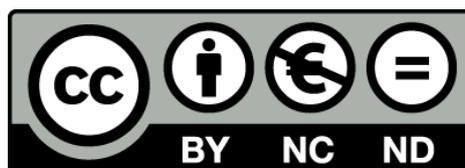


**Dendroecología de *Pinus halepensis* Mill.
en Este de la Península Ibérica e Islas Baleares:
Sensibilidad y grado de adaptación
a las condiciones climáticas**

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



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Clima de la red de localidades

A causa de la complejidad de la distribución espacial de la precipitación en España (no sólo en su cuantía sino también en su reparto estacional), se ha encontrado una enorme variedad de condiciones climáticas en la red de localidades, sobretodo en relación a la duración y posición intraanual de los períodos áridos. La variabilidad climática es mayor en la Península que en las Islas Baleares y, dentro de la Península, es mayor en el extremo SE español, seguido del interior peninsular. A pesar de todo ello, la red de localidades establecida con fines dendroclimatológicos es representativa de la diversidad de fitoclimas en los que encuentran las masas naturales de *P. halepensis* en España.

Los análisis multivariantes han permitido identificar dos gradientes climáticos que se superponen a lo largo del área estudiada: uno, relacionado con la continentalidad y; el otro, con la aridez; quedando claramente diferenciadas en su climatología las localidades peninsulares de las insulares.

Las localidades con menor grado de sequedad son las más septentrionales, exceptuando las situadas en el centro de la Depresión del Ebro (donde la continentalidad marca un mayor grado de aridez en verano). En el otro extremo, las poblaciones más secas y áridas de la red se encuentran el sur de Eivissa, Formentera y Alacant. Dentro de las Islas Baleares, se han diferenciado dos regiones climáticas: una más árida, que abarca el sureste de Mallorca y las Pitiüses (con clima muy parecido al de la costa alicantina; y la otra, más húmeda, que incluye el sureste de Mallorca y Menorca.

Masas forestales de la red de localidades

En la red de localidades establecida para el pino carrasco, se hallan representada 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, a consecuencia de todo ello, las modificaciones en sus estructuras verticales y espaciales. Según los análisis multivariantes, 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 dicha variabilidad.

La reconstrucción del régimen de perturbaciones de cada población a través de las series de crecimiento bruto ha mostrado que, muchos de los bosques estudiados, presentan alteraciones en las tasas de crecimiento radial y/o en su estructura demográfica a consecuencia de incendios forestales, de entresacas

madereras y/o de otros aprovechamientos silvícolas, como por ej. la extracción de resina.

Existe 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.

La competencia entre individuos o entre éstos y la vegetación arbustiva condicionan el crecimiento del pino carrasco enmascarando su respuesta a las condiciones climáticas. Por este motivo, la interpretación de los resultados de estudios dendroclimáticos realizados en masas forestales densas (de más de 1000 pies/ha) debe realizarse con extrema cautela. Otro factor del entorno que dificulta el establecimiento de relaciones entre el grosor de los anillos de crecimiento del pino carrasco y el clima (precipitación y temperatura mensuales) es el tipo de sustrato, especialmente cuando presenta una muy reducida capacidad de retención hídrica (arena).

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

Relaciones crecimiento-clima

La variabilidad climática interanual e intraanual es una característica intrínseca del clima Mediterráneo. Dicha variabilidad se manifiesta en la enorme diversidad de condiciones climáticas acontecidas a lo largo de la última década, no sólo atendiendo a la duración e intensidad del período seco sino, también, a cuándo se produce. Consecuentemente, las diferencias en la disponibilidad de agua para la vegetación son cuantiosas entre años, así como a lo largo de éstos.

Pinus halepensis Mill. es una especie que está perfectamente adaptada a dicha variabilidad, mediante su capacidad de respuesta inmediata a las oscilaciones en la disponibilidad de agua en el suelo atendiendo a su condición de especie *drought-avoiding*. Esta respuesta “elástica” confiere a la especie una mayor capacidad de adaptación frente a prolongadas situaciones hídricas desfavorables. En este sentido, podría tratarse de una de las especies más preparada para responder a los escenarios climáticos futuros de la cuenca mediterránea.

A pesar de la gran variabilidad interanual de las condiciones climáticas (y por lo tanto, en las tasas de crecimiento basadas en el registro de los dendrómetros para el período 1995-2004), se ha podido extraer el patrón de crecimiento radial del pino carrasco en el Massís del Garraf (NE de España). Este resultado revela que la frecuencia de medición de los dendrómetros utilizado (21 días en promedio) es adecuada para determinar las tasas de crecimiento del tronco del pino carrasco en Garraf. Una periodicidad menor hubiera implicado un aumento de la

variabilidad en las series, debido a la mayor importancia de las oscilaciones en el contenido de agua de las células (incrementos reversibles del tronco) en escalas temporales menores. Estos resultados han permitido interpretar las relaciones crecimiento-clima y sus variaciones a lo largo del área de distribución de la especie en España.

El patrón de crecimiento de los pinos en las distintas laderas (N y S) es muy parecido en el Garraf (NE de España). Aunque existen diferencias entre laderas en las tasas máximas y mínimas y, en la duración del período de crecimiento cuando las condiciones son favorables; el umbral térmico que se relaciona con el principio/fin de la estación de crecimiento es igual para ambas laderas. Las similitudes y diferencias entre laderas, han evidenciado la plasticidad de esta especie en relación a la duración del período de crecimiento y su capacidad de pararse/reiniciarse, permitiendo evaluar con mayor firmeza las variaciones encontradas en las funciones respuesta obtenidas para las distintas poblaciones de la red.

Por termino medio, el patrón de crecimiento radial de *P. halepensis* en España es bimodal, empieza en enero-febrero y termina en noviembre-diciembre; la tasa máxima de crecimiento se produce en mayo y, el segundo máximo, en octubre. La falta de agua junto con las elevadas temperaturas de verano provocan una disminución o incluso el paro del crecimiento radial del pino carrasco. Ésta interrupción se produce mayormente en agosto, pero su inicio y fin varían según las condiciones climáticas del lugar y exposición.

El clima ejerce una fuerte influencia sobre el crecimiento radial del pino carrasco a través de un umbral fisiológico de temperatura ($7,65^{\circ}$ C de TM en el Garraf, NE de España) que determina el inicio/final del crecimiento radial. Acorde con este resultado (según las relaciones crecimiento-clima establecidas tanto a nivel local como regional), la longitud y ubicación temporal del período de crecimiento del pino carrasco en España varía en relación con las temperaturas del lugar. De manera que, en las Baleares empieza un mes antes (enero) que en el NE peninsular y, tanto en el sur de la Península como en las Baleares, termina un mes más tarde (diciembre). No obstante, la radiación solar y el fotoperíodo también inciden sobre el inicio de la actividad del cámbium.

Así mismo, el claro y marcado período de latencia invernal (enero), junto con las características intraanuales de los anillos de crecimiento (IADF), permiten datar con fiabilidad los anillos de crecimiento de esta especie. Esta regularidad en el crecimiento de *P. halepensis*, nos ofrece la posibilidad de realizar estudios dendroecológicos y dendroclimatológicos de *P. halepensis* en, al menos, el NE de la Península Ibérica. Además, su prolongada estación de crecimiento, junto con su elevada sensibilidad y la capacidad de adecuación de sus tasas de crecimiento a las condiciones climáticas intraanuales, indican que los anillos de crecimiento de esta especie contienen la información de las condiciones ambientales que tienen lugar durante prácticamente todo el año.

Desde junio hasta octubre la precipitación mantiene un efecto positivo sobre las tasas de crecimiento, mientras que la temperatura las afectan negativamente, sobretodo en julio. El efecto de las precipitaciones es especialmente notable en

primavera (principalmente en mayo) y en otoño (septiembre) de manera que, muy probablemente, influyan de forma positiva en las tasas máximas de crecimiento radial. El efecto negativo de las temperaturas y positivo de las precipitaciones, apunta que la mayor demanda hídrica de la vegetación por el aumento en la evapotranspiración causado por las elevadas temperaturas, acentúa el déficit de presión de vapor de agua atmosférico; y como consecuencia, aumenta el estrés hídrico y se inhibe el crecimiento.

Las oscilaciones en la densidad de la madera del pino carrasco, al ser producto de las variaciones en la actividad del cámbium (tamaño celular y lignificación de las células), responden a los cambios ambientales y, en especial, a los períodos de sequía. De esta manera, el pino carrasco no presenta períodos de latencia regulares: el crecimiento se detiene cuando las temperaturas y la humedad del suelo llegan a ser prohibitivas y, se reinicia tan pronto como devienen favorables. Esta plasticidad, le permite ajustar sus tasas de crecimiento radial a las condiciones climáticas de cada momento.

El patrón general de las funciones respuesta obtenido en las Islas Baleares es muy similar al de las localidades peninsulares. No obstante, resalta: (i) el mayor efecto (positivo) de las precipitaciones desde el octubre-noviembre previo a la estación de crecimiento hasta junio y septiembre del año en curso y, (ii) la mayor duración del período de crecimiento (empieza en enero en lugar de febrero, y termina en diciembre en lugar de noviembre), el cuál está estrechamente relacionado con las temperaturas.

Mediante la aplicación de técnicas multivariantes (PCA, RDA y AC) se han delimitado en la Península cuatro grupos de poblaciones según la respuesta de su crecimiento radial al clima (precipitaciones y temperaturas medias mensuales): uno, formado por los cinco bosques situados en el sur e interior peninsular; otro, constituido por las tres localidades catalanas más septentrionales; el tercero, compuesto por las localidades ubicadas en la Catalunya interior (con un clima más continental); y el último, integrado por los cuatro bosques situados en la Depresión del Ebro. En las Islas Baleares, estos análisis han resaltado la diferencia que existe entre la respuesta a las condiciones climáticas de los pinos de Menorca y la de los de las Pitiüses. Esta clasificación está estrechamente vinculada con las distintas regiones climáticas detectadas a lo largo del área de distribución del pino carrasco.

El crecimiento radial del pino carrasco, en el este de la Península Ibérica e Islas Baleares, está esencialmente limitado por la disponibilidad hídrica, en consecuencia, el crecimiento radial del pino carrasco responde a las condiciones climáticas locales. A pesar de ello, el crecimiento de las 27 poblaciones estudiadas también presenta un elevado porcentaje de variabilidad común, parte del cual (entre un 6% y un 30%, según la región) puede explicarse por las series de TM y PR a escala regional. Esta variabilidad en común, a su vez, está relacionada con fenómenos de circulación atmosférica a nivel global (el porcentaje de varianza explicada por los índices de teleconexiones es, en promedio, cercano al 5%).

El análisis de las relaciones crecimiento-clima a escala regional sintetiza, de

forma mucho más clara, la variación del patrón de crecimiento radial del pino carrasco según las condiciones climáticas en España. A modo de resumen, la interrupción del crecimiento en verano, en general, se produce en los meses de julio y agosto, pero en las localidades más áridas (sur de las Baleares), éste acostumbra a alargarse hasta septiembre. También se ha detectado un aumento de la duración del período de crecimiento de acuerdo con las temperaturas más elevadas en las Baleares y en el sur de la Península, de manera que en el NE y en la cuenca del Ebro éste empieza en febrero y termina en noviembre, mientras que en el sur de la península, aunque se inicia también en febrero, no termina hasta diciembre. En las Baleares empieza en enero y termina en noviembre (en el norte) y en diciembre (en el sur).

La relación ente el crecimiento de los árboles y los índices de circulación atmosférica general (teleconexiones) muestran que, la WEMO es la teleconexión que mejor se relaciona con el crecimiento radial del pino carrasco. Su relación es negativa en invierno (siendo menos importante en el NE peninsular) y en primavera (especialmente en la cuenca de Ebro y en el sur de la Península), y positiva en verano (en todo el territorio español). También existe una cierta influencia positiva de la SO en primavera y otoño con un año de decalaje, así como una relación positiva entre el NAO y el crecimiento radial del pino carrasco en invierno con dos años de desfase.

Análisis temporales del clima, del crecimiento y de las relaciones crecimiento-clima

El análisis de tendencias realizado para los últimos 30 años muestra que el total pluviométrico anual ha disminuido $6,14 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ en promedio, concentrándose principalmente en primavera. No obstante, esta disminución no ha sido homogénea en el espacio; siendo, en general, mayor cuánto más árido y continental es el clima de una localidad.

El incremento de las temperaturas medias anuales a lo largo de las tres últimas décadas es significativo y generalizado. Éste, se debe principalmente al ascenso de las temperaturas mínimas (tasa de incremento medio de $0,07^\circ \text{ C/año}$), aunque las máximas también han aumentado significativamente en la mayoría de lugares ($0,05^\circ \text{ C/año}$ en promedio).

Si bien las oscilaciones en los valores medios de las series de precipitación y temperatura han sido frecuentes a lo largo del último siglo, no se ha encontrado ningún precedente tan generalizado en la tendencia descendente/ascendente de las series de precipitación/temperatura del este peninsular e Islas Baleares.

Con el análisis temporal del coeficiente de variación se ha detectado un aumento de la variabilidad térmica anual en las localidades de la Islas Baleares y del SE peninsular en los últimos 30 años, incremento debido, principalmente, al aumento de la variabilidad en las temperaturas mínimas.

A pesar de estas tendencias en el valor medio de las series climáticas, no se ha detectado ningún aumento en la frecuencia de años extremadamente lluviosos o secos a lo largo del tiempo. Por el contrario, de acuerdo con el incremento en el coeficiente de variación de las temperaturas medias, la frecuencia de años en los que éstas han sido extremadamente altas también ha aumentado, especialmente en la última década y en las localidades del NE peninsular y del norte de las Islas Baleares.

Muchos de los eventos extremos detectados en las series de pluviometría y temperatura media anual han afectado al conjunto de localidades, hecho que denota que el componente regional del clima en España es notable y, muy probablemente, está estrechamente condicionado por la circulación atmosférica global.

En el conjunto de localidades se han detectado algunos años climáticamente extremos por ser especialmente lluviosos (1947, 1951, 1969 y 1971-72), muy secos (1945-46, 1982-83 y 1994-95), anormalmente fríos (1941, 1956-57, 1970-73) o exageradamente cálidos (1991, 1995-96, 1998-99, 2000 y 2002). Muchos de ellos se corresponden con de anillos característicos del pino carrasco, destacando la sensibilidad de su crecimiento radial a las condiciones climáticas a nivel global, o al menos regional.

El efecto del clima sobre el crecimiento en grosor del pino carrasco en España ha cambiado en las localidades con climas más extremos, aumentando en las poblaciones que presentan una continentalidad más marcada (Depresión del Ebro y BYQ), y disminuyendo en las más áridas y cálidas (sur de las Baleares). El análisis temporal de las relaciones crecimiento-clima ha mostrado que a lo largo de los últimos 50 años:

(i) se ha intensificado el efecto positivo que tienen las lluvias en general (especialmente en primavera -desde marzo hasta junio- en el sur peninsular y en la cuenca del Ebro; y en otoño, en el NE peninsular y norte de las Baleares).

(ii) ha disminuido el efecto del clima (especialmente de la precipitación) en los meses de verano. Este resultado indica que el alargamiento del período seco estival causado por las tendencias climáticas detectadas (incremento de las temperaturas y disminución de las lluvias), se ha traducido en un alargamiento del período en el que se detiene el crecimiento radial de *Pinus halepensis* en el este de la Península Ibérica e Islas Baleares.

La respuesta del pino carrasco a los cambios en las condiciones climáticas acontecidos a lo largo del último medio siglo, ha consistido, básicamente, en un reajuste de su período y patrón de crecimiento, siguiendo las mismas pautas que se han detectado en el análisis de la variación de su crecimiento radial a lo largo de las distintas regiones climáticas de su área de distribución en España. Consecuentemente, las relaciones crecimiento-clima no son estables para el pino carrasco. En este sentido, el uso de relaciones crecimiento-clima para realizar

reconstrucciones del clima en el pasado, y/o simular la respuesta de esta especie al clima en el futuro deben de realizarse con prudencia.

Una mejora en los resultados podría obtenerse mediante la medición de algunas relaciones isotópicas en los anillos de crecimiento (por ej. $\Delta^{13}\text{C}$, $\Delta^{18}\text{O}$, y del deuterio) que podrían proporcionar una señal climática más robusta en relación con el estrés hídrico de la vegetación puesto que reflejan el balance entre la asimilación de carbono y la conductancia estomática. Por otro lado, la inclusión en los modelos de parámetros que describan con mayor precisión el balance de agua en el suelo a lo largo del año muy probablemente aumentaría el porcentaje de variabilidad explicada por las funciones respuesta.