

ESTIMACION DEL INDICE DE AREA FOLIAR EN PLANTACIONES DE *PINUS ELLIOTTII* VAR. *ELLIOTTII* Y *PINUS TAEDA*

F. DALLA TEA¹

E.J. JOKELA

Dpto. Forestal, Univ. de Florida
Gainesville, Florida, USA 32611

RESUMEN

Se estimó el índice de área foliar en plantaciones de 6 años de *Pinus elliotii* Engelm. var. *elliotii* y *P. taeda* L. conducidas bajo continuas aplicaciones de fertilizantes y control sostenido de malezas. Se aplicaron tres métodos indirectos: producción de 2 años de hojarasca, análisis dimensional y mediciones de intercepción de luz. Los resultados obtenidos por las tres técnicas arrojaron valores similares, variando el índice de área foliar según los tratamientos aplicados desde 2,2 a 5,6 para *P. elliotii* y de 1,5 a 10,3 para *P. taeda*. Las mediciones de luz, sin embargo, no permitieron el cálculo de la variación mensual en el índice foliar, lo que fue atribuido al agrupamiento de acículas de estas especies que limita la aplicación del método.

El contenido de nitrógeno en la hojarasca, considerado como indicador de la condición nutritiva del suelo, explicó el 97 p. 100 de la variación en el área foliar. La producción primaria neta aérea (producción de hojarasca + incremento anual en biomasa) se correlacionó positivamente con la superficie foliar. Esta relación indicó una mayor eficiencia de *P. taeda*, es decir, mayor producción primaria para igual índice de área foliar que *P. elliotii*.

PALABRAS CLAVE: Análisis dimensional
Control de malezas
Fertilización
Hojarasca
Intercepción de luz
Productividad

INTRODUCCION

La importancia del índice de área foliar (*leaf area index*, LAI) como determinante de la productividad en plantaciones forestales ha sido reconocida por diferentes autores (Jarvis, Leverenz, 1983; Waring, 1983). Esta relación se basa en que procesos tales como fotosíntesis, respiración, transpiración y absorción de luz dependen del LAI. Como resultado, la productividad anual en plantaciones jóvenes de especies de hoja ancha y coníferas ha sido correlacionado positivamente con la superficie foliar (Oren *et al.*, 1987; Vose, Allen, 1988; Pereira *et al.*, 1989).

¹ Domicilio actual: INTA Concordia, c.c. 34 (3200), Concordia; Argentina.

Recibido: 28-12-91.

Aceptado para su publicación: 29-10-92.

La determinación del LAI es dificultosa demandando considerable tiempo y esfuerzo. Una buena descripción y revisión sobre las metodologías empleadas fue discutida por Kvet, Marshall (1971) y Satoo, Madgwick (1982). Los métodos más usuales han sido por muestreos destructivos utilizando las técnicas de árbol medio y de relaciones alométricas. Ambas requieren el muestreo intensivo de un número determinado de plantas y la medición de su biomasa foliar. Posteriormente, mediante el cálculo del área foliar específica (AFE, m^2/kg) por submuestreos, la biomasa foliar se convierte en LAI:

$$\text{LAI} = \text{Biomasa hojas (kg/m}^2\text{)} \times \text{AFE (m}^2/\text{kg)} \quad [1]$$

Gholz (1986) destaca la influencia que la variación estacional de LAI puede ejercer sobre la producción primaria forestal. Incluso especies de hojas persistentes, como los pinos, pueden tener un máximo LAI durante el año, tres veces superior al mínimo (Magdwick, 1983). La estimación de la variabilidad estacional exige un muestreo más continuo para lo cual el uso de métodos indirectos se hace imprescindible (Gholz, 1986).

Debido a las dificultades en el uso de técnicas destructivas, se han propuesto diversos métodos indirectos para estimar el LAI (Marshall, Waring, 1986). Entre éstos, el uso de mediciones de intercepción de luz por la cubierta de copas ha sido aplicado en distintas especies (Sinclair, Knoerr, 1982; Pierce, Running, 1988). Estos métodos de inversión se basan en la aplicación de la ley de Beer Lambert (Campbell, Norman, 1989):

$$\text{Ln (Iz/Io)} = -k \times \text{LAI} \quad [2]$$

en la que Iz es la luz transmitida debajo de la cubierta de copas; Io es la radiación total recibida por encima de la cubierta y k es el coeficiente de extinción de luz.

Utilizando datos extraídos de la tesis realizada en la Universidad de Florida por el primero de los autores, se plantearon como objetivos del presente trabajo: 1) Calcular el índice de área foliar mediante la medición de intercepción de luz por la cubierta de copas en plantaciones de 6 años de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* y *P. taeda* L., y 2). Determinar la precisión de estos cálculos comparándolos con estimaciones del mismo índice obtenidas en estudios de producción de hojarasca y análisis dimensional.

MATERIAL Y METODOS

Area de estudio

El sitio está ubicado en la península de Florida (EE.UU.) aproximadamente 15 km al norte de Gainesville, condado de Alachua (29°30' N, 82°20' W). El clima es húmedo y subtropical, con precipitaciones medias de 1350 mm.

Los suelos son Spodosoles, pobremente drenados (Haplaquoles últicos, arenosos y síliceos). El sotobosque es dominado por especies típicas de las planicies costeras del sudeste americano, tales como *Aristida stricta* Michx., *Andropogon capillipes* Nash., *Panicum* spp., *Dichantelium* spp., *Ilex glabra* (L.) Gray y *Serenoa repens* (B.) Small.

El ensayo fue diseñado con parcelas divididas (split-plot) con especies (*P. taeda* y *P. elliottii*) asignadas a las parcelas principales y un factorial 2 × 2 en las subparcelas. En éstas, las variables fueron control de malezas y fertilización, formando 4 tratamientos: testigo (T), sólo control de malezas (H), sólo fertilización anual (F) y combinación de control de malezas y fertilización (C). Las subparcelas son de aproximadamente 820 m²,

teniendo las plantaciones 6 años en el momento de iniciar las mediciones. El detalle de los fertilizantes y herbicidas empleados puede recabarse en publicaciones previas (Neary *et al.*, 1985).

Técnicas de muestreo

La hojarasca (acículas de pinos solamente) fue recolectada mensualmente durante 2 años, en 18 canastas de 0,7 m² por tratamiento. De cada recolección se tomaron 3 submuestras de 20 fascículos cada una para medir el área foliar específica total (todas las superficies de la acícula). La misma fue determinada por un método de desplazamiento de volumen (Johnson, 1984).

Dos años de producción de hojarasca de estos pinos permiten el cálculo del máximo LAI presente en el primer año de muestreo (Vose, Allen, 1988). Para aplicar este cálculo, se asume que la vida media de las acículas es de 2 años (Hendry, Gholz, 1986) y además se deben corregir las pérdidas de peso del follaje producidas por la translocación de materia seca y nutrientes durante su senescencia. Este valor de corrección se obtuvo por comparación entre el peso de acículas verdes próximo a su caída y el de la hojarasca; el mismo fue variable durante el año, promediando 10 p. 100 para ambas especies.

Utilizando ecuaciones de regresión determinadas por Colbert *et al.* (1991), para esta misma plantación a los 4 años de edad, se estimó la biomasa foliar presente en los años sexto y séptimo para ambas especies. Aplicando la ecuación [1], con los valores de AFE obtenidos, se obtuvo una segunda estimación del LAI en cada tratamiento.

Las mediciones de radiación debajo de la copa de los árboles se efectuaron mensualmente utilizando el «Sunfleck Ceptometer» (Decagon Devices, 1988), sensible a las radiaciones del espectro visible (400 - 700 nm) que se corresponden con las radiaciones denominadas fotosintéticamente activas (photosynthetically active radiation, PAR). Asimismo, se midió el PAR total incidente en un lugar abierto, usando un sensor de luz de una sola celda. Las mediciones se efectuaron entre las 11 y 14 horas, en días sin nubosidad. Con los valores de transmisión de luz, se calculó el LAI para septiembre, asumiendo valores de $k = 0,53$ y $0,69$ para *P. taeda* (Sinclair, Knoerr, 1982) y *P. elliotii* (Gholz *et al.*, 1991), respectivamente.

Para validar el uso de la ecuación [2] a lo largo del año, se evaluó el efecto del ángulo cenital (Θ , ángulo que forma el sol con la vertical) sobre la penetración de luz a través de la copa de los árboles. Por tal motivo, se efectuó un muestreo intensivo de PAR durante todo un día (se puede asumir un LAI constante) y próximo al solsticio de verano, 23 de junio de 1989 (para obtener la máxima variación en Θ). Conociendo el valor de transmisión medido a un determinado ángulo (i.e., máximo 0), puede predecirse en base al mismo, la porción de luz transmitida en el momento t ,

$$\ln (I_z/I_o)_t = \frac{\ln (I_z/I_o)_m \times \cos (\Theta \text{ máximo})}{\cos (\Theta)_t} \quad [3]$$

en la que $(I_z/I_o)_m$ es la porción de luz transmitida con el máximo Θ . Aplicando esta ecuación, se obtuvieron valores de I_z/I_o estimados, que se compararon con valores medidos reales para validar la ley de Beer Lambert.

La productividad primaria neta aérea (PPNA) fue calculada como, $PPNA = \text{producción hojarasca} + \text{incremento anual biomasa aérea}$. El incremento en biomasa fue estimado apli-

cando ecuaciones de regresión (Colbert *et al.*, 1991) a datos anuales de inventario (diámetros a la altura de pecho y alturas totales). Asimismo, se utilizaron estimaciones del contenido de N en hojarasca (Dalla Tea, 1990) para relacionarlo con el LAI.

RESULTADOS

Producción de hojarasca y análisis dimensional

Los tratamientos aplicados (fertilización y control de malezas) aumentaron apreciablemente la cantidad de hojarasca producida por ambas especies, como consecuencia del incremento en la superficie foliar alcanzado por los mismos (Tabla 1). El LAI así estimado, varió desde 2,2 a 5,6 para los tratamientos T y C, respectivamente, en el caso de *P. elliotii*. Para *P. taeda*, la variación del área foliar fue de 1,5 a 10,3.

TABLA 1
INDICE DE AREA FOLIAR TOTAL EN PLANTACIONES DE 6 AÑOS DE
PINUS ELLIOTII* Y *P. TAEDA

All-sided leaf area index for 6-yr-old slash and loblolly pine plantations

Tratamiento ¹	METODO DE ESTIMACION		
	Hojarasca	Análisis dimensional	Intercepción de luz
<i>P. ELLIOTII</i>			
T	2,2 (0,8)	2,3 (0,4)	1,7 (0,6)
H	5,6 (0,5)	4,9 (0,4)	4,5 (0,9)
F	5,7 (1,5)	4,9 (0,7)	4,9 (1,1)
C	8,6 (0,7)	6,4 (0,3)	7,3 (1,2)
<i>P. TAEDA</i>			
T	1,5 (0,9)	1,3 (0,8)	1,6 (0,4)
H	6,4 (1,3)	7,5 (0,9)	7,6 (2,1)
F	7,8 (0,6)	7,5 (0,9)	7,6 (0,4)
C	10,3 (1,5)	12,0 (1,0)	12,0 (1,2)

(1) Tratamientos: T=testigo; H=control de malezas; F=fertilización; C=combinación de control de malezas + fertilización.

Desviaciones standard entre paréntesis.

Así como la cantidad de biomasa foliar puede correlacionarse positivamente con el área basal del individuo o de la masa (Baldwill, 1989), una relación significativa se obtuvo entre la producción de hojarasca y el área basimétrica o basal acumulada. Esta variable explicó más del 90 p. 100 de la variación lineal en la producción de hojarasca del sexto año. Cuando se incorporó el séptimo año al modelo (Fig. 1), la relación se transformó en cuadrática para *P. taeda*, sugiriendo que el máximo de producción anual de hojarasca alcanzaría, para esta especie, de 4,5 a 5,0 t/ha.

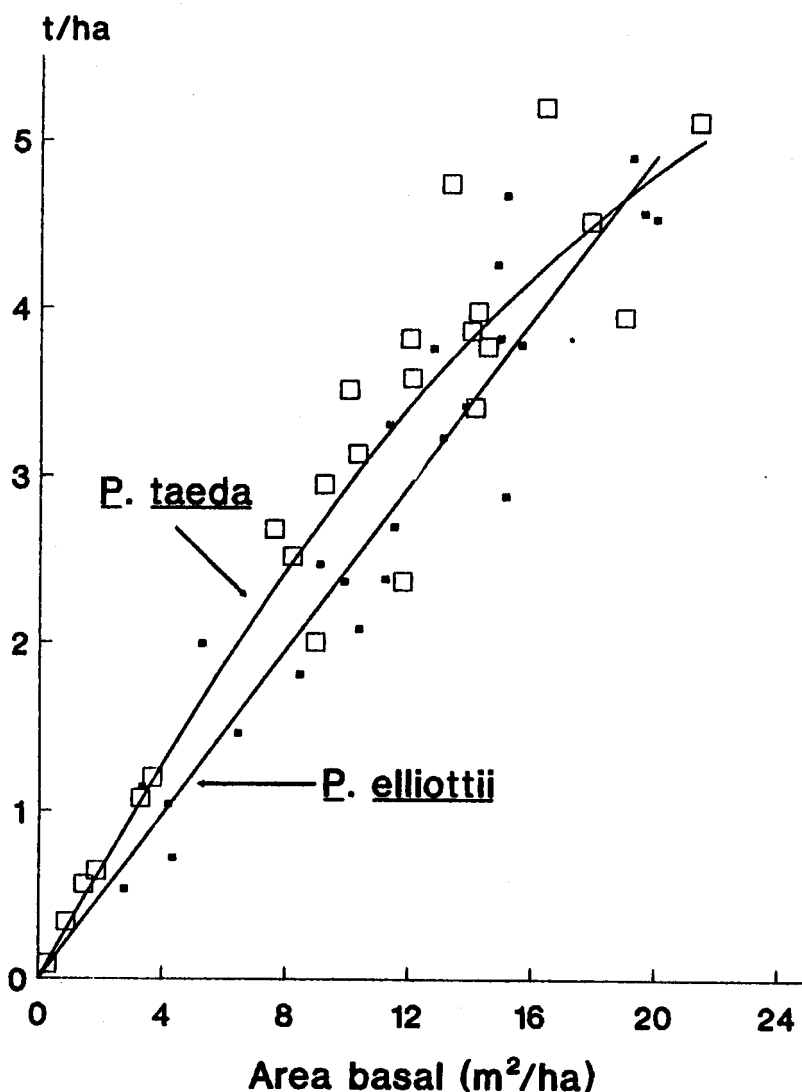


Fig. 1.—Relación entre producción anual de hojarasca y área basal acumulada a los 6 y 7 años de (•) *P. elliotii* y (□) *P. taeda* ($R^2 = 0,90$ y $0,92$ respectivamente).
Relationship between annual needlefall mass production rates and cumulative basal area at ages 6 and 7 for (•) slash and (□) loblolly pine ($R^2 = 0.90$ y 0.92 , respectively).

Los valores de LAI obtenidos por regresión fueron similares a los estimados por la producción de hojarasca (Tabla 1). Sin embargo, se registró hasta un 15 p. 100 de error según los tratamientos.

Intercepción de luz

Los efectos significativos de los tratamientos culturales aplicados, sobre la intercepción de luz y la productividad, han sido discutidos en publicaciones previas (Colbert *et al.*, 1991; Dalla Tea, Jokela, 1991). El porcentaje de PAR transmitido en el tratamiento C varió anualmente del 10 al 28 p. 100 en *P. taeda* y del 20 al 40 p. 100 en *P. elliotii* (Fig. 2).

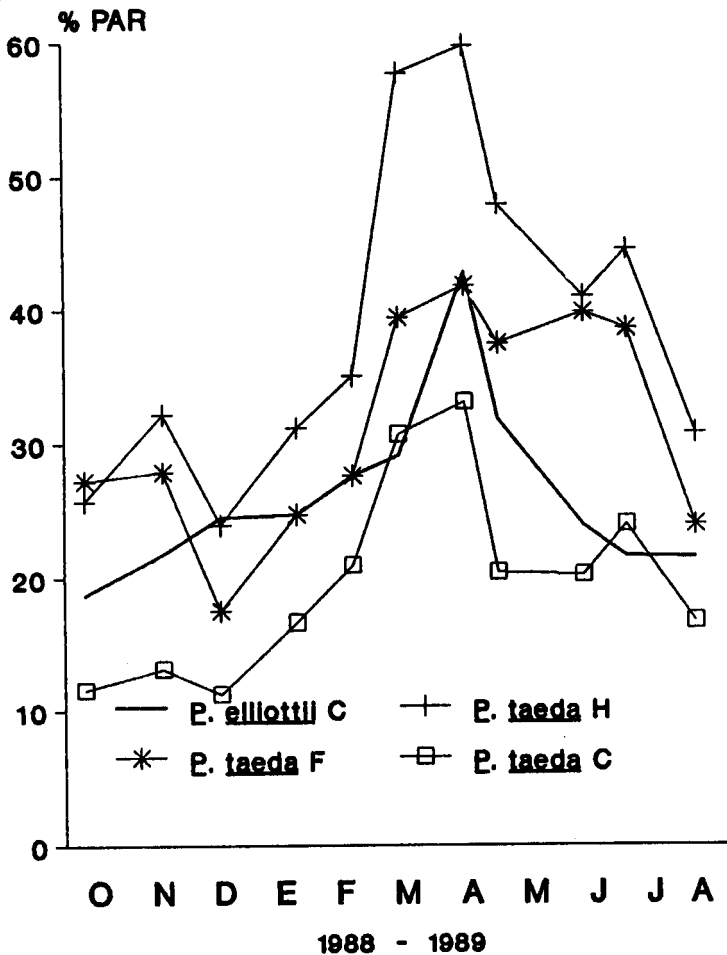


Fig. 2.—Variación mensual en la transmisión de PAR (radiación fotosintéticamente activa) en plantaciones de *P. elliotii* y *P. taeda*.

Tratamientos: H = control de malezas, F = fertilización, C = control de malezas + fertilización. Monthly variation in canopy photosynthetically active radiation (PAR) transmittance of slash and loblolly pine.

Treatment: H = weed control, F = fertilization, C = weed control + fertilization.

La variación mensual en la transmisión de luz por las cubiertas de copas refleja el efecto del cambio de posición del sol y el aumento o reducción de la superficie foliar. Los máximos valores se registraron entre marzo y abril, previo a la brotación de primavera, cuando las especies tienen su mínimo LAI.

La ley de Beer Lambert requiere implícitamente la condición de distribución de hojas dentro de la cubierta al azar. La amplia variación en la transmisión de luz a lo largo de un día (Fig. 3a) demostró el efecto marcado de la posición del Sol. Sin embargo, cuando se aplicó la ecuación 3, básicamente derivada de un modelo unidimensional, los valores de I_z/I_o predichos no se ajustan a los datos reales (Fig. 3b), observándose que una parte de la variación en la transmisión del PAR no fue explicada por el efecto de cambio de posición del sol. Esto significa que este tipo de modelos tienden a subestimar la cantidad de luz que penetra la copa de estas especies alrededor del mediodía, cuando Θ es mínimo.

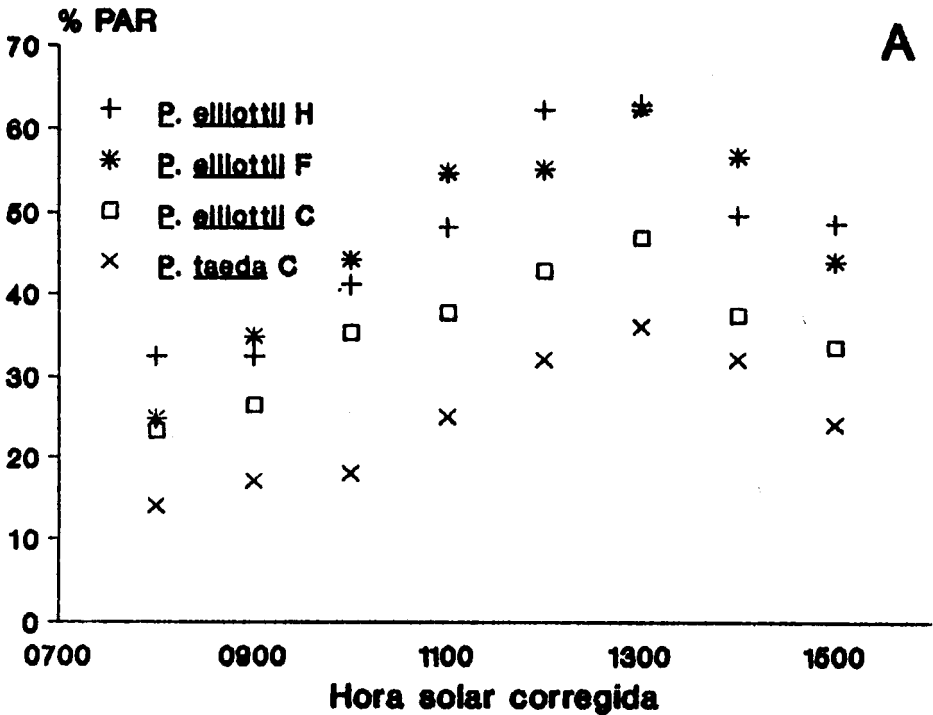


Fig. 3.—(a) Variación diaria en la transmisión de PAR (radiación fotosintética activa).
(a) Daily variation in canopy photosynthetically active radiation (PAR)

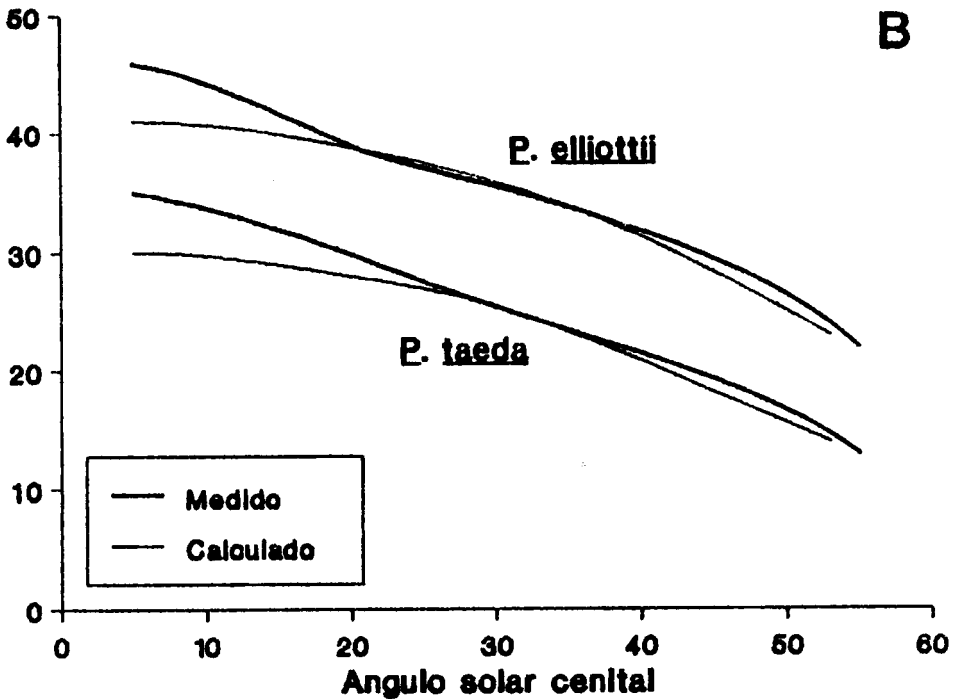


Fig. 3.—(b) Transmisión de PAR estimada usando un modelo unidimensional y medida en relación al ángulo solar cenital para el tratamiento combinado de fertilización + control de malezas en *P. elliottii* y *P. taeda*. Fecha de muestreo: 25 junio 1989.

—(b) PAR transmittance predicted by a unidimensional model, and measured, in relation to the solar zenith angle for the combination treatment, fertilization + weed control, of slash and loblolly pine. Sampling date: june 25, 1989.

Indice de área foliar y Productividad

Las relaciones entre el LAI y el contenido total de N en la hojarasca fueron cuadráticas y significativas ($R^2 > 0.97$) para ambas especies (Fig. 4.). Considerando el N en la hojarasca como indicador del status nutritivo de un sitio, estas relaciones sugieren que la eficiencia de producción de área foliar tiende a disminuir en respuesta al mejor estado nutricional del sitio. (Fig.4).

Para un área foliar inferior a 6, las diferencias entre especies en la relación LAI vs. N en hojarasca fueron mínimas. Cuando el LAI supera 8, *P. taeda* aparenta ser más eficiente que *P. elliottii*, es decir, posee mayor superficie foliar en similares condiciones nutritivas.

La importancia que tiene el LAI como control de la productividad puede inferirse de la significativa relación obtenida entre la PPNA y el LAI para ambas especies (Fig. 5). El análisis de residuos indicó que no existieron efectos de los tratamientos sobre la pen-

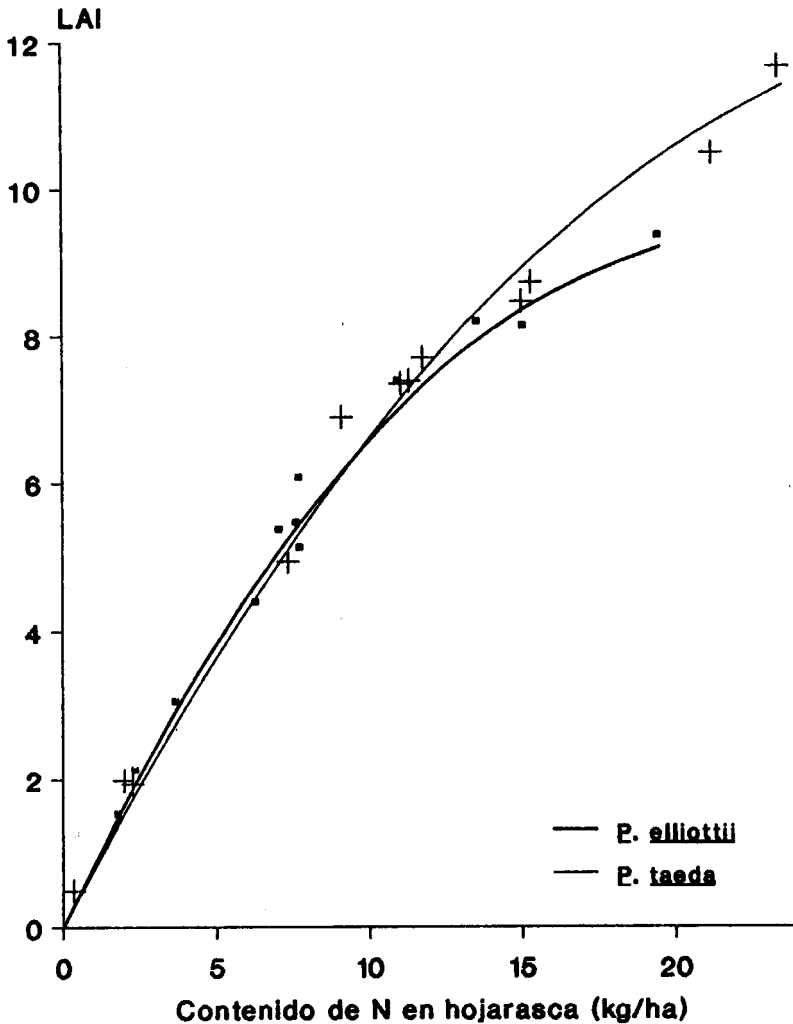


Fig. 4.—Índice de área foliar (LAI) en relación con el contenido de N en la hojarasca (kg/ha). Ecuaciones de regresión son: (•) *P. elliotii*: $LAI = 0,9 N - 0,022 N^2$ ($R^2 = 0,97$) y (+) *P. taeda* $LAI = 0,81 N - 0,014 N^2$ ($R^2 = 0,98$).
 Leaf area index (LAI) in relation to annual needlefall N turnover (kg/ha).
 Regression equations are: (•) slash pine: $LAI = 0.9 N - 0.022 N^2$ ($R^2 = 0.97$) and (+) loblolly pine: $LAI = 0.81 N - 0.014 N^2$ ($R^2 = 0.98$).

diente de estas rectas. La diferencia entre especies en la relación PPNA/LAI fue significativa con *P. taeda* mostrando mayor PPNA por unidad LAI que *P. elliotii*.

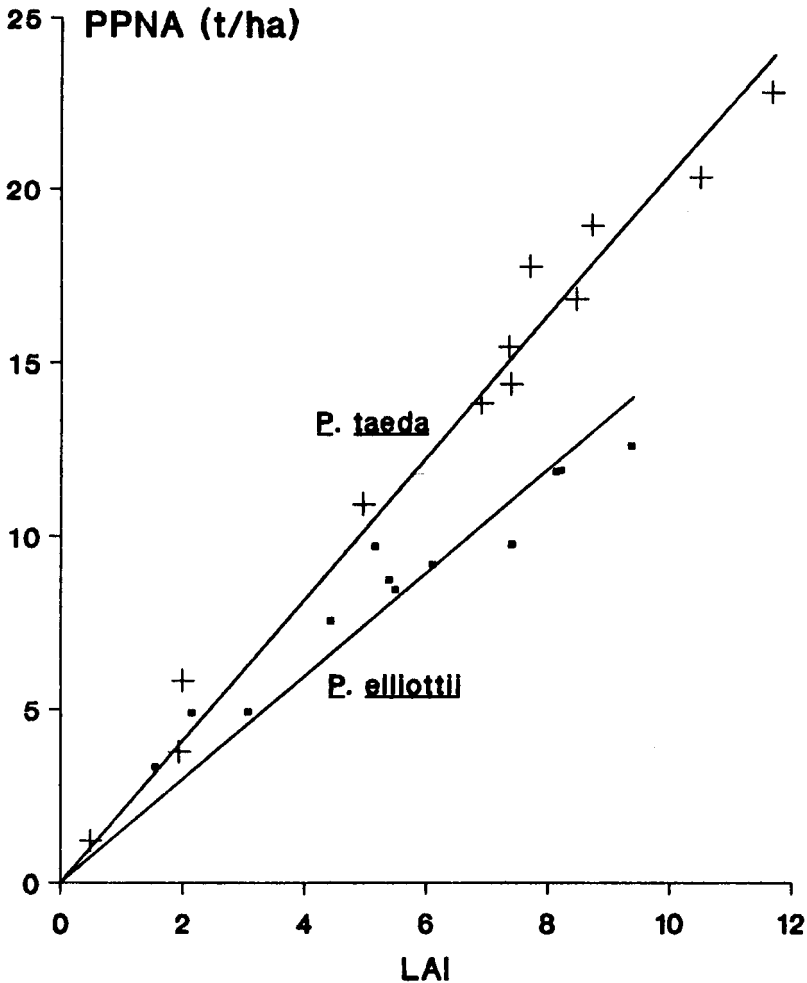


Fig. 5.—Relación entre la producción primaria neta aérea (PPNA, t/ha) y el índice de área foliar (LAI). Las pendientes son significativamente diferentes entre especies ($P < 0,05$) y corresponden a ecuaciones de regresión: (•) *P. elliotii* : $PPNA = 1,49 \text{ LAI}$ ($R^2 = 0,86$) y (+) *P. taeda*: $PPNA = 2,04 \text{ LAI}$ ($R^2 = 0,98$).

Relationship between aboveground net primary production (ANPP) and leaf area index (LAI). Slopes are significantly different between species ($P < 0.05$), corresponding to regression equations: (•) slash pine: $ANPP = 1.49 \text{ LAI}$ ($R^2 = 0.86$) and (+) loblolly pine: $ANPP = 2.04 \text{ LAI}$ ($R^2 = 0.98$).

DISCUSION

La estimación del LAI por análisis de regresión y por aplicación de la ley de Beer Lambert en *P. elliotii* produjo valores inferiores a los obtenidos por el método de producción de hojarasca (Tabla 1). Esta especie, al tener una curva de caída de hojarasca más repartida durante el año que la de *P. taeda* (Dalla Tea, 1990), tira parte de su follaje antes de septiembre (mes en que se estimó el LAI). En consecuencia, el cálculo basado en la producción de hojarasca puede haber generado valores ligeramente sobreestimados.

Las limitaciones al uso del análisis dimensional para estimar tanto la masa de hojarasca como el LAI, aún en plantaciones jóvenes, radican en la variación anual debida a factores climáticos que en general no son tenidos en cuenta por estos modelos. Al modelar la variación en la caída de hojarasca en plantaciones de estos pinos, Gholz *et al.*, (1991), y Dougherty *et al.* (1991) incorporaron variables climáticas a las dasométricas. Es necesario un mayor entendimiento de los procesos que determinan la producción y senescencia del follaje para desarrollar mejores métodos de análisis dimensional para estimar LAI.

La intercepción de PAR depende de diversos factores tales como el ángulo de las hojas, ángulo del sol, reflexión de la radiación por la cubierta, distribución de las hojas en las ramas (agrupadas o al azar). Estos factores afectan al coeficiente k de la ecuación [2], limitando de alguna manera la extrapolación del mismo a sitios diferentes.

El característico agrupamiento («clumpiness») de las acículas de coníferas limita la utilidad de modelos unidimensionales (Norman, Welles, 1983; McKelvey, 1988). En general, el efecto que produce esta característica es el de reducir la intercepción de luz cuando el sol se ubica cercano al cenit, debido a la mayor penetración de rayos luminosos por los espacios que dejan los fascículos agrupados. Esta reducción en la intercepción de radiación puede inferirse de la Figura 3b.

Gholz *et al.* (1991), destacan que el agrupamiento de hojas, característico de *P. elliotii*, hace que las pequeñas variaciones producidas en LAI mes a mes no tengan tanta influencia sobre la penetración de luz como la calculada por modelos unidimensionales. Por este motivo, el uso de esta técnica para estudiar variaciones mensuales o estacionales en el área foliar de especies con hojas agrupadas no sería apropiado.

En general, elevados Θ tienen poco efecto sobre la variación en la transmisión de PAR. Pierce, Running (1988) no encontraron diferencias entre los coeficientes de extinción y valores de transmitancia con ángulos de incidencia del sol entre 32 y 57°. Esto abre la perspectiva de utilizar la ecuación [2] en condiciones de altos Θ , técnica que requiere un mayor ajuste a través de estudios específicos.

La falta de respuesta de la relación PPNA vs. LAI (Fig. 5) a los tratamientos aplicados, indica que las enormes diferencias en productividad como consecuencia de la fertilización y el control de malezas se deben al aumento extraordinario en el desarrollo de las copas. En general, el incremento en producción de materia seca en respuesta a la mejora nutritiva en una plantación es reflejo principalmente de un aumento en la superficie fotosintetizadora (Linder, Rook, 1984).

Las diferencias entre especies observadas en la relación de productividad primaria y área foliar pueden estar relacionadas con diferencias en la eficiencia de conversión de luz solar en biomasa (Dalla Tea, Jokela, 1991). Colbert *et al.* (1991), y Dalla Tea, Jokela (1991) concluyen que *P. taeda* supera en crecimiento a *P. elliotii* cuando ambas especies crecen bajo condiciones nutricionales cercanas al óptimo. En suelos de baja fertilidad (tratamiento C), en cambio, *P. elliotii* supera a *P. taeda* al desarrollar un reciclado de nutrientes más eficiente.

La influencia directa que ejerce la radiación (PAR) sobre la fotosíntesis, transpiración y el desarrollo de las plantas permite aconsejar la medición de la intercepción de luz en estudios de productividad, en reemplazo del LAI. Waring (1983) sugiere que estudios comparativos de desarrollo de la cubierta de copas se hagan en base a su área foliar o a la cantidad de radiación que las mismas absorben.

Relaciones significativas entre productividad aérea e intercepción de PAR han sido descritas para clones de álamo y sauce (Cannell, 1989), *Eucalyptus globulus* (Pereira, 1990) y *Pinus radiata* (Grace *et al.*, 1987). La simplicidad y el bajo costo de las mediciones de luz justifican su uso, al menos como método para chequear estimaciones de LAI obtenidas con otras técnicas. Más estudios que relacionen productividad e intercepción de radiación ayudarán a standarizar las técnicas de medición de radiación (i.e., medir radiación directa o difusa, ángulo de sol más conveniente) y también a comprender el significado de la eficiencia de conversión de radiación en materia seca.

CONCLUSIONES

La estimación del índice de área foliar por medio de métodos de producción de hojarasca, análisis dimensional e intercepción de luz en plantaciones de *Pinus elliottii* y *P. taeda* produjo valores similares. Las diferencias observadas se deberían a limitantes propias de cada uno de los métodos.

El seguimiento de la variación mensual de la superficie foliar a través del cálculo de la intercepción de luz y la aplicación de modelos unidimensionales de atenuación de la radiación a través de la cubierta de copas no resultó apropiado para estas especies. Esta metodología exige como condición, la distribución de hojas al azar, lo que no se cumple para estas especies por el característico agrupamiento de sus fascículos.

El índice de área foliar, así como la intercepción de luz, actuaron como variables discriminantes de la productividad para ambas especies. Estudios de productividad, en el futuro, pueden recurrir a la medición de radiación absorbida por las copas para comparar el efecto de diferentes tratamientos selvícolas en reemplazo del más caro y exigente en tiempo, cálculo de superficie foliar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Estación Experimental del Sudeste del Servicio Forestal de U.S.A., la Cooperativa de Investigación en Fertilización Forestal de la Universidad de Florida y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina que financiaron el desarrollo de esta investigación.

SUMMARY

Leaf area index (LAI) assessment in *Pinus elliottii* var. *elliottii* and *Pinus taeda* plantations

Leaf area index was estimated in 6-yr-old slash (*Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*) and loblolly pine (*P. taeda*) plantations. affected by intensive fertilization and weed control. Three indirect approaches were applied: two yr needlefall production, dimensional analysis and canopy light interception measurements.

Similar results were obtained with all 3 methods, with leaf area index ranging from 2.2 to 5.6 for slash pine and 1.5 to 10.3 for loblolly pine. Estimates of monthly variation in leaf area, using the canopy interception technique, were not accurate due to the clumpiness of these pines foliage. Needlefall nitrogen turnover, used as index of soil nutrient condition, explained the 97% of the leaf area variation. Aboveground net primary production (needlefall mass + annual biomass increment) was positively related to foliar surface. This relationship implied a higher efficiency of loblolly pine (i.e., greater net primary production for the same leaf area index) compared with slash pine.

KEYWORDS: Canopy light interception
Dimensional analysis
Fertilization
Needlefall
Productivity
Weed control

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BALDWIN V.C., 1989. Is sapwood area a better predictor of loblolly pine crown biomass than bole diameter? *Biomass*, 20, 177-185.
- CAMPBELL G.S., NORMAN J.M., 1989. The description and measurement of plant canopy structure. In: Russell G., Marshall B., Jarvis P.G., Eds. *Plant Canopies: Their Growth, Form and Function*. Soc. Exp. Biol., Cambridge, Nueva York, pp. 1-19.
- CANNEL M.G.R., 1989. Light interception, light use efficiency and assimilate partitioning in poplar and willow stands. In: Pereira J.S., Landsberg J.J. Eds. *Biomass Production by Fast-Growing Trees*. Kluwer Acad. Publ. Dordrecht, Holanda, pp. 1-12.
- COLBERT S.T., JOKELA E.J., NEARY D.G., 1990. Effects of annual fertilization and sustained weed control on dry matter partitioning, leaf area, and growth efficiency of juvenile loblolly and slash pine. *For. Sci.* 36 H: 995-1014.
- DALLA TEA F., 1990. Canopy development, litterfall and nutrient turnover in young southern pine plantations as affected by fertilization and weed control. M.S. Thesis. Univ. Florida, Gainesville, Florida (U.S.A.), 171 pp.
- DALLA TEA F., JOKELA E.J., 1991. Needlefall, canopy light interception, and productivity of young intensively managed slash and loblolly pine stands. *For. Sci.*, 37: 1298-1313.
- DECAGON DEVICES, 1987. Sunfleck ceptometer users manual. Decagon Devices, Pullman, Washington.
- DOLEY D., 1982. Photosynthetic productivity of forest canopies in relation to solar radiation and nitrogen cycling. *Aust. For. Res.*, 12, 245-261.
- DOUGHERTY P.M., OKER-BLOM P., HENNESSEY T.C., WITTEW R.F., TESKEY R.O. 1992. An approach to modeling the effects of climate and phenology on the leaf biomass dynamics of a loblolly pine stand. *For. Sci.*, (en prensa).
- GHOLZ H.L., 1986. Canopy development and dynamics in relation to primary productivity. In: Fujimori T., Whitehead d. Eds. *Proc. Crown and Canopy Structure in Relation to Productivity*. Forestry and For. Prod. Tes. Inst., Ibaraki, Japón, pp. 224-242.
- GHOLZ H.L., VOGEL S.A., CROPPER JR. W.P., MCKELVEY K., EWEL K.C., 1991. Dynamics of canopy structure and light interception in *Pinus elliotii* stands of north Florida. *Ecol. Monogr.* 61:33-51.
- GRACE J.C., JARVIS P.G., NORMAN J.M., 1987. Modelling the interception of solar radiant energy in intensively managed stands. *N. Z. J. For. Sci.*, 17(2/3), 193-209.
- HENDRY L.C., GHOLZ H.L., 1986. Aboveground phenology in north Florida slash pine plantations. *For. Sci.*, 32(3), 779-788.
- JARVIS P.G., LEVERENZ J.W., 1983. Productivity of temperate, deciduous and evergreen forests. In: Lange O.L., Nobel P.S., Osmond C.B., Ziegler H. Eds. *Ecosystem Processes: Mineral cycling, Productivity and Man's Influence*. *Physiol. Plant Ecol. IV*. Springer-Verlag, Berlín, pp. 233-280.
- JOHNSON J.D., 1984. A rapid technique for estimating total surface area of pine needles. *For. Sci.*, 30(4), 913-921.

- KVET J., MARSHALL J.K., 1971 Assessment of leaf area and other assimilating plant surfaces. In: Plant Photosynthetic Production. Sestak Z., Catsky J., Jarvis P.G. Eds. Dr. W. Junk, La Haya, pp. 517-554.
- LINDER S., ROOK D.A., 1984. Effect of mineral nutrition on carbon dioxide exchange and partitioning of carbon in trees. In: Nutrition of Plantation Forests. Bowen G.D., Nambiar E.K.S. Eds. Academic Press, Londres, pp. 211-236.
- MADGWICK H.A.I., 1983. Seasonal changes in the biomass of a young *Pinus radiata* stand. N.Z.J. For. Sci., 13(1), 25-36.
- MARSHALL J.D., WARING R.H., 1986. Comparison of methods of estimating leaf-area index in old-growth Douglas-fir. Ecol., 67(4), 975-979.
- MCKELVEY K.S., 1988. A geometric model of sunlight penetration for slash pine in northern Florida. In: Forest Growth Modelling and Prediction. Ek A.R., Shifley S.R., Burk T.E. Eds. USDA For. Serv. Gen. Tech. Report NC-120, Broomall, Pensilvania, pp. 323-330.
- NEARY D.G., COOKSEY T.E., COMERFORD N.B., BUSH P.B., 1985. Slash and loblolly pine response to weed control and fertilization at establishment. So. Weed Sci. Soc. Proc. 38, 246-253.
- NORMAN J.M., WELLES J.M., 1983. Radiative transfer in an array of canopies. Agron. J., 75, 481-488.
- OREN R., WARING R.H., STAFFORD S.G., BARRETT J.W., 1987. Twenty four years of ponderosa pine growth in relation to canopy leaf area and understory competition. For. Sci., 33(2), 538-547.
- PEREIRA J.S., 1990. Whole-plant regulation and productivity en forest trees. In: Importance of Root to Shoot Communication in the Responses to Environmental Stress. Davies W.J., Jeffcoat B. Eds. British Soc. for Plant Growth Regulation, Bristol, pp. 237-250.
- PEREIRA J.S., LINDER S., ARAUJO M.C., PEREIRA H., ERICSSON T., BORRALHO N., LEAL L.C., 1989. Optimization of biomass production in *Eucalyptus globulus* plantations - A case study. In: Pereira J.S., Landsberg J.J. Eds. Biomass Production by Fast-Growing Trees. Kluwer Acad. Publ. Dordrecht, Holanda, pp. 101-121.
- PIERCE L.L., RUNNING S.W., 1988. Rapid estimation of coniferous forest leaf area index using a portable integrating radiometer. Ecol., 69(6), 1762-1767.
- SATOO T., MADGWICK H.A.I. 1982. Forest biomass. Dr. W. Junk, La Haya, 152 pp.
- VOSE J.M., ALLEN H.L., 1988. Leaf area, stemwood growth, and nutrition relationships in loblolly pine. For. Sci., 34(3), 547-563.
- WARING R.H., 1983. Estimating forest growth and efficiency in relation to canopy leaf area. Adv. Ecol. Res., 13, 327-354.