



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



**ÍNDICE DE
TABLAS Y FIGURAS**

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1. Distribución geográfica mundial de <i>Pinus halepensis</i> Mill. y <i>Pinus brutia</i> Ten. Imagen modificada de Costa <i>et al.</i> (eds.) (1997). | 19 |
| Figura 2. Red de cronologías de pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i> Mill.) y su área de distribución en la Península Ibérica e Islas Baleares. Los códigos asignados a cada localidad son los que se detallan en la Tabla 1. | 28 |
| Figura 3. Fotografías de las parcelas delimitadas para determinar la densidad y área basal de la masa forestal. A la izquierda, MAI (Serra de Maigmó, València) y a la derecha, LLA (La Llacuna, Barcelona). | 30 |
| Figura 4. Extracción de un testigo de madera mediante el empleo de una barrena Pressler. | 31 |
| Figura 5. Fotografías de los tres tipos de anillos característicos que se encuentran con mayor frecuencia en el pino carrasco. A , anillo ancho; B , anillo con cambio de densidad; C , anillo estrecho. | 32 |
| Figura 6. Valores de sensibilidad media -MSx-, del coeficiente de autocorrelación de primer grado -AR ₍₁₎ - y de la relación señal-ruido -SNR- de la cronología estándar (círculos azules) y de la residual (círculos granates) según la longitud de la función <i>spline</i> ajustada a las series brutas (grosor de los anillos de crecimiento) de la localidad de Banyoles (BAN, Girona). | 36 |
| Figura 7. A la izquierda, situación geográfica de la zona de estudio en Garraf. Imagen extraída del mapa topográfico 1/25.000 (Ed. Alpina 1996). A la derecha, fotografías de la ladera N (arriba) y la S (abajo). | 38 |
| Figura 8. Dendrómetro de banda instalado en un pino carrasco en la localidad de estudio, Garraf. | 39 |
| Figura 9. Representación de la evolución de la pendiente (círculos vacíos) de las rectas de regresión lineales ajustadas a la serie de temperatura media (círculos naranjas) representativa del clima en Cala Biniancolla (BIA, Menorca). Los ajustes se han realizado por intervalos de 30 años, y con un año de desplazamiento. En azul, las pendientes en las que el ajuste es significativo con el 90% de nivel de confianza. | 48 |
| Figura 10. Esquema sobre el método "boot-strap" aplicado en el cálculo de las relaciones crecimiento-clima (funciones respuesta) para contrastar la significación de los cocientes de regresión parciales (r/ds) y de los cocientes de regresión de la calibración y de la verificación (R _c /DS _c y R _v /DS _v , respectivamente) del modelo. | 53 |
| Figura I-1. Precipitación acumulada (círculos azules) y temperatura media (círculos naranjas) calculados entre pares de días de muestreo consecutivos en Begues (Garraf). En amarillo se destaca el área del período seco según el criterio de Gaussen (PR<2·TM). | 60 |
| Figura I-2. Índice mensual de aridez de Martonne calculado para el conjunto de años del período 1995-2004 y para cada año por separado según los datos de PR y TM registrados en el observatorio de Begues, Garraf. Las líneas discontinuas muestran los valores umbrales, por debajo de los cuales, se considera que no puede desarrollarse vegetación arbórea (línea verde), ni vegetación arbustiva (línea verde claro). Para más detalles, ver texto. | 61 |
| Figura I-3. Diagrama de ordenación obtenido mediante un ACP basado en la matriz de correlaciones de los índices fitoclimáticos anuales de aridez de Martonne, Baudiere, Emberger, Phillipis y Giacobbe, del índice de continentalidad de Vernet, de la precipitación total anual (PR), del número de días secos y de la intensidad del período seco (A - área, y PE - perímetro de PR/2·TM). Para más detalles, ver texto. | 62 |
| Figura I-4. A. Precipitación acumulada (círculos azules) y temperatura media (círculos naranjas) calculados entre pares de días de muestreo consecutivos en Begues (Garraf). El área en la que PR<2·TM (período seco) se ha destacado en amarillo oscuro B. Tasas de crecimiento en perímetro del tronco (media y desviación estándar) de los árboles de la ladera N (círculos verdes) y de la ladera S (círculos rojos). C. Diámetro medio estandarizado (cm) de los árboles de las laderas N y S (círculos verdes y rojos, respectivamente). | 64 |
| Figura I-5. Tasa media de crecimiento en perímetro del tronco calculada por períodos de muestreo de distinta frecuencia en las laderas N y S en Begues (Garraf) en el año 2001. | 65 |
| Figura I-6. Coeficiente de correlación de Spearman (r _s , promedio anual y desviación estándar) calculado entre las tasas de crecimiento en perímetro de los 5 árboles que crecen en la ladera N (N-N), entre los cinco de la ladera S (S-S) y entre todos ellos (N-S), desde el año 1995 hasta el 2004. La significación viene indicada con: ** si p=0,01; * si p=0,05 y + si p=0,10. Las líneas verde y roja son los ajustes lineales realizados para la ladera N y S, respectivamente. | 66 |
| Figura I-7. A. Diagrama de ordenación del ACP, basado en la covarianza entre las tasas de crecimiento en perímetro de los 10 individuos estudiados. Del Ph1 al Ph5 en la ladera N y, del Ph6 al Ph10 en la S. B. Relación entre las puntuaciones de cada árbol para el CP-II y la distancia de cada árbol al fondo del valle. C. Relación entre las puntuaciones de cada árbol para el CP-II del ACP y el porcentaje de afloramiento rocoso alrededor (en un área de 1 m de radio) del árbol. | 68 |
| Figura I-8. Tasas de crecimiento en perímetro registradas desde 1995 hasta el 2004 (n=113) y su patrón de crecimiento medio, cuando las condiciones son favorables (ajuste al entorno superior y cuadrados negros), y cuando son adversas (ajuste entorno inferior y círculos negros) en la ladera N (A), y en la ladera S (B), y en ambas laderas simultáneamente, para facilitar su comparación (C). | 71 |
| Figura I-9.1. Cocientes de regresión parcial de las funciones respuesta móviles representados por círculos (n=30 datos con desplazamiento de uno) a lo largo del año para los pinos de la ladera N y para los de la S. Para más detalles, véase metodología. Las líneas horizontales indican el rango que corresponde a un 90% de confianza. Todas las funciones respuesta obtenidas son significativas con p≤0,05. | 73 |
| Figura I-9.2. Cocientes de regresión parcial de las funciones respuesta móviles representados por círculos (n=30 datos con desplazamiento de uno) a lo largo del año para los pinos de la ladera N y para los de la S. Para más detalles, véase metodología. Las líneas horizontales indican el rango que corresponde a un 90% de confianza. Todas las funciones respuesta obtenidas son significativas con p≤0,05. | 74 |

| | |
|---|------------|
| Figura I-10. Relación entre la temperatura media (TM) calculada entre pares de días de muestreo consecutivos, y las tasas de crecimiento en perímetro registradas en cada ladera ($p < 0,0001$).76 | 74 |
| Figura I-11. Arriba, fotografía del corte histológico del anillo de crecimiento del año 2001 en Begues (Garraf). La flecha verde indica el grosor del anillo de crecimiento del año 2001 (crecimiento total anual), mientras que las flechas azules muestran el grosor de los tres falsos anillos creados durante el año. La muestra teñida, por Dendrix con safranina y azul astra, también muestra un radio medular y varios canales resiníferos (en azul) . Abajo, A. Precipitación acumulada (círculos azules) y temperatura media (círculos naranjas) calculados entre pares de días de muestreo consecutivos en Begues (Garraf). B. Tasas de crecimiento en perímetro del tronco (media y desviación estándar) de los árboles de la ladera N (círculos verdes) y de la ladera S (círculos rojos). C. Diámetro medio estandarizado (cm) de los árboles de las laderas N y S. | 76 |
| Figura II-1. A. Relación entre la precipitación total (PR) y la temperatura media anual (TM) en la red de localidades de pino carrasco. B. Relación entre la temperatura media anual (TM) y la amplitud térmica anual (Ampl. T°) en la red de localidades de pino carrasco. | 86 |
| Figura II-2. Diagrama ombrotérmico de la localidad de Banyoles (Girona). Fitoclima nemoromediterráneo submediterráneo fresco y tethyco. La temperatura media se ha representado en naranja y las precipitaciones mensuales en azul. A la derecha, de arriba a bajo, se presenta: la temperatura máxima registrada, la TMA, la Ampl. T°, TMI y la temperatura mínima registrada. En la franja inferior se indica, en negro, cuando la probabilidad de heladas es segura ($TMI < 0$ °C); en trama, cuando las heladas ocurren ocasionalmente ($TMI > 0$ °C, pero $TMI < 0$ °C); y en blanco, cuando la probabilidad de heladas es nula. | 87 |
| Figura II-3.1. Diagramas ombrotérmicos de las localidades con fitoclima nemoromediterráneo genuino fresco tethyco. | 88 |
| Figura II-3.2. Diagramas ombrotérmicos de las localidades con fitoclima nemoromediterráneo genuino fresco tethyco. | 89 |
| Figura II-3.3. Diagrama ombrotérmico de la localidad con fitoclima nemoromediterráneo genuino fresco tethyco. | 90 |
| Figura II-4. Diagrama ombrotérmico de la localidad con fitoclima nemoromediterráneo genuino fresco continental oriental. | 90 |
| Figura II-5. Diagrama ombrotérmico de las localidades con fitoclima mediterráneo subnemorales fresco continental occidental. | 91 |
| Figura II-6. Diagrama ombrotérmico de las localidades con fitoclima mediterráneo genuino fresco continental oriental. | 92 |
| Figura II-7.1. Diagrama ombrotérmico de Miramón (fitoclima mediterráneo genuino fresco transicional). | 92 |
| Figura II-7.2. Diagrama ombrotérmico de Peñaflor (fitoclima mediterráneo genuino fresco transicional). | 93 |
| Figura II-8.1. Diagramas ombrotérmicos de las localidades con fitoclima mediterráneo genuino fresco tethyco. | 93 |
| Figura II-8.2. Diagrama ombrotérmico de la Retuerta de Pina (fitoclima mediterráneo genuino fresco tethyco). | 94 |
| Figura II-9.1. Diagrama ombrotérmico de Santuari de Banany (fitoclima mediterráneo genuino subtropical tethyco). | 94 |
| Figura II-9.2. Diagramas ombrotérmicos de las localidades con fitoclima mediterráneo genuino subtropical tethyco. | 95 |
| Figura II-9.3. Diagramas ombrotérmicos de las localidades con fitoclima mediterráneo genuino subtropical tethyco. | 96 |
| Figura II-10.1. Diagrama ombrotérmico de la localidad con fitoclima mediterráneo subsahariano subtropical tethyco. | 96 |
| Figura II-10.2. Diagrama ombrotérmico de la localidad con fitoclima mediterráneo subsahariano subtropical tethyco. | 97 |
| Figura II-11. Diagrama ombrotérmico de la localidad con fitoclima mediterráneo subnemorales fresco tethyco. | 97 |
| Figura II-12. Distribución de las 27 localidades de la red de estudio en el diagrama de Emberger; dónde $TMI_{(f)}$ indica temperatura mínima del mes más frío, y H, hace referencia al índice de Emberger. Los códigos asignados a cada localidad son los que se detallan en la tabla 1. | 98 |
| Figura II-13. Ordenación de las 27 localidades de la red de estudio según distintos índices de aridez. | 99 |
| Figura II-14. Ordenación de las localidades de la red de estudio según el índice de continentalidad de Gorezyski Los códigos asignados a cada localidad son los que se detallan en la tabla 1. | 100 |
| Figura II-15. Ordenación de las localidades de la red de estudio según el índice anual de aridez de Martonne. Los códigos asignados a cada localidad son los que se detallan en la tabla 1. | 100 |
| Figura II-16. Arriba, ordenación de las localidades de la red de estudio según la duración del período seco (verde) y del período árido (verde claro) determinados por el índice mensual de aridez de Martonne. Abajo, valor promedio del índice de Martonne mensual (azul) y valores límite para determinar la duración del período seco (verde) y del período árido (verde claro). Para más detalles, ver metodología. Los códigos asignados a cada localidad son los que se detallan en la tabla 1. | 101 |
| Figura II-17. Diagrama de ordenación obtenido a través del análisis de componentes principales (ACP) de las 27 localidades de estudio según el clima en cada una de ellas. Las variables descriptivas del clima utilizadas han sido: índice termopluviométrico anual y estacional, TM estacional, índices de aridez de Martonne, Phillipis, Baudiere, y Emberger, índices de continentalidad de Gorezyski y Vernet, PR anual y su DS, Ampl. T° anual, y el número de meses con heladas seguras, con heladas probables, con estrés y con déficit hídrico. Período de análisis: 1970-1999. Los códigos asignados a cada localidad son los que se detallan en la tabla 1. | 102 |
| Figura II-18. Diagrama de cluster obtenido para las 27 localidades de la red de estudio basado en las mismas variables y período que el ACP (Figura II-17). Los códigos asignados a cada localidad son los que se detallan en la tabla 1. | 104 |
| Figura II-19. Porcentaje de localidades con cambios de las pendientes significativas en el análisis tendencias realizado mediante el ajuste de regresiones lineales por períodos de 30 años con desplazamiento anual. Las líneas azul y naranja indican el número de localidades en que se basa el % para TM y PR respectivamente. Para más detalles, ver texto y metodología. | 105 |
| Figura II-20.1. Tendencias de la precipitación total anual en cada una de las 27 localidades de la red de estudio a lo largo del último siglo para los períodos: 1900-1930 y 1931-1950 (para más detalles, ver texto). | 107 |
| Figura II-20.2. Tendencias de la precipitación total anual en cada una de las 27 localidades de la red de estudio a lo largo del último siglo para los períodos: 1951-1970 y 1971-1999 (para más detalles, ver texto). | 108 |
| Figura II-21. Tendencias de la temperatura media en cada una de las 27 localidades de la red de estudio a lo largo del último siglo para los períodos: 1900-1930, 1931-1950, 1951-1970 y 1971-1999 (para más detalles, ver texto). | 109 |

| | |
|---|------------|
| Figura II-22.1. Frecuencia de años extremos en su pluviometría anual con el 90% de confianza para los grupos de localidades determinados en el análisis de cluster (Figura II-18). Las barras positivas indican que se trata de un año característico por ser muy lluvioso, mientras que las barras negativas muestran que dicho año fue especialmente seco. El número de series climáticas que han participado en el cálculo del porcentaje a lo largo del tiempo se muestra en la parte superior de las figuras. | 110 |
| Figura II-22.2. Frecuencia de años extremos en su pluviometría anual con el 90% de confianza para los grupos de localidades determinados en el análisis de cluster (Figura II-18). Las barras positivas indican que se trata de un año característico por ser muy lluvioso, mientras que las barras negativas muestran que dicho año fue especialmente seco. El número de series climáticas que han participado en el cálculo del porcentaje a lo largo del tiempo se muestra en la parte superior de las figuras. | 111 |
| Figura II-23.1. Frecuencia de años extremos en su temperatura media anual con el 90% de confianza para los grupos de localidades determinados en el análisis de cluster (Figura II-18). Las barras positivas indican que se trata de un año característico por ser muy cálido, mientras que las barras negativas muestran que dicho año fue especialmente frío. El número de series climáticas que han participado en el cálculo del porcentaje a lo largo del tiempo se muestra en la parte superior de las figuras. | 111 |
| Figura II-23.2. Frecuencia de años extremos en su temperatura media anual con el 90% de confianza para los grupos de localidades determinados en el análisis de cluster (Figura II-18). Las barras positivas indican que se trata de un año característico por ser muy cálido, mientras que las barras negativas muestran que dicho año fue especialmente frío. El número de series climáticas que han participado en el cálculo del porcentaje a lo largo del tiempo se muestra en la parte superior de las figuras. | 112 |
| Figura II-24. Tendencias del CV de la precipitación total anual en cada una de las 27 localidades de la red de estudio a lo largo del último siglo para los períodos: 1900-1930, 1931-1950, 1951-1970 y 1971-1999 (para más detalles, ver texto). | 114 |
| Figura II-25. Tendencias del CV de la temperatura media anual en cada una de las 27 localidades de la red de estudio a lo largo del último siglo para los períodos: 1900-1930, 1931-1950, 1951-1970 y 1971-1999 (para más detalles, ver texto). | 115 |
| 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. | 132 |
| 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. | 134 |
| 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. | 134 |
| Figura III-4. Relación entre la edad media y el DAP promedio de las 27 localidades muestreadas. Para más detalles, ver texto. | 135 |
| 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. | 135 |
| 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. | 136 |
| 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. | 136 |
| 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. | 137 |
| 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. | 137 |
| 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. | 140 |
| Figura III-10. Cronologías o índices de crecimiento estandarizados de ARC, AYN, BAN, BAR, BIA, BON y BUN. La función utilizada para la estandarización fue una <i>spline</i> 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 I. | 193 |
| Figura III-11. Cronologías o índices de crecimiento estandarizados de BYQ, CER, ENG, FUE, GAR, GDM e ISI. La función utilizada para la estandarización fue una <i>spline</i> 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 I. | 194 |
| Figura III-12. Cronologías o índices de crecimiento estandarizados JOA, JOS, LLA, MAI, MCL, MER y MIR. La función utilizada para la estandarización fue una <i>spline</i> 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 I. | 195 |

| | |
|--|------------|
| Figura III-13.1. Cronologías o índices de crecimiento estandarizados de MON (Mallorca), MTS (Tarragona) y PNF (Zaragoza). La función utilizada para la estandarización fue una <i>spline</i> 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. | 196 |
| Figura III-13.2. Cronologías o índices de crecimiento estandarizados de QRL (Tarragona), RED (Zaragoza) y TUR (Menorca). La función utilizada para la estandarización fue una <i>spline</i> 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. | 197 |
| 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 (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. | 198 |
| 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. | 199 |
| Figura III-16.1. Frecuencia de anillos característicos con el 90% de nivel de confianza para cada uno de los tres grupos determinados con el AC realizado con las 18 cronologías de pino carrasco establecidas en la Península Ibérica (Figura III-15). 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. | 200 |
| Figura III-16.2. Frecuencia de anillos característicos con el 90% de nivel de confianza para cada uno de los tres grupos determinados con el AC realizado con las 18 cronologías de pino carrasco establecidas en la Península Ibérica (Figura III-15). 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. | 201 |
| Figura III-17.1. Frecuencia de anillos característicos con el 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. | 201 |
| Figura III-17.2. Frecuencia de anillos característicos en Formentera (véase pie de Figura III-17.1). | 202 |
| 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. | 202 |
| Figura IV-1. Diagrama de clasificación obtenido con el análisis de cluster realizado para las 18 poblaciones de pino carrasco de la Península Ibérica. Dicho análisis se ha basado en la matriz de cocientes de regresión parciales de las FR locales. Los distintos colores identifican los grupos establecidos. Período de análisis: 1971-1999. Para más detalles, ver el texto. | 215 |
| Figura IV-2. Diagrama de clasificación obtenido con el análisis de cluster para las 9 poblaciones de pino carrasco de las Islas Baleares. Dicho análisis se ha basado en la matriz de cocientes de regresión parciales de las FR locales. Los distintos colores identifican los grupos establecidos. Período de análisis: 1971-1999. Para más detalles, ver el texto. | 215 |
| Figura IV-3. Diagrama de ordenación obtenido mediante un RDA basado en los cocientes de regresión parciales de las funciones respuesta locales (período 1971-1999). Se han considerado como variables ambientales las concernientes a la estructura y características generales de las masas forestales ubicadas en la Península Ibérica. Para más detalles, ver texto. | 217 |
| Figura IV-4. Diagrama de ordenación obtenido mediante un RDA basado en los cocientes de regresión parciales de las funciones respuesta locales para las 14 localidades peninsulares más sensibles a las condiciones climáticas (período 1971-1999). Se han considerado como variables ambientales, las concernientes a la estructura y características generales de las masas forestales ubicadas en la Península Ibérica. Para más detalles, ver texto. | 218 |
| Figura IV-5. Diagrama de ordenación obtenido mediante un RDA basado en los cocientes de regresión parciales de las funciones respuesta locales para las localidades ubicadas en las Islas Baleares (período 1971-1999). Para más detalles, ver texto. | 219 |
| Figura IV-6. Arriba, cocientes de regresión parciales obtenidos en la función respuesta calculada con los datos de precipitación total (barras azules) y temperatura media (triángulos naranjas) mensuales. En gris se presentan los valores obtenidos con los datos de precipitación y temperatura del año anterior al del crecimiento (barras rayadas y triángulos, respectivamente). Abajo, patrón de crecimiento radial en perímetro del pino carrasco en el Garraf obtenido a partir del registro de los dendrómetros para el período 1995-2004. Para más detalles, ver texto. | 220 |
| Figura IV-7. Cocientes de regresión parciales (r/Std) de las funciones respuesta obtenidas para Banyoles (BAN), Sta. Maria de Cervelló (CER) y Garraf (GAR) con los datos de precipitación total (barras azules) y temperatura media (triángulos naranjas) mensuales. En gris, se presentan los valores obtenidos con los datos de precipitación y temperatura del año anterior al del crecimiento (barras rayadas y triángulos, respectivamente). Período de análisis: 1971-1999. Para más detalles, ver texto. | 221 |
| Figura IV-8. Cocientes de regresión parciales (r/Std) de las funciones respuesta obtenidas para las poblaciones de Llacuna (LLA), Querol (QRL) y Serra de Montsant (MTS) con los datos de precipitación total (barras azules) y temperatura media (triángulos naranjas) mensuales. En gris, se presentan los valores obtenidos con los datos de precipitación y temperatura del año anterior al del crecimiento (barras rayadas y triángulos, respectivamente). Período de análisis: 1971-1999. Para más detalles, ver texto. | 223 |

| | |
|---|------------|
| Figura IV-9.1. Cocientes de regresión parciales (r/std) de las funciones respuesta obtenidas para las masas forestales de las localidades de Zaragoza (PNF, MIR y RET) con los datos de precipitación total (barras azules) y temperatura media (triángulos naranjas) mensuales. En gris, se presentan los valores obtenidos con los datos de precipitación y temperatura del año anterior al del crecimiento (barras rayadas y triángulos, respectivamente). Período de análisis: 1971-1999. Para más detalles, ver texto. | 225 |
| Figura IV-9.2. Cocientes de regresión parciales (r/std) de las funciones respuesta obtenidas para las masas forestales de Fuentespalda (FUE, Teruel) y Serra de Enguera (ENG, València) con los datos de precipitación total (barras azules) y temperatura media (triángulos naranjas) mensuales. En gris, se presentan los valores obtenidos con los datos de precipitación y temperatura del año anterior al del crecimiento (barras rayadas y triángulos, respectivamente). Período de análisis: 1971-1999. Para más detalles, ver texto | 226 |
| Figura IV-10.1. Cocientes de regresión parciales (r/std) de las funciones respuesta obtenidas para las poblaciones de pino carrasco en la Sierra de Archivel (ARC) y Ayna los Luisos (AYN) con los datos de precipitación total (barras azules) y temperatura media (triángulos naranjas) mensuales. En gris, se presentan los valores obtenidos con los datos de precipitación y temperatura del año anterior al del crecimiento (barras rayadas y triángulos, respectivamente). Período de análisis: 1971-1999. Para más detalles, ver texto. | 227 |
| Figura IV-10.2. Cocientes de regresión parciales (r/std) de las funciones respuesta obtenidas para las poblaciones de pino carrasco en Pinar de Bayarque (BYQ, Almería), El Mencal (MCL, Granada) y Los Isidros (ISL, València) con los datos de precipitación total (barras azules) y temperatura media (triángulos naranjas) mensuales. En gris, se presentan los valores obtenidos con los datos de precipitación y temperatura del año anterior al del crecimiento (barras rayadas y triángulos, respectivamente). Período de análisis: 1971-1999. Para más detalles, ver texto. | 228 |
| Figura IV-11. Cocientes de regresión parciales (r/std) de las funciones respuesta obtenidas para la población de pino carrasco ubicada en la Serra de Maigmó (MAI, València) con los datos de precipitación total (barras azules) y temperatura media (triángulos naranjas) mensuales. En gris, se presentan los valores obtenidos con los datos de precipitación y temperatura del año anterior al del crecimiento (barras rayadas y triángulos, respectivamente). Período de análisis: 1971-1999. Para más detalles, ver texto. | 229 |
| Figura IV-12. Cocientes de regresión parciales (r/std) de las funciones respuesta obtenidas para la población de pino carrasco ubicada en Guardamar del Segura (GDM, Alacant) con los datos de precipitación total (barras azules) y temperatura media (triángulos naranjas) mensuales. En gris, se presentan los valores obtenidos con los datos de precipitación y temperatura del año anterior al del crecimiento (barras rayadas y triángulos, respectivamente). Período de análisis: 1971-1999. Para más detalles, ver texto. | 230 |
| Figura IV-13. Cocientes de regresión parciales (r/std) de las funciones respuesta obtenidas para las tres poblaciones situadas en Menorca (Es Mercadal —MER—, Cala Biniancalla —BIA— y Cala en Turqueta —TUR) con los datos de precipitación total (barras azules) y temperatura media (triángulos naranjas) mensuales. En gris, se presentan los valores obtenidos con los datos de precipitación y temperatura del año anterior al del crecimiento (barras rayadas y triángulos, respectivamente). Período de análisis: 1971-1999. Para más detalles, ver texto. | 231 |
| Figura IV-14.1. Cocientes de regresión parciales (r/std) de las funciones respuesta obtenidas para las dos poblaciones situadas en Eivissa (St. Joan de Labritja —JOA— y Sa Talaia de St. Josep —JOS) con los datos de precipitación total (barras azules) y temperatura media (triángulos naranjas) mensuales. En gris, se presentan los valores obtenidos con los datos de precipitación y temperatura del año anterior al del crecimiento (barras rayadas y triángulos, respectivamente). Período de análisis: 1971-1999. Para más detalles, ver texto. | 232 |
| Figura IV-14.2. Cocientes de regresión parciales (r/std) de las funciones respuesta obtenidas para la población situada en Formentera (Es Cap de Barbaria —BAR) con los datos de precipitación total (barras azules) y temperatura media (triángulos naranjas) mensuales. En gris, se presentan los valores obtenidos con los datos de precipitación y temperatura del año anterior al del crecimiento (barras rayadas y triángulos, respectivamente). Período de análisis: 1971-1999. Para más detalles, ver texto. | 233 |
| Figura IV-15. Cocientes de regresión parciales (r/std) de las funciones respuesta obtenidas para la masa forestal de Comuna de Bunyola (BUN, Mallorca) con los datos de precipitación total (barras azules) y temperatura media (triángulos naranjas) mensuales. En gris, se presentan los valores obtenidos con los datos de precipitación y temperatura del año anterior al del crecimiento (barras rayadas y triángulos, respectivamente). Período de análisis: 1971-1999. Para más detalles, ver texto. | 234 |
| Figura IV-16. Representación de la significación global de las funciones respuesta regionales con los datos de precipitación y temperatura mensuales para el período 1949-1999. Las barras representan el cociente entre los cocientes de correlación múltiple de la regresión obtenidos para la verificación y su desviación estándar para cada cronología. Para más detalles, ver texto y metodología. | 235 |
| Figura IV-17.1. Cocientes de regresión parciales de las FR obtenidas para las cronologías regionales definidas previamente (ver figuras III-18 y III-19) con los datos de precipitación (barras) y temperatura (triángulos) mensuales para el período 1949-1999. En gris se presentan los valores obtenidos con los datos de precipitación y temperatura del año anterior al del crecimiento (barras rayadas y triángulos, respectivamente). Para más detalles, ver texto. | 237 |
| Figura IV-17.2. Cocientes de regresión parciales de las FR obtenidas para las cronologías regionales definidas previamente (ver figuras III-18 y III-19) con los datos de precipitación (barras) y temperatura (triángulos) mensuales para el período 1949-1999. En gris se presentan los valores obtenidos con los datos de precipitación y temperatura del año anterior al del crecimiento (barras rayadas y triángulos, respectivamente). Para más detalles, ver texto. | 238 |
| Figura IV-18. Representación de la significación global de los modelos de regresión ajustados (Figura III-17) a las distintas cronologías regionales definidas previamente mediante análisis multivariantes (ver figuras III-15 y III-18) con los datos de precipitación y temperatura mensuales para el período 1949-1999. Las barras representan el cociente entre los cocientes de correlación múltiple de la regresión obtenidos para la verificación y su desviación estándar para cada cronología. Para más detalles, ver texto. | 239 |

Figura IV-19. Funciones respuesta finales de las cinco cronologías regionales del pino carrasco establecidas con la combinación de los índices de las teleconexiones previamente seleccionados por presentar relaciones significativas con alguna de las cronologías. P, indica primavera; V, verano; O, otoño; e I, invierno; t indica el año en curso, t-1, el año anterior al de crecimiento, y t-a, dos años antes al de formación del anillo. Para más detalles, ver texto. Las líneas horizontales discontinuas indican el umbral del 90% de nivel de confianza.

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|------------|
| Tabla 1. Localización y características fisiográficas de las poblaciones de pino carrasco que componen la red de estudio. | 29 |
| Tabla 2. Clasificación de las localidades con mayor variabilidad en la longitud de la función <i>spline</i> ajustada individualmente a cada muestra, según el valor promedio de las longitudes ajustadas a las distintas muestras de la cronología y su desviación estándar (DS). Para más detalles, ver texto. | 37 |
| Tabla 3. Longitud temporal de las series de datos meteorológicos obtenidos para cada localidad de la red de <i>P. halepensis</i> . Los detalles de las estaciones meteorológicas empleadas y del proceso de obtención, verificación, revisión y validación de los datos se detallan en la metodología y en el anexo. | 44 |
| Tabla I-1. Características cuantitativas de los períodos secos de cada año, según la definición de Gaussen ($PR=2 \cdot TM$), en Begues (Garraf). Para más detalles, ver texto. | 60 |
| Tabla I-2. Características de cada árbol en el año 2002 en el Garraf. Abreviaciones: Orient., orientación del árbol; Pdte., pendiente; Diám., diámetro del árbol a la altura del dendrómetro; Tasa máx., tasa máxima de incremento en perímetro; Alt., altura del árbol; Vol. copa, volumen de la copa; Afloram., porcentaje de afloramiento rocoso alrededor del árbol; y H arbust., altura media de la vegetación arbustiva en un radio de 1 m, alrededor del árbol. | 63 |
| Tabla II-1. Valores de la pendiente de la recta de regresión lineal ajustada a las series climáticas anuales para el período 1971-1999, en cada localidad (los códigos asignados a cada localidad son los que se detallan en la Tabla 1). Sólo aparecen en la tabla los valores cuando el ajuste resulta significativo al 90%. Se han ordenado las localidades según la clasificación climática de Aullé para facilitar la interpretación de los resultados. | 106 |
| Tabla II-2. Valores promedio del coeficiente de variación (CV) de la precipitación total anual (PR), temperatura media anual (TM), temperatura media de las máximas (TMA) y temperatura media de las mínimas (TMI) en cada una de las 27 localidades de la red de estudio para el período 1971-1999. Los códigos asignados a cada localidad son los que se detallan en la Tabla 1. Se han ordenado las localidades según la clasificación climática de Aullé para facilitar la interpretación de los resultados. | 113 |
| 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. | 127 |
| Tabla III-2. Tipo de vegetación de las 27 localidades de la red 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. | 129 |
| Tabla III-3. Características estructurales de las 27 masas forestales y del conjunto (promedio) de la red de poblaciones de <i>P. halepensis</i> en España. Para más detalles, ver texto. Los códigos asignados a cada localidad son los que se detallan en la Tabla 1. | 131 |
| 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. | 140 |
| 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-1) 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 apartado correspondiente en la metodología. | 192 |
| Tabla IV-1. Porcentaje de localidades en las que, cada variable climática, ejerce un efecto significativo sobre el crecimiento radial. Los porcentajes se han calculado según el número de cocientes de regresión parciales (r/ds) significativos en las FR locales de la Península y de las Baleares que presentan cocientes de regresión de la verificación (Rv/DSv) significativos con un 90% de confianza. Los meses en mayúscula se corresponden con los del año en curso, mientras que en minúscula se indican los meses del año previo al crecimiento. En negrita se han resaltado los meses en los que dicho porcentaje supera el 20% de las poblaciones. El signo si la relación es negativa o positiva. Período analizado 1971-1999. | 214 |