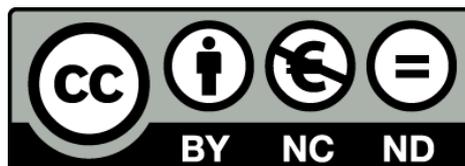


**Dendroecología de *Pinus halepensis* Mill.
en Este de la Península Ibérica e Islas Baleares:
Sensibilidad y grado de adaptación
a las condiciones climáticas**

Montserrat Ribas Matamoros



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- NoComercial – SenseObraDerivada 3.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - NoComercial – SinObraDerivada 3.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0. Spain License.**



DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE ECOLOGÍA AVANZADA BIENIO 1999-2001

**DENDROECOLOGÍA DE *PINUS HALEPENSIS* MILL.
EN ESTE DE LA PENINSULA IBERICA E ISLAS BALEARES:
SENSIBILIDAD Y GRADO DE ADAPTACIÓN
A LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS**

Tesis presentada por **Montserrat Ribas Matamoros** para optar al título de Doctora por la Universidad de Barcelona.

El presente trabajo se ha realizado bajo la dirección de la **Dra. Emilia Gutiérrez Merino** (Universidad de Barcelona).

Barcelona, Junio del 2006



CAPÍTULO III

Estructura de los bosques y análisis
de la red de cronologías de
Pinus halepensis Mill. en España

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como propósito principal el estudio dendroclimático de las masas forestales de pino carrasco españolas. No obstante, para evaluar el efecto que las variables climáticas ejercen sobre el crecimiento radial según el tipo de fitoclima, resulta imprescindible considerar la estructura de las masas forestales como factor modulador de las relaciones crecimiento-clima (Belingard y Tessier 1993).

La estructura del bosque modifica las condiciones microambientales (por ej. la humedad), de manera que altera las condiciones de disponibilidad hídrica para el crecimiento de los árboles, hecho que puede tener gran importancia para el desarrollo de los bosques de *P. halepensis* (Ne'eman y Trabaud 2000). En este sentido, hemos considerado necesario caracterizar la estructura demográfica y de tamaños de cada una de las masas forestales de la red de estudio. Además, el tipo y régimen de perturbaciones (incendios, explotación forestal, sequías, ganadería, etc.) pueden provocar cambios importantes en la estructura y en la composición específica de la comunidad vegetal a escala local (Terradas y Rodà (eds.) 2004). Por lo tanto, un estudio detallado debe incluir también la descripción del marco histórico en el que la masa forestal ha evolucionado; o dicho de otro modo, determinando la dinámica de las poblaciones (en la medida de lo posible) y su régimen de perturbaciones.

La estructura del bosque es la distribución en el medio físico de los árboles y su abundancia relativa a lo largo del tiempo y, como consecuencia de los cambios en dicha estructura tiene lugar la dinámica forestal (Veblen, 1992). La distribución de una masa forestal puede mostrarse mediante la descripción de los patrones verticales y horizontales, el tamaño de los árboles o de sus partes (volumen de la copa, diámetro del tronco, etc.), la abundancia relativa de individuos, la composición específica, o la combinación de éstos (Oliver y Larson, 1990).

Debido a que en los anillos de crecimiento de los árboles queda registrada información de todos aquellos acontecimientos que han afectado al árbol a lo largo de toda su vida, se puede inferir, en qué fase de la sucesión se encuentra un bosque y reconstruir su historia reciente a partir de la existencia de períodos de tiempo con mayor/menor crecimiento y con mayor/menor varianza (Gutiérrez *et al.* 1998). Durante la fase de iniciación, las tasas de crecimiento radial acostumbran a ser elevadas puesto que no existe demasiada competencia entre árboles. También es elevada la variabilidad en el crecimiento de los diferentes individuos porque las condiciones del entorno inmediato de cada uno condicionan notablemente su crecimiento. En cambio, en una fase posterior de la sucesión, cuando ya se ha cerrado el dosel del bosque, tanto el crecimiento medio como la variabilidad son bajos porque la competencia entre árboles limita su crecimiento y la propia estructura de bosque cerrado homogeniza las condiciones ambientales que afectan el desarrollo y crecimiento de los distintos individuos. Es justamente cuando el bosque se encuentra en estas condiciones, cuando la liberación de espacio y de recursos como consecuencia de una perturbación queda más claramente reflejada en las tasas de crecimiento bruto de los árboles. Además, bajo estas circunstancias,

las perturbaciones pueden posibilitar el proceso de reclutamiento de nuevos individuos (Bosch y Gutiérrez 1999).

El presente capítulo tiene como finalidad caracterizar los distintos tipos de masas forestales que *P. halepensis* forma en España (poniendo especial interés a sus características estructurales) y describir la evolución del crecimiento radial de cada masa forestal a lo largo de su historia reciente. De esta manera, se ha desglosado el capítulo en dos grandes apartados atendiendo a los objetivos derivados del propósito general. En el primero de ellos, se presentan las características geológicas, edafológicas y del tipo de vegetación de las 27 localidades de la red. A continuación, se describen las características estructurales generales de estas masas forestales y su estructura demográfica por edades y tamaños (DAP). También se resaltan, brevemente, los rasgos y eventos más relevantes de la historia reciente (últimos 100 años) y el régimen de perturbaciones de cada una de las poblaciones.

En el segundo apartado, se presentan las series de crecimiento estandarizadas (índices de crecimiento radial o cronologías) de cada bosque (una para cada población) y la descripción de sus características más relevantes, poniendo especial interés en manifestar el grado de sensibilidad que cada población ha presentado a las condiciones ambientales y, más concretamente, al clima.

LOCALIDADES DE ESTUDIO

Geología, edafología y vegetación

A continuación, se presenta una relación sintética de la geología, edafología y tipo de comunidad vegetal de cada localidad según las distintas fuentes de documentación (véase metodología). Estos aspectos son de esencial importancia, no sólo en lo que a la aportación de la información ambiental se refiere, sino también porque su comparación beneficiará nuestro trabajo. En la tabla II-1 se presenta, de forma esquemática, la geología y edafología de cada localidad de la red de estudio.

La posición de las Islas Baleares en el Mediterráneo, como continuación de las zonas externas de las Cordilleras Béticas, ha motivado que tradicionalmente sean consideradas como su prolongación estructural y paleogeográfica, especialmente de las zonas prebética interna y subbética. No obstante, las Baleares son un fragmento de las cadenas alpinas ligadas al *Tethys* que adquirieron su entidad actual a partir de la creación definitiva de las cuencas del Mediterráneo occidental durante el Plioceno. Atendiendo a la litología y la estructura geológica de Menorca, la isla se divide en dos mitades separadas por una línea SE-NO. La parte norte es una región muy accidentada, formada por multitud de pequeñas colinas redondeadas del Paleozoico o por mesetas del Mesozoico limitadas por tajos rocosos. La localidad situada dentro de esta región es MER (en el Monte Toro); en ella dominan los materiales silíceos del Pérmico, aunque también se encuentran dolomías calcáreas del Jurásico. Sin embargo, la mitad meridional de la isla (dónde encontramos TUR – Cala en Turqueta- y BIA- Cala Biniancolla) es una amplia superficie de conglomerados y calcarenitas del Mioceno superior, plana, poco elevada e inclinada suavemente hacia el mar.

La isla de Mallorca esta formada por tres zonas desde el punto de vista geológico y morfológico: la Serra de Llevant, los llanos centrales y la Serra de Tramuntana. Esta última se individualiza como un conjunto de estructuras, con disposición NE-SO, que afectan a materiales que van desde el Triásico (calizas, dolomías, margas y areniscas) hasta el Mioceno medio. Está fundamentalmente formada por afloramientos de materiales calcáreos del Mesozoico, y en la localidad estudiada (BUN- Comuna de Bunyola) abundan las calizas y dolomías del Jurásico. La zona central de la isla (dónde se sitúa BON – Santuari de Bonany) es bastante llana (con algunas colinas) y está ocupada por depósitos terciarios postorogénicos y cuaternarios entre los que afloran materiales (margas, conglomerados, calizas y areniscas) del Mioceno (Terciario). La tercera localidad estudiada, MON (P.N. Mondragó), se encuentra en una cala situada al SE de la isla. Los materiales que predominan son calizas del Mioceno superior (Terciario) y depósitos relacionados con la red fluvial del Cuaternario.

Las Pitiüses (Eivissa y Formentera), desde el punto de vista geológico son enteramente calcáreas. Eivissa presenta dos arrenlamientos que discurren en dirección SO-NE: uno septentrional (dónde se ubica JOA – Sant Joan de Labritja) y el otro meridional (dónde encontramos JOS – Sa Talaia de Sant Josep). Formentera es una isla de relieve suave; en su extremo suroccidental se encuentra BAR (Es Cap de Barbaria).

En Catalunya, la Cordillera Costero-Catalana discurre paralelamente a la costa, separando el Mediterráneo de la depresión del Ebro, y constituyendo una unidad geológica que se descomponen en tres grandes unidades morfoestructurales: la Cordillera Prelitoral, la Depresión Prelitoral y la Cordillera Litoral.

La Cordillera Litoral, que linda con el mar, aparece atravesada en su parte central por el río Llobregat, quedando dividida en dos sectores: un macizo paleozoico al Noreste (Serra de Collserola) y el Massís del Garraf al suroeste. El Massís del Garraf, dónde se ubica GAR, es un mosaico tectónico lleno de fracturas y dislocaciones de un bloque que está inclinado hacia el suroeste. Está constituido por terrenos mesozoicos, principalmente cretácicos. La mayor parte del macizo es de naturaleza caliza o dolomítica, y se encuentra fuertemente carstificado por la acción erosiva del agua sobre las rocas calcáreas (fenómenos de corrosión superficial y subterránea). Podríamos decir, en resumen, que la geología de la zona está formada por una cubierta gruesa y compacta de dolomías y calcáreas del Jurásico y Cretáceo que reposan sobre materiales paleozoicos. En superficie, es frecuente encontrar arenas y limos del Cuaternario deltático (Panareda 1986). En el reborde noroccidental de dicho macizo (dónde se ubica CER – Santa María de Cervelló) encontramos conglomerados silíceos con cantos de cuarzo del Buntsandstein (Triásico).

Al norte de la Cordillera Prelitoral se extiende la fosa tectónica correspondiente a la Depresión Prelitoral (Vallès y Penedès), donde se encuentra LLA (La Llacuna); y situada en la zona más interior de la fosa, QRL (Querol). En LLA dominan las arcillas dolomíticas y dolomías arcillosas del Keuper (Triásico superior), mientras que en QRL los materiales son fundamentalmente calizas y calcarenitas del Terciario inferior ilerdense.

La cuenca terciaria del Ebro tiene forma triangular. La delimitan claramente unos rebordes montañosos: por el norte, los Pirineos; por el suroeste, la cordillera Ibérica; y por el sureste, las Cadenas Costero-Catalanas. Los materiales que la llenan se formaron por endorreísmo, no sólo gracias a la aridez del clima sino también al levantamiento tectónico de las cordilleras marginales durante las fases de plegamiento intraterciarias. En resumen, la Depresión del Ebro está mayoritariamente ocupada por terrenos del Terciario continental, Paleógeno y Mioceno, además del Cuaternario. En esta depresión se sitúan cuatro localidades. Una, en el complejo escalonado de glacis-terrazas fluviales del sur de la Sierra de Alcubierre (MIR- Miramón); otra, ubicada al norte de la Sierra de Alcubierre (PNF – Vedado de Peñaflo), dónde se encuentran plataformas calcáreas con bancos de calizas, limos, margas y alguna pasada yesífera que enlaza con la formación yesífera de la zona de Zaragoza; la tercera se encuentra en la zona miocena de los Monegros, cerca de Bujaraloz, dónde predominan los relieves tabulares de calizas y los yesos (RET – La Retuerta de Pina). Y por último, entre los depósitos correspondientes a la Depresión del Ebro también se encuentra la Serra del Montsant (MTS), constituida por una potente serie de conglomerados de matriz arenosa y cemento calcáreo. Los cantos son fundamentalmente calizos y dolomíticos, aunque pueden encontrarse también algunos cantos de cuarcita y de rocas plutónicas.

En la parte suroriental de la provincia de València se sitúa Los Isidros (ISI). Esta localidad se ubica en la parte más meridional de la Cordillera Ibérica y en las cercanías de la zona de transición entre esta última y la Cadena Bética, donde se encuentran principalmente sedimentos terciarios (calizas y margas).

Entre el Maestrazgo septentrional y la zona meridional del Bajo Aragón se sitúa Fuentespalda (FUE). Geológicamente, se encuentra enclavada en la zona plegada correspondiente al arco que enlaza la Cadena Ibérica con la Catalana. Esta formación está constituida principalmente por conglomerados poligénicos de cemento calcáreo, con intercalaciones de areniscas.

La Serra de Enguera (ENG) se ubica en la provincia de Albacete y forma parte del Sistema Ibérico Valenciano. En la localidad estudiada se encuentran algunos depósitos del Jurásico debajo de los materiales calcáreos del Cretácico inferior y del superior.

La Serra de Maigmó (MAI) está ubicada dentro del Dominio Prebético; en concreto se encuentra en la parte oriental de las zonas externas de las Cordilleras Béticas, en la provincia de Alacant. Predominan las calizas, margas y microconglomerados del Cretácico albéense y del Cretácico superior. Un poco más al sur y en la costa, en una zona de escasos relieves formada principalmente por terrenos cuaternarios (dunas) encontramos GDM (Guardamar del Segura).

Al sur de la provincia de Albacete, en una zona enclavada en el Prebético externo y al sur de la cobertura tabular de la Meseta se encuentra Ayna los Luisos (AYN), donde apoyadas sobre materiales del Triásico superior se encuentran calizas y dolomías del Jurásico (Dogger).

La localidad murciana (ARC –Sierra de Archivel) se sitúa en el Dominio Subbético medio, el cual pertenece a la unidad morfoestructural conocida como Cordilleras Béticas. Éstas, son cadenas de plegamiento alpino afectadas por fallas de escala regional y con actividad remanente desde el Mioceno Superior. Los materiales geológicos de la zona se originaron en el Jurásico Inferior o Lías (Mesozoico), aunque también se encuentran materiales margosos originados desde el Cretácico Inferior hasta el Oligoceno, con intercalaciones de areniscas y calizas del Eoceno. La masa forestal estudiada se encuentra en la rambla del río Parriel, de manera que los materiales que se encuentran son arenas y gravas producto de la erosión y arrastre del Cuaternario más antiguo y de los relieves actuales.

El Mencal (MCL) es un monte de 1449 m de altitud situado al noroeste de la Sierra de Baza. Constituye una de las pocas formaciones netamente individualizadas. Destacan en el relieve por estar rodeado por las Depresiones (“hoyas”) de Guadix y Baza, que son sus límites naturales, excepto por el sureste donde casi presenta solución de continuidad con la Sierra de Filabres (Almería). En esta última formación se encuentra el Pinar de Bayarque (BYQ), el de mayor altitud de la red de localidades estudiadas (1280 m snm.). Dicha formación queda incluida dentro de la Cordillera Bética, unidad estructural que se extiende desde las costas de Cádiz hasta las costas meridionales de la región valenciana y que está constituida por terrenos mesozoicos y terciarios deformados por la orogénesis alpídica.

Atendiendo a la edafología de las localidades (Tabla III-1), la mayoría de ellas presentan suelos pobres con una casi nula o muy débil diferenciación de horizontes (entisoles y inceptisoles, respectivamente). El resto de localidades (n=6) presentan suelos secos con sales, yeso o acumulaciones de carbonatos (aridisoles).

Localidad	Provincia	Geología	Edafología
ARC	Murcia	Arenas y gravas aluviales del Cuaternario	Inceptisol Ordrept
AYN	Albacete	Calizas y dolomías del Jurásico	Aridisol Orthid
BAN	Girona	Margas azules y conglomerados del Eoceno (Terciario paleógeno)	Inceptisol Ordrept
BAR	Baleares	Calizas y Cuaternario (costra calcárea)	Entisol Orthent
BIA	Baleares	Conglomerados y calcarenitas del Mioceno (Terciario neógeno)	Inceptisol Ordrept
BON	Baleares	Margas, conglomerados, calizas y areniscas del Mioceno (Terciario neógeno)	Inceptisol Ordrept
BUN	Baleares	Calizas y dolomías tableadas, margas y areniscas del Jurásico	Entisol Orthent
BYQ	Almería	Rocas carbonatadas del Triásico medio	Aridisol Orthid
CER	Barcelona	Conglomerados silíceos con cantos de warzo del Buntsandstein (Triásico)	Entisol Orthent
ENG	València	Arenas, margas y arcillas del Cretácico inferior debajo de calizas y margas del Cretácico superior	Inceptisol Ordrept
FUE	Teruel	Conglomerados, arcillas y areniscas del Oligoceno (Terciario paleógeno)	Inceptisol Ordrept
GAR	Barcelona	Margas y dolomías del Cretácico inferior	Entisol Orthent
GDM	Alicant	Dunas cuaternarias	Entisol Orthent Fluvent
ISI	València	Calizas, margas, margas arcillosas rojas y areniscas del Jurásico-Cretácico inferior	Inceptisol Ordrept
JOA	Baleares	Depósitos del Cuaternario ("Marés")	Inceptisol Ordrept
JOS	Baleares	Calizas del Cretácico inferior y depósitos del Cuaternario indiferenciado	Inceptisol Ordrept
LLA	Barcelona	Arcillas dolomíticas, dolomías arcillosas y margas con yesos ocasionales del Triásico superior	Inceptisol Ordrept
MAJ	Alicant	Calizas, margas y microconglomerados del Cretácico	Aridisol Orthid
MCL	Almería	Calizas grises y blancas localmente con módulos de sílex del Jurásico inferior	Aridisol Orthid
MER	Baleares	Margas, arcillas, calizas y dolomías del Triásico	Entisol Orthent
MWR	Zaragoza	Calizas y margas del Mioceno (Terciario neógeno)	Aridisol Gypsiorthid
MON	Baleares	Calizas del Mioceno (Terciario neógeno) y depósitos fluviales del Cuaternario	Inceptisol Ordrept
MTS	Tarragona	Conglomerados del Oligoceno (Terciario paleógeno)	Entisol Orthent
PNF	Zaragoza	Margas alternadas con algunas capas yesíferas del Terciario	Entisol Torrifluent
QRL	Tarragona	Calizas y calcarenitas bioclásticas del Paleógeno (Terciario paleoceno)	Inceptisol Ordrept
RET	Zaragoza	Yesos, margas y limos yesíferos del Mioceno (Terciario neógeno)	Aridisol Gypsiorthid
TUR	Baleares	Conglomerados y calcarenitas del mioceno (Terciario neógeno)	Inceptisol Ordrept

Tabla III-1. Geología y edafología de las localidades estudiadas según el Mapa de Geología de España (1:50.000) y el Sistema Español de Información de Suelos (SEIS.net). Los códigos asignados a cada localidad son los que se detallan en la Tabla 1.

La mayoría de localidades (n=13) presentan inceptisoles ochrepts, es decir, suelos normalmente de color claro, que suelen presentarse de forma habitual sobre materiales carbonatados, lutitas y calcáreas en lugares con un régimen de humedad típicamente mediterráneo (inviernos fríos y húmedos, y veranos secos y

calurosos). En FUE y ARC el suelo pertenece al grupo de los ochrepts fluents por haber sido desarrollado sobre materiales de aportación de las llanuras aluviales del Ebro y del Parriel, respectivamente.

La gran mayoría de localidades que presentan entisoles (n=8) por sus posiciones geomorfológicas que favorecen la erosión y el rejuvenecimiento continuado del perfil mediante la pérdida de materiales (orthents); aunque en GDM el suelo está formado encima de aportaciones aluviales recientes que entierran los materiales preexistentes (fluvent).

Finalmente, las dos localidades situadas en los Monegros (MIR y RET), junto con las ubicadas más al sur de la Península (MCL, BYQ, AYN y MAI) presentan aridisoles orthids debido, en primer lugar, a que en estos lugares no existe agua disponible para la vegetación durante largos períodos del año (régimen árido) y, en segundo lugar, a que presentan afloramientos de yeso (MIR y RET) o carbonatos (MCL, BYQ, AYN y MAI).

En la tabla III-2 se presentan las series de vegetación de las localidades estudiadas según el mapa de series de vegetación de Rivas-Martínez (1987). La mayoría de localidades (n=17) se encuentran dentro del piso mesomediterráneo, pero también hay algunas localidades que pertenecen a los pisos supramediterráneo (MIR, RET, FUE y BYQ) y termomediterráneo (BIA, MON, JOA, JOS, BAR y GDM).

En MIR y RET, situadas en la Depresión del Ebro, encontramos las series supra-mesomediterráneas de la sabina albar. Éstas, corresponden en su estado maduro a bosques más o menos abiertos que poseen un estrato arbustivo muy denso (*Juniperion thuriferae*); cuando se degradan, dejan paso a pastizales y tomillares ralos de posible aprovechamiento ganadero.

Las series supramediterráneas de la carrasca o encina rotundifolia corresponden, en el estadio maduro del ecosistema, a un bosque denso de encinas que puede albergar sabinas y enebros. Los bosques de estas series no suelen tener un sotobosque muy denso, y en caso de tenerlo, es pobre en especies arbustivas del bosque mediterráneo esclerófilo. En las serie de FUE (*Junipero thuriferae-Quercetum rotundifoliae*) aparecen sobretodo sabinas albares (*Juniperus oxycedrus*, *J. hemisphaerica*, *J. thurifera*), son más escasos los arbustos espinosos caducifolios y prosperan diversos tipos de tomillares y salviares en el sotobosque. En cambio, la serie filábrico-nevadense (BYQ) es muy distinta por su flora y vegetación particular (*Festuca scariosa*, *Genista cinerea*, *Cystus reverchonii*, *Lavandula caesia*, etc.)

La mayoría de las localidades estudiadas se encuentran en el piso mesomediterráneo, dónde el termoclima oscila de los 17° a los 12° C y el ombroclima, sobretodo seco, puede llegar a con frecuencia al subhúmedo. En este piso climático encontramos las series de los encinares y las de los coscojares. Las primeras se corresponderían en su fase madura a bosques densos de encinas, albergando también otras especies (enebros, quejigos, etc.), pero la etapa de sustitución de máquia o garriga está muy generalizada en esta serie apareciendo fanerófitos perennifolios como *Quercus coccifera*, *Phyllirea angustifolia*, *Arbutus unedo*, *Rhamnus alaternus*, *Olea europaea*, *Pinus halepensis*, etc. Encontramos entonces la serie aragonesa, murciano-manchega, murciano-almeriense y setabense

semiárida de la coscoja, que se corresponde en su etapa madura a bosquetes densos de *Quercus coccifera* (*Rhamno lycioidis-Quercetum cocciferae*) en los que prosperan diversos espinos, sabinas, pinos, y otros arbustos mediterráneos (*Rhamnus lycioides*, *Pinus halepensis*, *Juniperus phoenicea*, *Juniperus oxycedrus*, *Daphne gnidium*, *Ephedra nebrodensis*, etc.)y, en áreas más cálidas, pueden albergar otros arbustos más termófilos (*Pistacea lentiscus*, *Ephedra fragilis*, etc.).

Localidad	Serie de vegetación
ARC	(<i>Bupleuro rigidi</i>)- <i>Quercetum rotundifoliae</i> (Br.Bl & O. Bolós 1957 (em. Nom.))
AYN	(<i>Bupleuro rigidi</i>)- <i>Quercetum rotundifoliae</i> (Br.Bl & O. Bolós 1957 (em. nom.))
BAN	<i>Viburno tini-Quercetum ilicis</i> (Br.-Bl. 1936)
BAR	<i>Cenoro tricocci-Pistacietum lentisco</i> (O. Bolós & Moliner 1985)
BIA	<i>Prasio maioris-Oleetum sylvestris</i> (O. Bolós 1969)
BON	<i>Cyclamini balearici-Quercetum ilicis</i> (O. Bolós 1965)
BUN	<i>Cyclamini balearici-Quercetum ilicis</i> (O. Bolós 1965)
BYQ	<i>Adenocarpo decorticans-Quercetum rotundifoliae ass. Nova</i> (Rivas-Martínez 1985)
CER	<i>Viburno tini-Quercetum ilicis</i> (Br.-Bl. 1936)
ENG	(<i>Bupleuro rigidi</i>)- <i>Quercetum rotundifoliae</i> (Br.Bl & O. Bolós 1957 (em. nom.))
FUE	<i>Junipero thuriferae-Quercetum rotundifoliae</i> (Rivas Godoy 1959)
GAR	<i>Viburno tini-Quercetum ilicis</i> (Br.-Bl. 1936)
GDM	Geomacroserie de las dunas y arenales costeros
ISI	(<i>Bupleuro rigidi</i>)- <i>Quercetum rotundifoliae</i> (Br.Bl & O. Bolós 1957 (em. nom.))
JOA	<i>Cenoro tricocci-Pistacietum lentisco</i> (O. Bolós & Moliner 1985)
JOS	<i>Cenoro tricocci-Pistacietum lentisco</i> (O. Bolós & Moliner 1985)
LLA	<i>Viburno tini-Quercetum ilicis</i> (Br.-Bl. 1936)
MAI	(<i>Bupleuro rigidi</i>)- <i>Quercetum rotundifoliae</i> (Br.Bl & O. Bolós 1957 (em. nom.))
MCL	<i>Paeonio coriaca-Quercetum rotundifoliae</i> (Rivas-Martínez 1964)
MER	<i>Cyclamini balearici-Quercetum ilicis</i> (O. Bolós 1965)
MIR	<i>Juniperetum phoeniceo-thuriferae</i> (Br.-Bl. & O. Bolós 1957)
MON	<i>Prasio maioris-Oleetum sylvestris</i> (O. Bolós 1969)
MTS	<i>Viburno tini-Quercetum ilicis</i> (Br.-Bl. 1936)
PNF	<i>Rhamno lycioidis-Quercetum cocciferae</i> (Br.-Bl. & O. Bolós 1957)
QRL	<i>Viburno tini-Quercetum ilicis</i> (Br.-Bl. 1936)
RET	<i>Juniperetum phoeniceo-thuriferae</i> (Br.-Bl. & O. Bolós 1957)
TUR	<i>Cyclamini balearici-Quercetum ilicis</i> (O. Bolós 1965)

Tabla III-2. Tipo de vegetación de las 27 localidades de estudio según el mapa de series de vegetación de Rivas-Martínez (1987). Los códigos asignados a cada localidad son los que se detallan en la Tabla 1.

Todas las localidades con series termomediterráneas se encuentran en las Islas Baleares. En estas series, las carrascas y encinas no pueden prosperar debido a la aridez del clima, y la vegetación potencial corresponde a bosquetes y bosques de talla no muy elevada, en los cuales, el dosel arborecente lo constituyen lentiscos (*Pistacea lentiscus*), acebuches (*Olea europaea* subsp. *sylvestris*), pinos (*Pinus halepensis*), etc. Además, parece que la encina no puede competir con la coscoja (*Quercus coccifera*) ya sea por el tipo de suelos poco profundos o de costra

calcárea, o por la aridez del clima. En cada una de las tres grandes islas encontramos una serie de vegetación particular con sus peculiaridades sucesionales y florísticas. En las Pitiüses, destaca la serie de la sabina negra (*Juniperus turbinata*), aunque en la actualidad son más extensas las masas de pino carrasco. También destacaremos que la serie termomediterránea de Mallorca abarca tan sólo la zona meridional más seca y cálida de esta isla, puesto que en la zona septentrional encontramos la serie de bosques de encinas.

Por último, en GDM encontramos una repoblación mixta de *P. halepensis* y *P. pinea* realizada en un sistema dunar, de manera que esta localidad pertenece a la geomacroserie de las dunas y arenales costeros, presentando una serie de vegetación muy particular.

Estructura de las poblaciones forestales

En la tabla III-3 se presentan las características estructurales de los 27 bosques estudiados y el promedio de todos ellos. En primer lugar, se muestran dos medidas de la abundancia relativa de los árboles (densidad y área basal). Después, se exponen el diámetro (DAP) medio de la masa forestal y la altura media de los árboles adultos, junto con su desviación estándar para dar a conocer las dimensiones de los árboles y la altura del dosel arbóreo. A continuación, se presenta el rango de edades de los árboles. Y por último, se indica de modo cualitativo si la masa forestal presenta sotobosque y/o regeneración. En las tres localidades ubicadas en Menorca (MER, TUR y BIA), más que estudiar masas forestales, las series de crecimiento radial proceden de árboles que han crecido de forma más o menos aislada dentro de una misma zona geográfica, tal y como indican las elevadas desviaciones estándar del crecimiento medio (Cuadro 25). Por este motivo, sólo se presentan valores de la altura y el rango de edades de los árboles. Tampoco se ha podido reconstruir su régimen de perturbaciones, aunque sí se han destacado aquellos años en los que la mayoría de árboles han presentado cambios súbitos en su crecimiento radial atribuibles a las condiciones climáticas.

La densidad de las poblaciones estudiadas oscila, en general, entre los 181 y los 894 pies/ha, siendo el valor medio de 537,05 pies/ha. No obstante, en cuatro localidades (ARC, GDM, MCL y BAR), la densidad forestal es inferior a los 200 pies/ha. Muy probablemente, la baja densidad forestal de BAR se deba a la sobreexplotación maderera del bosque en el pasado. Ésta, ha convertido la antigua masa forestal en un matorral con presencia de algunos pocos grandes árboles dispersos (Cuadro III-4). En GDM, la baja densidad forestal podría atribuirse a las medidas de gestión realizadas en esta repoblación y a las limitaciones edáficas del lugar (dunas), que impiden la regeneración (Cuadro III-12). En el otro extremo (elevadísimas densidades) encontramos las poblaciones de pino carrasco. Todas ellas con regímenes de perturbaciones severos relacionados, en muchos casos con incendios forestales, donde las densidades superan los 800 pies/ha (ISI, GAR, FUE, y ENG), e incluso en algunos casos, los 1.000 pies/ha (LLA, QRL y MTS). El área basal promedio de las localidades es de poco más de 27,51 m²/ha, pero muchas localidades presentan áreas inferiores a los 20 m²/ha (GAR, ARC, GDM, MTS, CER, JOA, BON y MON). Destacan BAN, ENG, MAI, LLA, QRL, JOS y BUN por tener áreas basales elevadas (más de 35 m²/ha).

	ARC	AYN	BAN	BAR	BIA	BON	BUN	BYQ	CER	ENG
Densidad (pies / ha.)	175	975	650	75	---	425	325	425	350	850
Área basal (m ² / ha.)	17,42	31,15	39,19	26,30	---	16,76	35,62	22,94	16,20	36,01
D.A.P (cm)	27,13	10,90	19,86	64,82	---	37,18	57,19	24,02	22,95	11,48
DS (cm)	24,89	16,29	10,47	19,90	---	4,54	10,49	10,84	8,20	10,90
Altura (m)	9,57	13,68	13,54	13,13	---	14,69	13,22	8,57	13,50	8,80
DS (cm)	2,19	2,73	2,48	5,30	---	3,43	3,73	0,94	2,58	1,54
Rango edades (años)	69 - 116	104 - 169	52 - 95	80 - 160	39 - 78	58 - 99	91 - 158	55 - 131	53 - 111	103 - 149
Presencia sotobosque	Intermedio	Intermedio	Abundante	Poco	---	Intermedio	Abundante	Intermedio	Abundante	Intermedio
Presencia regeneración	Abundante	Abundante	No	Escasa	---	No	Escasa	Escasa	No	Abundante

	FUE	GAR	GDM	ISI	JOA	JOS	LLA	MAI	MCL	MER
Densidad (pies / ha.)	825	375	175	825	325	550	1200	575	125	---
Área basal (m ² / ha.)	31,95	11,71	13,32	33,35	12,82	44,80	36,55	36,26	29,87	---
D.A.P (cm)	18,14	18,56	30,47	19,18	18,94	25,89	20,48	27,54	54,92	---
STD (cm)	13,01	9,37	6,93	12,30	12,46	10,76	9,28	10,13	5,75	---
Altura (m)	7,47	10,87	15,10	9,01	14,33	12,71	7,42	11,17	8,40	13,39
STD (cm)	0,81	2,05	1,95	1,74	3,50	3,29	1,38	1,63	2,01	2,414
Rango edades (años)	69 - 132	39 - 59	82 - 93	44 - 88	51 - 92	61 - 92	42 - 73	79 - 115	64 - 142	36 - 81
Presencia sotobosque	Abundante	Intermedio	Poco	Poco	Abundante	Abundante	Abundante	Intermedio	Intermedio	---
Presencia regeneración	Escasa	Escasa	No	Escasa	Escasa	Escasa	No	Escasa	No	---

	MIR	MON	MTS	PNF	QRL	RET	TUR	Promedio	STD
Densidad (pies / ha.)	300	300	1100	300	1350	325	---	537,50	356,46
Área basal (m ² / ha.)	30,90	17,12	19,04	23,12	38,91	24,93	---	27,51	9,66
D.A.P (cm)	34,92	31,27	10,66	30,56	16,98	23,49	---	27,61	13,92
STD (cm)	10,05	3,62	10,46	7,20	8,95	17,77	---	---	---
Altura (m)	7,45	11,61	7,38	7,88	7,26	10,92	13,47	10,82	2,78
STD (cm)	1,66	2,60	1,52	1,34	1,12	4,35	2,294	---	---
Rango edades (años)	104 - 190	69-105	48 - 93	111 - 146	47 - 61	100 - 159	64 - 109	67 - 115	23 - 35
Presencia sotobosque	Poco	Abundante	Intermedio	Abundante	Intermedio	Poco	---	---	---
Presencia regeneración	Escasa	No	Escasa	Escasa	Abundante	Abundante	---	---	---

Tabla III-3. Características estructurales de las 27 masas forestales y del conjunto (promedio) de la red de poblaciones de *P. halepensis* en España. Para más detalles, ver texto. Los códigos asignados a cada localidad son los que se detallan en la Tabla 1.

Aunque en general los árboles más viejos (MIR, PNF, MCL, GDM, BAR, BON y BUN) se encuentran en las localidades con mayores DAP (más de 30 cm), no se ha detectado ninguna relación significativa entre ambos parámetros. El árbol más viejo, con más de 171 años, se ha encontrado en MIR (Zaragoza), seguido de uno en BUN (Serra de Tramuntana, Mallorca), que tiene más de 160 años. Además, en las otras dos localidades situadas en la provincia de Zaragoza (RET y PNF) los árboles también superan los 150 años de edad y, en muchas de las poblaciones, se han encontrado individuos de más de 140 años. En general, la altura promedio de los árboles es moderada (de poco más de 10 m) y las localidades con los árboles más bajos, en promedio, son probablemente las más expuestas a fuertes vientos y con sustratos menos profundos (PNF, MIR y FUE) o bien, las localidades con bosques más jóvenes (MTS, LLA y QRL).

La mayoría de lugares presentan un sotobosque bastante desarrollado y espeso, y muy probablemente ésta sea la causa que, en la actualidad, la regeneración es escasa o nula en muchas de las masas forestales. Sin embargo, en otras poblaciones la causa seguramente sea a la elevada densidad de árboles.

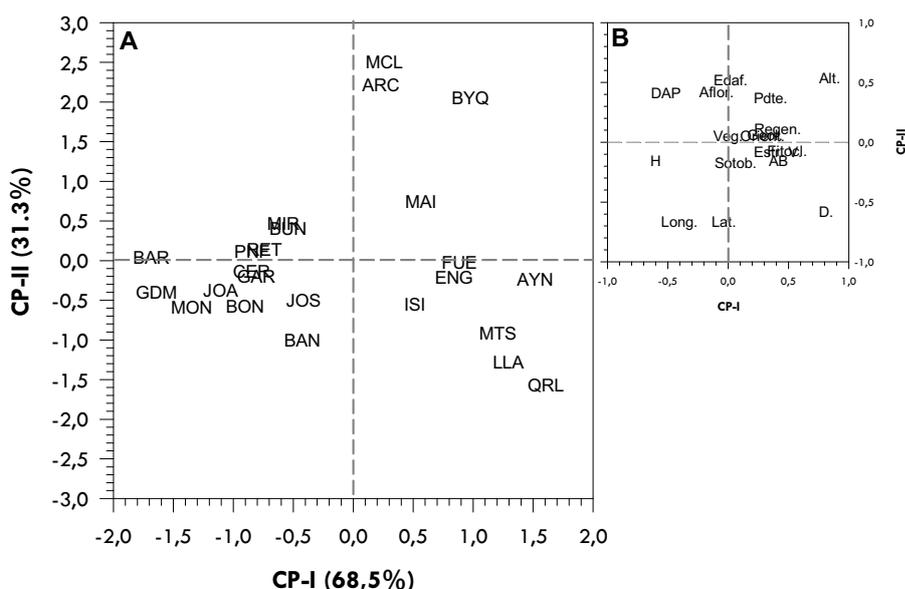


Figura III-1 A. Diagrama de ordenación obtenido en el análisis de componentes principales (ACP) basado en la matriz de correlaciones entre las características estructurales de las 27 masas forestales estudiadas en España. **B.** Contribución que cada una de las variables consideradas en el ACP tiene en los dos primeros ejes de ordenación. Las abreviaciones son: Lat., latitud; Long., longitud; Alt., altitud; Veg., tipo de vegetación según la clasificación de Rivas-Martínez; Fitocl., tipo de fitoclima según la clasificación de Allué; Geol., geología de la localidad según el Mapa de Geología de España (1:50.000); edad., edafología según la clasificación USDA del SEISS.net; Orient., orientación del bosque; Pdte., pendiente del terreno; Estr. V., número de estratos verticales arbóreos; Aflor., porcentaje de afloramientos rocosos; D., densidad de la masa forestal; AB, área basal de la masa forestal; DAP, diámetro a la altura del pecho medio de los árboles; Alt., altura media de los árboles; Sotobosque, presencia e importancia del sotobosque; y Regen., abundancia de plántulas dentro de la masa forestal. Para más detalles, ver texto y tabla III-3.

La figura III-1A muestra el diagrama de ordenación obtenido en el ACP basado en las correlaciones entre las características estructurales de las 27 poblaciones estudiadas. En la figura III-1B se muestra la contribución de cada una de las variables consideradas en la ordenación de las localidades (Figura III-1A). La matriz de datos inicial del análisis ha sido la tabla III-3, una vez transformadas las variables cualitativas en categóricas (presencia de sotobosque y de regeneración). Puede observarse que las localidades quedan distribuidas en el diagrama atendiendo principalmente a su posición geográfica (latitud y longitud), la altitud, la densidad de árboles, su DAP y las características del sustrato (tipo de suelo, porcentaje de afloramientos rocosos y pendiente). En primer lugar, se distingue el grupo formado por las tres localidades más meridionales (MCL, BYQ y ARC). También quedan situadas próximas en el diagrama de ordenación QRL, LLA y MTS debido, en gran medida, a la elevada densidad de estos bosques. Sin embargo, no pueden distinguirse de forma clara grupos en el resto de localidades a pesar de quedar ordenadas en el diagrama atendiendo a criterios geográficos, es decir, que las localidades más próximas geográficamente aparecen más cercanas entre sí en el diagrama (por ej. las poblaciones de las Baleares presentan valores negativos y elevados respecto al CP-I).

Relaciones entre variables estructurales

La figura III-2A presenta la relación existente entre la altura y el DAP de los 405 árboles seleccionados en la red de estudio del pino carrasco en España. Puede observarse el buen ajuste ($p \leq 0,001$) de función de Richards a los entornos superior e inferior de la nube de puntos, poniéndose de manifiesto la existencia de unas alturas límites de los pinos cuando éstos tienen diámetros grandes (de más de 40 cm). El límite superior es de 22,14 m y el inferior, de 9,5 m.

En la figura III-2B se han graficado los valores promedio del DAP y la altura de los árboles de cada localidad. Puede verse que existen algunas localidades concretas en las que los árboles alcanzan la altura máxima (22,14 m) y otras, en las cuáles los árboles a pesar de tener diámetros grandes se han quedado en la altura del límite inferior (9,5 m). La localidad que queda aislada del resto por presentar diámetros excesivamente grandes (círculo en blanco) es BAR (Formentera). Delimitan el contorno inferior del ajuste las dos poblaciones más meridionales (BYQ y MCL), las tres ubicadas en los Monegros (MIR, RET y PNF), y las dos situadas en la provincia de Tarragona (MTS y QRL). Las localidades que definen el límite superior, es decir, en las que encontramos los árboles más altos son TUR, MER, BUN, GDM, BON, JOA, BAN y CER. Tal y como se ha apuntado antes, es muy probable que los árboles sean más bajos en localidades con mayor predominio de fuertes vientos y con sustratos más precarios como sucede en los Monegros, aunque también podría estar relacionado con las distintas regiones de procedencia de la especie (Gil et al. (eds.) 1996).

La figura III-3 muestra la relación entre la altura media de los árboles y su edad por localidades. La función que mejor define la relación entre ambas variables optimizando la altura de los árboles, es decir, la que mejor se ajusta al contorno superior del conjunto de puntos es una hiperbólica ($p \leq 0,001$). Destaca en la grafica

que, justamente las localidades en las que los árboles son en promedio más viejos, son las que tienen, en promedio, los árboles más bajos (MIR, RET, PNF, AYN, BUN, ENG y BAR); probablemente como consecuencia de la pérdida de la apicalidad por el desigual desarrollo de las ramas principales en direcciones divergentes y/o perturbaciones (Ceballos y Ruíz de la Torre 1979).

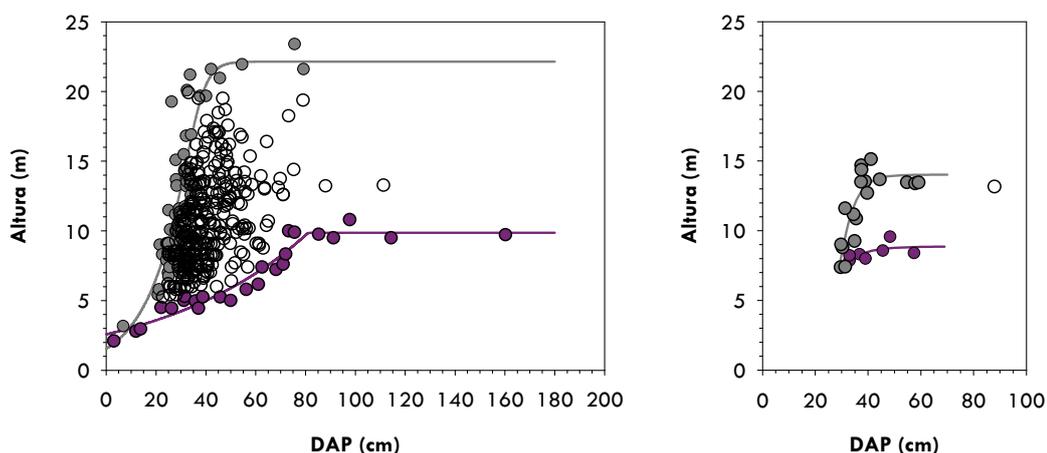


Figura III-2 A. Relación entre el diámetro a 1,30 m de la base (DAP) y la altura de los 405 árboles estudiados en la red de localidades de pino carrasco en España. B. Relación entre el DAP y la altura promedios de las 27 poblaciones de la red de pino carrasco en España. Para más detalles, ver texto.

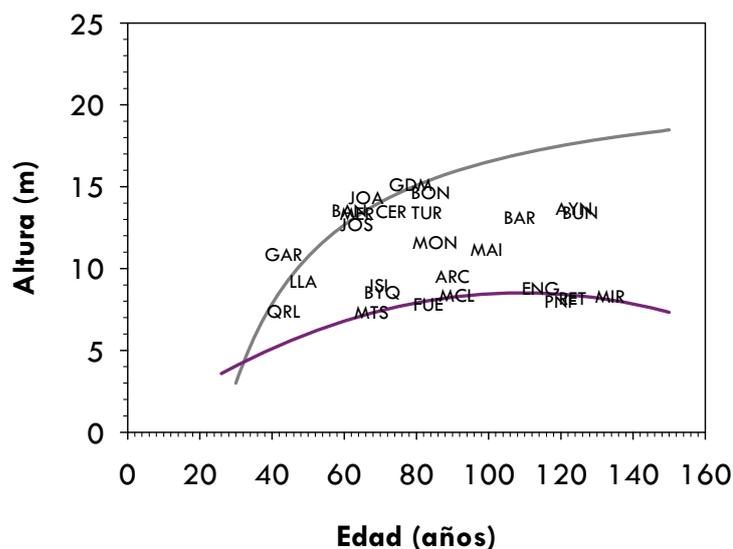


Figura III-3. Relación entre la edad media y la altura promedio de las 27 localidades de la red de poblaciones de pino carrasco en España. Para más detalles, ver texto.

No se ha encontrado ninguna relación entre el DAP y la edad promedio de los árboles en las localidades estudiadas (Figura III-4). Es decir, que árboles con DAP muy iguales pueden tener edades muy diferentes según la población. En general, destacan las tres poblaciones de la provincia de Zaragoza (RET, MIR y PNF), junto con BUN, AYN y ENG, por ser claramente más viejas que el resto.

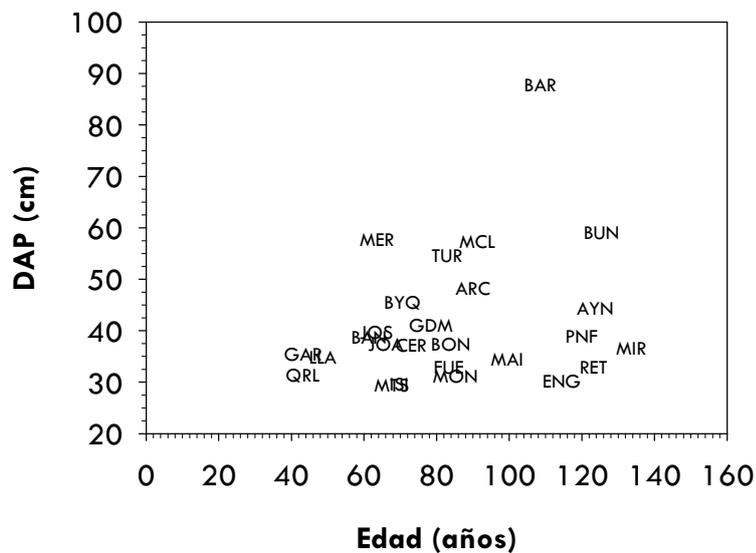


Figura III-4. Relación entre la edad media y el DAP promedio de las 27 localidades muestreadas. Para más detalles, ver texto.

La figura III-5A muestra la relación entre el DAP y el grosor de la corteza para el conjunto de 405 árboles, y la figura III-5B muestra la misma relación para los valores promedio de las localidades. Se observa la posible existencia de unos valores límites dentro de los cuales puede encontrarse cualquier pino carrasco.

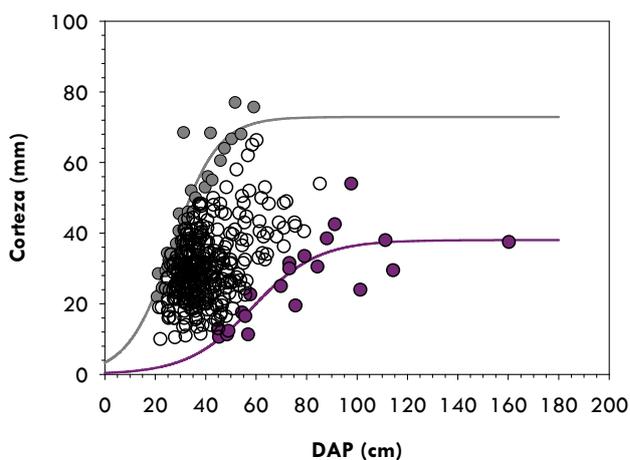
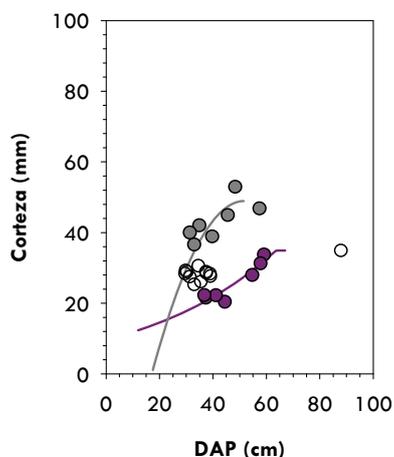


Figura III-5 A. Relación entre el diámetro a 1,30 m de altura (DAP) y el grosor de la corteza de los 405 árboles estudiados en la red de localidades de pino carrasco en España.

Estos límites, vienen definidos por funciones logísticas ($p \leq 0,001$), de manera que al aumentar el DAP, el grosor de corteza es mayor; primero los incrementos son muy bajos y van aumentando hasta llegar a los grosores de corteza máximos para la especie (72,90 mm). Por otro lado, la existencia de dos umbrales (límites superior e inferior) nos conduce a pensar que el grosor de la corteza de un árbol puede venir determinado por el fenotipo y



la historia del régimen de perturbaciones del bosque, puesto que muchas de las localidades en los que los árboles presentan cortezas más gruesas, son las que presentan un régimen de incendios severo (ARC, MCL, BYQ, LLA, QRL; FUE y JOS), hecho que parece interpretarse en relación a la adaptabilidad de la especie a los incendios.

Figura III-5 B. Relación entre el DAP medio y el grosor de la corteza promedio de las 27 localidades muestreadas. Para más detalles, ver texto.

La figura III-6 presenta la relación entre el DAP y el radio la albura (área conductora) de los 405 árboles estudiados. Los ajustes al contorno superior e inferior de la nube de puntos indican que a medida que aumenta el DAP del árbol también aumenta su área conductora a un ritmo exponencial, hasta que para DAP de unos 50 cm el radio conductor se estabiliza aproximadamente entre los 135 y 245 mm. Se ha encontrado una tendencia lineal negativa, aunque no significativa, de la relación entre la albura media y la edad promedio de las localidades (Figura III-7). De manera que las localidades de la Península que en promedio tienen los árboles mas viejos (MIR, RET, PNF, ENG y AYN) son las que en promedio también tienen menores áreas conductoras. Destacan BAR (Formentera) y BUN (Serra de Tramuntana, Mallorca) por tener árboles viejos pero con elevadas áreas conductoras. Este resultado, posiblemente se deba al mayor diámetro de los árboles en estas localidades, especialmente en BAR, puesto que cuando se compara el DAP con el porcentaje de albura (Alb./DAP) no se detecta ninguna relación, existiendo para un mismo valor de DAP un rango muy amplio de alburas. No obstante, la relación entre el porcentaje de albura y el DAP promedio de cada población sigue una relación logarítmica indicando que la disminución del porcentaje en albura es más rápida para DAP más pequeños (resultados no mostrados).

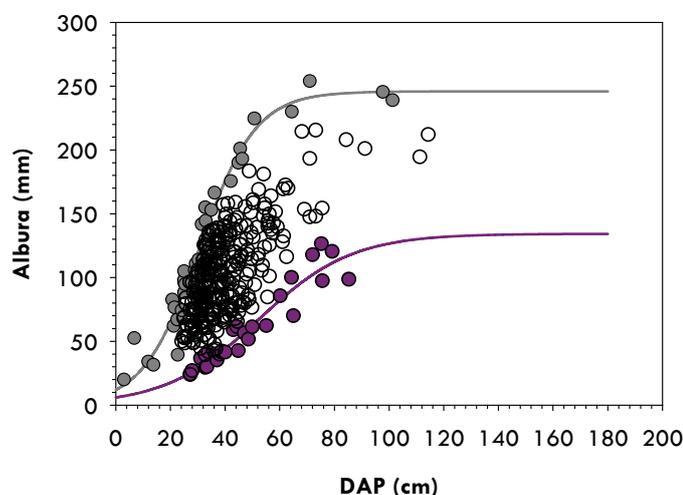


Figura III-6. Relación entre el diámetro a 1,30 m de la base (DAP) y el radio de albura de los 405 árboles estudiados en la red de localidades de pino carrasco en España. Para más detalles, ver texto.

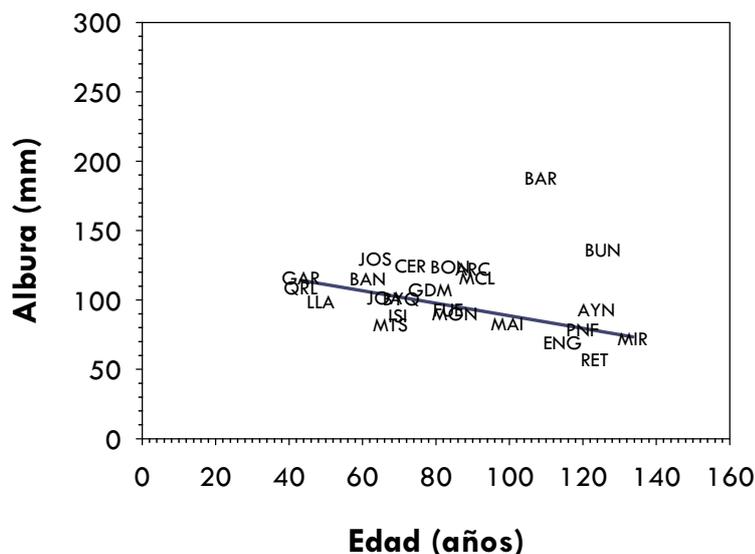


Figura III-7. Relación entre la edad y el radio de albura (valores promedio) de las 27 poblaciones de la red de pino carrasco establecida. Para más detalles, ver texto.

Por último, también se ha encontrado una relación entre la albura y el grosor de la corteza de los árboles (Figura III-8) que indica que existen dos grupos de localidades: el primero, constituido por las que presentan alburas bajas para el elevado grosor de corteza que tienen, entre las cuales destacan las dos localidades más meridionales junto con las que han estado afectadas por uno o más incendios (ARC, LLA, FUE, MAI, ENG, RET y QRL). Y el segundo, formado por las localidades ubicadas en el norte peninsular (BAN, CER, GAR) junto con algunas de las Islas Baleares (BUN, BON y BAR). Estos resultados hacen pensar en una posible correspondencia de estas relaciones en los parámetros estudiados con las regiones de procedencia del pino carrasco en España.

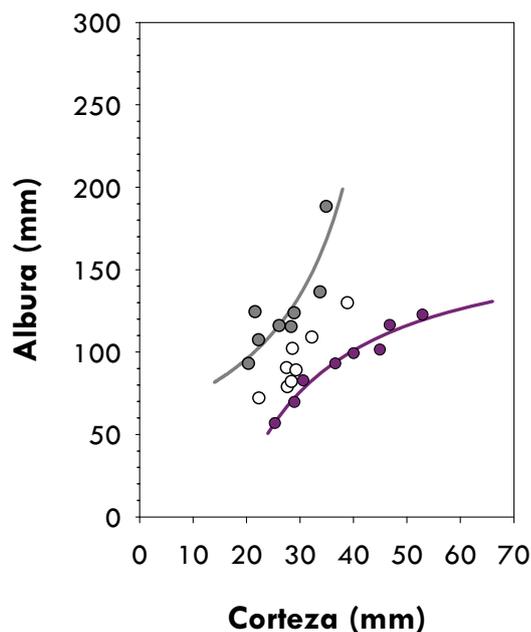


Figura III-8. Relación entre el grosor de la corteza y el radio de albura promedio de las 27 localidades estudiadas. Para más detalles, ver texto.

Estructura demográfica y régimen de perturbaciones de las masas forestales

A continuación se describen brevemente la estructura demográfica por edades y por tamaños (DAP), y la historia reciente (con su régimen de perturbaciones) de cada población. Dichos análisis no se han podido realizar para las masas forestales menorquinas (MER, TUR y BIA) puesto que, tal y como se ha indicado antes, no se corresponden estrictamente con bosques, sino que se trata de árboles dispersos que han crecido dentro de una misma área geográfica. De estas localidades, únicamente destacamos los rangos de edades y de DAP de los individuos estudiados y los resultados del análisis de los aumentos en las series de crecimiento bruto. Los resultados obtenidos indican que en la red de localidades encontramos una gran diversidad de bosques atendiendo a: el número de cohortes y su edad (estructura demográfica), los usos que de ellos se han hecho, el grado de explotación forestal, y, como consecuencia, sus estructuras verticales y espaciales.

La mayoría de los bosques descritos presentan dos cohortes de árboles: una, constituida por árboles más o menos viejos (normalmente de más de 50 años y muchas veces de más de 100), y otra, formada por la clase joven, que en algunos casos constituye la clase regeneradora (es decir, en la que todavía están reclutándose individuos). En general, a parte de estas tres poblaciones, se ha observado que la regeneración del pino carrasco es inexistente o muy escasa en aquellas poblaciones en las que el sotobosque es más espeso y desarrollado (BAN, BON, BUN, CER, FUE, GAR, JOA, JOS, MON y PNF). Tampoco presentan regeneración ENG, ISI, LLA, MTS y QRL, probablemente, debido a la elevada densidad de individuos; ni en MIR y MCL, a causa del uso ganadero de la masa forestal. No obstante, destacan tres bosques (MCL, BAR y GDM) que presentan una sola cohorte de árboles viejos. Se trata de las localidades que presentan un clima más árido y en ellas no se ha encontrado ni un sotobosque desarrollado ni regeneración de pino carrasco. Todos estos resultados (envejecimiento futuro de dichas poblaciones, junto con las condiciones climáticas de elevada aridez y mediterraneidad del clima -al menos en BAR y GDM-) nos conduce a considerar que estas localidades son muy vulnerables a sufrir en un futuro próximo problemas de erosión y desertificación.

Muchos de los bosques estudiados presentan alteraciones en las tasas de crecimiento radial y/o en su estructura demográfica como consecuencia de incendios forestales. GAR es un bosque de colonización post-incendio y QRL, MAI, ARC, BUN Y FUE han sido afectados con absoluta certeza por incendios a lo largo del último siglo. Otro tipo de perturbación muy habitual en los bosques de pino carrasco estudiados son las entresacas. La mayoría de los bosques estudiados presentan aumentos en las tasas de crecimiento del tronco debidos a entresacas madereras (AYN, BAR, BON, BUN BYQ, ENG, FUE, MIR, MON y RET). También están representados en la red los bosques utilizados para la extracción de resina (AYN).

En algunos lugares (FUE, MIR y MAI) no se ha podido inferir el número de cohortes que constituyen los bosques. Para ello sería necesario realizar un estudio que incluyera un muestreo de campo más exhaustivo, puesto que las clases de tamaño y edades se han ido desdibujando a lo largo de la historia reciente del

bosque. Destaca especialmente FUE, por ser una masa forestal con una estructura muy heterogénea (elevada densidad y diversidad de tamaños y edades) consecuencia de un severo régimen de perturbaciones de origen antrópico desde hace más de 100 años.

El análisis de las series promedio de crecimiento bruto de cada bosque y su desviación estándar muestran que, algunos de los 27 bosques estudiados, presentan una disminución considerable en su crecimiento radial en las últimas dos o tres décadas. Además, estas poblaciones se encuentran dentro de dos áreas geográficas: (i) en el extremo más árido de las Islas Baleares, es decir en el sur de Mallorca y Pitiüses (MON, JOA, JOS y BAR), y (ii) en las tres localidades ubicadas en la provincia de Zaragoza (PNF, MIR y RET). Este resultado apuntaría hacia un posible decaimiento de las masas forestales de pino carrasco en algunas regiones de España puesto que estos bosques presentan estructuras demográficas, situaciones geográficas e historias, muy distintas. Cabe destacar que, en estas dos regiones, la sequía estival es extremadamente severa y, además, en la región de los Monegros, encontramos un clima con una continentalidad muy marcada y, por lo tanto, con inviernos muy rigurosos. Por otro lado, el hecho que no se hayan detectado disminuciones en el crecimiento de las poblaciones más sureñas podría indicar la existencia de ecotipos o regiones de procedencia (Gil *et al.* (eds.) 1996) más resistentes a las condiciones climáticas adversas dentro del área de distribución de la especie en España. Tampoco debemos olvidar que los árboles más viejos son los de las poblaciones de la cuenca del Ebro, y la elevada longevidad podría estar relacionada con dicha disminución en el crecimiento radial.

Por otro lado, la detección de los cambios súbitos en el crecimiento de la mayoría de los árboles ha desvelado por un lado, los años en los que el clima ha limitado o favorecido más el grosor del anillo de crecimiento en cada lugar; y por otro, nos ha indicado qué poblaciones han presentado una mayor afectación del clima a lo largo de su historia reciente. En este sentido, despuntan como poblaciones altamente sensibles al clima ARC, AYN, ENG, GAR, MIR y RET. A pesar que en general el crecimiento de los árboles de la red estudiada presenta una elevada sensibilidad a las condiciones climáticas (especialmente a las precipitaciones), se ha detectado que en algunas de ellas, la historia del bosque y su régimen de perturbaciones han desdibujado el efecto sobre el crecimiento de las condiciones climáticas en los años climáticamente más extremos (FUE, LLA, MAI, MCL, MON, MTS y QRL). Los resultados obtenidos revelan que la planificación y la explotación del bosque pueden modificar substancialmente la estructura y la dinámica de las comunidades forestales, y/o aumentar su sensibilidad a las condiciones climáticas.

La figura III-9 muestra que, el número de años en los que más de un 20% de los árboles de la red de cronologías (n=383 árboles) ha sido considerablemente más elevado durante la segunda mitad del siglo XX que en la primera mitad del mismo. Destacan los años 1881, 1917, 1947, 1957-60, 1969-72, 1986-89 y 1994-96, como años en los que el crecimiento del pino carrasco en España ha sido fuertemente influenciado por las condiciones climáticas.

La mayoría de estos años puede relacionarse con aumentos en el crecimiento después de años con fases extremadamente cálidas de la ENSO (1964,

1966, 1982-83, 1992-94) y/o con fases negativas de la NAO (1969, 1989).

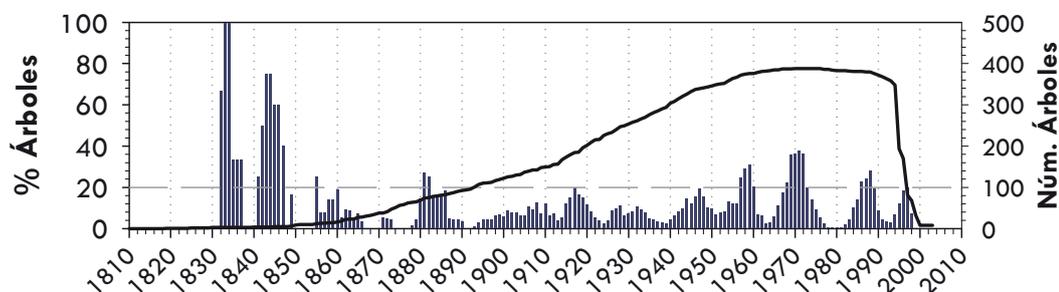


Figura III-9. Porcentaje anual de árboles con aumentos súbitos en el crecimiento radial en las 27 masas forestales y tamaño muestral. Para más detalles, ver texto.

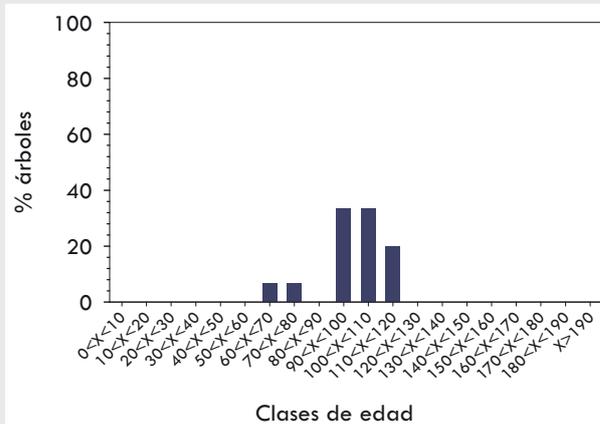
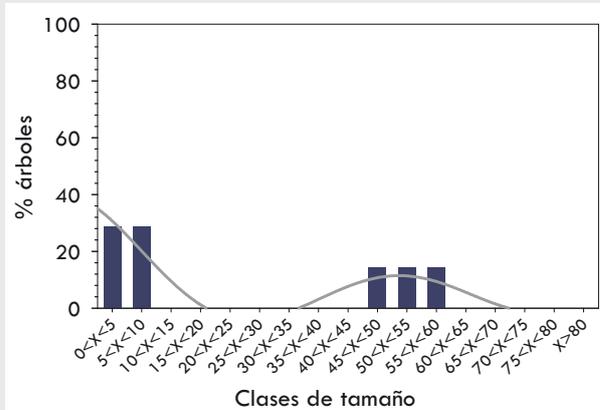
La tabla III-4 muestra el incremento de radio anual medio ($\mu \pm DS$) para cada una de las localidades de la red de *P. halepensis* en España en las tres últimas décadas. Destaca que en muchas de las poblaciones la producción anual en los últimos 30 años no supera 1,0 mm de radio (GAR, FUE, ENG, AYN, PNF, MIR, GDM, BYQ, ARC, RET, MAI y BON), siendo especialmente baja en ARC Y AYN (cerca de 0,5 mm de radio anuales). Por otro lado, las poblaciones con mayores incrementos radiales son BAN, QRL y MER (tres poblaciones relativamente jóvenes, dónde las condiciones climáticas son relativamente frescas en comparación con el resto de localidades de la red de estudio).

Localidad	Provincia	Promedio 1950-1999	DS 1971-1999
BAN	Girona	2,51	0,73
CER	Barcelona	1,43	0,64
GAR	Barcelona	0,95	0,25
LLA	Barcelona	1,70	0,52
QRL	Tarragona	2,04	0,60
MTS	Tarragona	1,15	0,31
FUE	Teruel	0,91	0,40
ENG	València	0,60	0,36
MER	Baleares	2,86	1,30
ISI	València	1,05	0,40
TUR	Baleares	1,53	0,67
BIA	Baleares	1,57	0,74
JOA	Baleares	1,60	0,77
JOS	Baleares	1,57	0,65
BAR	Baleares	1,43	0,72
AYN	Albacete	0,53	0,27
PNF	Zaragoza	0,74	0,34
MIR	Zaragoza	0,68	0,44
GDM	Alacant	0,73	0,38
MCL	Granada	1,58	0,58
BYQ	Almería	0,99	0,42
ARC	Murcia	0,42	0,39
RET	Zaragoza	0,85	0,36
MAI	Alacant	0,79	0,38
BUN	Baleares	1,27	0,32
MON	Baleares	1,57	0,60
BON	Baleares	0,78	0,24

Tabla III-4. Tasa radial de incremento anual del tronco (promedio y desviación estándar) para el período 1971-1999 en cada una de las 27 poblaciones de la red de pino carrasco en España.

La producción de madera anual del conjunto de poblaciones en los últimos 50 años ha sido, en promedio, de $1,436 \pm 0,625$ mm de radio. A pesar que, durante los primeros 20 años de dicho intervalo el crecimiento medio fue algo superior que en las tres últimas décadas ($1,264 \pm 0,583$ mm y $1,436 \pm 0,625$ mm anuales, respectivamente); las diferencias entre ambos no son significativas. Esta disminución se relaciona con el régimen de perturbaciones y dinámica forestal de cada bosque (ver cuadros más adelante), aunque tampoco se descarta una posible

ARC - SIERRA DE ARCHIVEL (MURCIA)



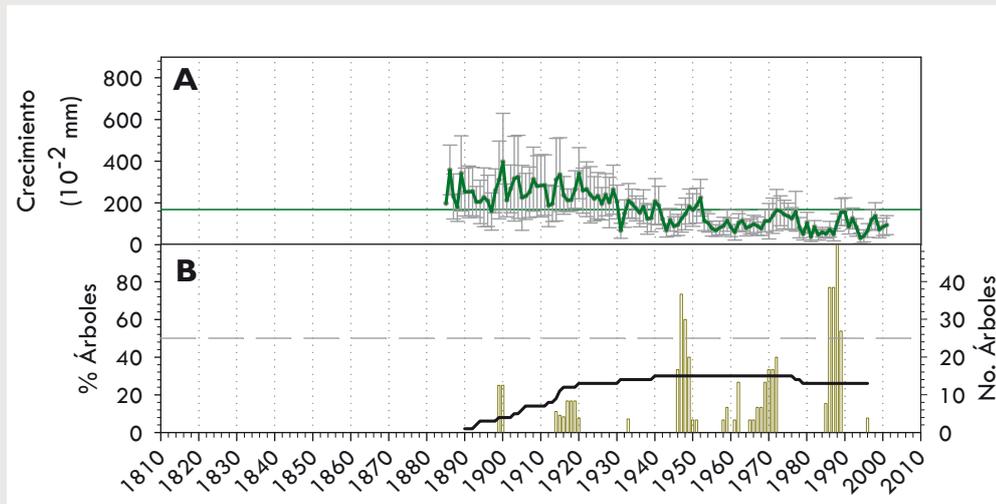
Bosque poco denso (175 pies/ha.) formado por dos cohortes de individuos: la que constituye el dosel arbóreo de la masa forestal (constituida por árboles de entre 70 y 120 años que tienen entre 45 y 60 cm de DAP); y la clase regeneradora, formada por individuos de menos de 15 cm de DAP.

La estructura actual del bosque y la reconstrucción de su historia reciente a través del grosor de los anillos de crecimiento permiten diferenciar dos fases. Desde finales del s. XIX hasta aproximadamente 1920, el bosque se encontraba en fase de iniciación y los árboles presentaban incrementos anuales de crecimiento en grosor del tronco elevados (2,6 mm/año). Posteriormente, a partir de 1940, la ele-

vada competencia entre los árboles queda manifiesta en la disminución de la tasa promedio de crecimiento radial (1,1 mm/año) y en su mayor sensibilidad a las condiciones climáticas. Entre ambas fases, el dosel del bosque se fue cerrando gradualmente tal y como indica la acusada disminución en las tasas de crecimiento.

En la actualidad, se trata de una masa forestal relativamente abierta (cobertura arbórea del 30% aproximadamente), con abundante regeneración. No obstante, la producción de madera de la clase adulta es muy baja, debido probablemente a la aridez del clima y a la elevada longevidad de los árboles.





Se han detectado dos aumentos súbitos en las tasas anuales de crecimiento radial estrechamente relacionados con una mayor disponibilidad hídrica. La elevada pluviometría de los años 1946-51 y del 1989 provocó que la mayoría de árbo-

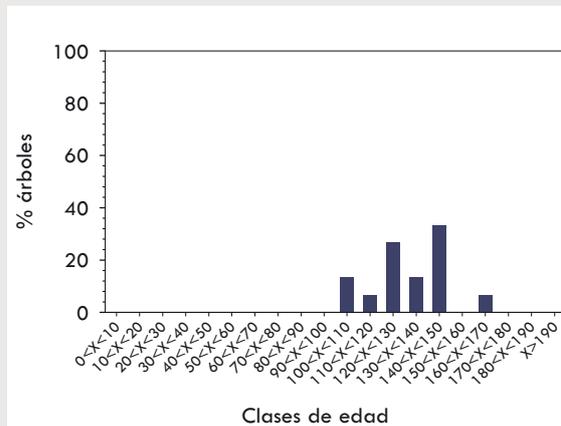
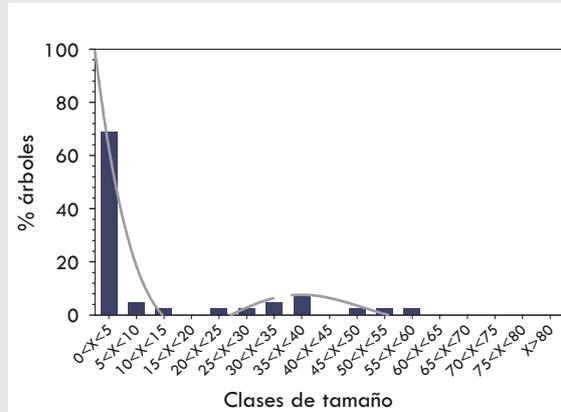
les produjeran anillos de crecimiento más anchos. Por el mismo motivo, sobresalen los años 1971-72, pero en este caso el número de árboles afectado fue menor quizá porque muchos de ellos estaban muy debilitados por la severa sequía de 1970 (135 mm anuales).

Por otro lado, los árboles situados en la parte más alta de la ladera presentaban cicatrices de antiguas quemaduras en la base de sus troncos que, atendiendo a los aumentos en las tasas de crecimiento, pudieron ser provocadas por un incendio a mediados de los años 1910.



Cuadro III-1. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en Sierra de Archivel (ARC, Murcia) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y tamaño muestral (número de árboles). La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

AYN - AYNA LOS LUISOS (ALBACETE)



Bosque con dos cohortes de individuos: la que constituye el dosel arbóreo y una muy abundante clase joven. La primera, está formada por árboles de entre 100 y 170 años, los cuales tienen entre 25 y 60 cm de DAP. La segunda, está constituida por individuos de menos de 15 cm de DAP, entre los que predominan los que tienen menos de 5 cm.

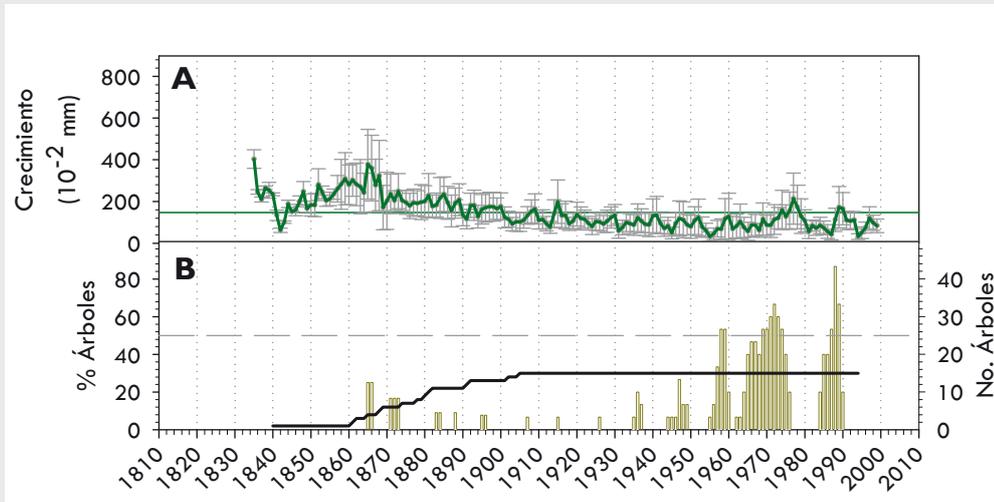
La estructura actual de la masa forestal y la reconstrucción de la misma a través del grosor de los anillos de crecimiento permiten distinguir dos fases en la historia reciente del bosque: durante la fase de iniciación, los árboles presentaban elevados incrementos anuales en grosor del tronco (2,1 mm/año) que fueron disminuyendo paulatinamente en las últimas décadas del siglo XIX;

en los últimos 100 años, el bosque ha permanecido en una fase avanzada de la sucesión en la que las tasas de crecimiento radial se han mantenido bajas, alrededor del 1,0 mm anual.

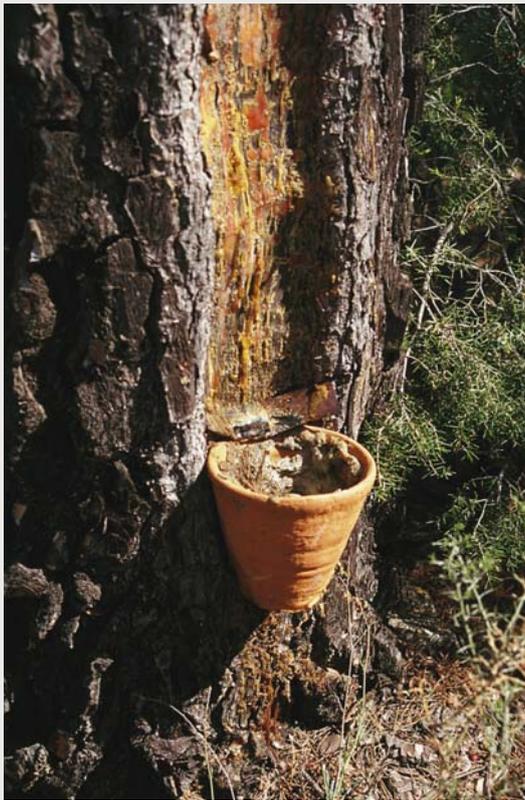
En las últimas décadas, se han detectado varios aumentos súbitos en las tasas de crecimiento radial de la mayoría de los árboles, de entre los que destacan los años 1958-59, 1968-73 y 1987-89. Dichos aumentos probablemente fueron causados por las condiciones climáticas, puesto que se trata de años muy lluviosos, destacando las elevadas lluvias del verano del 1969 y del 1989.

Por otro lado, a lo largo del siglo XIX y hasta la mitad del siglo XX, algunos árboles (menos del 20%) presentan aumentos súbitos en las tasas de





crecimiento, indicando que posiblemente el bosque se utilizó en el pasado para la

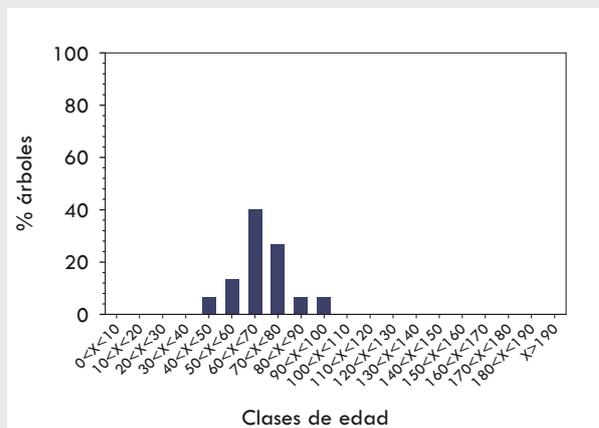
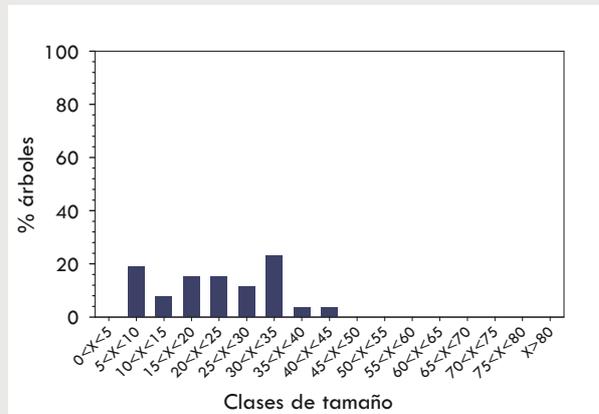


extracción de madera. De hecho, la falta de árboles de unos 40 cm de DAP en el bosque podría ser consecuencia de dichas talas. De la misma manera, los aumentos en el crecimiento detectados en las décadas de los 30 y los 40 pueden haber sido causados por las heridas realizadas para la extracción de resina, ya que todavía se encuentran en el bosque evidencias de la antigua resinífera.

En resumen, se trata de una masa forestal extremadamente densa (1050 pies/ha) a causa de la masiva regeneración que, posiblemente, ha tenido lugar en las últimas décadas. Consecuentemente, en la actualidad, no hay espacio para el establecimiento de nuevas plántulas y la producción de madera de la clase adulta es muy baja (alrededor de 1,0 mm anual).

Cuadro III-2. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en Ayna los Luisos (AYN, Albacete) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

BAN - BANYOLES (GIRONA)



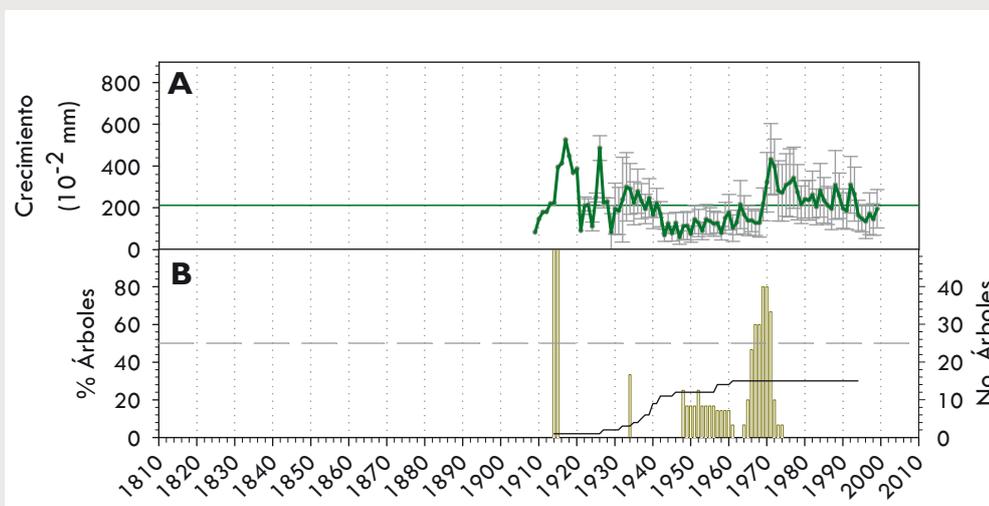
Bosque bastante denso (650 pies/ha) constituido por al menos dos cohortes de árboles. Una, formada por individuos de entre 40 y 95 años que tienen entre 25 y 45 cm de DAP; y una segunda cohorte de árboles que tienen entre 5 y 15 cm de DAP. No obstante, la distribución de frecuencias según clases de DAP no permite distinguir grupos de árboles. En la actualidad, no hay regeneración de pino carrasco puesto que la cobertura del sotobosque es demasiado elevada para permitir el establecimiento de plántulas de una especie de carácter heliófilo como es el pino carrasco. Sin embargo, sí hay regeneración de encinas.

Tal y como indica la serie de crecimiento bruto medio, entre los años 1940 y 1970 la densidad del bosque

era muy elevada y la competencia entre individuos fue, muy probablemente, alta. Como consecuencia, la tasa de crecimiento promedio para este período es de tan sólo 0,63 mm/año. El aumento brusco en el crecimiento bruto y, sobretodo, en la variabilidad (desviación estándar) en el crecimiento de los distintos árboles detectado en 1969 indica que en este año alguna perturbación causó una gran mortalidad, liberando así espacio y recursos, y permitiendo el establecimiento de nuevos individuos que en la actualidad constituyen la segunda cohorte. Aunque no se ha podido establecer la causa de dicha perturbación, el reclutamiento fue favorecido por las condiciones climáticas:

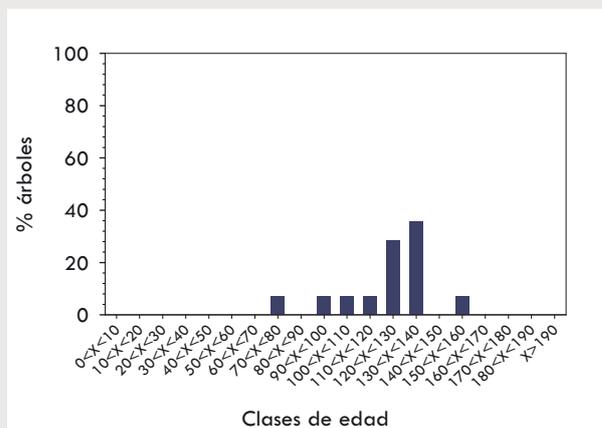
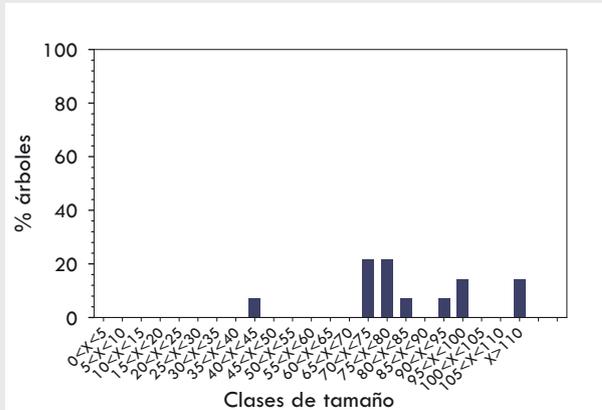


el máximo pluviométrico registrado lo tiene 1969 con 1177,5 mm anuales, y las precipitaciones de verano superaron los 150 mm desde 1968 hasta 1972.



Cuadro III-3. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en Banyoles (BAN, Girona) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

BAR – ES CAP DE BARBARIA (FORMENTERA)



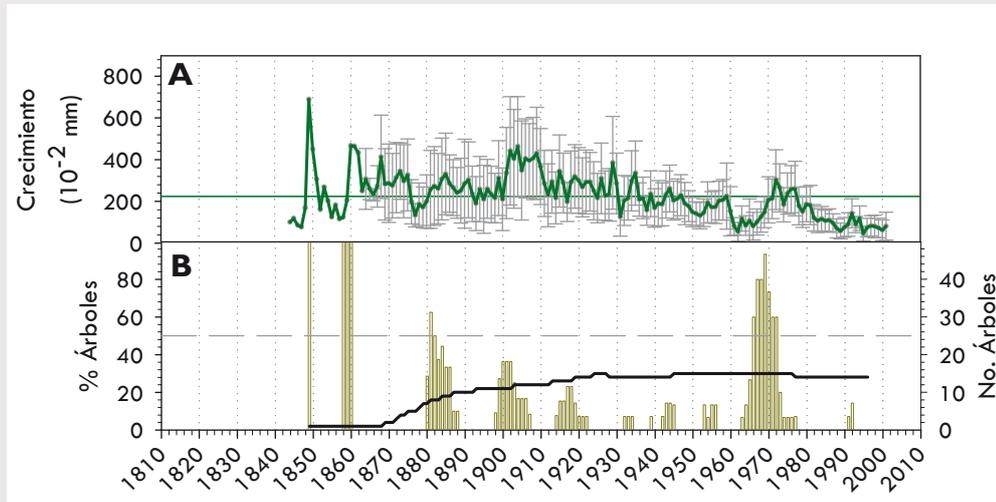
A pesar del amplio rango de diámetros encontrado en BAR, según la distribución de frecuencias por clases de edad, la población estudiada está formada por una sola cohorte de individuos de entre 90 y 160 años.

En la actualidad, la regeneración es muy escasa probablemente debido a las severas condiciones climáticas y edáficas, puesto que se trata de una masa forestal suficientemente abierta (75 pies/ha) para permitir la regeneración de la especie. Además, el estrato arbustivo tampoco está demasiado desarrollado, tal y como indica la baja área basal del lugar calculada considerando todas las especies arbustivas de más de 1,30 m de altura (27,56 m²/ha).

Las tasas de crecimiento medio de la población se han mantenido alrededor de los 2,0 mm radiales anuales con algunos pequeños incrementos, entre los que destacan los de los años 1881, 1900 y 1920 que probablemente se deban a antiguas talas. También destaca el aumento en el crecimiento radial causado en los años 1966-1972 por las elevadas precipitaciones y, además, en 1972 por las bajas temperaturas en verano. En los últimos 20 años, la producción de madera es muy baja (tasa promedio de crecimiento radial de 0,9 mm anual).

En resumen, la estructura demográfica de BAR, constituida básicamente por una única cohorte vieja, ha sido el resultado de de una sobreexplo-



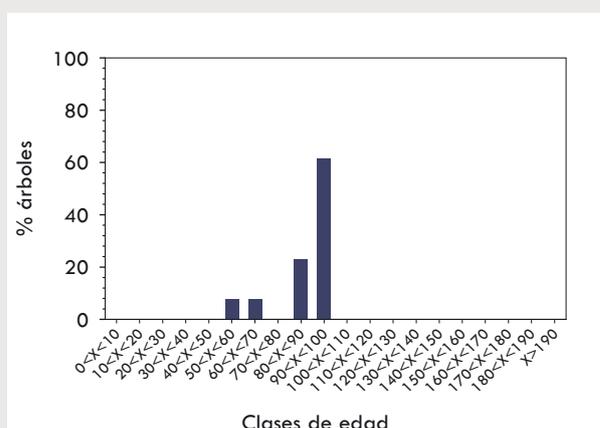
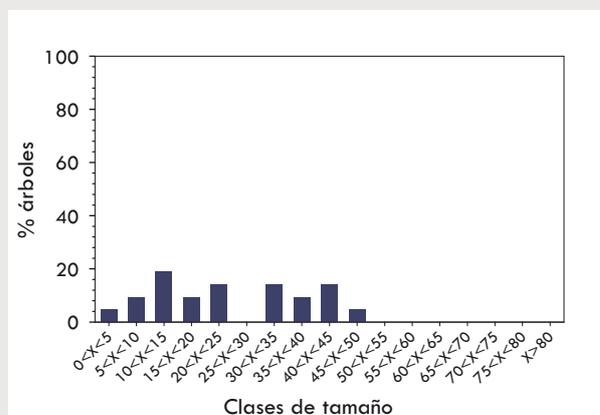


tación maderera. Ésta, se realizó hasta la década de los 30, en un lugar en el que las condiciones climáticas probablemente son demasiado áridas para permitir la regeneración natural y la recuperación de la población.



Cuadro III-4. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en Cap de Barbaria (BAR, Formentera) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

BON - SANTUARI DE BONANY (MALLORCA)

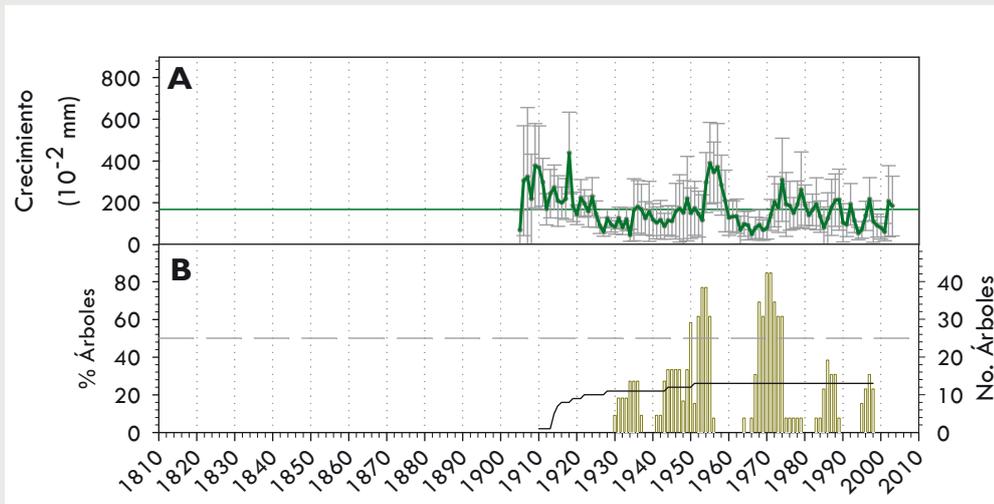


En el histograma de frecuencias por clases de DAP se distinguen dos grupos: el formado por árboles que tienen entre 30 y 50 cm de DAP, y el de los que tienen menos de 25 cm de DAP. La datación de los árboles del primer grupo indica que, éstos, tienen entre 65 y 100 años. Es probable que los árboles del segundo grupo no tengan más de 30 años, puesto que ésta es la última liberación de recursos detectada en el análisis de la curva media de crecimiento bruto. En la actualidad, no existe regeneración debido a la elevada densidad del bosque (625 pies/ha) y al espeso sotobosque.

La serie promedio de crecimiento bruto indica que el bosque presentó incremen-

tos radiales muy bajos entre 1920 y 1970 (0,9 mm de radio anuales). No obstante, a finales de la década de los 40 y principios de los 50, el crecimiento aumentó coincidiendo con un período climáticamente favorable (primaveras muy lluviosas). Entre los años 1968 y 1974, un porcentaje muy elevado de árboles presenta un aumento considerable en las tasas de crecimiento radial; de manera que, éstas se han mantenido alrededor de los 1,5 mm anuales de radio desde la fecha indicada hasta la actualidad. El motivo de este incremento pudo ser climático, ya que los años 1969, 1972 y 1973 fueron especialmente lluviosos, con un período seco estival inexistente y, además, en 1972 las temperaturas máximas fueron bajas. Éste sería un ejemplo de los efectos que puede tener una perturbación de tipo climático en el desarrollo de una masa forestal si coincide con posteriores perturbaciones de origen

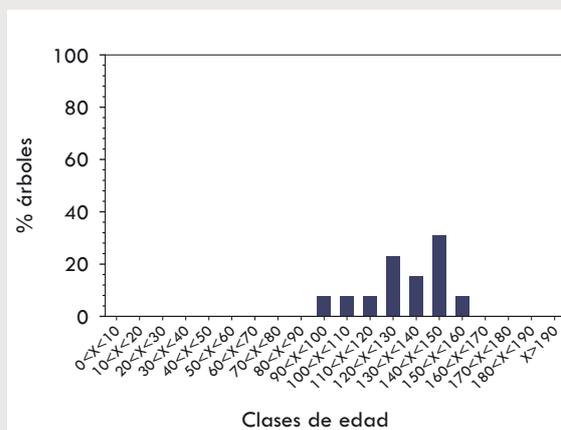
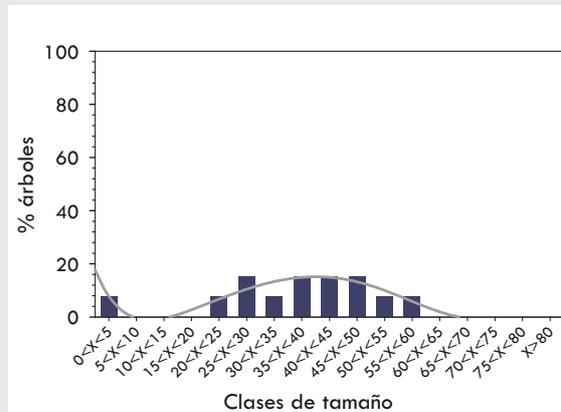




antrópico, como por ejemplo entresacas o aclareos del sotobosque que, según el análisis realizado, han tenido lugar a mediados de los años 80 en la localidad estudiada.

Cuadro III-5. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en Santuari de Bonany (BON, Mallorca) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

BUN – COMUNA DE BUNYOLA (MALLORCA)

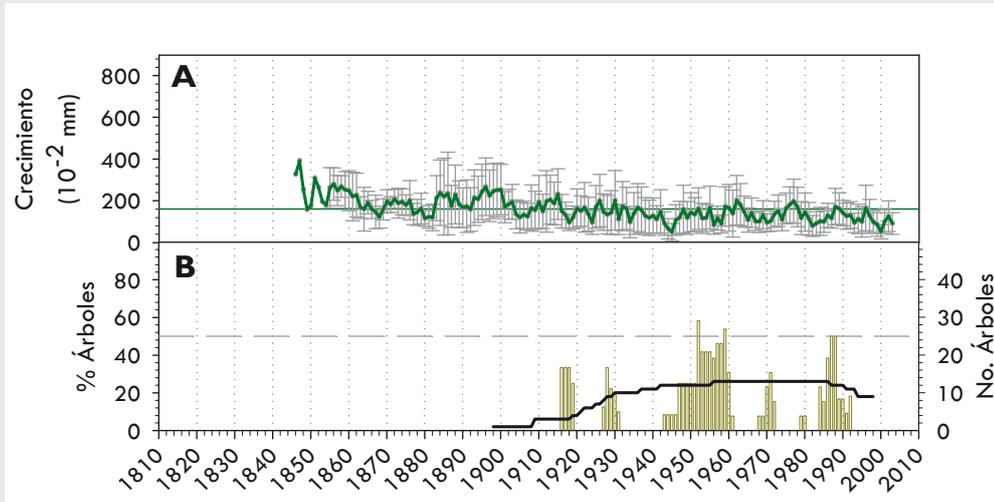


Se trata de un bosque poco denso (325 pies/ha), constituido por una sola cohorte madura de árboles que tienen entre 90 y 158 años. No obstante, en la masa forestal encontramos un rango de clases diametrales muy amplio (entre 20 y 80 cm de DAP, sin considerar la clase regeneradora que tiene menos de 10 cm de DAP). En la actualidad, la regeneración (no muy abundante) sólo se encuentra en los pequeños y dispersos claros que deja el muy desarrollado sotobosque.

Las tasas de crecimiento radial anual han sido en promedio de 1,4 mm durante los últimos 100 años. El análisis realizado ha detectado aumentos súbitos en las tasas de crecimiento radial que han

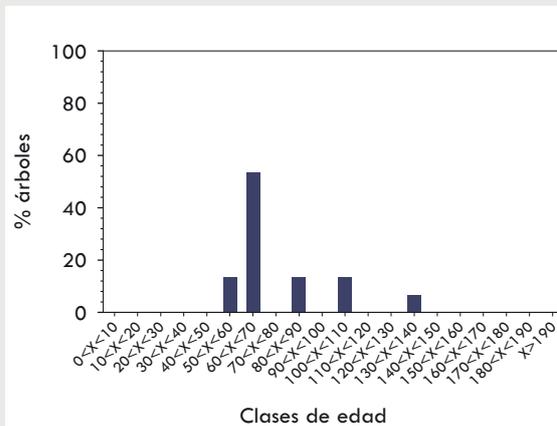
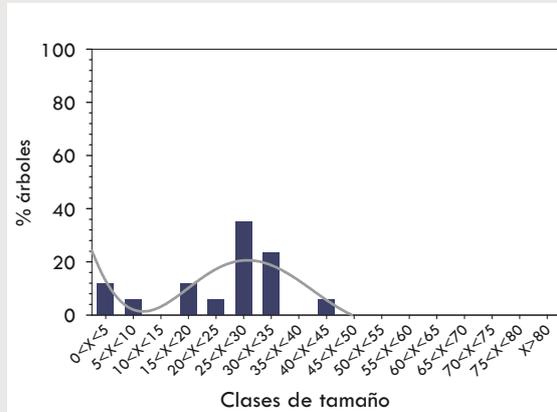
afectado a la mayoría de los individuos y, éstos, coinciden con los años más lluviosos del registro histórico (especialmente en primavera y verano), como por ej. 1959 y 1987-88. Por otro lado, el aumento en el crecimiento de algunos árboles en 1952 podría atribuirse a los efectos de un incendio, puesto que todos los individuos presentan heridas causadas por el fuego en la base de sus troncos. El resto de aumentos en el crecimiento, que afectan a menos de una cuarta parte de la población (1917, 1927, 1969), podrían ser debidos al uso de la masa forestal en el pasado para la extracción de madera, puesto que se trata de un bosque comunal.





Cuadro III-6. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en Comuna de Bunyola (BUN, Mallorca) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

BYQ - PINAR DE BAYARQUE (ALMERÍA)



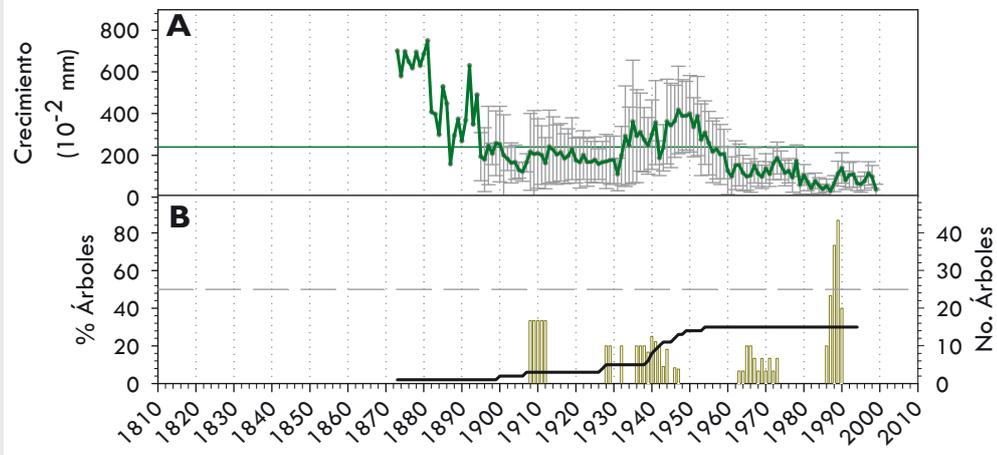
En el Pinar de Bayarque se distinguen dos grupos de árboles atendiendo a su DAP: uno, formado por individuos de menos de 10 cm de DAP; y el otro, más abundante, formado por árboles que tienen entre 15 y 45 cm de DAP. Sin embargo, el diagrama de frecuencias por clases de edad obtenido no permite distinguir claramente el número de cohortes que hay en el bosque. No obstante, se observa que predominan los árboles entre 60 y 70 años, aunque también hay algunos individuos dispersos de más de 100 años (árboles semilleros).

La serie de crecimiento bruta muestra que, desde principios de s. XX hasta los años 30, la competencia entre árboles fue elevada. Des-

pués, alguna perturbación liberó recursos, permitiendo así, tanto la entrada de nuevos individuos (los árboles más jóvenes datados tienen entre 50 y 70 años) como un aumento en las tasas de crecimiento. No nos ha sido posible determinar la causa de dicha perturbación por falta de documentación histórica, aunque en el análisis de aumentos súbitos del crecimiento se descarta su origen climático. Por otro lado, este análisis indica que posiblemente a mediados de los años 30 y a principios de los 60 se realizaron talas de algunos individuos que liberaron de la competencia a aproximadamente el 20% de la población. Los tocones, pueden todavía encontrarse en el monte.

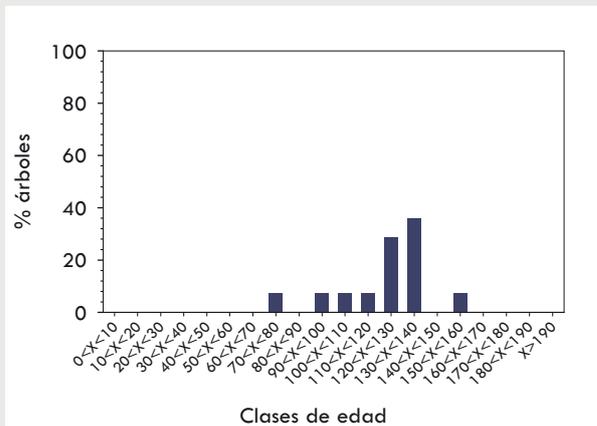
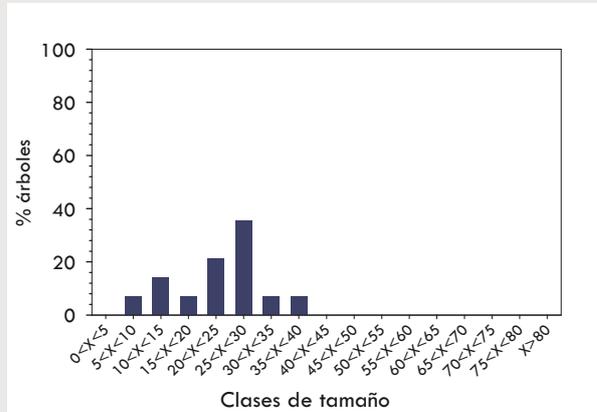
Por otro lado, sólo se ha detectado un aumento sincrónico en el crecimiento de la mayoría de árboles. Éste se produjo en los años 1989-90, justamente cuando se ha producido el récord pluviométrico anual del lugar (617,50 mm en 1989).





Cuadro III-7. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en Pinar de Bayarque (BYQ, Almería) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

CER - STA. MARIA DE CERVELLÓ (BARCELONA)



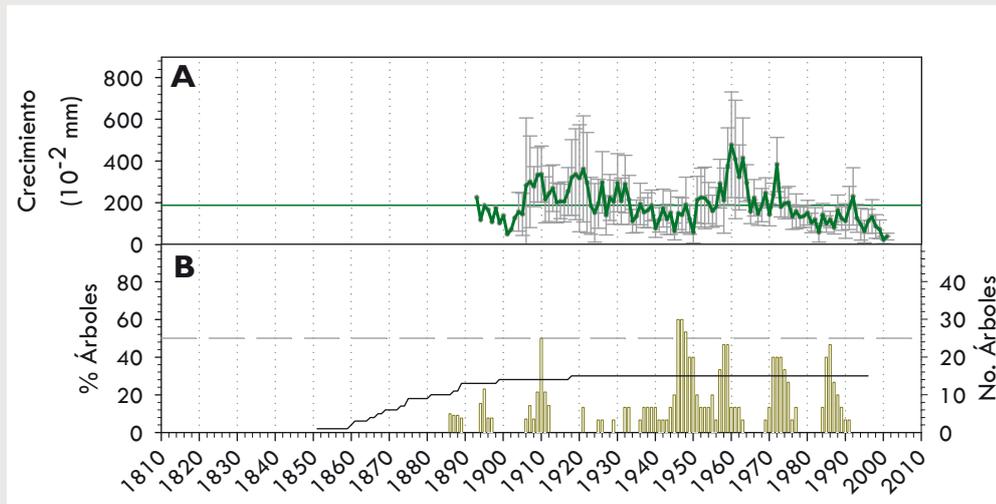
Tanto el diagrama de frecuencias por clases de tamaño (DAP), como el realizado por clases de edad, muestran que la masa forestal estudiada está formada por una cohorte de árboles que tienen entre 50 y 110 años, y entre 20 y 30 cm de DAP. No obstante, tal y como indica la distribución por clases diametrales, también hay algunos árboles de entre 5 y 20 cm de DAP que posiblemente tengan cerca de 50 años (establecidos en los años 1946-50 según los resultados del análisis de los aumentos súbitos). Estos resultados son coherentes con la estructura vertical (dos estratos arbóreos) del bosque.

La serie de crecimiento bruto muestra que en 1930 el bosque entró en una fase

de elevada competencia entre los individuos, en la que las tasas de crecimiento radial se mantuvieron muy bajas (menos de 2,0 mm anuales). Posteriormente, en los años 1946-50, la mayoría de individuos presentan un aumento en sus tasas de crecimiento. Éstas, se han mantenido elevadas (superiores a 2,5 mm de radio anuales) durante las dos siguientes décadas. En los últimos 30 años, la producción ha sido algo menor (en promedio 1,3 mm radiales anuales).

No se han encontrado, ni evidencias ni registros históricos de antiguas talas o de incendios, con lo que todos los aumentos detectados en la mayoría de individuos de la población, muy probablemente, se deban a las condiciones climáticas. De hecho, los aumentos de los años 1959-60, 1969 y 1971-72 se corresponden con años extremadamente lluviosos (precipitaciones anuales que superan los 800



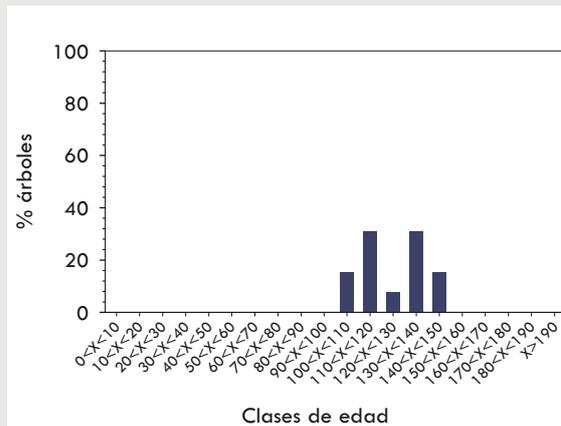
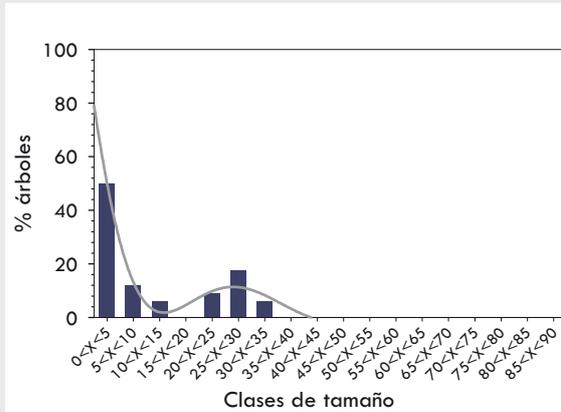


mm). También se ha detectado un aumento en el crecimiento relacionado con las elevadas lluvias primaverales de 1984 (320,97 mm).



Cuadro III-8. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en Sta. María de Cervelló (CER, Barcelona) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

ENG - SERRA D'ENGUERA (VALÈNCIA)

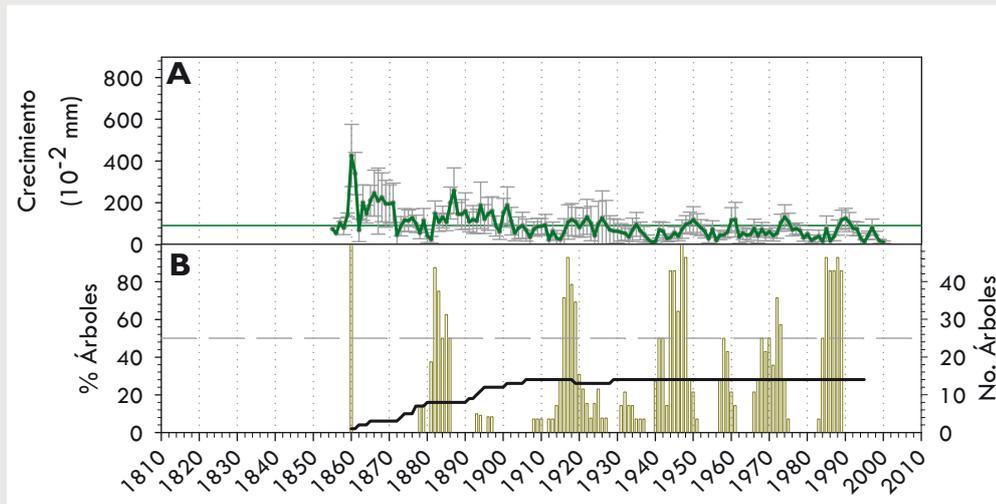


Esta masa forestal está compuesta por una cohorte de árboles de entre 100 y 150 años, con muy pocos individuos de la clase de edad intermedia (120-130 años); y otra cohorte muy abundante de árboles jóvenes, de menos de 15 cm de DAP, motivo por el cual, el bosque presenta una elevada densidad (850 pies/ha).

La serie de crecimiento bruto indica que se trata de un bosque maduro que en los últimos 150 años ha presentado tasas anuales de crecimiento radial cada vez menores, de aproximadamente 1,0 mm anual, lo cual evidencia su baja productividad. A lo largo de estos 150 años se han producido muchas perturbaciones que han afectado a un porcentaje elevado de la

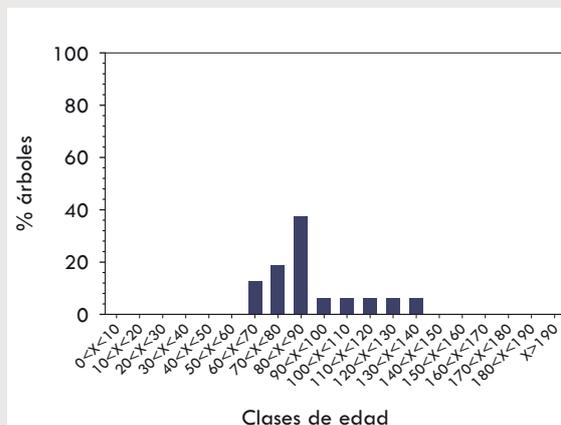
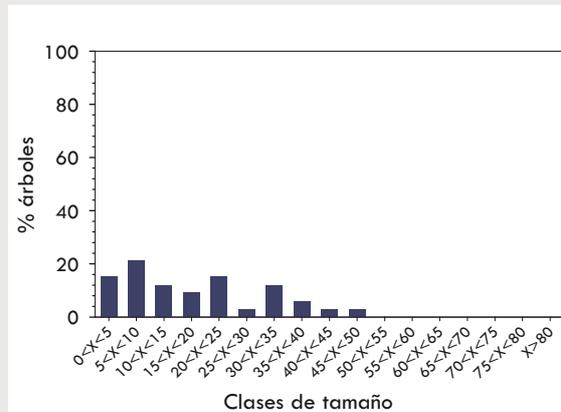
población y que seguramente han sido causadas por el clima (1882-85, 1916-18, 1944-48 y 1984-89). No obstante, tan sólo disponemos de registros de datos climáticos locales en las últimas décadas, de manera que sólo se puede contrastar la última de ellas. Efectivamente, la segunda mitad de la década de los 80 fue especialmente lluviosa en la región, destacando las abundantes lluvias de verano en 1986, 1987 y en 1989 con 608,8 mm, 671,0 mm y 899,0 mm anuales, respectivamente. Por otro lado, tan sólo se han detectado dos posibles alteraciones del crecimiento que han afectado a unos pocos individuos y que por lo tanto pueden ser debidas a posibles talas (a principios de 1890 y a principios de los años 30).





Cuadro III-9. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en Serra d'Enguera (ENG, València) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

FUE – FUENTESPALDA (TERUEL)

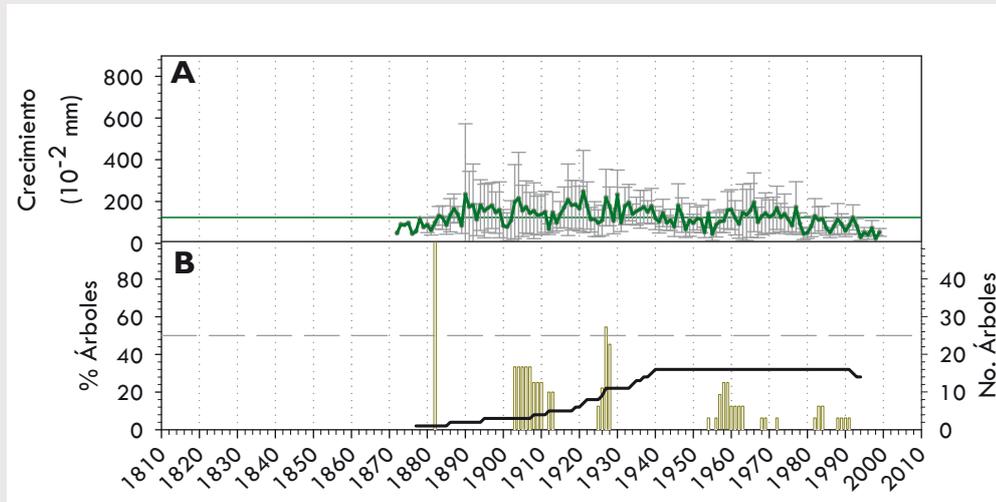


La distribución por clases de edad indica que esta masa forestal está formada por árboles viejos (entre 60 y 140 años) que tienen entre 25 y 50 cm de DAP, pero con una escasa representación de las clases de edad superiores a los 90 años. Por otro lado, tal y como muestra la distribución de frecuencias por clases de diámetro, predominan los árboles que tienen hasta 25 cm de DAP, estando representadas todas las clases de forma bastante equitativa. Esta distribución de frecuencias no permite distinguir claramente grupos de árboles. Puesto que sólo se han datado los árboles de la clase diametral mayor, en este caso no podemos determinar con certeza el número de cohortes de esta masa forestal tan heterogénea y multiestratificada verticalmente.

La serie media de crecimiento radial bruto muestra dos períodos con aumentos súbitos en el crecimiento de bastantes árboles del lugar: a mediados de la primera década del siglo XX y a finales de los años 50. Éstos podrían ser debidos a entresacas madereras y/o a incendios. De hecho, todavía pueden encontrarse algunos tocónes en el bosque.

Por otro lado, en 1927, la mayoría de individuos presentan un aumento en su crecimiento bruto que podría ser atribuible a las condiciones climáticas puesto que una entresaca hubiera afectado un porcentaje de árboles menor.



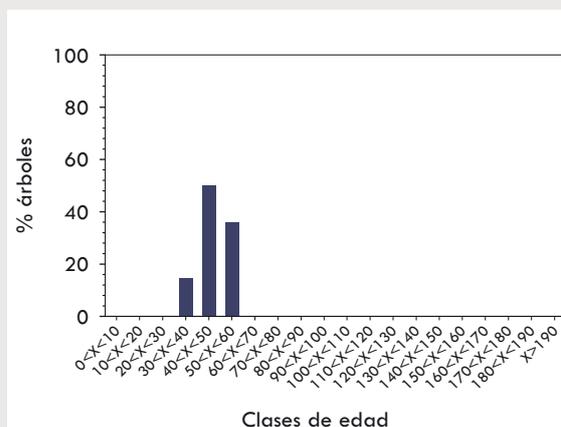
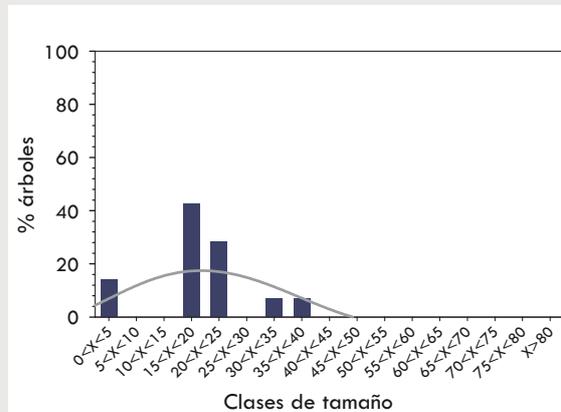


Esta localidad es un claro ejemplo de masa forestal densa, y con una elevada diversidad de tamaños y edades fruto de un severo régimen de perturbaciones durante el último siglo. Por este motivo, aunque encontramos árboles viejos, éstos no reflejan con claridad los efectos de los eventos climáticos extremos.



Cuadro III-10. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en Fuentespalda (FUE, Te-ruel) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

GAR - P.N. DEL GARRAF (BARCELONA)



Tal y como evidencian los restos de tocones de los árboles quemados y posteriormente talados, se trata de un bosque de colonización post-incendio que todavía se encuentra en la fase de iniciación. No obstante, la densidad de la masa es de sólo 375 pies/ha. El abundante desarrollo de la vegetación arbustiva probablemente sea la causa de la escasa regeneración.

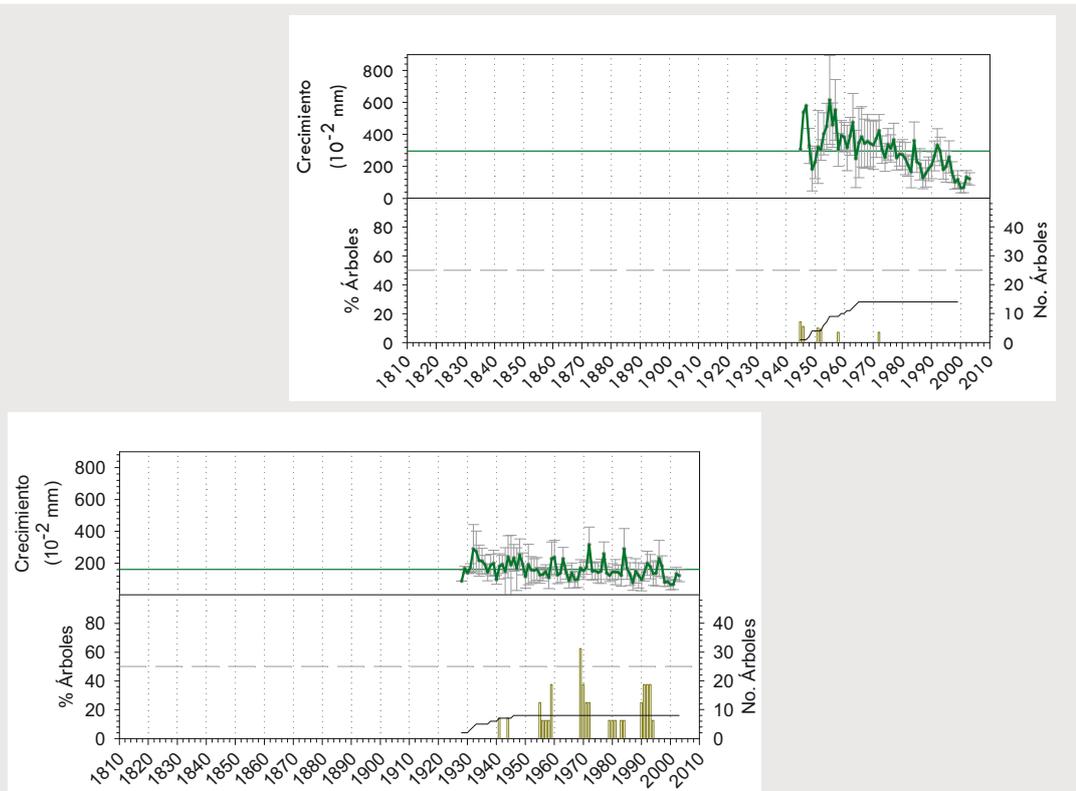
Está constituido por una cohorte de árboles que tienen entre 39 y 59 años y entre 30 y 40 cm de DAP.

En la actualidad, se está cerrando la bóveda, y la regeneración queda confinada a las zonas menos densas, donde se encuentran los individuos de menor clase diámetro (menos de 5 cm de DAP).

Existen también, en esta masa forestal, bastantes árboles de entre 15 y 25 cm de DAP cuya edad desconocemos (no se sacaron muestras). No obstante, es muy probable que se trate de árboles de la misma cohorte adulta pero con menor crecimiento debido a su inferior estatus competitivo, puesto que no hay ningún indicio en las curvas de crecimiento bruto que revele la existencia de alguna perturbación (de ningún tipo) que haya podido causar la entrada de una segunda cohorte.

Dado que la masa forestal estudiada se encuentra en una fase inicial de la sucesión, la información dendroclimática es de baja calidad. Por este motivo, se muestrearon árboles cercanos, pero que crecían en una masa forestal más madura. Se trata de una masa forestal abierta debido a los afloramientos rocosos calcáreos..





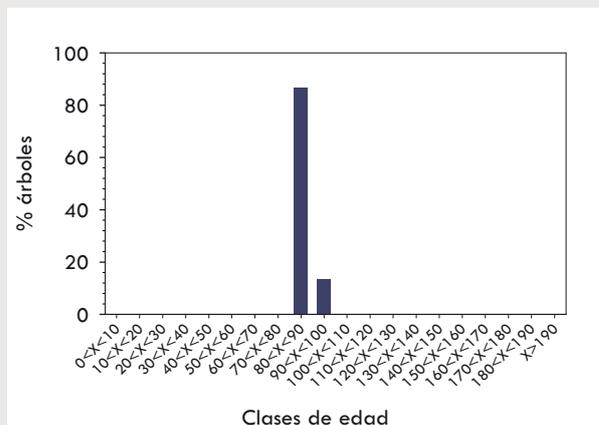
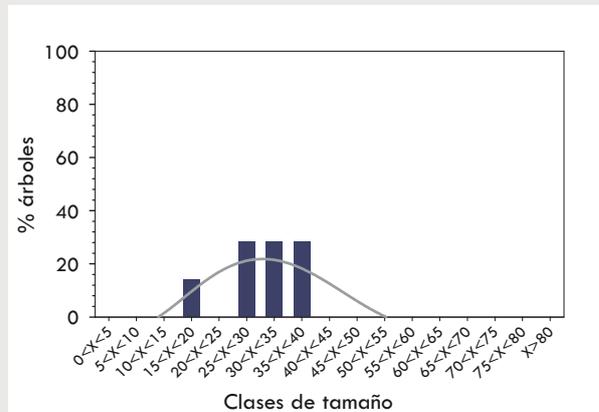
En la figura puede verse la curva de crecimiento bruto promedio y su desviación estándar, junto con la frecuencia de árboles con aumentos súbitos en las tasas anuales de crecimiento radial. A diferencia de la curva de crecimiento bruto de los árboles de la masa forestal joven, se observa que el crecimiento medio ha oscilado alrededor de un mismo valor a lo largo de todo el período estudiado (siendo el incremento anual medio de 1,6 mm radiales).

El análisis realizado ha permitido detectar algunos aumentos súbitos en el crecimiento radial, los cuales están estrechamente relacionados con las condiciones climáticas del lugar, puesto que se corresponden con los años más lluviosos de las últimas décadas, con 994 mm anuales en 1959 y 1027 mm anuales en 1971, o bien con años en los que las precipitaciones de verano fueron anormalmente elevadas, como por ejemplo 424,5 mm en el verano de 1969 y 295,73 mm en el del año 1993.



Cuadro III-11. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en el P.N. del Garraf (GAR, Barcelona) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar) y porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles en una población joven (A), y en una masa forestal abierta (B). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie, y la gris discontinua indica el 50% de árboles.

GDM - GUARDAMAR DEL SEGURA (ALACANT)

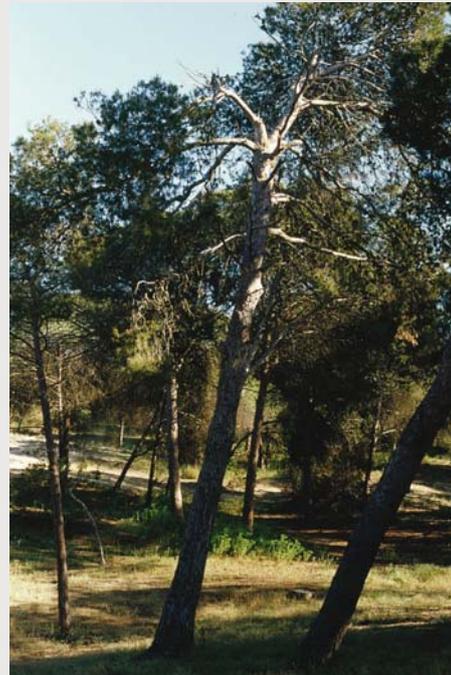
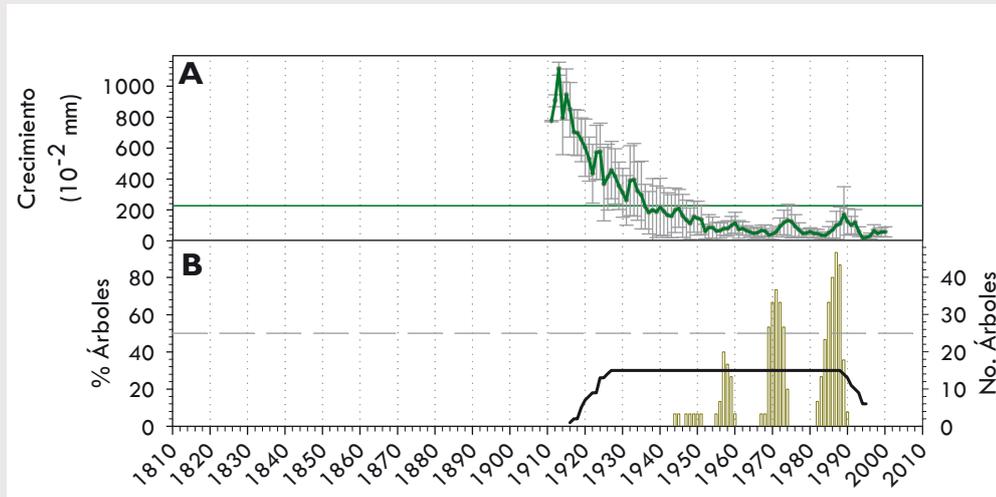


Se trata de un bosque de repoblación de las zonas costeras de principios del siglo XX (repoblación mixta con *Pinus pinea* realizada entre 1910 y 1920 según Raventós *et al.* (2001)). Los árboles se han datado a 1,30 cm de altura en 90 años, y tienen entre 25 y 40 cm de DAP. No existe regeneración, posiblemente debido a la escasa capacidad de retención de agua del suelo (dunas de arena) y a la aridez del clima. Posiblemente por este motivo la densidad del bosque es muy baja (175 pies/ha).

La curva promedio de crecimiento radial bruto sigue una exponencial negativa. Desde mitad del siglo XX hasta la actualidad, el crecimiento anual se ha mantenido muy

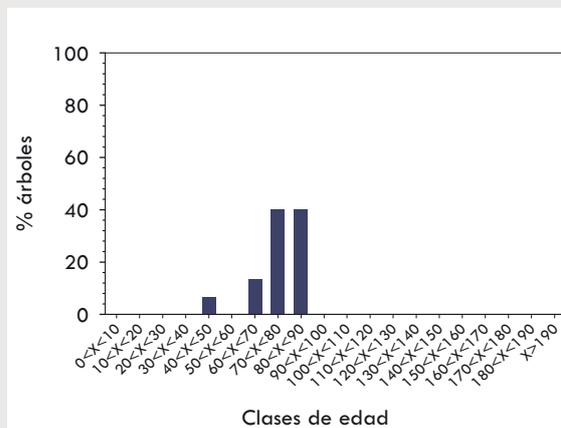
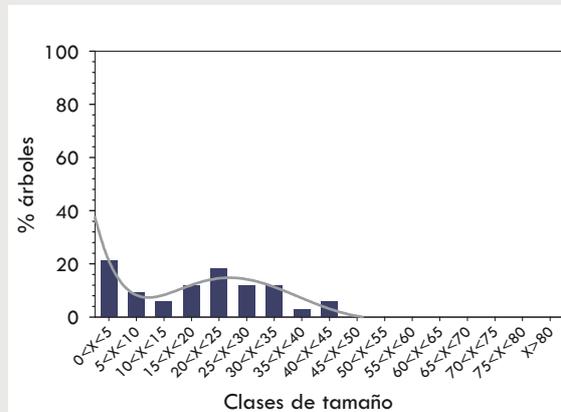
bajo (en promedio 0,7 mm radiales por año), con pequeñas oscilaciones estrechamente relacionadas con las condiciones climáticas. El aumento en el crecimiento de la mayoría de los árboles en los años 1969-72 se debe a las abundantes precipitaciones de los años 1971 y 1972 (512,5 mm y 638,10 mm anuales, respectivamente) y a las bajas temperaturas (sobre todo en primavera y otoño) de los años 1970-72. De hecho, 1972 fue un año climáticamente peculiar: es el más lluvioso y frío (temperatura media anual de 15,12° C) del registro instrumental de la zona. La primavera poco calurosa de 1985 (en promedio 14,75° C, un grado por debajo de la temperatura primaveral media), junto con las elevadas temperaturas invernales de 1988 (12,93° C en promedio, un grado por encima de la media) pudieron causar el aumento detectado en dichos años.





Cuadro III-12. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en Guardamar del Segura (GDM, Alacant) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

ISI - LOS ISIDROS (VALÈNCIA)

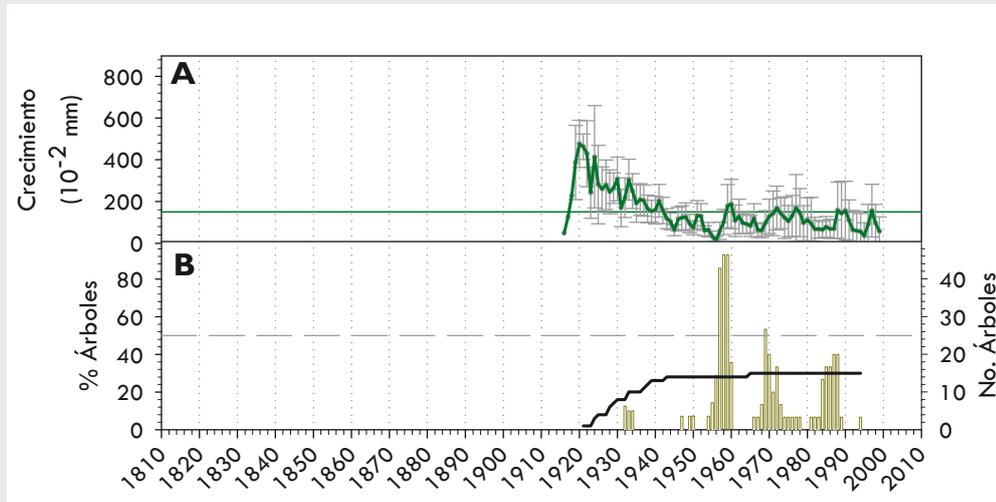


Los Isidros es un bosque de pino carrasco consecuencia de la colonización de antiguos campos de cultivo (en concreto, campos de almendros). Predomina una cohorte de árboles de entre 40 y 100 años (con mayor abundancia de los de 80 años), los cuales presentan una gran variedad de tamaños (entre 15 y 45 cm de DAP). Además, existe una abundante cohorte joven formada por árboles que tienen hasta 15 cm de DAP, motivo por el cual la densidad del bosque es muy elevada (825 pies/ha) pero a la vez el área basal no es excesivamente alta (33,35 m²/ha). En la actualidad, la regeneración es muy escasa.

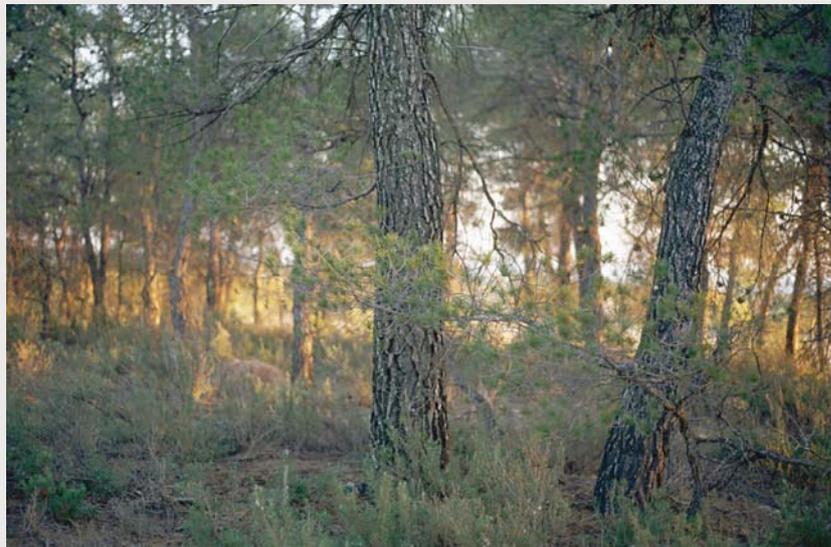
La curva promedio de crecimiento bruto muestra un período inicial, hasta 1960, en el que las tasas de crecimiento fueron disminuyendo debido seguramente a la escasa longevidad de los árboles. No obstante, es posible que de forma simultánea se fuera cerrando el dosel del bosque, de manera que en los últimos 40 años, la competencia entre árboles ha sido elevada de acuerdo con las bajas tasas de crecimiento promedio, su también baja desviación estándar, y su mayor sensibilidad a las condiciones climáticas.

Se han detectado dos aumentos súbitos en el crecimiento radial relacionados con temperaturas máximas bajas (1957-59, 1968-69). También afectaron al crecimiento de muchos árboles las abundantes precipitaciones de los años 1987 y 1988 (en otoño y primavera, respectivamente). Estos resultados sugieren que en esta localidad posiblemente existe una



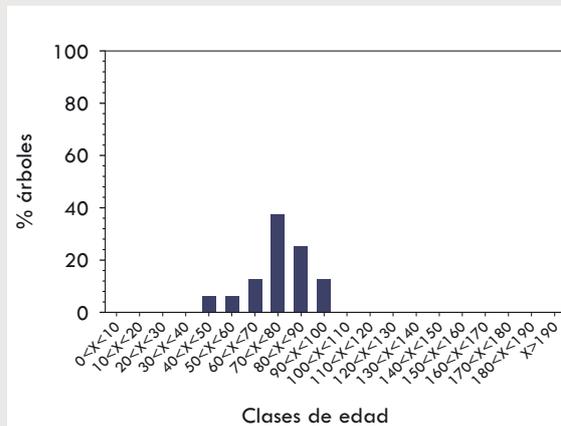
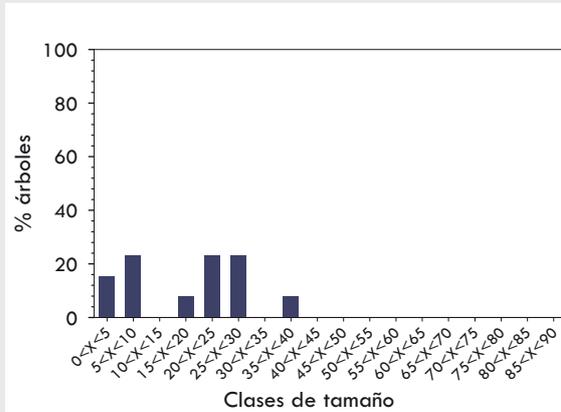


doble limitación del crecimiento radial del pino carrasco en verano a causa de la continentalidad del clima (por temperaturas elevadas y por falta de agua).



Cuadro III-13. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en Los Isidros (ISI, València) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

JOA - ST. JOAN DE LABRITJA (EIVISSA)



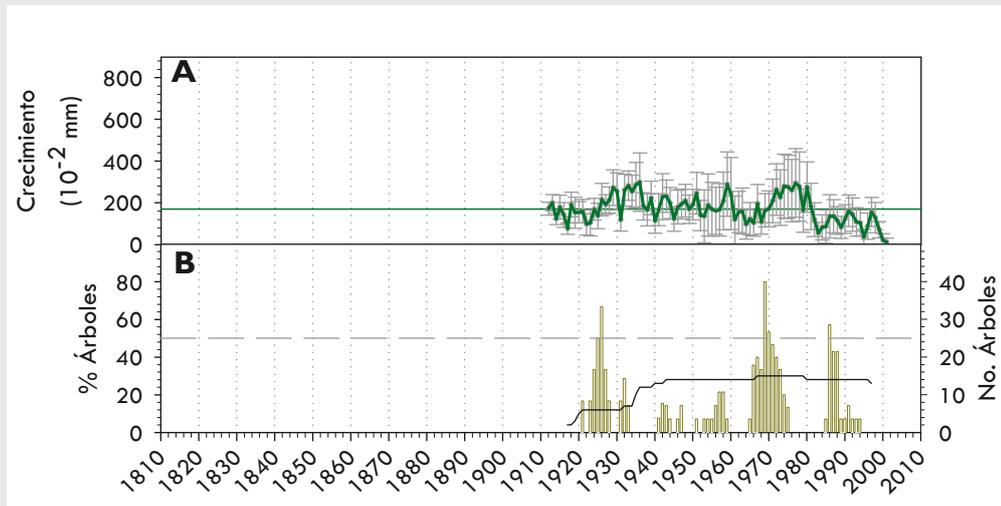
En la masa forestal estudiada (JOA) encontramos una cohorte de árboles de entre 50 y 90 años con un claro predominio de los de 80 (los cuales tienen entre 30 y 50 cm de DAP). Existe además un grupo abundante de árboles que tienen menos de 10 cm de DAP, el cual se corresponde con la regeneración producida en los claros durante las últimas décadas.

La serie media de crecimiento bruto se corresponde con la de un bosque maduro en el que el dosel se ha cerrado desde hace más de 90 años.

En el análisis de los cambios en la tasa de crecimiento anual hemos detectado tres grandes perturbaciones (1926, 1969 y 1986)

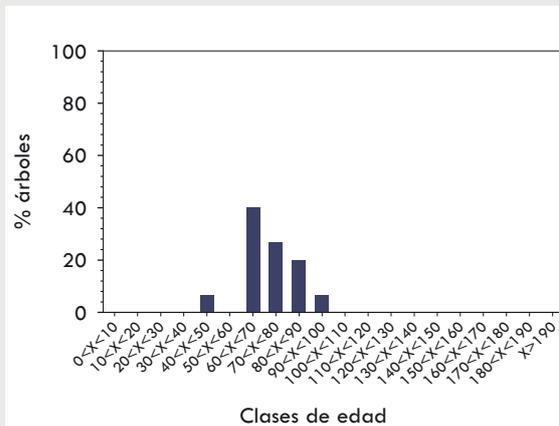
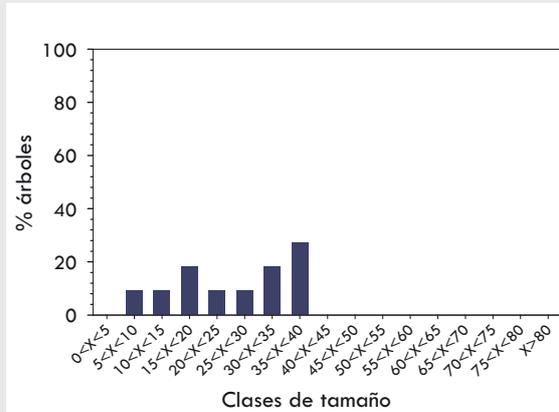
que probablemente son de origen climático, pero los registros instrumentales locales son cortos y solamente permiten explicar el declive en las tasas de crecimiento detectado desde 1986, un año en el que la severa sequía fue además acompañada de temperaturas mínimas muy elevadas. Desde esta fecha hasta la actualidad, los árboles de esta localidad presentan tasas de crecimiento promedio muy bajas (inferiores a 1,0 mm de radio anual).





Cuadro III-14. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en St. Joan de Labritja (JOA, Eivissa) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

JOS - SA TALAIA DE ST. JOSEP (EIVISSA)

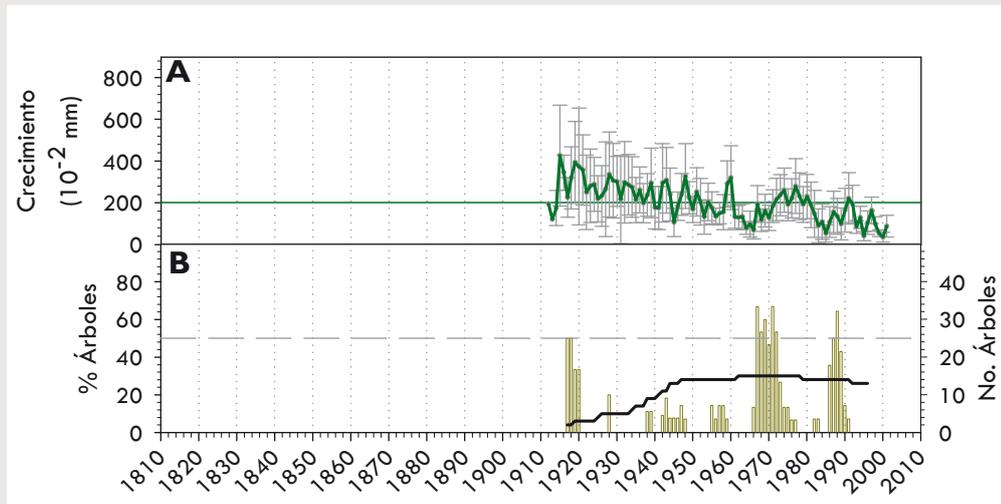


El otro bosque estudiado en Eivissa, JOS, presenta una estructura e historia reciente muy similar a JOA. La masa forestal está constituida por una cohorte madura de árboles que tienen entre 40 y 100 años, y entre 30 y 50 cm de DAP. Existen igualmente muchos árboles de clases diametrales inferiores esparcidos dentro de la masa forestal, que se corresponden con la regeneración en los claros abiertos por pequeñas perturbaciones, hecho que hace que la densidad de esta masa forestal sea mayor que en JOA. Consecuentemente, la regeneración dentro de esta población es todavía más escasa que en JOA.

Las perturbaciones climáticas que se han detectado en las series de crecimiento radial de esta población, en el período analizado, son las mismas que para JOA (1969 y 1986).

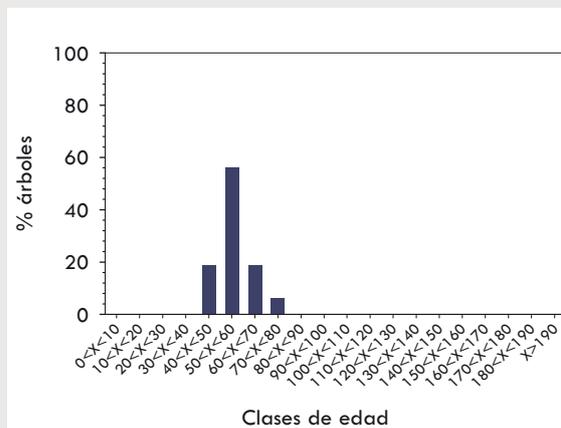
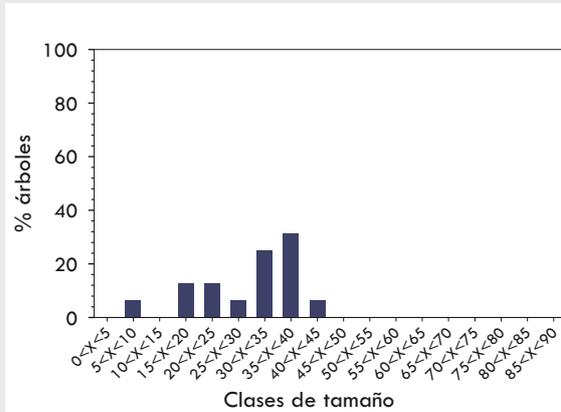
Esta población, también se ha detectado una disminución de las tasas de crecimiento radiales en las últimas décadas (tasa de crecimiento radial promedio de 1,1 mm anuales para el período 1986-1999).





Cuadro III-15. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en Sa Talaia de St. Josep (JOS, Eivissa) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

LLA - LA LLACUNA (BARCELONA)

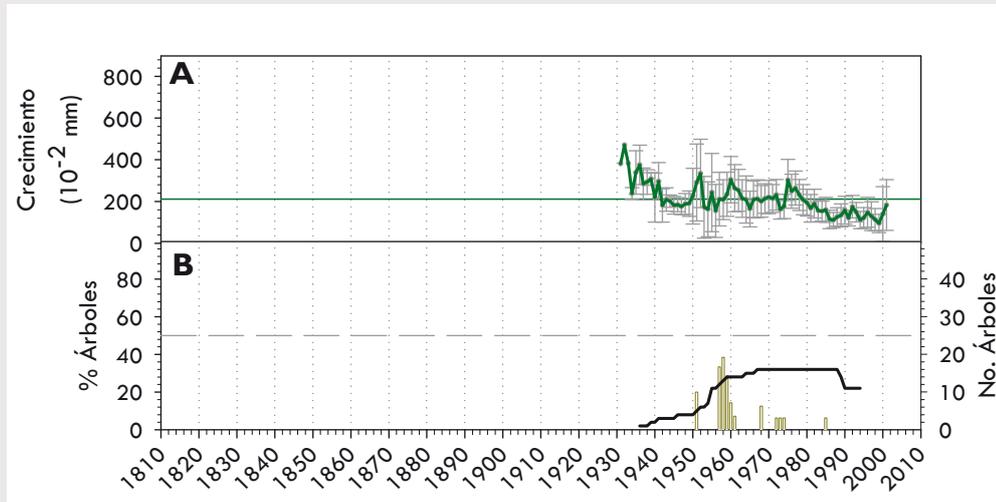


En la Llacuna, encontramos un bosque uniforme constituido por una cohorte de árboles de entre 40 y 80 años. Se trata de un bosque consecuencia de la colonización de antiguos campos de cultivo abandonados durante la guerra civil. En la actualidad, la elevada densidad del sotobosque en los claros, junto con elevadísima densidad de árboles, muy probablemente sean las causas de la ausencia de regeneración.

El bosque permaneció en la fase de iniciación hasta aproximadamente mediados de los años 70, cuando se empezó a cerrar el dosel y aumentó la competencia entre árboles. Desde 1986, las tasas de crecimiento radial han sido especialmente bajas (1,29 mm anuales).

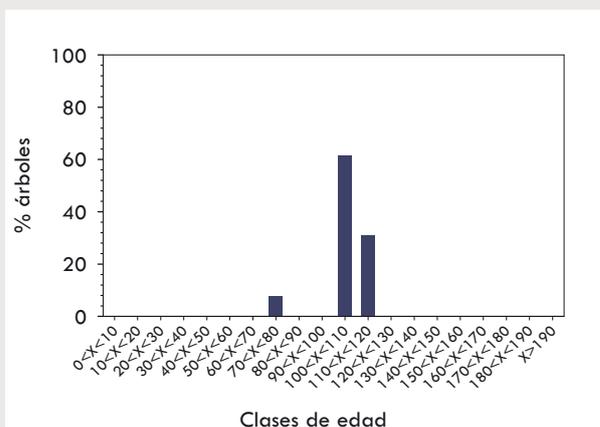
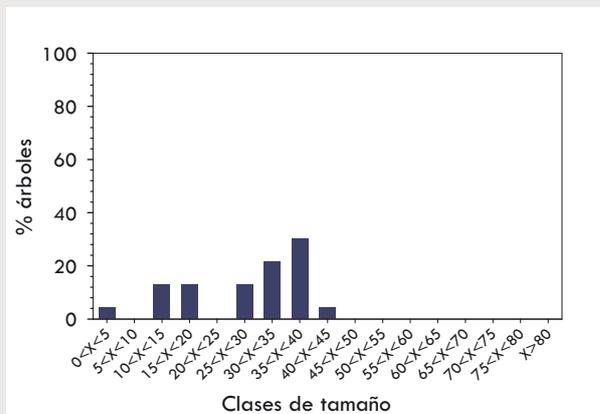
No se ha detectado ningún cambio súbito en el crecimiento bruto que haya afectado a la mayoría de los individuos de la población, indicando una baja sensibilidad de la masa forestal a las condiciones climáticas. No obstante, destaca el efecto positivo que tuvieron las abundantes lluvias de la primavera de 1958 y del verano de 1959 (300,23 mm y 225,77 mm, respectivamente).





Cuadro III-16. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en La Llacuna (LLA, Barcelona) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

MAI - SERRA DE MAIGMÓ (ALACANT)



MAI es, en la actualidad, un bosque denso (575 pies/ha) con una gran diversidad de tamaños y edades, en el que la regeneración es escasa (hay algunos vástagos, pero muy pocas plántulas) y con un sotobosque relativamente desarrollado. Según la estructura de tamaños, existen dos, o incluso tres, grupos de árboles: los de entre 25 y 45 cm, los de 10 a 20 cm y los de menos de 5 cm de DAP.

La datación de los testigos de madera muestra que la mayoría de árboles de entre 25 y 45 cm de DAP pertenecen a una misma cohorte formada por árboles de poco más de 100 años. Existe además, una posible segunda cohorte de árboles más jóvenes y pequeños

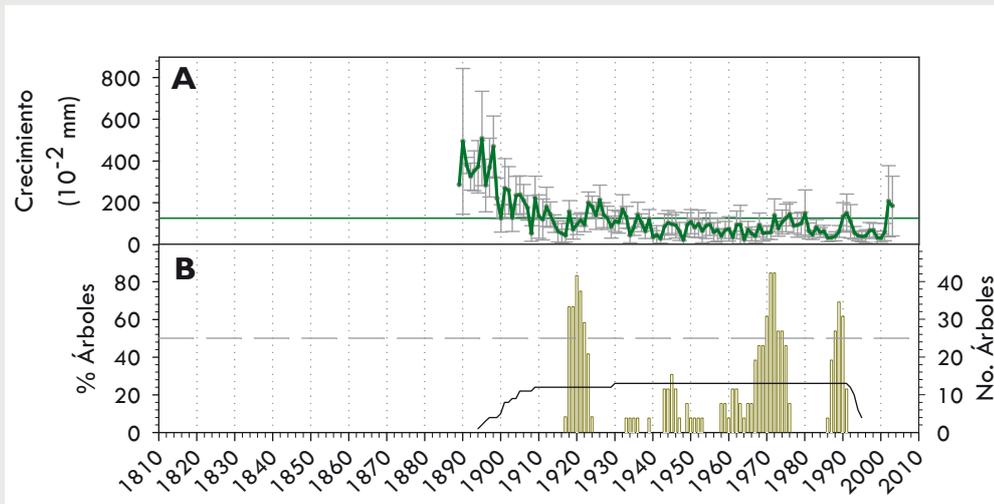
(entre 10 y 20 cm de DAP) que podrían tener entre 30 y 60 años. De manera que se habrían establecido después del incendio acontecido a principios de los años 40.

Se ha detectado que el 25% de los árboles presenta un aumento significativo a mediados de los años 40 como consecuencia de la disminución de la competencia producida por el incendio. La fotografía ilustra que todavía hoy, son visibles las heridas causadas por el fuego en la base de los troncos de los pinos supervivientes.

El análisis de los cambios en las curvas de crecimiento bruto indica que las elevadas precipitaciones (superiores a los 450 mm anuales) de 1969-72 y de finales de los años 80 provocaron un aumento considerable en las tasas de crecimiento. De hecho, el máximo histórico de los registros instrumentales disponibles de la zona corresponde a los



disponibles de la zona corresponde a los

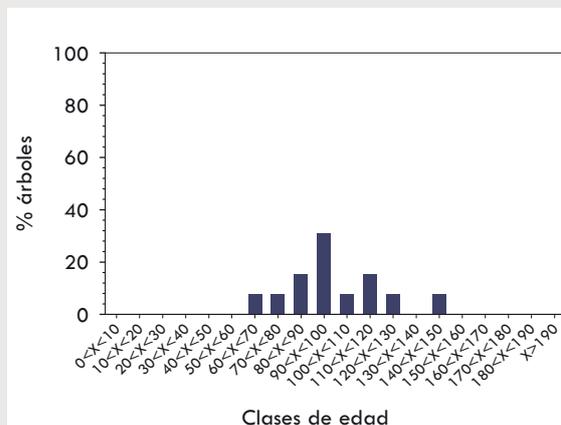
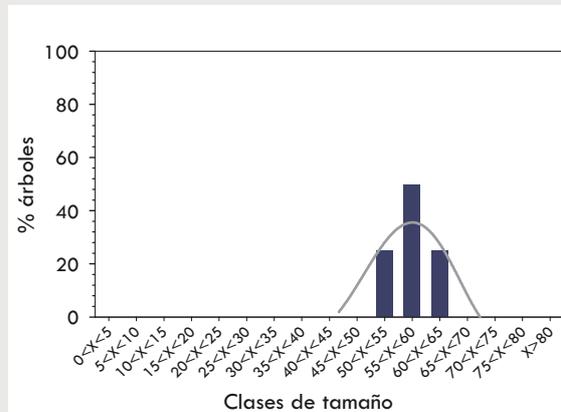


613,40 mm caídos en el año 1971. Por otro lado, muchos individuos también presentan un aumento en el crecimiento radial entre 1918 y 1922, pero desconocemos la causa puesto que no disponemos de datos climáticos tan antiguos. No obstante, los resultados obtenidos indican que la sensibilidad del crecimiento de estos árboles a las condiciones climáticas no es demasiado elevada.



Cuadro III-17. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en la Serra de Maigmó (MAI, València) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

MCL - EL MENCAL (GRANADA)



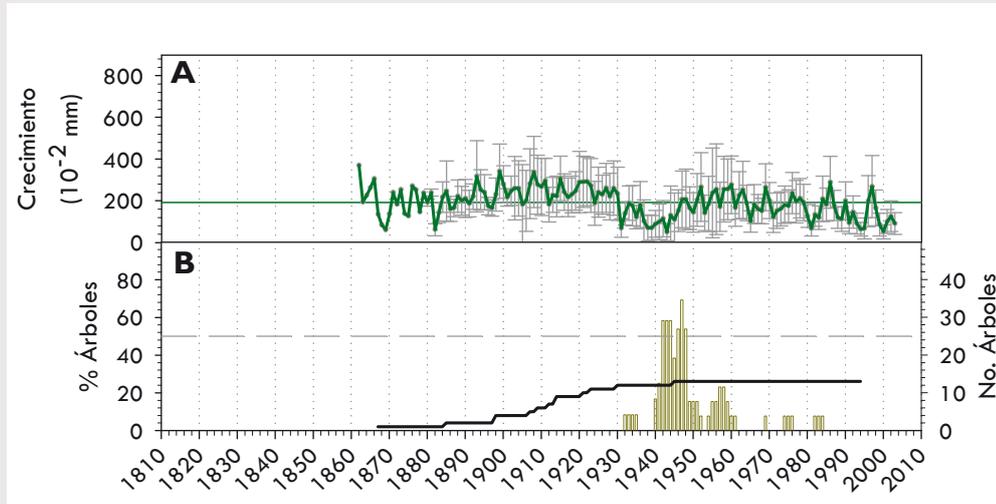
Se trata de un bosque adehesado por su uso ganadero (ganadería ovina). Debido a ello, no hay regeneración. Está formado por una sola cohorte de árboles que tienen entre 60 y 130 años y entre 50 y 65 cm de DAP. No obstante, existen algunos individuos dispersos que tienen más de 140 años (árboles semilleros).

La serie de crecimiento bruto media y su desviación estándar muestran como la producción ha oscilado en el último siglo alrededor de los 2,0 mm radiales por año. No obstante, durante la década de los años 30 el crecimiento de los árboles fue muy bajo (1,3 mm radiales anuales). Como consecuencia de este período de supresión del crecimiento, la mayoría de los

individuos presentan un aumento en las tasas de crecimiento en los años 40.

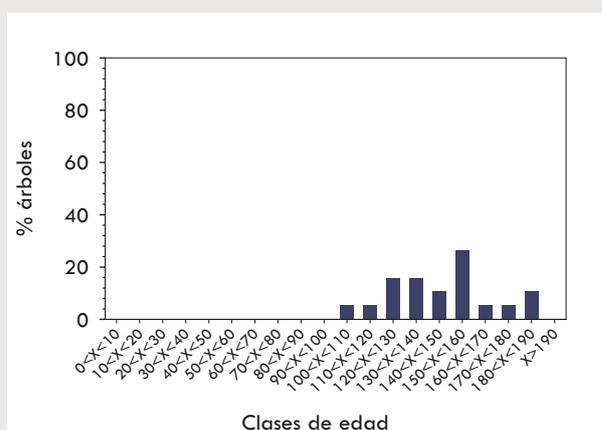
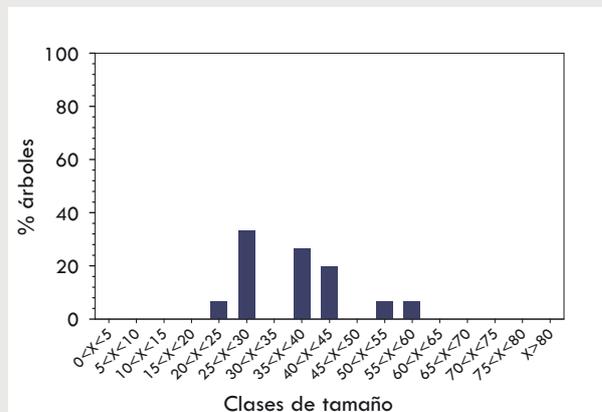
La serie media de crecimiento bruto presenta una desviación estándar muy elevada indicando que se trata de un bosque muy abierto (125 pies/ha), quizá por este motivo (elevada variabilidad en las series), en el análisis de los aumentos súbitos en las tasas de crecimiento radial, no se ha encontrado ningún año en el que las condiciones climáticas hayan causado un cambio en el crecimiento radial considerable en la mayoría de los individuos.





Cuadro III-18. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en el Mencil (MCL, Granada) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

MIR – MIRAMON (ZARAGOZA)



En MIR encontramos una masa forestal abierta pero con muy poca regeneración debido a la fuerte presión ganadera.

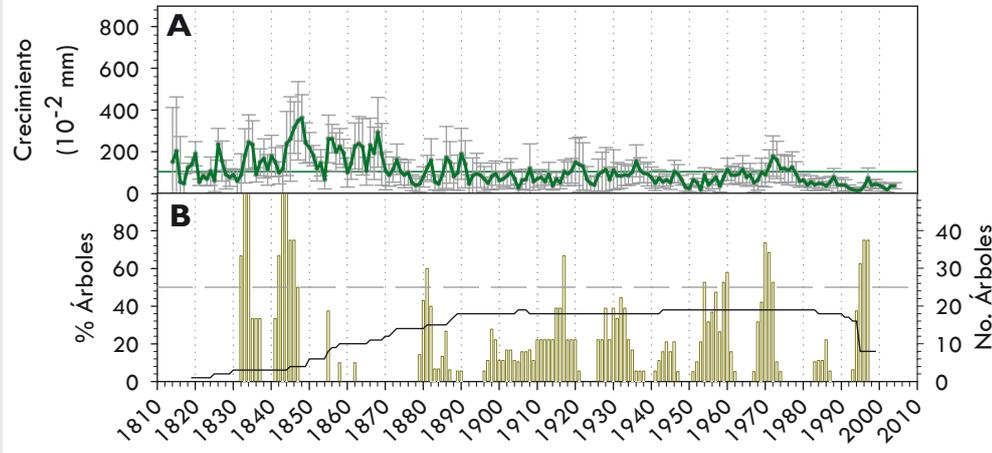
El histograma por clases de tamaño indica que existe un amplio abanico de clases diametrales en el bosque (de 20 a 65 cm de DAP), aunque no todas ellas están representadas. Faltan árboles de entre 30-35 cm y 45-50 cm de DAP, posiblemente debido a las entresacas que se han realizado en el pasado. Los tocones todavía son visibles.

La estructura demográfica del bosque indica que existe una desdibujada cohorte de árboles viejos (de más de 100 años) que abarca una amplia ventana temporal

(entre 100 y 200 años), probablemente a causa de la explotación forestal (extracción de madera) realizada en el pasado, sobretodo durante la primera mitad del s. XX.

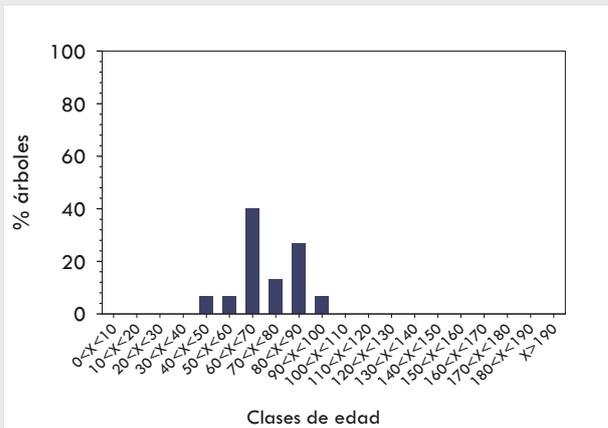
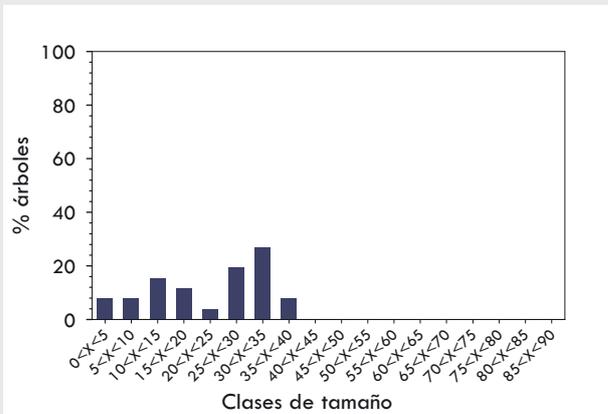
Del análisis de los aumentos súbitos en las tasas de crecimiento anuales se han extraído como posibles fechas de talas los años: 1885, 1925, 1940 y 1982. Por otro lado, también se han podido detectar algunos aumentos en el crecimiento radial probablemente causados por el clima (1832-34, 1842-46, 1880, 1959-60, 1969-70 y 1996-97). Los tres últimos casos fueron, según los registros climáticos, años especialmente lluviosos (precipitaciones anuales superiores a los 450 mm), sobretodo en verano y primavera. También despuntan los 255 mm del otoño de 1959, los 151,3 mm de los meses de mayo a julio de 1960, y los 153,0 mm caídos en verano de 1997.

Finalmente, la serie media de crecimiento bruto pone de manifiesto que desde principios de los años 80 el crecimiento radial ha disminuido notablemente, pasando a ser, en promedio, de tan sólo 0,4 mm anuales.



Cuadro III-19. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en Miramón (MIR, Zaragoza) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

MON - P.N. DE MONDRAGÓ (MALLORCA)



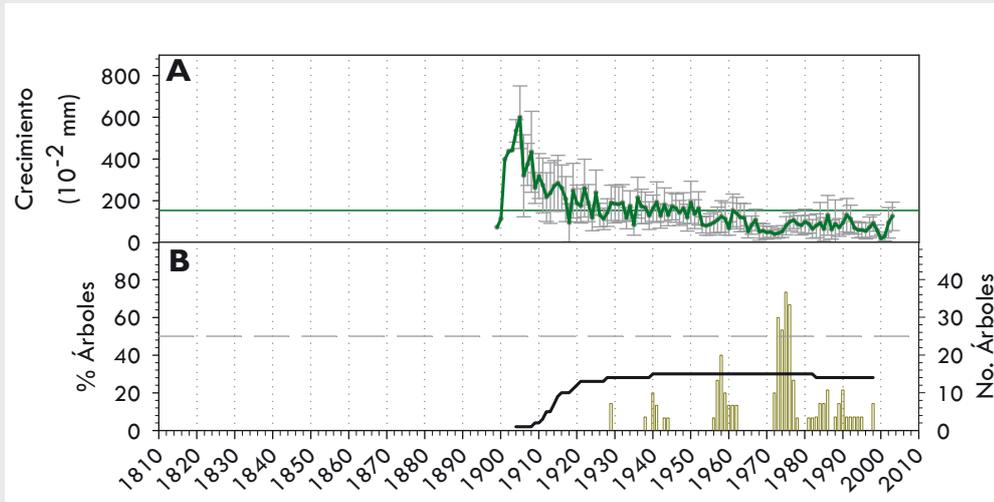
Masa forestal poco densa (300 pies/ha.) formada por dos cohortes: una de árboles de entre 60 y poco más de 100 años que tienen entre 25 y 40 cm de DAP; y una segunda cohorte de árboles de hasta 25 cm de DAP que deben de tener unos 30 años, puesto que debieron nacer después de la perturbación de 1973-76 detectada en las series de crecimiento bruto.

A lo largo de los últimos 50 años el crecimiento radial de los árboles de esta masa ha sido bajo (0,8 mm anuales) y tan sólo destaca una perturbación que haya afectado a la mayoría de los árboles en los años 1972-76, la cual coincide con años muy lluviosos (precipitaciones anuales superiores a los 500

mm), destacando especialmente los 798,7 mm caídos en el año 1972. Resultado que indica que los árboles de la población estudiada presenta una escasa sensibilidad a las condiciones climáticas.

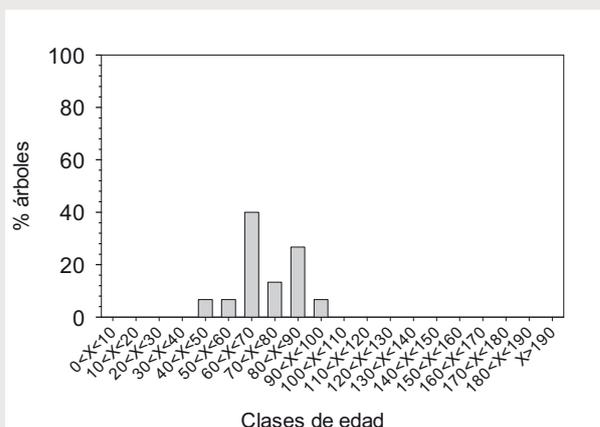
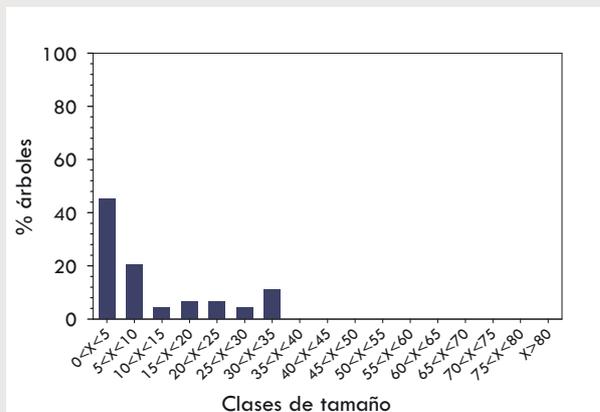
Por otro lado, a lo largo de los últimos 20 años, algunos árboles (porcentajes poblacionales muy bajos) presentan aumentos súbitos en el crecimiento que seguramente sean consecuencia de las talas selectivas que se van realizando dentro de la gestión del parque natural.





Cuadro III-20. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en el P.N. de Mondragó (MON, Mallorca) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

MTS – MONTSANT (TARRAGONA)



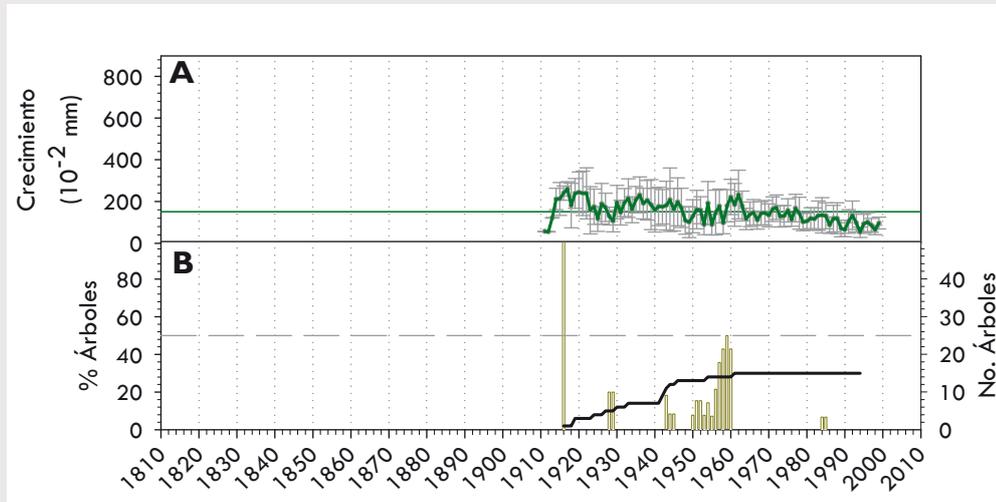
Bosque con una elevada heterogeneidad espacial constituido por dos cohortes de árboles: la cohorte adulta, formada por árboles de entre 45 y 95 años y entre 35 y 100 cm de DAP; y una muy abundante cohorte de árboles jóvenes de hasta 15 cm de DAP, que probablemente no tengan más de 30 años de edad (según la reconstrucción del régimen de perturbaciones). En la actualidad la regeneración es escasa como consecuencia de la elevadísima densidad del bosque (1100 pies/ha).

La curva de crecimiento bruto indica que en la actualidad el bosque se encuentra en una fase avanzada de la sucesión en la que los árboles compiten fuertemente entre sí. El crecimiento medio

en los últimos 80 años ha sido de 1,5 mm radiales anuales, aunque éste ha disminuido substancialmente en los últimos 10 años (0,9 mm anuales en promedio).

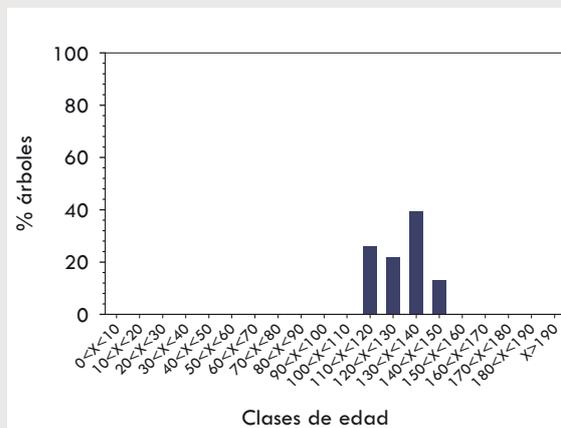
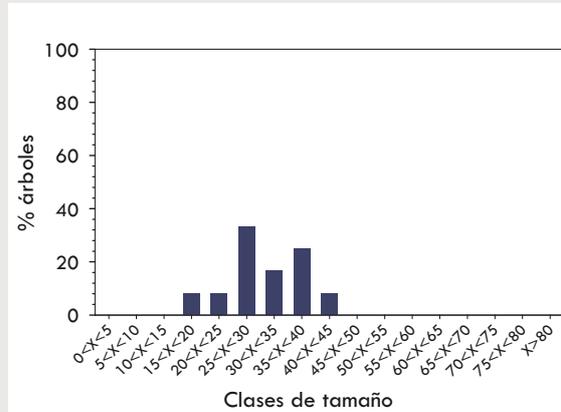
Se ha detectado un aumento súbito del crecimiento radial en un porcentaje elevado de los árboles, el cual se corresponde con las excepcionales precipitaciones del año 1959 (1051,87 mm anuales, de los cuales 395 mm cayeron en verano). No se ha detectado ningún otro aumento súbito en el crecimiento atribuible a las condiciones climáticas, sugiriendo que la masa forestal presenta una baja sensibilidad a las condiciones climáticas muy probablemente debido a la competencia causada por la elevada densidad de pies.





Cuadro III-21. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en la Serra del Montsant (MTS, Tarragona) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

PNF – VEDADO DE PEÑAFLORES (ZARAGOZA)



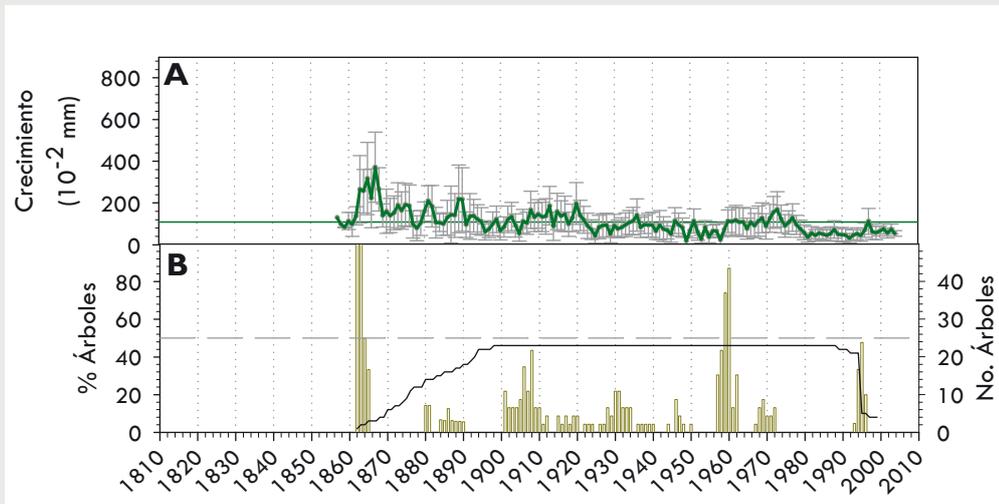
Masa forestal poco densa constituida por una cohorte de árboles que tienen entre 110 y 150 años y entre 25 y 45 cm de DAP. También hay dispersos en la masa forestal algunos árboles que tienen entre 15 y 25 cm de DAP, los cuales seguramente pertenecen a una segunda cohorte más joven. En la actualidad la regeneración es escasa.

La curva media de crecimiento bruto de la población y su desviación estándar indican que se trata de un bosque maduro, y con incrementos radiales anuales muy bajos (han oscilado alrededor de los 1,1 mm en los últimos 130 años), posiblemente debido a las duras condiciones ambientales (sustrato de yesos y condiciones climáticas).

Además, desde principios de los años 80, el crecimiento radial medio de la población ha disminuido considerablemente. La tasa de crecimiento promedio de los últimos 20 años es de 0,6 mm radiales por año.

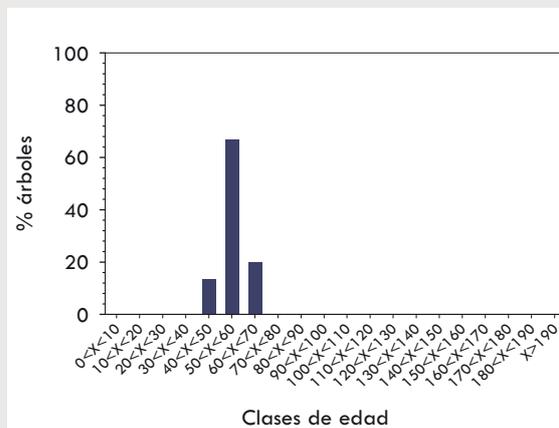
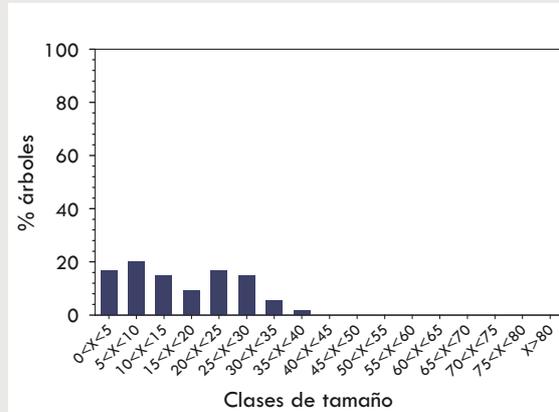
El análisis de los cambios súbitos en la serie bruta de crecimiento radial indica que se ha producido alguna perturbación que podría ser de tipo climático, puesto que ha afectado a la mayoría de individuos (1907, 1959-60 y 1994-95). También se han detectado algunas perturbaciones que han afectado a un porcentaje menor de la población, y que podrían ser fruto de la gestión forestal (en 1880, y a principios de los años 30 y de los 70).





Cuadro III-22. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en Vedado de Peñaflores (PNF, Zaragoza) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

QRL - QUEROL (TARRAGONA)



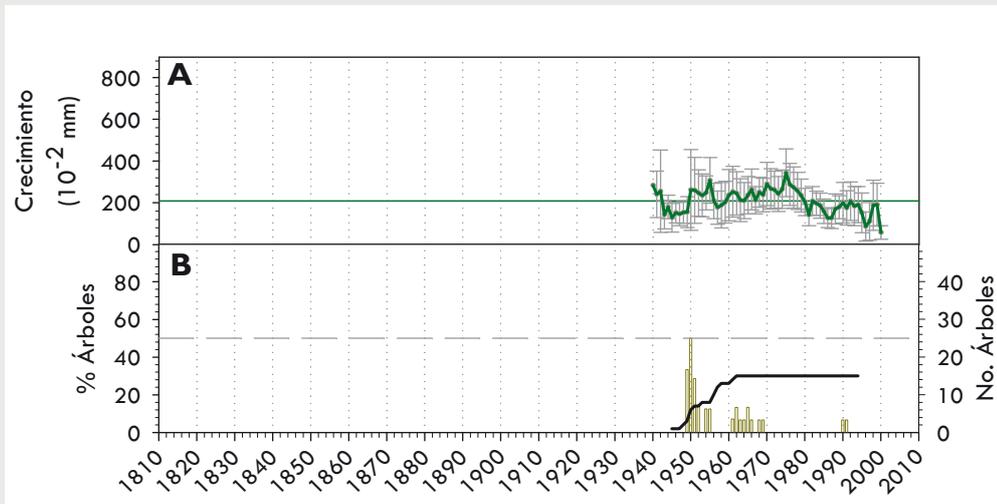
Se trata de una masa forestal joven (árboles de hasta 60 años) y extremadamente densa (1350 pies/ha) debido a la gran cantidad de árboles pequeños, hasta 20 cm de DAP, los cuales constituyen una cohorte de árboles jóvenes. No obstante, no se puede determinar con certeza el número de cohortes que constituyen la población con los datos de que disponemos.

La elevada variabilidad en las tasas de crecimiento radial queda reflejada también en la enorme diversidad de tamaños, fruto de un régimen de perturbaciones severo en el que, según la memoria histórica de la población local, los incendios han sido muy frecuentes.

La producción de los árboles ha disminuido notablemente desde mediados de los años 70, la tasa de crecimiento bruto promedio de las últimas dos décadas es de 1,7 mm anuales.

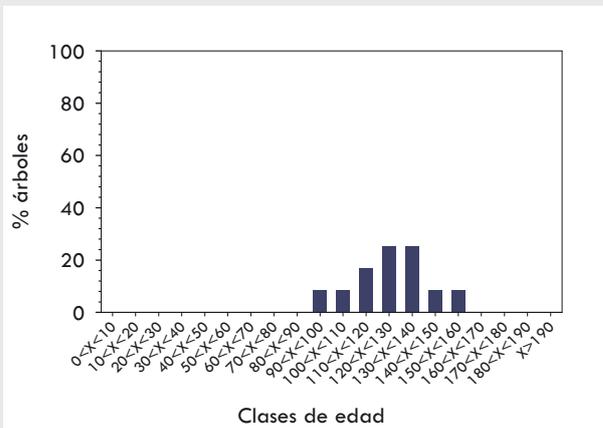
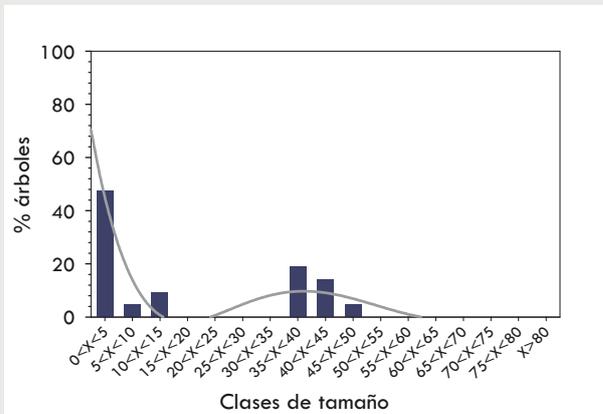
El análisis de los cambios súbitos en el crecimiento indica que se trata de un bosque en el que su severo régimen de perturbaciones (incendios) desdibuja el efecto de las condiciones climáticas sobre el crecimiento radial. No obstante, la gran mayoría de los pocos individuos que tienen más de 50 años, presentan un aumento súbito en las tasas de crecimiento radial que muy probablemente esté relacionado con las abundantes lluvias de 1949, que fueron especialmente cuantiosas en mayo (202,0 mm) y setiembre (114,0 mm).





Cuadro III-23. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en Querol (QRL, Tarragona) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

RET - LA RETUERTA DE PINA (ZARAGOZA)



Se trata de una masa forestal abierta con regeneración abundante (algún vástago y muchas plántulas de menos de 5 años). La cohorte joven, está formada por árboles de menos de 15 cm de DAP que muy probablemente tienen menos de 50 años. La cohorte adulta está formada por árboles viejos (de entre 110 y 160 años) que tienen entre 35 y 45 cm de DAP.

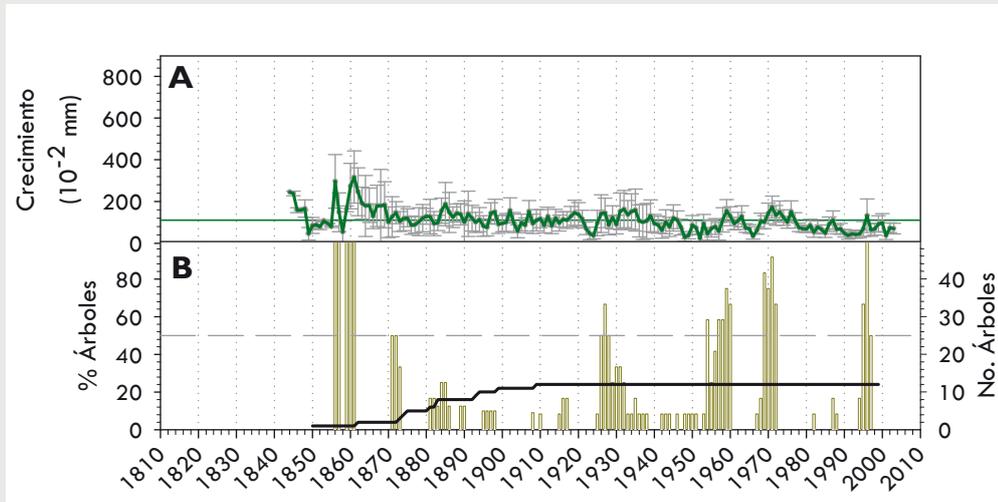
La serie promedio de crecimiento bruto pone de manifiesto la escasa producción maderera del bosque (1,1 cm radiales anuales en promedio), la cual en los últimos 30 años ha disminuido considerablemente (0,8 cm anuales).

El análisis de los cambios súbitos en las tasas de crecimiento anuales evidencia

la elevada sensibilidad al clima de los árboles de esta masa forestal durante los últimos 150 años y, en especial, durante la segunda mitad del s. XX. Destacan como años en los que el crecimiento de la mayoría de los árboles presentan cambios súbitos: 1871-72, 1927, 1958-60, 1969-70 y 1995-97; todos ellos estrechamente relacionados con la aridez del clima.

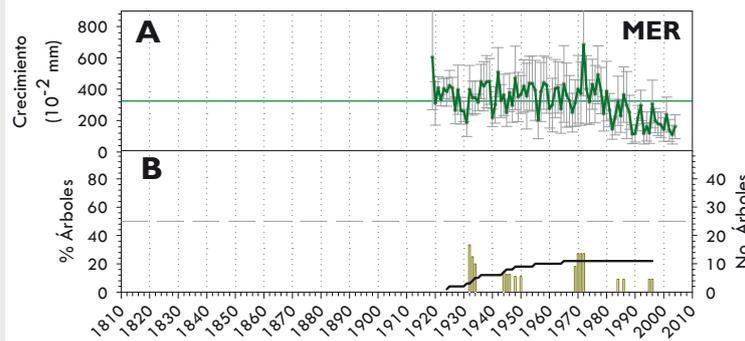
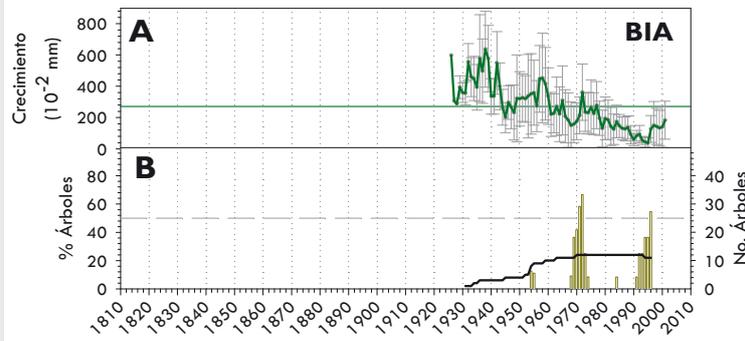
Durante la primera mitad de s. XX, se han detectado aumentos en el crecimiento de algunos árboles, que podrían ser debidos a perturbaciones que hubieran causado la muerte de unos pocos individuos, como por ejemplo talas selectivas. Ésta podría ser la causa que en la actualidad no existan árboles de entre 30-35 cm de DAP.





Cuadro III-24. A la izquierda, estructura demográfica de la masa forestal ubicada en La Retuerta de Pina (RET, Zaragoza) por tamaños (clases de DAP, cm.) y por edades. Arriba, **A.** curva de crecimiento anual bruto (promedio y desviación estándar). La línea horizontal verde indica el valor promedio de crecimiento radial anual de la serie. **B.** porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial (columnas) y número de árboles. La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

MER - ES MERCADAL, TUR - CALA TURQUETA Y BIA - CALA BINIANCOLLA (MENORCA)

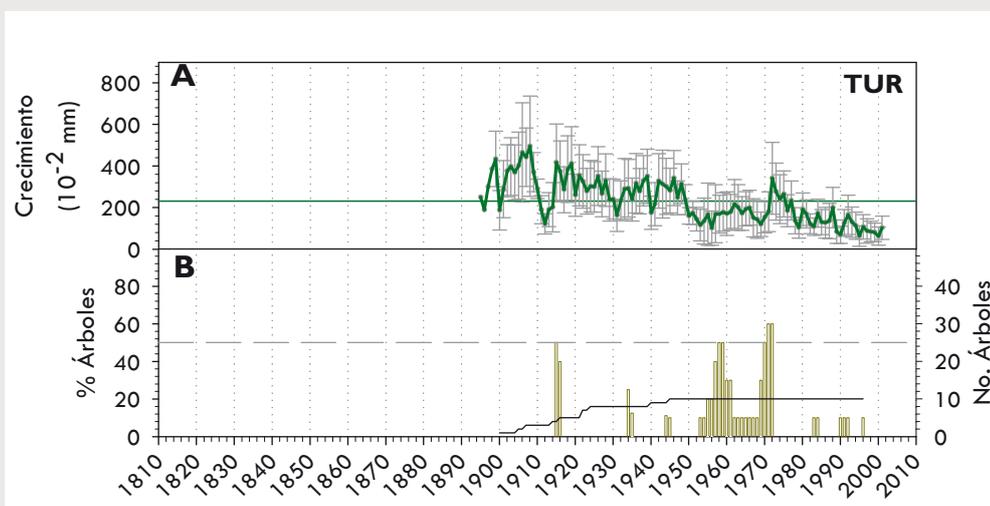


En MER los árboles muestreados tienen entre 60 y 85 años y diámetros de entre 40 y 80 cm, en TUR tienen entre 60 y 110 años y diámetros de entre 45 y 70 cm, y en BIA los árboles tienen entre 30 y 80 años y diámetros de entre 30 y 50 cm.

Los tres lugares estudiados en Menorca, atendiendo al análisis de las series de crecimiento bruto, muestran el efecto positivo que tuvieron las lluvias de

1972 (fue un año muy lluvioso, especialmente en primavera). Además, en BIA, destacan los efectos de las abundantes precipitaciones de 1996 (destacando los 180 mm caídos en primavera y los 161,5 en verano) y, en TUR, se ha detectado un aumento súbito del crecimiento en muchos árboles en 1915 y en los años 1958-59. De las tres series, MER (la ubicada en el norte de la isla donde la pluviometría es mayor), es la que presenta menor sensibilidad a las condiciones climáticas atendiendo a los resultados obtenidos en el análisis de los aumentos súbitos en el crecimiento.





Cuadro III-25. Curva de crecimiento bruto (promedio y desviación estándar) y porcentaje anual de individuos con aumentos súbitos en el crecimiento radial de los árboles en las tres localidades menorquinas: Es Mercadal (MER), Cala en Turqueta (TUR) y Cala Biniancolla (BIA). La línea gris discontinua indica el 50% de árboles.

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS CRONOLOGÍAS

Se ha establecido una cronología del grosor de los anillos para cada una de las masas forestales de la red de estudio. En promedio, las cronologías obtenidas están formadas por dos muestras de 15 árboles, es decir por 30 series. En la tabla III-5 se muestran las características de cada una de ellas, y en las figuras III-10, III-11, III-12 y III-13 puede verse su representación gráfica. Muchas cronologías presentan un tramo inicial con mayor variabilidad, hecho que podría atribuirse al menor número de muestras que intervienen y a la menor edad de los árboles.

Todas las cronologías obtenidas presentan valores de EPS superiores a 0,85 para los períodos de tiempo considerados (período EPS en la tabla III-4); es decir, cubren con suficiente fiabilidad más de 75 años (exceptuando LLA y QRL que tienen 60 y 69 años, respectivamente). En total hay 10 cronologías que tienen entre 75 y 100 años de longitud, 10 que tienen entre 100 y 150 años y cinco que superan los 150. Estas cinco cronologías más largas son BAR (Formentera), BUN (Mallorca), AYN (Albacete), RET y MIR (Zaragoza), y cubren respectivamente, 158, 158, 165, 160 y 191 años (Tabla III-5).

En las cronologías obtenidas los coeficientes de autocorrelación son muy cercanos a cero (Tabla III-5), con lo que se pone de manifiesto la validez de las series estandarizadas para la realización de estudios dendroclimáticos. Este resultado, a su vez, ratifica la adecuación del método de estandarización de las series empleado (ver apartado correspondiente en materiales y métodos). No obstante, destacan dos cronologías (PNF y CER) por presentar coeficientes de autocorrelación de segundo grado algo más elevados que en el resto, aunque dentro de los rangos aceptables (Guiot 1982).

El grado de variación interanual o sensibilidad (MS_x) es elevado en el crecimiento de todas las poblaciones de pino carrasco (excepto en QRL), indicando que existe, en general, una gran variabilidad en el crecimiento entre años (Tabla III-5). Dicha variabilidad puede responder a causas muy diversas, si bien es cierto que una elevada proporción de ella acostumbra a relacionarse con la sensibilidad del crecimiento de los árboles a las condiciones climáticas (Lebourgeois *et al.* 2005). Las masas forestales que presentan los valores de MS_x más altos son CER, ARC, ENG, MAI, BYQ, PNF, MIR y RET; y las que los tienen más bajos son las tres localidades del interior de Catalunya (QRL, LLA y MTS), GDM (dunas costeras de Alicante) y TUR (árboles situados sobre sustrato arenoso).

En todos los bosques estudiados el porcentaje de variabilidad explicada por el primer componente de un análisis de componentes principales (VAR CP-I) es muy elevado, en coherencia con las elevadas correlaciones entre las series de las distintas muestras de un mismo árbol, y entre el crecimiento de los distintos árboles. Tan sólo en tres poblaciones (GDM, LLA, QRL y MTS) no se llega el 50% de varianza explicada (aunque los valores son muy cercanos), mientras que en las tres poblaciones con mayor homogeneidad y sincronía en las series de crecimiento radial de los distintos árboles (en orden descendente, BYQ, ARC y RET) se supera el 70% de la varianza en común. Cabe destacar que en PNF el porcentaje de varianza en común es también muy alto (Tabla III-5).

Localidad	Código	Árboles (No.)	Muestras (No.)	Período máx.	Período EPS	R muestras	R árboles	VAR (CP-I)	MS.	AR(1)	AR(2)	SNR
Sierra de Archivel	ARC	15	31	1885-2001	1889-2001	0,81	0,70	72,66	0,407	0,0	-0,1	28,537
Ayna Los Luisos	AYN	15	30	1835-1999	1862-1999	0,67	0,51	53,92	0,294	0,1	-0,1	14,594
Banyales	BAN	15	30	1909-1999	1932-1999	0,78	0,56	59,08	0,344	-0,1	0,0	15,028
Es Cap de Barbaria	BAR	15	30	1844-2001	1873-2001	0,69	0,57	60,96	0,259	0,1	-0,1	16,156
Cala Binicallola	BIA	12	24	1926-2001	1940-2001	0,82	0,58	61,75	0,265	0,0	-0,1	13,927
Santuari de Bonany	BON	13	26	1905-2003	1911-2003	0,71	0,48	52,60	0,366	0,0	0,0	8,577
Comuna de Bunyola	BUN	15	25	1846-2003	1864-2003	0,67	0,53	56,78	0,289	-0,1	-0,1	16,458
Pinar de Bayarque	BYQ	15	29	1873-1999	1902-1999	0,83	0,72	73,26	0,380	0,0	0,0	37,585
Sta. Maria de Cervelló	CER	13	28	1893-2001	1916-2001	0,78	0,54	58,20	0,383	-0,1	-0,2	13,067
Serra d'Enguera	ENG	14	28	1855-2000	1860-2000	0,77	0,59	62,28	0,486	0,0	-0,1	17,225
Fuenteplada	FUE	16	31	1872-1999	1907-1999	0,78	0,53	57,16	0,287	-0,1	-0,1	17,861
P.N. del Garraf	GAR	22	43	1928-2003	1938-2003	0,73	0,52	55,08	0,283	-0,1	-0,1	20,721
Guardamar del Segura	GDM	15	28	1911-2000	1915-2000	0,62	0,42	46,50	0,236	0,0	0,0	10,772
Los Isidros	ISI	15	30	1916-1999	1920-1999	0,77	0,59	62,51	0,321	0,1	-0,1	18,963
St. Joan de Labritja	JOA	16	31	1912-2001	1915-2001	0,81	0,62	65,39	0,353	0,0	-0,1	21,433
Sa Talaiá de St. Josep	JOS	15	28	1912-2001	1920-2001	0,77	0,65	68,20	0,356	0,0	0,0	22,558
La Ilacuna	LLA	16	27	1931-1999	1949-1999	0,73	0,44	48,15	0,211	-0,1	0,0	11,808
Serra de Matigó	MAI	13	30	1889-2000	1895-1999	0,71	0,56	59,77	0,446	0,0	-0,1	14,121
El Mencal	MCL	13	24	1862-1999	1893-1999	0,78	0,59	62,94	0,314	-0,1	-0,1	17,556
Es Mercadal	MER	11	22	1919-2001	1926-2001	0,73	0,63	66,75	0,294	-0,1	-0,1	13,825
Miramón	MIR	19	38	1814-2004	1840-2004	0,72	0,52	54,92	0,413	0,0	0,0	18,369
P.N. de Mondragó	MON	15	30	1899-2003	1909-2003	0,58	0,47	52,06	0,315	0,0	0,0	11,476
Serra de Mantsant	MNTS	15	30	1911-1999	1919-1999	0,70	0,46	48,76	0,242	0,0	0,0	10,249
Vedado de Peñafior	PNF	23	43	1857-2004	1860-2004	0,72	0,68	69,80	0,435	0,0	-0,2	35,305
Queral	QRL	15	30	1940-1999	1948-1999	0,70	0,44	48,03	0,174	0,0	-0,1	11,811
La Retuerta de Pina	RET	12	43	1845-2004	1857-2004	0,75	0,68	70,15	0,385	0,0	-0,1	26,027
Cala en Turqueta	TUR	10	21	1895-2001	1909-2001	0,70	0,49	50,06	0,251	0,0	-0,1	10,000
Promedio		15	30			0,73	0,56	59,17	0,317			17,550

Tabla III-5. Características de cada una de las cronologías de la red de localidades de pino carrasco en España y del conjunto de ellas. El período máximo hace referencia al intervalo de tiempo cubierto por el número de muestras (testigos de madera) y de árboles que se detallan. El período común a todas las muestras es el intervalo de tiempo empleado para el cálculo de los coeficientes de correlación (r) y el EPS. VAR(CP-I) expresa el porcentaje de varianza explicada por el primer componente del ACP; MSx, la sensibilidad media; AR(1) y AR(2), los coeficientes de autocorrelación de primer y segundo grado, respectivamente; y SNR, el cociente señal-ruido. Para más detalles, ver texto y

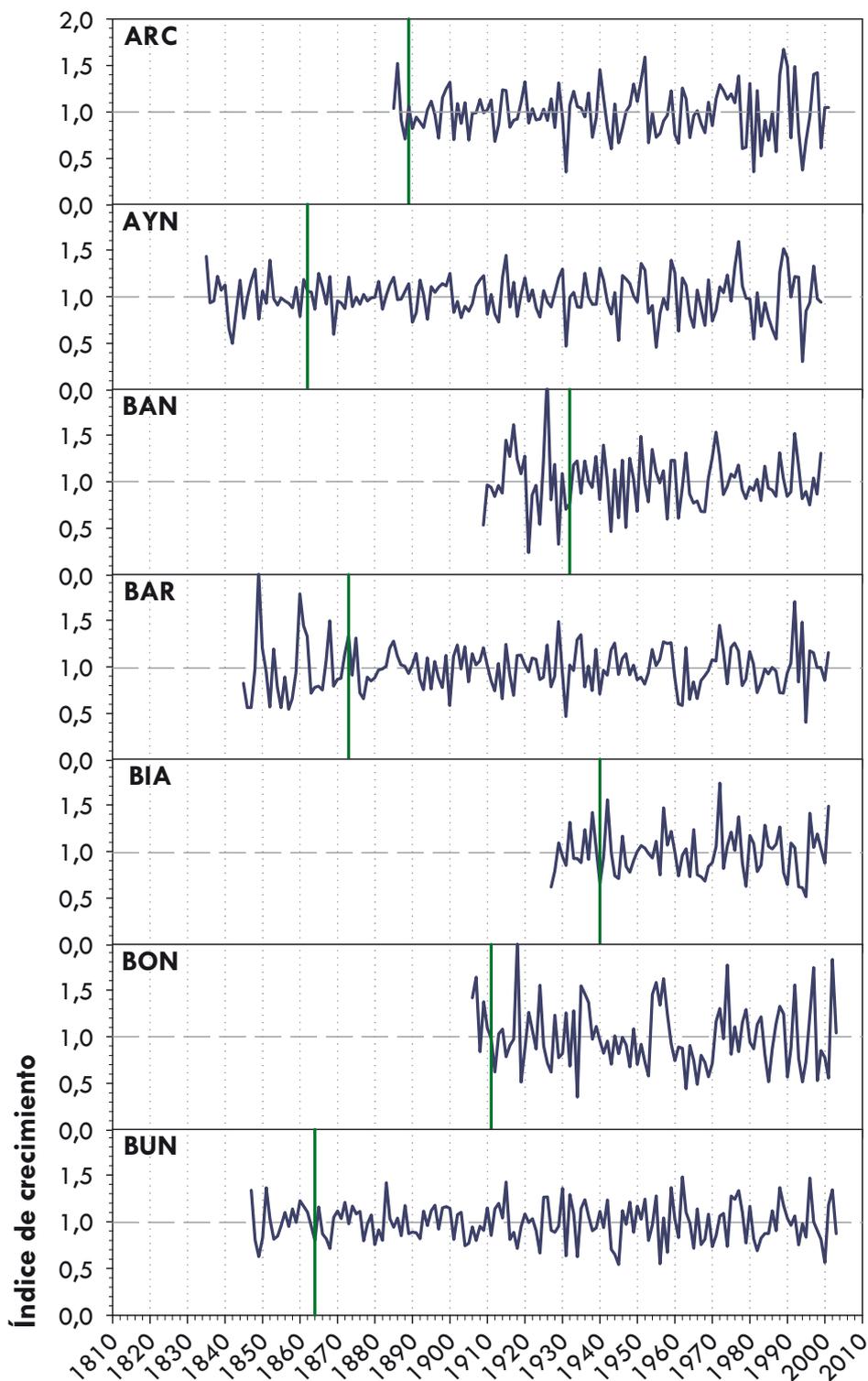


Figura III-10. Cronologías o índices de crecimiento estandarizados de siete localidades de la red de cronologías de pino carrasco en España. La función utilizada para la estandarización fue una *spline* de 25 años de longitud. La línea vertical indica el año a partir del cual la cronología es estadísticamente fiable según el EPS. Las abreviaciones empleadas para nombrar las localidades son las establecidas en la tabla 1.

Las cronologías de BYQ, PNF, ARC y RET presentan valores muy elevados de SNR (valores superiores a 25), indicando que en éstas, la señal climática es muy fuerte (Liang *et al.* 2001). No obstante, en BON, MON, GDM, LLA, MTS, QRL y TUR los valores obtenidos del SNR son muy bajos (Tabla III-4).

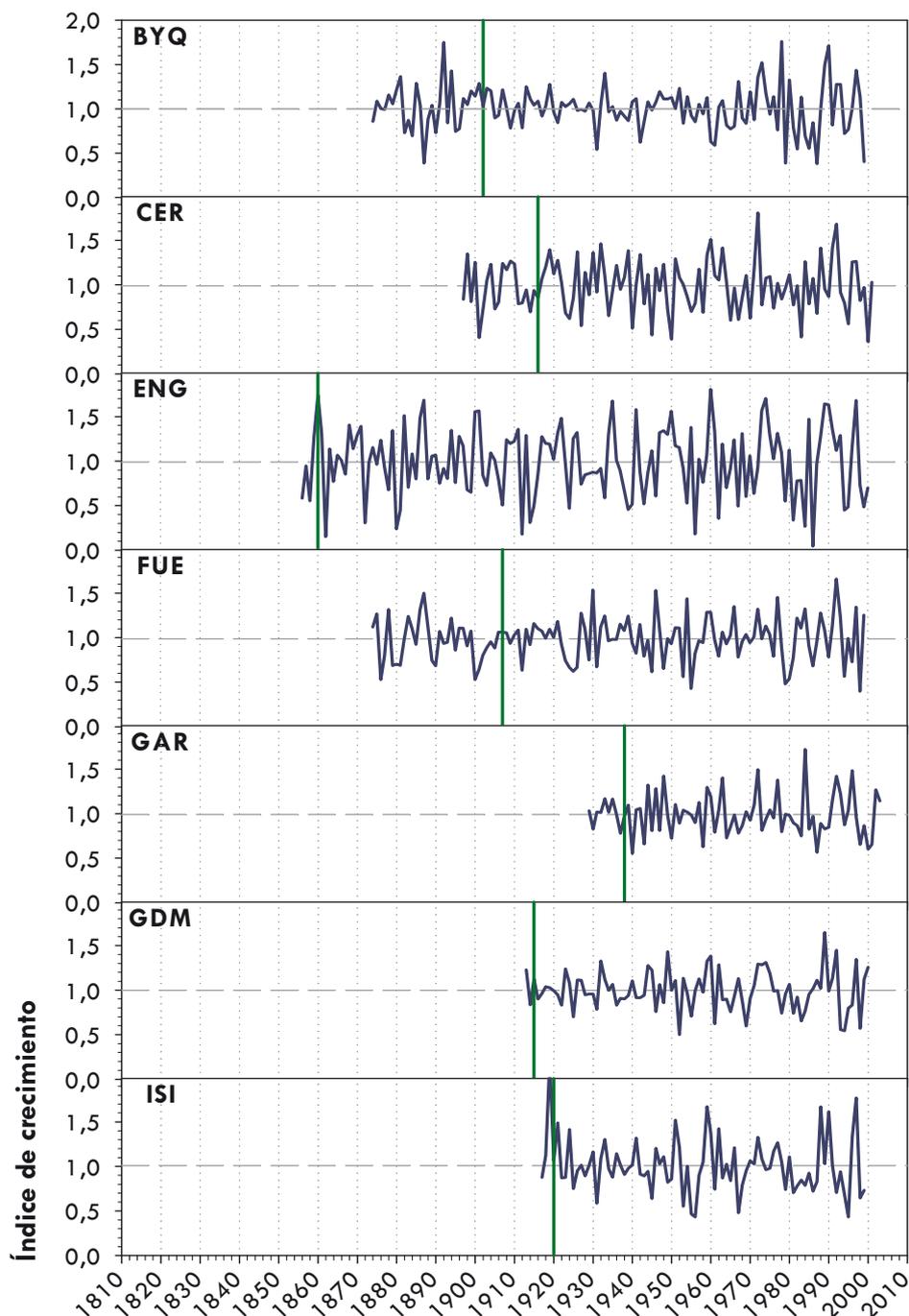


Figura III-11. Cronologías o índices de crecimiento estandarizados de siete localidades de la red de cronologías de pino carrasco en España. La función utilizada para la estandarización fue una *spline* de 25 años de longitud. La línea vertical indica el año a partir del cual la cronología es estadísticamente fiable según el EPS. Las abreviaciones empleadas para nombrar las localidades son las establecidas en la tabla 1.

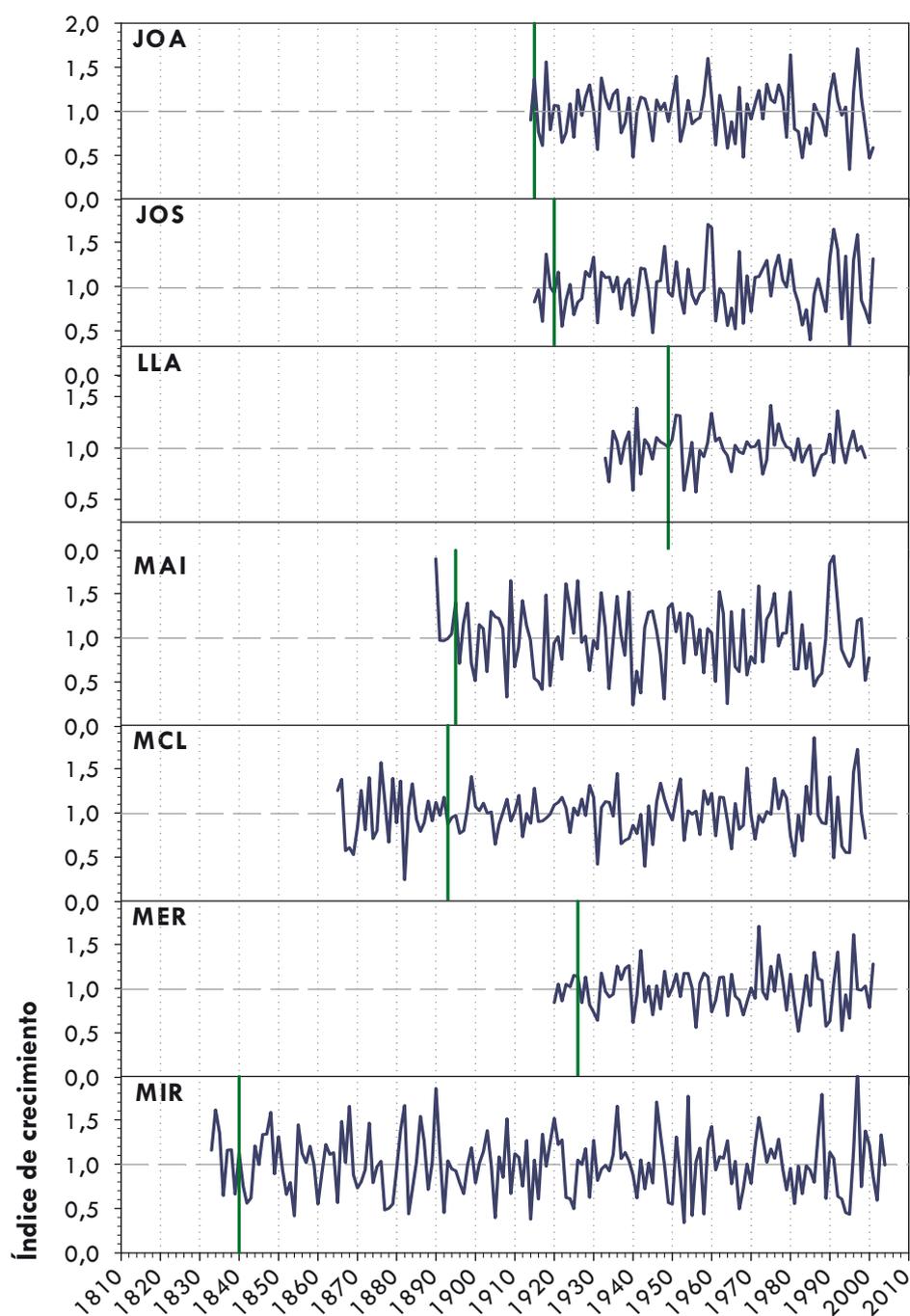


Figura III-12. Cronologías o índices de crecimiento estandarizados de siete localidades de la red de cronologías de pino carrasco en España. La función utilizada para la estandarización fue una *spline* de 25 años de longitud. La línea vertical indica el año a partir del cual la cronología es estadísticamente fiable según el EPS. Las abreviaciones empleadas para nombrar las localidades son las establecidas en la tabla 1.

En resumen, atendiendo a los valores que presentan las cronologías para la MS_x , el VAR CP-I y el SNR, en la mayoría de las poblaciones estudiadas el crecimiento radial del pino carrasco presenta una elevada sensibilidad a las condiciones climáticas, destacando en este sentido ARC (Murcia), BYQ (Almería) y, PNF y RET (Zaragoza). No obstante, existen cinco localidades (LLA, MTS, QRL, GDM y TUR) que muestran una baja sensibilidad al clima (bajos valores de VAR CP-I y MS_x). Probablemente la causa sea la elevada densidad forestal de las tres primeras, y el tipo de sustrato de GDM y TUR (dunas de arena). Por otro lado, también se han encontrado algunas poblaciones que presentan una elevada variabilidad interanual en las series de crecimiento radial, pero en las que sin embargo, los distintos individuos comparten una relativamente baja variabilidad en común en su crecimiento (CER, ENG, MAI y MIR). Posiblemente, en estas masas forestales la dinámica y estructura forestal, con sus repercusiones en la competencia entre individuos y el régimen de perturbaciones, han condicionado el fuerte crecimiento de cada árbol, aumentando la variabilidad (ruido) en las series de crecimiento o cronologías.

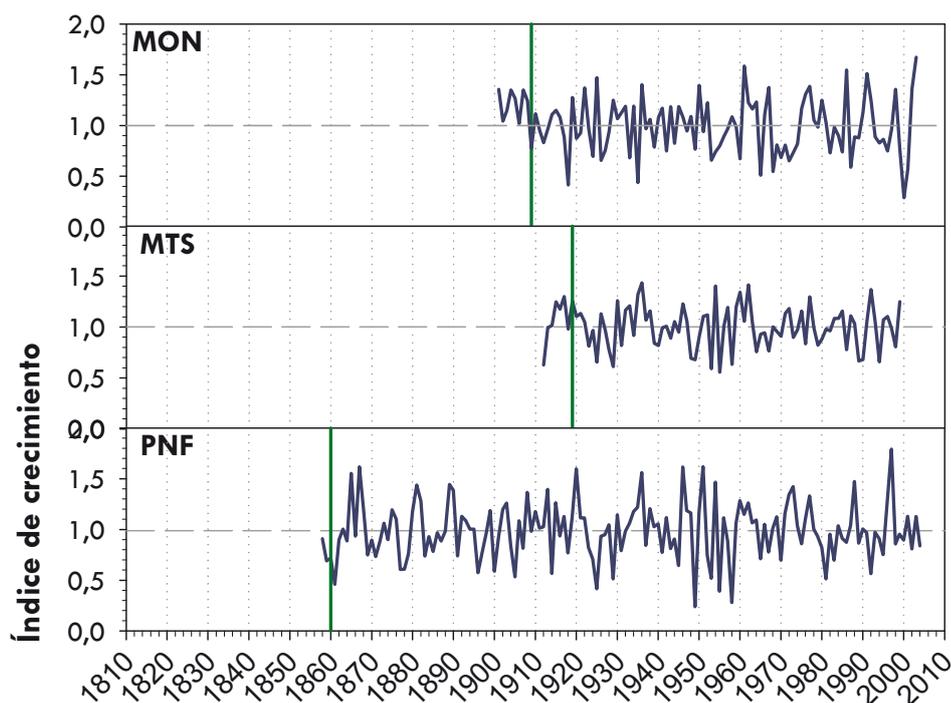


Figura III-13.1. Cronologías o índices de crecimiento estandarizados de las localidades de la red de cronologías de pino carrasco en España. La función utilizada para la estandarización fue una *spline* de 25 años de longitud. La línea vertical indica el año a partir del cual la cronología es estadísticamente fiable según el EPS. Las abreviaciones empleadas para nombrar las localidades son las establecidas en la tabla 1.

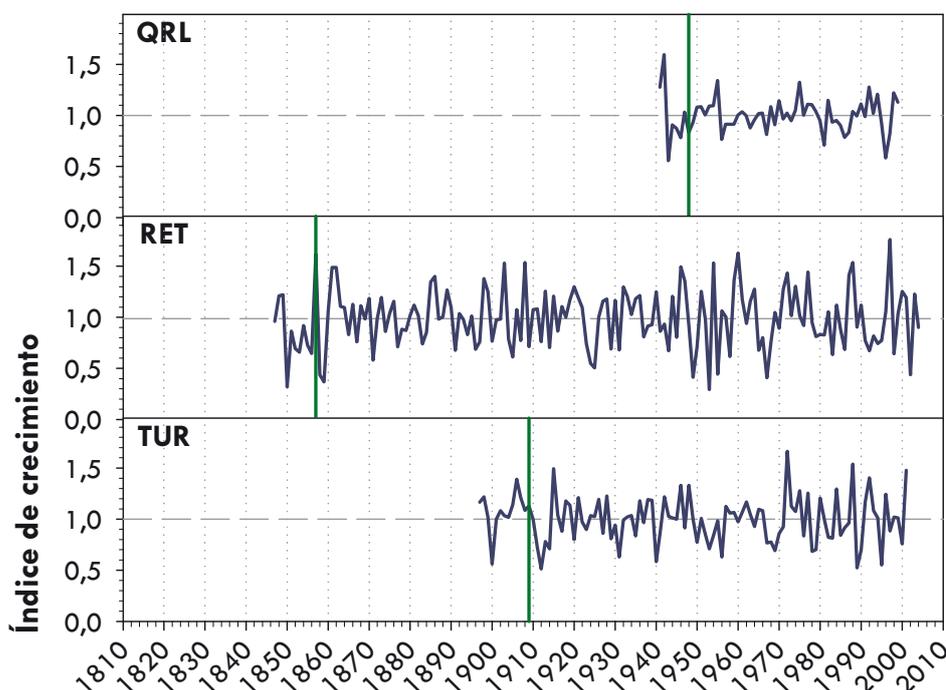


Figura III-13.2. Cronologías o índices de crecimiento estandarizados de las localidades de la red de cronologías de pino carrasco en España. La función utilizada para la estandarización fue una *spline* de 25 años de longitud. La línea vertical indica el año a partir del cual la cronología es estadísticamente fiable según el EPS. Las abreviaciones empleadas para nombrar las localidades son las establecidas en la tabla 1.

Por último, para sintetizar la información proporcionada por los parámetros estadísticos de las 27 cronologías obtenidas para el pino carrasco, y poner de manifiesto si existen grupos de cronologías con características similares o como éstas características varían geográficamente, se ha realizado un ACP basado en la matriz de correlaciones de las características de las cronologías (Tabla III-5). El diagrama de ordenación obtenido (Figura III-14) muestra que no es posible delimitar de forma clara grupos de localidades. No obstante, hay algunas cronologías que aparecen muy cercanas en el diagrama, o por lo menos en el mismo cuadrante. El primer componente (CP-I) distribuye las cronologías según su grado de sensibilidad o variabilidad interanual (MS_x) indicando que, en general, las localidades ubicadas en el sur de la Península y en los Monegros son las más sensibles puesto que presentan mayor variabilidad interanual en el grosor de los anillos de crecimiento. Este primer componente también está relacionado a su vez con la longitud de las series, es decir, con la edad de los árboles, resultado que indica que los árboles más viejos son más sensibles a las variaciones ambientales. El segundo eje distribuye las localidades según el nivel de sincronía en el crecimiento de los distintos árboles (VAR (CP-I) y SNR), de manera que se separan BYQ, ARC y PNF por presentar valores elevados y positivos para este componente (CP-II). No se ha detectado ninguna relación entre los parámetros estadísticos de las cronologías y el grado de aridez de las localidades en el ACP, en contraste con los resultados que obtuvieron Lebourgeois *et al.* (2005) en un estudio realizado con una red de 15 cronologías de *Fagus sylvatica* en Francia.

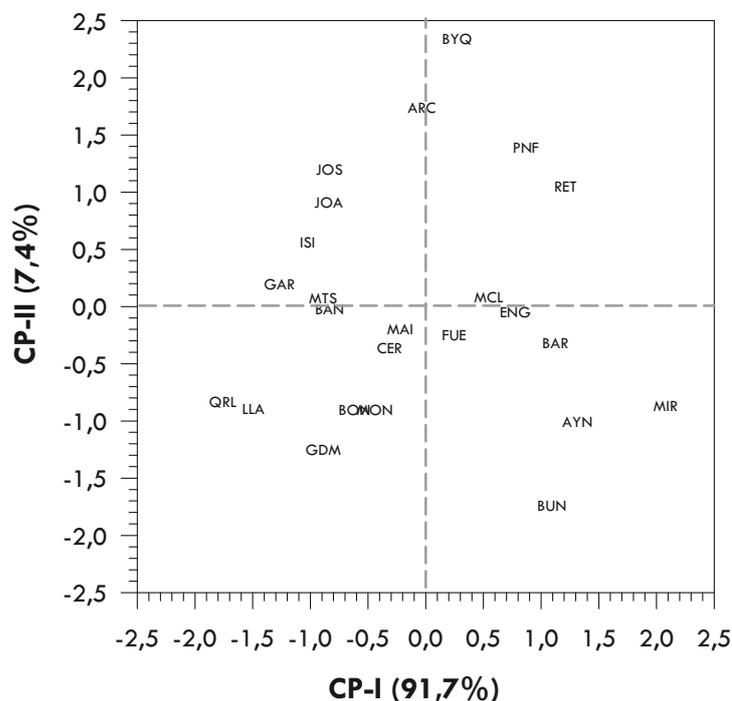


Figura III-14. Diagrama de ordenación obtenido mediante un ACP basado en la matriz de correlaciones en las características de las 27 cronologías de pino carrasco (ver tabla III-5). No se han representado las flechas de las características de las cronologías (vectores descriptivos de la ordenación) para una mayor claridad de la figura. Para más detalles, ver texto.

Con la finalidad de comprobar el grado de afinidad en el crecimiento del pino carrasco entre localidades y determinar si existen grupos de localidades en las que el crecimiento de los árboles ha sido homogéneo, se ha realizado un análisis de ordenación jerárquica (AC). El dendrograma obtenido (Figura III-15) muestra que las cronologías quedan agrupadas en cuatro conjuntos. Un primer grupo lo forman las tres cronologías establecidas en la provincia de Zaragoza (MIR, RET y PNF) junto con ISI (interior de la provincia de València). El segundo grupo se compone de las cronologías obtenidas en el sur peninsular, a excepción de MCL (Granada) y GDM (Alacant). El tercero, por las cronologías obtenidas en el NE peninsular; y el cuarto, por las cronologías establecidas en las Islas Baleares, dentro del cual se distinguen dos subgrupos: el de las cronologías de Menorca y el de las Pitiüses. A este último grupo se le añade la cronología del extremo sur-oriental de la Península (GDM), resultado coherente con la proximidad geográfica y climática entre ambas zonas. Sin embargo, ni BUN (en la Serra de Tramuntana) ni BON (en la llanura central de Mallorca) quedan clasificadas junto con el resto de localidades de las Baleares.

De esta manera, las cronologías se clasifican siguiendo los dos gradientes climáticos detectados en el este peninsular e Islas Baleares (Capítulo II): el de aridez (N-S) y el de continentalidad (interior-costa). Este resultado resalta el fuerte

componente climático a nivel regional que contienen las series de crecimiento radial obtenidas y, por lo tanto, la elevada sensibilidad del pino carrasco a las condiciones climáticas tanto locales como regionales en España.

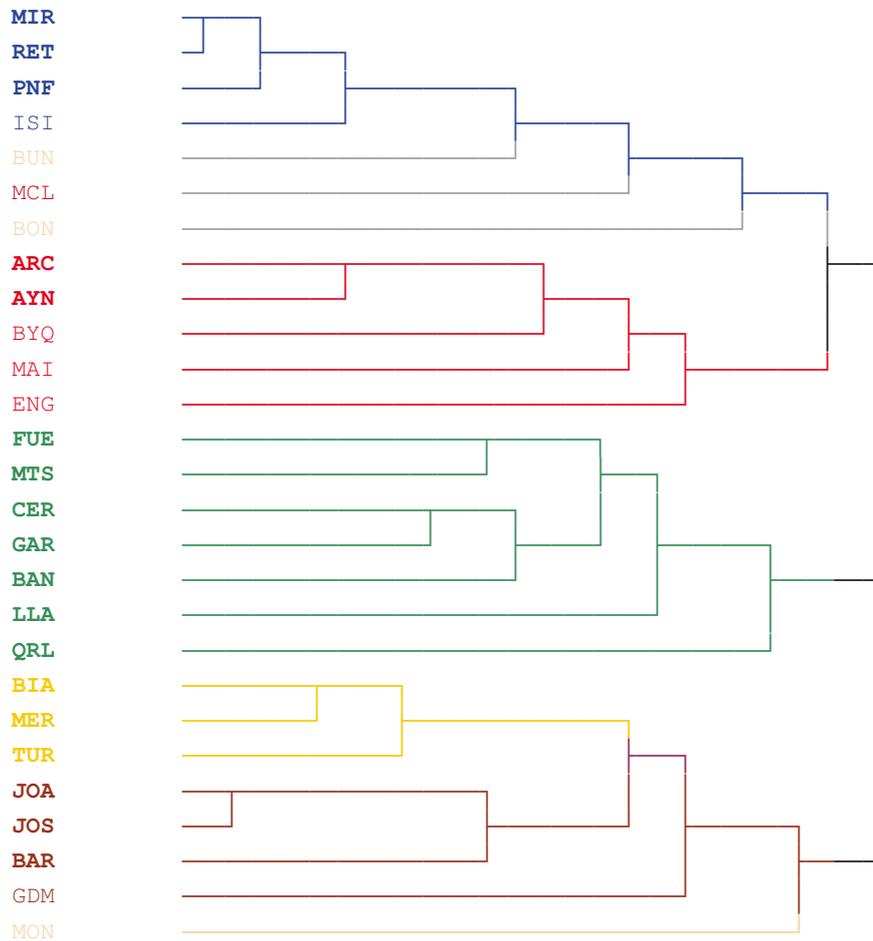


Figura III-15. Diagrama de clasificación obtenido con el análisis de cluster (AC) con las 27 cronologías de pino carrasco establecidas en España. Período de análisis: 1949-1999. Los distintos colores empleados facilitan la delimitación de los grupos establecidos. Las abreviaciones usadas para denominar las localidades se indican en la tabla 1. Para más detalles, ver el texto.

Se ha obtenido el porcentaje anual de árboles en los que el grosor anillo de crecimiento es extremadamente ancho o estrecho ($\bar{x} \pm 1,645 \cdot DS$); o dicho de otro modo, la frecuencia de años con anillos característicos para cada uno de los grupos de localidades definidos anteriormente (AC). Los resultados obtenidos (Figuras III-16 y III-17) son muy similares a los derivados del análisis de los cambios súbitos en las series de crecimiento bruto (Figura III-9 y Cuadros III-1 al III-25), y consecuentemente, son coherentes con la frecuencia de años climáticamente extremos descrita en el capítulo II.

Se ha detectado que en todas las localidades del norte peninsular (NE y N Interior), la frecuencia de anillos característicos entre 1940 y 1960 es más elevada (Figura III-16). También en estas dos regiones, la variabilidad en las condiciones climáticas de finales del s. XIX afectó el crecimiento radial del pino carrasco, de manera que la frecuencia de anillos característicos es también muy elevada en estas décadas. En las últimas décadas, si bien destacan algunos años en los que la frecuencia de anillos extremadamente anchos es elevada, no se ha detectado un aumento notorio de dicha frecuencia en las localidades del norte peninsular. Sin embargo, para el conjunto de localidades del sur, la frecuencia de anillos característicos ha aumentado considerablemente a lo largo de las últimas tres décadas, especialmente la de los anillos extremadamente estrechos. Resultado, que muy probablemente, esté relacionado con el fuerte aumento de años climáticamente secos y calurosos (Figura II-22 y II-23).

En las Islas Baleares, el aumento en la variabilidad climática de los años 1940-1960 se ha manifestado de forma más evidente en Mallorca y Formentera. En todas las islas se ha detectado un aumento en la frecuencia de anillos característicos en las últimas décadas, especialmente en los que destacan por ser anormalmente estrechos, y en las poblaciones situadas en las Pitiüses.

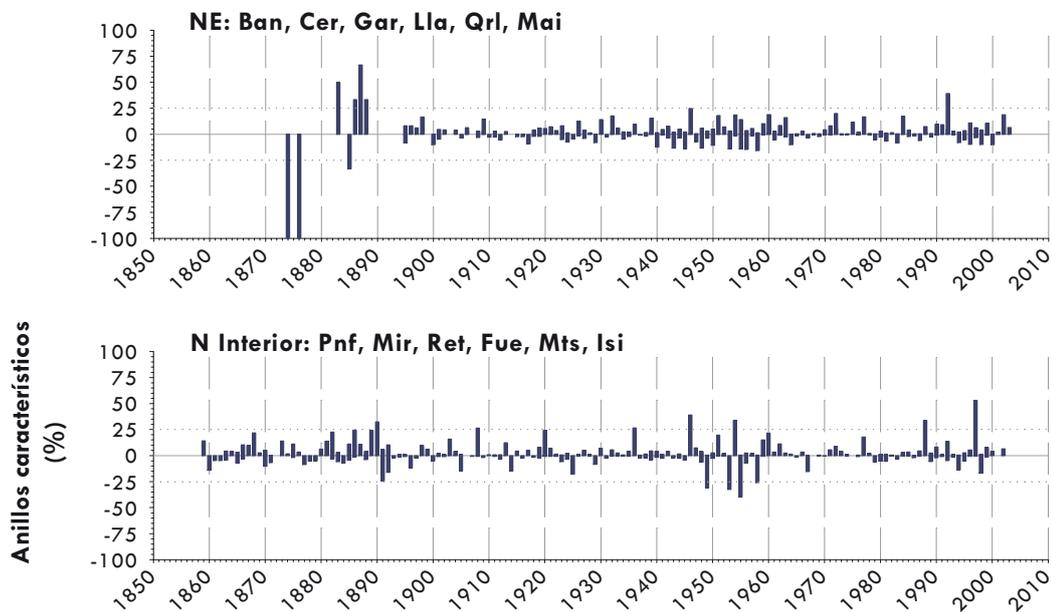


Figura III-16.1. Frecuencia de anillos característicos al 90% de nivel de confianza para cada uno de los tres grupos determinados con el ACP realizado con las 18 cronologías de pino carrasco establecidas en la Península Ibérica (ver Figura III-14). Las líneas discontinuas indican que el 25% de las muestras. Para más detalles, ver el apartado correspondiente al cálculo de los anillos característicos en la metodología.

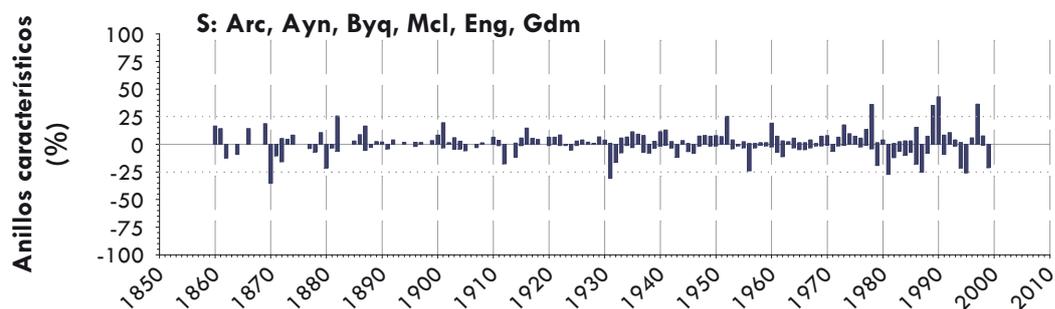


Figura III-16.2. Frecuencia de anillos característicos al 90% de nivel de confianza para cada uno de los tres grupos determinados con el ACP realizado con las 18 cronologías de pino carrasco establecidas en la Península Ibérica (ver Figura III-14). Las líneas discontinuas indican que el 25% de las muestras. Para más detalles, ver el apartado correspondiente al cálculo de los anillos característicos en la metodología.

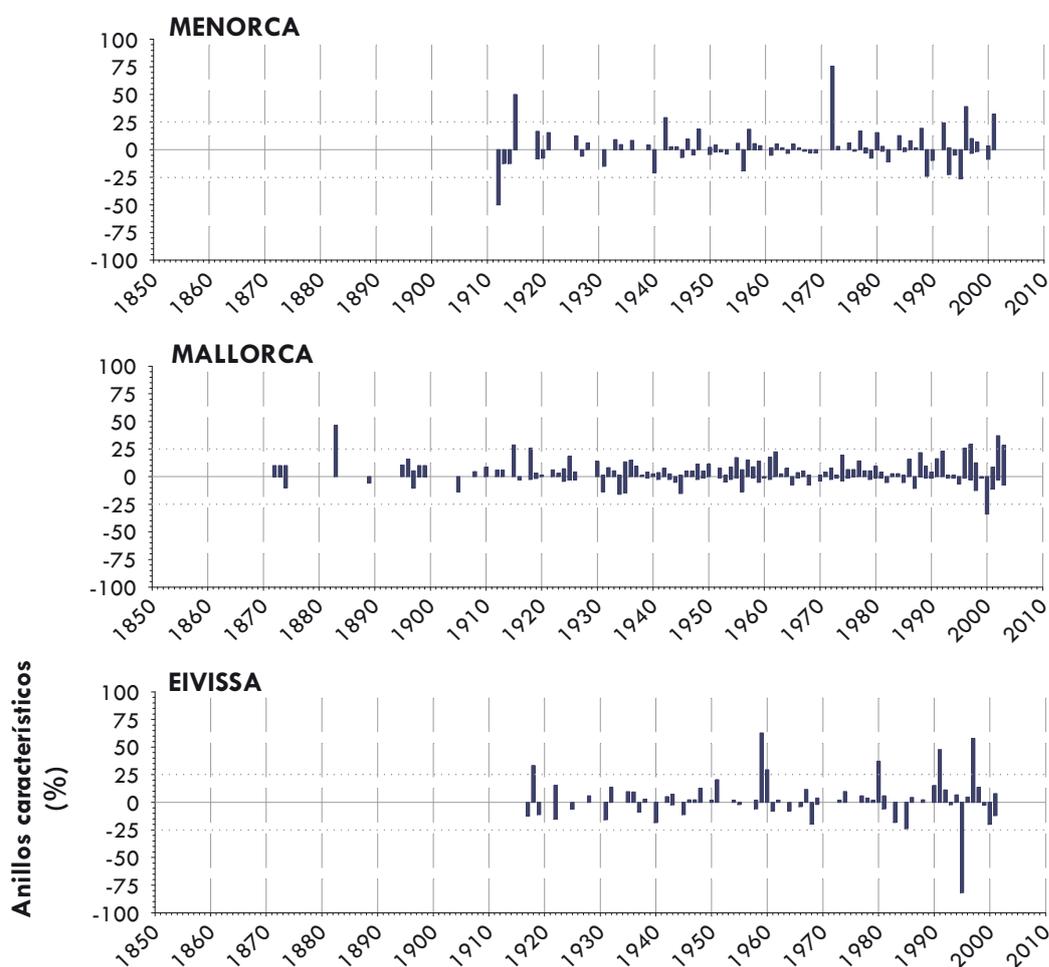


Figura III-17.1. Frecuencia de anillos característicos al 90% de nivel de confianza para cada uno de los grupos determinados con el ACP realizado con las 9 cronologías de pino carrasco establecidas en las Islas Baleares (ver Figura III-14). Las líneas discontinuas indican que el 25% de las muestras. Para más detalles, ver el apartado correspondiente al cálculo de los anillos característicos en la metodología.

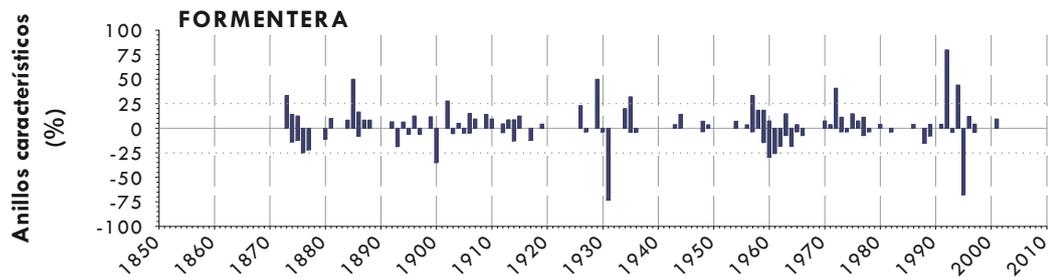


Figura III-17.2. Frecuencia de anillos característicos en Formentera (véase pie de Figura III-17.1).

Por otro lado, y con el propósito de contrastar la importancia del clima como modelador del crecimiento radial del pino carrasco a nivel regional, se han realizado dos ACP (uno para la red de cronologías peninsulares y otro para las establecidas en las Islas Baleares). Éstos, se han basado en la matriz de correlaciones calculadas entre las series de anillos característicos de las localidades. Los diagramas de ordenación obtenidos (Figura III-18), permiten distinguir tres grupos de bosques en la Península y tres en las Baleares. Las tres cronologías obtenidas en Zaragoza, junto con el resto de poblaciones ubicadas cerca de la cuenca del Ebro (ISI, FUE y MTS), son las que adquieren valores más elevados para el CP-I, formando uno de estos grupos. El resto de cronologías, toman valores muy bajos con este primer eje; y se dividen en dos grupos atendiendo a los valores que presentan el segundo eje de ordenación (CP-II). De esta manera, se separan las cronologías del sur, de las del norte.

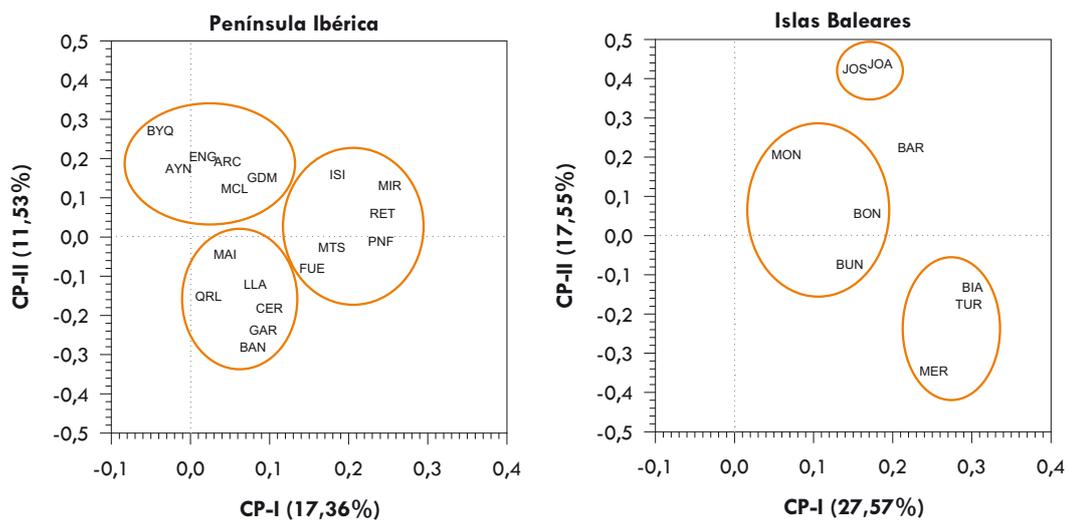


Figura III-18. Diagrama de ordenación obtenido en el análisis de componentes principales (ACP) basado en las series de los anillos característicos de las 27 cronologías de pino carrasco establecidas en España. Período de análisis: 1949-1999. Para más detalles, ver apartado de metodología.

En el diagrama de ordenación obtenido para las localidades de las Islas Baleares, se separan las cronologías de los lugares más áridos (Eivissa) de las de los lugares más húmedos; es decir, las situadas en Menorca (MER, TUR y BIA). Las primeras, presentan valores positivos y elevados para el CP-II, mientras que las segundas, los presentan negativos. Las localidades ubicadas en Mallorca toman valores intermedios en este eje de ordenación, pero se separan del resto de poblaciones por presentar valores bajos con el CP-I.

SINTESIS

Los resultados obtenidos indican que en la red de localidades estudiadas encontramos una gran diversidad de bosques atendiendo a: el tipo de sustrato, de suelo y de vegetación, su estructura demográfica (por tamaños -DAP- y por edades -número de cohortes y edad-), el régimen de perturbaciones y, como consecuencia de todo ello, las modificaciones en sus estructuras verticales y espaciales.

La mayoría de las localidades se encuentran en terrenos de naturaleza calcárea, con una masiva dominancia de las calizas y dolomías. No obstante, también están representadas en la red, las localidades con sustratos ricos en yesos (RET, PNF y MIR), los que presentan depósitos del cuaternario (GDM, ARC y JOA), los que presentan margas (BAN, BON) y los constituidos por conglomerados (CER, FUE, MTS y TUR).

Las localidades de la red de pino carrasco presentan, en general, suelos poco desarrollados (inceptisoles, aridisoles o entisoles) sujetos a regímenes de humedad mediterráneos o áridos; como consecuencia, tienen una baja capacidad de retención hídrica. Además, el carácter gípsico de los suelos en algunas localidades dificulta todavía más la retención de agua en ellos.

Las masas de pino carrasco estudiadas se encuentran, en general, dentro del piso mesomediterráneo, aunque en algunos casos pertenecen a los pisos supra-mediterráneo (MIR, RET, FUE y BYQ) y termomediterráneo (BIA, MON, JOA, JOS, BAR y GDM). Encontramos representados en la red: la serie de vegetación supra-mediterránea de la encina rotundifolia; las series mesomediterráneas de la sabina albar, de los encinares, de los coscojares; y las series termomediterráneas de la sabina negral, de la encina y de las carrascas.

El área basal de las localidades es, en promedio, de poco más de 25 m²/ha, aunque muchas de ellas presentan áreas inferiores a los 20 m²/ha (GAR, ARC, GDM, MTS, CER, JOA, BON y MON). Su densidad media oscila entre los 181 y los 894 pies/ha. Sin embargo, algunas localidades presentan densidades muy bajas como consecuencia de la explotación/gestión forestal (BAR, ARC, GDM y MCL); mientras que otras (AYN, MTS, QRL y LLA), presentan densidades extremadamente altas (superiores a los 1.000 pies/ha).

La mayoría de los bosques de la red presentan dos cohortes de árboles; una, que constituye la cohorte madura formada por árboles más o menos viejos; y la otra, que está constituida por árboles jóvenes y/o que en muchos casos todavía están estableciéndose.

En más de 10 localidades se han encontrado árboles de más de 140 años, de manera que, en general, podemos considerar que las poblaciones de la red de estudio presentan árboles viejos, sobretudo si se considera que la longevidad de la especie se sitúa, según la literatura, en los 200 años.

La ordenación (ACP) de las localidades atendiendo a sus características estructurales, ha puesto de manifiesto que el sustrato (tipo de suelo, porcentaje de

afloramientos rocosos y pendiente), la densidad de árboles y la posición geográfica (latitud, longitud y altitud), son las características que describen mejor la variabilidad existente en el crecimiento radial de las poblaciones de la red de pino carrasco.

Las relaciones entre las variables estructurales (altura, DAP, grosor de la corteza y la albura) y la edad de los árboles ilustran que, a pesar de existir ciertas tendencias generales, el grosor de la corteza y el área conductora del pino carrasco son parámetros que podrían estar relacionados con la existencia de distintos ecotipos. De entre las generalidades detectadas, sobresalen: (i) que los árboles más viejos presentan alburas menores, y (ii) que las poblaciones sujetas a un régimen de incendios más severo son las que presentan cortezas más gruesas, indicando una posible adaptación de la especie a este tipo de perturbaciones.

En general, la regeneración del pino carrasco es inexistente o muy escasa en aquellas poblaciones en las que el sotobosque es más espeso y desarrollado (BAN, BON, BUN, CER, FUE, GAR, JOA, JOS, MON y PNF) y en las que presentan una elevada densidad de árboles (ENG, ISI, LLA, MTS y QRL). De esta manera, se ha encontrado una relación negativa entre la densidad del bosque y la abundancia de regeneración y, entre ésta y la densidad y abundancia de sotobosque; resultados acordes con el carácter heliófilo de la especie. Tampoco hay regeneración en las poblaciones sujetas a una elevada presión ganadera (MIR y MCL).

Las localidades con climas más áridos (MCL, BAR y GDM) presentan una sola cohorte de árboles viejos. No obstante, las localidades con climas más áridos. Además, estas poblaciones no presentan ni un sotobosque desarrollado, ni regeneración de pino carrasco. Estos resultados (envejecimiento futuro de dichas poblaciones, junto con las condiciones climáticas de elevada aridez y mediterraneidad del clima -al menos en BAR y GDM-) hace que consideremos estas localidades muy vulnerables a sufrir en un futuro próximo problemas de erosión y desertificación. Por otro lado, en algunos lugares (FUE, MIR y MAI) no se ha podido inferir el número de cohortes que constituyen los bosques. Destaca especialmente FUE por ser una masa forestal muy densa, que presenta una gran diversidad de tamaños y edades como consecuencia de un severo régimen de perturbaciones desde hace más de 100 años.

Los resultados obtenidos en la reconstrucción del régimen de perturbaciones de cada población a través de las series de crecimiento bruto han mostrado que, muchos de los bosques estudiados, presentan alteraciones en las tasas de crecimiento radial y/o en su estructura demográfica como consecuencia de los incendios forestales (GAR, MAI, ARC, BUN Y FUE), de entresacas madereras (AYN, BAR, BON, BUN BYQ, ENG, FUE, MIR, MON y RET) y/o de la explotación resinífera (AYN).

El análisis de las series promedio de crecimiento bruto de cada bosque y su desviación estándar muestran que, algunos de los bosques estudiados, presentan, en las últimas décadas, una disminución considerable en su crecimiento radial. Estas poblaciones se encuentran en el extremo más árido de las Islas Baleares (sur de Mallorca y Pitiüses) y la provincia de Zaragoza; además presentan diferentes estructuras demográficas, situaciones geográficas y regímenes de perturbaciones. Es-

tos resultados apuntarían hacia un posible decaimiento de las masas forestales de pino carrasco en algunas regiones de España. Por otro lado, según la variabilidad interanual de las cronologías, las localidades ubicadas en el sur de la Península y en los Monegros son las más sensibles. No obstante, tampoco se descarta una relación entre las tendencias detectadas y la existencia de ecotipos más sensibles a los cambios actuales. Dicho de otro modo, este resultado podría apuntar hacia una menor capacidad de adaptación y/o mayor sensibilidad al cambio climático de estas dos regiones de procedencia (Monegros-depresión del Ebro y Pitiüses).

Se han detectado los años en los que el clima ha limitado o favorecido más el grosor del anillo de crecimiento en cada localidad. A pesar que, en general, el crecimiento de los árboles de la red de poblaciones presenta una elevada sensibilidad a las condiciones climáticas (especialmente a las precipitaciones); en algunas de ellas, se ha detectado que la historia del bosque y su régimen de poblaciones han desdibujado los efectos de las condiciones climáticas sobre el crecimiento (FUE, LLA, MAI, MCL, MON, MTS y QRL). Por otro lado, han despuntado como poblaciones altamente sensibles al clima ARC, AYN, ENG, GAR, MIR y RET. También se ha encontrado una relación positiva entre la edad y su sensibilidad a las condiciones ambientales.

El análisis de los cambios súbitos (y también el de los anillos característicos) ha permitido detectar que en los años 1881, 1917, 1947, 1957-60, 1969-72, 1986-89 y 1994-96 el crecimiento del pino carrasco se vio fuertemente influenciado por las condiciones climáticas en la mayoría de las poblaciones (o incluso, en alguno de los casos, en todas). Resultados que están acorde con los obtenidos en el análisis de los anillos y años característicos, de manera que éstos aumentos en el grosor del anillo de crecimiento del pino carrasco tienen lugar después de los años extremadamente secos (1945, 1982, 1994-95) o muy fríos (1956-57 y 1970-73). Este último análisis también ha desvelado que, en algunas poblaciones, a pesar de existir una elevada variabilidad interanual, el crecimiento de los distintos árboles presenta una baja sensibilidad a las condiciones climáticas. La causa, podría encontrarse en la dinámica y estructura de estas masas forestales (CER, ENG, MAI y MIR), o en la escasa capacidad de retención hídrica de los suelos arenosos (GDM y TUR). En estas dos localidades, las series de precipitación no describen con suficiente exactitud el estado hídrico del suelo.

Todos estos resultados denotan que la planificación y la explotación del bosque pueden modificar substancialmente la estructura y la dinámica de las comunidades forestales, y su sensibilidad a las condiciones climáticas.

Finalmente, se han clasificado las cronologías siguiendo los dos gradientes climáticos detectados en el este peninsular e Islas Baleares (Capítulo II): el de aridez (N-S) y el de continentalidad (interior-costa). De esta manera, se separan las tres cronologías establecidas en la provincia de Zaragoza (MIR, RET y PNF) junto con ISI (interior de la provincia de Valencia); las cronologías obtenidas en el sur peninsular; las cronologías construidas en el NE peninsular; y las establecidas en las Islas Baleares. En éstas últimas se separan claramente las cronologías del norte (Menorca) de las establecidas en las Pitiüses. Este resultado pone de manifiesto el fuerte componente climático a nivel regional que contienen las series de crecimiento

radial obtenidas y, por lo tanto, la elevada sensibilidad del pino carrasco a las condiciones climáticas tanto locales como regionales.