

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

Título

**ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR POR MEDIO DE LA
INTERCEPTACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR EN VID Y OLIVO**

NICOLÁS SALOMÓN ZAMORANO ORDEN

SANTIAGO - CHILE

2011

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

Título

**ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR POR MEDIO DE LA
INTERCEPTACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR EN VID Y OLIVO**

**LEAF AREA INDEX ESTIMATION BY MEANS OF SOLAR RADIATION
INTERCEPTION IN GRAPEVINE AND OLIVE**

NICOLÁS SALOMÓN ZAMORANO ORDEN

SANTIAGO - CHILE

2011

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR POR MEDIO DE LA INTERCEPTACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR EN VID Y OLIVO

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Agrónomo

NICOLÁS SALOMÓN ZAMORANO ORDEN

PROFESORES GUÍAS

CALIFICACIONES

Sr. Nicolás Franck B. Ingeniero Agrónomo, MS. PhD.	6,7
Sr. Víctor García de Cortázar G. Ingeniero Agrónomo, Dr. Ing.	6,7

PROFESORES EVALUADORES

Sr. Cristián Kremer F. Ingeniero Agrónomo, PhD.	6,1
Sr. Jaime Auger S. Ingeniero Agrónomo, MS. PhD.	6,5

SANTIAGO - CHILE

2011

Dedicada a mis dos madres: María Luisa Orden Oyarce y mi abuela Edelmira del Carmen Oyarce (Q.E.P.D.), porque gracias a su educación y sacrificio, soy un hombre de esfuerzo y valorables principios.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a todas las personas que colaboraron en la realización de esta memoria como también a aquellas personas que me apoyaron en todos los años de estudio en la Universidad.

Quiero partir agradeciendo en primer lugar a mis dos profesores guías, Nicolás Franck y Víctor García de Cortázar, por haberme ofrecido el tema de mi memoria y por todo el tiempo, la dedicación y el conocimiento que me entregaron en todo el transcurso de la realización de ésta. También a los profesores Cristian Kremer y Jaime Auger por la disposición y las recomendaciones dadas al momento de evaluar mi memoria.

A David Arancibia y a Lucas Da Silva, quienes me apoyaron en toda la etapa experimental de la memoria, siempre dispuestos a cooperar de manera desinteresada, pese a las dificultades presentadas en ciertos momentos, demostrando un gran interés por la profesión y el trabajo en equipo.

Agradezco también a Marco Garrido y Romy Salgado, quienes me ayudaron en la redacción de la memoria, aconsejándome y apoyándome en toda esta etapa.

A mi madre María Luisa Orden y a mis tíos Lucía Orden y Julio Santibáñez, quienes me apoyaron en todos mis años de estudios y que gracias a su ayuda tanto emocional como económica, logré terminar mis estudios y convertirme en profesional.

Y finalmente se agradece a FONDECYT, ya que esta memoria fue financiada por el proyecto N° 1080450.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓN	5
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Lugar de estudio	7
Materiales	7
Material vegetal.	7
Instrumentos de medición.....	7
Metodología	8
Selección de plantas por densidad foliar.....	8
Medición de la interceptación de radiación solar y estimación del IAF.....	8
Medición del IAF por método destructivo.....	11
Estimación del área foliar en brotes de vid y en ramas de olivo por métodos indirectos	12
Análisis estadístico	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
Vid	14
Estimación del IAF utilizando la interceptación de radiación solar	14
Estimación del área foliar del brote de la vid en base a su área de sección transversal	17
Estimación del área foliar de los brotes de vid en base a su longitud y la longitud de sus feminelas.....	18

Estimación del área foliar utilizando el número de hojas de brote y feminela.....	19
Área foliar específica de hojas de brote y feminela.....	20
Olivo.....	20
Estimación del IAF utilizando la interceptación de radiación solar.....	21
Estimación del área foliar utilizando el área de sección transversal de rama.....	23
Área foliar específica de hojas.....	24
CONCLUSIONES.....	25
BIBLIOGRAFÍA.....	26

RESUMEN

Con el propósito de evaluar el método de Jackson y Palmer de interceptación de radiación solar para la estimación no destructiva del índice de área foliar (IAF) en vid cv. Chardonnay y olivo cv. Arbequina, se realizó un estudio en la temporada 2009-2010, en la localidad de Cerrillos de Tamaya, Región de Coquimbo, Chile.

Se escogieron plantas de diferente densidad foliar y se efectuaron mediciones de interceptación de radiación solar en diferentes momentos del día utilizando un ceptómetro lineal SS1 (Delta-T Devices) para obtener el IAF estimado (IAFe) aplicando la metodología de Jackson y Palmer. Posteriormente, se extrajo la cubierta foliar de las plantas y se tomó su peso total. Este peso total se transformó en área foliar en base a muestras de hojas de peso conocido cuyo área foliar se midió utilizando un medidor LI-3000 (Li Cor) en vid y un método de análisis de imágenes con Photoshop Cs4 Ultra en olivo. Los IAF obtenidos por este método destructivo (IAFr) y estimados en base a la interceptación de radiación fueron relacionados por medio de regresiones lineales.

Se observó que los IAFe fueron dependientes de las condiciones de la medición, especialmente del ángulo solar formado con la hilera. En vid el mejor ajuste entre los IAFe e IAFr se obtuvo con el promedio del IAFe entre la mañana y la tarde. En olivo no se obtuvo un buen ajuste para las mediciones del mediodía, por lo que las estimaciones requieren de un factor de corrección específico para las condiciones observadas en el huerto estudiado.

Adicionalmente se evaluaron diferentes métodos de estimación indirecta del área foliar (número de hojas, largo de brote y área de sección transversal de brote (ASTB)) en vid, y el método de estimación por el área de sección transversal de rama (ASTR) en olivo.

Se apreció que los métodos de estimación pueden ser influenciados por los manejos productivos, la naturaleza de la estructura utilizada y la complejidad de obtención del estimador. En vid, el número de hojas y el largo de brote fueron buenos estimadores del área foliar, en cambio, el ASTB no mostró los mismos resultados, dado su alta dependencia a los manejos productivos. En olivo, el ASTR obtuvo buenos resultados, lo que podría atribuirse a una menor incidencia de las prácticas de manejo (poda) en especies de hoja persistente.

Palabras claves: Métodos no destructivos, área foliar, *Vitis vinifera* L., *Olea europaea* L.

ABSTRACT

LEAF AREA INDEX ESTIMATION BY MEANS OF SOLAR RADIATION INTERCEPTION IN GRAPEVINE AND OLIVE

In order to evaluate the method of Jackson and Palmer based on the interception of solar radiation for the nondestructive estimation of leaf area index (LAI) in grapevine cv. Chardonnay and olive tree cv. Arbequina, a study was conducted during the 2009-2010 season, in Cerrillos de Tamaya, Region of Coquimbo, Chile.

Different plants were chosen and leaf density measurements were made for interception of solar radiation at different times of day using a linear ceptometer SS1 (Delta T Devices) to obtain LAI estimated using the methodology of Jackson and Palmer. Subsequently, foliar cover was extracted from plants and took his total weight. The total weight was transformed into leaf area meter LI-3000 (Li Cor) in grapevine and a method of image analysis with Photoshop CS4 Ultra in olive. The LAI obtained by this destructive method and LAI estimated based on light interception were related by linear regressions.

The estimated LAI were dependent on measurement conditions, especially solar angle formed with the planting row. In grapevine, the best adjustment between measured and estimated values was obtained with the average LAI estimated between morning and afternoon. In olive tree, the adjustment was less adequate and needed to incorporate a correction coefficient that is specific for the conditions observed in this study.

Additionally, we evaluated several methods of the indirect estimation of leaf area (leaf number, shoot length and shoot cross-sectional area (ASTB)) in grapevine, and branch cross-sectional area (ASTR) in olive. It was observed that these estimation methods can be influenced by management practices, the nature of the structure used and the complexity of obtaining the estimator. In grapevine, the number of leaves and the shoot length were successful for estimating leaf area, however, the ASTB did not show the same results, given its high dependence on management practices. In olive trees, ASTR performed well, which might be attributed to the lower incidence of management practices (pruning) in evergreen species.

Key words: Nondestructive methods, leaf area, *Vitis vinifera* L., *Olea europaea* L.

INTRODUCCIÓN

El área foliar asociado a la cubierta vegetal tiene gran importancia para el crecimiento de los árboles frutales dada la incidencia que ésta posee en varios procesos fisiológicos (Ramesch y Singh, 1989; Portela, 1999; Bhat and Chanda, 2003; citados por Cittadini y Peri, 2006). Uno de esos procesos es la fotosíntesis, la cual utiliza como fuente energética la radiación solar interceptada por la cubierta vegetal para transformar moléculas inorgánicas (CO_2 y agua) en moléculas orgánicas aprovechables por la planta, como carbohidratos. La fotosíntesis, en conjunto con otros procesos fisiológicos (hormonales, nutricionales e hídricos) y factores abióticos (radiación solar, temperatura y humedad), interactúan con la cubierta vegetal e influyen en el desarrollo, el tamaño, el color y la calidad de la fruta, y en la distribución de los asimilados (Jackson y Palmer, 1981; Rom, 1991; Gil, 2006).

Así, conocer el área foliar de los cultivos permite un mejor manejo y uso de la cubierta vegetal, en aspectos como la poda de formación y producción, el raleo de frutos y el control de plagas y enfermedades; todas labores que inciden directamente en la productividad del huerto frutal (Gutiérrez y Lavín, 2000; Cortés, 2003; Mika *et al.*, 2007).

Una forma de analizar el área foliar de las especies frutales es por medio del índice de área foliar (IAF), que corresponde a las unidades de superficie de hojas verdes por unidad de superficie de suelo (Scurlock *et al.*, 2001). El IAF es un parámetro utilizado en varias ecuaciones que describen procesos físicos relacionados con el follaje, y es frecuente en modelos que simulan la cubierta vegetal o dosel de las plantas (Cifuentes y Navarro, 1999).

Para obtener el IAF existen métodos destructivos y métodos no destructivos. Los métodos destructivos requieren intervenir directamente en la estructura foliar de la planta, ya sea extrayendo muestras o la totalidad de las hojas de una planta para estimar o medir el IAF. Los métodos no destructivos, por su parte, no intervienen en la estructura foliar, sino que estiman el IAF a partir de parámetros físicos o descriptivos basados, por ejemplo, en relaciones alométricas o la medición de la interceptación de radiación solar.

Si bien la medición del índice de área foliar mediante métodos destructivos resulta precisa, en tanto permite la medición directa del área foliar mediante la cosecha de las hojas, no permite el seguimiento de una misma unidad en el tiempo (Suckel, 2001). Además, estos métodos requieren de un alto tiempo de trabajo y dañan la producción de las plantas medidas. Por estas razones, es conveniente disponer de métodos no destructivos para realizar estimaciones del IAF. Un método conveniente es la medición de la interceptación de radiación solar que permite estimar el IAF, ya que estas variables están altamente asociada (De la Casa *et al.*, 2007; López-Lozano *et al.*, 2009).

En cuanto a los modelos de cuantificación de interceptación de radiación solar, existen algunos que incluyen el IAF como el método “Gap fraction” (Welles y Cohen, 1996), el método tradicional de Beer (Cortés 2003) y el método de Jackson y Palmer (Jackson y Palmer, 1979). El método utilizado en un huerto frutal va a depender de la continuidad de la cubierta vegetal, entendida como la unión de las copas de los árboles de un huerto entre sí, en función al espacio libre que se forma o no por esta unión. Los métodos de Beer y Gap Fraction son utilizados para huertos de copa continua, donde no existe espacio libre entre las copas de los árboles o plantas (Ej. pérgola), mientras que el método de Jackson y Palmer es utilizado para huertos de copas discontinuas; donde existen espacios libres entre las copas (Ej. formación en vaso, eje y solaxe). Los huertos de copa discontinua generalmente se observan en la mayoría de las especies frutales y, por lo tanto, el método de Jackson y Palmer es uno de los que mejor se adapta (Gil, 2009).

El método de Jackson y Palmer descompone la luz directamente transmitida al suelo en dos fracciones, una fracción dependiente del IAF, que pasa por la cubierta vegetal, y otra independiente del IAF, que no es intervenida por la cubierta vegetal y es la que se aprecia en la entre-hilera y el espacio sobre-hilera entre una planta y otra (Jackson y Palmer, 1979; Gil, 2009).

En el marco de lo expuesto anteriormente, el objetivo principal de esta memoria fue evaluar la estimación del IAF por medio del método de Jackson y Palmer en dos especies frutales: la vid y el olivo. Esto con la finalidad de obtener un buen método no destructivo de estimación del IAF para éstas dos especies. Cabe destacar que estas especies frutales poseen marcadas diferencias en aspectos como el hábito de foliación (la vid es de tipo caducifolia y el olivo es de tipo persistente), el sistema de formación y las características de las hojas (forma, tamaño y grosor). Todo esto ofrece un marco ideal para evaluar la adaptación de la metodología para la estimación del IAF en frutales con arquitectura de copa contrastante.

Adicionalmente, se evaluaron diferentes métodos indirectos, basados en relaciones alométricas, para estimar el área foliar de las ramas (olivo) y los brotes (vid).

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El estudio se realizó en un predio perteneciente a la Agrícola Tamaya, ubicado en la zona de Cerrillos de Tamaya (30°35'53.88"S, 71°11'31.23"O), Provincia de Limarí, Región de Coquimbo, Chile, en la temporada 2009 - 2010. Los suelos de esta zona pertenecen a la Serie San Julián, los que se caracterizan por su alto contenido de arcilla. El clima es semi-árido, con influencias marítimas, precipitaciones anuales de 80-100 mm, inviernos benignos con baja probabilidad de heladas y temporada primavera-verano sin lluvias.

Materiales

Material vegetal

Se utilizaron plantas de vid cv. Chardonnay en patrón Franco de 14 años de edad, marco de plantación de 2,5 x 1 m, con hileras orientadas en dirección norte a sur, conducidas en espaldera y plantas de olivo cv. Arbequina no injertadas de 14 años de edad, marco de plantación de 6 x 3 m, con hileras orientadas en dirección noreste a suroeste, conducidas en eje.

Instrumentos de medición

Para realizar las mediciones de interceptación de radiación solar se utilizó un ceptómetro lineal compuesto por 64 sensores que captan la radiación fotosintéticamente activa (PAR), distribuidos homogéneamente sobre una barra de un metro, marca Sunscan modelo SS1 (Delta-T Devices, UK). Además se utilizó estacas para indicar el marco de medición y una huincha métrica de 10 metros.

Para la obtención del IAF por el método destructivo se utilizó herramientas de poda (tijeras y serruchos). Finalmente, para el análisis de área foliar de las muestras, se ocupó un medidor de área foliar marca Li Cor modelo LI 3000 y el método de análisis de imágenes computacionales descrito por Sandrini-Neto *et al.* (2007), utilizando para esto el programa computacional de edición de imágenes Photoshop Cs4 Ultra.

Metodología

Selección de plantas por densidad foliar

Se escogieron diez plantas de vid y cinco plantas de olivos, las cuales poseían diferente densidad foliar. Para la selección de las plantas por densidad foliar se utilizó el criterio de la proyección de la sombra de éstas en el suelo, donde se evaluó la cantidad de manchones de luz y se ubicó en una escala nominal que iba desde muy baja densidad, si se observaba una alta porosidad de la proyección de sombra (alta presencia de manchones de luz) a muy alta densidad, si se observaba una menor porosidad de la sombra. Estas plantas fueron utilizadas en la medición de interceptación de radiación solar para la estimación del IAF y posteriormente fueron cosechadas para obtener el IAF por el método destructivo (IAFr) según se describe a continuación.

Medición de la interceptación de radiación solar y estimación del IAF

La medición de la interceptación de radiación solar y la estimación del IAF se realizó de la siguiente manera:

1. En primer lugar se midió la radiación solar incidente (PAR₀), utilizando para esto el ceptómetro en sectores de muestreo libres de objetos que pudiesen interferir con la lectura del instrumento.
2. A continuación se procedió a medir la transmisión de radiación solar de cada planta. Ésta medición se realizó bajo la copa de las plantas en transectos orientados perpendicularmente a la hilera de plantación. Para el caso del olivo, los transectos tuvieron un largo de 6 m y estaban separados a 0,5 m; mientras que para el caso de la vid, los transectos tuvieron un largo de 2,5 m y estaban separados a 0,25 m (Figura 1). Las lecturas de radiación del ceptómetro correspondieron a la radiación solar no interceptada por la planta (PAR_{ni}), transmitida a la superficie del suelo.

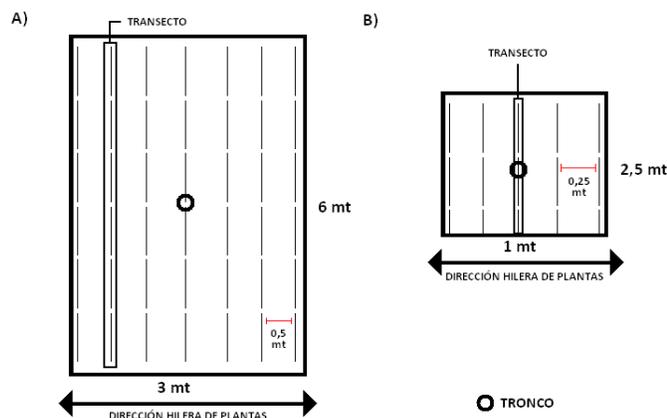


Figura 1. Esquema de medición de radiación interceptada para el olivo (A) y la vid (B).

3. Luego de terminar la medición de interceptación de radiación solar de una planta se pasó a la siguiente. Al finalizar la medición de todo un bloque de plantas para cada horario de medición (descritos más adelante), se procedió a tomar otra medición de PAR0.

4. Debido a la orientación de las hileras en olivo (noreste - suroeste), las mediciones de interceptación de radiación solar se realizaron dos horas antes y después del mediodía solar y al mediodía solar (cénit) para evitar el traslape de sombras entre plantas contiguas. En vid se midió la interceptación de radiación en el momento de mayor inclinación de la sombra en la tarde (16: 00 PM) y en el momento donde había una inclinación leve (10:00 AM). El objetivo de esto fue obtener una mayor distribución de la sombra y así evitar que toda ésta se concentrara en un solo sector.

Las mediciones se realizaron en verano, debido a que en esta época existe una mayor probabilidad de encontrar días completamente despejados, condición ideal para la aplicación del método de estimación de Jackson y Palmer. Por otra parte en esta época, la vid ha desarrollado una cubierta vegetal adecuada para la evaluación del método propuesto.

5. Para la estimación del IAF por medio de la interceptación de radiación solar (IAFe) se utilizó la ecuación propuesta por Jackson y Palmer (1979), la cual posee la siguiente expresión (Ec. 1):

$$T = (T_f + T_c) = T_f + (1 - T_f) \cdot e^{-\left(\frac{I \cdot IAF}{I - T_f}\right)} \quad \text{Ec. 1}$$

Despejando la ecuación 1, el IAF se calculó de la siguiente manera (Ec. 2):

$$IAF = \frac{\ln\left(\frac{1-T}{1-T_f}\right) \cdot (1-T_f)}{-k} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

T: Fracción total de radiación solar transmitida al suelo (adimensional) equivalente a:

$$T = \frac{\text{PROMEDIO DE PAR}_{ni}}{\text{PAR}_0} \quad \text{Ec. 3}$$

Tf: Fracción de radiación solar transmitida independiente de la cubierta vegetal (adimensional).

Para estimar Tf, en primer lugar se determinó una PARni umbral con el propósito de discriminar la transmisión influenciada por la cubierta vegetal de la transmisión directa que se pudo apreciar en la entre-hilera y en los espacios en la sobre-hilera. Se utilizó una PARni umbral de 80% propuesto por Cortés (2003) para estimar la fracción correspondiente de Tf en cada transecto. Para esto se contó, desde ambas entre-hileras hacia la hilera, el número de sensores consecutivos con valores superiores a dicho umbral. Esta cuenta se detuvo al

momento de encontrar el primer sensor bajo el umbral, lo que indicaba el comienzo de la zona afectada por la cubierta vegetal en cada lado de la hilera. Luego T_f se estimó como la suma del número total de sensores consecutivos superiores al umbral a cada lado de la hilera, dividido por el número total de sensores del transecto. A continuación se presenta un esquema explicativo de la obtención de T_f por transecto (Figura 2) donde en un transecto de 128 sensores hay en total 11 sensores consecutivos al sol, lo que daría un valor de T_f de 0,09:

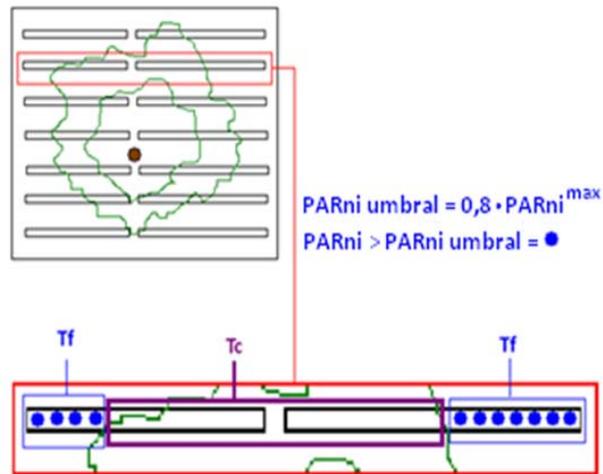


Figura 2. Obtención de T_f por transecto. Los círculos azules representan los sensores del ceptómetro no intervenidos por la cubierta vegetal.

T_c : Fracción de radiación solar transmitida al suelo dependiente de la cubierta vegetal (adimensional) equivalente a la diferencia entre T y T_f .

k : Coeficiente de extinción de la radiación (adimensional).

Se utilizó un valor de k de 0,6; determinado para manzanos (Cain, 1973; Jackson, 1978), siendo este valor el que generalmente se utiliza de referencia para especies frutales (Gil, 2009). Posteriormente se ajustó el k para cada especie mediante métodos numéricos, maximizando el coeficiente de determinación de la regresión entre el IAF_e y el IAF_r, utilizando la herramienta “*Solver*” del software matemático Microsoft Excel 2007.

Medición del IAF por método destructivo

El IAF por el método destructivo (IAF_r) en el olivo se estimó siguiendo cuatro etapas (Figura 3):

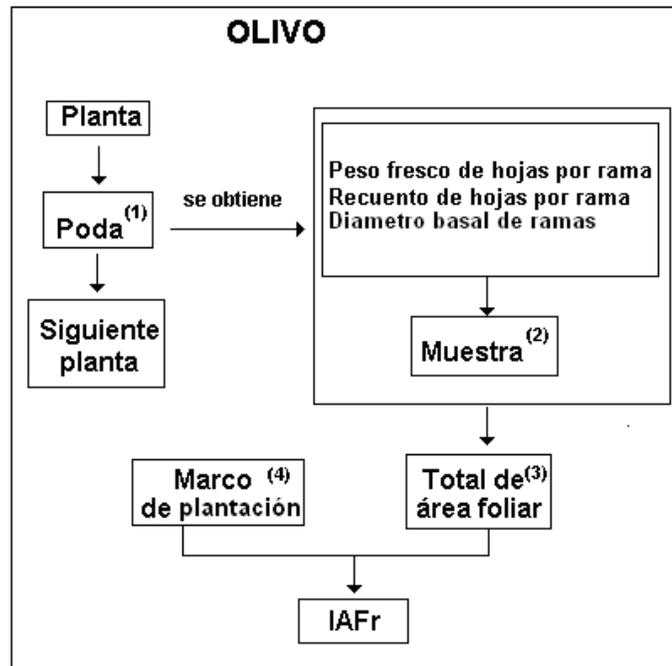


Figura 3. Diagrama de muestreo para la estimación del área foliar del olivo por método destructivo.

1. Se cosecharon (podaron) todas las ramas de la planta a una distancia del tronco que permitiera dejar un remanente de hojas equivalente al 20 %, aproximado, en la porción proximal de cada rama. Dichas hojas remanentes fueron posteriormente contadas.

2. Se obtuvo una muestra de 120 hojas extraídas de diferentes ramas cosechadas. Se tomó el peso fresco de dicha muestra y luego se midió el área foliar con el método de análisis de imágenes computacionales, de esta manera se obtuvo el área foliar específica (AE) con respecto al peso fresco, siendo éste la relación de área foliar en un gramo de hojas frescas. Además se relacionó el área foliar de la muestra con el número de hojas extraídas de forma de obtener el área foliar individual (AFI).

3. El AE se multiplicó con el peso fresco total de hojas extraídas y el AFI con el número de hojas remanentes en la planta, obteniendo luego el área foliar total de la planta como la sumatoria del área foliar de estos productos.

4. El área foliar total de la planta se dividió por el área de suelo utilizada por cada planta (determinada en base al marco de plantación) para obtener el IAFr.

Para el caso de la vid el IAF se estimó siguiendo cuatro etapas (Figura 4):

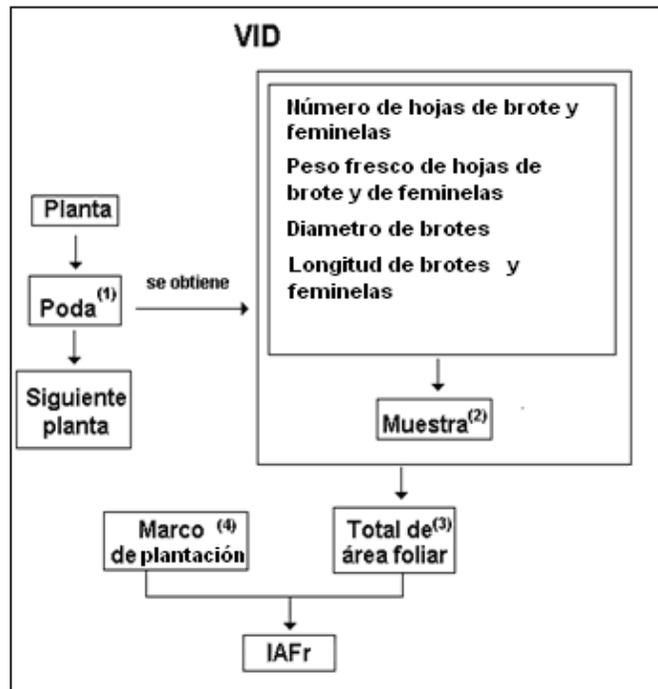


Figura 4. Diagrama de muestreo para la estimación del área foliar de la vid por método destructivo.

1. Se extrajeron todas las hojas de los brotes de las plantas y se tomó el peso fresco de éstas.
2. La muestra de cada árbol consistió de las hojas de tres brotes los cuales se ubicaron en diferente exposición a la radiación solar (Este, Oeste y Sombra). Al igual que en olivos, se midió el área foliar (con el medidor de IAF) y el peso fresco de la muestra para obtener el AE.
3. El AE se multiplicó con el peso fresco total de las hojas extraídas, de esta manera se obtuvo el área foliar total de la planta.
4. El área foliar total de la planta se dividió por el área de suelo utilizada por cada planta (determinada en base al marco de plantación) para obtener el IAFr.

Estimación del área foliar en brotes de vid y en ramas de olivo por métodos indirectos

Para la estimación del área foliar en brotes de la vid y en ramas del olivo, se utilizaron las mismas plantas de las metodologías anteriormente mencionadas. Para las estimaciones en la vid, se ocupó el área de sección transversal de brote (ASTB) asumiendo una sección circular cuyo diámetro (d) se midió con pié de metro:

$$ASTB = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

Además se ocupó el largo y el número de hojas de brote y sus feminelas como otros posibles estimadores del área foliar para la vid. Adicionalmente se obtuvo la relación del peso seco de hojas con respecto al área foliar de brotes y feminelas, con el objetivo de obtener sus respectivas AE.

Con respecto al olivo, dado la dificultad práctica de utilizar la misma cantidad de estimadores de la vid, solo se realizó la estimación por medio del área transversal de rama (ASTR), utilizando la misma metodología que en la vid. Además, al igual que en la vid, se obtuvo la relación peso seco de hojas con respecto al área foliar, de manera de obtener el AE.

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos de la estimación de índice de área foliar, por medio de interceptación y las estimaciones de área foliar, se realizaron regresiones lineales. Para esto se utilizó el software Microsoft Office Excel 2007. En la estimación del IAF, la variable dependiente de la regresión lineal fue el IAFr obtenido por el método destructivo, y la variable independiente fue el IAFe.

Para las estimaciones de área foliar de brote en la vid y de ramas en el olivo, la variable dependiente de las regresiones lineales fue el área foliar, mientras que los diferentes estimadores mencionados en la metodología fueron las variables independientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Vid

Estimación del IAF utilizando la interceptación de radiación solar

A continuación se presentan los IAF obtenidos para las diferentes plantas por el método de interceptación de radiación solar (IAFe), en los diferentes períodos de medición (mañana y tarde), el promedio de éstos y el IAF obtenido por el método destructivo (IAFr) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores de IAF obtenidos en vid por los métodos de interceptación de radiación solar (IAFe) y método destructivo (IAFr) y su desviación estándar (DE).

IAF	Planta									Media	DE
	A	B	C	D	E	F	G	H	I		
IAFe mañana ⁽¹⁾	1,35	1,70	1,47	1,46	1,41	1,52	1,07	1,00	1,00	1,33	±0,25
IAFe tarde ⁽¹⁾	1,72	2,28	1,52	1,95	1,12	1,55	1,65	1,81	1,24	1,65	±0,35
IAFe promedio ⁽¹⁾	1,53	1,99	1,50	1,70	1,27	1,54	1,36	1,41	1,12	1,49	±0,25
IAFr	1,45	2,15	1,51	1,45	1,38	1,45	1,33	1,51	1,21	1,49	±0,26

(1) Se utilizó $k = 0,389$.

En el cuadro 1 se observa que los IAFr para la vid cv. Chardonnay, conducida en espaldera, fluctuó en un rango de valores entre 1,21 y 2,15. Al comparar los IAFe con los IAFr, se observó que los IAFe obtenidos por la medición de la mañana, tendieron a subestimar el valor del IAF, mientras que los IAFe obtenidos por la medición de la tarde tendieron a sobrestimar los valores de IAF. Para el caso del IAFe promedio entre el IAFe de la mañana y el IAFe de la tarde, se observó un buen ajuste con el IAFr (Figura 5).

El coeficiente de extinción (k) ajustado fue de 0,389. Es importante mencionar que se utilizó solo un grupo de datos de medición para el ajuste de k y para la posterior evaluación de los IAFe con respecto a los IAFr, donde idealmente tendría que haber sido dos grupos de mediciones uno para cada propósito. Pero debido al tiempo y al material vegetal restringido que se poseía para este estudio, no fue posible contar con otro grupo de datos.

Ahora, con respecto al bajo valor de k se pudo deber al efecto de agrupamiento de las hojas (“clumping”) en la cubierta vegetal (De Castro y Fetcher, 1999; Nikolov y Zeller, 2005; Gil, 2009).

En la figura 6 se observa una importante presencia de espacios dentro de la cubierta vegetal (C) y una amplia distancia entre espalderas (A). Esto resultó en una mayor transmisión de

radiación solar al suelo, en comparación a las zonas donde se interceptó una mayor cantidad de radiación solar por la cubierta vegetal (B).

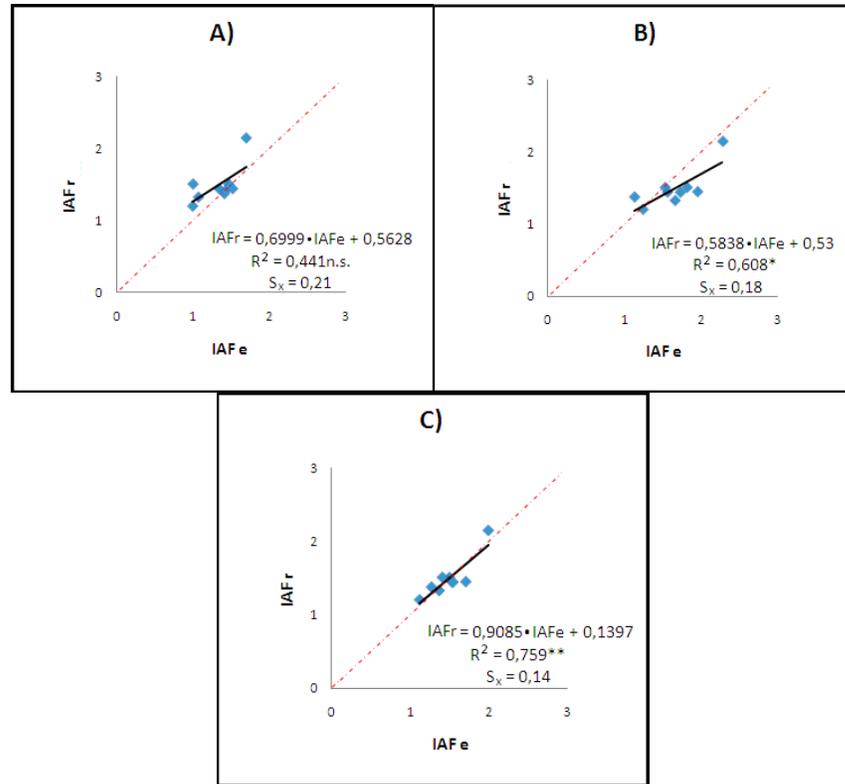


Figura 5. Regresiones lineales entre el IAFr y el IAFe en la mañana (A), en la tarde (B) y promedio (C) utilizando un coeficiente de extinción (k) = 0,389. **: Regresión muy significativa ($p < 0,01$); *: Regresión significativa ($p < 0,05$); n.s.: Regresión no significativa ($p > 0,05$). Línea continua: ecuación ajustada; línea discontinua: relación 1:1.

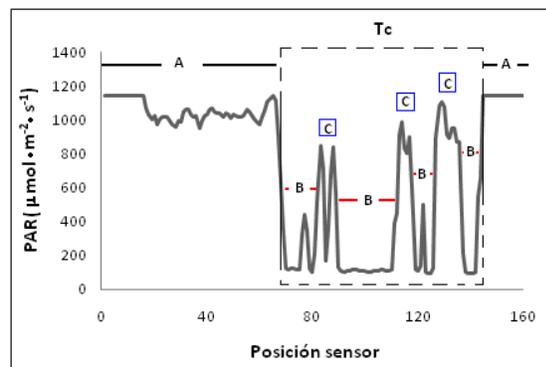


Figura 6. Transmisión de radiación solar de un transecto perteneciente a una de las mediciones matinales de la radiación interceptada en vid.

En la figura 5A se observa que la regresión lineal entre los valores de los IAFe correspondientes a la medición de la mañana (A) y los valores de los IAFr, no fue significativa ($p > 0,05$). Del mismo modo, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,441$) fue bajo y el error estándar ($S_x = 0,21$) fue el de mayor valor en comparación a las otras estimaciones de IAF para esta especie. Cortés (2003), señala en su estudio realizado en vid cv. Cabernet Sauvignon conducido en espalderas orientadas este-oeste, que la medición de la interceptación de radiación solar con el fin de estimar el IAF es afectada por el ángulo solar que se forma con respecto a la espaldera. Esto se debe a que, si el ángulo solar que se forma con la espaldera es bajo (agudo), se puede afectar la lectura de Tf induciendo resultados erróneos. Esto concuerda con lo observado en este estudio, donde el sol estuvo menos perpendicular a la hilera para este momento (mañana), proyectándose un menor ángulo solar y como consecuencia un mayor valor de Tf. Esto es característico de las mediciones realizadas en momentos u horarios más cercanos al mediodía solar, lo que produce un aumento de la transmisión de radiación solar al suelo, disminuyendo de esta manera los valores del IAFe. El aumento de la transmisión de radiación con respecto al ángulo cenital solar también fue observado en una plantación forestal semiárido por Sprintsin *et al.* (2011), a medida que el ángulo cenital fue más cercano a 0° .

En la figura 5B se observa que para la medición de la tarde la regresión lineal entre los IAFe e IAFr, fue significativa ($p < 0,05$), el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,608$) fue más alto que el observado en la regresión de los IAFe de la mañana y el error estándar menor ($S_x = 0,18$). Con respecto a la función obtenida, se apreció una desviación de lo idealmente esperado (pendiente cercana a 1 e intercepto cercano a 0; vale decir, cercana a una relación 1:1). Se mencionó anteriormente que la medición realizada en la tarde, tendió a sobrestimar los IAFe, esto se puede deber a que, en dicho horario, la proyección de la sombra abarcó más espacio dentro del marco de medición, consecuencia de un mayor ángulo solar con respecto a la espaldera.

En la figura 5C, se muestra la regresión lineal entre los valores de los IAFe promedio y los valores de los IAFr. Se observa que ésta es muy significativa ($p < 0,01$). A su vez el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,759$) fue mayor y el error estándar menor ($S_x = 0,14$), respecto de las mediciones matinales y vespertinas. Además, la función obtenida en esta regresión fue óptima, por su mayor cercanía a la relación 1:1.

Cortés (2003), obtuvo buenos resultados al utilizar el método de Jackson y Palmer (MJP) en vid cv. Cabernet Sauvignon, encontrando, para las condiciones de su estudio, que con solo un momento de medición resultó ser suficiente para obtener una buena estimación, a diferencia de lo observado en los resultados de este estudio con respecto a la vid cv. Chardonnay. Cabe destacar que la orientación de las hileras fue diferente para ambos estudios, por lo tanto, el ángulo solar formado con la hilera pudo variar para un mismo momento u horario de medición, lo que hizo necesario realizar dos mediciones para llegar a una mejor estimación.

El método de interceptación de radiación solar de Jackson y Palmer también ha mostrado buenos resultados en manzano (Jackson y Palmer, 1979).

Estimación del área foliar del brote de la vid en base a su área de sección transversal

En la figura 7 se muestra la regresión lineal para un nivel de 95% de confianza entre el área foliar de brote (AFB) y el área de sección transversal de brote (ASTB). Se observa que la regresión lineal es muy significativa ($p < 0,01$), pero el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,47$) tuvo un valor bajo. Esto indica que, aunque la regresión fue muy significativa, el ASTB sólo explica un 47% de la variabilidad del AFB.

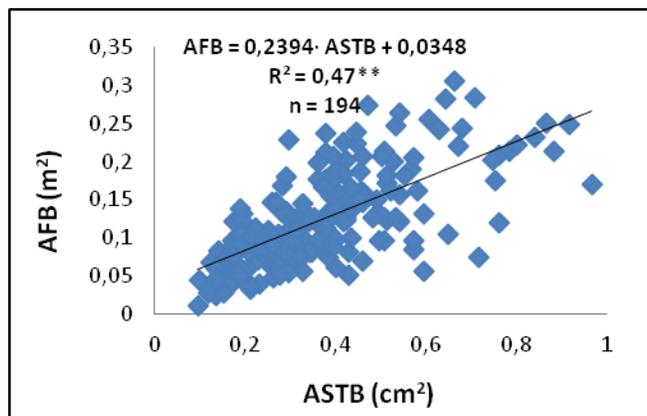


Figura 7. Regresión lineal entre el área foliar del brote (AFB) y el área de sección transversal de brote (ASTB). n: Numero de muestras. **: Regresión muy significativa ($p < 0,01$).

La alta dispersión de la relación entre el AFB y el ASTB (figura 7) se puede deber a manejos productivos que modifican el área foliar como, el deshoje y la chapoda. Dichos manejos se realizan durante la temporada productiva con el fin de mantener la copa en sus dimensiones, mejorar la iluminación de la planta y los racimos e inducir el crecimiento de feminelas si existiera la necesidad de requerir de sombra para proteger los racimos de problemas como el golpe de sol (Gil, 2006).

La caída de hojas basales podría ser otra causa de la baja correlación entre AFB y ASTB, ya que la medición se realizó cercana a la época de cosecha. Esto se debe a que las hojas basales son las de mayor edad y las de mayor tamaño, por lo tanto, tienden a ser las primeras en caer a medida que van envejeciendo, especialmente en condiciones de inviernos benignos como las del presente estudio (Gil, 2009).

Blom y Tarara (2007), también observaron una alta variabilidad con respecto a la relación entre la raíz cuadrada del área foliar y el diámetro del brote en *Vitis labruscana* cv. Concord, obteniendo un coeficiente de determinación menor a 0,6 para esta relación. Estos autores atribuyeron la variación observada a la dificultad de la medición debido al pequeño

diámetro de los brotes de estas plantas y al emboscamiento de las plantas (brotes entrelazados). Además afectó el hecho de que se asumió el área de una circunferencia en estos brotes, siendo que el área de una elipse pudo estar más relacionada a la forma de los brotes. Por lo anteriormente expuesto, que no se puede descartar el factor humano y la geometría de los brotes en los resultados obtenidos en vid cv. Chardonnay.

Estimación del área foliar de los brotes de vid en base a su longitud y la longitud de sus feminelas

En la figura 8 se observa que la regresión lineal entre el área foliar de brote (AFb) y la longitud del brote (Lb) fue muy significativa ($p < 0,01$), con un coeficiente de determinación de 0,694 y un error estándar de 0,022. Mientras la regresión lineal entre el área foliar de la feminelas (AFf) y la longitud de la feminelas (Lf) fue muy significativa, con un coeficiente de determinación mayor al obtenido por la regresión anterior ($R^2 = 0,9476$), y un menor error estándar ($S_x = 0,005$).

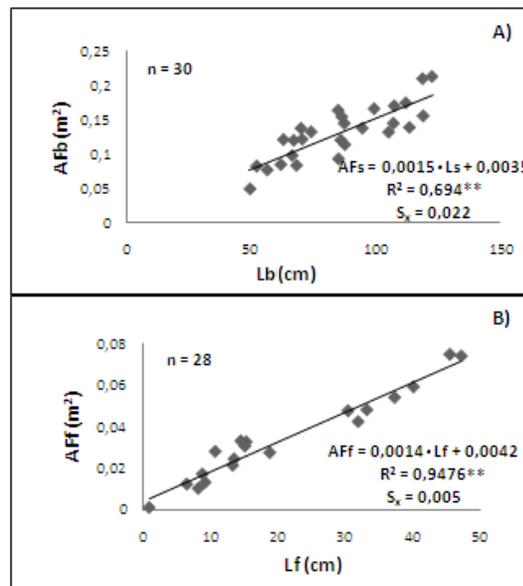


Figura 8. Regresiones lineales entre el área foliar de hojas de brote (AFb) y la longitud del brote (Lb) (A) y entre el área foliar de feminelas (AFf) y la longitud de feminelas (Lf) (B). n: Número de muestras. **: Regresión muy significativa de ($p < 0,01$).

La diferencia observada entre las regresiones se puede explicar por el antes mencionado efecto de la caída de hojas basales y a los manejos productivos del huerto que afectan a la regresión entre el AFb y la Lb.

Kusch (2005), obtuvo una buena relación lineal entre la longitud de los brotes principales y el área foliar de éstos en vid cv Cabernet Sauvignon, tanto para los brotes que crecieron en el lado este y oeste de la espaldera, obteniendo coeficientes de determinación aproximados

a 0,9 y una alta significancia para ambas regresiones. Aunque el coeficiente de determinación fue menor para la vid cv. Chardonnay, este se encuentra dentro del nivel aceptable, por lo tanto, no se descarta este método para estimar el área foliar de los brotes principales.

Estimación del área foliar utilizando el número de hojas de brote y feminela

En la figura 9 se observan las regresiones lineales para un nivel de 95 % de confianza entre el área foliar de brote (AFb) versus el número de hojas de brote (NHb) y el área foliar de feminela (AFf) versus el número de hojas de feminela (NHf).

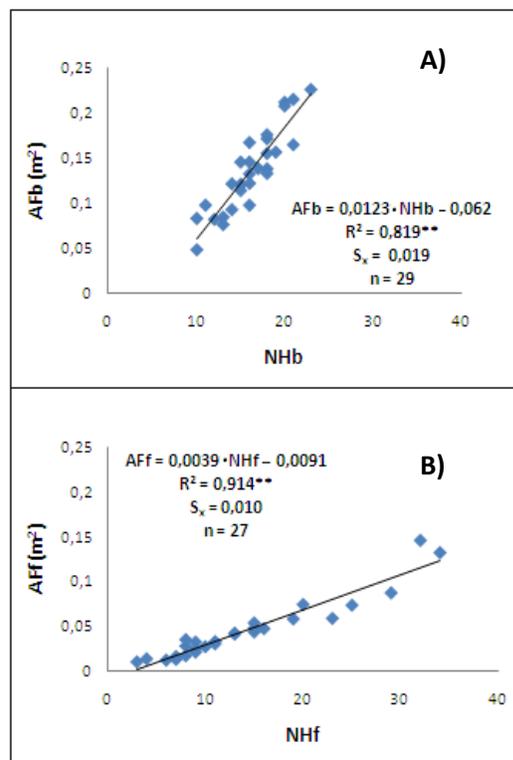


Figura 9. Regresiones lineales entre el área foliar de hojas de brote (AFb) y el número de hojas del brote (NHb) (A), y entre el área foliar de feminela (AFf) y el número de hojas de feminela (NHf) (B). n: Número de muestras. **: Regresión muy significativa ($p < 0,01$).

En la figura 9 se observa que ambas regresiones fueron muy significativas ($p > 0,01$) y a su vez los coeficientes de determinación fueron altos ($R^2 = 0,819$) para la regresión entre el AFb y el NHb y para la regresión entre el AFf y el NHf ($R^2 = 0,914$); y no existió una mayor diferencia entre los errores estándar. Este resultado está en línea con los buenos resultados obtenidos para estimar el área foliar de los brotes en base a su número de hojas obtenidos por Bindi *et al.* (1997) en vid cv. Sangiovese y por Suckel (2001) en vid cv.

Thompson Seedless. Este resultado también coincide con lo observado por Spann y Heerema (2010) quienes correlacionaron el área foliar de brotes con el producto de la mayor longitud de la hoja y el número de hojas en diferentes especies frutales caducifolias y persistentes, obteniendo buenos resultados para todas las especies en estudio. De las pendientes de las ecuaciones lineales ajustadas en la figura 9 se desprende que el área promedio de las hojas fue de 123 y 39 cm² para los brotes y las feminelas, respectivamente.

Área foliar específica de hojas de brote y feminela

En la figura 10 se muestra la regresión lineal con un nivel de confianza de 95% entre el área foliar de las hojas del brote (AFb) versus el peso seco de las hojas del brote (PSb) y el área foliar de las hojas de la feminela (AFf) versus el peso seco de las hojas de la feminela (PSf); con el objetivo de obtener el área foliar específica (AE).

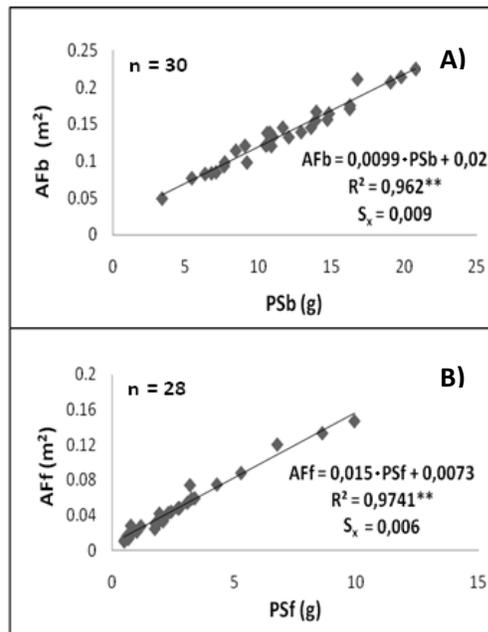


Figura 10. Regresión lineal entre el área foliar de brote (AFb) y el peso seco de las hojas del brote (PSb) (A) y regresión lineal entre el área foliar de feminela (AFf) y el peso seco de las hojas de la feminela (PSf) (B), para la obtención del área foliar específica. n: Número de muestras. **: Regresión muy significativa ($p < 0,01$).

Ambas regresiones fueron muy significativas ($p < 0,01$) y con un coeficiente de determinación mayor a 0,95. A su vez, el error estándar no muestra mucha diferencia entre ambas regresiones siendo levemente menor para la feminela (con una diferencia de 0,003). El valor promedio del AE de los brotes fue de $11,9 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, mientras que en las feminela fue de $19,7 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, observándose una diferencia significativa entre estos valores.

Esta estimación puede ser una buena herramienta al momento de querer realizar estudios de biomasa de hojas y así asociarlos a procesos fisiológicos como la fotosíntesis.

Olivo

Estimación del IAF utilizando la interceptación de radiación solar

En el cuadro 2 se muestran los IAF obtenidos por la estimación basada en la interceptación de radiación solar (IAFe) y el IAF obtenido por el método destructivo (IAFr).

Cuadro 2. Valores de IAF estimado por radiación solar interceptada y IAF obtenido por el método destructivo para diferentes plantas de olivo.

IAF	Planta					Media	DE
	A	B	C	D	E		
IAFe ⁽¹⁾	1,38	2,41	2,93	3,23	4,19	2,83	±1,04
IAFr	0,80	1,94	2,35	3,66	4,73	2,70	±1,53

(1) Se utilizó $k = 0,243$

En el cuadro 2, se observa que los olivos de menor IAFr (A, B y C) obtuvieron un IAFe mayor, en comparación al IAFr, lo que indica que el método de estimación está sobreestimando los IAF de estos árboles, mientras que para los olivos de mayor IAFr (D y E) se aprecia una subestimación de los IAFe, debido al menor valor del IAFe en comparación al IAFr.

El valor del k ajustado fue de 0,243; apreciándose un menor valor en comparación al k de referencia (0,6) y al k ajustado para la vid. Al igual que en la especie anterior, este menor valor del k , pudo ser consecuencia del efecto de agrupamiento de las hojas, mostrándose más acentuado en los olivos. La causa principal a lo que se atribuye este hecho, fue al ángulo solar formado con la hilera en el horario de la medición de interceptación de radiación solar, por su cercanía al mediodía solar (cenit). López-Lozano *et al.* (2009) en su estudio realizado en viñas explican la importancia del efecto de la posición del sol al momento de realizar la medición de interceptación de radiación solar con el fin de estimar el IAF. Éstos hacen referencia que al aumentar la cercanía de la medición al momento en que el sol se encuentra en el cenit disminuye la distribución al azar de las hojas (por un menor ángulo solar con respecto a la hilera) y, como consecuencia se produce una mayor probabilidad de caer en un error al estimar el IAF. Esto provoca una sobreestimación del IAF en las plantas de menor cobertura vegetal (menor IAF real), debido a la influencia de la interceptación de radiación solar por ramas y troncos. Mientras que para las plantas de mayor cobertura foliar (mayor IAF real) se provoca la subestimación del IAF estimado por efecto del agrupamiento de hojas en la cubierta vegetal.

En la figura 11 se muestra la regresión lineal con un nivel de 95% de confianza entre el IAFe y el IAFr para el olivo.

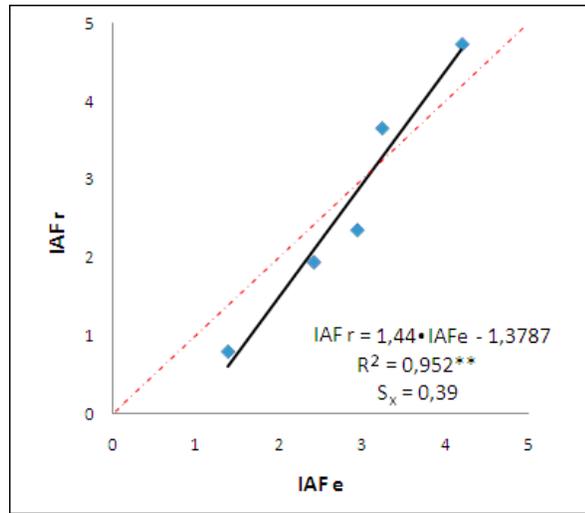


Figura 11. Regresión lineal entre IAF estimado (IAFe), utilizando un $k = 0,243$; y el IAF por el método destructivo en olivo (IAFr). **: Regresión muy significativa ($p < 0,01$). Línea continua: ecuación ajustada; línea discontinua: relación 1:1.

Se puede observar que la regresión lineal fue muy significativa ($p < 0,01$) y con un alto coeficiente de determinación de 0,952; mayor al obtenido en la vid. Pero a diferencia con la estimación del IAF promedio observada en la vid, la función de la regresión lineal en el olivo se aleja a lo idealmente esperado para este método de estimación (la pendiente debió ser más aproximada a 1 y el intercepto más aproximado a 0). Aunque la función no fue la ideal, ésta puede ser utilizada para estimar el IAF mientras se determine un factor de corrección específico para las condiciones observadas en el huerto de estudio.

Por otra parte, no queda claro si el mal ajuste de la función fue influenciado por las características propias de la especie, es por esto que es necesario evaluar el método en el olivo para diferentes condiciones de huerto y medición (orientación de las hileras, sistema de formación, edad de las plantas, horarios de medición), de manera de descartar la influencia de la morfología de la especie.

Estimación del área foliar utilizando el área de sección transversal de rama

Se observa la regresión lineal con un nivel de 95% de confianza entre el área foliar de rama (AFR) y el área de sección transversal de rama (ASTR) (Figura 12).

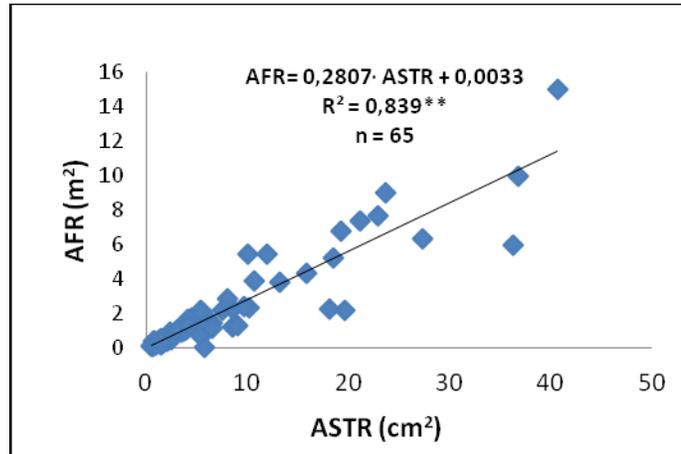


Figura 12. Regresión lineal entre el área foliar de rama (AFR) y el área de sección transversal de rama (ASTR) en olivo. n: Número de muestras. **: Regresión muy significativa ($p < 0,01$).

La figura 12 muestra, con respecto a la regresión lineal, fue muy significativa ($p < 0,01$) y con un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 0,839$), siendo este último mayor al observado en vid. Esta diferencia se pudo deber a que en las especies de hoja persistente, como el olivo, el manejo de poda es de carácter secundario por lo que se realiza en ciertas ocasiones y con fines especiales (Razeto, 2006), a diferencia de lo que sucede en la vid, donde prácticas como la chapoda y el deshoje, son aspectos relevante en el manejo productivo. Esto puede explicar la menor dispersión de los datos de la regresión en el olivo, al existir una menor intervención de la cubierta vegetal y, como resultado, una mejor adaptación del método a esta especie.

Área foliar específica de hojas

En la figura 13 se muestra la regresión lineal con un nivel de 95% de confianza entre el área foliar (AF) y el peso seco de las hojas (PS) en olivos, para obtener el área foliar específica (AE).

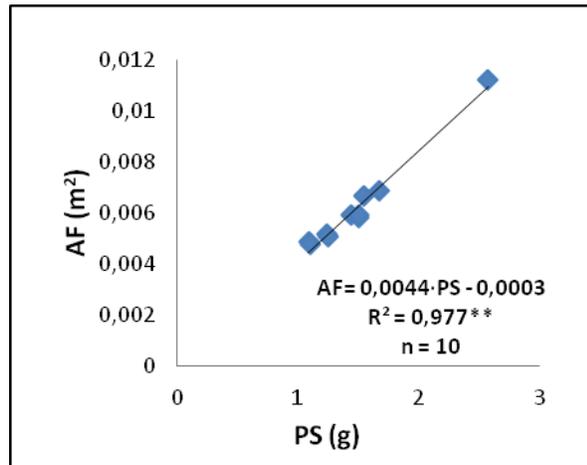


Figura 13. Regresión lineal entre el área foliar (m^2) y el peso seco (g) de las hojas en olivo.
n: Número de muestras. **: Regresión muy significativa ($p < 0,01$).

Se obtuvo una regresión lineal muy significativa ($p < 0,01$) y con un alto coeficiente de determinación de 0,977. Esto muestra que el peso seco de las hojas posee una buena correlación con el área foliar. El valor promedio de área foliar específica utilizando el peso seco fue de $4,2 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$.

CONCLUSIONES

Al considerar la existencia de métodos destructivos y no destructivos para el cálculo del IAF y de acuerdo al estudio realizado, se concluye que el uso de la interceptación de radiación solar (Método de Jackson y Palmer) puede ser un buen método no destructivo para estimar el IAF de especies frutales como la vid y el olivo, siempre y cuando se consideren las siguientes condiciones del huerto al momento de realizar la medición: el ángulo solar formado con la hilera (asociado al horario de medición y a la orientación de las hileras) y la condición climática del día. De esta manera se evita inducir errores en la estimación, como la acentuación del efecto de agrupamiento de las hojas.

Al referirse individualmente a la estimación del IAF observada en cada especie para las condiciones del huerto estudiado, se concluye que:

- En vid es necesario realizar dos mediciones en el día, una en el momento de mayor inclinación de la sombra (mayor ángulo solar) y la otra en el momento de leve inclinación (menor ángulo solar), de esta manera promediarlas y así obtener el mejor ajuste del método.
- En olivo, las mediciones realizadas cerca del mediodía solar no son las adecuadas para obtener el mejor ajuste del método para las condiciones observadas en el huerto. Aún así, la estimación puede ser utilizada mientras se determine un factor de corrección específico para las condiciones del huerto estudiado.

Con respecto a la adaptación de los métodos indirectos de estimación de área foliar para cada especie, se establece que estos dependen de la intervención de las prácticas de manejo productivo, la dificultad del procedimiento de obtención del estimador y a la naturaleza misma de la estructura que se usa para la estimación.

Es por esto que se concluye que:

- En vid, los métodos de estimación relacionados al número de hojas y largo del tallo de brotes y feminelas entregan una mayor confiabilidad de la estimación del área foliar. Mientras que el área de sección transversal de brote no es un buen estimador, dado al importante efecto de las prácticas productivas como la chapoda y el deshoje.
- En olivo, el método estimación por área de sección transversal de rama es un buen estimador del área foliar, a diferencia de lo observado en vid, lo que se podría atribuir a la menor incidencia que poseen las prácticas de manejo productivas como la poda en especies de hoja persistente.

BIBLIOGRAFÍA

- Bindi, M., F. Miglietta, B. Gozzini, S. Orlandini and L. Seghi. 1997. A simple model for simulation of growth and development in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Vitis* 36 (2): 67-71.
- Blom, P. and J. Tarara. 2007. Rapid and nondestructive estimation of leaf area on field-grown Concord (*Vitis labruscana*) grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 58 (3): 393-397.
- Cain, J. 1973. Foliage canopy development of “McIntosh” Apple hedgerows in relation to mechanical pruning, the interception of solar radiation, and fruiting. *Journal American Society Horticultural Science* 98: 357-360.
- Cifuentes, V. y R. Navarro 1999. Determinación del índice de superficie foliar (Leaf area index) en masas forestales usando imágenes Landsat – TM. Conclusiones de un primer estudio en la Sierra norte de Córdoba. Disponible en: http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=696. Leído el 14 de enero de 2010.
- Cittadini, E.D. and P.L. Peri. 2006. Estimation of leaf area in sweet cherry using a non-destructive method. *Revista de Investigación Agropecuaria INTA (Argentina)* 35 (1): 143-150.
- Cortés, H. 2003. Mediciones de índice de área foliar por medio de la intercepción de radiación solar. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 41p.
- De Castro, F and N. Fetcher. 1999. The effect of leaf clustering in the interception of light in vegetal canopies: theoretical considerations. *Ecological Modelling* 116: 125-134.
- De la Casa, A., G. Ovando, L. Bressanini, A. Rodriguez y J. Martínez. 2007. Uso del índice de área foliar y del porcentaje de cobertura del suelo para estimar la radiación interceptada en papa. *Revista Agricultura Técnica (Chile)* 67 (1): 78-85.
- Gil, G. 2006. *Fruticultura: La producción de fruta*. 2^{da} ed. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 590p.
- Gil, G. 2009. *Fruticultura: El potencial productivo*. 4^{ta} ed. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 398p.
- Gutiérrez, A. y A. Lavín. 2000. Mediciones lineales en la hoja para la estimación no destructiva del área foliar en vides cv. Chardonnay. *Revista Agricultura Técnica (Chile)* 60 (1): 69-73.

- Jackson, J. 1978. Utilization of light resources by density planting systems. *Acta Horticulturae* 65: 61-70.
- Jackson, J. and J. Palmer. 1979. A simple model of light transmission and interception by discontinuous canopies. *Annals of Botany* 44: 381-383.
- Jackson, J and J. Palmer. 1981. Light distribution in discontinuous canopies: calculation of leaf areas and canopy volumes above defined 'Irradiance contours' for use in productivity modelling. *Annals of Botany* 47: 561-565.
- Kusch, C. 2005. Caracterización del crecimiento vegetativo y de la fotosíntesis en la vid cv. Cabernet Sauvignon, en el valle del Maipo. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 42p.
- López-Lozano, R., F. Baret, I. García de Cortáza-Atauri, N. Bertrand. and M. Casterad. 2009. Optical geometric configuration and algorithms for LAI indirect estimates under row canopies: The case of vineyards. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 1307-1316.
- Mika, A., W. Treder, Z. Buler, K. Rutkowski and B. Michalska. 2007. Effects of orchard mulching with reflective mulch on apple tree canopy irradiation and fruit quality. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 15: 41-53.
- Nikolov, N. and K. Zeller. 2006. Efficient retrieval of vegetation leaf area index and canopy clumping factor from satellite data to support pollutant deposition assessments. *Environmental Pollution* 141: 539-549.
- Razeto, B. 2006. Para entender la fruticultura. 4^{ta} ed. Bruno Razeto, Ediciones y Comercialización de Libros, Santiago, Chile. 518p.
- Rom, C. R. 1991. Light thresholds for apple tree canopy growth and development. *HortScience* 26 (8): 989-992.
- Sandrini-Neto, L., L. Hostin, P. Lana y F. Pellizzari. 2007. Un nuevo método de análisis digital para la determinación de los niveles de consumo foliar. *Revista Investigaciones Marina, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)* 35 (1): 111-116.
- Scurlock, J., G. Asner and S. Gower. 2001. Worldwide historical estimates and bibliography of leaf area index, 1932-2000. ORNL Technical Memorandum TM-2001/268, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. 23p.
- Spann, T. and R. Heerema. 2010. A simple method for non-destructive estimation shoot leaf area in tree fruit crops. *Scientia Horticulturae* 125: 528-533.

Sprintsin, M., S. Cohen, K. Maseyk, E. Rotenberg, J. Grünzweig, A. Karnieli, P. Berliner and D. Yakir. 2011. Long term and seasonal courses of leaf area index in a semi-arid forest plantation. *Agricultural and Forest Meteorology* 151: 565-574.

Suckel, F. 2001. Calibración de métodos no destructivos de estimación de área foliar de vid variedad "Thompson Seedless". Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 53p.

Welles, J. and S. Cohen. 1996. Canopy structure measurement by gap fraction analysis using commercial instrumentation. *Journal of Experimental Botany* 47 (302): 1335-1342.