenzuela Medina L.** 1998. El cultivo del cerezo en Chile: aspectos técnicos. En: Simposio internacional del cultivo de cerezas, Trelew, Chubut.
- Van den Ende B.** 1998. Manejo de montes de cerezo en sistemas de alta densidad. En: Simposio internacional del cultivo de cerezas, Trelew, Chubut.
- Wagenmakers P. S. & O. Callensen.** 1995. Light distribution in apple orchard systems in relation to production and fruit quality. *Journal of Horticultural Science* 70(6): 935-948.
- Wünsche J.N., A.N. Lakso, T.L. Robinson, F. Lenz, & S.S. Denning.** 1996. The bases of productivity in apple production systems: the role of light interception by different shoot types. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 121(5): 886-893.
- Zufferey V. & F. Murisier.** 1997. Orientation des rangs de vigne et interception de l'énergie lumineuse par le feuillage. *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture* 29(4): 239-243.