

# *Dendrocronologia del Pinus halepensis a Menorca*

Samuel Pons Fàbregues

## **Resum**

En aquest treball es presenta la primera xarxa de dendrocronologies feta a Menorca. S'analitza la variabilitat del creixement en gruix de *Pinus halepensis* mitjançant l'establiment de 5 cronologies amb un total de 75 arbres estudiats.

L'arbre més vell trobat té 107 anys. No obstant açò, la presència d'arbres sovint més joves ha limitat la llargària de les cronologies establertes: la més llarga estudiada té 93 anys mentre que les més curtes en tenen 55.

No tots els arbres mostrejats han servit per fer l'estudi, ja que alguns d'ells presenten poc senyal comú (climàtic) a causa de fenòmens locals que han afectat el seu creixement, com ara la nevada de l'any 1956.

Totes les cronologies estan positivament i significativament correlacionades, la qual cosa indica una comunalitat en el creixement de tots els arbres de l'illa, si bé existeixen diferències apreciables depenent de l'indret en què són. Els valors de les correlacions de Pearson oscil·len entre 0,72 i 0,83, a excepció d'una cronologia en què els valors són inferiors: entre 0,50 i 0,61. Aquesta menor correlació és probablement deguda als efectes d'una tala del sotabosc.

Les variables climàtiques que més determinen el patró de creixement de

*Pinus halepensis* són les precipitacions, concretament les de tardor-hivern (període que precedeix l'inici de l'època de creixement) i les de final de primavera.

Quant a les temperatures, les úniques detectades que influeixen en el creixement de *Pinus halepensis* són les de gener i maig, les quals es relacionen amb processos d'activació del càmbium i amb l'evapotranspiració, respectivament.

## Introducció

Els anells de creixement dels arbres són una font de dades ambientals molt valuosa, ja que l'activitat del càmbium, teixit meristemàtic secundari encarregat del creixement en gruix dels arbres, és molt sensible a les condicions de l'entorn (especialment a les condicions climàtiques), de manera que en els anells queden enregistrats tots aquells esdeveniments que han afectat l'arbre al llarg de la seva vida.

La dendrocronologia, disciplina que es dedica a extreure, analitzar i interpretar la informació continguda en els anells de creixement dels arbres, es basa en la datació correcta dels anells —assignant a cada un d'ells l'any de calendari durant el qual es va formar— i en l'anàlisi de patrons temporals de les sèries d'anells a partir de l'establiment de cronologies.

La dendrocronologia té diverses aplicacions. En el camp de l'ecologia és útil, per exemple, per posar de manifest quines són les variables climàtiques que més limiten el creixement dels arbres. És també especialment útil en l'estudi del clima (dendroclimatologia), per estudiar el clima passat i l'actual, ja que els anells proporcionen registres substitutoris, o si més no complementaris, de les dades meteorològiques.

En aquest treball s'han estudiat, per primera vegada, cronologies d'arbres de Menorca, concretament de *Pinus halepensis*. Es tracten aspectes de dendrocronologia en general i també de dendroecologia. No obstant açò, aquest primer estudi constitueix el fonament d'un futur estudi en dendroclimatologia.

Els objectius concrets són els següents:

Obtenir un nombre suficient d'arbres que reflecteixin acceptablement bé les condicions generals de l'entorn.

A partir d'aquests arbres, establir una xarxa de dendrocronologies que sigui representativa del territori insular i que abasti el màxim de temps possible.

Anалitzar la variabilitat en comú i les diferències entre les cronologies establertes.

Anалitzar les relacions creixement-clima.

### Zona i espècie d'estudi

Menorca té una extensió d'uns 700 km<sup>2</sup>. En conjunt, és una illa plana, majorment en la seva meitat meridional. Només al centre i al nord el relleu es fa una mica més sensible, tot i que les cotes són molt modestes.

El seu clima és netament mediterrani amb un marcat màxim de precipitació a la tardor (octubre) que contrasta amb un sec estiu. En conjunt plouen 625 mm a l'any i la temperatura mitjana anual és de 16,8 °C.

Els dominis bàsics de vegetació són l'alzinar i l'ullastrar. L'activitat humana, però, ha fet entrar en regressió sobretot l'alzinar, i ha afavorit les pinedes de *Pinus halepensis*, la formació forestal més extensa a l'illa.

El *Pinus halepensis* presenta una estacionalitat en el seu creixement, la qual es tradueix en la formació d'un anell per cada any. Els anells de creixement es formen a partir d'un teixit meristemàtic secundari, el càmrium, que, situat entre l'escorça i la fusta, envolta totalment l'arbre. El càmrium genera xilema o fusta cap a l'interior i floema cap a l'exterior, i té l'habilitat de no quedar-se atrapat sota el xilema generat. És per açò que el darrer anell format és el més extern.

En un anell es distingeixen dues parts (fig.1): la fusta primerenca (iniciada al principi del període de creixement), d'aspecte clar i caracteritzada per la presència de cèl·lules grans, i la fusta tardana (final del període de creixement), d'aspecte més fosc i de cèl·lules més petites.

## Aspectes metodològics

### *Treball de camp: elecció i mostreig dels arbres*

L'objectiu principal i més immediat del treball és obtenir un conjunt de cronologies, les quals es construeixen a partir de les mostres de tots els arbres d'una determinada zona.

A la primavera de l'any 2002 es mostrejaren 5 zones o localitats (al NE, NW, SE, SW i centre de l'illa), de cadascuna de les quals s'escolliren 15 arbres. Per tant, es disposen de 75 exemplars de *Pinus halepensis* en aquest estudi. Cada localitat, sempre que va ser possible, va ser dividida en sublocalitats a fi de garantir la seva representativitat territorial (en alguns casos la distància entre sublocalitats ha arribat a ser de 3 o 4 km). A la fig. 2 s'indiquen les localitats i les sublocalitats incloses. En aquells casos en què no fou possible establir-hi sublocalitats es procurà que hi hagués un cert distanciament entre els arbres. En un bosc, per exemple, si s'agafen arbres molt propers, es pot donar el cas que tots ells manifestin un component de variabilitat molt local, la presència del qual, en canvi, pot quedar reduïda a uns pocs arbres si aquests estan prou allunyats entre si.

Sempre es procurava agafar arbres que fossin vells d'aspecte. A més a més, s'escolliren aquells que fossin més propensos a reflectir millor les condicions climàtiques. Així, preferiblement es van seleccionar els arbres solitaris, ja que no manifesten fenòmens de competència. En el cas que els arbres formessin part d'una zona emboscada, sempre es mostrejaren els arbres que fossin dominants o, com a molt, codominants.

Quant al mostreig dels arbres, de cada un es van obtenir dos testimonis de fusta mitjançant una barrina de Pressler de 5 mm de diàmetre intern. La barrina s'introdueix fent-la girar perpendicularment al tronc de l'arbre, de manera que els increments anuals de xilema (els anells) queden recollits en el cilindre de fusta o testimoni obtingut. S'extragueren dos testimonis i no un a fi de recollir la variabilitat en el creixement dins del mateix arbre, la qual pot arribar a ser important (Gutiérrez 1986). Foren extrets majoritàriament a l'altura del pit (DAP), que és de 1,30 cm aproximadament, la qual reflecteix bé la variabilitat en el gruix dels anells deguda al clima (Fritts 1976).

### ***Anàlisi i tractament dels anells de creixement: de les mostres a la construcció de cronologies***

En el tractament de les mostres s'ha seguit la metodologia generalment establerta per a aquests tipus d'estudis (Fritts 1976; Schweingruber 1988; Stokes i Smiley 1968). Així, una volta extretes, les mostres de l'arbre són guardades en uns tubs de plàstic per evitar el seu deteriorament. Ja al laboratori, es deixen assecar a l'aire lliure per després ser muntades adientment en unes guies de fusta dissenyades expressament, quedant-hi enganxades mitjançant cola de fuster.

Posteriorment, els testimonis són llimats amb paper arenat de gra successivament més fi per poder visualitzar els anells i les seves característiques. A la part superior de la fig. 1 es mostra un testimoni llimat. Una bona preparació de les mostres és essencial per poder veure amb claredat els anells i per poder fer una datació més fiable.

Els anells de cada mostra són identificats, comptats i datats. Per a cada testimoni la datació de cada anell es realitza començant pel darrer anell format, davall l'escorça i el floema, el qual correspon a l'any de mostreig o a l'anterior, segons l'època de mostreig. A partir d'aquí, i comptant cap enrere en el temps, s'assigna a cada anell l'any del calendari en el qual es formà. La datació de cada sèrie de creixement ha de ser validada comparant-la amb la resta de mostres de la localitat, ja que aquesta és l'única manera de detectar possibles errors deguts a la presència d'anells falsos (dos creixements en un any) o absents (manca de creixement per a aquell any) (Stokes i Smiley 1968). Aquesta operació, anomenada datació creuada, està facilitada per la presència d'anells característics que es repeteixen a la majoria de les mostres (Kaennel i Schwingruber 1995). Aquests anells característics es produeixen perquè el clima afecta a tots els arbres de manera similar, amb la qual cosa les seqüències d'anells de diferents arbres presenten una sincronia. En el cas de *Pinus halepensis* són freqüents els següents anells característics: els anells absents, els que són molt estrets o molt amples respecte dels anells contigus, els anells que presenten canvis de densitat en la fusta tardana de l'anell i, finalment, els que tenen aquesta banda molt ampla o molt estreta.

Tot el procés d'identificació, datació dels anells i sincronització de les sèries es realitza examinant les mostres visualment amb una lupa binocular de fins

a 40x. Posteriorment es procedeix a amidar el gruix dels anells amb un aparell d'amidament semiautomàtic connectat a un ordinador (Aniol 1983). La precisió dels amidaments d'aquest aparell és de 0,01 mm.

Per tal de confirmar i validar les datacions i les sincronitzacions visuals, les sèries del gruix dels anells de cada arbre de cada localitat són comparades amb mètodes estadístics mitjançant el programa COFECHA (Holmes 1983). Així, per a cada localitat la validació consisteix a examinar la correlació per trams entre cada sèrie amb la sèrie mitjana, la qual s'estableix fent la mitjana de la resta de sèries i s'utilitza, provisionalment, com a sèrie de referència. Les correlacions es calculen després d'eliminar la tendència deguda a l'edat utilitzant funcions matemàtiques anomenades spline, mentre que l'efecte de dependència del creixement d'un any respecte dels anys anteriors s'elimina ajustant models autoregressius. Les sèries que no correlacionen bé amb la de referència són eliminades, ja que s'entén que el seu patró de variació conté poc senyal climàtic.

Les cronologies són la mitjana de les sèries de creixement (dues per arbre) d'una determinada localitat. Tot i que, un cop rebutjades les mostres anòmales, les sèries de cada arbre es correlacionen de forma acceptable amb la resta i, per tant, són susceptibles de tenir prou component climàtic com per ser analitzades individualment, és de suposar que cada una d'aquestes sèries tenguí un component de variabilitat inherent al mateix arbre. En canvi, en el cas de la cronologia, el component comú es reforça pel fet de calcular la mitjana de totes les sèries. Seran, per tant, les cronologies les que s'utilitzaran per fer les diferents anàlisis.

Abans de construir la cronologia, però, cal testar si les localitats establertes anteriorment, les quals es definiren simplement amb criteris geogràfics i de proximitat entre els arbres, són prou homogènies. Per tant, a fi d'analitzar l'afinitat entre les mostres de totes les localitats, s'ha realitzat una anàlisi multivariant entre tots els arbres, la qual ha consistit en una anàlisi de conglomerats (*cluster analysis*). La mètrica utilitzada ha estat la correlació de Pearson, mentre que l'algorisme de classificació emprat ha estat el WPGMA (Weighted Arithmetic Average) (Legendre i Legendre 1998).

Una volta establertes les agrupacions dels arbres per poder construir cada una de les cronologies, cal tractar convenientment les sèries de creixement de cada un d'ells abans de fer-ne la mitjana.

En primer lloc, les sèries han de ser comparables en el creixement de cada any, la qual cosa s'aconsegueix mitjançant l'estandardització. En termes matemàtics significa que les sèries han de ser estacionàries (amb mitjana constant), ja que, com és sabut, els anells són més amples quan els arbres són joves i més estrets quan són més vells, ja que la fusta produïda s'ha de repartir en un radi més gran a mesura que l'arbre es va fent gran.

Per estandarditzar les sèries s'han utilitzat funcions spline (Cook i Peters 1981; Cook i Kairiukstis 1990), les quals s'ajusten amb flexibilitat a la tendència de la sèrie, ja sigui a llarg o mitjà termini (tendència deguda a l'edat o a pertorbacions). El següent pas consisteix, per a cada sèrie, a dividir els valors observats (els amidaments dels anells) pels esperats (valors de la funció spline ajustada). S'obté així una nova sèrie, anomenada sèrie d'índexs de creixement, en què la mitjana dels seus valors és d'1. A la fig. 3 s'il·lustren els dos passos esmentats.

Posteriorment, cal treure un altre factor que influeix en el creixement d'un any donat: la dependència del creixement d'un any respecte dels anteriors, és a dir, l'autoregressió. Els arbres sovint acumulen reserves, sobretot quan ha estat un any molt favorable per al seu creixement, la qual cosa pot repercutir beneficiosament en els anys posteriors. Per aquest motiu les sèries dels índexs de creixement es filtren de nou amb models autoregressius (l'ordre ve determinat pel nombre d'anys que es consideri que afecten el creixement posterior). Els valors resultants s'anomenen residus, i aquests formen l'anomenada sèrie residual de creixement. Aplicar el model autoregressiu és molt important, ja que, a més de treure el component de senyal d'origen no climàtic, la manca d'autoregressió és una condició necessària per a moltes anàlisis estadístiques (Monserud 1986).

La mitjana de cada una de les sèries residuals de creixement constitueix la cronologia. Per fer la mitjana s'ha utilitzat una mitjana robusta per ponderar els efectes dels valors extrems (*outliers*) anomenada *biweight robust mean* (Cook i Kairiukstis 1990).

Una volta construïda la cronologia, és necessari estimar la seva robustesa o el grau de senyal comú (variància comuna de totes les mostres) que conté. Per fer-ho, s'usa un estimador anomenat EPS (*Expressed Population Signal*). Es consideren acceptables aquelles cronologies que tenen un EPS igual o superior a 0,85 (Cook i Kairiukstis 1990). Un EPS menor de 0,85 indicaria que hi

ha molta variabilitat entre les mostres de la localitat i que, per tant, la cronologia resultant és poc consistent.

L'estandardització, l'aplicació dels models autoregressius i el càlcul de l'EPS, s'ha fet mitjançant el programa informàtic ARSTAN (Cook et al. 1996).

### *Anàlisi de les relacions creixement-clima: les funcions resposta*

S'han estudiat les relacions creixement-clima a partir de l'establiment de funcions resposta testant-les mitjançant la tècnica del *bootstrap* (Guiot 1991). El programa informàtic emprat ha estat el 3PBASE (Guiot i Goegury 1996).

Aquesta anàlisi estadística consisteix en una regressió múltiple entre les variables climàtiques un cop extrets els components principals (que són els predictors o variables independents) i les cronologies residuals de creixement (variables dependents). Inicialment les funcions resposta es basaven en regressions múltiples senzilles utilitzant directament les variables climàtiques (Fritts 1976) amb l'inconvenient que aquestes estan intercorrelacionades i, per tant, es poden arribar a resultats erronis. Així, l'anàlisi de components principals proporciona noves variables independents, combinació lineal de les originals, que són les que s'utilitzen per fer la regressió.

Els coeficients de regressió parcial de cada variable indiquen la relació que hi ha entre el creixement i el clima. Els coeficients positius indiquen que la variable té un efecte favorable sobre el creixement, mentre que els negatius indiquen la relació contrària.

Les dades climàtiques emprades provenen de l'estació meteorològica de Maó, la qual entrà en funcionament l'any 1865 al carrer de s'Arraval. Després de diversos canvis d'emplaçament, l'estació és actualment operativa a l'aeroport de Menorca.

S'han considerat les següents variables: precipitació total mensual (P, en mm), temperatura mitjana mensual de les màximes (TmMàx, en °C) i temperatura mitjana mensual de les mínimes (TmMín, en °C). L'ús simultani de precipitació i temperatura és preferible a causa de l'efecte combinat d'aquests factors en el creixement dels arbres (Papadopoulos et al. 2001).



## Resultats

### *Rebuig d'arbres amb una manifesta manca de senyal comú. La nevada de 1956, exemple d'una pertorbació*

Un dels objectius del treball és obtenir un nombre suficient d'arbres que reflecteixin acceptablement bé les condicions generals de l'entorn, ja que per poder comparar el creixement dels pins entre diferents localitats de l'illa, i també poder establir les corresponents anàlisis amb el clima, és necessari que estiguin exempts de fenòmens locals que hagin afectat el seu creixement.

Els resultats de la validació de les mostres en aquest estudi han estat en general satisfactoris, llevat d'alguns casos en què determinades mostres, ja sigui per a un tram donat o bé per a la seva totalitat, han presentat correlacions no significatives ( $p$ -valor  $< 0,01$ ) o de baixa significació. Normalment, emperò, aquestes baixes correlacions no han estat degudes a un error en la datació, sinó a la presència d'un patró de creixement que es desviava enormement de la mitjana.

Molt sovint les anomalies en el creixement respecte de la sèrie mestra no es poden atribuir a un fet concret, ja que es desconeixen els factors que inflüiren en el passat. Així, determinats fenòmens poden ser els causants d'un creixement anòmal, com ara l'atac d'insectes defoliadors, la presència de fenòmens de competència amb altres individus, la tala dels arbres vesins (la qual provoca un creixement sobtat), etc.

En un cas, emperò, sí s'ha pogut constatar l'efecte d'una pertorbació que ha quedat enregistrada en els anells de creixement d'un arbre. A la fig. 4 s'il·lustra aquest cas, corresponent als efectes de la nevada de l'any 1956.

En una de les campanyes de mostreig vam tenir l'oportunitat de contactar amb un pagès que ens ensenyà un pi (*Pinus halepensis*) aparentment molt vell conegut popularment com "es pi gros de Lanzell". La seva inspecció indicà la presència de les restes de dues grans branques, i a més tenia una part del tronc podrida. El pagès ens contà que fou el febrer de l'any 1956 quan, a causa de la gran quantitat de neu que es diposità sobre les branques de l'arbre, en caigueren dues de molt grans, amb la qual cosa l'arbre resultà greument ferit. Podria ser, a més, que el podriment observat s'iniciés a partir de les ferides ocasionades a l'arbre.

Examinant posteriorment la mostra estreta de l'arbre (fig. 4) s'observa que l'any 1956 es produeix una baixada molt brusca en el creixement, de la qual l'arbre no s'ha recuperat, ja que des de 1956 i fins a l'actualitat presenta un creixement clarament inferior al que anteriorment havia tingut, si bé són els primers 15 anys quan es manifesta més la reducció del creixement. Aquesta reducció del creixement és atribuïble a una pèrdua d'una part important de la massa fotosintètica de l'arbre i també al debilitament causat per la presència de ferides, les quals actuen com a focus per a l'entrada d'agents patògens com ara fongs. Si es compara aquesta mostra amb les de la seva localitat es troba una mala correlació per al període 1956-1970. La funció spline no pot filtrar aquesta pertorbació i només s'ajusta bé a partir dels anys 70.

Tot i que es va decidir de rebutjar les mostres d'aquest arbre per al present estudi, s'ha cregut convenient comentar aquest cas, ja que és un exemple clar de com una pertorbació pot afectar el creixement d'un arbre. A més a més, és una bona manera d'il·lustrar i recordar els efectes d'aquella nevada històrica.

### *Anàlisi de les cronologies obtingudes*

A partir de les similituds entre el creixement de tots els arbres (vegeu l'anàlisi de conglomerats a la fig. 5) s'han establert 5 agrupacions, cada una de les quals constituirà una cronologia.

Tres d'aquestes es corresponen bé amb 3 de les 5 localitats definides anteriorment (MSEPH, MSWPH i MNEPH). Tots els pins de MSEPH menys un queden ben classificats en un mateix conglomerat, si bé apareixen alguns pins d'altres localitats. Els pins de MSWPH es classifiquen força bé (el seu conglomerat només té pins de la seva localitat) si bé 3 dels 13 pins es classifiquen en altres conglomerats. Encara millor és la classificació de MNEPH, ja que dels 13 pins de la localitat, tots menys un es classifiquen bé.

Així, tot i que l'agrupament del conglomerat no es correspon al 100% amb les agrupacions (localitats) establertes des del principi, s'ha considerat que aquestes tenen prou entitat com perquè els seus arbres puguin constituir una sola cronologia.

En canvi, els altres dos conglomerats definits no es corresponen amb les altres dues localitats restants. S'observa que 5 dels 8 pins de la sublocalitat MAL no tan sols estan molt distanciat de la localitat inicialment considerada

(MNWPH), sinó que ho estan de tots els *Pinus halepensis* de l'illa i, en canvi, s'assemblen força entre ells, de manera que s'ajunten en un sol conglomerat molt ben definit (MNWPHb).

Quant al conglomerat restant, està format per tots els pins de MCEPH més 7 de MNWPH. Una divisió d'aquest no ajuda a discriminar grups geogràfics. Tenint en compte que, descomptant els 5 pins esmentats anteriorment, aquests 7 pins representen el 70% dels pins de MNWPH (els altres tres resten classificats en altres conglomerats) s'ha cregut convenient ajuntar les localitats MCEPH i MNWPH en una sola agrupació o cronologia (MCWPH), exceptuant els 5 arbres de la sublocalitat MAL, que en formaran una altra (que a partir d'ara anomenarem simplement MNWPH).

L'agrupament de les sublocalitats en cronologies s'il·lustra a la fig. 6, i a la taula 1 s'indiquen per a cada una d'elles el període cobert, el nombre d'arbres inclosos, el període en què l'EPS és major que 0,85 i la correlació mitjana ( $r_m$ ) de tots els arbres respecte de la cronologia.

L'inici del període cobert per cada cronologia es correspon amb l'arbre més vell. El període fiable d'estudi (EPS > 0,85), emperò, és sempre menor, ja que es requereix que hi hagi un nombre suficient d'arbres. Totes les cronologies tenen un EPS > 0,85, fins i tot MNWPH, que sols està formada per 5 arbres però que és prou robusta gràcies a una alta correlació entre les seves mostres ( $r_m = 0,82$ ). Per tant, totes les cronologies tenen prou entitat com per ser considerades. La més llarga és MSWPH (93 anys), mentre que les més curtes són MNEPH i MSEPH (55 anys).

A fi de testar l'homogeneïtat en el creixement de tots els pins de Menorca, s'ha construït una sisena cronologia (MENPH), que és el resultat d'agrupar tots els arbres estudiats en una de sola, a excepció dels de MNWPH perquè, tal com es comentarà més endavant, presenten un creixement anòmal. A la fig. 7 s'il·lustra aquesta cronologia. El seu EPS és també més gran que 0,85. Tot i així, examinant els valors de la correlació mitjana, es veu que no és tan consistent com les altres ja que el seu valor (0,67) és inferior al de la resta. Per tant, tot i que els pins de Menorca presenten un creixement prou semblant, amb la qual cosa es pot parlar d'una cronologia general a l'illa, aquest creixement és sensiblement diferent depenent de l'indret, ja que els pins d'un mateix lloc estan més ben correlacionats, fet que ja quedava il·lustrat a l'anàlisi de conglomerats.

Hi ha, per tant, una autocorrelació espacial en el creixement, la qual pot ser deguda a unes condicions microclimàtiques o ambientals (topografia, substrat, vegetació, etc.) diferents per a cada lloc. Cal dir, en aquest sentit, que unes condicions ambientals donades, per exemple un fort pendent, tenen un efecte modulador del clima. Així, sota un mateix clima uns arbres situats en un fort pendent poden ser sensiblement diferents en el seu creixement a uns arbres que estiguin en un terreny pla.

A la taula 2 s'indiquen les correlacions de Pearson entre parells de cronologies. Totes estan positivament i significativament correlacionades ( $p$ -valor  $< 0,01$ ). MNWPH presenta, però, unes correlacions clarament inferiors a la resta. De fet, en l'anàlisi de conglomerats anterior ja s'observava la seva clara diferència respecte de les altres cronologies, la qual cosa s'ha vist que és deguda a una anomalia en el seu creixement. A la fig. 8 s'observa, a partir de la seva comparació amb la cronologia més propera (MCWPH), que per al període 1940-1970 la correlació (0,75) és semblant a les correlacions que trobam entre altres cronologies, mentre que per al període posterior la correlació és força inferior (0,56).

Si la baixa correlació fos deguda a unes característiques ambientals del lloc (topografia, microclima, etc.) molt particulars seria d'esperar que la baixa correlació es donés per a tot el tram. Com que no és així, cal pensar, per exemple, en qualche fenomen local que influí durant un període de temps determinat en el creixement de MNWPH. De fet, a la fig. 8 s'observa com a partir de l'any 1980 el creixement mitjà brut de MNWPH experimenta un espectacular augment per després baixar a la darrereria dels 80. Aquest augment del creixement podria ser degut a una tala de pins o del sotabosc, gràcies a la qual aquests pins van poder créixer molt més. De fet, en el mostreig de camp ja es van veure indicis que apuntaven aquesta possibilitat. Així, els pins eren alts i prims i a una bona part del tronc sols hi havia branques seques, la qual cosa fa pensar que anteriorment havien patit bastant competència, cosa que actualment no passa: no tenen pins al voltant i el sotabosc es veu clarament esporgat.

### *Anàlisi de les relacions creixement-clima: les funcions resposta*

Amb l'anàlisi de les relacions creixement-clima es posa de manifest quines són les variables que més determinen el patró de creixement dels arbres. S'ha

fet una funció resposta per a la cronologia general de Menorca (MENPH) per al període 1950-1999.

La fig. 9 il·lustra els resultats de la funció resposta. S'indiquen les variables que surten significatives en l'anàlisi. El coeficient de regressió parcial de cada variable indica l'efecte que té sobre el creixement. Com més alt és el seu valor, més determina el creixement. Els coeficients positius indiquen que la variable té un efecte favorable sobre el creixement mentre que els negatius indiquen la relació contrària.

S'observa que les variables que més determinen el creixement són les precipitacions, la qual cosa concorda amb la majoria d'estudis fets amb *Pinus halepensis* (Ne'eman et al. 2000). Els mesos que surten significatius són: octubre i novembre de l'any anterior a l'any de formació de l'anell (OCT-1 i NOV-1), el gener del mateix any en què s'ha format l'anell (GEN) i els mesos de maig i juny també del mateix any (MAI i JUN). Per tant, hi ha dos grups de precipitacions: les de tardor-hivern i les de final de primavera. Pel que fa a les temperatures, sols surten significatius 2 mesos: la mitjana de les mínimes de gener (MMINGEN) i la mitjana de les màximes de maig (MMAXMAI).

Les pluges, com podíem esperar, tenen un efecte positiu sobre el creixement, és a dir, com més pluja més creixement i com menys pluja menys creixement. Per interpretar millor els resultats, però, cal referir-se a l'estudi fet per Nicault (1999), en què va fer un seguiment del creixement anual de *Pinus halepensis* del sud de França en relació amb les variables climàtiques. Aquest autor constata que el període d'activació del càmbium dura de 7 a 8 mesos: del març al setembre-octubre. Per tant, s'ha d'entendre que les pluges de tardor-hivern són importants en tant que contribueixen a la recàrrega d'aigua al sòl de forma molt notable, ja que és l'època de l'any que tendeix a ploure més amb diferència. Aquesta aigua serà aprofitada al començament de l'any següent quan l'arbre activi el càmbium, és a dir, quan comenci a créixer. La importància de la recàrrega d'aigua al sòl per a *Pinus halepensis* ja ha estat posada de manifest en altres estudis (Papadopoulos et al. 2001).

Quant a les precipitacions de final de primavera, el seu efecte positiu sobre el creixement es relaciona amb un increment en la demanda d'aigua a causa d'una major evapotranspiració durant aquest període (Papadopoulos et al. 2001). Així, si en aquests mesos plou l'arbre se'n veu molt afavorit.

Quant a les temperatures, s'observa que la temperatura mínima de gener té un efecte positiu sobre el creixement (a més temperatura més creixement). Aquest resultat és congruent amb l'obtingut per Nicault et al. (2001), qui observa que unes temperatures baixes a l'hivern (en aquest cas, però, especialment al febrer), independentment de les precipitacions, poden reduir fortament l'inici del creixement, la qual cosa probablement seria deguda a un retard en l'activació del càmbium (Ne'eman et al. 2000).

Nicault et al. (2001) també comenta que l'impacte d'un es baixes temperatures al febrer s'observa clarament el 1956, any en què aquest autor troba molts anells absents en les seves cronologies. En aquest sentit cal dir que en les cronologies de *Pinus halepensis* de Menorca, si bé s'hi troben pocs anells absents per a aquest any, sí resulta ser un any singularment estret. El fet que el mes de febrer també fos molt fred a Menorca (5,7 °C de temperatura mitjana quan la mitjana per a aquest mes és de 10,7 °C) fa pensar que aquesta temperatura també va provocar una reducció del creixement. Per tant, si bé a la funció resposta surt que són les temperatures baixes de gener les que més limiten el creixement, no vol dir que per a determinats anys siguin uns altres mesos d'hivern els més influents en el creixement (el gener d'aquell any no va ser fred; la temperatura mitjana fou de 12,1 °C, 1,6 °C més que la mitjana per a aquest mes).

Per la seva banda, l'efecte negatiu de la temperatura màxima de maig pot relacionar-se, juntament amb la comentada precipitació de maig, amb un augment de l'evapotranspiració quan les temperatures són altes al mes de maig i plou poc, la qual cosa limita el creixement.

Cal dir que el fet que surtin poques temperatures significatives no vol dir necessàriament que no juguin un paper important en el creixement. Així, per exemple, la fase de repòs en el creixement a l'estiu que presenta *Pinus halepensis* (Nicault 1999) s'ha d'entendre com una adaptació a l'època de sequera (Nicault et al. 2001) en què les temperatures són sempre altes cada any. Llavors, si l'arbre no entrés en fase de repòs transpiraria massa i tindria problemes d'embòlia. Ara bé, com que l'arbre simplement no creix mai en aquesta època, és lògic que les temperatures (i les precipitacions) no surtin significatives en l'anàlisi.

## Conclusions

A partir de l'establiment de 5 cronologies de *Pinus halepensis* a Menorca s'ha pogut estudiar la variabilitat en el creixement en gruix que presenta aquesta espècie a l'illa.

Els pins de Menorca tenen un creixement bastant semblant. Hi ha, però, un component de variabilitat lligat a fenòmens d'autocorrelació espacial, els quals són deguts probablement a unes condicions microclimàtiques o ambientals (com per exemples topogràfiques) diferents per a cada indret.

Hi ha arbres, emperò, el creixement dels quals és molt clarament diferent al de la resta a causa de pertorbacions locals, com per exemple una tala del sotabosc o la nevada de 1956.

L'anàlisi de les relacions creixement-clima posa de manifest que el patró de creixement dels pins ve determinat sobretot per les precipitacions, concretament les de l'època precedent a la formació de l'anell (mesos de tardor-hivern) i les de final de primavera. Les temperatures, per la seva banda, tenen un efecte menor, i sols s'han detectat significatives les de gener i les de maig.

## Agraïments

Agraesc a Joan Pretus el fet d'haver-me proposat de realitzar aquest estudi, així com la dedicació i l'esforç que hi ha dipositat. Vull agrair també a Emilia Gutiérrez les seves aportacions en els diferents aspectes de la dendrocronologia.

I finalment vull agrair la beca que m'ha proporcionat l'Institut Menorquí d'Estudis per realitzar aquest treball.

## Bibliografia

- Aniol, R. W. "Tree ring analysis using CATRAS". *Dendrochronologia* 1 (1983): 45-53.
- Cook, E.; i Kairiukstis, L. *Methods of dendrochronology. Application in the environmental sciences*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1990.
- Cook, E.; Varem-Sanders, T.; Bosch, O.; i Krusic, P. *Program Library version 2.1, User's Manual. The international Tree-Ring Data Bank*. Laboratory of Tree-Ring Research. Tucson: University of Arizona, 1996.
- Fritts, H. C. *Tree rings and climate*. Londres: Academic Press, 1976.
- Guiot, J. "The bootstrapped response function". *Tree Ring Bulletin* 51 (1991): 39-41.
- Guiot, J.; i Goeury, C. "PPPbase, a software for statistical analysis of paleoecological and paleoclimatological data". *Dendrochronologia* 14 (1996): 295-300.
- Gutiérrez, E. "Dendrocronología de *Fagus sylvatica*, *Pinus uncinata* y *Pinus sylvestris* en Catalunya". Tesi doctoral, 1986. Barcelona, Universitat de Barcelona.
- Holmes, R. "Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement". *Tree Ring Bulletin* 43 (1983): 68-78.
- Kaennel, M.; i Schweingruber, F. *Multilingual glossary of dendrochronology. Terms and definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian*. Birmensdorf: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research-Haupt, 1995.
- Legendre, P.; i Legendre, L. *Numerical Ecology*. Col·lecció Developments in Environmental Modelling, 20. Amsterdam: Elsevier, 1998.
- Ne'eman, G.; i Trabaud, L. (eds.) *Ecology, biogeography and management of Pinus halepensis and P. brutia forest ecosystems in the Mediterranean basin*. Leiden: Backhuys Publishers, 2000.
- Monserud, R. "Time-series analyses of tree-ring chronologies". *Forest Science* 32 (1986): 349-372.
- Nicault, A. "Analyse de l'influence du climat sur les variations inter et intra-annuelles de la croissance radiale de pin d'Alep (*Pinus halepensis*



- Mill.) en Provence calcaire”. Tesi doctoral, 1999. Marsella, Université de Droit, d'Économie et des Sciences d'Aix-Marseille III.
- Nicault, A.; Rathgeber, C.; Tessier, L.; i Thomas, A. “Observations sur la mise en place du cerne chez le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.): confrontation entre les mesures de croissance radiale, de densité et les facteurs climatiques”. *Ann. For. Sci.* 58 (2001): 769-784.
- Papadopoulos, A.; Serre-Bachet, F.; i Tessier, L. “Tree ring to climate relationships of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in Greece”. *Ecologia Mediteranea* 27 (2001): 89-98.
- Schweingruber, F. *Tree-rings. Basics and applications of dendrochronology*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1988.
- Stokes, M.; i Smiley, T. *An introduction to tree-ring dating*. Chicago: University of Chicago Press, 1968.