

MESA TEMÁTICA 1

RELACIONES ENTRE VARIABILIDAD LA FENOLOGÍA DE *PINUS CANARIENSIS*, CLIMA Y CONCENTRACIÓN FOLIAR DE LOS NUTRIENTES

Gasulla Vidal, Francisco*, Gómez de Nova, Pedro & Barreno Rodríguez, Eva.
 Universitat de València. ICRIBE, Dpto. de Botánica, Fac. C. Biológicas, C/ Dr. Moliner 50, 46100 Burjassot, Valencia.
 * francisco.gasulla@uv.es

Resumen

En el presente trabajo se estudian caracteres fenológicos como la longitud de las acículas (LA) y entrenudos (LE) y la retención anual de acículas (ANR) de *Pinus canariensis* Ch. Sm. ex DC. en 19 localidades de las islas de Tenerife, El Hierro y La Palma durante 5 años. Así como, la relación entre su crecimiento, el clima y la concentración de nutrientes en las acículas. Se observó una elevada variabilidad interlocal de los diferentes caracteres estudiados. Esta variabilidad fenológica es debida principalmente a las diversas condiciones climáticas existentes en cada localidad. Se observaron correlaciones significativas positivas entre las precipitaciones y LA y LE, mientras que en las localidades con menores precipitaciones la retención de acículas se incrementa significativamente. Por otra parte, la concentración de los nutrientes en las acículas fue menor en aquellos árboles con una mayor retención foliar. Así pues, en aquellos lugares donde el crecimiento está limitado por las condiciones ambientales una mayor retención foliar permite que, por un lado, la baja capacidad fotosintética se compense al incrementar la superficie foliar y fotosintética y, por otro, que se optimice el uso de los nutrientes mediante un mayor tiempo de retención en el árbol.

Palabras clave: captación de carbono, tasa fotosintética, superficie foliar, retención foliar, estrés hídrico.

INTRODUCCIÓN

Existen numerosos estudios realizados en diversas especies de *Pinus* que demuestran una elevada variabilidad intraspecifica en caracteres fenológicos tales como la longitud de las acículas y de los entrenudos. Esta variabilidad fenológica suele presentarse como una respuesta a diferentes variables ambientales como el agua (GOLZ *et al.*, 1990; RAINON *et al.*, 1992; DEWAR *et al.*, 1994; PUISSI & TORTA, 1994; SHEFFIELD *et al.*, 2002), la temperatura (LANNER, 1971; OLEKSYN *et al.*, 1998; OLEKSYN *et al.*, 2001) o la luz (SCHOTTLE & SMITH, 1991; STENGERG *et al.*, 1994; SPRUGEL *et al.*, 1996). En dichos estudios queda patente que los estreses ambientales que limitan el crecimiento, como las bajas temperaturas y el estrés hídrico, están correlacionados inversamente con la longitud de las acículas, de este modo, se consigue una optimización en el aprovechamiento de los recursos y un balance de carbono positivo.

En el presente trabajo intentaremos profundizar en el conocimiento de caracteres fenológicos de *Pinus canariensis* Ch. Sm. ex DC. como el crecimiento de acículas y entrenudos y la retención foliar, así como estudiar posibles correlaciones entre ellos. También se intentará determinar cuáles son los factores climáticos que influyen más directamente sobre su fenología.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para el muestreo se realizaron ocho campañas de recolección de datos a lo largo de 5 años en un total de 19 localidades con el fin de que se encontraran representado el amplio espectro ecológico en el que se desarrollan los pinares canarios (Figura 1). En cada una de las localidades, se seleccionaron 10 árboles al azar. Para la cuantificación del crecimiento (entrenudos y acículas) y de la retención foliar, en cada verticilo, fueron tomadas medidas en cinco ramas. La longitud de acículas (LA) se tomó como el valor medio del verticilo. En cada localidad se calculó el índice de retención acicular media (ANR, *annual needle retention value*) (Jalkanen *et al.*, 1995), el cual se obtiene sumando los porcentajes de acículas de cada entrenudo en el año:

$$ANR_i = \sum_{j=1}^n (x_{i,j} - x_{i,j-1}) / x_{i,j}$$

donde $x_{i,j}$ es el porcentaje de acículas en el entrenudo j crecido en el año i , $x_{i,j-1}$ es el porcentaje de acículas en el entrenudo del año anterior $x_{i,j-1}$, etc. Para el cálculo de este índice se utilizaron los datos obtenidos en las campañas realizadas en los meses de febrero, ya que en estos meses la actividad biológica de los pinares canarios es baja o se encuentran en parada vegetativa; mientras que en las campañas de los meses de julio el pino se encuentra fisiológicamente más activo y las acículas y entrenudos todavía están creciendo según las localidades y las condiciones climáticas de un año, lo cual nos impide comparar los datos obtenidos entre las diferentes campañas y/o localidades.

Debido a que no existen estaciones meteorológicas en las localidades, los datos climatológicos han tenido que ser extrapolados a partir de los obtenidos a través de 49 estaciones meteorológicas zonales de áreas circundantes (Tabla 1). La toma de muestras de acículas para su análisis químico se llevó a cabo en 10 localidades 1, 3, 4, 6, 10, 12, 13, 14, 15 y 16. En cada localidad se seleccionaron 3 árboles al azar, de los cuales se cortaron tres ramas, sectionándose posteriormente por verticilos. Para el análisis químico de las acículas se utilizó la técnica ICP-emisión, con la que se obtuvieron las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo y Al para cada verticilo.

RESULTADOS

Las medidas obtenidas a lo largo de las diferentes campañas de muestreo muestran que el *P. canariensis* posee una elevada variabilidad fenológica para la longitud de las acículas y los entrenudos y para la retención foliar. La LA varió entre los 16,8 cm y 22,6 cm, la LE entre los 2,00 cm y 5,86 cm, y ANR de 1,35 a 3,10 verticilos (Tabla 2).

A través de la tabla de correlaciones lineales entre los caracteres fenológicos estudiados y los diferentes valores climáticos y bioclimáticos (Tabla 3) se puede observar que el factor climático que parece influir más directamente sobre el crecimiento y la retención foliar en el *Pinus canariensis* es la precipitación líquida. La longitud de las acículas se correlaciona significativamente tanto con la precipitación anual, como con la precipitación de verano y la suma de precipitaciones de agosto y septiembre, en todos los casos con una significación superior al 99%. El crecimiento de los entrenudos muestra correlaciones significativas con las precipitaciones totales anuales y con la suma de las precipitaciones de agosto y septiembre ($P < 0,001$); sin embargo, no se observa una correlación significativa con las precipitaciones estivales. La retención anual de acículas muestra unas correlaciones significativas al 99% con la precipitación anual y la estival, a la vez que también es significativa, pero al 95%, su correlación con la suma de precipitaciones de agosto y septiembre.

En la tabla 4 se dan las concentraciones de elementos minerales de las acículas por verticilo, separando los árboles que únicamente refieren dos verticilos de los que refieren tres o más. En el caso de los brotes nuevos se observa una tendencia a ser mayores las concentraciones de estos nutrientes minerales en los verticilos de los árboles con únicamente dos verticilos respecto a los de tres, siendo en torno al 12,7% superior la concentración de N, el 27,0% la de P, el 12% la de K, el 28% la de Ca, el 7% la de Mg y el 44% la de Na. Ver anexo, Tabla 10). Sin embargo, estas diferencias de concentraciones en su gran mayoría no son estadísticamente significativas, únicamente pueden considerarse la diferencia de concentraciones de Ca en los segundos verticilos ($P < 0,05$), mientras que únicamente de concentraciones de P y Ca en los primeros verticilos y la de Na en los segundos verticilos, son únicamente significativas a un nivel del 90%. Para los oligoelementos las tendencias varían según el elemento mineral, por un lado también se observan concentraciones mayores de Fe, Cu, B, Mo y Al en los verticilos de los árboles con dos verticilos, mientras que las concentraciones de Mn y Zn son superiores en las acículas de los pinares con tres verticilos de retención.

DISCUSIÓN

El crecimiento del pino canario es de tipo monoclónico unimodal, o sea la yema invernal contiene el primordio de la rama y de todas las acículas que se elongaran en la siguiente estación vegetativa. El primordio del braquistemo se forma durante el periodo de elongación de los braquistemos del año anterior. El número de primordios o unidades de tallo que forman el verticilo depende de las condiciones climáticas del primer año, mientras que durante el segundo únicamente se producirá la elongación de las unidades del tallo, lo cual acabará dándole la longitud definitiva al entrenudo y se producirá el crecimiento de las acículas. Por ello se observan correlaciones positivas con las lluvias de los meses de agosto y septiembre (Tabla 3) cuando se forman los primordios, pero no con las estivales, periodo en el que ya se tiene que haber terminado de elongar el primordio. Por otra parte, el crecimiento de las acículas continuará también durante el verano, ya que se observa una correlación positiva con las precipitaciones estivales. Este hecho podría explicarse porque no existe una correlación significativa entre LA y LE, ya que mientras la LA depende únicamente de las condiciones climáticas de un año, la LE se ve influenciada por las de dos años consecutivos. Estas diferencias todavía son más patentes si se compara el crecimiento del entrenudo de un determinado año con la longitud de las acículas respectivas (GASULLA, 2002).

El tamaño de la hoja y el área foliar total de la copa influyen directamente en la captación de carbono. Es por ello que la retención de las hojas durante más tiempo puede permitir la acumulación de una elevada superficie foliar total en el árbol (Chabot & Hicks, 1982). Así pues, dentro de una misma especie pueden existir pines con un bajo crecimiento anual, pero gran longevidad de las acículas, que pueden retener una masa foliar por árbol similar a los que tienen un mayor crecimiento anual pero menor longevidad de las acículas (Schotte, 1990). Son numerosos los estudios realizados sobre coníferas que se centran en las relaciones existentes entre la longevidad de las acículas, crecimiento y las condiciones ambientales (Wedman, 1939; Pravin, 1969; Ewers & Schmid, 1981; Schoettle, 1991; Nebel & Matilde, 1992). En dichos estudios queda patente que los estreses ambientales que limitan el crecimiento, como las bajas temperaturas y el estrés hídrico, están correlacionados negativamente con la longevidad de las acículas. En nuestro estudio el estrés hídrico parece ser el principal factor que limita el crecimiento en el pino canario. En las localidades con menores precipitaciones el crecimiento de entrenudos y la longitud de las acículas es menor mientras que se observa un incremento de la retención foliar (Tabla 2), de esta forma se compensa la menor biomasa foliar de cada verticilo mediante el incremento de la biomasa foliar total del árbol.

Así mismo, se observa que en las localidades con ombroclimas subhúmedos, donde los pinares tienen una menor retención foliar, las concentraciones de los macronutrientes (N, P, K, Na, Ca, Mg) en las acículas de los dos primeros verticilos son superiores respecto a las encontradas en las acículas de los pinares de localidades con climas más secos y por tanto con mayor retención foliar. Las escasas precipitaciones que se producen durante la época de crecimiento del pino también provoca que la falta de humedad en el suelo dificulte la captación de los nutrientes minerales a través de las raíces (Zimmermann & Feger, 1997; Lebeugnot & Feger, 1997). Lo cual va acompañado de una menor concentración de nutrientes en las acículas. Las concentraciones de nitrógeno y fósforo suelen ser relacionadas con el rendimiento de los fotosíntesis (Field & Mooney, 1986; Reich & Schöettle, 1988; Gower *et al.*, 1993), en concreto, las concentraciones de N en las acículas van asociadas a las cantidades del mayor enzima fotosintético Rubisco (ribulosa-1, 5-bisfosfato carboxilasa) en el tilacoide, por lo tanto a mayores concentraciones de nitrógeno mayor capacidad fotosintética (Warn & Adams, 2000). Así mismo es sabido que la tasa fotosintética está relacionada inversamente con la longevidad de las hojas (Chabot & Hicks, 1982; Reich *et al.*, 1991, 1992; Gower *et al.*, 1992; Reich, 1993). Lo cual suele ser explicado como una estrategia adaptativa a condiciones desfavorables. La mayor retención foliar en los pinares con unas acículas que tienen una menor capacidad fotosintética hace que por un lado, esta baja capacidad fotosintética se compense al incrementar la superficie foliar y fotosintética (Chabot & Hicks, 1982) y, por otro, se optimice el uso de los nutrientes mediante un mayor tiempo de retención en el árbol (Escudero *et al.*, 1992; Temple & Bytnerowicz, 1995).

BIBLIOGRAFÍA

CHABOT, H. G. & HICKS, D. J.: 1982. The ecology of leaf life spans. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 13:229.
 DEWAR, R. C., LUDLOW, A. R., DOUGHERTY, P. M.: 1994. Environmental influences on carbon allocation in pines. *Ecol. Bull.* 43, 92-101.
 ESCUDERO, A. I., DEL ARCO, J. M., SANZ, I. C. & AYALA, J. A.: (1992). Effects of leaf longevity and retranslocation efficiency on the retention time of nutrients in the leaf biomass of different woody species. *Oecologia*, 90: 80-87.
 EWERS, F. W.; SHMID, R. (1981). Longevity of needles fascicles of *Pinus longaevaria* (bristlecone pine) and other northern American pines. *Oecologia* 51:107-115.
 FIELD, C.; MOONEY, H. A. (1986). The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants. In *On the Economy of Plant Form and Function*. Ed. T.J. Givnish. Cambridge University Press, New York, pp. 25-55.
 GASULLA, F.: 2002. Fenología y variabilidad fenológica de *Pinus canariensis* Ch.Sm. ex DC. -Correlaciones bioclimáticas. Trabajo de investigación, Universitat de Valencia, pp. 47. *Incédita*.
 GOLZ, H. L., EWEL, K. C., TESKEY, R. O.: 1990. Water and forest productivity. *For. Ecol. Manage.* 30, 1-18.
 GOWER, S. T., REICH, P. B., SONN, Y. (1993). Canopy dynamics and aboveground production of five tree species with different leaf longevity. *Tree Physiol.* 12: 327-346.
 LANNER, R. M.: 1971. Shoot growth patterns of loblolly pine. *For. Sci.* 17: 486-487.
 LEROYFREGIER, F.; LEROYFREGIER, F.; LEVY, G.; BECKEKER, M.; ESTEVRE, Y.: (1997). Effects of mineral nutrition and water site conditions on radial growth of Corsican pine in western France. *Annales des Sciences Forestières*, 54(3): 279-300.
 NEBEL, B.; MATILDE, P. (1992). Longevity and senescence of needles in *Pinus cembra*. *L. Trees* 6: 156-161.
 OLEKSYN, J.; REICH, P. B.; DOELKER, M. G.; CHALUPKA, W.: 2001. Biogeographic differences in shoot elongation pattern among European Scots pine populations. *For. Ecol. Manage.* 148, 207-220.
 OLESZYK, D.; CLAUDIA, W.; VANNESS, E.; APPLE, M.; TIMING, D.: 1998. Phenology and growth of shoots, needles, and buds of Douglas-fir seedlings with elevated CO₂ and (or) temperature. *Canadian Journal Botany*, 76: 1991-2001
 PUISSI, P.; TORTA, G.: 1994. Osservazioni sulla lunghezza e sulla longevità degli aghi di Pino domestico (*Pinus pinea* L.). *Giornale Botanico Italiano*, 128: 887-902.
 PRAVIN, L. F. (1969). Scots pine variation, intraspecific taxonomy and selection. *Izd. Nauka, Moskva, 1964. Translated from Russian by Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem*.
 RAINON, R. J.; MYERS, B. J.; BENSON, M. L.: 1992. Dynamics of *Pinus radiata* foliage in relation to water and nitrogen stress. I. Needle production properties. *For. Ecol. Manage.* 52, 139-158.
 REICH, P. B.; SCHOTTLE, A. W. (1988). Role of phosphorus and nitrogen in photosynthesis and wholeplant carbon gain and nutrient use efficiency in Eastern white pine. *Oecologia* 77: 25-33.
 REICH, P. B.; UHL, C.; WALTERS, M. B.; SCHOTTLE, A. W.: (1991). Leaf nitrogen as a determinant of leaf structure and function among 23 amazonian tree species. *Oecologia* 86: 16-24.
 SHEFFIELD, M. C.; GAGNON, J. L.; JACK, S. B.; MCCONVILLE, D. J.: 2002. Phenological patterns of mature longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.) under two different soil moisture regimes. *For. Ecol. Manage.* 129: 1-11.
 SCHOTTLE, A. W.; SMITH, W. K.: 1991. Interrelation between shoot characteristics and solar irradiance in the crown of *Pinus contorta* ssp. *latifolia*. *Tree Phys.* 9: 245-254.
 SPRUGEL, D. G.; BROOKS, J. K.; HINKLEY, T. M.: 1996. Effects of light on shoot geometry and needle morphology in *Abies amabilis*. *Tree Phys.* 16: 91-98.
 STENBERG, P.; KUULUVAINEN, T.; KELLOMÄKI, S.; GRACE, J. C.; JOKELA, E. J.; GHOLZ, H. L.: 1994. Crown structure, light interception and productivity of pine trees and stands. *Ecol. Bull.* 43, 20-34.
 TEMPLE, P.; BYTNEROWICZ, A.: (1995). Chemical Analyses of Air, Plant and Soil Samples collected on the Canary Islands, October 7-17, 1995. In: Barreno, E. *Caracterización y tipificación de datos en vegetales para el establecimiento de una Red Biológica de calidad ambiental en los pinares de Tenerife (Islas Canarias)*. Informe julio-octubre, 1995.
 WARREN, C. R.; ADAMS, M. A.: (2000). Trade-offs between the persistence of foliage and productivity in two Pinus species. *Oecologia* 124: 487-494.
 WEDMAN, R. H. (1939). Evidence of ring increase in a 25-year test for ponderosa pine. *Journal of Agricultural Research* 59:855-887.
 ZIMMERMANN, L.; FEGER, K. H.: (1997). Soil water regime at a spruce site in the Southern Black Forest - Measurements and modelling for the interpretation of tip-yellowing. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 160 (2) : 141-149.

Figura 1.- Localización de las localidades de muestreo.

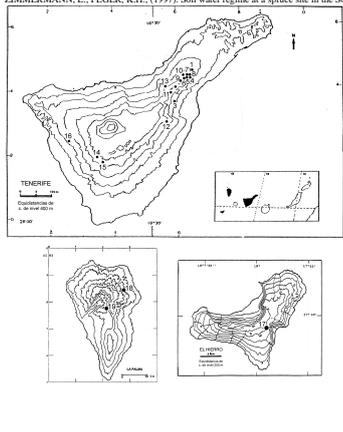


Figura 1.- Localización de las localidades de muestreo.

	T	m	Tf	Hc	Ic	P	Ps	Pagos
1.- Esperanza	14	5,5	9,5	315	11,6	900	23	28
2.- Ardo	13,5	5,5	8	280	12,7	1200	15	33
3.- Frente Galimar	15	7,5	10,3	355	10,9	600	10	17
4.- Bo. Hondo	13,8	7,5	10,3	355	10,9	1000	10	17
5.- Cruz Bo. Hondo	13,8	5,6	8,9	310	11,9	1000	13	19
6.- Alta Tenán	14	5,9	8,9	320	11,8	1000	9	13
7.- Monte del Pinar	13,7	5,5	8,4	305	12	1100	9	14
8.- Hoberera	13,7	5,5	8,4	305	12	1100	9	14
9.- Boca Valle	13	5,5	8	280	12,8	1300	15	30
10.- Chupadero	13	4,9	7,8	280	12,8	1300	15	30
11.- PC Ardo	14	6,9	9,2	320	11,6	800	15	25
12.- Chusón	13	5,5	8	280	12,8	1300	15	30
13.- Roque	14,7	7,8	11,6	340	10,2	800	16	20
14.- Lajas	13,2	2,5	6,8	290	13,2	300	2	7,5
15.- Vico	14,8	3,5	7,8	320	13,4	300	5	9,5
16.- Chio	16,4	8	11,8	380	9	250	1	3
17.- Pizaras	17,4	10,6	14,5	442	9,6	340	2,5	5

18.- Tapoja	18	12	15.6	419	7.1	850	10	30
19.- Bejmeado	17	10.6	13.8	441	8	600	9	11

Tabla 1.- Valores climáticos y bioclimáticos en cada localidad de muestreo.

	LA	LE	ANR
1.- Esperanza	20.9	3.02	1.78
2.- Arado	21.0	4.42	1.83
3.- Frente Gálmara	22.6	2.46	2.03
4.- Bco. Hondo	19.7	3.54	1.35
5.- Cruz Bco. Hondo	22.3	3.04	2.00
6.- Alto Tronío	22.5	3.86	2.28
7.- Monte del Pinar	19.4	3.21	1.71
8.- Hiechera	21.0	2.97	1.79
9.- Boca Valle	22.5	5.86	2.41
10.- Chapadero	21.1	3.77	1.73
11.- PC Arado	20.8	4.42	2.21
12.- Chozas	19.0	2.50	2.49
13.- Roque	19.7	3.38	2.10
14.- Lajas	17.7	2.13	2.60
15.- Vica	16.8	2.00	3.10
16.- Chio	18.3	3.10	3.02
17.- Playas	16.8	3.84	2.14
18.- Tapoja	20.2	5.07	2.04
19.- Bejmeado	21.0	2.65	1.87

Tabla 2.- Longitud media de acículas (LA) en cm. Longitud media de entrenudos en cm (LE). Media de la retención anual de acículas (ANR).

	LA	LE	ANR
T	-0.280	0.065	0.110
M	0.008	0.299	-0.268
H	-0.120	0.209	-0.147
hc	-0.251	0.005	-0.031
E	0.043	-0.160	0.131
p	0.704**	0.593**	-0.077**
Py	0.637**	0.389	-0.549**
Py+st	0.590**	0.648**	-0.468*
ln	0.648**	0.465*	-0.557*
lee	0.665**	0.360	-0.676**

Tabla 3.- Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre los valores climáticos y bioclimáticos y los diferentes parámetros fenológicos. * Significativo al 95%, ** significativo al 99%.

Macrominerales (%)							
	N	P	K	Ca	Mg	Na	
I.- Árboles con acículas de dos edades (n=11)							
1° verticilo	0.824	0.114	0.465	0.445	0.131	0.038	
2° verticilo	0.880	0.137	0.392	0.671	0.166	0.079	
II.- Árboles con acículas de tres edades (n=16)							
1° verticilo	0.715	0.086	0.426	0.322	0.130	0.023	
2° verticilo	0.775	0.095	0.331	0.481	0.145	0.040	
3° verticilo	0.721	0.116	0.338	0.608	0.142	0.062	
Microminerales (ppm)							
	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Al
I.- Árboles con acículas de dos edades (n=11)							
1° verticilo	229,125	268,563	17,756	4,631	15,531	1,756	303,313
2° verticilo	355,313	318,438	17,644	4,288	17,331	1,138	468,000
II.- Árboles con acículas de tres edades (n=16)							
1° verticilo	173,100	342,100	20,830	3,590	13,320	0,530	262,200
2° verticilo	295,545	419,182	19,682	3,745	14,027	0,836	395,727
3° verticilo	358,900	435,700	22,850	4,260	16,400	2,160	464,800

Tabla 4.- Concentraciones medias de nutrientes en las acículas separadas por verticilos. Árboles con dos verticilos de retención vs. árboles con tres.