

COMPORTAMIENTO ESPACIAL Y ESTACIONAL DEL INDICE DE ÁREA FOLIAR (LAI), EN UNA PINADA COSTERA ALICANTINA.

García, Emilio y Lledó, María José.

Departamento de Ecología, Universidad de Alicante, Ap. 99, 03080 Alicante. España.

Tf. 965903625; Fax. 965909823; e-mail de contacto: mj.lledo@ua.es

IV Congreso Forestal Español, Zaragoza, 26-30 de septiembre, 2005

Mesa temática 1. Caracterización, dinámica y biodiversidad de los ecosistemas forestales.

Resumen

Se pretende en este trabajo, poner de manifiesto las diferencias tanto espaciales como estacionales que presenta el LAI en una parcela ubicada en un pinar costero del sureste español, que se obtuvo mediante repoblación forestal sobre dunas móviles que se llevó a cabo durante el período 1897-1926, en la costa alicantina (España), utilizando el método Bremonier. Dado que la biomasa foliar influye directamente en los valores de fotosíntesis, transpiración y balance de energía del ecosistema, la variación estacional del LAI afectará a la dinámica estacional de la asimilación de carbono.

En otoño, invierno, primavera y verano de los años 2002 y 2003, se ha medido este parámetro en 132 puntos georeferenciados, siguiendo un transecto imaginario perpendicular a la línea de la costa, y los valores medios para cada una de ellas fue de $1,11\pm 0,21$; $1,54\pm 0,49$, $2,45\pm 0,69$; $1,23\pm 0,34$; $1,16\pm 0,23$; $1,32\pm 0,35$; $1,77\pm 0,49$ y de $1,34\pm 0,37$. Los valores extremos encontrados de LAI fueron de 5,60 en la primavera del 2002 y de 0,38 que se registró en verano del mismo año. Tratando las primaveras frente a los dos veranos, y utilizando Tukey al 5% se observan diferencias significativas entre los valores medios de las dos primaveras, pero no entre las de los dos veranos.

Palabras clave: *Pinus halepensis* Miller, *Pinus pinea* L., dunas, LAI-2000

INTRODUCCIÓN

En las regiones con clima mediterráneo, los aspectos relacionados con la utilización del agua por los vegetales son de gran interés debido a la escasez de ésta, al menos durante un periodo prolongado del ciclo anual, que a su vez es la más favorable para el desarrollo vegetal debido a las altas temperaturas.

El “índice de área foliar” o LAI, que expresa la relación entre el área de tejidos fotosintéticamente activos y la superficie del suelo, es un parámetro ecofisiológico que permite estimar la biomasa foliar existente en dos estaciones climatológicas diferentes y compararlas. Por otra parte, Harrington *et al.*, (2002) señalan que los valores del índice que posee una masa forestal, están directamente relacionados con la superficie fotosintética y por lo tanto con la producción, y Luo *et al.* (2002) y Chason, *et al.* (1991) indican que es posible detectar tanto el crecimiento como el bajo desarrollo de las acículas (estrechamente relacionado al desarrollo del LAI) en distintas estaciones utilizando éstos métodos indirectos.

En la zona en la que se enmarca este trabajo, una pinada dunar centenaria, situada en el sureste español (Guardamar del Segura, Alicante) el crecimiento de los árboles es escaso, y además la regeneración natural es casi nula, de forma que con el seguimiento estacional del LAI se quiere estimar si se observa un cambio positivo de la densidad foliar del lugar, y si existe producción foliar en la masa forestal.

Muchas investigaciones respecto del LAI apuntan al muestreo de ramas y acículas sólo en el período de máxima producción, y la mayoría de bibliografía consultada no ha considerado la dinámica de la variación de este parámetro pese a que estacionalmente el LAI presenta diferencias puestas de manifiesto por diversos autores (Trabaud, 1990; Rambal & Meterme, 1985). Por esa razón, Maass *et al.*, (1995) sugieren que la información de éste parámetro debe acompañarse de otra de carácter temporal en relación a la duración que tienen las partes fotosintetizadoras en la planta

En este trabajo, se pretende estimar la variación del índice de área foliar (LAI) en las cuatro estaciones de dos años consecutivos, y estudiar la distribución espacial del LAI en la pinada costera

de Guardamar del Segura, comparando los valores de las estaciones con mayor y menor tasa de crecimiento

ZONA DE ESTUDIO, MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una pinada costera situada en el municipio de Guardamar del Segura, a 40 km. al S-SW de la ciudad de Alicante. El pinar está ubicado en las formaciones dunares, que discurren a N y S de la desembocadura del río Segura, en unos 17 kms. de costa aproximadamente. El lugar concreto se encuentra a unos 500 m al N del municipio. Uno de los vértices del transecto donde se han realizado las mediciones de LAI tiene como coordenadas 38°06.128' N 0°38.965' W (Fig. 1).

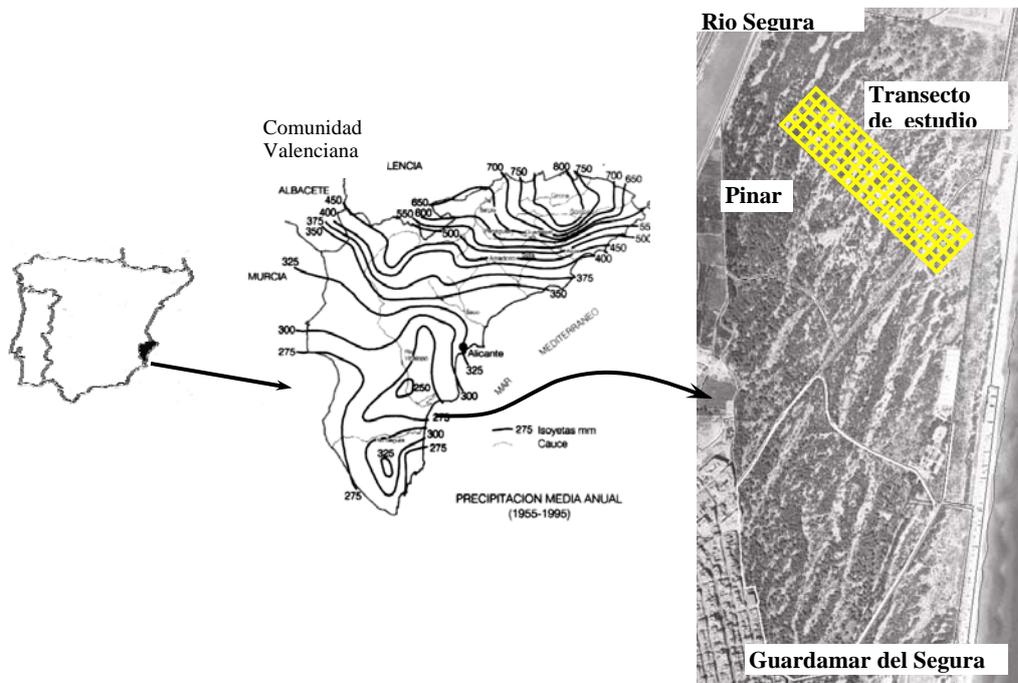


Fig. 1 Localización del área de estudio en Guardamar del Segura, España. El mapa de isocotas muestra la precipitación de la región (mm).

La vegetación está formada por una manchas de especies arbustivas y perennes como *Pinus halepensis* Miller, *Pinus pinea* L., *Eucaliptus* sp, *Cupressus sempervirens* L. y *Phoenix dactylifera* L. El marco de plantación fue de unos 3x2 m, y en la actualidad hay unos 500 individuos/ha. Se ha estimado la altura media en 6,48 m, y el diámetro normal medio para ambas especies en 12,7 cm.

Para la estimación del LAI se utilizó el LAI-2000 Plant Canopy Analyzer (Analizador de copa de árboles) (LI-COR, Inc., 1991) el cual integra la transmisión de radiación a través de la copa de los árboles o el dosel a 0.32 a 0.49 μm a 5 diferentes ángulos zenith (0-7°, 16-28°, 32-43°, 47-58°, 61-74°). Las medidas se realizaron en condiciones de radiación difusa es decir, en días nublados y al atardecer. Para minimizar la influencia de los espacios entre las copas de árboles y por lo tanto la sobrestimación del LAI, se utilizó el tapón de 45°. Para evitar la influencia de los días muy soleados, también se midió el LAI mediante la medición del PAR con el Ceptómetro (Decagon Devices, 1989) que cuenta con 40 sensores que están ubicados en intervalos de 1 cm a lo largo de una sonda.

Las medidas se realizaron a una altura constante de 1,30 m, en los 132 vértices de una cuadrícula imaginaria de casi 13 has de superficie, que consta de cuadrados de 35 metros de lado (6 en la parte más cercana al mar, y 22 adentrándose en el sistema dunar) Fig 1. La medición con el LAI-2000 empezó en primavera del 2002 y se repitió una vez por estación, hasta el verano del 2003.

Las medidas de primavera se realizaron el 2 y el 13 de abril del 2002 y 2003 respectivamente y las de verano el 29 de julio del 2002 y el 1 de agosto del 2003. Se tuvo precaución de que el ángulo de incidencia de los rayos solares, la posición del muestreador con respecto al sol, ó la posición de los árboles a la hora de la toma de datos, no afectasen a los resultados. Por otra parte, siempre se

realizaron las medidas en condiciones óptimas de iluminación. Sin embargo se tomaron las mediciones de todos los anillos ya que los valores del LAI corregido fueron inferiores a las esperadas (Leblanc & Chen, 2001).

Según Gower y Norman (1991) en coníferas lo que se mide es el índice de área del vástago, ya que estas especies no disponen sus acículas al azar. El LAI-2000 asume esta randomización y es necesario realizar una corrección multiplicando el LAI por un coeficiente. Chen y Chilar, (1995) y Chen (1996) nos indican que esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$LAI = (1 - \alpha) LAI_e \left(\frac{\gamma_E}{\Omega_E} \right)$$

Donde α es la parte leñosa (razón entre el área de la superficie leñosa y el área de la superficie total); LAI_e es el índice de área foliar obtenido con el LAI-2000; γ_E es la razón del área de las acículas respecto al ramillo y Ω_E es el índice de agrupamiento para escalas superiores a las del ramillo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1, se recogen los datos de LAI obtenidos en las 8 estaciones estudiadas. Puede observarse, que los máximos valores promedios de LAI se han encontrado en la primavera del 2002 (2,45) y la primavera del 2003 (1,77), mientras que los más bajos han correspondido a los otoños de ambos años (1,11 y 1,16 para 2002 y 2003 respectivamente).

El LAI promedio calculado para los dos años de estudio ha sido $1,49 \pm 0,45$. Para cada uno de los años, el promedio calculado ha sido de $1,58 \pm 0,43$ para el 2002 y de $1,40 \pm 0,36$ para el 2003.

Los valores puntuales extremos encontrados fueron de 5,60 en la primavera del 2002 el máximo y de 0,38 el menor, que se obtuvo en verano de ese mismo año.

Al realizar la comparación estadística entre la misma estación de ambos años, se han encontrado diferencias altamente significativas entre los valores de LAI de las dos primaveras ($p < 0.0001$), pero no en otoño, invierno ni verano. El análisis pareado entre estaciones dentro de un mismo año, mostró una diferencia altamente significativamente tanto en el primer como en el segundo año ($p < 0.0001$).

Como puede observarse en la tabla 1, el LAI en el verano del año 2002 fue casi la mitad (49,8%) del que se determinó para la primavera inmediatamente anterior, mientras que en el verano del año 2003 sólo descendió un 24,3% respecto del valor calculado en la primavera de ese año. Los periodos encontrados con valores de LAI altos, corresponden a épocas con elevados volúmenes de precipitación y mayor disponibilidad de agua en el suelo (García, 2005), y permite poner de manifiesto que el LAI juega un importante papel como indicador de las condiciones del ecosistema forestal (Nackaerts, *et al.*, 2000).

Tabla 1. Valores medios de LAI estimado en el pinar de Guardamar del Segura y su desviación estándar en las cuatro estaciones de los años 2002 y 2003. Se incluye la precipitación (en mm) de cada una de las estaciones.

Año	Estación	Promedio	STDV	Precipitación (mm)
2002	Otoño	1,11 ± 0,21		
	Invierno	1,54 ± 0,49		36.0
	Primavera	2,45 ± 0,69		142.3
	Verano	1,23 ± 0,34		33.5
2003	Otoño	1,16 ± 0,23		37.0
	Invierno	1,32 ± 0,35		44.8
	Primavera	1,77 ± 0,49		103.8
	Verano	1,34 ± 0,37		0.0
Promedio general		1,49 ± 0,45		

De una estación a la siguiente, se observan aumento o disminución del LAI, de forma que éste índice aumenta de invierno a primavera, mientras que disminuye de las primaveras a los veranos, y de estos a los otoños, reflejando así el efecto medioambiental sobre las partes vegetativas de la planta, como es la caída de las hojas que en ambas especies de pinos dominantes en esta pinada se produce en la transición de primavera a verano.

La variación del LAI a lo largo de las estaciones muestra valores coincidentes con los hallados por Deblonde *et al.* (1994) que trabajaron con *Pinus resinosa* de 60 años y *Pinus banksiana* Lamb, de 30 años, utilizando el LAI-2000. Estos autores obtuvieron valores de 2,19, 2,7 y 3,17 para la primera especie y de 2,26, 2,76 y 2,05 para la segunda en el periodo de mayor producción vegetal, mientras que en épocas de ausencia de producción vegetativa los valores fueron 1,96, 2,48, 3,02 y 2,12, 2,53 y 1,95 para la primera y segunda especie respectivamente.

La Fig. 2 muestra la distribución espacial del LAI, medido en cuatro estaciones diferentes en los 132 vértices de la cuadrícula imaginaria que aparece en la Fig. 1, y que tiene su primer punto a 250 metros de la costa. En ella, se puede observar que hay diferencias entre los valores de LAI de primavera y verano, pero también, que existe una fuerte variación de la distribución espacial del LAI que se mantiene en diferentes estaciones, como era de esperar.

En general se han obtenido los valores menores en puntos cercanos a la costa y en las crestas dunares, donde la presencia de vegetación es menor, y la que existe se encuentra en peor estado por la presencia, en los aerosoles marinos, de surfactantes aniónicos (Carratalá *et al.*, 2003).

En la primavera del 2002, los valores de índices menores se observaron cerca de la costa (entre 0,76 y 0,89 en promedio), y los valores mayores tierras adentro, es decir, en zonas de dunas fijas (entre 2,60 y 5,60). En el verano del mismo año, los valores variaron de 0,39 y 0,45 en los primeros 175 m del cuadrante cerca de la playa, y en la zona más interior de la cuadrícula, a 700 y 735 m del primer punto de medida, el LAI encontrado fue de 2,12 y 2,81 respectivamente. Las variaciones se han encontrado similares en las medidas del año 2003.

Esta distribución de valores dependió también de la situación topográfica en la que se encontraba la vegetación. En los picos de dunas, el LAI es comparable con los de la costa y en las depresiones interdunares, donde la vegetación está protegida de la maresía, el LAI es comparable con el LAI de tierras adentro.

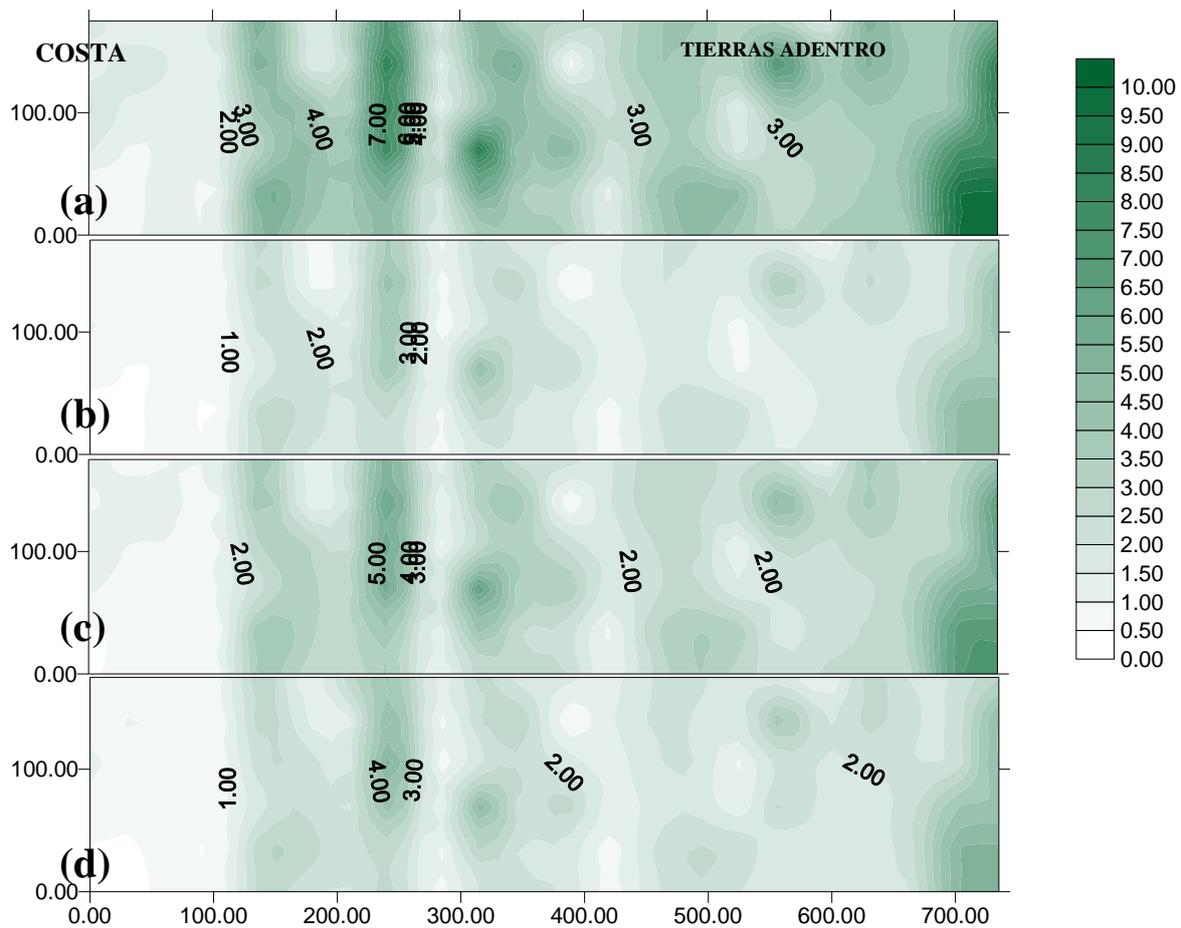


Figura 2. Variación del índice de área foliar (LAI) medidos en un cuadrante imaginario en diferentes estaciones: (a) Primavera 2002, (b) verano 2002, (c) primavera 2003, (d) verano 2003 en Guardamar del Segura (Alicante). La barra de escalas muestra la variación del LAI: 0=sin cobertura y 10=Máximo LAI.

Si comparamos las condiciones de los puntos de medida cercanos a la costa con aquellos alejados de la misma, veremos una clara respuesta en el LAI. Las condiciones de las dunas fijadas (las más lejanos a la costa) se parecen más a zonas de suelo propiamente dicho, con mayor número de agregados, porcentajes apreciables de arcilla y limo que favorecen las características de los suelos y donde la capacidad de retención de agua en mayor (Sevink, 1991). Por el contrario, el sustrato dunar, tiene una elevada permeabilidad y muy baja capacidad de retención de agua, por lo que la vegetación que allí se encuentra, o dispone de agua freática muy cercana a la superficie, o depende muy fuertemente de la precipitación en el periodo de crecimiento (Teobaldelli, *et al.*, 2004). Los puntos de la cuadrícula donde se han medido sistemáticamente mayores valores de LAI, coinciden con zonas de arenas estabilizadas donde se pueden encontrar matorrales xerofítico y buenos ejemplares de pinos, debido a su mayor capacidad de almacenamiento de agua, por la mayor presencia de partículas finas (Martín *et al.*, 1989).

Agradecimientos

Este estudio fue realizado dentro del proyecto I+D CTIDIB/2002/163 “Estudio y Manejo del Ciclo Hidrológico en Pinares” financiado por la Subsecretaria de la Oficina de Ciencia y Tecnología de la Generalitat Valenciana, y forma parte de la Tesis Doctoral realizada por Emilio Garcia Apaza, gracias a una beca de la Universidad de Alicante de estudios de doctorado para estudiantes iberoamericanos.

REFERENCIAS

- CARRATALÁ, A.; SANZ, M.J.; y CALATAYUD, V.; 2003.** Niveles de Tensioactivos Aniónicos en el Spray Marino y sus Repercusiones en dos Pinares Costeros de la Comunidad Valenciana. *II congreso internacional de Oceanos III milenio*. Universidad de Alicante 22-25 abril.
- CHASON, J.W.; BALDOCCHI, D.B.; HUSTON, M.A.; 1991.** A comparison of direct and indirect methods for estimating forest canopy leaf area. *Agric. For. Meteorol.* **57**, 107–128.
- DEBLONDE, G.; PENNER, M.; & ROYER, A.; 1994.** Measuring leaf area index with the LICOR LAI-2000 in pine stands. *Ecology*, Vol. 75, pp 1507-1511.
- DECAGON DEVICES, Inc.; 1989.** *Sunfleck Ceptometer*, User manual. Delta-T Devices Ltd., Cambridge.
- HARRINGTON, T. B.; GATCH, J. A.; BORDERS, B.E.; 2002.** Seasonal dynamics in leaf area index in intensively managed loblolly pine. *En: Outcalt, Kenneth, W. (ed) Proceedings of the Eleventh Biennial Southern Silvicultural Research Conference. US. Department of Agriculture, Forest Service Gen. Tech. Rep. SRS-48.* Asheville, NC: Sothern Research Station. 79-80.
- LEBLANC, S.G. & CHEN, J. M.; 2001.** A practical scheme for correcting multiple scattering effects on optical LAI measurements. *Agric. For. Met.* **110** (2001) 125-139.
- LI-COR; 1991.** LAI-2000 *Plant canopy analyzer. Operating manual.* Lincoln, Nebraska, USA.
- LUO, T.; NEILSON, R.; TIAN, H.; VÖRÖSMARTY, C. J.; ZHU, H.; & LIU, S.; 2002.** A model for seasonality and distribution of leaf area index of forests and its application to China. *Journal of Vegetation Science* **13**: 817-830, 2002.
- MAASS, J.M.; VOSE, J.M.; SWANK, W.T.; MARTINEZ-YRIZAR, A.; 1995.** Seasonal changes of leaf area index (LAI) in a tropical forest in west Mexico. *For. Ecol. Manage.* **74** (1995) 171-180.
- MARTÍN, J.; SEVA, E. Y ESCARRÉ, A.; 1989.** Características del sustrato dunar. *En: Escarré, A. Martín., J. y Seva, E. (eds.), Estudios sobre el medio y la biocenosis en los arenales costeros de la provincia de Alicante.* 51-62 pp. Instituto de Cultura “Juan Gil-Albert”, Diputación de Alicante.
- NACKAERTS, K.; COPPIN, P.; MUYS, B.; HERMY, B.; 2000.** Sampling methodology for LAI measurements with LAI-2000 in small forest stands. *Agric.For.Meteo.* **101** (2000) 247–250.
- RAMBAL & LETERME; 1985**
- SEVINK, J.; 1991.** Soil development in the costal dunes and its relation to climate. *Landscape Ecology* vol **6** no. 1/2 pp 49-56 (1991).
- TEOBALDELLI, M.; MENCUCCINI, M.; PIUSSI, P.; 2004.** Water table salinity, rainfall and water use by umbrella pine trees (*Pinus pinea* L.) *Plant Ecology* **171**: 23-33, 2004.
- TRABAUD, L.; 1990**