
Resposta del creixement radial del pi blanc (*Pinus halepensis* Mill.) a les condicions climàtiques

Montserrat Ribas,
Elena Muntán
i Emilia Gutiérrez

Grup de Dendroecologia
Departament d'Ecologia
Universitat de Barcelona

Resum

Durant els set últims anys hem realitzat un seguiment dels paràmetres ecològicofuncionals de les espècies arbustives i arbòries més característiques de la Mediterrània per determinar com adapten el seu creixement a la variabilitat del clima mediterrani. L'objectiu del present

estudi és establir el patró de creixement radial del pi blanc, i conèixer quines variables climàtiques el regulen.

Els principals resultats obtinguts són: 1) El creixement radial del pi blanc comença a mitjan febrer i acaba a mitjan desembre. 2) El patró de creixement és bimodal. Té el seu màxim més elevat al maig i el segon a final d'octubre; es redueix a l'estiu, normalment sense detenir-se. 3) Aquest patró ve determinat i regulat per la combinació temporal de la temperatura mitjana i les precipitacions. 4) L'estudi posa de manifest com el pi blanc adequa el seu creixement a les condicions climàtiques de cada any i s'amotlla a l'enorme variabilitat climàtica de la zona mediterrània.

Paraules clau

Dendroecologia, càmbium, creixement radial, relacions creixement-clima, *Pinus halepensis*

Resumen

Respuesta del crecimiento radial del pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) a las condiciones climáticas

Durante los últimos siete años hemos realizado un seguimiento de los parámetros ecológico-funcionales de las especies arbustivas y arbóreas más características del Mediterráneo para determinar cómo adaptan su crecimiento a la variabilidad del clima mediterráneo. El objetivo del presente estudio es establecer el patrón de crecimiento radial del pino carrasco, y conocer qué variables climáticas lo regulan.

Los principales resultados obtenidos son: (1) El crecimiento radial del pino carrasco empieza a mediados de febrero y termina a mediados de diciembre. (2) El patrón de crecimiento es bimodal. Tiene su máximo más elevado en mayo y el segundo a finales de octubre, reduciéndose en verano, normalmente sin detenerse. (3) Este patrón viene determinado y regulado por la combinación temporal de la temperatura media y las precipitaciones. (4) El estudio pone de manifiesto cómo el pino carrasco adecua su crecimiento a las condiciones climáticas de cada año, amoldándose a la enorme variabilidad climática de la zona mediterránea.

Palabras clave

Dendroecología, cámbium, crecimiento radial, relaciones crecimiento-clima, *Pinus halepensis*

Abstract

Radial growth response of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) to climatic conditions

For the last seven years we have monitored the ecological and functional parameters of the most characteristic Mediterranean species of shrubs and trees in order to determine how they adapt their growth to the variability of the Mediterranean climate. The purpose of this study is to establish the radial growth pattern of the Aleppo pine, and to ascertain which climate variables govern it.

The main results obtained are: (1) The radial growth of the Aleppo pine begins in mid February and ends in mid December. (2) The growth pattern is bimodal. The main peak is in May and there is a secondary peak at the end of October, with a trough in the summer, although usually growth does not reach a standstill. (3) This pattern is determined and regulated by the coinciding of average temperatures and rainfall. (4) The study highlights how the Aleppo pine matches its growth to the climatic conditions of each year, in order to adapt to the enormous climate variability of the Mediterranean area.

Keywords

Dendroecology, cambium, radial growth, growth-climate relationship, *Pinus halepensis*

Introducció

La multitud de factors que interactuen en les comunitats vegetals dificulten conèixer la seva capacitat d'adaptació als canvis. Per poder preveure l'evolució d'una comunitat, cal conèixer prèviament: (1) les regularitats i patrons temporals de creixement dels diferents òrgans (tronc, brots, fulles, etc.) de les seves espècies més característiques; i (2) quines condicions climàtiques regulen el seu desenvolupament.

En el cas de les espècies mediterrànies, només es poden dur a terme aquestes prediccions amb prou certesa, si es fa un seguiment dels paràmetres ecològicofuncionals. I atesa l'enorme variabilitat de les condicions climàtiques de la regió, aquest seguiment ha de fer-se durant força anys i amb una freqüència elevada.

L'objectiu d'aquest estudi és determinar el període de creixement en gruix del tronc (creixement radial) del pi blanc al Garraf, posant especial interès a conèixer quines condicions climàtiques el regulen.

La localitat estudiada es troba en una vall interior del massís del Garraf, a prop d'Olesa de Bonesvalls (41°20'26" N, 01°50'38" E, 300 m s.n.m.). La zona es va cremar completament l'any 1982 i actualment la cobertura vegetal és molt similar en ambdós vessants (96 % al vessant N, i 95 %, al S). En canvi, es diferencien pel tipus de vegetació: a la solana trobem la màquia de garric i margalló (associació *Quercetum-lentiscetum*); i a l'obaga, l'alzinar litoral (associació *Quercetum ilicis galloprovinciale*).

Els sòls de la zona són de tipus fersialític, descarbonatats i argilosos, fet que els dona una certa compactació (RIBA *et al.*, 1979; PANAREDA, 1986). A tota l'àrea, els afloraments rocosos (calcàries secundàries) són abundants i creen discontinuïtats en el sòl.

Materials i mètodes

Treball de camp

L'abril de 1995 es van seleccionar 10 individus de pi blanc, 5 al vessant nord (N) i 5 a la solana (S). Per determinar l'activitat del càmbium (increments en el gruix del tronc), es va instal·lar un dendròmetre de banda al tronc de cada arbre a una altura superior als 0,5 m del terra.

Amb una periodicitat mensual o menor, segons l'època de l'any, s'ha mesurat l'increment en perímetre emprant un peu de rei electrònic (precisió de 0,01 mm). Amb la mateixa freqüència, s'han quantificat altres variables: longitud de brots i acícules, i longitud i amplada de les pinyes. També s'ha descrit l'estat general de la planta.

Anàlisi de les dades

S'han calculat els increments mitjans i la desviació estàndard del creixement en gruix del tronc de cada arbre per a cadascun dels dies de recol·lecció de dades al camp. Després, s'ha obtingut la mitjana per a cada vessant. Les taxes de creixement s'han calculat considerant el nombre de dies transcorreguts entre dos mostreigs consecutius.

Les dades meteorològiques diàries emprades corresponen a l'estació Garraf-Begues que pertany a la Xarxa Agrometeorològica de Catalunya del Servei de Meteorologia de Catalunya.

La comparació entre les taxes de creixement radial s'ha

fet a través de dos mètodes, els quals responen a dues qüestions plantejades. Una primera comparació s'ha fet mitjançant el coeficient de correlació de Spearman, per conèixer el grau de similitud entre les sèries dels diferents arbres en cada any del seguiment. Per posar de manifest quins arbres mostren les taxes de creixement més similars i a què es deu hem fet una anàlisi de components principals (ACP). Una informació detallada d'aquesta anàlisi es pot trobar a Legendre i Legendre (1998).

Resultats i discussió

La figura 1a mostra la precipitació acumulada (P) i la temperatura mitjana (Tm) entre dies consecutius de mostreig. Les escales de les abscisses mantenen la relació considerada per Gaussien ($P < 2 T_m$), de manera que quan les Tm superen les P es correspon amb el que s'anomena període sec (FIDALGO, 1988).

S'observa una gran variabilitat climàtica interanual. Les condicions de cada any han variat, pel que fa a la durada i la intensitat del període sec i/o pel període en el qual s'han donat. Destaca l'any 1996 per ser molt plujós i amb un període sec curt, poc accentuat i centrat en el mes d'agost. Un altre any amb condicions climàtiques favorables fou el 1999, ja que el període sec a l'estiu fou pràcticament inexistent i les condicions hídriques adverses només es donaren al final de l'hivern o al principi de la primavera. L'any 2001, el període sec se centrà en la primavera i fou més llarg i intens. El 1998, el període sec fou molt llarg i intens, des del final de l'hivern fins al final de l'estiu. El 1997 fou similar, encara que en aquest el període sec fou intermitent ateses les precipitacions freqüents però poc abundants, de manera que la sequera fou lleu excepte a la tardor. El 1995, les precipitacions d'estiu també alleugeriren la sequera, però tot i així aquesta fou considerable. El 2000, les pluges se centraren al principi de la primavera, de manera que la poca disponibilitat hídrica es donà a la tardor.

Taxes de creixement radial del pi blanc (1995-2001)

La figura 1b mostra la gran sincronia entre els vessants nord i sud en les taxes mitjanes de creixement radial al llarg del període d'estudi. També s'observa que la majoria d'anys s'han produït dos màxims de creixement: el primer i més elevat, a la primavera (maig); i el segon, a la tardor (octubre). No obstant, existeixen algunes desviacions d'aquest patró general relacionades amb les condicions climàtiques de cada any. Per exemple, el 1997 en cap vessant es produí el pic de tardor; i el 1998, els arbres del vessant S gairebé no tingueren el màxim de tardor.

La figura també mostra la major concordança entre vessants amb una menor variància dins cada vessant quan les condicions hídriques són menys limitants (1996, 1999 i 2001). En els períodes hídrics desfavorables més acusats (per exemple, a la primavera de 1998), els pins de l'obaga presenten taxes de creixement més elevades que els de la solana, mentre que quan els recursos hídrics són abundants (anys 1999 i 2000) creixen més els del vessant S. A la figura destaca la gran variància dins de cada vessant, sobretot al S, durant tot el període estudiat, la qual cosa porta a realitzar una anàlisi d'homogeneïtat en les sèries individuals.

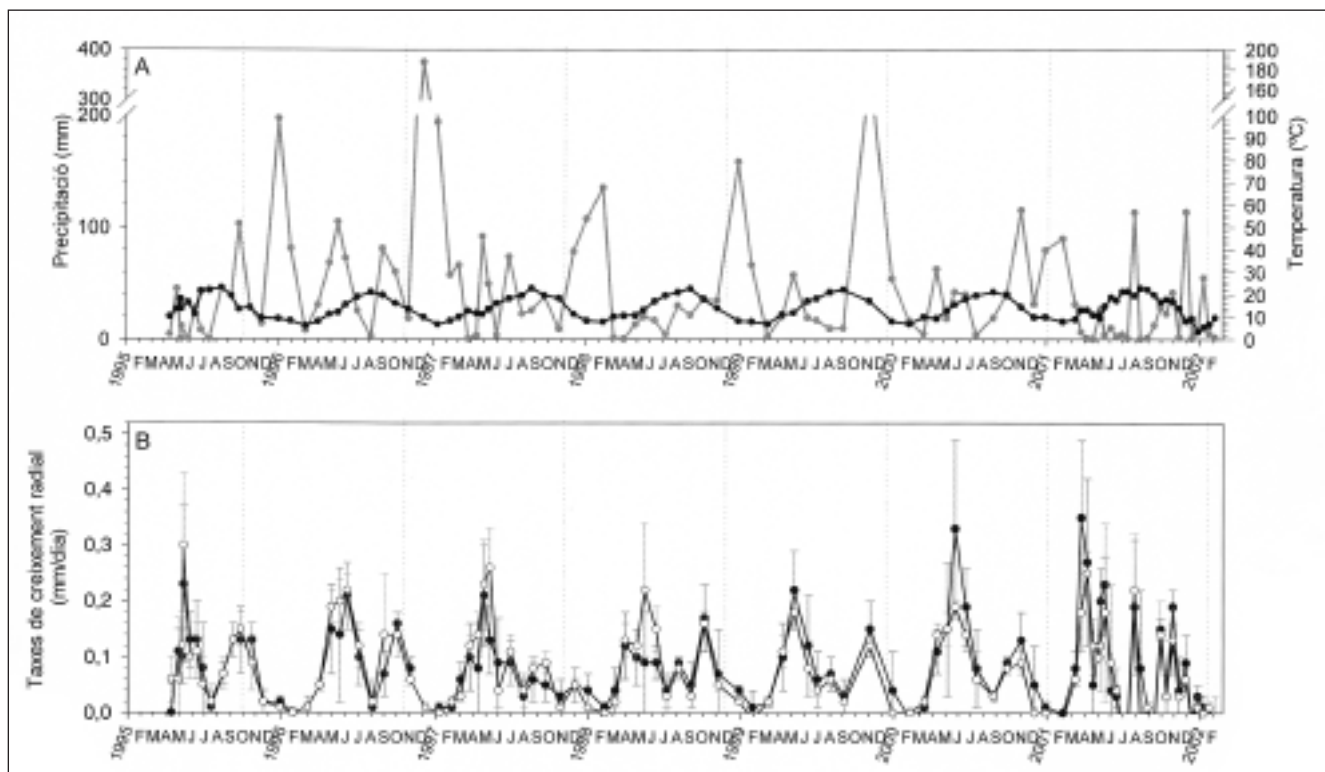


Figura 1. A dalt, evolució de la precipitació acumulada (línia gris) i temperatura mitjana (línia negra) entre dies de mostreig a Begues (Garraf). A baix, evolució de les taxes de creixement radial a cada vessant (mitjana i desviació estàndard, $n = 5$ arbres per vessant). Cercles negres: vessant sud, i blancs, nord.

Variabilitat de les taxes de creixement radial

La figura 2 mostra els valors dels coeficients de correlació de Spearman entre els arbres de cada vessant i entre vessants. Aquest coeficient mesura el grau de similitud en l'evolució de les diferents sèries. La figura mostra que les taxes dels arbres de l'obaga són més semblants entre si que les de la solana, ja que el coeficient és més elevat. Atribuïm les diferències entre vessants a la major homogeneïtat en les condicions de l'entorn immediat dels arbres en el vessant N, sobretot referent al tipus de substrat, ja que en el vessant S són més freqüents els afloraments de roca mare.

Els resultats mostren que els anys amb condicions climàtiques més adverses (1995 i 1998), els arbres presenten més diferències en el seu creixement radial. Tot i així, tots els coeficients de correlació són positius i elevats, i

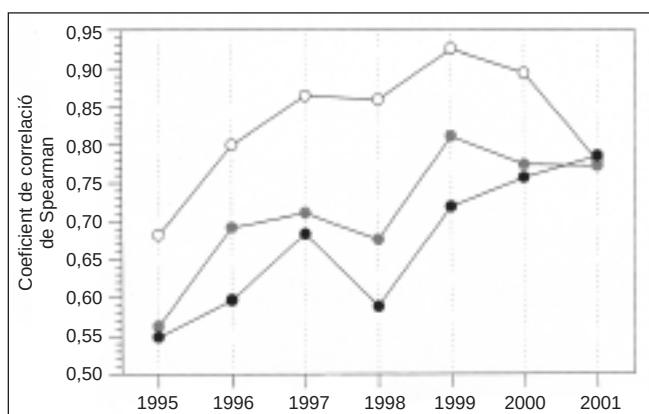


Figura 2. Evolució de la correlació entre les taxes de creixement radial dels arbres dins i entre vessants. Cercles blancs per a les correlacions entre els arbres del vessant N, negres per a les del S, i grisos per a les d'ambdós vessants.

això indica que existeix una forta similitud i sincronia en les taxes de creixement dels deu arbres estudiats.

La figura 3 mostra el resultat de l'ACP, un diagrama en el qual els arbres amb un comportament més similar en les taxes de creixement queden representats més a prop, i en el mateix quadrant. Observem que tots els individus queden representats a la part dreta del diagrama, amb valors positius respecte del primer component (CP-I). Això indica que existeix una forta semblança en la variabilitat de les ta-

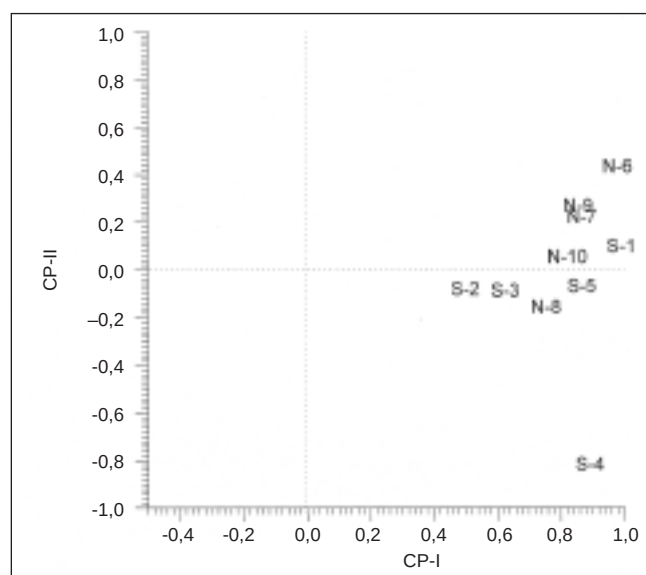


Figura 3. Diagrama d'ordenació basat en un ACP (anàlisi de components principals), en el qual es mostra la posició dels arbres (codificats per la seva situació en el vessant N o S i pel seu nombre) en base a la covariància de les seves taxes de creixement radial. No s'han dibuixat les fletxes per obtenir major claredat.

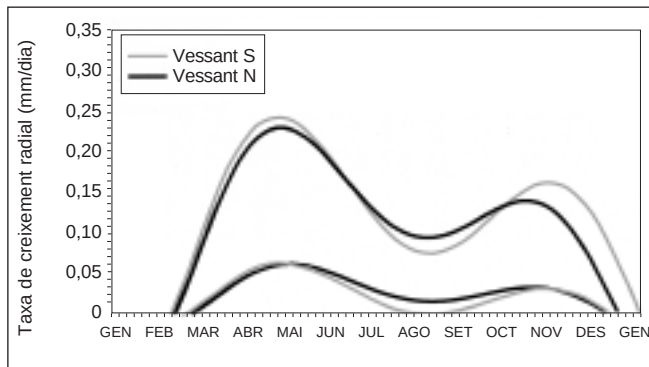


Figura 4. Contorns superiors i inferiors de les taxes de creixement radial registrades al llarg dels darrers set anys ($N=95$), determinats mitjançant l'ajust de funcions polinomials ($p < 0,001$). Vegeu text per a més detalls.

xes de creixement dels arbres estudiats, ja que aquest component explica el 70,5% de la variabilitat total de les sèries. Respecte del segon component (CP-II), que explica un 10,4% de la variància, els arbres queden distribuïts en dos grans grups: gairebé tots els arbres del vessant N prenen valors positius pel que fa a aquest component, mentre que els de la solana els tenen negatius. Hi ha però dos excepcions: el S-1 és un arbre de la solana que queda agrupat amb els de l'obaga i al N-8 li passa el contrari. L'explicació la trobem en les condicions de l'entorn immediat (proximitat al fons de la vall, mida de l'arbre, tipus de substrat, etc.). Aquests dos individus presenten condicions microambientals més característiques del vessant contrari al qual es troben. Per tant, aquesta anàlisi ressalta la importància de les característiques de l'entorn dels arbres com a moduladors del seu creixement.

Patró temporal del creixement radial

Per obtenir el patró de creixement radial de cada vessant, hem representat totes les taxes de creixement registrades al llarg del seguiment com si s'haguessin produït en un mateix any. Tot seguit, s'han escollit els punts del contorn superior i inferior de cada figura i s'hi ha ajustat la funció que més s'hi adequa estadísticament. Interpretem la funció ajustada al contorn superior com la que descriu el patró de creixement radial del pi blanc sota les condicions ambientals òptimes produïdes; i l'ajustada al contorn inferior, com la que el descriu sota les condicions adverses. Les dues funcions ajustades a cada vessant es mostren en la figura 4.

En tots els casos s'observa el patró bimodal de creixement abans esmentat, és a dir, que hi ha dos màxims de creixement, un a la primavera (el més elevat) i un altre a la tardor, separats per una davallada acusada de les taxes durant l'estiu.

Sota condicions favorables, el període de creixement comença simultàniament als dos vessants (a mitjan febrer), ascendeix fortament fins a assolir el màxim de primavera entre final d'abril i principi de maig. Aquest màxim és sincrònic però lleugerament superior a la solana. Tot seguit disminueixen fins a assolir el mínim a l'agost, el qual és superior a l'obaga. Quan les condicions són favorables, la major diferència entre vessants la trobem a la tardor, el segon màxim de creixement es dona a mitjan octubre al vessant N i al novembre al S, i és superior als arbres de la solana. A més, el període de creixement és més llarg al vessant S, ja que s'acaba a final de desembre, possiblement perquè les temperatures són més elevades a la solana.

Quan les condicions ambientals són adverses hi ha molt poques diferències entre vessants. El patró general és molt semblant al descrit sota condicions favorables, encara que

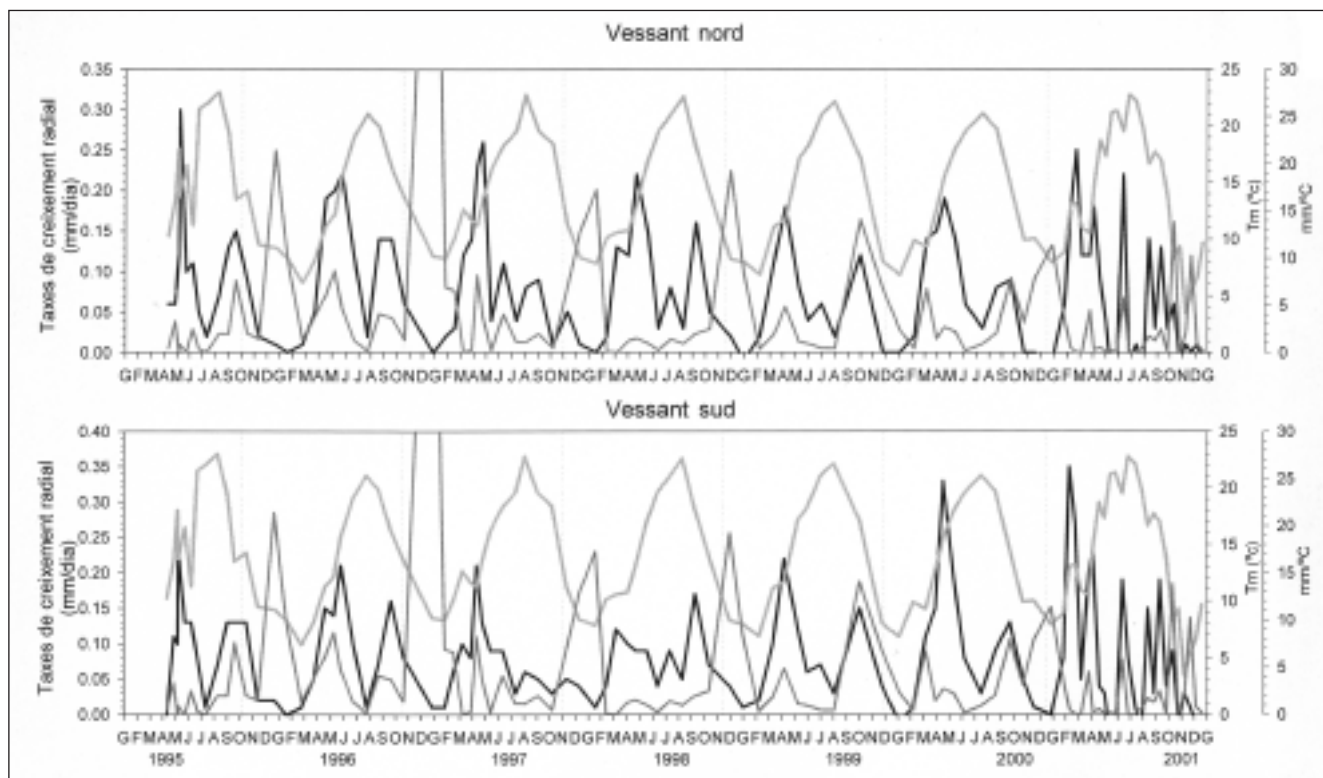


Figura 5. Evolució de les taxes de creixement radial (línia negra), de les temperatures mitjanes (línia gris fosca) i del quocient entre les precipitacions i la temperatura mitjana (línia gris clara) al llarg de tot el seguiment (des de l'abril de 1995 al febrer de 2002). A dalt per al vessant nord; i a baix, per al sud.

amb taxes més baixes i un període més curt, ja que comença a final de febrer i acaba a mitjan desembre a ambdós vessants. La diferència més notable és a l'estiu (agost), quan els arbres de l'obaga només disminueixen les taxes de creixement, mentre que els de la solana l'aturen.

Control de les variables climàtiques sobre les taxes de creixement radial

Per tal d'entendre el perquè d'aquests patrons, cal conèixer quins factors climàtics el regulen.

En la figura 5 s'hi ha representat, per cada any i vessant: les taxes de creixement, la temperatura mitjana (T_m) i el quocient entre les precipitacions i la temperatura mitjana (P/T_m).

S'observa que el comportament de les taxes de creixement segueix el de les temperatures mitjanes des de gener fins a mitjan març. Després, és el quocient P/T_m el que més s'assembla a les taxes de creixement, fins a mitjan novembre. Durant el mes de desembre, tornen a ser les temperatures mitjanes les que més s'assemblen a les taxes. Per tant, hem de pensar que la combinació al llarg de l'any entre les dues variables climàtiques és la que regula el creixement radial del pi blanc. La temperatura mitjana actua durant tot l'any, encara que canvia el seu efecte, ja que al principi és directe i positiu (del gener al març) i del març al novembre el té de forma inversa i negativa. Després, al desembre, torna a tenir-lo directe i positiu. Les precipitacions, en canvi, només tenen efecte des del març al novembre i la relació és positiva, directa i immediata.

Per comprovar aquest resultat, hem construït una nova variable que inclou la combinació temporal entre aquestes dues variables tal i com hem descrit, i hem fet una anàlisi de correlacions de les variables (P , T_m , P/T_m i la nova variable) amb les taxes de creixement de cada vessant. Els resultats mostren que aquesta nova variable és l'única que es correlaciona significativament (95%) amb les taxes de

creixement radial a ambdós vessants (0,745 al N i 0,720 al S, $N = 95$).

Conclusions

– El patró de creixement radial del pi blanc és bimodal. El període de creixement comença a mitjan febrer i acaba a principi de desembre, encara que al vessant S pot allargar-se fins a final de desembre si les condicions climàtiques ho permeten.

– Existeix una gran homogeneïtat en el patró de creixement entre vessants.

– Aquest patró s'adequa a les condicions climàtiques específiques de cada any.

– Les temperatures mitjanes tenen una relació positiva i directa amb les taxes de creixement radial entre els mesos de desembre i abril. La resta de l'any la relació és inversa.

– Les precipitacions només tenen efecte sobre les taxes de creixement radial entre els mesos d'abril i novembre. Aquesta relació és immediata, directa i positiva. La resta de l'any no tenen cap efecte.

Bibliografia

FIDALGO, C. (1988). *Metodología fitoclimática*. Madrid: Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid. 123 pàg.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. (1998). *Numerical Ecology*. Nova York: Elsevier Scientific Publishing Company. 398 pàg.

PANAREDA, J.M. (1986). *Descobrim el Garraf*. Col·lecció Pau i Vila, núm. 6. Diputació de Barcelona. Publicacions i edicions de la Universitat de Barcelona. 163 pàg.

RIBA, D.; BOLÓS, O.; PANAREDA, J.H.; NUET, N.; GONZÁLEZ, J. (1979). *Geografía física dels Països Catalans*. Barcelona: Ed. Ketres. 172 pàg.