



Desarrollo y evaluación de métodos prácticos no destructivos para la estimación del Área Foliar (AF) por árbol y cálculo del Índice de Área Foliar (IAF) en montes de cerezo (*Prunus avium* L.)

Ing. Agr. Vanesa Elisabet Hochmaier

Tesis presentada para optar al grado académico de

**MASTER OF SCIENTIA EN FRUTICULTURA
DE CLIMA TEMPLADO-FRÍO**

INTA Alto Valle

Università degli Studi di Bologna

General Roca, 29 de noviembre 2010

Desarrollo y evaluación de métodos prácticos no destructivos para la estimación del Área Foliar (AF) por árbol y cálculo del Índice de Área Foliar (IAF) en montes de cerezo (*Prunus avium* L.)

Ing. Agr. Vanesa Elisabet Hochmaier

Tesis de maestría

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Agr. (M. Sc. – Ph. D.) Cittadini, Eduardo Daniel

CO DIRECTORA DE TESIS

Ing. Agr. (Esp. – Dra.) San Martino, Liliana

COMITE EVALUADOR

Ing. Agr. Dr. Stéfano Musacchi

Ing. Agr. Ms Sc. Mónica Liliana Traversaro

Ing. Agr. Ms Sc. Victorio Raúl Elisei

PRESENTACIÓN FORMAL ACADÉMICA

29 de noviembre de 2010

Università degli studi di Bologna, Italia

DEDICATORIA

A mi pequeño hijo Felipe, quien me acompañó en este proceso desde la panza y en especial a mi esposo Hernán por su cariño y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mí director de Tesis Eduardo Cittadini y co-directora Lilitiana San Martino cuyos aportes fueron clave para la elaboración de esta tesis.

A los profesores, por su predisposición para compartir sus conocimientos y experiencias.

A los pasantes: María Paula Campestre, Cristián Antonelli y María Mercedes Robles de la UNLP; Emiliano Juan Pablo Leiva, Lorenzo Javier Gallardo y Edith Beatriz Mayhua de la UNPA y Andrea Fabiana Ayala de la UNC, por su compañía y colaboración en los ensayos a campo.

Al productor Claudio Mendieta y a la Empresa RIO ALARA S.A. por poner a disposición sus chacras.

A mis compañeros de la Agencia de INTA, María Luisa Lazo, Verónica Rojas, Fernando Manavella, Lilitiana San Martino, Romina Apóstolo y Juan Pablo Martínez por el aporte de ideas y su colaboración en los ensayos a campo, pero sobre todo por su cariño, paciencia y contención en el difícil proceso de terminar la tesis.

A Héctor Castro, por la predisposición, compromiso y trato afectuoso en cada instancia de la maestría.

Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, por brindarme la posibilidad de crecer profesionalmente.

A Maximiliano Sleiman, Mariela Curetti, Rosa Holzmann, Erica Llanos y Raquel Luna por su colaboración y aportes.

Finalmente, pero no por eso menos importante, a mi familia por la contención y por comprender la importancia de este trabajo.

RESUMEN

El conocimiento del Índice de Área Foliar (IAF) de los montes de cerezo (*Prunus avium* L.) es una herramienta de suma utilidad para la estimación del potencial productivo. Sin embargo, su medición es muy dificultosa, por lo cual muy pocas veces se realiza en montes comerciales. El objetivo principal de esta tesis fue desarrollar alguna metodología práctica, precisa y no destructiva para la estimación del área foliar (AF) por árbol y el posterior cálculo del IAF, mientras que el objetivo secundario fue cuantificar los efectos de la carga frutal sobre los rendimientos y la calidad de la fruta. En la temporada 2007/2008 se realizaron mediciones en montes adultos de las variedades 'Bing' y 'Lapins', injertadas sobre *Prunus mahaleb*, conducidos en vaso español, para el desarrollo de los modelos, y en la temporada 2008/2009, estos modelos fueron validados en diferentes combinaciones variedad/portainjerto y sistema de conducción. Para el desarrollo de los modelos se seleccionaron árboles de diferente tamaño. Después de la cosecha, con máximo desarrollo foliar, se midieron diversas características morfológicas y de diseño del monte: área de la sección transversal del tronco (ASTT), indicador de volumen (IVol), área foliar media (AFM), área foliar de la rama principal (AFRP), distancia de la entrelínea libre de árboles (DEL), radiación fotosintéticamente activa (PAR) interceptada, fotografías digitales desde el suelo hacia la copa del árbol (porcentaje de porosidad óptica vertical, %POV) y de la sombra del árbol proyectada sobre una tela blanca colocada en el suelo (sombra proyectada en el suelo en porcentaje, %SPS). Además, sobre los mismos árboles experimentales, se determinaron las relaciones entre el IAF, el rendimiento y la PAR interceptada y el efecto de la relación número de frutos por área foliar (F/AF) sobre la calidad y el rendimiento. En general, el AF por árbol pudo ser estimada con un buen nivel de ajuste en la mayoría de los modelos desarrollados. En base a los resultados de la validación, y teniendo en cuenta los coeficientes de determinación, la practicidad y la simpleza de las mediciones de campo, los modelos que utilizan las variables IVol y ASTT, con o sin combinación con el AFM ($\ln \text{AF}/\text{árbol} = -3,42 + 0,50 \ln \text{IVol} + 0,57 \ln \text{ASTT} + 0,65 \ln \text{AFM}$; y $\ln \text{AF}/\text{árbol} = -0,76 + 0,68 \ln \text{IVol} + 0,38 \ln \text{ASTT}$) serían las opciones más recomendables, pudiendo ser utilizados en diferentes situaciones de cultivo. La alta variabilidad entre los árboles experimentales no permitió concluir en forma generalizada sobre el comportamiento de los parámetros de calidad en función de la relación F/AF. Sin embargo, se observó que la intercepción de la PAR aumentó significativamente en función del incremento del IAF, presentando una relación no lineal, mientras que el rendimiento presentó un incremento lineal en función de la PAR. En las variedades y situaciones de cultivo en que se contó con un amplio rango de IAF, tanto el rendimiento como el número de frutos por árbol presentaron una relación lineal positiva en función del IAF, con un alto ajuste.

Palabras clave: *Prunus avium* L.; ASTT; Intercepción de PAR; Área foliar media; Volumen de la copa

ABSTRACT

The knowledge on Leaf Area Index (LAI) of sweet cherry (*Prunus avium*. L) orchards is a useful tool for estimating its productive potential. However, its determination is tough, therefore seldom performed in commercial orchards. The main objective of this thesis was to develop a practical, precise and non destructive methodology for estimating the leaf area (LA) per tree and with that the LAI; while the secondary objective was to quantify the effects of crop load on yield and fruit quality. For developing the models, in the 2007/2008 season measurements were performed in adult orchards of the cultivars 'Bing' and 'Lapins', grafted on *Prunus mahaleb* and trained as Spanish vase; and in the 2008/2009 season, those models were validated in different cultivar/rootstock and training system combinations. For developing the models, trees of different size were selected. After harvest, with maximum leaf area development, various morphological and orchard-design characteristics were measured: trunk cross-sectional area (TCSA), volume indicator (IVol), mean leaf area (MLA), leaf area of the main branch (LAMB), free path (FP), intercepted Photosynthetic Active Radiation (PAR), digital photographs from the floor to the crown (percentage of vertical optical porosity; %POV) and of the tree shadow projected on a white sheet on the floor (percentage of projected shadow on the floor; %PSF). Moreover, on the same experimental trees, the relationships between LAI, yield and intercepted PAR, and the effect of the fruit to leaf area ratio (F/LA) on quality and yield were determined. In general, it was possible to estimate the LA per tree with a good level of precision with most of the developed models. Based on the results of the validation, and considering the coefficients of determination, the usefulness and simplicity of the field measurements, the models utilizing the variables IVol and TCSA, with or without combining with MLA ($\ln LA/tree = -3.42 + 0.50 \ln IVol + 0.57 \ln TCSA + 0.65 \ln MLA$; and $\ln LA/tree = -0.76 + 0.68 \ln IVol + 0.38 \ln TCSA$) would be the most recommendable options, being possible their utilization in several cropping situations. As secondary results, due to the high variability among experimental trees, it was not possible to conclude in general about the behaviour of the quality parameters as a function of the F/LA ratio. However, it was observed that the intercepted PAR increased significantly, in a non-linear fashion, as a function of LAI, while the yield linearly increased as a function of the intercepted PAR. For those cultivars and cropping situations in which an ample range of LAI was available, both the yield and the number of fruits per tree were positively related to the LAI.

Keywords: *Prunus avium* L.; TCSA; PAR interception; Mean leaf area; Crown volume

RIASSUNTO

La conoscenza del Indice di Area Fogliare (IAF) delle piantagioni di ciliegio (*Prunus avium L.*) è una via molto utile per stimare il potenziale produttivo della coltivazione. Nonostante la sua misurazione è molto imbarazzante, per lo quale non si fa con frequenza nelle piantagioni commerciali. L'obiettivo principale di questa Tesis è sviluppare qualcun metodo pratico, preciso, e non distruttivo per stimare l'area fogliare (AF) per albero e dopo calcolare il IAF; mentre l'obiettivo secondario è valutare gli effetti dalla carica dei frutti sul volume e la qualità della produzione di frutti. Nel periodo 2007/2008 si hanno fatto misurazioni in piantagioni in produzione delle cultivars "Bing" e "Lapins", innestati sul *Prunus Mahaleb*, allevati come vaso spagnolo per lo sviluppo dei modelli, e nel periodo 2008/2009, questi modelli furono valutati nei diversi combinazioni cultivar/portinnesto e sistema di allevamento. Per lo sviluppo dei modelli, sono scelti alberi di diversi volume. Dopo dalla raccolta, con lo sviluppo massimo delle foglie, si hanno fatto le misure di diverse caratteristiche morfologiche e di disegno della piantagione: area della sezione trasversale dal tronco (ASTT), indicatore dal volumen (IVol), area fogliare media (AFM), area fogliare della rama principale (AFRP), distanza dall'interlinea libera di alberi (DEL), Radiazione Fotosintetica Attiva (PAR) intercettata, fotografie digitali dal suolo alla cima del albero (percentuale di porosità ottica verticale (POV) e di l'ombra del albero progettata sulla tela bianca allogata sul suolo (ombra progettata nel suolo in percentuale; (SPS). Inoltre, sulle stessi alberi sperimentali, si hanno stabilito i rapporti tra il IAF, la produzione da fruti e la PAR intercettata e l'effetto dal rapporto dal numero di frutti per area fogliare (AF) sulla qualità e la produzione. In generale, l'AF per albero fuò stimata con accettabile livello di aggiustamento nella maggioranza dei modelli sviluppati. In base a i risultati dalla validazione, e avendo in conto i coefficienti di determinazione, la praticità e la semplicità delle misurazioni nel campo, i modelli che utilizzano alle variabili IVol e ASTT, con o senza combinazione con l'AFM ($\ln AF/\text{albero} = -3,2 + 0,50 \ln IVol + 0,57 \ln ASTT + 0,65 \ln AFM$ e $\ln AF/\text{albero} = -0,76 + 0,68 \ln IVol + 0,38 \ln ASTT$) sarebbero l'opzione più raccomandabile, che può essere utilizzata ne diversi situazioni di coltivazione. Come risultati secondari, per la variabilità elevata tra i alberi sperimentali utilizzate, non è possibile concludere di maniera generale sul comportamento dei parametri di qualità in funzione dal rapporto: numero di fruti/AF. Nonostante, si osservò che l'intercezione de PAR ha avuto un accrescimento significativo in funzione dalla crescita dal IAF, mostrando una relazione non lineale, infrattanto che la produzione di frutti mostrò un accrescimento lineale in funzione del PAR. Nelle cultivars e nelle situazioni di coltivazione con una importante cultivo amplitudine di valori del IAF, tanto la produzione di fruti come il numero di frutti per albero hanno avuto una relazione lineale positive in funzione dal IAF, con un elevato a aggiustamento.

Parole chiave: *Prunus avium L.*; ASTT; Intercezione de PAR ; Area fogliare media; Volume dalla cima d'albero.

ÍNDICE

	Página
Capítulo 1. Introducción	11
El cerezo (<i>Prunus avium</i> L.): características generales	11
Importancia de la problemática abordada	12
Situación del cultivo en el mundo y en el país	13
Descripción del sitio experimental	14
Estructura de la tesis	16
Objetivo general	17
Objetivos específicos	17
Hipótesis general	17
Capítulo 2. Desarrollo y validación de metodologías prácticas y no destructivas para la estimación del área foliar por árbol (AF) y el cálculo del índice de área foliar (IAF) en montes de cerezo (<i>Prunus avium</i> L.)	18
Introducción. Revisión de antecedentes	18
Materiales y métodos	21
Material vegetal	21
Determinaciones	23
Análisis estadístico de los datos	26
Resultados y discusión	27
Desarrollo de los modelos para la estimación del área foliar por árbol (AF/árbol).	27
Validación de los modelos para la estimación del área foliar por árbol (AF/árbol).	34
Conclusiones	36
Capítulo 3. Relaciones entre la Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada, el índice de área foliar, el número de frutos por área foliar, la productividad y la calidad del fruto	38
Introducción. Revisión de antecedentes	37
Materiales y métodos	42
Determinaciones	42
Análisis estadístico de los datos	43
Resultados y discusión	43
Radiación interceptada (I-PAR) en función del IAF	43
Rendimiento (kg/árbol) en función de la radiación interceptada (I-PAR)	45
Rendimiento (kg/árbol) en función del número de frutos/árbol y el IAF. Relación entre el número de frutos/árbol y el IAF	46
Efecto del número de frutos por área foliar (F/AF) sobre el rendimiento	49
Relaciones entre los principales parámetros de calidad del fruto (calibre, peso, firmeza y CSS) y el número de frutos por área foliar (F/AF)	50
Conclusiones	52
Capítulo 4. Conclusiones generales	54
Perspectivas para futuras investigaciones	54
Bibliografía citada	56
Anexo 1. Resultados de los análisis de suelo y foliar	64
Anexo 2. Resultados del cálculo de tamaño mínimo de la muestra	67

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 2.1	Modelos de predicción para la estimación del AF/árbol y sus coeficientes de determinación (R^2).	32
Tabla 3.1	Análisis estadístico de los modelos que describen el rendimiento en función del número de frutos/árbol para las variedades 'Lapins' y 'Bing'.	47

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.1	Ubicación de la Patagonia Sur Argentina (área en blanco) y de las cinco zonas productoras (Cittadini <i>et al.</i> , 2008c).	14
Figura 2.1	Árbol experimental correspondiente al rango de IAF chico (izquierda) e IAF grande (derecha).	22
Figura 2.2	Ubicación de la cámara digital para la obtención de fotografías desde el suelo hacia la copa del árbol. En la figura se muestra la distribución de la cámara sólo en un lado de la línea de plantación.	24
Figura 2.3	Imagen de la sombra del árbol proyectada sobre una tela blanca colocada en el suelo (%SPS).	25
Figura 2.4	Ubicación del ceptómetro "CAVA-RAD" para la determinación de la intercepción de radiación fotosintéticamente activa (I-RAF) por árbol.	25
Figura 2.5	Imagen de la sombra del árbol proyectada sobre una tela blanca colocada en el suelo (%SPS), procesada con el programa ERDAS imagine 9.1.	28
Figura 2.6	Imagen tomada hacia la copa de los árboles (%POV) (a la izquierda) e imagen procesada con el programa ERDAS imagine 9.1 (a la derecha).	28
Figura 2.7	Relaciones entre el AF/árbol (m^2) y ASTT ($y=0,042 x^{1,22}$), IVol ($y=1,546 x^{0,92}$), AFM ($y=0,074 x^{1,46}$), %I-RAF ($y=0,009 x^{1,85}$), %POV _{50E} ($y=5804 x^{-1,73}$), %POV _{50L} ($y=3266 x^{-1,61}$), %POV _{100E} ($y=14024 x^{-1,76}$), %POV _{100L} ($y=1387 x^{-1,30}$), DEL ($y=45,37 x^{-2,12}$) y AFRP ($y=6,90 x^{-0,66} m^2$).	30
Figura 2.8	Relación entre el AF/árbol estimado según los diferentes modelos de predicción y el AF/árbol observado para 'Bing' (---) y 'Lapins' (—).	33
Figura 2.9	Relación entre el AF/árbol medido (tomando los 33 árboles experimentales en conjunto) y el AF/árbol estimado según los diferentes modelos de predicción. A: $\ln AF/árbol = -0,35 + 0,48 \ln IVol + 0,36 \ln ASTT + 0,44 \ln AFM - 0,38 \ln \%POV50E$; B: $\ln AF/árbol = -3,42 + 0,50 \ln IVol + 0,57 \ln ASTT + 0,65 \ln AFM$; C: $\ln AF/árbol = 3,64 + 0,61 \ln IVol - 0,70 \ln \%POV50E$; D: $\ln AF/árbol = -0,76 + 0,68 \ln IVol + 0,38 \ln ASTT$; E: $\ln AF/árbol = -0,86 + 0,89 \ln IVol + 0,41 \ln AFM$; F: $\ln AF/árbol = 0,43 + 0,93 \ln IVol$.	35
Figura 2.10	Relación entre el AF/árbol medido (tomando los 30 árboles experimentales en conjunto) y el AF/árbol estimado según los diferentes modelos de predicción. G: $\ln AF/árbol = -6,35 + 1,02 \ln AFM + 1,17 \ln ASTT$; H: $\ln AF/árbol = 3,07 + 0,63 \ln ASTT - 0,97 \ln \%POV50E$; I: $\ln AF/árbol = 8,66 - 1,73 \ln \%POV50E$; J: $\ln AF/árbol = -3,16 + 1,23 \ln ASTT$.	36

Figura 3.1	Estimación de la intercepción de luz visible en función del IAF utilizando la Ecuación 3.1 (Cittadini, 2006).	38
Figura 3.2	Radiación fotosintéticamente activa interceptada (I-PAR) en función del IAF. (A) temporada 2007/2008, $R^2= 0,85$; $p<0,0001$. (B) temporada 2008/2009, $R^2= 0,51$; $p<0,0001$. Cada valor de I-PAR es el resultado de 10 mediciones por árbol.	44
Figura 3.3	Radiación fotosintéticamente activa interceptada (I-PAR) calculada con la ecuación propuesta por Goudriaan y van Laar (1994) en función del IAF. (A) temporada 2007/2008, (B) temporada 2008/2009.	44
Figura 3.4	Rendimiento (kg/árbol) en función de la radiación fotosintéticamente activa interceptada (I-PAR). (A) variedades 'Lapins/Mahaleb' y 'Bing/Mahaleb' (temporada 2007/2008), Rendimiento (kg/árbol)= $-10,22 + 0,42 * I-PAR$ ($R^2= 0,88$; $p<0,0001$); (B) variedades 'Lapins/Maxma60' y 'Van/Mahaleb' (temporada 2008/2009), Rendimiento (kg/árbol)= $- 10,79 + 0,58 * I-RAF$ ($R^2= 0,83$; $p<0,0001$). Cada valor de I-PAR es el resultado de 10 mediciones por árbol.	45
Figura 3.5	Rendimiento (kg/árbol) (A) y número de frutos por árbol (B) en función del IAF en la temporada 2007/2008, para las variedades 'Bing/Mahaleb' y 'Lapins/Mahaleb' analizadas en conjunto. Rendimiento (kg/árbol) = $- 0,64 + 5,95 * IAF$ ($R^2= 0,93$; $p<0,0001$). Frutos/árbol = $- 51,90 + 661,94 * IAF$ ($R^2= 0,92$; $p<0,0001$).	46
Figura 3.6	Rendimiento (kg/árbol) en función del número de frutos/árbol para las variedades 'Lapins/Mahaleb' (▲) y 'Bing/Mahaleb' (□). Temporada 2007/2008.	47
Figura 3.7	Rendimiento (kg/árbol) (A) y número de frutos por árbol (B) en función del IAF en la temporada 2008/2009, para las variedades 'Lapins/Maxma60' y 'Van/Mahaleb', analizadas en conjunto. Rendimiento (kg/árbol) = $- 0,71 + 7,58 * IAF$ ($R^2= 0,60$; $p<0,0001$). Frutos/árbol = $- 55,58 + 977,70 * IAF$ ($R^2= 0,58$; $p<0,0001$).	48
Figura 3.8	Rendimiento (kg/árbol) en función del número de frutos/árbol para las variedades 'Lapins/Maxma60', 'Lapins/Gisela', 'Sweetheart/Maxma60' y 'Van/Mahaleb', analizadas en conjunto. Rendimiento (kg/árbol) = $0,42 + 0,01 * frutos/árbol$ ($R^2= 0,98$; $p<0,0001$). Temporada 2008/2009.	49
Figura 3.9	Rendimiento (kg/árbol) en función F:AF (frutos/m ² AF) para las variedades 'Lapins/Maxma60', 'Lapins/Gisela', 'Sweetheart/Maxma60' y 'Van/Mahaleb', analizadas en conjunto. Rendimiento (kg/árbol) = $- 0,07 + 0,11 * F/AF$ ($R^2= 0,44$; $p<0,0001$). Temporada 2008/2009.	50
Figura 3.10	Calibre (mm) (A) y peso medio (g) del fruto (B) en función de la relación de F:AF (frutos/m ² AF) en la variedad 'Lapins/Mahaleb'. Temporada 2007/2008. Calibre (mm)= $27,50 - 0,03 * F: AF$ ($R^2= 0,73$); Peso (g)= $12,27 - 0,03 * F: AF$ ($R^2= 0,61$).	51
Figura 3.11	CSS (°Brix) en función de la relación de F:AF (frutos/m ² AF) en las variedades analizadas en la temporada 2008/2009. CSS (°Brix) = $20,91 - 0,01 * F:AF$ ($R^2= 0,23$; $p=0,008$).	52

INTRODUCCIÓN

El cerezo (Prunus avium L.): características generales

El cerezo (*Prunus avium* L.) pertenece a la familia de las Rosáceas, subfamilia de las Prunoideas, género *Prunus* L., al igual que otros frutales como el guindo, ciruelo, damasco y duraznero. Se piensa que la especie es originaria de la zona comprendida entre los mares Caspio y Negro, lo que explica su preferencia por climas mediterráneos o templados (Webster & Looney, 1996).

Este frutal es un árbol que puede alcanzar una longevidad de hasta 100 años, es caducifolio, y en su estado natural puede alcanzar hasta 20 metros de altura. El tronco presenta una corteza lisa marcada horizontalmente con lenticelas. Las hojas son simples, largas (de 7,5 a 12,5 cm), con estípulas y un pecíolo largo con dos glándulas rojizas cerca de la lámina de la hoja. Las flores son blancas y se encuentran solitarias en la base de la madera del año o en grupos de hasta 5 alrededor de la yema vegetativa en los dardos de la madera más vieja. El fruto es pequeño en el tipo silvestre, pero puede superar los 10 g y alcanzar 30 mm de diámetro en las variedades cultivadas modernas (Sanz & Onofre, 2006). La forma es variable dependiendo del genotipo, y el color oscila entre el amarillo, el rojo claro y el rojo oscuro.

Para fructificar adecuadamente, este frutal necesita de un período de dormición invernal (es una especie relativamente exigente en horas de frío) y de una estación de crecimiento templada (Longstroth & Perry, 1996). También requiere un aporte suficiente de agua durante la estación de crecimiento, el cual ronda los 1100 mm para toda la temporada de crecimiento (Manavella *et al.*, 2006), si bien el momento crítico de demanda hídrica es el período de mayor crecimiento del fruto (fase III del desarrollo del fruto) y hasta la cosecha. Sin embargo, las lluvias que ocurren durante la maduración del fruto pueden ser extremadamente dañinas, provocando el rajado del fruto (Jedlow & Schrader, 2005). El suelo donde se cultiva debe ser preferentemente bien aireado, de al menos 1 m de profundidad, con buena capacidad de retención de agua y buen drenaje (San Martino *et al.*, 2006).

En comparación con otros frutales de carozo de hoja caduca, el cerezo es el primero en madurar cada primavera y tiene sólo entre 60 y 80 días desde la floración hasta la madurez de los frutos (Kappel, 1991; San Martino *et al.*, 2008). Además, tal como sucede en otros frutales, el crecimiento del fruto, de nuevos brotes y la diferenciación de yemas florales ocurren al mismo tiempo y los diferentes órganos compiten por los recursos disponibles. Debido a esta competencia por fotoasimilados, si se maneja el árbol para provocar un crecimiento vigoroso de

la parte aérea y las raíces (por ejemplo, mediante una elevada fertilización nitrogenada) se puede afectar negativamente el desarrollo de los frutos. En este sentido, puede disminuir el tamaño de los frutos, así como su firmeza y contenido de sólidos solubles (CSS) y la formación de flores para la siguiente temporada puede ser retrasada e incluso inhibida (Flore & Layne, 1999; Gil-Albert Velarde, 1996; Hanson & Proesting, 1996; Peterson & Stevens, 1994). Al inicio de la primavera, la floración se lleva a cabo en ausencia de hojas, por lo que es dependiente de las reservas que el árbol haya acumulado en el ciclo vegetativo anterior (Flore & Layne, 1999). Por estas razones, resulta de gran interés la búsqueda de estrategias tendientes a garantizar una alta cantidad de reservas (hojas activas y que perduren el mayor tiempo posible antes de caer) y un elevado flujo de fotoasimilados para asegurar una buena cantidad de frutos comercialmente aceptables.

Importancia de la problemática abordada

En el pasado, los sistemas de producción de cerezo usualmente utilizaban cultivares vigorosos y amplios espaciamientos, lo cual producía árboles grandes que, por lo tanto, eran difíciles de cosechar y empezaban a producir tardíamente. Actualmente, las densidades de plantación han aumentado, con el objetivo de obtener árboles más pequeños, que empiecen a producir más temprano y que tengan un menor costo de mano de obra (Cittadini, 2002).

El sistema de conducción afecta la intercepción y la distribución de la luz, así como la fotosíntesis realizada por la canopia. A igual área foliar por árbol, una mejor distribución de luz contribuye a incrementar la disponibilidad de carbohidratos a los órganos-destino, favoreciendo el mayor peso de los frutos. Sin embargo, una alta disponibilidad de azúcares trae como resultado un mayor cuaje (Marcelis & Heuvelink, 1999), con el asociado aumento de la relación fruto/área foliar, lo cual afecta negativamente el peso del fruto.

La densidad de los árboles influye indirectamente en la calidad del fruto a través del efecto de la luz y los niveles de asimilados. La cantidad de luz interceptada es afectada por la densidad de plantación, el tamaño y la forma de la copa del árbol (edad y sistema de conducción) y el Índice de Área Foliar (IAF: unidad de área foliar por unidad de terreno). En la actualidad hay tendencia a alcanzar bajos CSS en los frutos debido a un mayor acercamiento de los espacios entre árboles, probablemente por la baja exposición de hojas y frutos a la luz directa del sol (Ystaas, 1989). Además, durante la etapa de desarrollo del fruto, el sombreado restringe la productividad y el tamaño, el color y el CSS del fruto, e induce a abortos tempranos de órganos reproductivos (Flore & Layne, 1999).

Corelli-Grappadeli & Coston (1991) sugirieron que la posición del fruto en la rama puede influir en el crecimiento del mismo cuando hay competencia entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo o entre frutos. En este caso, los frutos ubicados más cerca de la fuente de asimilados se verían favorecidos con respecto a los ubicados más lejos de la misma.

La obtención de fruta de mejor calidad es importante dada la exigencia de los mercados internacionales, que demandan fruta de buen calibre, firmeza y CSS. El peso y el tamaño de las cerezas son importantes para su valor comercial (Vitrup Christensen, 1995), ya que el mercado requiere usualmente cerezas grandes (Kappel *et al.*, 1996). También la firmeza es usualmente relevante para la aceptación de la cereza por parte del consumidor (Cliff *et al.*, 1996). En la región Patagonia Sur, la firmeza es un aspecto clave debido a las distancias y tiempos involucrados para la comercialización en el exterior. Para lograr esta alta calidad, además de cosechar la fruta en su punto de madurez organoléptica óptima, determinado de acuerdo a una combinación de factores de calidad que incluyen el tamaño, el color, los sólidos solubles y la firmeza (Mitcham *et al.*, 1996; Patten *et al.*, 1983), se debe trabajar en mejorar las relaciones entre área foliar, cantidad de frutos, intercepción y distribución de luz a nivel del monte. El IAF, junto con la relación de frutos por área foliar (F/AF), son los aspectos básicos que deben ser tenidos en cuenta para optimizar la producción (combinación de rendimiento y calidad de fruta).

Por ello, el conocimiento del IAF en montes comerciales es de fundamental importancia. Este es el determinante principal de la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa o PAR, fuerza motora de la producción total de materia seca. Para lograr una producción importante de fruta, hay un rango de IAF que se puede considerar óptimo, en el cual la intercepción de PAR a cosecha es de alrededor del 75% (Gil Salaya, 1999). El conocimiento acerca de las relaciones entre los parámetros de calidad y las relaciones F/AF en árboles cercanos al IAF óptimo es importante para poder definir "árboles objetivo" que permitan optimizar la producción teniendo en cuenta las diferentes relaciones precio-calidad (Cittadini *et al.*, 2006; Cittadini, 2007).

Sin embargo, la estimación tanto del IAF como del AF en montes comerciales de cerezo no es una práctica habitual, ya que su medición es considerada tediosa e impráctica, debido a la falta de conocimiento de un método práctico, no destructivo y, al mismo tiempo, con suficiente nivel de precisión.

Situación del cultivo en el mundo y en el país

El cultivo de cerezo se desarrolla en cantidad significativa en más de 40 países (Webster y Looney, 1996). La superficie mundial se incrementó marcadamente desde los años 1986-1987 hasta la actualidad, pasando de 288.500 ha a 388.758 ha cultivadas. La producción mundial actual asciende a 1.875.618 tn (FAO, 2008). Los principales países productores son España, Alemania, Estados Unidos, Italia, Irán y Turquía (Villarreal *et al.*, 2006), mientras que América del Sur representa aproximadamente sólo el 3% de la producción mundial.

La superficie cultivada con cerezos en la Argentina alcanza las 2.200 hectáreas (Villarreal *et al.*, 2006), de las cuales más del 50% se ubican en la provincia de Mendoza; luego le siguen en importancia los valles de la Norpatagonia y los valles de Patagonia Sur. La fruta primicia se produce en Mendoza (noviembre), le siguen Neuquén, Río Negro y Chubut (diciembre) y por último, el valle de Los Antiguos en Santa Cruz (enero-febrero) por la incorporación de las producciones de las variedades tardías en las últimas temporadas (Hochmaier & San Martino, 2007).

En Patagonia Sur, el área total implantada con cerezos ha aumentado desde 176 has en 1997 a 555 ha (alrededor del 26% de la superficie del país cultivada con cerezos), de las cuales 197 ha están en Los Antiguos (46° 33' LS; 220 m.s.n.m.) (Apóstolo *et al.*, 2010), 135 ha en Sarmiento (45° 35' LS; 270 m.s.n.m.) (Szlápelis, 2010), 158 ha en el valle inferior del río de Chubut (VIRCH) (43° 16' LS; 30 m.s.n.m.), 35 ha en Esquel (42° 55' LS; 570 m.s.n.m.) y 30 ha en Comodoro Rivadavia (45° 52' LS; 50 m.s.n.m.) (Cittadini *et al.*, 2008c) (Fig. 1.1).



Figura 1.1. Ubicación de la Patagonia Sur Argentina (área en blanco) y de las 5 zonas productoras (Cittadini *et al.*, 2008c).

Descripción del sitio experimental

El Valle de Los Antiguos está ubicado en el NO de la provincia de Santa Cruz, a los 46° 32' 50" de Latitud Sur y 71° 37' 59" de Longitud Oeste, a 254 m.s.n.m. Presenta un microclima templado semiárido, influido tanto por la cercanía del lago Buenos Aires (1.850 km²) como por las corrientes de aire del océano Pacífico, por lo que resulta más cálido que los de la vertiente atlántica. Debido a su elevada latitud, cuenta con veranos de días largos, con alta radiación solar y baja humedad relativa. Las temperaturas mensuales medias varían entre 2,5 °C en junio y 14,9 °C en enero. En cuanto a las heladas, se registra al mes de enero como único mes libre

de heladas, mientras que los meses de febrero y diciembre se encuentran libres de heladas en la mayoría de los años analizados (San Martino & Manavella, 2004).

El promedio anual de precipitaciones durante el decenio 1999-2009 fue 200 mm. La distribución a lo largo del año muestra una concentración en el período otoño-invernal, por lo que el riego es primordial para la producción, abasteciéndose esencialmente de los ríos Los Antiguos y Jeinimeni a través de canales de riego. También se utilizan perforaciones ubicadas dentro de los predios para el riego presurizado.

El ambiente de Los Antiguos está rodeado de rocas aflorantes de naturaleza volcánica que se hallan cubiertas de sedimentos glaciares. El valle donde se encuentra la zona cultivada es un cono aluvial, dentro del cual se encuentran dos situaciones: (1) terrazas, con suelos de textura media a fina, profundos, con presencia de cantidades limitadas de calcáreo y escasos moteados y algunos suelos de textura gruesa y abundante pedregosidad que limitan las labores culturales y el volumen de suelo a explorar por las raíces; (2) cauces y paleocauces de los ríos Los Antiguos y Jeinimeni, con suelos pedregosos, de textura gruesa y afectados por napa freática alta (Irisarri *et al.*, 1990).

Los suelos del valle son jóvenes, con escaso desarrollo genético; en zonas de drenaje restringido aparece el calcáreo. La mayoría de los suelos son aptos para el cultivo de cerezos y las principales limitaciones, que se dan sólo en algunos sectores, son las siguientes:

- presencia de pedregosidad a escasa profundidad, lo cual limita el área a explorar por las raíces y el laboreo del suelo;
- drenaje restringido, que limita la disponibilidad de oxígeno en el suelo y aumenta la posibilidad de aparición de enfermedades en el sistema radical;
- presencia de material calcáreo.

El valle posee un total de 1.233 ha, de las cuales 710 ha corresponden a chacras donde se realiza alguna actividad productiva, si bien las que están efectivamente en producción son 466 ha (Apóstolo *et al.*, 2010; Muñoz *et al.*, 2004). La principal actividad agropecuaria del valle es el cultivo de cerezo, que se ha desarrollado desde principios de la década del '70 (San Martino *et al.*, 2008). Con menor importancia le siguen el cultivo de alfalfa y la cría de ganado vacuno y ovino.

La producción de cerezas de este valle tiene la ventaja de ingresar al mercado (nacional e internacional) en un momento donde los volúmenes de fruta ya son escasos (última producción del hemisferio Sur) o de baja calidad. Además, cuenta con la ventaja competitiva de ser realizada con escasa aplicación de agroquímicos, debido a las favorables condiciones agroecológicas. Con esto, se logra un producto diferenciado y en contraestación, aspecto muy atractivo desde el punto de vista económico (Sansinaea & Barría, 1998).

La comercialización de la fruta se realiza mayoritariamente en fresco, tanto en el mercado nacional (40%) como en el de exportación (55%). Los principales destinos de exportación son Inglaterra y España; el 5% restante se industrializa. Del total de cerezas

producidas, un 40% corresponde a la variedad 'Bing', 16% a 'Lapins', 12% a 'Van' y 32% a otras, entre las que se encuentran 'Napolitana', 'Newstar', 'Sunburst', 'Sweetheart' y 'Durone'.

Los productores tienen en general una larga tradición; varias chacras cuentan con árboles conducidos como vaso tradicional o modificado (500 y 1000 árboles ha⁻¹, respectivamente), e incluso un 27% de los productores lo hacen en forma libre con una densidad media de 280 árboles ha⁻¹ (Muñoz *et al.*, 2004). El 74% del área se riega por gravedad y sólo el 4,4% del área implantada cuenta con sistema activo de control de heladas (Cittadini, 2007; Cittadini *et al.*, 2008c). Sin embargo, en los últimos años se ha implantado una importante superficie que se maneja de acuerdo con conceptos modernos de sistemas de conducción, riego presurizado y control de heladas.

La producción de cerezas en el valle es muy variable, dependiendo de las condiciones agroclimáticas y del manejo de los montes. En montes con un manejo tradicional, el rendimiento ronda los 5.000 kg/ha, mientras que en montes modernos pueden obtenerse más de 10.000 kg ha⁻¹ (Claps & San Martino, 2004). Existen indicios basados en mediciones de campo que indican que las bajas producciones en los montes de cerezo de Patagonia Sur están asociadas comúnmente a un bajo Índice de Área Foliar (IAF) o a un bajo número de frutos, resultando en una baja relación fruto/área foliar (número de frutos/m² AF) (Cittadini *et al.*, 2006).

En el caso de Los Antiguos, los árboles de los montes tradicionales y poco productivos son grandes, por lo cual posiblemente las limitaciones de rendimiento están más relacionadas a la segunda de las causas mencionadas, asociadas a defectos en el diseño de los montes y problemas de manejo, tales como poda inadecuada, riego ineficiente, heladas primaverales no controladas, etc. Además, el valle es una zona con escaso desarrollo en muchos aspectos técnicos de la producción de cereza y muchos de los factores ecofisiológicos y sus relaciones con la producción y la calidad de fruta no han sido estudiados todavía.

Estructura de la tesis

El conocimiento del IAF de los montes de cerezos permitiría diagnosticar situaciones de canopia excesiva o insuficiente y en consecuencia tomar medidas correctivas. Sin embargo, la estimación del IAF en montes comerciales no es una práctica habitual, ya que su medición es considerada tediosa e impráctica, debido a la falta de conocimiento de un método práctico, no destructivo y, al mismo tiempo, con suficiente nivel de precisión.

A fin de contribuir con el estudio de este índice, la estructura de la tesis consta básicamente de dos partes. En una primera parte (Capítulo 2) se desarrollan y validan diferentes modelos para la estimación del AF por árbol, que toman en cuenta distintas variables de medición: área de la sección transversal del tronco (ASTT), indicador de volumen (IVol), área foliar media (AFM), área foliar de la rama principal (AFRP), distancia de la

entrelínea libre de árboles (DEL), radiación fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés) interceptada, fotografías digitales desde el suelo hacia la copa del árbol (expresada como porcentaje de porosidad óptica vertical, %POV) y de la sombra del árbol proyectada sobre una tela blanca colocada en el suelo (expresada como sombra proyectada en el suelo en porcentaje, %SPS). En la segunda parte (Capítulo 3), se determinan las principales relaciones que existen entre el IAF y la PAR interceptada, el rendimiento por árbol y su calidad, a través del análisis del calibre, el peso, el CSS y la firmeza de los frutos.

El estudio se llevó a cabo durante dos temporadas consecutivas en plantaciones comerciales del valle Los Antiguos. Durante el primer año se obtuvieron los datos necesarios para el **desarrollo** de los modelos, de los cuales se seleccionaron los que estimaron mejor el IAF. En el segundo año, se realizó la **validación** de los modelos seleccionados, para lo cual se utilizaron árboles con otras variedades, portainjertos y sistemas de conducción. Durante ambas temporadas, se trabajó además con las **relaciones** entre IAF y PAR, rendimiento y calidad de fruta.

Objetivo general

Desarrollar y validar metodologías prácticas y no destructivas para la estimación del Área Foliar por árbol y cálculo del IAF en montes de cerezo (*Prunus avium* L.) y determinar su influencia sobre los rendimientos y la calidad de la producción.

Objetivos específicos

- Desarrollar y comparar distintas metodologías prácticas para la estimación del Área Foliar por árbol y cálculo del IAF en cerezo adulto.
- Validar las metodologías desarrolladas para la estimación del Área Foliar por árbol en diversas situaciones de cultivo.
- Determinar la relación entre el IAF y la PAR interceptada por el árbol.
- Determinar las relaciones entre el IAF, el número de frutos/AF, la productividad del árbol y calidad de la fruta.

Hipótesis general

La obtención de metodologías prácticas, no destructivas y lo suficientemente precisas para la estimación del Área Foliar por árbol y el IAF en cerezo, permite contar con conocimientos de base para poder realizar diagnósticos de las principales limitaciones de rendimiento y calidad de fruta.

Desarrollo y validación de metodologías prácticas y no destructivas para la estimación del área foliar por árbol (AF) y el cálculo del Índice de Área Foliar (IAF) en montes de cerezo (*Prunus avium* L.)

INTRODUCCIÓN – REVISIÓN DE ANTECEDENTES

El Índice de Área Foliar (IAF; m² de área foliar por m² de área de suelo asignada) es el determinante principal de la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa o PAR (del inglés, *Photosynthetic Active Radiation*), de la fotosíntesis (Lappi & Stenberg, 1998) y de la producción total de materia seca a cosecha (Patrick, 1988; Wagenmakers, 1994). Para la producción de fruta existe un valor óptimo de IAF. A medida que el valor del IAF se incrementa por encima del óptimo, aumenta la luz interceptada hasta alcanzar cierto valor en el que la biomasa es tal que empieza a producir sombreo dentro de la canopia y parte del follaje ya no contribuye a la fotosíntesis. Además, con bajos niveles de luz, la formación de yemas florales y el crecimiento del fruto pueden verse reducidos (Wagenmakers, 1994) y puede también ocurrir la muerte temprana de yemas y dardos.

Un buen nivel de intercepción de luz en cerezo, que permita una buena producción de azúcares y que no afecte negativamente la viabilidad de dardos y yemas reproductivas, suele rondar entre 70 y 75% de la luz visible incidente a cosecha (Gil Salaya, 1999). En la Patagonia Sur, esto coincide con un IAF entre 2,5 y 3,5, dependiendo del sistema de conducción, el marco de plantación y la ubicación geográfica del monte (Cittadini, 2006), si bien en montes bien provistos de agua y nutrientes se han observado rendimientos elevados y buena calidad de fruta en forma sostenida con valores de IAF cercanos a 4 (Cittadini, com. pers.).

La elección de un método a utilizar para determinar el área foliar (AF) y posteriormente el IAF depende del objetivo del trabajo, de la precisión deseada, del tamaño de la muestra, de la morfología de las hojas, del equipamiento disponible, del costo y del tiempo requerido para realizar las mediciones. La determinación del AF, sin embargo, lleva mucho tiempo (Portela, 1999) y, en particular en los árboles frutales, implica un proceso dificultoso (en algunos casos impracticable) o requiere de instrumentos electrónicos sofisticados (Bhatt & Chanda, 2003). Además, si se utilizan métodos directos destructivos (que serían los más precisos), se imposibilita la continuidad del estudio en la misma planta (Chirinos *et al.*, 1997).

Entre los métodos que se han probado en frutales, Wünsche & Lakso (2000) contaron el número de dardos y de ramas en manzano (*Malus domestica* Borkh) en estado de yema dormida. En el momento de pleno desarrollo foliar, seleccionaron 40 dardos y 25 brotes y midieron el área foliar, obteniendo el área foliar media por estructura, que luego fue multiplicada por la cantidad de estructuras, obteniendo así el AF/árbol. Un método similar fue

utilizado en este frutal por Raffo *et al.* (2006), quienes estimaron el AF de dardos (AFd), de brotes (AFb) y total (AFt) a las 3, 8, 18 y 20 semanas después de plena floración. Para ello, contaron el número total de dardos y brotes y en los días establecidos tomaron muestras de 12 brotes y 12 dardos que fueron llevadas al laboratorio para determinar el peso fresco, el AF (mediante el empleo de un area-meter Li-Cor LI-3100) y el peso seco (mediante el secado de las hojas a estufa a 60 °C hasta peso constante). Luego calcularon el AFd y el AFb multiplicando el área foliar promedio de dardos y brotes de las muestras por el total de estructuras presentes en la planta. Posteriormente, el AFt fue calculado sumando el AFd y el AFb.

En montes comerciales de cerezo, Cittadini *et al.* (2006, 2008a y 2008b) estimaron el IAF mediante el conteo del total de hojas de la planta y el muestreo del 1% de las hojas, a las cuales se midió el área foliar mediante la utilización de un *scanner* (Hewlett Packard® ScanJet 4C), usando "Image Tool 3.0" (UTHSCSA, 2002). De este modo, obtuvieron el área media de la hoja, para luego calcular el AF por árbol multiplicando el número de hojas totales por el área media de la hoja y finalmente estimar el IAF dividiendo el AF por árbol por el área asignada a cada árbol (distancia entre hileras por distancia entre plantas). Cittadini (2006) utilizó el mismo procedimiento para el cálculo del IAF, pero estimó el área media de la hoja en base a la ecuación de Cittadini & Peri (2006), que consiste en la multiplicación del largo (L) de la hoja sin pecíolo por su ancho (A) expresados en cm por un coeficiente de corrección de 0,6612.

Por otro lado, se han propuesto muchos métodos indirectos para la determinación no destructiva del AF y el IAF, principalmente en las especies arbóreas, con el objetivo de reducir el esfuerzo del muestreo. Dentro de estos métodos indirectos, se encuentran los que se basan en la interceptación de radiación solar, utilizando información de la fracción de radiación fotosintéticamente activa transmitida a través del dosel vegetativo, con instrumentos sofisticados entre los que se destacan: sensores cuánticos, sensores utilizados en fotografías hemisféricas (Rich, 1990), respuestas espectrales, ceptómetro, analizador de canopeo (LI-COR 2000) (Coelho Filho *et al.*, 2005), entre otros. Particularmente, el analizador de canopeo LAI 2000 es ampliamente utilizado en estudios de estimación de AF y del IAF en diferentes cultivos (Sommer & Lang, 1994; Villalobos *et al.*, 1995; Stenberg, 1996; Cutini *et al.*, 1998; López-Serrano *et al.*, 2000; Coelho Filho *et al.*, 2005).

Villa Nova *et al.* (2003) propusieron la utilización de un luxímetro (IAF-LUZ) para la estimación del IAF, tanto en situaciones de cobertura continua como discontinua. Pierce & Running (1988), en bosques de coníferas, hallaron una alta correlación ($r^2 = 0,94$) entre la estimación directa del IAF y las mediciones indirectas de la radiación solar interceptada, a través del uso de un ceptómetro (modelo SF-80, Decagon Devices 1987) para la medición de la radiación y la aplicación de la fórmula de Beer-Lambert: $LAI = -\ln(Q_i/Q_0)/K$, donde Q_i/Q_0 expresa la radiación transmitida a través de la canopia y k es el coeficiente de extinción de la luz.

También se han utilizado mediciones de variables biométricas para la estimación del AF y del IAF, tales como el diámetro del tronco o de ramas en manzano (Holland, 1968; Barlow, 1969; Palmer, 1987; Angelocci & Valancogne, 1993). Tersoglio (2001), citado por Balul (2010), ha utilizado el área de la sección transversal del tronco (ASTT) como variable independiente de la variabilidad de la producción y la calidad de la fruta en cerezos 'Bing', por lo que esta variable también podría ser útil para calcular el área foliar. En especies forestales, por ejemplo, la medición del área de la sección transversal de la albura del tronco es considerada como uno de los mejores estimadores del área foliar (Marshall & Waring, 1986).

En avellanos (*Corylus avellana* L.), Bignami & Rossini (1996) determinaron el área foliar (y posteriormente el IAF) a través de la utilización de imágenes fotográficas en blanco y negro según la proyección de la copa, demostrando una buena correlación con el área de la silueta de la cubierta. Además, pudieron estimar los parámetros de tamaño (altura, ancho y volumen), concluyendo que el método se podría utilizar en otras especies en la medida en que previamente se ajusten los parámetros.

Coelho Filho *et al.* (2005) indicaron la posibilidad de estimar el AF en árboles de lima ácida (*Citrus latifolia* Tan.) de manera simple y rápida en el campo, usando variables biométricas (diámetro del tronco a 5 cm por encima y por debajo de la unión portainjerto-variedad y diámetro de las ramas secundarias a 5 cm de su inserción) o la silueta de la copa (análisis de fotografías digitales frontales). Las ventajas de este método son la simplicidad en las medidas, la rapidez del análisis, el hecho de no ser destructivo y de permitir el estudio secuencial del crecimiento de la planta en el campo. Este tipo de estimaciones podría utilizarse en estudios en los que no se requiera de una alta precisión.

Favarin *et al.* (2002), con el propósito de determinar la variación estacional del IAF en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.), establecieron las relaciones entre el IAF y diferentes variables de crecimiento (altura de la planta, número total de hojas y masa y área foliar) y de arquitectura de la canopia (área inferior, media y superior de la canopia, área lateral de la canopia, diámetro inferior, medio y superior de la canopia, volumen y altura de las primeras ramas). En ese estudio, el volumen, el área lateral del dosel y, consecuentemente, la altura y el diámetro de la sección inferior del dosel, presentaron altos coeficientes de correlación, por lo que pudieron ser utilizados para la estimación del IAF.

En Patagonia Sur, la estimación del AF o del IAF en montes comerciales de cerezo no es una práctica habitual, pero algunas mediciones de campo han indicado que las bajas producciones en los montes de cerezo están asociadas comúnmente a un bajo IAF o bajo número de frutos, resultando en una baja relación fruto/área foliar (n° de frutos/m² AF) (Cittadini *et al.*, 2008d). La determinación habitual de este parámetro, entonces, permitiría diagnosticar situaciones de canopia excesiva o insuficiente y tomar las medidas correctivas consecuentes. Sin embargo, debido a la falta de conocimiento de un método práctico, no destructivo y con suficiente nivel de precisión, siguiendo esos criterios se planteó como objetivo de esta

investigación desarrollar y comparar distintas metodologías para la estimación del IAF en montes de cerezo y luego validar estas metodologías en diversas situaciones de cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Para el desarrollo de metodologías prácticas y no destructivas de la estimación del área foliar por árbol (AF/árbol) y el posterior cálculo del IAF en montes de cerezo (*Prunus avium* L.) se trabajó durante la temporada 2007/2008 en plantaciones comerciales del valle de Los Antiguos (46° 32' 50" Latitud Sur y 71° 37' 59" Longitud Oeste; 254 m sobre el nivel del mar). En una de ellas, se seleccionaron 15 árboles de la variedad 'Bing' y en otra, 15 de la variedad 'Lapins', todos injertados sobre *Prunus mahaleb* y de 9 años de edad. Cada árbol fue considerado una unidad experimental. Los árboles estaban conducidos como vaso español, a una densidad de 1.250 árboles ha⁻¹, con una distancia entre hileras de 4 m y de 2 m entre plantas. Ambos montes contaban con riego presurizado, fertirriego con NPK, aplicación foliar con micronutrientes, control de malezas en la línea de plantación con herbicida y con segadora en la entrelínea.

El monte de la variedad 'Bing' está implantado sobre un suelo de textura franco-arcillo-arenosa en la capa superficial de suelo (de 0-30 cm) y franco-arcillosa a mayor profundidad (de 30-60 cm), y presenta pH ácido, bajos niveles de carbono orgánico y de potasio, valores normales de N total y altos de fósforo, en ambos horizontes (Anexo 1). Por otro lado, el monte de la variedad 'Lapins' está establecido sobre un suelo cuyas características en la porción superficial de suelo (de 0-30 cm) presenta textura arenosa, pH moderadamente alcalino con ligeros problemas de salinidad, valores medios de materia orgánica, bajos niveles de N total, muy altos de fósforo y de potasio; mientras que de 30-60 cm presenta textura franco-arenosa con pH medianamente alcalino, sin problemas de salinidad, valores bajos de materia orgánica, muy bajos niveles de N total, altos de fósforo y de potasio (Anexo 1).

Según las determinaciones de los análisis foliares, el monte de la variedad 'Bing' presentaba valores bajos de K y Mn, valores normales de N, Ca y B, valores altos de Zn y valores muy altos de P y Mg. También el monte de la variedad 'Lapins' presentaba valores bajos de K y Mn, valores normales de Ca y B y muy altos de P y Mg, pero al contrario, se encontraron valores altos de N y muy bajos de Zn (Anexo 1).

Los 15 árboles (unidades experimentales) de cada variedad fueron seleccionados buscando un amplio rango de IAF, para lo cual se utilizó el área de la sección transversal del tronco (ASTT) como indicador inicial del vigor (la cual varió entre 33,5 y 286,6 cm² en los árboles experimentales) (Figura 2.1). A cada uno de estos árboles seleccionados se le determinó el AF en el momento de pleno desarrollo foliar (7 días después de la cosecha) y se

anotaron diversas características morfológicas y de diseño del monte, que junto al ASTT, fueron utilizadas como variables independientes para la estimación del AF/árbol. Luego se calculó el IAF dividiendo el valor de AF/árbol por el área asignada a cada árbol (distancia entre hileras por distancia entre plantas, en m²), según la siguiente ecuación: $IAF = (AF/árbol) / (\text{área asignada por árbol}, 8 \text{ m}^2)$.



Figura 2.1 Árbol experimental correspondiente al rango de IAF chico (izquierda) e IAF grande (derecha).

Para la validación de los modelos de predicción seleccionados, en la temporada 2008/2009 se trabajó en dos sitios de experimentación (chacras de productores), llamados en adelante sitio 1 y sitio 2. En el sitio 1 se seleccionaron 10 árboles adultos (de 9 años de edad) de la variedad 'Van' injertados sobre *Prunus mahaleb*, conducidos como vaso español, a una distancia de plantación de 3,90 m entre hileras y 1,90 m entre plantas y en el sitio 2 se seleccionaron 20 árboles, de los cuales 10 árboles (de 4 años de edad) correspondieron a la variedad 'Lapins' sobre portainjerto Maxma60, conducidos como eje central; 5 árboles (de 5 años de edad) a la variedad 'Lapins' sobre portainjerto Gisela 5, conducidos como eje central; y 5 árboles (de 5 años de edad) de la variedad 'Sweetheart' sobre portainjerto Maxma60, conducidos como eje central, todos a una distancia de plantación de 4,10 m entre hileras y 1,80 m entre plantas.

En ambos sitios se contó con riego presurizado, fertirriego con NPK, aplicación foliar con micronutrientes y control de malezas con herbicida en la línea de plantación y con segadora en la entrelínea.

En el Anexo 1 se muestran los análisis de suelo de los lotes donde se encuentran las variedades 'Sweetheart' sobre Maxma60 y 'Lapins' sobre Maxma60 y Gisela 5. Las

características de suelo del sitio 1 son las mismas del sitio de experimentación de la variedad 'Bing' que ya se indicaron para el desarrollo de los modelos.

Determinaciones

Desarrollo de los modelos para la estimación del área foliar por árbol (AF/árbol). Temporada 2007/2008

a) Medición del área de la sección transversal del tronco (ASTT)

Se calculó el área de la sección transversal del tronco (ASTT) en base a la medición del perímetro del mismo a 5 cm por encima de la unión portainjerto-variedad y transformando los datos a ASTT utilizando la fórmula de superficie de un círculo:

$$\text{ASTT (cm}^2\text{)} = \frac{\text{perímetro}^2 \text{ (cm)}}{4 \pi}$$

b) Medición directa del AF/árbol (Control)

De cada árbol experimental se contó la totalidad de las hojas en pleno desarrollo foliar y, con el fin de obtener el número de hojas a cosechar según el IAF de los árboles (chico, mediano y grande), se determinó el tamaño mínimo de muestra con el procedimiento IPSUR de R (R Development Core Team, 2007). Como valores para el desvío estándar se consideraron los estimados en una experiencia previa realizada con las variedades 'Lapins' y 'Bing' (Cittadini, com. pers.) y el delta se determinó en base a la bibliografía consultada. El cálculo indicó valores de 218 hojas para 'Lapins' y 257 para 'Bing' (Anexo 2). Estos valores se consideraron, en conjunto con la cantidad estimada de hojas para cada tipo de árbol, para determinar el porcentaje de hojas a cosechar según el IAF del árbol, el cual fue de 10% de hojas para los árboles de IAF chico, 5% para los de IAF mediano y 2% para los de IAF grande. De cada una de estas hojas muestreadas se estimó su área foliar (AF) según la ecuación de Cittadini & Peri (2006):

$$\text{AF (cm}^2\text{)}: L \times A \times 0,6612$$

donde

L: largo de la hoja (cm) sin pecíolo

A: ancho de la hoja (cm)

Luego se calculó el área foliar (AF) por árbol (m^2) multiplicando el número de hojas por el AF media (AFM).

c) Medición de otras características morfológicas y de diseño del monte

Además del AFM y el ASTT, en los mismos árboles seleccionados se realizaron las siguientes determinaciones:

- Se contaron las ramas principales, a las cuales se les midió el perímetro a 5 cm de su inserción en el tronco. Sobre esta base, se calculó el perímetro promedio y se eligió aquella rama principal (RP) con perímetro más cercano al valor promedio. A esta rama se le contó el total de las hojas y se lo multiplicó por el AFM, estimada según la ecuación de Cittadini y Peri (2006) y en base a una muestra de entre el 5 y 10% de las hojas (ramas grandes y chicas, respectivamente) se obtuvo el área foliar de la RP (AFRP).

- Se determinó un indicador de volumen de la copa del árbol (IVol), multiplicando la altura promedio de la planta por el ancho de la copa en la línea y en la entrelínea ($IVol (m^3) = h * a_L * a_E$).

- Se determinó la distancia de la entrelínea libre de árboles (DEL) como la diferencia entre la distancia entre líneas y el ancho de la copa en ese sentido ($DEL (m) = d_E - a_E$).

- Se tomaron fotografías digitales con una cámara SONY/Cyber-shot 3.2 megapixels desde el suelo hacia la copa del árbol. La cámara se ubicó a nivel del suelo apuntando hacia la canopia en sentido vertical, en diferentes posiciones con respecto al tronco (Figura 2.2), en la línea y hacia ambas entrelíneas.

En árboles grandes se tomaron fotografías a 50, 100 y 150 cm desde el tronco hacia la entrelínea y a 50 y 100 cm sobre la línea de plantación, mientras que, en árboles chicos, éstas fueron tomadas a 25, 50 y 100 cm hacia la entrelínea y a 25, 50 y 100 cm en la línea de plantación. Se procedió de esta forma para probar cuál sería la posición de la cámara más adecuada o cuántas fotografías serían necesarias, según la dimensión del árbol, para que las imágenes fueran representativas de la situación de la canopia.

Las imágenes se analizaron con el programa ERDAS imagine 9.1 y los resultados se expresaron como porcentaje de porosidad óptica vertical en la línea (%POV_L) y en la entrelínea (%POV_E) en las diferentes posiciones con respecto al tronco.

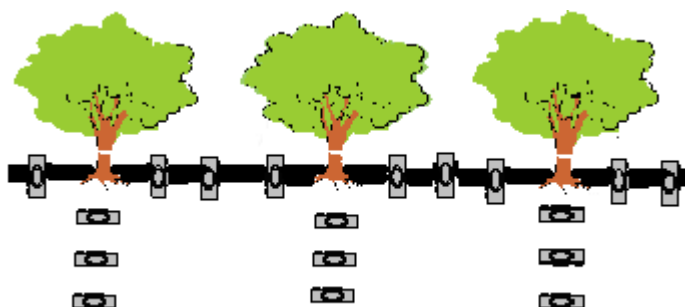


Figura 2.2. Ubicación de la cámara digital para la obtención de fotografías desde el suelo hacia la copa del árbol. En la figura se muestra la distribución de la posición de la cámara sólo en un lado de la línea de plantación.

- Se tomaron fotografías digitales (con la misma cámara mencionada precedentemente) de la sombra del árbol proyectada sobre una tela blanca colocada en el suelo, desde la mitad de la entrelinea, a una altura de 1,5 m, apuntando hacia el suelo (45°), registrándose la sombra del árbol proyectada sobre la tela (Figura 2.3).

Luego, las imágenes se analizaron con el programa ERDAS imagine 9.1 y los resultados se expresaron como sombra proyectada en el suelo en porcentaje (%SPS).



Figura 2.3. Imagen de la sombra del árbol proyectada sobre una tela blanca colocada en el suelo (%SPS).

- Se midió la interceptación de radiación fotosintéticamente activa (I-PAR) por árbol y su distribución, con el empleo de un ceptómetro “CAVA-RAD” (Cavadevice, Argentina), que consiste en una barra que integra el flujo de fotones recibido en un metro lineal (Raffo *et al.*, 2006). Las mediciones se realizaron al mediodía, en condiciones de cielo despejado, sobre la copa de los árboles (radiación directa incidente) y a 15 cm del suelo (radiación no interceptada por la copa) con una distribución horizontal, como se muestra en la Figura 2.4. Se realizaron mediciones sobre la línea de plantación a ambos lados del árbol y en la entrelinea a 50 y 100 cm del tronco, obteniéndose como resultado el promedio de 10 mediciones por árbol. Luego, por diferencia, se obtuvo la I-PAR por árbol.

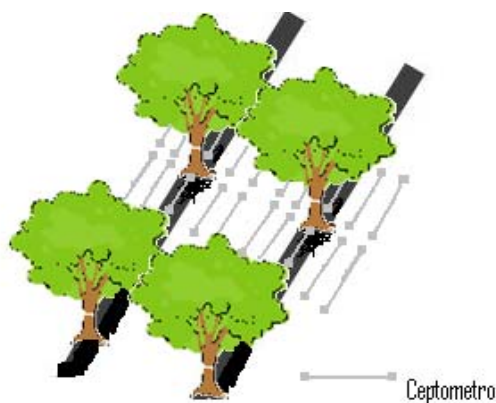


Figura 2.4. Ubicación del ceptómetro “CAVA-RAD” para la determinación de la interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (I-PAR) por árbol.

Validación de los modelos para la estimación del área foliar por árbol (AF/árbol). Temporada 2008/2009

Cada árbol representó una unidad experimental. Siguiendo la metodología explicada para el desarrollo de los modelos, se realizó la determinación directa del IAF en el momento de pleno desarrollo foliar y se midieron las características morfológicas y de diseño del monte que fueron seleccionadas por su incorporación en los modelos con mejor ajuste, como son el área foliar media (AFM), el área de la sección transversal del tronco (ASTT), el indicador de volumen de la copa del árbol (IVol) y fotografías digitales desde el suelo hacia la copa a 50 cm del tronco a ambos lados de la entrelínea (% POV_{50E}). Además, se midió la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (I-PAR) siguiendo la metodología explicada anteriormente.

Análisis estadístico de los datos

Para el desarrollo de los modelos, los análisis se realizaron tomando ambas variedades en conjunto, con el objetivo de obtener modelos de predicción lo más versátiles posibles. Luego se observó gráficamente, con los mismos árboles experimentales, la posible existencia de algún comportamiento diferente de los modelos en cada variedad por separado.

Previamente se realizaron análisis preliminares de Regresión Lineal Simple para evaluar las relaciones entre el AF/árbol (variable respuesta o dependiente) y cada variable independiente o predictora en forma individual. Las variables predictoras evaluadas fueron: ASTT (cm²), AFRP (m²), IVol (m³), DEL (m), AFM (cm²), %SPS y %POV en las distintas posiciones con respecto al tronco y la I-PAR (%). El cumplimiento de los supuestos fue corroborado mediante la prueba de Shapiro & Wilks (modificado) en base a los residuos para el caso de la distribución normal, y la prueba de Levene (análisis de la varianza de los residuos absolutos) más la observación de la tendencia de los residuos en el diagrama de dispersión, para el caso de homogeneidad de la varianza. En caso de falta de homogeneidad de la varianza, se procedió a transformaciones logarítmicas.

Luego, con el propósito de obtener el/los modelos para la predicción del AF/árbol, se realizó un análisis de Regresión Lineal Múltiple (Draper & Smith, 1998) utilizando el AF/árbol (el cual varió entre 2,55 y 35,76 m²) como variable respuesta y las demás variables como predictoras. La selección de las variables que debían ser incorporadas en el modelo de regresión (llamado modelo original) se realizó a partir del método de eliminación Backward, con un *máximo p-valor* para retener de 0,05 y un *p-valor* <0,05 para detectar relaciones significativas.

Una vez obtenido el modelo original, y debido a que la finalidad del trabajo era obtener alguna metodología práctica y sencilla para poder determinar estimativamente el AF/árbol (y luego calcular el IAF) en montes comerciales, posteriormente se evaluaron modelos más

simples, a través de análisis de regresión lineal simple y múltiple incluyendo sólo las variables que más significancia presentaban en el modelo original.

A partir del AF/árbol estimado fue posible calcular el IAF dividiendo el AF/árbol por el área de terreno asignada a cada árbol (distancia entre hileras por distancia entre plantas, en m²) (IAF = [AF/árbol] / [área asignada por árbol]).

Para la validación de los modelos desarrollados se realizaron comparaciones entre los valores de AF medidos en árboles independientes en la temporada 2008/2009 (con características de variedades, combinaciones portainjerto/variedad y sistemas de conducción diferentes) y los valores de AF estimados por los diferentes modelos de predicción seleccionados de la temporada anterior. Se realizó la prueba de hipótesis para probar si la pendiente de la regresión era igual a 1, es decir, que no había diferencias significativas entre la pendiente de la regresión y la pendiente de la relación 1:1 (Neter *et al.*, 1989). Gráficamente, se muestran estas relaciones entre el AF/árbol medido y el AF/árbol predicho por los diferentes modelos.

Por último, los criterios de selección de los mejores modelos de predicción del AF/árbol fueron tanto el nivel de ajuste, basado en el coeficiente de determinación (R²), como la practicidad, simpleza en las mediciones de campo y versatilidad ante diferentes situaciones de cultivo para poder determinar estimativamente el AF/árbol (y luego calcular el IAF) en montes comerciales.

Los datos de las dos temporadas fueron procesados en InfoStat/Profesional 2009 (Di Rienzo *et al.* Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo de los modelos para la estimación del área foliar por árbol (AF/árbol)

Variables predictoras del AF/árbol y su comportamiento

Al analizar las variables predictoras del AF/árbol se observó que las imágenes de la sombra del árbol proyectada sobre una tela blanca colocada en el suelo (%SPS) (Figura 2.3) resultaron muy complejas, tanto en el momento de tomarlas como en el momento de procesarlas (Figura 2.5). En este sentido, se observó que el ángulo desde donde es tomada la foto afecta su posterior análisis y además resultó difícil delimitar los extremos de la tela ya que se confundían fácilmente las sombras del árbol con pliegues de la misma y/o sombras de malezas. Debido a esto, esta variable fue directamente desestimada para los análisis de regresión para la obtención de los modelos de predicción.

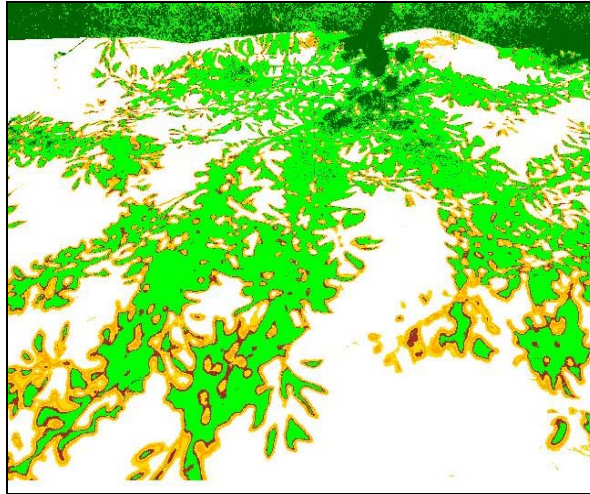


Figura 2.5. Imagen de la sombra del árbol proyectada sobre una tela blanca colocada en el suelo (%SPS), procesada con el programa ERDAS imagine 9.1.

Las imágenes tomadas desde el suelo hacia la copa del árbol (%POV) resultaron más nítidas, lo que facilitó su procesamiento con el programa ERDAS imagine 9.1. Se obtuvo así su clasificación en categorías de colores, lo que permitió distinguir, tal como se observa en la Figura 2.6, el área correspondiente al área foliar de la correspondiente al cielo (porosidad). Del total de imágenes procesadas, sólo se incorporaron en los análisis de regresión las que fueron tomadas a 50 y 100 cm del tronco en la línea de plantación (%POV_L) y hacia la entrelínea (%POV_E), ya que las fotografías tomadas en las demás posiciones con respecto al tronco no aportaron información extra y además, de esta forma, se lograría el desarrollo de modelos de predicción adaptables a rangos de AF/árbol más amplios.

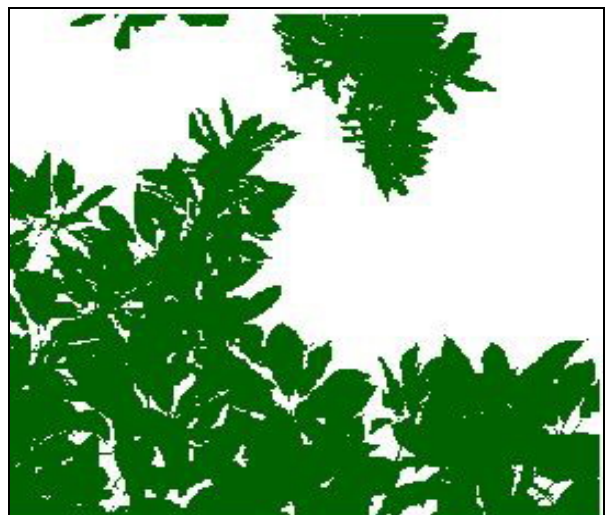


Figura 2.6. Imagen tomada hacia la copa de los árboles (%POV) (a la izquierda) e imagen procesada con el programa ERDAS imagine 9.1 (a la derecha).

Por lo tanto, las variables incorporadas en los modelos de regresión como predictoras del AF/árbol fueron: área de la sección transversal del tronco (ASTT), indicador de volumen (IVol),

área foliar media (AFM), intercepción de radiación fotosintéticamente activa (I-PAR), porcentaje de porosidad óptica vertical en la línea y en la entrelínea a 50 y 100 cm del tronco (%POV_{50E}, %POV_{50L}, %POV_{100E}, %POV_{100L}), distancia de la entrelínea libre de árboles (DEL) y área foliar de la rama primaria (AFRP).

Se evaluaron las relaciones entre el AF/árbol y las variables contempladas como predictoras, en función de su R² y sus residuales y, debido a la falta de homogeneidad de la varianza y al menor ajuste encontrado al aplicar los modelos lineales, se concluyó que la función potencial era la que mejor explicaba estas relaciones (Figura 2.7).

Para el caso del ASTT y el IVol, al contrario de lo hallado en este trabajo (Figura 2.7), Balul (2010) encontró una relación lineal positiva entre el ASTT y el AF/árbol y entre el volumen de la madera y el AF/árbol.

El área foliar de la rama principal (AFRP) presentó un menor nivel de ajuste (R²= 0,48) en comparación con las demás variables (Figura 2.7), lo que pudo deberse a la variabilidad del tamaño de las ramas principales que conformaban la estructura de cada árbol, lo cual a su vez derivó en que la rama principal promedio no fuera representativa y, en consecuencia, tampoco su AF. Mamani *et al.* (2007) utilizaron el método de la rama primaria o principal para estimar la carga frutal en cereza y obtuvieron una alta correlación entre el número de frutos por planta y el número de frutos por rama primaria, por lo que consideraron aceptable a este método si se tiene en cuenta el tamaño muestral, la rapidez del método y la sencillez operativa del mismo.

En la relación entre el AFM y el AF/árbol se observó una mayor dispersión de los datos y sólo el 16% de la variabilidad del AF/árbol estuvo explicada por la variación del AFM. Como se observa en la Figura 2.7, el AFM presentó un rango de valores de 18,91 a 47,62 cm², variación que estuvo explicada principalmente por la diferencia del AFM de las variedades analizadas, observándose una media de 24,32 cm² y 34,77 cm² para las variedades 'Bing' y 'Lapins', respectivamente. El tamaño de la hoja es uno de los parámetros vegetativos más sensibles a la variación de la carga (Ayala & Andrade, 2009). Según Usenik *et al.* (*en prensa*), el portainjerto utilizado tiene un efecto significativo sobre el vigor y probablemente algo sobre el tamaño de la hoja. Además, dentro del mismo árbol las hojas presentan gran variabilidad en su tamaño y morfología; por ejemplo, en manzano se observó que las hojas expuestas al sol directo presentaron mayor espesor (Doud & Ferree, 1980), mayor contenido de nitrógeno y resultaron más densas que las hojas sombreadas (Flore & Lakso, 1989). Estas características quedan definidas según la radiación interceptada por las hojas en el momento de su emergencia y desarrollo al comienzo de la estación de crecimiento (Corelli-Grappadelli, 2003).

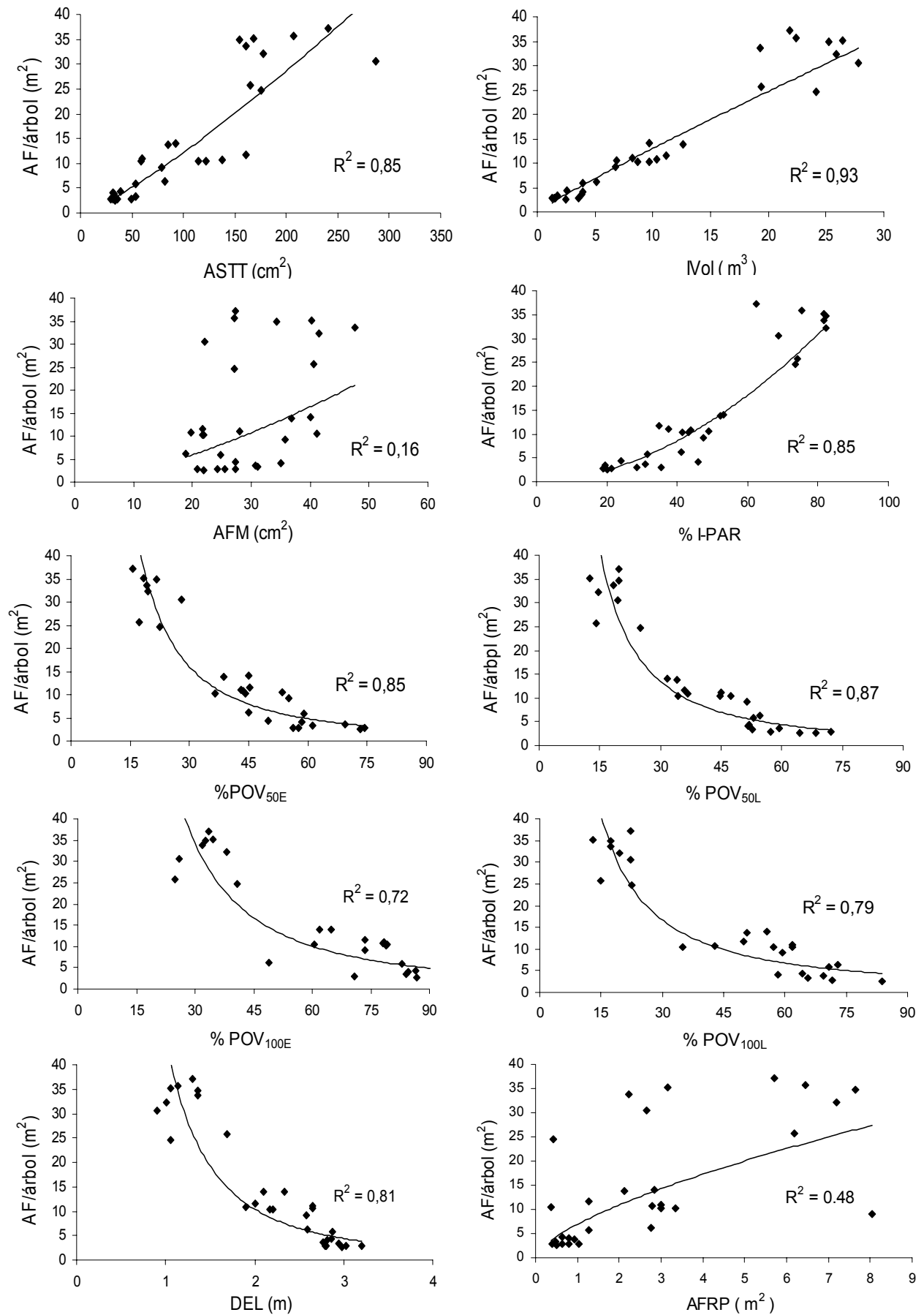


Figura 2.7. Relaciones entre el AF/árbol (m²) y ASTT ($y=0,042 x^{1,22}$), IVol ($y=1,546 x^{0,92}$), AFM ($y=0,074 x^{1,46}$), %I-RAF ($y=0,009 x^{1,85}$), %POV_{50E} ($y=5804 x^{-1,73}$), %POV_{50L} ($y=3266 x^{-1,61}$), %POV_{100E} ($y=14024 x^{-1,76}$), %POV_{100L} ($y=1387 x^{-1,30}$), DEL ($y=45,37 x^{-2,12}$) y AFRP ($y=6,90 x^{-0,66}$ m²).

Con respecto a la utilización de fotografías digitales, Coelho Filho *et al.* (2005) en árboles de lima ácida (*Citrus latifolia* Tan.), utilizaron imágenes fotográficas frontales para la estimación del AF/árbol y detectaron una relación lineal ($R^2= 0,721$) entre el área de la silueta y el área foliar total de la planta, relación que ya fue descrita por Bignami & Rossini (1996) en árboles de avellanos jóvenes (*Corylus avellana* L.) como una ecuación lineal con origen en el cero.

Obtención de los modelos de estimación del AF/árbol

Los modelos de predicción del AF/árbol correspondieron a modelos multiplicativos linealizados (modelos de tipo potencial), los cuales son muy utilizados en los casos en que la variable respuesta es una multiplicación de otras variables (ejemplo: dimensiones, estudios de la forma de un órgano, entre otros) y la explicatoria es una multiplicación de factores, como pasa en el caso del AF/árbol.

Como resultado del análisis de regresión múltiple, utilizando el método de selección de variables *Backward*, considerando tanto la variedad 'Lapins' como la variedad 'Bing' y un amplio rango de AF/árbol (valores promedios desde 2,55 hasta 35,76 m²), se observó que las variables independientes que deberían incorporarse en el análisis para obtener el mejor modelo de predicción del AF/árbol fueron \ln IVol ($p<0,0001$), \ln AFM ($p=0,0010$), \ln ASTT ($p=0,0021$) y \ln %POV_{50E} ($p=0,0055$), quedando el modelo original (A) como sigue:

$\ln \text{AF/árbol} = - 0,35 + 0,48 \ln \text{IVol} + 0,36 \ln \text{ASTT} + 0,44 \ln \text{AFM} - 0,38 \ln \% \text{POV}_{50E}$

Este modelo resultó ser estadísticamente el mejor (Tabla 2.1), pero bastante complejo, y debido que la finalidad del trabajo era obtener alguna metodología práctica y sencilla para poder determinar estimativamente el AF/árbol (y luego calcular el IAF) en montes comerciales, posteriormente se evaluaron modelos más simples, incluyendo sólo las variables que más significancia presentaban en el modelo original.

Los modelos de predicción, desarrollados sin diferenciación de las variedades con el objetivo de obtener modelos más versátiles, no mostraron diferencias significativas en su comportamiento al analizarlos en cada variedad por separado utilizando los mismos árboles experimentales (Figura 2.8), por lo que no fue necesario trabajar con un modelo diferente para la estimación del AF/árbol para cada variedad.

Dentro del amplio rango de AF/árbol utilizado (2,55 hasta 35,76 m²) los modelos presentaron, en general, un buen ajuste en ambas variedades y, si bien se observó una mayor dispersión de los datos para los mayores valores de AF/árbol, éstos permanecieron dentro de límites aceptables para fines de producción comercial de cerezas. Además, se observó que el modelo J, que incluye sólo a la variable ASTT, subestimó significativamente al AF/árbol en la variedad 'Lapins' (la pendiente de la regresión fue significativamente diferente de la pendiente de la línea 1:1, $p< 0,05$) demostrando la poca versatilidad del modelo, ya que se tendría que desarrollar un modelo para cada variedad en estudio (Figura 2.8).

Tabla 2.1. Modelos de predicción para la estimación del AF/árbol y sus coeficientes de determinación (R²).

Modelos	R ²
A $\ln \text{AF/árbol} = -0,35 + 0,48 \ln \text{IVol} + 0,36 \ln \text{ASTT} + 0,44 \ln \text{AFM} - 0,38 \ln \% \text{POV}_{50\text{E}}$	0,98
B $\ln \text{AF/árbol} = -3,42 + 0,50 \ln \text{IVol} + 0,57 \ln \text{ASTT} + 0,65 \ln \text{AFM}$	0,98
C $\ln \text{AF/árbol} = 3,64 + 0,61 \ln \text{IVol} - 0,70 \ln \% \text{POV}_{50\text{E}}$	0,97
D $\ln \text{AF/árbol} = -0,76 + 0,68 \ln \text{IVol} + 0,38 \ln \text{ASTT}$	0,95
E $\ln \text{AF/árbol} = -0,86 + 0,89 \ln \text{IVol} + 0,41 \ln \text{AFM}$	0,95
F $\ln \text{AF/árbol} = 0,43 + 0,93 \ln \text{IVol}$	0,93
G $\ln \text{AF/árbol} = -6,35 + 1,02 \ln \text{AFM} + 1,17 \ln \text{ASTT}$	0,93
H $\ln \text{AF/árbol} = 3,07 + 0,63 \ln \text{ASTT} - 0,97 \ln \% \text{POV}_{50\text{E}}$	0,92
I $\ln \text{AF/árbol} = 8,66 - 1,73 \ln \% \text{POV}_{50\text{E}}$	0,87
J $\ln \text{AF/árbol} = -3,16 + 1,23 \ln \text{ASTT}$	0,86

Dentro del modelo original A (que incluye a las variables IVol, ASTT, AFM y %POV_{50E}), el %POV_{50E} fue la variable que menos información aportó a la estimación, por lo que su exclusión del modelo no repercutió en modificaciones significativas en los estadísticos asociados al mismo y a su vez se simplificó notablemente el modelo, ya que la medición de %POV_{50E} requiere de la disponibilidad de una cámara fotográfica y de un software específico para poder realizar el procesamiento de las fotografías.

El modelo B (que incluye a las variables IVol, ASTT y AFM) presentó un muy buen ajuste (R²= 0,98, igual al ajuste del modelo original) (Tabla 2.1). Además, es mucho más simple y versátil, ya que la incorporación de la variable IVol permitiría la utilización del modelo en plantaciones con diferentes sistemas de conducción y el AFM ampliaría su aplicabilidad a montes comerciales con variedades con diferente morfología foliar. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la medición de la variable IVol puede resultar subjetiva, debido a que fue determinada en base hasta donde llegan la mayoría de las ramas, lo cual no es un límite claro. Favarin *et al.* (2002) utilizaron a la variable volumen (admitido como forma cónica, m³) en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) para la estimación del IAF, obteniendo modelos con muy buen ajuste.

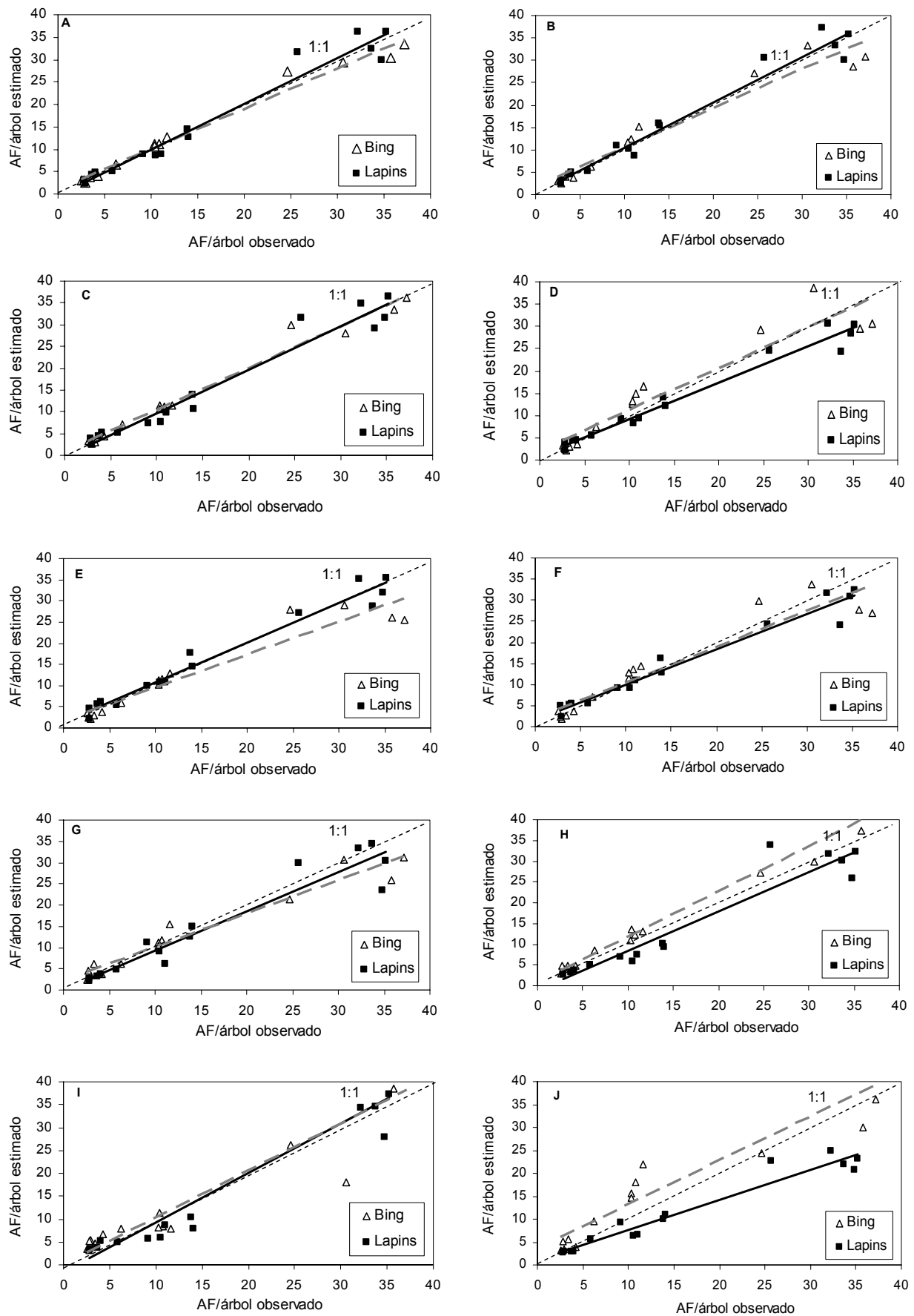


Figura 2.8. Relación entre el AF/árbol estimado según los diferentes modelos de predicción y el AF/árbol observado para 'Bing' (---) y 'Lapins' (—). A: $\ln \text{AF/árbol} = -0,35 + 0,48 \ln \text{IVol} + 0,36 \ln \text{ASTT} + 0,44 \ln \text{AFM} - 0,38 \ln \% \text{POV}_{50\text{E.}}$; B: $\ln \text{AF/árbol} = -3,42 + 0,50 \ln \text{IVol} + 0,57 \ln \text{ASTT} + 0,65 \ln \text{AFM}$; C: $\ln \text{AF/árbol} = 3,64 + 0,61 \ln \text{IVol} - 0,70 \ln \% \text{POV}_{50\text{E.}}$; D: $\ln \text{AF/árbol} = -0,76 + 0,68 \ln \text{IVol} + 0,38 \ln \text{ASTT}$; E: $\ln \text{AF/árbol} = -0,86 + 0,89 \ln \text{IVol} + 0,41 \ln \text{AFM}$; F: $\ln \text{AF/árbol} = 0,43 + 0,93 \ln \text{IVol}$; G: $\ln \text{AF/árbol} = -6,35 + 1,02 \ln \text{AFM} + 1,17 \ln \text{ASTT}$; H: $\ln \text{AF/árbol} = 3,07 + 0,63 \ln \text{ASTT} - 0,97 \ln \% \text{POV}_{50\text{E.}}$; I: $\ln \text{AF/árbol} = 8,66 - 1,73 \ln \% \text{POV}_{50\text{E.}}$; J: $\ln \text{AF/árbol} = -3,16 + 1,23 \ln \text{ASTT}$.

En base a los aspectos mencionados, el modelo que combina practicidad, objetividad en la medición de campo, flexibilidad ante diferencias morfológicas y al mismo tiempo buen ajuste (sólo 5% menos que el modelo de mayor ajuste), es el modelo G, que combina AFM y ASTT.

Balul (2010) coincidió en que para la estimación del AF/árbol en cerezo conducido en tatura, los mejores modelos son los que combinan el ASTT o el volumen de la madera con el AFM. Ambos modelos podrían ser utilizados no sólo en montes conducidos en tatura, sino también en aquellos en eje central.

Para que la medición del AFM resulte más práctica, pero al mismo tiempo con un nivel de precisión aceptable, el muestreo debería ser de 240 hojas/árbol, de acuerdo al tamaño mínimo de la muestra obtenido (procedimiento IPSUR de R (R Development Core Team, 2007)) y no dependiendo del tamaño del árbol, dividiendo el árbol en cuadrantes (en dos la altura y en dos a cada lado del tronco, quedando en total 8 cuadrantes) y extrayendo 30 hojas/cuadrante, lo que permite el muestreo de hojas de distintas edades, estado nutricional y luminosidad.

Validación de los modelos para la estimación del área foliar (AF) por árbol

La comparación entre el AF/árbol medido y el AF/árbol estimado, derivado de la validación con los árboles experimentales de la temporada 2008/2009 (con características de variedades, combinaciones pie/variedad y sistemas de conducción diferentes), evidenció la validez de los modelos de estimación, mostrando la mayoría de éstos un alto grado de correlación. En este sentido, los modelos A (que incluye a las variables IVol, ASTT, AFM y %POV_{50E}), B (variables IVol, ASTT y AFM), C (variables IVol y %POV_{50E}) y D (variables IVol y ASTT) fueron estadísticamente los mejores (Figura 2.8).

Los criterios de selección de los mejores modelos estuvieron basados en la obtención de un alto coeficiente de determinación (R^2), pero también se tuvieron en cuenta la practicidad y simpleza en las mediciones de campo y la versatilidad ante diferentes situaciones de cultivo.

Los modelos que contemplaron la utilización de imágenes procesadas (modelos A, C, H, I), si bien presentaron altos ajustes y la pendiente de la relación entre los valores de AF/árbol medidos y estimados no difirió significativamente de 1 (Figura 2.9 y 2.10), no fueron seleccionados entre los mejores modelos de estimación porque estos mismos resultados se obtuvieron con modelos mucho más prácticos y sencillos en su medición de campo.

Los modelos G (que incluye variables como el AFM y ASTT), H (variables ASTT y %POV_{50E}) y J (variable ASTT) presentaron las características de practicidad (salvo en el caso del modelo H) y alto ajuste (Figura 2.10), pero la pendiente de la relación (0,8253, 0,8615 y 0,7226, respectivamente) fue significativamente diferente de 1 ($p < 0,05$). Esto está indicando que estos modelos presentan limitaciones para ser usados en otras situaciones de cultivo que no sean para la cual fueron desarrollados; por ejemplo, al probarlos en otro sistema de conducción que no sea

similar al Vaso español; inclusive el modelo J debería ser desarrollado para cada variedad en particular.

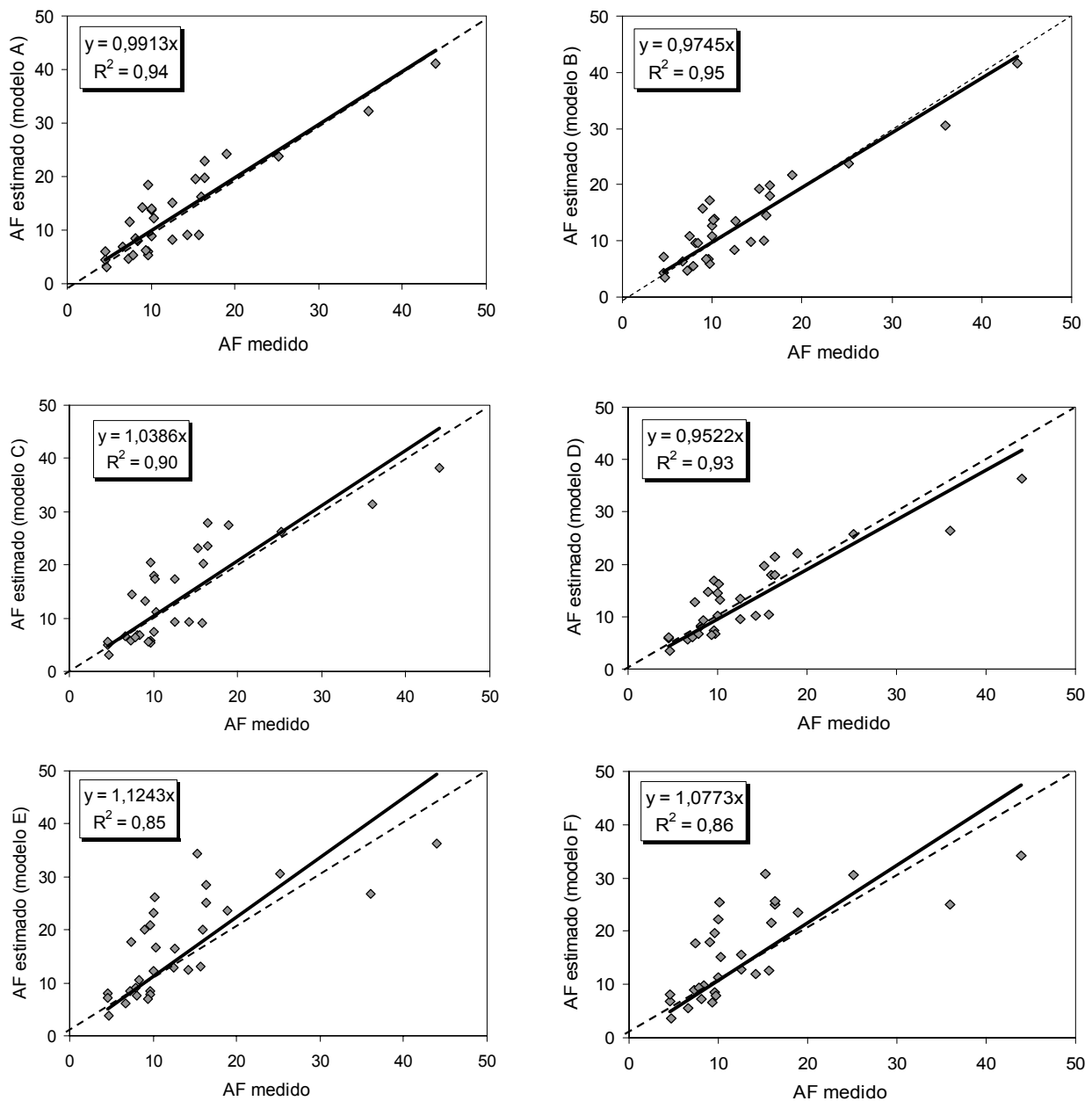


Figura 2.9. Relación entre el AF/árbol medido (tomando los 33 árboles experimentales en conjunto) y el AF/árbol estimado según los diferentes modelos de predicción. A: $\ln \text{AF/árbol} = -0,35 + 0,48 \ln \text{IVol} + 0,36 \ln \text{ASTT} + 0,44 \ln \text{AFM} - 0,38 \ln \% \text{POV}_{50\text{E}}$; B: $\ln \text{AF/árbol} = -3,42 + 0,50 \ln \text{IVol} + 0,57 \ln \text{ASTT} + 0,65 \ln \text{AFM}$; C: $\ln \text{AF/árbol} = 3,64 + 0,61 \ln \text{IVol} - 0,70 \ln \% \text{POV}_{50\text{E}}$; D: $\ln \text{AF/árbol} = -0,76 + 0,68 \ln \text{IVol} + 0,38 \ln \text{ASTT}$; E: $\ln \text{AF/árbol} = -0,86 + 0,89 \ln \text{IVol} + 0,41 \ln \text{AFM}$; F: $\ln \text{AF/árbol} = 0,43 + 0,93 \ln \text{IVol}$. Línea discontinua representa la relación 1:1 entre los valores medidos y estimados. Línea continua representa la línea de la regresión lineal del modelo correspondiente.

El modelo B (que combina a las variables IVol, ASTT y AFM), además de ser uno de los mejores estadísticamente, mostró ser práctico y versátil, presentó un excelente ajuste, y no se encontraron diferencias significativas con la pendiente de la línea 1:1 ($p > 0,05$). Esto estaría indicando su aplicabilidad en diversas variedades, combinaciones pie/variedad y sistema de conducción (tanto vaso español como eje central). Sin embargo, el modelo D (que sólo incluye a

las variables IVol y ASTT) presentó las características destacadas anteriormente, sin la necesidad de la medición del AFM, que es la variable que más tiempo demanda en su medición.

Con relación a los modelos E (que incluye a las variables IVol y AFM) y F (variable IVol), éstos presentaron un menor nivel de ajuste, R^2 de 0,85 y 0,86, respectivamente (Figura 2.9), pero como la pendiente no difirió significativamente de 1, estaría demostrando su aplicabilidad en las condiciones de cultivo planteadas durante la validación y ese nivel de ajuste podría ser considerado aceptable para las estimaciones del IAF a nivel de plantaciones comerciales.

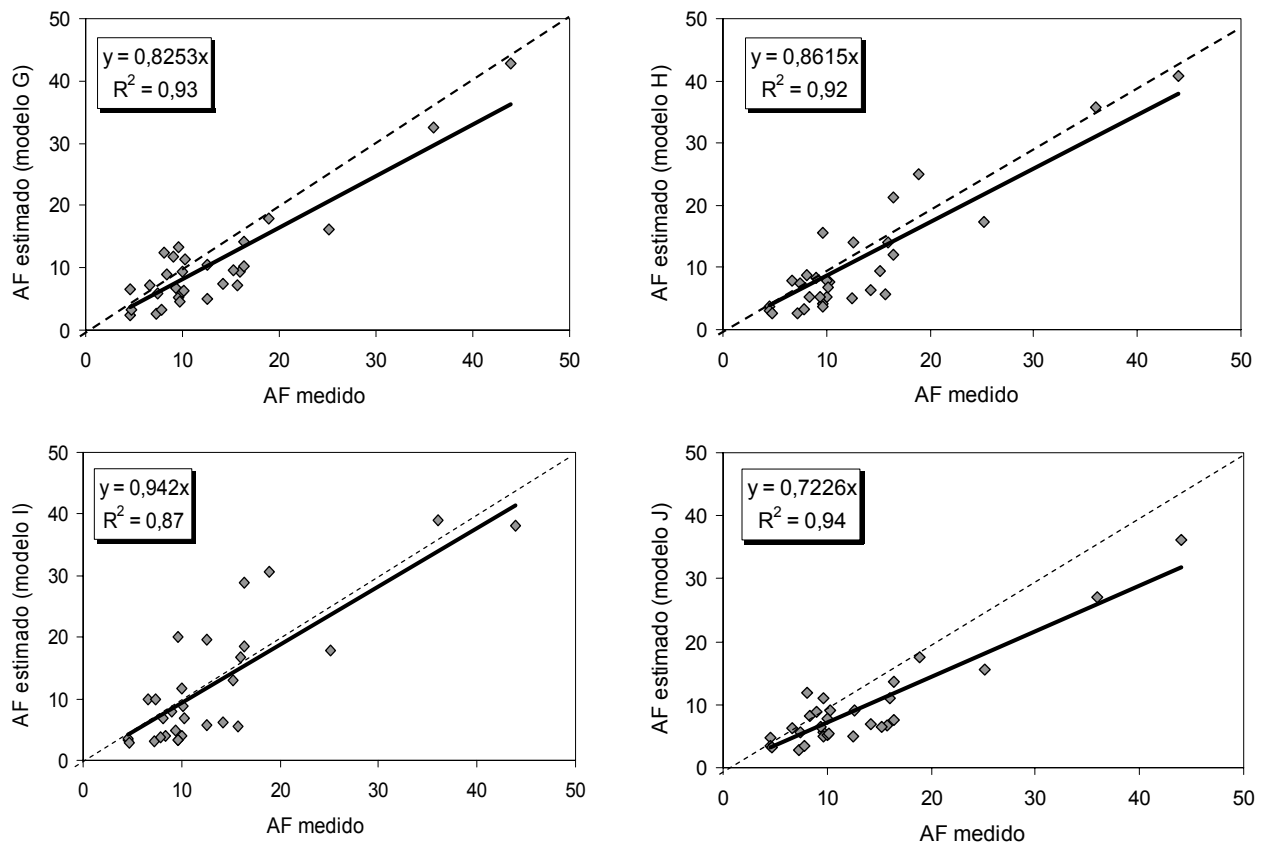


Figura 2.10. Relación entre el AF/árbol medido (tomando los 33 árboles experimentales en conjunto) y el AF/árbol estimado según los diferentes modelos de predicción. G: $\ln \text{AF/árbol} = -6,35 + 1,02 \ln \text{AFM} + 1,17 \ln \text{ASTT}$; H: $\ln \text{AF/árbol} = 3,07 + 0,63 \ln \text{ASTT} - 0,97 \ln \% \text{POV}_{50\text{E}}$; I: $\ln \text{AF/árbol} = 8,66 - 1,73 \ln \% \text{POV}_{50\text{E}}$; J: $\ln \text{AF/árbol} = -3,16 + 1,23 \ln \text{ASTT}$. La línea discontinua representa la relación 1:1 entre los valores medidos y estimados. La línea continua representa la línea de la regresión lineal del modelo correspondiente.

CONCLUSIONES

En este capítulo se desarrollaron y validaron metodologías prácticas y no destructivas para la estimación del área foliar (AF) por árbol en montes de cerezo adulto (*Prunus avium L.*) para luego poder estimar el IAF simplemente dividiendo el valor de área foliar (AF) por árbol por el área asignada a cada árbol (distancia entre hileras por distancia entre árboles).

En general, el AF por árbol pudo ser estimado con un buen nivel de ajuste con la mayoría de los modelos desarrollados. Sin embargo, dentro de los que tuvieron mejor ajuste, aquellos que

incluían la utilización de imágenes procesadas (%POV_{50E}) fueron descartados por la complejidad de su medición y los modelos G (que incluyen a la variable AFM y ASTT) y J (que incluye sólo a la variable ASTT) podrían ser utilizados únicamente en sistemas de conducción similares al Vaso español.

La elección del método más apropiado también depende del objetivo de la estimación. Los modelos que utilizan a las variables IVol y ASTT, con o sin combinación con el AFM (modelo B y D) serían las opciones más recomendables, en atención a sus altos coeficientes de determinación, practicidad y simpleza en las mediciones de campo y versatilidad, lo que posibilitaría su implementación en diferentes situaciones de cultivo.

Estos modelos resultaron ser una útil herramienta de uso sencillo, con parámetros de fácil y usual obtención en el campo. Tan importante como los valores alcanzados por los estadísticos, lo es la buena significancia biológica del modelo. En este sentido, la incidencia de los múltiples factores sobre el área foliar por árbol pudo ser explicada con un grado de error aceptable a partir de la simple utilización de variables biométricas tales como el volumen de la copa (IVol) y el área de la sección transversal del tronco (ASTT).

Relaciones entre la radiación fotosintéticamente activa interceptada, el índice de área foliar, el número de frutos por área foliar, la productividad y la calidad del fruto

INTRODUCCIÓN - REVISIÓN DE ANTECEDENTES

Radiación fotosintéticamente activa (PAR) interceptada - IAF

De la radiación total global (300-3000 nm) sólo las longitudes de onda entre 400 a 700 nm corresponden a la radiación fotosintéticamente activa o PAR (del inglés: '*photosynthetic active radiation*').

En diversos cultivos se ha encontrado una relación lineal positiva entre la producción de biomasa y la PAR interceptada, la cual puede ser medida o estimada mediante modelos matemáticos. Una forma de estimar la interceptación de esta PAR es mediante el modelo propuesto por Goudriaan y van Laar (1994):

$$I_a = (1 - \rho_c) \cdot (1 - \exp(-K \cdot FA \cdot LAI)) \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

donde I_a es la PAR interceptada (%); ρ_c el coeficiente de reflexión de las hojas, normalmente 0,08 (Goudriaan y van Laar, 1994); K es el coeficiente de extinción de luz (0,6, según Jackson (1980)) y FA es un factor de agrupamiento (entre 0 y 1) que puede ser calculado con un sub-modelo (Goudriaan, com. pers. en Cittadini (2007)) para corregir la estructura en hileras del cultivo (este sub-modelo requiere conocer el IAF, la altura de los árboles (H), y el ancho de la copa (W) y el pasillo (P)). (Fig. 3.1).

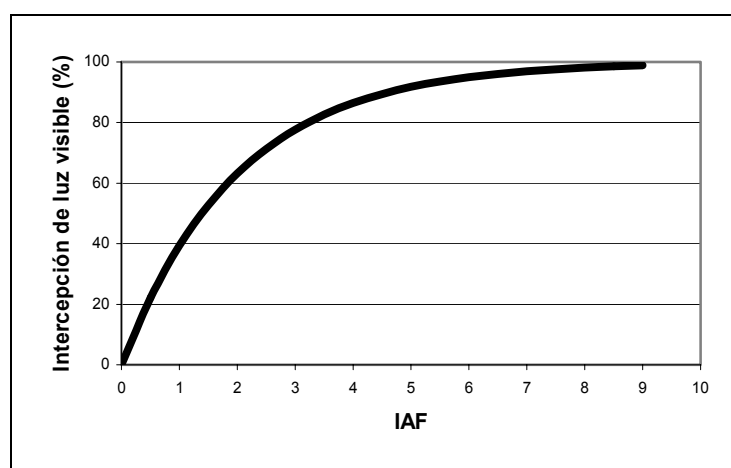


Figura 3.1. Estimación de la intercepción de luz visible en función del IAF utilizando la Ecuación 3.1 (Cittadini, 2006).

A nivel de árboles frutales, deben considerarse principalmente dos aspectos relacionados con la luz: la intercepción de la radiación disponible por la canopia y su distribución entre las diferentes partes del árbol (Dussi & Huysamer, 1995). Con bajos niveles de luz, la formación de yemas florales y el crecimiento del fruto pueden verse reducidos (Wagenmakers, 1994) y puede también ocurrir la muerte temprana de yemas y dardos. Sobre las ramas poco iluminadas, los frutos maduran más lentamente, son más blandos, tienen color más claro y menor CSS que aquellos que están sobre las ramas bien iluminadas (Patten *et al.*, 1986). Durante el período de desarrollo del fruto, el sombreado produce un menor tamaño, color y CSS, e induce a abortos tempranos de los frutos, por lo que se afecta la producción (Flore & Layne, 1999).

De acuerdo a datos empíricos, de 30 a 50% de la luz incidente debe transmitirse al interior de la canopia para satisfacer las necesidades de crecimiento de los frutos y su calidad comercial (Dussi, 2007). Por ejemplo, niveles de luz menores al 50% de la radiación incidente disminuyen la coloración en manzanas rojas, debido a una menor concentración de antocianinas y a una mayor concentración del total de flavonoides (Proctor & Loughheed, 1976; Awad *et al.*, 2001). Doud & Ferree (1980), en plantas de manzano cv. 'Red Delicious' sobre 'M9', observaron que los frutos sombreados tuvieron menor CSS. También en plantas de manzano cv. 'Red Delicious' se observó que los frutos que recibieron más del 50% de radiación a pleno sol fueron más grandes que aquellos más sombreados, teniendo mejor color los frutos expuestos a más de 70% de radiación a pleno sol y no se obtuvo diferencias significativas en la acidez, firmeza y pH (Heinicke, 1966). Por todo esto, para el mejor desarrollo del tamaño del fruto, los árboles deberían ser conducidos de tal manera que las áreas fructíferas estén expuestas al menos al 50% de radiación a pleno sol. Cuando el fruto es expuesto a la luz directa, el incremento de la temperatura aumenta su capacidad como destino, mejora su tasa de crecimiento y la capacidad para competir por asimilados, minerales y reguladores de crecimiento disponibles (Gariglio *et al.*, 2007).

Según Gil Salaya (1999), un buen nivel de intercepción de luz que permita una buena producción de azúcares y que no afecte negativamente la viabilidad de dardos y yemas reproductivas, puede rondar entre 70 y 75% de la luz visible incidente a cosecha. Según Cittadini (2006), para cerezos cultivados en Patagonia Sur, esto coincide con un IAF de entre 2,5 y 3,5, dependiendo del sistema de conducción, el marco de plantación y la ubicación geográfica del monte. El sistema de conducción afecta la intercepción y distribución de la luz (Cavallo *et al.*, 2001), así como la fotosíntesis realizada por la canopia (Proietti *et al.*, 2000). De este modo, ante una misma área foliar por árbol, una mejor distribución de luz contribuye a incrementar la disponibilidad de carbohidratos a los órganos destinos, permitiendo un mayor peso de frutos.

En definitiva, para la producción de fruta existe un valor óptimo de IAF, que depende de la especie, del portainjerto, de la variedad, de la poda y demás prácticas culturales. A medida que

aumenta el IAF, aumenta la luz interceptada hasta alcanzar cierto valor en el que la biomasa es tal que empieza a producirse sombreado dentro de la canopia y parte del follaje no contribuye a la fotosíntesis; es más, puede producirse una reducción marcada de la fotosíntesis neta por el alto costo de respiración de las hojas (Dussi, 2007).

Número de frutos por área foliar, productividad y calidad del fruto

Una vez determinado el IAF óptimo, se tendría que definir cuál es la relación fruto/área foliar óptima dentro de dicha canopia. Un IAF óptimo garantizará una buena provisión de azúcares, pero es necesario tener un adecuado número de órganos reproductivos hacia donde enviar esos azúcares.

Entre los factores que determinan la calidad organoléptica de la cereza se incluyen el color, el sabor, la textura y el aroma. Estos factores pueden ser determinados indirectamente midiendo parámetros relacionados, tales como el contenido de azúcares y ácidos, el porcentaje de materia seca, la firmeza y el contenido de compuestos volátiles (Romano *et al.*, 2006).

Aunque el color, la firmeza, el contenido de sólidos solubles (CSS) y la acidez titulable (AT) son importantes características de calidad para las cerezas, el tamaño del fruto es el principal indicador de calidad en la determinación de los precios. Cuanto más grande es el tamaño de las cerezas, más positiva es la respuesta de los consumidores (Omeg & Omeg, 2005) y mayor es el precio que paga el mercado por las mismas.

La relación entre el número de frutos (F) y el área foliar (AF) (F/AF ; nº de frutos/m² AF) es el factor más importante para explicar la variación de peso individual del fruto durante el período de fructificación (Proebsting, 1990) y cada cultivar requiere una relación F/AF específica para conseguir que los frutos tengan un peso adecuado. Así, el AF por fruto representa el potencial de producción a través de su capacidad fotosintética, y un valor alto es esencial para producir frutos de alta calidad (Roper & Loescher, 1987).

Si la relación fruto/área foliar es muy baja, los frutos serán grandes, pero se estará perdiendo rendimiento por la menor cantidad de frutos. Si por el contrario, la relación es excesiva, los rendimientos serán altos, pero con frutos de poco tamaño, lo que limitará las posibilidades de comercialización. Si el área foliar permanece constante, el tamaño del fruto estará relacionado negativamente con el nivel de producción (Proebsting, 1990). Flore (1985) estimó un mínimo de 2 hojas/fruto para lograr un óptimo desarrollo y tamaño del fruto. En este sentido, un estudio realizado en montes conducidos en tatura y en vaso en el valle inferior del río Chubut, mostró una relación negativa entre el número de frutos/hoja y el peso medio de los frutos, con diferente relación según la cultivar (Cittadini *et al.*, 2008a). Tal como se mencionó, el principal parámetro que expresa calidad es el peso medio del fruto (g/fruto) y en general éste decrece ante incrementos en el número de frutos/área foliar (Facteau *et al.*, 1983).

Roper & Loescher (1987), estudiando la relación entre área foliar y calidad de fruta en la variedad 'Bing' para las condiciones del estado de Washington, observaron que el área

foliar/fruto explicó el 66% de la variabilidad del peso, el 36% de la variabilidad del color y el 53% de la variabilidad en CSS del fruto. Igualmente, fue estudiada la relación área foliar/dardo, la cual explicó el 54%, el 27% y el 28% de la variabilidad de peso, color y CSS, respectivamente.

El número de frutos/árbol tiene un alto impacto en la partición de materia seca y desarrollo del fruto. En los árboles frutales de clima templado, en general, cuando la carga de fruta es alta, el crecimiento de los brotes se reduce, disminuyendo además el diámetro del tronco y la resistencia al frío. Así, el crecimiento vegetativo y/o el reproductivo pueden ser menores al año siguiente (Flore & Layne, 1999). Por el contrario, Kappel (1991) sugiere que para cerezo el fruto no necesariamente es el destino predominante de los fotoasimilados.

El efecto positivo de la disminución de la carga sobre el peso de los frutos también se visualiza en el crecimiento vegetativo. En manzano, el crecimiento vegetativo es usualmente más vigoroso en años con baja carga, agravando el problema de sombreo en los sistemas de alta densidad (Medjdoub *et al.*, 2004). En duraznero, el raleo de flores o frutos provocó un aumento significativo del área del tronco y el largo de las ramas (Grossman & DeJong, 1995 a y b), mientras que en trabajos realizados en cerezo cv. 'Bing' en el valle inferior del río Chubut no hubo diferencias en el crecimiento medio de las ramas y área seccional del tronco entre los tratamientos con raleo y sin raleo de frutos (Cittadini *et al.*, 2008b).

Además, bajo condiciones de alta carga frutal o sombreo, la regeneración de raíces es pobre, ya que depende de los carbohidratos producidos en la fotosíntesis (Faust, 1989). Keller y Loescher (1989), en plantas de cerezo cv. 'Bing' sobre 'Mazzard', de 10 años de edad, encontraron un aumento abrupto en el contenido de carbohidratos no estructurales totales (CNT) en dardos previo a floración, indicando el transporte de carbohidratos hacia las yemas en rápida expansión desde otros sitios de reserva, como la madera de uno y dos años, en donde la concentración de CNT disminuyó rápidamente en ese momento.

Usualmente, la reducción en la carga frutal (número de frutos por árbol), incrementa el tamaño promedio de los frutos y el porcentaje de frutos mayores (Lötze & Bergh, 2004), dependiendo del momento en que se realice el raleo (Costa & Vizzotto, 2000) y del peso de los frutos en ese momento (Lescourret *et al.*, 1998). En ciruelo europeo cv. 'Stanley', el tamaño, el CSS y el desarrollo de color de los frutos, fueron significativamente mayores en el tratamiento de raleo intenso (Wells & Bukovac, 1978), mientras que en duraznero cv. 'Redglobe', frutos espaciados a 15 cm entre sí fueron más grandes y con un mayor CSS que aquellos espaciados a 10 cm (Corelli-Grappadelli & Coston, 1991). En manzano cv. 'Honeycrisp', el tamaño medio de los frutos se redujo al aumentar la carga frutal y, para un similar nivel de carga frutal, los árboles con mayor volumen de canopia tuvieron mayor peso medio de frutos (Robinson & Watkins, 2003; Wright *et al.*, 2006).

En cerezo, Podestá *et al.* (2004) observaron que en temporadas de alto cuaje se obtiene una alta proporción de frutos no exportables. Por esta razón, realizaron ensayos en montes de

'Bing' y 'Lapins' y observaron que el raleo del 30% de los frutos, diez días después de plena floración, incrementó el peso, la firmeza y el CSS del fruto a cosecha. Por otro lado, observaron que el raleo del 30% de los frutos 20 días después de la floración o la eliminación del 30% de ramilletes 7 días antes de plena floración, incrementó el rendimiento de frutos exportables, además del peso medio del fruto y el CSS. En esta misma especie, sobre el cv. 'Bing', Whiting & Lang (2004) encontraron que en árboles raleados a 20 frutos/m² de área foliar aumentó el peso de frutos en un 25%, el porcentaje de sólidos solubles en un 20% y el diámetro de frutos en un 14%.

En este capítulo, se realizaron las mediciones de calidad con el fin de poder determinar las relaciones entre el IAF, la interceptación de radiación fotosintéticamente activa (I-PAR), el número de frutos por árbol (nº frutos/árbol), el número de frutos por área foliar (F/AF), la productividad (kg/árbol) y la calidad de fruta. Con esta información, se podrían realizar mejores diagnósticos de las principales limitaciones de rendimiento y calidad de fruta en montes de cerezo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Determinaciones

Las determinaciones de rendimiento y calidad de fruta se realizaron sobre los mismos 30 árboles seleccionados para el desarrollo de los modelos de predicción del AF y los 29 árboles utilizados para la validación de los modelos de predicción seleccionados. Estos árboles correspondieron a las variedades 'Bing' y 'Lapins' injertadas sobre portainjerto *Prunus mahaleb* (temporada 07/08) y a las variedades 'Van' injertada sobre *Prunus mahaleb*, 'Lapins' sobre Maxma60 y sobre Gisela 5 y 'Sweetheart' sobre Maxma60 (temporada 2008/2009).

Cuando el 80% de los frutos se encontraban en color N° 4 de la carta de colores del CTIFL (*Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes*), se cosechó el total de los frutos de cada árbol y se registró el rendimiento por árbol (kg/árbol). Asimismo, en base a una muestra de 100 frutos de cada árbol, se determinaron los parámetros de calidad (firmeza, contenido de sólidos solubles, calibre y peso medio) según se describe a continuación:

Calibre (mm): para determinar el diámetro ecuatorial de cada fruto se utilizó un calibre digital electrónico RUHLMANN®, con una precisión de 0,01 mm.

Peso: se determinó el peso individual (g) de cada fruto de la muestra con una balanza electrónica de 2000 g de máxima y 0,01 g de precisión.

Firmeza: se determinó a través de la resistencia a la deformación de los frutos con un Durofel (Agro-Technologie, Francia), con punta N° 25 de 6 mm de diámetro, recomendada para cereza,

tomando dos medidas por fruto en la zona ecuatorial, utilizando como unidad de medida el Índice Durofel (ID) (Hilaire *et al.*, 2000).

Color: se determinó a través de la carta de colores de Ctifl (*Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes*) que permite la clasificación de los frutos en base a una escala que va desde C1 a C7. Esta escala avanza desde el color rojo claro (C1) hacia el color caoba (C4) que es el color recomendado de cosecha para las variedades utilizadas.

Concentración de sólidos solubles: se midió con un refractómetro digital Serie DRB 0-45 nD, sobre el jugo de los frutos (dividido en 4 submuestras), expresado como °Brix (Mitcham *et al.*, 1996).

Por otro lado, con los datos de rendimiento (kg/árbol) y el peso promedio de la muestra de 100 frutos se calculó el número de frutos por árbol (n° frutos/árbol) y luego el número de frutos por área foliar (F/AF; n° frutos/m² AF) dividiendo el n° de frutos por el área foliar/árbol. Los valores de medición del área foliar/árbol y de intercepción de radiación fotosintéticamente activa (I-PAR) se obtuvieron como ya se explicó en el capítulo 2.

Análisis estadístico de los datos

Los datos fueron procesados en *InfoStat/Profesional 2009* (Di Rienzo *et al.* Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). Se realizó un análisis de regresión lineal simple (Draper & Smith, 1998) con el propósito de determinar las relaciones existentes entre el rendimiento (kg/árbol), número de frutos/árbol, IAF, I-PAR (%) y F:AF (n° frutos/m² AF); además, las relaciones entre los parámetros de calidad como variables respuesta y la relación F:AF (n° frutos/m² AF) como variable independiente y, por otro lado, estudiar el efecto del IAF sobre la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (I-PAR). Las ecuaciones correspondientes a las distintas variedades fueron comparadas para detectar las diferencias y similitudes entre las pendientes y la Y-intercepción ($P < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Radiación interceptada (I-PAR) en función del IAF

En las condiciones experimentales, la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa por árbol (I-PAR) a cosecha aumentó significativamente en función del IAF en ambas temporadas, no encontrándose diferencias significativas entre las variedades (Figura 3.2). Esta relación coincide con Jackson (1980, citado por Dussi (2007)), quien luego de una extensa revisión bibliográfica definió que la intercepción total de luz es una función logarítmica del IAF.

El coeficiente de determinación de la relación entre la I-PAR y el IAF fue menor en la temporada 2008/2009 ($R^2 = 0,51$ vs. $R^2 = 0,85$). La dispersión de los resultados podría estar

explicada por la mayor diversidad de condiciones de cultivo de los árboles experimentales en esta temporada (combinaciones variedad/pie y sistema de conducción).

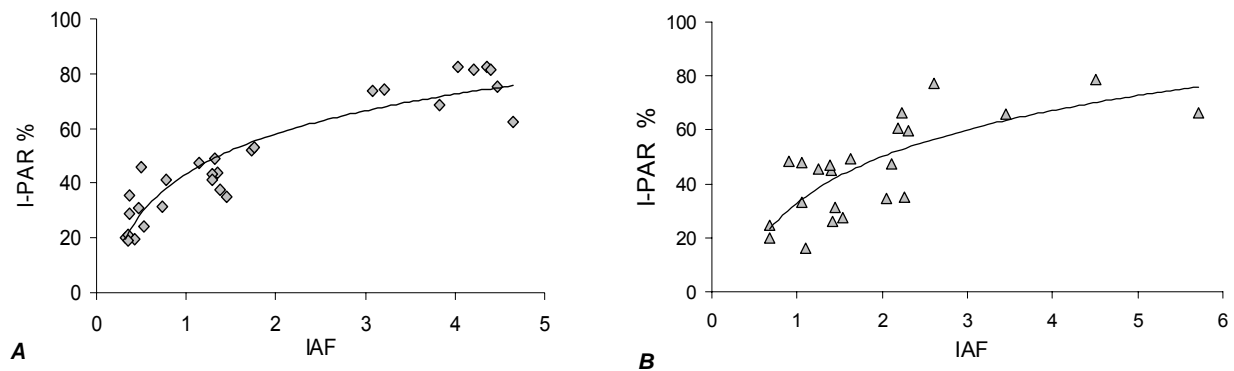


Figura 3.2. Radiación fotosintéticamente activa interceptada (I-PAR) en función del IAF. (A) temporada 2007/2008, $R^2= 0,85$; $p<0,0001$. (B) temporada 2008/2009, $R^2= 0,51$; $p<0,0001$. Cada valor de I-PAR es el resultado de 10 mediciones por árbol.

Según investigaciones realizadas en cerezo y en guindo (Flore & Layne, 1990; Balkhoven-Baart & Groot, 2005), la interceptación de la PAR a cosecha debe ser de alrededor del 75% para poder obtener óptimas producciones. Estos valores de interceptación, tanto en la temporada 2007/2008 como en la temporada 2008/2009, se alcanzaron en los árboles experimentales con IAF cercanos a 4 (Figura 3.2). Resultados similares fueron encontrados por Cittadini (com. pers.), quien afirmó que en Patagonia Sur, en montes bien provistos de agua y nutrientes se han observado rendimientos y calidad elevados en forma sostenida con valores de IAF cercanos a 4.

Cuando la PAR interceptada fue estimada en base a la ecuación propuesta por Goudriaan y van Laar (1994) utilizando los valores de IAF medidos (Figura 3.3), el 75% de la PAR fue alcanzado con IAF cercanos a 3,5 y 3 para la temporada 2007/2008 y 2008/2009, respectivamente.

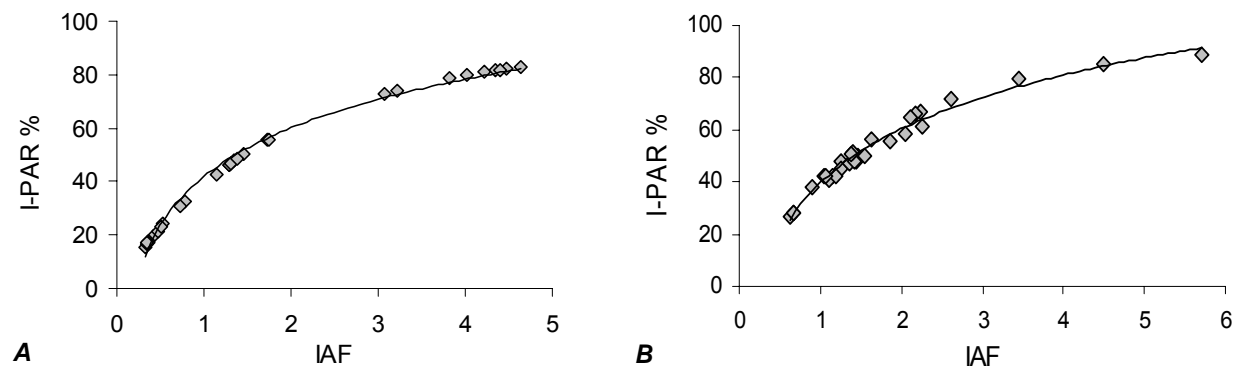


Figura 3.3. Radiación Fotosintéticamente activa interceptada (I-PAR) calculada con la ecuación propuesta por Goudriaan y van Laar (1994) en función del IAF. (A) temporada 2007/2008, (B) temporada 2008/2009.

Rendimiento (kg/árbol) en función de la radiación interceptada (I-PAR)

En la temporada 2007/2008 se detectó un incremento significativo del rendimiento (kg/árbol) en función de la I-PAR ($R^2= 0,88$), no encontrándose diferencias significativas entre las variedades ($p>0,05$) (figura 3.4 A).

Al igual que en la temporada 2007/2008, durante la 2008/2009 las combinaciones variedad/pie 'Lapins'/Maxma60 y 'Van'/Mahaleb mostraron una relación lineal positiva entre el rendimiento y la I-PAR ($R^2= 0,83$), pero no se encontraron diferencias significativas entre ellas (Figura 3.4 B). En cambio, en la combinación 'Sweetheart'/Maxma60, si bien el rendimiento se incrementó en función de la I-PAR con un buen coeficiente de determinación, dicha relación resultó no significativa ($R^2= 0,58$; $p=0,1331$).

Según Monteith (1977), en cebada (*Hordeum vulgare* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.), remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L. spp. *vulgaris* convar. *saccharifera* Alef.) y en manzano, la producción total de materia seca se correlacionó fuertemente con la radiación interceptada por el follaje durante la temporada de crecimiento.

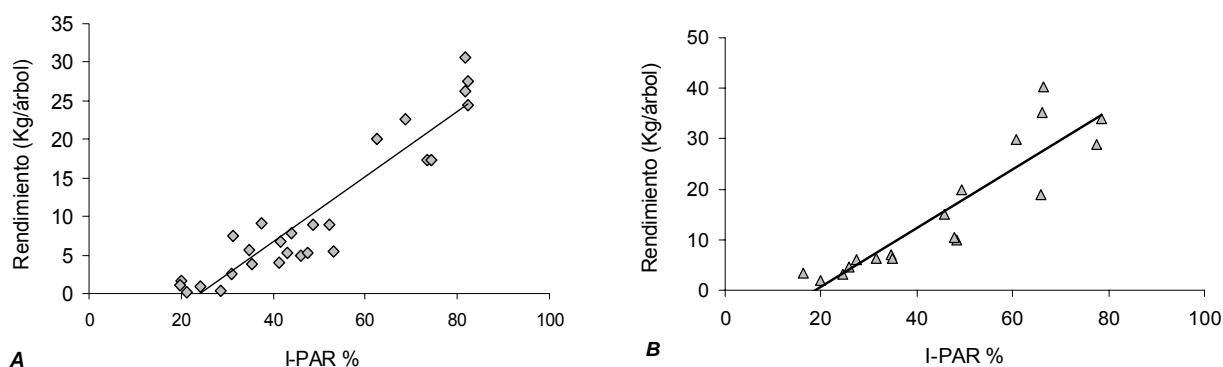


Figura 3.4. Rendimiento (kg/árbol) en función de la radiación fotosintéticamente activa interceptada (I-PAR). (A) Variedades 'Lapins/Mahaleb' y 'Bing/Mahaleb' (temporada 2007/2008), Rendimiento (kg/árbol)= - 10,22 + 0,42 * I-PAR ($R^2= 0,88$; $p<0,0001$); (B) variedades 'Lapins/Maxma60' y 'Van/Mahaleb' (temporada 2008/2009), Rendimiento (kg/árbol)= - 10,79 + 0,58 * I-PAR ($R^2= 0,83$; $p<0,0001$). Cada valor de la I-PAR es el resultado de 10 mediciones por árbol.

Según Wünsche & Lakso (2000), el rendimiento de fruta en manzano presentó una correlación lineal alta con la interceptación de PAR de las hojas de dardos ($R^2= 0,78$), mientras que con aquellos valores correspondientes a hojas totales del árbol y hojas de brotes presentó una relación curvilínea que decreció cuando la interceptación de la PAR total llegó al 60% y la interceptación de la PAR de las hojas de los brotes alcanzaron el 25%. Por lo tanto, para lograr una elevada productividad es importante que la canopia sea abierta, bien iluminada y con alta cantidad de hojas de dardos. Las hojas de dardos proporcionan el aporte primario de carbohidratos para el desarrollo del fruto en las primeras 3 a 5 semanas después de plena

floración, siendo crítico este período en la determinación del cuaje y del tamaño potencial del fruto; las hojas de brotes en activo crecimiento en longitud sostienen principalmente el crecimiento del ápice del brote (Corelli-Grappadelli *et al.*, 1994; Lakso & Corelli-Grappadelli, 1993). Al respecto, Cain (1973) menciona que en manzano cv. 'McIntosh', para la adecuada iluminación de las hojas de dardos, el cociente índice de área foliar de brotes /índice de área foliar de dardos no debería exceder el valor de 0,8.

***Rendimiento (kg/árbol) en función del número de frutos/árbol y del IAF.
Relación entre el número de frutos/árbol y el IAF.***

En la temporada 2007/2008, tanto el rendimiento (kg/árbol) como el número de frutos por árbol presentaron una relación lineal positiva en función del IAF, con un alto ajuste ($R^2= 0,93$ y $R^2= 0,92$, respectivamente) (Figura 3.5 A y B), sin diferencias significativas entre las variedades ($p>0,05$).

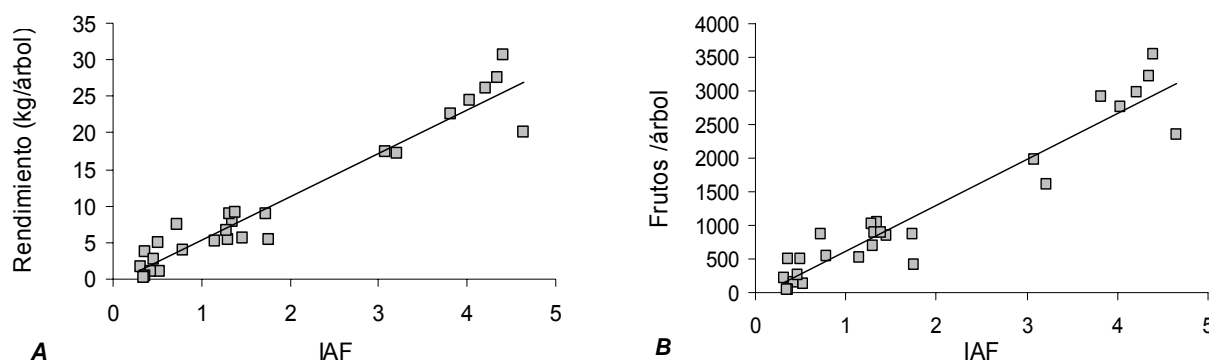


Figura 3.5. Rendimiento (kg/árbol) (A) y número de frutos por árbol (B) en función del IAF en la temporada 2007/2008, para las variedades 'Bing/Mahaleb' y 'Lapins/Mahaleb' analizadas en conjunto. Rendimiento (kg/árbol) = $- 0,64 + 5,95 * IAF$ ($R^2= 0,93$; $p<0,0001$). Frutos/árbol = $- 51,90 + 661,94 * IAF$ ($R^2= 0,92$; $p<0,0001$).

En la misma temporada se detectó un incremento significativo del rendimiento (kg/árbol) en función del número de frutos/árbol (Figura 3.6), presentando las variedades igual pendiente y coeficiente de determinación (Tabla 3.1).

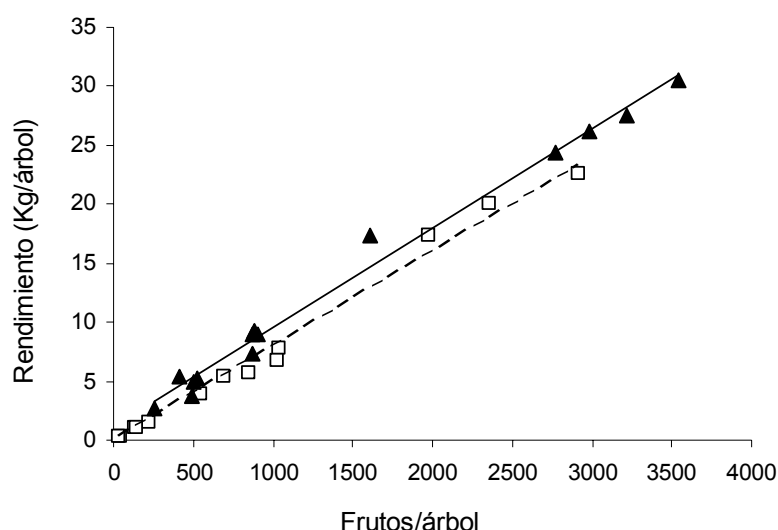


Figura 3.6. Rendimiento (kg/árbol) en función del número de frutos/árbol para las variedades 'Lapins/Mahaleb' (▲) y 'Bing/Mahaleb' (□). Temporada 2007/2008

Tabla 3.1. Análisis estadístico de los modelos que describen el rendimiento en función del número de frutos/árbol para las variedades 'Lapins' y 'Bing'.

Cultivar	Y-intercepción (producción, kg/árbol)	Pendiente (producción/frutos, kg árbol ⁻¹ /nº/árbol)	R ²
Lapins	1,12 a (0,45)	0,01 a (0,00025)	0,99
Bing	- 0,54 b (0,32)	0,01 a (0,00031)	0,99

Nota: diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las variedades. El valor entre paréntesis corresponde al error estándar de la estimación.

En la temporada 2008/2009, al analizar el comportamiento entre el rendimiento (kg/árbol) y el número de frutos/árbol en función del IAF se hallaron diferencias significativas entre las variedades ($p > 0,05$). Por un lado, en las combinaciones variedad/pie 'Lapins' sobre Gisela y 'Sweetheart' sobre Maxma60 el rendimiento (kg/árbol) se incrementó en función del IAF con un coeficiente de determinación alto, pero dichas relaciones resultaron no significativas ($R^2 = 0,86$, $p = 0,0725$ y $R^2 = 0,72$, $p = 0,0679$, respectivamente). Este comportamiento pudo deberse al estrecho rango del IAF de los árboles experimentales de esas variedades (0,62 a 1,47 y 1,06 a 2,31 para 'Lapins'/Gisela y 'Sweetheart'/Maxma60, respectivamente). También este mismo resultado se observó entre el número de frutos/árbol y el IAF ($R^2 = 0,82$, $p = 0,0930$ y $R^2 = 0,65$, $p = 0,0990$, respectivamente).

Por otro lado, en las combinaciones variedad/pie 'Lapins'/Maxma60 y 'Van'/Mahaleb se observó un incremento significativo del rendimiento y el número de frutos/árbol en función del IAF ($R^2 = 0,60$, $p < 0,0001$ y $R^2 = 0,58$, $p < 0,0001$, respectivamente) (Figura 3.7 A y B), no encontrándose diferencias significativas entre estas variedades ($p > 0,05$).

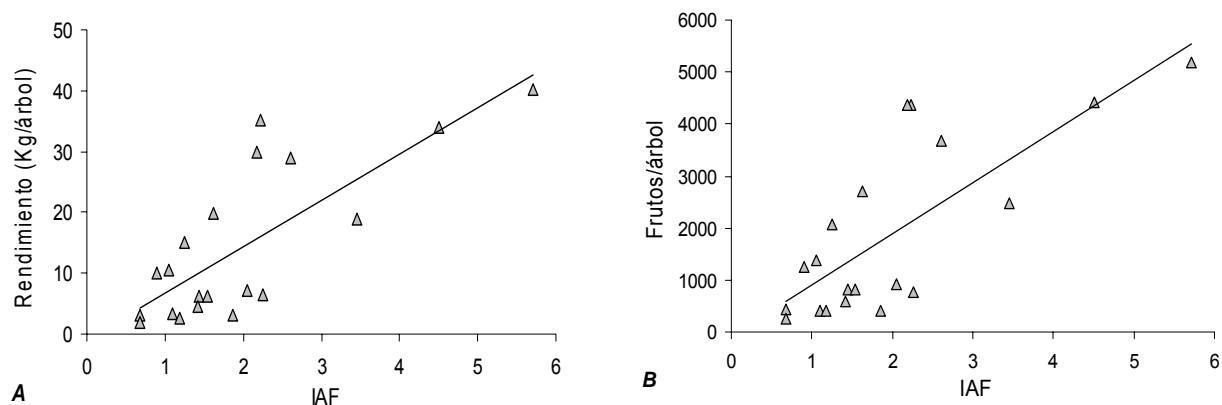


Figura 3.7. Rendimiento (kg/árbol) (A) y número de frutos por árbol (B) en función del IAF en la temporada 2008/2009, para las variedades ‘Lapins/Maxma60’ y ‘Van/Mahaleb’, analizadas en conjunto. Rendimiento (kg/árbol) = $- 0,71 + 7,58 * IAF$ ($R^2= 0,60$; $p<0,0001$). Frutos/árbol = $- 55,58 + 977,70 * IAF$ ($R^2= 0,58$; $p<0,0001$).

Los resultados obtenidos en esta tesis coinciden con los hallados por Szlapelis & Cittadini (2010), quienes, en la variedad ‘Sweetheart’, detectaron un incremento significativo del rendimiento en función del IAF cuando el rango de IAF de los árboles analizados fue amplio (0,99 a 4,3), no siendo así cuando los árboles presentaron un estrecho rango de IAF (0,87 a 1,79).

Según Cittadini (2002), existe una relación positiva entre el rendimiento/ha y el IAF a cosecha, pero con una alta dispersión de los datos ($R^2= 0,40$). Como se mencionó anteriormente, la producción de materia seca y de fruta se incrementaría linealmente en función del IAF solamente hasta los valores de IAF óptimo, que para montes de cerezos en Patagonia Sur rondaría entre 3,5 y 4 (Cittadini, com. pers.). Con estos valores de IAF cercanos al óptimo se lograron altos rindes con buena calidad de fruta.

En la temporada 2008/2009, al igual que en la temporada 2007/2008, el rendimiento (kg/árbol) aumentó linealmente en función del número de frutos/árbol ($R^2= 0,98$; $p<0,0001$) en todas las variedades en estudio (Figura 3.8), sin diferencias significativas entre ellas ($p>0,05$).

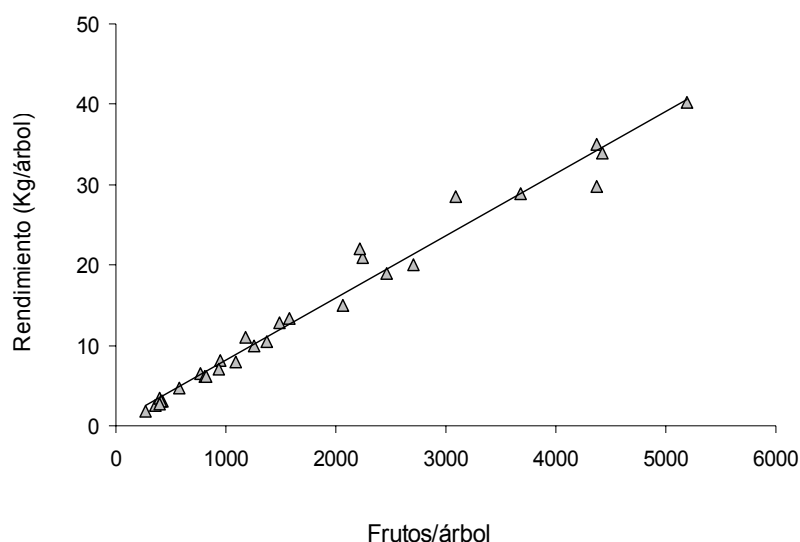


Figura 3.8. Rendimiento (kg/árbol) en función del número de frutos/árbol para las variedades 'Lapins/Maxma60', 'Lapins/Gisela', 'Sweetheart/Maxma60' y 'Van/Mahaleb', analizadas en conjunto. Rendimiento (kg/árbol) = 0,42 + 0,01 * frutos/árbol ($R^2= 0,98$; $p<0,0001$). Temporada 2008/2009.

Efecto del número de frutos por área foliar (F/AF) sobre el rendimiento

En la temporada 2007/2008, el rendimiento (kg/árbol) en función del número de frutos por área foliar (F/AF; nº frutos/m² AF) no presentó relación significativa ($p=0,200$), debido posiblemente al bajo rango de relación fruto/área foliar en la mayoría de los árboles experimentales, lo que no provocó situaciones de alta competencia. Es decir que en la mayoría de los casos la carga fue relativamente baja.

En la temporada 2008/2009, sin embargo, se detectó un incremento significativo del rendimiento en función del número de frutos por área foliar (F/AF) (Figura 3.9), sin diferencias significativas entre las variedades, pero con una alta dispersión de los resultados ($R^2= 0,44$; $p<0,0001$). Resultados similares fueron encontrados por Whiting & Lang (2004), Cittadini *et al.* (2008b) y Szlapelis & Cittadini (2010), pero con un mayor coeficiente de determinación.

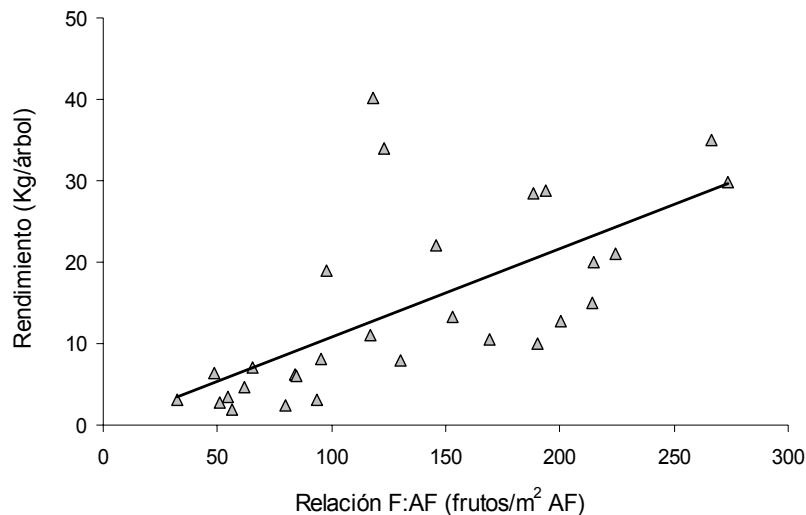


Figura 3.9. Rendimiento (kg/árbol) en función de F:AF (frutos/m²AF) para las combinaciones ‘Lapins/Maxma60’, ‘Lapins/Gisela’, ‘Sweetheart/Maxma60’ y ‘Van/Mahaleb’, analizadas en conjunto. Rendimiento (kg/árbol) = - 0,07 + 0,11 * F/AF (R²= 0,44; p<0,0001). Temporada 2008/2009.

Relaciones entre los principales parámetros de calidad del fruto (calibre, peso, firmeza y CSS) y el número de frutos por área foliar (F/AF)

En la temporada 2007/2008, en la variedad ‘Bing’ no se observó un efecto significativo de la relación F/AF sobre ninguno de los parámetros de calidad analizados (peso, p=0,998; calibre, p= 0,882; CSS, p= 0,298). Por el contrario, en la variedad ‘Lapins’, si bien no se registró un efecto significativo sobre el CSS (p= 0,63) y la firmeza (p= 0,060), se observó una disminución lineal del calibre (mm) (p< 0,0001) y el peso (g) (p= 0,0009) ante incrementos de la relación F:AF (Figura 3.10 A y B), lo que estaría indicando una posible limitación en la fuente de fotoasimilados que no permite la obtención de frutos de mayor peso y calibre. Resultados análogos fueron reportados en guindo por Flore (1985) y en cerezo por Roper y Loescher (1987), Proebsting (1990), Whiting & Lang (2004), Cittadini *et al.* (2008d) y Usenik *et al.* (en prensa).

Bajo similares condiciones de producción, la variedad es el principal factor que afecta la relación entre el peso medio del fruto y el número de frutos/AF (Proebsting, 1990). En dicha relación, el sistema de conducción no estaría afectando y la Y-intercepta estaría representando aproximadamente el potencial genético del peso individual de los frutos cuando la relación F/AF se aproxima a cero (Cittadini *et al.*, 2006).

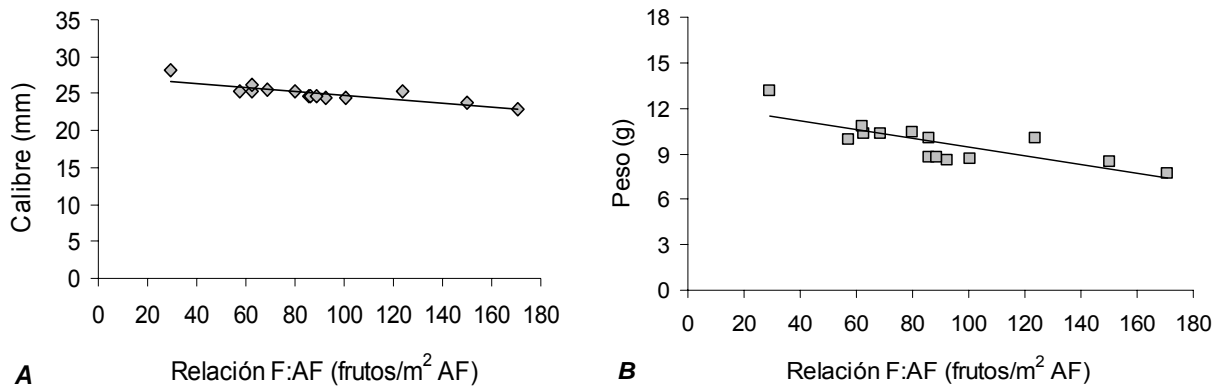


Figura 3.10. Calibre (mm) (A) y peso medio (g) del fruto (B) en función de la relación de F:AF (frutos/m² AF) en la combinación 'Lapins/Mahaleb'. Temporada 2007/2008. Calibre (mm)= 27,50 - 0,03 * F: AF ($R^2= 0,73$); Peso (g)= 12,27 - 0,03 * F: AF ($R^2= 0,61$).

En la temporada 2008/2009 en ninguna de las combinaciones cultivar/portainjerto analizadas se observó efecto significativo de la relación F/AF sobre los parámetros de calidad (calibre, $p=0,223$; peso, $p=0,394$; firmeza, $p=0,124$), y no se encontraron diferencias significativas entre las variedades ($p>0,05$).

Si bien Proebsting (1990), Whiting & Lang (2004), Cittadini (2006) y Usenik *et al.* (en prensa) mencionaron que los diferentes parámetros de calidad disminuyen al aumentar la carga frutal, las diferentes fuentes de variabilidad presentes en este estudio (edad de los árboles, variedad, portainjerto, sistema de conducción e IAF) posiblemente fueron la razón por la cual no se detectaron efectos significativos de la relación F/AF sobre la calidad de los frutos.

Esta variabilidad de las unidades experimentales fue intencional, ya que el objetivo principal de la investigación fue desarrollar y validar metodologías prácticas para la obtención del área foliar/árbol y para ello era necesario un amplio rango de IAF, mientras que el análisis de los efectos de la relación F/AF sobre la calidad y el rendimiento fue un objetivo secundario. Para el caso del CSS no se encontraron diferencias significativas entre las variedades y, como en estudios previos (Flore, 1985; Roper & Loescher, 1987; Cittadini, 2006), se observó una disminución significativa del CSS a razón de 0,01 °Brix por cada unidad incrementada de relación F/AF (Figura 3.11), pero la relación F/AF sólo estaría explicando el 23% de la variabilidad observada. De todos modos, incluso con la máxima relación F/AF se observaron valores superiores al 16% de CSS, que es considerado aceptable por los consumidores (Crisosto *et al.*, 2003).

Además, en ambas temporadas, todas las muestras analizadas alcanzaron valores de firmeza (ID) mayores a 70 unidades Durofel, valor considerado adecuado para el comercio internacional (Kappel *et al.*, 1996).

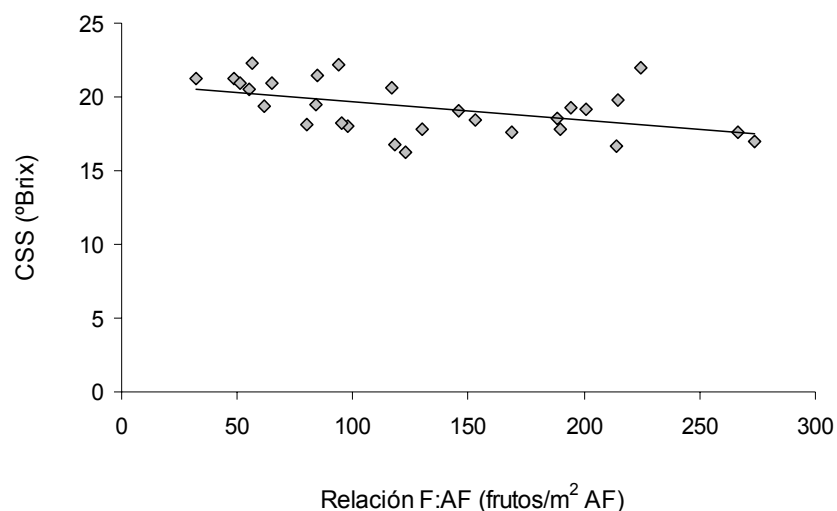


Figura 3.11. Contenido de sólidos solubles (CSS, °Brix) en función de la relación de F:AF (frutos/m² AF) en las variedades analizadas en la temporada 2008/2009. $CSS\ (^{\circ}Brix) = 20,91 - 0,01 * F:AF$ ($R^2 = 0,23$; $p = 0,008$).

La expresión más utilizada para expresar el balance entre demanda y oferta de fotoasimilados es la relación área foliar/fruto (AF/F), o la recíproca, fruto/área foliar (F/AF). La mayoría de los parámetros de calidad están inversamente relacionados con la relación F/AF del total de la canopia (Whiting & Lang, 2004). El peso medio del fruto, el calibre y el CSS, en la variedad 'Bing' sobre portainjerto Gisela 5, disminuyeron rápidamente ante descensos de la relación AF/F a partir de valores cercanos a los 200 cm²/fruto y mediciones de área foliar de la canopia de alrededor de 40 m²/árbol, por lo que la carga óptima es de alrededor de 2.000 frutos/árbol. Relaciones similares han sido comunicadas a nivel de F/AF del dardo (Roper & Loescher, 1987).

CONCLUSIONES

Los objetivos planteados en este capítulo se basaron en poder determinar la relación entre el IAF y la PAR interceptada por el árbol y analizar las relaciones entre el IAF, el número de frutos/AF, el rendimiento por árbol y la calidad de la fruta.

Relación entre el IAF, el rendimiento y la radiación interceptada (I-PAR)

Coincidentes con investigaciones anteriores, se observó que la interceptación de la PAR aumentó significativamente en función del incremento del IAF, presentando una relación no lineal. Los árboles experimentales alcanzaron valores máximos de interceptación cercanos al 80%

y, hasta estos valores de PAR, el rendimiento expresado como kg de fruta por árbol presentó un incremento lineal en función de la PAR. Además, quedó evidenciada la importancia de un adecuado valor del IAF para lograr altos rendimientos.

Relaciones entre el IAF, el número de frutos por área foliar (F/AF), el rendimiento y la calidad de la fruta

En las variedades y situaciones de cultivo en que se contó con un amplio rango de IAF, tanto el rendimiento, expresado como kg de fruta por árbol, como el número de frutos por árbol presentaron una relación lineal positiva en función del IAF con un alto ajuste. Sin embargo, no se pudo concluir en forma generalizada sobre el comportamiento de los parámetros de calidad en función de la relación número de frutos/AF. Como los árboles experimentales fueron seleccionados para la obtención y validación de los modelos de estimación del AF/árbol, presentaron alta variabilidad en relación al tamaño del árbol (amplio rango de AF/árbol y posterior IAF) y a situaciones de cultivo (diferentes sistemas de conducción, combinaciones pie/variedad y manejo del monte) lo que conllevó a la obtención resultados diversos según la temporada de análisis y las variedades intervinientes. En este sentido, en la primera temporada en la variedad 'Lapins' tanto el peso como el calibre disminuyeron ante incrementos de la relación F/AF, mientras que en la segunda temporada en ninguna de las variedades se encontró una relación significativa entre los parámetros de calidad y F/AF, salvo para el caso del CSS.

CONCLUSIONES GENERALES

Los objetivos planteados en esta tesis se basaron en desarrollar y validar metodologías prácticas y no destructivas para la estimación del área foliar por árbol y el posterior cálculo del IAF en montes de cerezo (*Prunus avium* L.); determinar la relación entre el IAF y la PAR interceptada por el árbol; y analizar las relaciones entre el IAF, el número de frutos/AF, el rendimiento por árbol y la calidad de la fruta.

Para ello, con el fin de desarrollar los modelos, en la primera temporada se realizaron mediciones del área foliar y diversas características morfológicas y de diseño del monte en árboles adultos de las variedades 'Bing' y 'Lapins', injertados sobre *Prunus mahaleb*, conducidos como vaso español, y en la segunda temporada, estos modelos fueron validados en diferentes combinaciones variedad/portainjerto y sistema de conducción. Además, sobre los mismos árboles experimentales se realizaron las determinaciones de rendimiento y calidad de fruta.

En base a los resultados del desarrollo y la validación de los modelos, se concluyó que el AF por árbol pudo ser estimada con un buen nivel de ajuste con la mayoría de los modelos desarrollados. Pero teniendo en cuenta, además, la practicidad y la simpleza de las mediciones de campo, los modelos que utilizaron IVol y ASTT como variables, con o sin combinación con el AFM, serían los más recomendables.

Con respecto al comportamiento de los parámetros de calidad en función de la relación número de frutos/AF, no se obtuvieron resultados en forma generalizada debido a la alta variabilidad entre los árboles experimentales.

En relación a la interceptación de la PAR se observó un aumento significativo en función del incremento del IAF, presentando una relación no lineal, mientras que el rendimiento en función de la PAR presentó una relación lineal positiva. Además, en las variedades y situaciones de cultivo en que se contó con un amplio rango de IAF, tanto el rendimiento como el número de frutos por árbol presentaron una relación lineal positiva en función de éste, con un alto ajuste.

PERSPECTIVAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

Hay varios aspectos derivados de esta tesis que podrían constituir líneas interesantes para continuar investigando. Entre ellos:

1- Determinar el IAF a nivel de monte frutal, para lo cual sería necesario extrapolar los valores de IAF en árboles individuales a nivel de monte. Para esto, sería necesario determinar en cuántos árboles por hectárea se tendrían que hacer las determinaciones para que la muestra sea representativa del monte.

2- Determinar para cada situación de cultivo específica (combinación variedad/pie y sistema de conducción) cuál es el IAF cercano al óptimo y, en esas condiciones, obtener los valores de referencia de F/AF necesarios para alcanzar determinado peso medio del fruto, con el fin de poder definir el 'árbol objetivo' (árbol deseado) y así poder tomar decisiones en base al diseño e implementación de prácticas correctas en el monte frutal, como por ejemplo poda y raleo de frutos.

- Angelocci, LR & C Valancogne. 1993. Leaf area and water flux in apple trees. *Journal of Horticultural Science* 67(2):299-307.
- Apóstolo, R; V Hochmaier; F Manavela & L San Martino. 2010. Encuesta Agropecuaria 2008 en Los Antiguos: Resultados.- INTA Santa Cruz: AER Los Antiguos, Mayo.- 46 p. En: http://www.inta.gov.ar/santacruz/info/indices/tematica/agrportadas/Encuesta_agricola_2008.htm
- Awad, MA; PS Wagenmakers & A De Jager. 2001. Effects of light on flavonoid and chlorogenic acid levels in the skin of 'Jonagold' apples. *Sci. Hort.* 88:289-298.
- Ayala, M & MP Andrade. 2009. Effects of fruiting spur thinning on fruit quality and vegetative growth of sweet cherry (*Prunus avium*). *Cien Inv.Agro.* 36, 443-450.
- Balkhoven-Baart, JMT & MJ Groot. 2005. Evaluation of 'Lapins' sweet cherry on dwarfing rootstocks in high density plantings, with or without plastic covers. *Acta Hort.* 667:345-351.
- Balul, JY. 2010. Influencia de la carga frutal sobre el rendimiento y la calidad de la fruta, y desarrollo de métodos para la estimación del Índice de Área Foliar. Tesis para acceder al grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. 40 p.
- Barlow, HWB. 1969. The relation of leaf area to stem cross section. *Report of East Malling Research Station for 1968*, p.117-119.
- Bhatt, M & SV Chanda. 2003. Prediction of leaf area in *Phaseolus vulgaris* by non-destructive method. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 29:96-100.
- Bignami, C & F Rossini. 1996. Image analysis of leaf area index and plant size of young hazelnut plants. *Journal of Horticultural Science* 71(1):113-121.
- Cain, JC. 1973. Foliage canopy development of 'McIntosh' apple hedgerows in relation to mechanical pruning, the interception of solar radiation, and fruiting. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 98(4):357-360.
- Cavallo, P; S Poni & A Rotundo. 2001. Ecophysiology and vine performance of cv. 'Aglanico' under various training systems. *Sci. Hort.* 87:21-32.
- Chirinos, DT; L Chirinos-Torres; F Geraud-Pouey; O Castejón; RE Fernández, JA Vergara, LE Mármol y D Chirinos-Torres. 1997. Modelos para estimar el área foliar de melón híbrido 'Durango'. *Revista de la Facultad de Agronomía* (Universidad del Zulia) 14:163-171.
- Cittadini, ED. 2002. Development of a simulation model for potential production of sweet cherry: its usefulness to analyse planting density. MSc Thesis, Department of Plant Sciences, Plant Production Systems Group, Wageningen University and Research Centre, Wageningen, The Netherlands. 115 pp.
- Cittadini, ED. 2006. Ecofisiología y potencial productivo del cerezo. En: Cittadini, E.D., San Martino, L. (Eds.). El cultivo de cerezos en Patagonia Sur: Tecnología de manejo, empaque y comercialización. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina, pp. 21-30.

- Cittadini, ED. 2007. Sweet cherries from the end of the world: Options and constraints for fruit production systems in South Patagonia, Argentina. Thesis PhD. Wageningen University, Holanda, 134 pp.
- Cittadini ED & PL Peri. 2006. Estimation of leaf area in sweet cherry using a non-destructive method. *RIA* 35(1):143-150.
- Cittadini, ED; H van Keulen; PL Peri & N de Ridder. 2006. Designing a “target-tree” for maximizing gross value of product in Patagonian sweet cherry orchards. *International Journal of Fruit Science* 6(3):3-22.
- Cittadini ED; PL Peri; N de Ridder & H van Keulen. 2008a. Relationship between mean fruit weight and the ratio of fruit number to leaf area, at spur and whole-tree level, for three sweet cherry varieties. *Acta Hort.* 795:669-672.
- Cittadini, ED; MJ Rodríguez; H. van Keulen; N de Ridder & PL Peri. 2008b. Fruit dry weight and quality of ‘Bing’ sweet cherries grown without source limitations. *Acta Hort.* 795:639-644.
- Cittadini ED; CE Sanz; SE Szlápelis; FA Manavella; L San Martino; JA Ñancuqueo; M Muñoz; N de Ridder; H van Keulen & CA Mundet 2008c. Sweet cherry production in South Patagonia, Argentina. *Acta Hort.* 795:585-590.
- Cittadini ED; MB Vallés; MJ Rodríguez; H van Keulen; N de Ridder & PL Peri. 2008d. Effect of fruit number to leaf area ratio on fruit quality and vegetative growth of ‘Bing’ sweet cherry trees at optimal LAI. *Acta Hort.* 795:677-680.
- Claps LL & L San Martino 2004. Caracterización de la estructura productiva de cerezas del valle de Los Antiguos. INTA. 67 pp. En:<http://www.inta.gov.ar/santacruz/info/indices/tematica/econport/infoproduccioncerezas.htm>.
- Cliff MA; MC Dever; JW Hall & B Girard. 1996. Development and evaluation of multiple regression models for prediction of sweet cherry liking. *Food Research International*. 28(6):583-589.
- Coelho Filho MA; LR Angelocci; RM Vasconcelos Baptista & EF Coelho. 2005. Leaf área estimative of young ‘Tahiti’ lime using non-destructive methods. *Revista Brasileira de Fruticultura* 27(1):163-167.
- Corelli-Grappadelli L. 2003. Light relations, pp. 195-217. En: Ferree DC & IJ Warrington (Eds.), Apples: botany, production and uses. CABI Publishing.
- Corelli-Grappadelli L & DC Coston. 1991. Thinning pattern and light environment in peach tree canopies influence fruit quality. *HortSci*. 26(12):1464-1466.
- Corelli-Grappadelli, L; AN Lakso & JA Flore. 1994. Early season patterns of carbohydrate partitioning in exposed and shaded apple branches. *J.Amer.Soc.Hort.Sci*. 119(3):596-603.
- Costa, G & G Vizzoto. 2000. Fruit thinning of peach trees. *Plant Growth Regul.* 31:113-119.
- Crisosto, CH; GM Crisosto & P Metheney. 2003. Consumer acceptance of “Brooks” and “Bing” cherries is mainly dependent on fruit SSC and visual skin color. *Postharvest Biology and Technology* 28:159-167.
- Ctifl (Centre Interprofessionnel des Fruits et Légumes). 1995. Calibre des cerises en mm. Ctifl-Afcofel. Paris.

- Cutini, A; G Matteucci & GS Mugnozza. 1998. Estimation of leaf area index with the Li-Cor LAI 2000 in deciduous forests. *Forest Ecology and Management*, Zurich, v.105. 55-56 pp.
- Dewis, J & KF Freitas. 1984. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín de Suelos de la FAO 10:7-19.
- Dible, WT; E Truog & KC Berger.1954. Boron determination in soils and plants. Simplified curcumin procedure. *Ann. Chem.* 26:418-421.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L González L; M Tablada & M Robledo. C.W. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
- Doud, DS & Ferree DC. 1980. Influence of altered light levels on growth and fruiting of mature 'Delicious' apple trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105(3):325-328.
- Draper, NR & H Smith. 1998. Applied Regression Analysis. John Wiley & Sons Inc., New York, 3rd Ed.
- Dussi, MC & M Huysamer. 1995. Severe postharvest summer pruning of mature 'Forelle' pear trees influences canopy light distribution and fruit and spur leaf characteristics in the following season. *J.S.Afr.Soc.Hort.Sci.* 5(2):57-60.
- Dussi, MC. 2007. Intercepción y distribución lumínica en agro-ecosistemas frutícolas. Cap. 6, pp. 199-241. En: Sozzi, G.O. (ed). Árboles frutales: Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento. Ed. Fac. Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- ERDAS IMAGINE 9.1. *Leica Geosystems Geospatial Imaging*, LLC.
- Facteau, TJ; NE Chestnut & KE Rowe. 1983. Relationship between fruit weight, firmness, and leaf/fruit ratio in Lambert and Bing sweet cherries. *Can. J. Plant Sci.* 63: 763-765.
- FAO. 2008. www.fao.org .
- Faust, M. 1989. Physiology of Temperate Zone Fruit Trees. John Wiley & Sons, New York, USA. 338 pp.
- Favarin, JL; DD Neto; A García y García; NA Villa Nova & M de GG Vieira Favarin. 2002. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. *Pesquisa Agropecuaria Brasília* vol.37 n° 6. June 2002
- Flore, JA. 1985. The effect of carbohydrate supply on sour cherry fruit size and maturity. *HortScience* 20:568.
- Flore J A & AN Lakso. 1989. Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. *Hort. Rev.* 11:111-157.
- Flore, JA & DR Layne. 1990. The influence of tree shape and spacing on light interception and yield in sour cherry (*Prunus cerasus* cv. Montmorency). *Acta Hortic.* 285: 91-96.
- Flore, JA & DR Layne. 1999. Photoassimilate production and distribution in cherry. *HortScience* 34 (6):1015-1019.
- Gariglio, N; R Pilatti & M Fonfria . 2007. Requerimientos ecofisiológicos de los árboles frutales. Cap. 2, pp. 43-84. En: Sozzi, GO (ed). Árboles frutales: Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento Ed. Fac. Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

- Gil-Albert Velarde, F. 1996. Tratado de arboricultura frutal. Vol 1: Morfología y fisiología del árbol frutal. MAPyA - Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 102 pp.
- Gil Salaya, GF. 1999. Fruticultura: El potencial productivo. Crecimiento vegetativo y diseño de monte y viñedos. Alfaomega. México, DF. 342 pp.
- Goudriaan, J & HH van Laar. 1994. Modelling potential crop growth processes. Textbook with exercises. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 237 pp.
- Grossman, YL & TM DeJong. 1995a. Maximum fruit growth potential following resource limitation during peach growth. *Ann. Bot.* 75:561-567.
- Grossman, YL & TM DeJong. 1995b. Maximum vegetative growth potential and seasonal patterns of resource dynamics during peach growth. *Ann. Bot.* 76:473-482.
- Hanson, EJ & EL Proebsting. 1996. Cherry nutrient requirements and water relations. Chapter 9, pp. 243-257. En: Webster, AD and NE Looney (Eds.). Cherries: Crop Physiology, Production and Uses. CABI, Cambridge, United Kingdom.
- Hilaire, C; V Mathieu & D Scandella. 2000. La qualité organoleptique des peches et nectarines. 1ª partie. Infos-Ctifl nª 161. pp 26-29.
- Heinicke D. R. 1966. Characteristics of McIntosh and Red Delicious apples as influenced by exposure to sunlight during the growing season. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 89:10-13.
- Hochmaier, VE & L San Martino. 2007. Cereza (*Prunus avium* L.): caracterización fenológica y calidad de fruta de cinco variedades utilizadas en el valle de Los Antiguos. 30º Congreso Argentino de Horticultura, 1º Simposio Internacional sobre Cultivos Protegidos. La Plata (Buenos Aires), 25-28 septiembre 2007.
- Holland, DA. 1968. The estimation of total leaf area on tree. *Annual Report of the East Malling Research Station for 1967*, pp.101-107.
- Irisarri, J; HC Migliora; MN Lamoureux & MM Bregliani. 1990. Relevamiento de suelos de Los Antiguos, provincia de Santa Cruz. Escala 1:10000. CAP-INTA, Provincia de Santa Cruz, Argentina. 68 pp.
- Jackson, ML. 1958. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, Prentice Hall. 498 pp.
- Jackson, ML. 1970. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega. Barcelona. pp. 309-320.
- Jackson, JE. 1980. Light interception and utilization by orchard systems. *Hort. Rev.* 2:208-267.
- Jedlow, LK & LE Schrader. 2005. Fruit cracking and splitting. Cap. 10 pp 65-66. En: Whitting MD (ed). Producing Premium cherries. Pacific Northwest Fruit School Cherry Shortcourse Proceedings. Good Fruit Grower. Yakima, Washington.
- Kappel, F. 1991. Partitioning of above-ground dry matter in 'Lambert' sweet cherry trees with or without fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:201-205.
- Kappel, F; B Fisher-Fleming & E Hogue. 1996. Fruit characteristics and sensory attributes of and ideal sweet cherry. *HortScience* 31(3):443-446.
- Keller, JD & Loescher WH. 1989. Nonstructural carbohydrate partitioning in perennial parts of sweet cherry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114(6):969-975.

- Klute, A. (Ed.). 1986. Methods of soil analysis, Part 1. Physical and mineralogical methods. ASA, SSSA, Madison.
- Lakso, AN & L Corelli-Grappadelli. 1993. Implications of pruning and training practices to carbon partitioning and fruit development in apple. *Acta Hortic.* 332: 231-240.
- Lappi, J & P Stenberg. 1998. Joint effect of angular distribution of radiation and spatial pattern of trees on radiation interception. *Ecology. Model.* 112:45-51.
- Lescourret, F; R Habib; M Génard; D Agostini & J Chadoeuf. 1998. Pollination and fruit growth models for studying the management of kiwifruit orchards. I. Models description. *Agric. Syst.* 56:67–89.
- Longstroth, M & RL Perry. 1996. Selecting the orchard site, orchard planning and establishment Chp 7, pp. 203-221. In: Webster, AD and NE Looney (Eds.). Cherries: Crop Physiology, Production and Uses. CABI, Cambridge, United Kingdom.
- López-Serrano, FR; TL Castillejos & JM Millán. 2000. LAI estimation of natural pine forest using a non-standard sampling technique. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 101. 95-111 pp.
- Lötze, E & O Bergh. 2004. Early prediction of harvest fruit size distribution of an apple and pear cultivar. *Sci. Hortic.* 101:281–290
- Mamani, C; M Ríos Vera; A Baroni; F Gil; M Vanin; C Fernández; F González Antivilo; M Alberto y M Cantaloube. 2007. Ajuste de estimación de carga frutal de cereza (*Prunus avium* L.) cv. 'Bing' en la provincia de Mendoza. *Horticultura Argentina*. Mendoza: Asociación Argentina de Horticultura (Trabajo publicado en Libro de resúmenes XXX Congreso Argentino de Horticultura), vol. 26 n. 61 p.89 ISSN 1851-9342
- Manavella, FA; L San Martino & EO Pugh. 2006. Relaciones hídricas y técnicas de riego. Cap. 6, pp. 73-83. En: Cittadini, E.D y L. San Martino (eds.) El cultivo de cerezo en Patagonia Sur. Tecnología de manejo, empaque y comercialización. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Marcelis, LFM & E Heuvelink. 1999. Modelling fruit set, fruit growth and dry matter partitioning. *Acta Hortic.* 499:39-49.
- Marshall, JD & RH Waring. 1986. Comparison of methods of estimating Leaf-Area Index in old-growth Douglas-Fir. *Ecology* 67(4): 975-979.
- Medjdoub, R; J Val & A Blanco. 2004. Prohexadione-Ca inhibits vegetative growth of 'Smoothie Golden Delicious' apple trees. *Sci. Hortic.* 101:243–253.
- Mitcham, B; M Cantwell & A Kader. 1996. Methods for determining quality of fresh commodities. University of California, Perish. Handl. Newsl. 85:1-5.
- Monteith, JL. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 281:277-294.
- Muñoz, M; J Barría & S Oyarzún. 2004. Relevamiento de lotes productivos en la localidad de Los Antiguos. Informe Técnico, CAP - Delegación Los Antiguos, Argentina. 7 p.
- Neter, J; W Wasserman & MH Kutner. 1989. Applied linear regression models. 2nd. Ed. Irwin, Homewood, Boston. 667 pp.

- Omeg, M & L Omeg. 2005. Physiological principles for growing premium fruit. In: Producing Premium cherries. First Edition. Edited by Whiting M. Washington: Good Fruit Growers pp.145-148.
- Olsen, SR; CV Cole; FS Watanabe & LA Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. Department of Agriculture. U.S. Dep. of Agric. Circ. 939. Washington, D. C.
- Palmer, JW. 1987. The measurement of leaf area on apple tree. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 62: 5-10.
- Patrick, JW. 1988. Assimilate partitioning in relation to crop productivity. *HortScience* 23(1):33-40.
- Patten, KD; ME Patterson & EL Proebsting. 1986. Factors accounting for the within-tree variation of fruit quality in sweet cherries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111(3):356-360.
- Peterson, AB & RG Stevens (Eds.). 1994. Tree fruit nutrition. A comprehensive manual of deciduous tree fruit nutrient needs. Good Fruit Growers, Washington, USA. 211 pp.
- Pierce, LL & SW Running. 1988. Rapid estimation of coniferous forest leaf area index using a portable integrating radiometer. *Ecology* 69:1762-1767.
- Pinta, M. 1971. Méthods de reference pour la determination des éléments minéraux dans les végétaux. *Oléagineux* 28:87-92.
- Podestá, L; C Arjona; M Ojer; S Mayorga & J Claverie. 2004. Efecto del raleo temprano de frutos en cerezo (*Prunus avium*) cv. Bing sobre la calidad de frutos en cosecha. XXVI Congreso Argentino de Horticultura, Merlo, Argentina.
- Portela, JA. 1999. Planteo de modelos para la estimación del área foliar en plantas de ajo (*Allium sativum* L.) tipo clonal "blanco". *Horticultura Argentina* 18:5-10.
- Proctor, JTA & EC Lougheed. 1976. The effect of covering apples during development. *HortScience* 11:108-109.
- Proebsting, EL.1990. The interaction between fruit size and yield in sweet cherry. *Fruit Varieties Journal* 44:169-172.
- Proietti, P; A Palliotti; F Famiani; E Antognozzi; F Ferranti; R Andreutti; G Frenguelli. 2000. Influence of leaf position, fruit and light availability on photosynthesis of two chestnut genotypes. *Sci. Hort.* 85:63-73.
- R Development Core Team. 2007. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>
- Raffo, MD; R Rodríguez & A Rodríguez. 2006. Distribución lumínica en diferentes combinaciones portainjerto/ variedad en manzana cv. Mondial Gala y su efecto sobre la calidad de la fruta y parámetros vegetativos. *RIA* 35(2):53-69.
- Rich, PM.1990. Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. En: Goel N.S. and J.M. Norman (Eds.). Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared bands. Remote Sensing Reviews, Harwood Academic Publishers,

- Robinson, TL & CB Watkins. 2003. Crop load of Honeycrisp affects not only fruit size but many quality attributes. *New York Fruit Quarterly* 11(3):7-10.
- Romano, GS; ED Cittadini; B Pugh & R Schouten. 2006. Sweet cherry quality in the horticultural production chain. *Stewart Postharvest Review* 6:2. London, England. 13-29 p. (http://www.stewartpostharvest.com/Vol2_2006/December_2006/Romano.pdf)
- Roper, TR & WH Loeschner. 1987. Relationships between leaf area per fruit and fruit quality in 'Bing' sweet cherry. *HortScience*. 22 (6):1273-1275.
- San Martino, L & FA Manavella. 2004. Datos climáticos - Valle de Los Antiguos (Santa Cruz). Cartilla de Divulgación. 4pp (<http://www.inta.gov.ar/santacruz/info/indices/tematica/agrportadas/datosclimaticoslosantiguos.htm>)
- San Martino, L; EO Pugh & JL Luque. 2006. Requerimientos nutricionales y fertilización. Cap. 7, pp. 85-104. En: Cittadini, E.D y L. San Martino (Eds.) El cultivo de cerezo en Patagonia Sur. Tecnología de manejo, empaque y comercialización. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- San Martino, L; FA Manavella; D Arribillaga García & G Salato. 2008. Phenology and fruit quality of nine sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars in South Patagonia. *Acta Hort.* 795:841-847.
- Sansinaea, A & J Barría. 1998. Actualidad mundial, comercialización y perspectiva del cultivo de cereza. Simposio Internacional del Cultivo de Cereza. Trelew, Chubut (Arg).
- Sanz, CE & F Onofre. 2006. Portainjertos y variedades. Cap. 3, pp. 31-43. En: Cittadini, E.D y L. San Martino (Eds.) El cultivo de cerezo en Patagonia Sur. Tecnología de manejo, empaque y comercialización. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Sommer, KJ & ARG Lang. 1994. Comparative analysis of two indirect methods of measuring leaf area index as applied to minimal and spur pruned grape vines. *Australia Journal of Plant Physiology*, Collingwood, v. 21, p 197-206.
- Sparks, DL; AL Page; PA Helmke; RH Loeppert; PN Soltanpour; MA Tabatabai, CT Johnston, and ME Summer (Eds.). 1996. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. ASA-SSSA Book Series. Madison WI. USA.
- Stenberg, P. 1996. Correcting LAI-2000 estimates for the clumping of needles in shoots of conifers. *Agricultural and Forest Meteorology* 79:1-8.
- Szlápelis, SE. 2010. Efecto de la relación número de frutos por área foliar sobre el rendimiento y la calidad de fruta en el cultivo de cerezos (*Prunus avium* L.) en el valle de Sarmiento, Chubut, Patagonia Argentina. Tesis de especialización. Università degli Studi di Bologna, INTA y Universidad Nacional del Comahue. 43 pp.
- Szlápelis, SE & ED Cittadini. 2010. Efecto de la relación número de frutos por área foliar sobre el rendimiento y la calidad de fruta en el cultivo de cerezos (*Prunus avium* L.) en el valle de Sarmiento, Chubut, Patagonia Argentina. Actas del 1er Congreso Latinoamericano y Europeo en Co-Innovación de Sistemas Sostenibles de Sustento Rural. Minas, Uruguay. 28-30 de abril de 2010. p. 291-294.
- Temminghoff, EJM. 2000. Methodology of chemical soil and plant analysis. Wageningen University. Wageningen, The Netherlands. 177 pp.

- Tersoglio, E. 2001. Perspectivas del cultivo del cerezo en la República Argentina. Asociación Cooperadora de la EEA Mendoza INTA, Argentina. p. 70.
- Usenik, V; P Orazem & F Stampar. Low leaf to fruit ratio delays fruit maturity of 'Lapins' sweet cherry on Gisela 5. *Sci. Hort.* (2010). En prensa.
- UTHSCSA, 2002. <http://ddsdx.uthscsa.edu/dig/itdesc.html> (Access date: March 18th, 2004).
- Villa Nova, NA; MA Coelho Filho; LR Angelocci; FR Marin & CA Righi. 2003. Determinação da área foliar de árvores adultas de lima ácida 'Tahiti' e do índice de área foliar de um seringal com luxímetro de baixo custo. In: Congresso Nacional de Irrigação e drenagem, 13, 2003, Juazeiro. Anais.
- Villalobos, FJ; F Orgaz & L Mateos. 1995. Non-destructive measurement of leaf area in olive (*Olea europaea*) trees using a gap inversion method. *Agricultural and Forest Meteorology* 73:29-42.
- Villarreal, P; A Santagni & S Romagnoli.(Coord.). 2006. Pautas tecnológicas: Cerezo. Manejo y análisis económico-financiero. INTA Alto Valle. General Roca, Argentina. 140 pp.
- Vittrup Christensen, J. 1995. Evaluation of fruit characteristics of 20 sweet cherry cultivars. *Fruit Varieties Journal* 49(2):113-117.
- Wagenmakers, P. 1994. Light relations in orchard systems. Thesis Ph.D. Wageningen Agricultural University. 151 pp.
- Wells, JM & MJ Bukovac. 1978. Effect of fruit thinning on size and quality of 'Stanley' plum (*Prunus domestica* L.). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103(5):612-616.
- Webster, AD & NE Looney. 1996. World distribution of sweet and sour cherry production: national statistics. Chapter 2, pp. 25-69. En: Webster, AD and NE Looney (Eds.). *Cherries: Crop Physiology, Production and Uses*. CABI, Cambridge, United Kingdom.
- Whiting, MD & GA Lang. 2004. "Bing" sweet cherry on the dwarfing rootstock "Gisela 5": Thinning affects fruit quality and vegetative growth but not CO² exchange. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129:407-415
- Wright, AH; CG Embree; DS Nichols; RK Prange; PA Harrison & JM DeLong. 2006. Fruit mass, colour and yield of 'Honeycrisp'TM apples are influenced by manually-adjusted fruit population and tree form. *J. Hort. Sci. Biotech.* 81(3):397-401.
- Wünsche, JN; AN Lakso. 2000. The relationship between leaf area and light interception by spur and extension shoot leaves and apple orchard productivity. *HortScience* 35(7):1202-1206.
- Ystaas, J. 1989. The influence of tree density on the tree size, yield and fruit quality of 'Van' sweet cherries. *Acta Hort.* 243:327-330.

ANEXO I

Caracterización del suelo de los sitios experimentales de la temporada 2007/2008

Tabla 1. Caracterización del suelo del sitio experimental con la variedad 'Bing'. Las muestras se extrajeron a los 0-30 y 30-60 de profundidad (cm).

Variable	Metodología de evaluación	Profundidad (cm)	
		0 - 30	30 - 60
Resistencia (ohm.cm ⁻¹)	Conductimétrico sobre pasta de suelo utilizando una celda copa ^z	2780	2600
pH (agua 1: 2,5)	Peachímetro, en agua, relación 1:2,5	5,7	5,4
Carbono orgánico (%)	Digestión seca con el método de Walkley-Black ^y	1,68	1,03
Nitrógeno total (%)	Semi-micro Kjeldhal ^x	0,171	0,115
Fósforo (mg/kg)	Método Truog, solución extractora H ₂ SO ₄ 0,002N ^{xw}	184	50
Potasio intercambiable (cmolc.kg ⁻¹)	Extracción con NH ₄ Ac y determinación por fotometría de llama ^w	0,4	0,2
Clase textural *	Método del hidrómetro de Bouyoucos ^v	Fr Arc Are	Fr Arc

^z Jakson, 1970; ^y Sparks *et al.* 1996; ^x Temminghoff, 2000; ^w Dewis y Freitas, 1984; ^v Klute, 1986;
* Fr = Franco, Arc = Arcilloso, Are = Arenoso.

Tabla 2. Caracterización del suelo del sitio experimental con la variedad 'Lapins'. Las muestras se extrajeron a los 0-30 y 30-60 de profundidad (cm).

Variable	Metodología de evaluación	Profundidad (cm)	
		0 - 30	30 - 60
Salinidad (mmhos/cm)	Extracto de saturación	2,76	1,82
pH (agua 1: 2,5)	Peachímetro, en agua, relación 1:2,5	7,9	8,1
Materia orgánica (%)	Por digestión seca con el método de Walkley-Black ^y	2,35	1,58
Nitrógeno total (%)	Método Kjeldhal ^x	0,147	0,078
Fósforo (mg/kg)	Método Olsen ^v	53,9	25,9
Potasio disponible (ppm)	Determinación por fotometría de llama ^w	3,1	2,4
Clase textural *	Método al tacto	Are	Fr Are

^y Sparks *et al.* 1996; ^x Temminghoff, 2000; ^w Dewis y Freitas, 1984; ^v Olsen *et al.* 1954;
* Fr = Franco, Arc = Arcilloso, Are = Arenoso.

Caracterización del suelo de los sitios experimentales de la temporada 2008/2009

Tabla 3. Caracterización del suelo del sitio experimental con la variedad 'Sweetheart' sobre portainjerto Maxma60. Las muestras se extrajeron según distribución de perfiles de 0-13, 13-33 y 33-60 de profundidad (cm).

Variable	Metodología de evaluación	Profundidad (cm)		
		0 - 13	13 - 33	33 - 60
Salinidad (mmhos/cm)	Extracto de saturación	0,82	0,50	0,40
pH (agua 1: 2,5)	Peachímetro, en agua, relación 1:2,5	8,0	8,4	8,6
Materia orgánica (%)	Por digestión seca con el método de Walkley-Black ^y	4,30	1,27	0,64
Nitrógeno total (%)	Método Kjeldhal ^x	0,175	0,107	0,071
Fósforo (mg/kg)	Método Olsen ^v	76,2	32,5	37,0
Potasio disponible (ppm)	Determinación por fotometría de llama ^w	2,60	1,55	0,93
Clase textural *	Método al tacto	Fr Limo	Fr Are	Are

^y Sparks *et al.* 1996; ^x Temminghoff, 2000; ^w Dewis y Freitas, 1984; ^v Olsen *et al.* 1954;
* Fr = Franco, Limo = Limoso, Arc = Arcilloso, Are = Arenoso.

Tabla 4. Caracterización del suelo del sitio experimental con la variedad 'Lapins' sobre portainjerto Gisela 5 y Maxma60. Las muestras se extrajeron según distribución de perfiles de 0-12, 12-40 y 40-60 de profundidad (cm).

Variable	Metodología de evaluación	Profundidad (cm)		
		0 - 12	12 - 40	40 - 60
Salinidad (mmhos/cm)	Extracto de saturación	0,87	0,66	0,40
pH (agua 1: 2,5)	Peachímetro, en agua, relación 1:2,5	7,9	8,3	8,1
Materia orgánica (%)	Por digestión seca con el método de Walkley-Black ^y	5,48	1,07	0,72
Nitrógeno total (%)	Método Kjeldhal ^x	0,347	0,128	0,083
Fósforo (mg/kg)	Método Olsen ^v	64,4	9,53	9,70
Potasio disponible (ppm)	Determinación por fotometría de llama ^w	1,26	0,50	0,57
Clase textural *	Método al tacto	Fr Are	Fr Lim	Fr Lim

^y Sparks *et al.* 1996; ^x Temminghoff, 2000; ^w Dewis y Freitas, 1984; ^v Olsen *et al.* 1954;
* Fr = Franco, Limo = Limoso, Are = Arenoso.

Resultados de análisis foliares

Tabla 5. Análisis foliar de la variedad 'Bing' en el muestreo (60 hojas) realizado en febrero 2008 y su valoración.

Elemento	Metodología de evaluación	Valor	Valoración
N %	Por colorimetría, previa digestión húmeda con ácido sulfúrico - ácido salicílico y selenio ^z	2,10	Normal
P ‰	Por fotometría de llama, previa digestión húmeda con ácido sulfúrico - ácido salicílico y selenio ^z	4,55	Muy alto
K %		0,77	Bajo
Ca %	Por espectrofotometría de absorción atómica ^y de la solución de cenizas vegetales.	2,63	Normal
Mg %		0,97	Muy alto
Mn ppm		38	Bajo
Zn ppm		43	Alto
B ppm	Por colorimetría ^x	32	Normal

^zTemminghoff, 2000; ^yPinta, 1971; ^xDible *et al.*; 1954.

Tabla 6. Análisis foliar para la variedad 'Lapins' en el muestreo (60 hojas) realizado en febrero 2008 y su valoración.

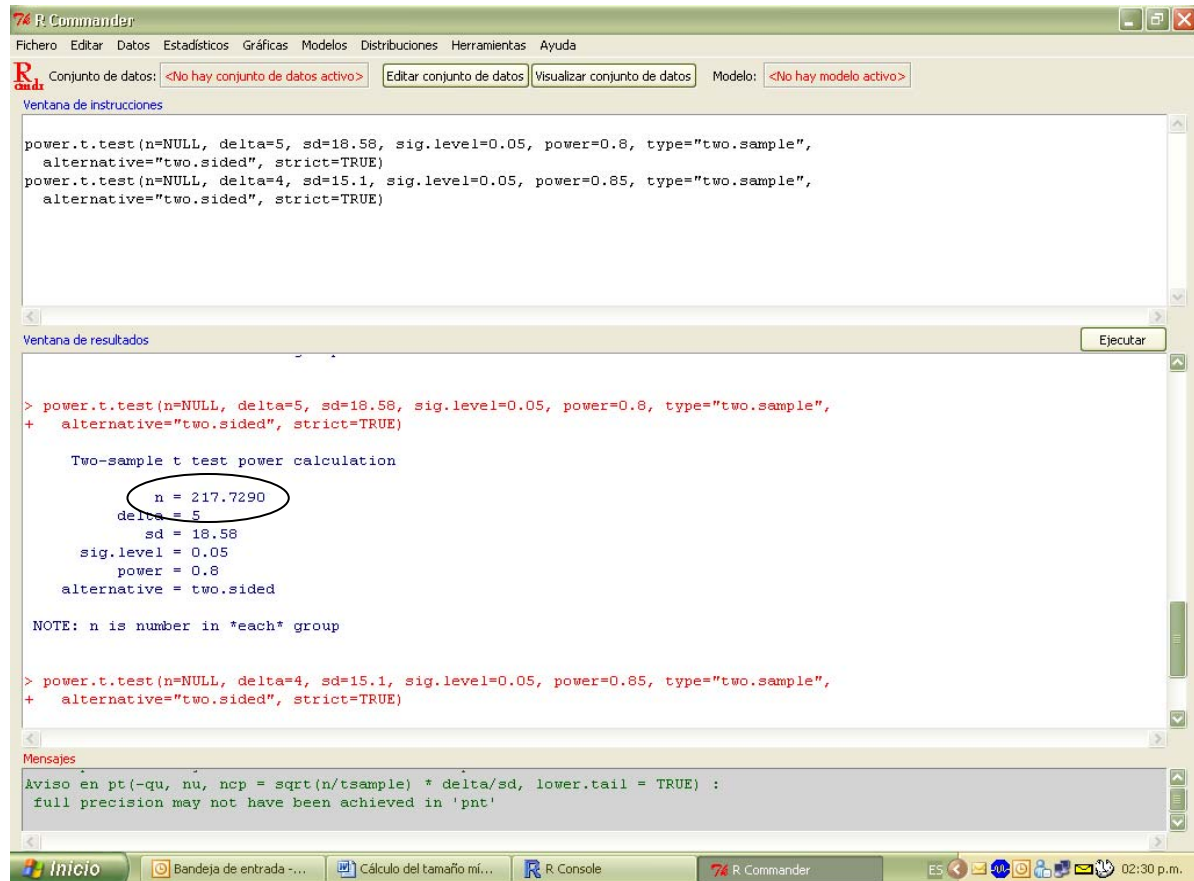
Elemento	Metodología de evaluación	Valor	Valoración
N %	Por colorimetría, previa digestión húmeda con ácido sulfúrico - ácido salicílico y selenio ^z	2,48	Alto
P ‰	Por fotometría de llama, previa digestión húmeda con ácido sulfúrico - ácido salicílico y selenio ^z	2,45	Muy alto
K %		0,88	Bajo
Ca %	Por espectrofotometría de absorción atómica ^y de la solución de cenizas vegetales.	2,40	Normal
Mg %		0,91	Muy alto
Mn ppm		38	Bajo
Zn ppm		12	Muy Bajo
B ppm	Por colorimetría ^x	41	Normal

^zTemminghoff, 2000; ^yPinta, 1971; ^xDible *et al.*; 1954.

ANEXO II

Determinación del tamaño mínimo de la muestra de hojas a cosechar por árbol con el procedimiento IPSUR de R (R Development Core Team, 2007).

Variedad 'Lapins'



The screenshot shows the R Commander interface with the following content:

```
power.t.test(n=NULL, delta=5, sd=18.58, sig.level=0.05, power=0.8, type="two.sample",
             alternative="two.sided", strict=TRUE)
power.t.test(n=NULL, delta=4, sd=15.1, sig.level=0.05, power=0.85, type="two.sample",
             alternative="two.sided", strict=TRUE)
```

Ventana de resultados

```
> power.t.test(n=NULL, delta=5, sd=18.58, sig.level=0.05, power=0.8, type="two.sample",
+ alternative="two.sided", strict=TRUE)

Two-sample t test power calculation

  n = 217.7290
delta = 5
  sd = 18.58
sig.level = 0.05
 power = 0.8
alternative = two.sided

NOTE: n is number in *each* group

> power.t.test(n=NULL, delta=4, sd=15.1, sig.level=0.05, power=0.85, type="two.sample",
+ alternative="two.sided", strict=TRUE)
```

Mensajes

```
Aviso en pt(-qu, nu, ncp = sqrt(n/tsample) * delta/sd, lower.tail = TRUE) :
full precision may not have been achieved in 'pnt'
```

Variedad 'Bing'

The screenshot shows the R Commander interface with the following content:

74 R Commander
Fichero Editar Datos Estadísticos Gráficas Modelos Distribuciones Herramientas Ayuda

Conjunto de datos: <No hay conjunto de datos activo> Editar conjunto de datos Visualizar conjunto de datos Modelo: <No hay modelo activo>

Ventana de instrucciones

```
power.t.test(n=NULL, delta=5, sd=18.58, sig.level=0.05, power=0.8, type="two.sample",
             alternative="two.sided", strict=TRUE)
power.t.test(n=NULL, delta=4, sd=15.1, sig.level=0.05, power=0.85, type="two.sample",
             alternative="two.sided", strict=TRUE)
```

Ventana de resultados Ejecutar

```
alternative = two.sided
NOTE: n is number in *each* group

> power.t.test(n=NULL, delta=4, sd=15.1, sig.level=0.05, power=0.85, type="two.sample",
+ alternative="two.sided", strict=TRUE)

Two-sample t test power calculation
  n = 256.8593
delta = 4
sd = 15.1
sig.level = 0.05
power = 0.85
alternative = two.sided
NOTE: n is number in *each* group
```

Mensajes

```
Aviso en pt(-qu, nu, ncp = sqrt(n/tsample) * delta/sd, lower.tail = TRUE) :
full precision may not have been achieved in 'pnt'
```

Windows taskbar: Inicio, Bandeja de entrada..., Cálculo del tamaño mí..., R Console, 74 R Commander, ES, 02:30 p.m.