

LÍMITES Y CLASIFICACIÓN FITOCLIMÁTICA DE *Pinus nigra* ARNOLD

E. Romera García, A. Fernández Cancio, J. M. Grau Corbí & R. Bautista Carrascosa

Departamento de Selvicultura. CIFOR. Crta. La Coruña, s/n. km 7 - 28040 MADRID

Resumen

En este trabajo nos proponemos establecer mediante métodos estadísticos multivariantes los límites fitoclimáticos de existencia de *Pinus nigra* Arn. en España, así como la estructura climática ligada a su distribución geográfica. Las zonas de existencia de *Pinus nigra* que se han analizado, incluyen las estaciones cuyos factores bioclimáticos son compatibles con la vida de este taxon, comprendiendo sus masas naturales y todos aquellos puntos en los que, por diversos motivos, se detecta la presencia de la especie. Este estudio, realizado exclusivamente sobre el clima actual y pensando en su posible tendencia al calentamiento global, no considera explícitamente otros condicionantes de su existencia.

Palabras Clave: *Fitoclimatología, Climatología, Pinus nigra Arn., Cambio Climático.*

Summary

In this paper we try to establish the phytoclimatic limits for *Pinus nigra* Arn. in Spain by means of multivariate statistical methods, and also the climatic structure related to its geographical distribution. The distributional areas for *Pinus nigra* we have analyzed gather all bioclimatic groups where its existence is possible. This study only considers present and global warming climatic conditions, not

taking into account other ecological limitations.

Key Words: *Phytoclimatology, Climatology, Pinus nigra Arn., Climatic Change.*

INTRODUCCIÓN

Pinus nigra Arn. muestra una distribución amplia, formada por masas relativamente aisladas que viven en condiciones ecológicas muy diversas, fundamentalmente en la banda supramediterránea (Tabla 6).

En España las masas de *Pinus nigra* de las distintas zonas presentan grandes diferencias entre sí; tanto por la calidad de sus fustes, como por su crecimiento y aspecto. Sin embargo, hay que señalar que esta gran plasticidad está también condicionada por la disposición del terreno. Como consecuencia de las características edáficas y microclimáticas, las masas presentan grandes diferencias entre sí. Este trabajo intenta dilucidar sus límites bioclimáticos mediante el análisis de una matriz construida con los datos climáticos de las estaciones meteorológicas en cuyas proximidades existe este pino.

Por otro lado, dada su amplitud fitoclimática y su resistencia a la sequía y a los fríos invernales, parece un firme candidato para ser utilizado en procesos de reforestación en media y alta montaña si se implanta un Cambio Climático.

Tabla 1. Valores de los límites de los factores fitoclimáticos de Allué Andrade (1990) en las 51 estaciones analizadas en las Regiones de procedencia de *Pinus nigra* (CATALAN et al., 1991).

| | K | A | P | PE | HS | TMF | T | TMC | TMMF | F | OSC | TMMC | C | HP |
|-----|-----|---|------|----|----|------|------|------|------|------|------|------|----|----|
| MAX | 0,7 | 4 | 1166 | 64 | 6 | 6,3 | 14,7 | 25,6 | 1,7 | -5,6 | 16,3 | 35,8 | 44 | 7 |
| MIN | 0 | 0 | 391 | 0 | 0 | -1,4 | 7,3 | 16,9 | -6 | -27 | 5,4 | 21,6 | 30 | 3 |

Tabla 2. Valores de los límites de los factores fitoclimáticos de ALLUÉ ANDRADE (1990) para *Pinus nigra* en las 230 estaciones que han sido analizadas en este estudio.

| | K | A | P | PE | HS | TMF | T | TMC | TMMF | F | OSC | TMMC | C | HP |
|-----|-------|-----|------|----|----|------|------|-----|------|-----|------|------|------|----|
| MAX | 0,598 | 4,2 | 1722 | 74 | 7 | 7,5 | 15,1 | 26 | 2,6 | -6 | 15,8 | 34,9 | 48 | 12 |
| MIN | 0 | 0 | 356 | 2 | 0 | -0,1 | 7,3 | 16 | -5,4 | -30 | 6,4 | 22,3 | 32,5 | 3 |

Tabla 3. Valores de los límites del resto de factores fitoclimáticos empleados en este estudio. Parte de ellos son utilizados en el sistema de Rivas-Martínez (1997) y algunos otros directamente relacionados con él. En general, pretenden extraer el sentido biogeográfico contenido especialmente en la estacionalidad de las precipitaciones y de los índices ómbricos, y sobre el carácter extremo del clima. Son los siguientes: **1. M.** Temperatura media de las máximas del mes de media más fría, es un elemento que forma parte del IT (RIVAS-MARTÍNEZ, 1997). **2. IT.** Índice de termicidad (RIVAS-MARTÍNEZ, 1997), $IT = (M + TMMF + T) * 10$. **3. IO.** Índice Ombrico (RIVAS-MARTÍNEZ, 1997), $IO = (P/T)/10$. **4. CC.** Índice de continentalidad (RIVAS MARTÍNEZ, 1997), $CC = (TMC - TMF)$. **5. CCA.** Índice de continentalidad absoluto (RIVAS-MARTÍNEZ, 1997), $CCA = C - F$. **6. PRI, PRP, PRV, PRO.** Coeficientes estacionales de las precipitaciones invernales (diciembre, enero, febrero), primaverales (marzo, abril, mayo), estivales (junio, julio, agosto), y otoñales (septiembre, octubre, noviembre), respectivamente, normalizados a 250 mm de precipitación con el fin de observar el comportamiento de la estacionalidad de forma simple. **7. IPRI, IPRP, IPRV, IPRO.** Coeficientes ómbricos estacionales correspondientes al dividir las precipitaciones de los meses mencionados por la suma de sus respectivas temperaturas medias. **8. IFOR.** Índice de forma, que divide la suma de las precipitaciones de los seis primeros meses del año por la de los seis últimos; trata de separar las áreas mediterráneas de las de influencia atlántica. **9. IOEST.** Índice ómbrico extremo de verano, $IOEST = PE/TMMC$, tiene relación con el máximo estrés hídrico que soporta la estación. **10. IOFRI.** Índice ómbrico extremo de la precipitación invernal, $IOFRI = PRI/TMMF$, tiene relación con el estrés hídrico invernal. **11. IFORI.** Índice de forma desplazado, $IFORI = (PRI + PRP)/(PRV + PRO)$, está muy relacionado con IFOR, pero suele comportarse mejor en la separación de áreas mediterráneas. **12. IFVI.** Índice de forma extremo, $IFVI = (PRV/PRI)$, relaciona las precipitaciones de verano con las de invierno, suele separar bien las áreas con influencia centroeuropea. **13. IIEST.** Índice ómbrico de forma desplazado, $IIEST = (IPRI + IPRP)/(IPRV + IPRO)$, actúa en una dirección semejante a IFORI. **14. IIVER.** Índice ómbrico de forma extremo, $IIVER = IPRV/IPRI$, relaciona los índices ómbricos de verano con los de invierno y actúa en la misma dirección que IFVI, aunque parece seleccionar mejor las áreas suroccidentales de temperaturas más altas y con fuerte precipitación invernal. **15. ICORT.** Índice de forma sobre It, $ICORT = ((IPRP/IPRO)/IT) * 100$, tiende a separar las zonas atlánticas frías de la submeseta norte de las zonas mediterráneas frescas, con subtipos fitoclimáticos semejantes.

| | MAX | MIN | | MAX | MIN | | MAX | MIN | | MAX | MIN |
|-----|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| M | 12,7 | 3,9 | PRP | 1,97 | 0,39 | IPRV | 0,53 | 0,03 | IFORI | 2,91 | 0,73 |
| IT | 301 | 76 | PRV | 1,12 | 0,07 | IPRO | 1,54 | 0,21 | IFVI | 2,15 | 0,12 |
| IO | 1,45 | 0,24 | PRO | 2,11 | 0,33 | IFOR | 1,75 | 0,75 | IIEST | 17,97 | 1,39 |
| CC | 22,3 | 13,6 | IPRI | 15,3 | 0,45 | IOEST | 2,8 | 0,1 | IIVER | 0,6 | 0,02 |
| CCA | 69 | 39,5 | IPRP | 1,8 | 0,3 | IOFRI | 13,4 | -16,2 | ICORT | 11,66 | 0,19 |
| PRI | 2,52 | 0,23 | | | | | | | | | |

Tabla 4. Valores de los límites de los factores fitoclimáticos de ALLUÉ ANDRADE (1990) para *Pinus nigra* en cada una de las clases obtenidas en este estudio.

| | Clase 1 | | Clase 2 | | Clase 3 | | Clase 4 | | Clase 5 | | Clase 6 | | Clase 7 | | Clase 8 | |
|------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|------|---------|-------|---------|-------|
| | MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX |
| ALT | 417 | 1039 | 346 | 1359 | 635 | 1773 | 940 | 1569 | 1145 | 1525 | 615 | 1587 | 461 | 1550 | 1047 | 1666 |
| K | 0 | 0,282 | 0 | 0,129 | 0,005 | 0,203 | 0,012 | 0,047 | 0,023 | 0,074 | 0 | 0,02 | 0,092 | 0,598 | 0,035 | 0,121 |
| A | 0 | 2,56 | 0 | 2,6 | 0,84 | 3,11 | 0,85 | 1,93 | 1,63 | 2,52 | 0 | 1,42 | 2,29 | 4,2 | 1,88 | 2,97 |
| P | 387 | 984 | 387 | 1276 | 417 | 952 | 659 | 957 | 587 | 887 | 457 | 1722 | 356 | 865 | 773 | 1498 |
| PE | 24 | 70 | 17 | 49 | 4 | 32 | 19 | 32 | 12 | 23 | 21 | 74 | 4 | 23 | 2 | 21 |
| HS | 0 | 4 | 0 | 4 | 1 | 5 | 4 | 6 | 3 | 6 | 0 | 7 | 0 | 4 | 0 | 4 |
| TMF | 1,6 | 5,3 | 1,6 | 5,7 | 0,7 | 4,7 | -0,1 | 2,2 | 0,7 | 4,1 | 0,5 | 5,4 | 3,7 | 7,5 | 1,1 | 5,2 |
| T | 10,5 | 15 | 9,4 | 13,4 | 8,7 | 13,4 | 8,6 | 10,3 | 7,3 | 11,2 | 7,8 | 11,7 | 10,9 | 15,1 | 9,6 | 12,6 |
| TMC | 20 | 25,8 | 16 | 22,5 | 18,3 | 24,4 | 18,4 | 21 | 16,6 | 21,4 | 16,5 | 20,8 | 20,8 | 26 | 19,4 | 23,7 |
| TMMF | -4 | 0,1 | -4 | 2,6 | -4 | 0,4 | -5,4 | -2,8 | -3,3 | -0,5 | -4,5 | 2,6 | -3,5 | 2,5 | -4,2 | 1,4 |
| F | -30 | -10,2 | -30 | -7 | -22 | -8,5 | -24,8 | -16 | -13,7 | -9,6 | -19 | -6 | -18 | -7 | -21,3 | -6,9 |
| OSC | 10,1 | 14,5 | 6,4 | 13,5 | 8,3 | 15,6 | 11,2 | 15,5 | 8,2 | 13,7 | 9,2 | 12,9 | 7,4 | 15,8 | 6,9 | 15,6 |
| TMMC | 26,3 | 32 | 22,6 | 31,1 | 25,2 | 34,9 | 27,2 | 30,9 | 22,5 | 29,9 | 22,3 | 26,5 | 26,4 | 33,6 | 25 | 32,3 |
| C | 36 | 48 | 34 | 45,2 | 34 | 47 | 34,7 | 40,5 | 35 | 40,5 | 32,5 | 39,2 | 35,1 | 45 | 36,2 | 44 |
| HP | 4 | 9 | 4 | 12 | 4 | 9 | 4 | 7 | 3 | 7 | 4 | 8 | 4 | 10 | 5 | 8 |

Trabajos previos que han estudiado los límites bioclimáticos de *Pinus nigra* se han basado fundamentalmente en el Sistema de Allué Andrade (1990). De estos trabajos (CATALÁN BACHILLER et al., 1991, MARTÍN ALBERTOS et al., 1998, GRAU CORBÍ et al., 1999) se deduce que se pueden encontrar manifestaciones espontáneas de importancia de *Pinus nigra* bajo los subtipos VI(IV)₁, VI(IV)₂ y VI(VII) y en menor medida en los subtipos IV₃, IV₄, IV(VI)₁, IV(VII), VI(IV)₄, VI(V) y VIII(VI) (normalmente consecuencia de repoblaciones). Excepcionalmente se encuentra en los climas IV₂, IV(VI)₂ y VI resultando ser prácticamente incompatible con los climas III(IV), IV(III), IV₁, X(VIII), X(IX)₁ y X(IV)₂. Los límites fitoclimáticos de Allué Andrade para *Pinus nigra* en las 51 estaciones analizadas en las Regiones de Procedencia pueden verse en la Tabla 1.

MATERIAL Y MÉTODOS

La corología de *Pinus nigra* se ha establecido utilizando cuatro fuentes de informa-

ción. En primer lugar, la Base de Datos de la Dirección General para la Conservación de la Naturaleza (DGCONA), que cubre la mayor parte del territorio español. En segundo lugar, los Mapas Forestales de Ruiz de La Torre (dir., 1990-1992), publicados por la DGCONA. En tercer lugar, los Mapas de las Regiones de procedencia de *Pinus nigra* publicados por INIA-DGCONA (CATALÁN et al., 1991) y, por último, los Mapas del II Inventario Forestal Nacional (1986-1995), publicados por la DGCONA. La climatología de *Pinus nigra* se establece utilizando una Base de Datos meteorológicos, que dispone de más de 6000 estaciones proporcionadas por el Instituto Nacional de Meteorología (INM). Para cada estación se calculan los 35 factores fitoclimáticos que pueden verse en las Tablas 2 y 3.

La selección de estaciones compatibles con la vida de *Pinus nigra* se ha hecho primeramente cruzando la información de unos 200.000 inventarios de la Base de Datos de la DGCONA, para extraer las coordenadas de los puntos donde aparece *Pinus nigra*, y

Tabla 5. Valores de los límites del resto de factores fitoclimáticos en cada una de las clases obtenidas en este estudio.

| | Clase 1 | | Clase 2 | | Clase 3 | | Clase 4 | | Clase 5 | | Clase 6 | | Clase 7 | | Clase 8 | |
|-------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|-------|---------|-------|---------|------|---------|------|---------|------|
| | MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX |
| M | 7 | 10,6 | 5,7 | 9,9 | 4,3 | 10,7 | 3,9 | 8,5 | 4 | 9,1 | 5 | 9 | 6,9 | 12,7 | 4 | 10,5 |
| IT | 137 | 257 | 137 | 241 | 106 | 223 | 76 | 142 | 89 | 192 | 90 | 224 | 166 | 301 | 124 | 244 |
| IO | 0,26 | 0,58 | 0,26 | 0,93 | 0,31 | 0,77 | 0,62 | 0,93 | 0,52 | 0,96 | 0,43 | 1,45 | 0,24 | 0,51 | 0,51 | 1,15 |
| CC | 17 | 20,5 | 13,6 | 18,7 | 16,4 | 21,1 | 17 | 20,3 | 15,8 | 17,3 | 13,9 | 19,1 | 16,2 | 22,3 | 16,9 | 20,1 |
| CCA | 50 | 69 | 45,9 | 62 | 47 | 62 | 51,5 | 63,2 | 46,1 | 52 | 39,5 | 55,7 | 42,9 | 59 | 43,4 | 59,8 |
| PRI | 0,23 | 0,87 | 0,23 | 1,81 | 0,4 | 1,28 | 0,62 | 1,31 | 0,68 | 1,33 | 0,3 | 2,52 | 0,33 | 1,34 | 1,21 | 2,48 |
| PRP | 0,43 | 1,04 | 0,43 | 1,37 | 0,46 | 1,03 | 0,78 | 1,06 | 0,61 | 0,95 | 0,49 | 1,87 | 0,39 | 1,04 | 0,87 | 1,97 |
| PRV | 0,39 | 0,9 | 0,37 | 0,77 | 0,18 | 0,51 | 0,42 | 0,58 | 0,28 | 0,39 | 0,49 | 1,12 | 0,07 | 0,38 | 0,2 | 0,39 |
| PRO | 0,34 | 1,15 | 0,34 | 1,32 | 0,44 | 1,18 | 0,61 | 0,98 | 0,65 | 1,09 | 0,48 | 2,11 | 0,33 | 0,89 | 0,72 | 1,28 |
| IPRI | 0,5 | 1,37 | 0,5 | 3,01 | 0,79 | 3,85 | 3,24 | 15,27 | 2,17 | 7,28 | 1,52 | 5,54 | 0,45 | 1,68 | 1,96 | 6,57 |
| IPRP | 0,34 | 0,75 | 0,34 | 1,16 | 0,38 | 1,11 | 0,86 | 1,28 | 0,68 | 1,31 | 0,64 | 1,8 | 0,3 | 0,79 | 0,7 | 1,78 |
| IPRV | 0,15 | 0,38 | 0,15 | 0,34 | 0,08 | 0,25 | 0,18 | 0,27 | 0,13 | 0,2 | 0,23 | 0,53 | 0,03 | 0,16 | 0,08 | 0,17 |
| IPRO | 0,27 | 0,65 | 0,27 | 0,91 | 0,3 | 0,89 | 0,52 | 0,93 | 0,53 | 1,17 | 0,41 | 1,54 | 0,21 | 0,55 | 0,47 | 0,93 |
| IFOR | 0,8 | 1,16 | 0,75 | 1,26 | 0,82 | 1,42 | 1,16 | 1,42 | 1,03 | 1,33 | 0,84 | 1,24 | 1 | 1,62 | 1,32 | 1,75 |
| IOEST | 0,75 | 2,36 | 0,63 | 2,17 | 0,15 | 1,21 | 0,66 | 1,17 | 0,44 | 0,87 | 0,81 | 2,79 | 0,13 | 0,76 | 0,07 | 0,79 |
| IOFRI | -0,72 | 8,7 | -16,2 | 5,6 | -1,76 | 2 | -0,41 | -0,17 | -1,86 | -0,21 | -2,05 | 0,97 | -4,45 | 7,2 | -12,4 | 13,4 |
| IFORI | 0,73 | 1,17 | 0,73 | 1,62 | 1 | 1,66 | 1,14 | 1,6 | 1,35 | 1,8 | 0,75 | 1,61 | 1,06 | 2,2 | 1,98 | 2,91 |
| IFVI | 1,01 | 2,15 | 0,35 | 1,45 | 0,28 | 1,15 | 0,38 | 0,92 | 0,21 | 0,49 | 0,19 | 1,74 | 0,13 | 1,15 | 0,12 | 0,28 |
| IEST | 1,39 | 2,42 | 1,39 | 3,4 | 2,27 | 5,8 | 4,56 | 17,97 | 4,04 | 6,26 | 1,73 | 6,09 | 1,88 | 4,85 | 4,55 | 7,91 |
| IIVER | 0,21 | 0,6 | 0,1 | 0,39 | 0,04 | 0,24 | 0,02 | 0,06 | 0,03 | 0,07 | 0,05 | 0,3 | 0,03 | 0,29 | 0,02 | 0,05 |
| ICORT | 0,19 | 0,49 | 0,19 | 0,7 | 0,44 | 1,02 | 0,84 | 1,56 | 7,31 | 11,66 | 0,39 | 5,33 | 0,26 | 4,49 | 0,64 | 1,32 |

Tabla 6. Clasificación bioclimática de Rivas-Martínez (1987) de las 230 estaciones analizadas en función de la clase a la que pertenecen.

| | 34 | 44 | 45 | 46 | 47 | 54 | 55 | 56 | 57 | 65 | 66 | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| CL1 | | | 3 | 1 | | 3 | 17 | 1 | | | | 1 |
| CL2 | | | 12 | 6 | | | 13 | 18 | | | | |
| CL3 | | | 2 | | | | 29 | 7 | | | 6 | 3 |
| CL4 | | | | | | | | | | | | 14 |
| CL5 | | | | | | | 1 | 3 | | | 1 | 4 |
| CL6 | | 1 | | | 1 | | | 2 | 3 | 3 | | 8 |
| CL7 | 2 | 13 | 14 | | | 3 | 8 | | | | | |
| CL8 | | | 1 | 2 | | | | 19 | 1 | | | 4 |

34. Mesomediterráneo inferior seco
44. Mesomediterráneo superior seco
45. Mesomediterráneo superior subhúmedo
46. Mesomediterráneo superior húmedo
47. Mesomediterráneo superior hiperhúmedo
54. Supramediterráneo inferior seco
55. Supramediterráneo inferior subhúmedo
56. Supramediterráneo inferior húmedo
57. Supramediterráneo inferior hiperhúmedo
65. Supramediterráneo superior subhúmedo
66. Supramediterráneo superior húmedo

Tabla 7. Clasificación climática de Allué Andrade (1990) para las 230 estaciones estudiadas en función de la clase a la que pertenecen.

| | IV3 | IV4 | IV(VD)1 | VI(IV)1 | VI(IV)2 | VI(IV)4 | VI(VII) | VI(V) | VI | VIII(VI) |
|-----|-----|-----|---------|---------|---------|---------|---------|-------|----|----------|
| CL1 | | | | 4 | | 1 | 20 | 1 | | |
| CL2 | | | | 9 | 7 | 9 | 18 | 3 | 3 | |
| CL3 | | | 1 | 36 | 9 | | 1 | | | |
| CL4 | | | | 2 | 11 | | 1 | | | |
| CL5 | | | | 3 | 6 | | | | | |
| CL6 | | | | | 1 | | 10 | | 6 | 1 |
| CL7 | 10 | 7 | 11 | 12 | | | | | | |
| CL8 | | | | | 27 | | | | | |

Tabla 8. Correspondencia entre las clases obtenidas y las Regiones de Procedencia. Las Regiones de Procedencia 2 y 4 (Prepirineo Aragonés Oriental y Alto Ampurdán) no se han representado por no existir estaciones disponibles actualizadas en la zona.

| | REGIÓN DE PROCEDENCIA | LOCALIZACIÓN Y COMENTARIOS |
|---------|-----------------------|---|
| CLASE 1 | 3 y 7C | Prepirineo Catalán y Teruel |
| CLASE 2 | 1, 5 y 6 | Prepirineo Aragonés Occidental (más Navarra), Baja Cataluña y Alto Maestrazgo. |
| CLASE 3 | 7A, 7B, 9 y 10 | Sistema Ibérico fundamentalmente. Las zonas de alta montaña se engloban en otras clases independientes. Así, en esta clase se incluyen la Alta Alcarria de 7A, el Sur de Cuenca de 7B, Soria y la parte de Guadarrama en el Sistema Central. Se excluyen las zonas más áridas y de escasa pluviometría. |
| CLASE 4 | 7A, 10 | Cumbres del Sistema Ibérico (Supramediterráneo superior húmedo). Serranía de Cuenca (7A) y Soria. |
| CLASE 5 | 9 | Macizo Oriental de Gredos. |
| CLASE 6 | 1, 3, 6, 7C y 10 | Sierras de la parte nororiental de la Península. |
| CLASE 7 | 8 | Cordilleras Béticas. Sierras de Calar del Mundo y Alcaraz (8A), Sierras Orientales, Sierra Magina, Sierra de Baza y Sierra María. En este grupo se incluyen las zonas áridas del resto de España que no se encajaron en ninguna otra clase. |
| CLASE 8 | 8ª | Cordilleras Béticas. Sierras de Cazorla, Segura y La Sagra. |

posteriormente obtener las estaciones meteorológicas que están en un radio de 2 Km del punto, sin atender a la altitud ya que la Base de Datos carece de ella. En segundo lugar, en los Mapas Forestales se han buscado las tesselas que poseen *Pinus nigra* con estaciones meteorológicas que están a menos de 2 Km y cuya diferencia de altitud es menor de 100

metros y, en tercer lugar se han obtenido las estaciones meteorológicas que, no estando incluidas en las bases de datos anteriores, sí consta su presencia en los Mapas de Regiones de Procedencia.

Se aceptan sin críticas las estaciones obtenidas por los dos últimos criterios. La Base

Tabla 9. Variables más significativas de separación entre las 8 clases. El número de la clase separada por la(s) variable(s) corresponde a la clase que se encuentra señalada en negrita para cada uno de los casos. Así, en la primera fila siempre se separa la clase 1, en la segunda, la 2 y así sucesivamente. En general las separaciones son completas pudiendo en algún caso quedar 1 elemento sin separar. Una clase se separa de otra siempre y cuando se cumplan cualquiera de las condiciones marcadas con un asterisco en la casilla correspondiente. Algunos asteriscos incluyen varias condiciones; en ese caso, deben cumplirse simultáneamente todas ellas para que la separación tenga lugar. Por ejemplo, la clase 2 se separará de la 1 siempre que IFVI sea menor o igual a 1 o esté comprendido entre 1 y 1.5 y además CC sea menor que 17.7.

| | CLASE 1 | CLASE 2 | CLASE 3 | CLASE 4 | CLASE 5 | CLASE 6 | CLASE 7 | CLASE 8 |
|----------------|---|---|--|--|----------------|--|---|---|
| CLASE 1 | | * IFVI ≥ 1.5 * 1 < IFVI < 1.5 CC ≥ 17.7 | * IFVI > 1.15 * 1 < IFVI ≤ 1.15 HS ≤ 1 | * T > 10.3 | * PE > 23 | * TMMC ≥ 26.9 * 26.2 < TMMC < 26.9 HS ≤ 3 | * PE > 23 | * PE ≥ 24 |
| CLASE 2 | * IFVI ≤ 1 * 1 < IFVI < 1.5 CC < 17.7 | | * IPRV ≥ 0.26 * 0.14 < IPRV < 0.26 ICORT ≤ 0.41 * 0.14 < IPRV < 0.26 0.41 < ICORT < 0.59 A < 1.67 | * IT > 142 | * IEST < 4 | * T ≥ 11.8 * 9.1 < T < 11.8 IPRO ≤ 0.86 * 9.1 < T < 11.8 IPRO > 0.86 HP > 8 | * A < 2.78 | * IF ≤ 1.26 |
| CLASE 3 | * IFVI ≤ 1 * 1 < IFVI ≤ 1.15 HS > 1 | * IPRV ≤ 0.14 * 0.14 < IPRV < 0.26 ICORT ≥ 0.59 * 0.14 < IPRV < 0.26 0.41 < ICORT < 0.59 A ≥ 1.67 Y HS > 0 | | * IO ≤ 0.61 * 0.61 < IO < 0.78 HS ≤ 4 F > -17.5 | * ICORT < 7.31 | * A ≥ 1.67 * 0.74 < A < 1.67 T > 8.1 Y HS > 0 | * TMF ≤ 3.6 * 3.6 < TMF < 4.8 PRV ≥ 0.4 * 3.6 < TMF < 4.8 0.3 < PRV < 0.4 OSC ≥ 13 | * PRI ≤ 1.2 * 1.2 < PRI < 1.31 OSC < 11 |
| CLASE 4 | * T ≤ 10.3 | * IT ≤ 142 | * IO ≥ 0.78 * 0.61 < IO < 0.78 HS > 4 * 0.61 < IO < 0.78 HS ≤ 4 Y F ≤ -17.5 | * F > -16 | * F ≤ -16 | * TMMC > 26.5 | * K ≤ 0.047 | * PRV > 0.39 |
| CLASE 5 | * PE ≤ 23 | * IEST ≥ 4 | * ICORT ≥ 7.31 | * F > -16 | | * A > 1.42 | * K ≤ 0.074 | * IFORI ≤ 1.4 |
| CLASE 6 | * TMMC ≤ 26.2 * 26.2 < TMMC < 26.9 HS > 3 | * T ≤ 9.1 * 9.1 < T < 11.8 IPRO > 0.86 HP ≤ 8 | * A ≤ 0.74 * 0.74 < A < 1.67 T ≤ 8.1 * 0.74 < A < 1.67 T > 8.1 Y HS = 0 | * TMMC ≤ 26.5 | * A ≤ 1.42 | | * K ≤ 0.02 | * K ≤ 0.02 |
| CLASE 7 | * PE ≤ 23 | * A ≥ 2.78 | * TMF ≥ 4.8 * 3.6 < TMF < 4.8 PRV ≤ 0.3 * 3.6 < TMF < 4.8 0.3 < PRV < 0.4 OSC < 13 | * K > 0.047 | * K > 0.074 | * K > 0.02 | | * IPRI ≤ 1.68 |
| CLASE 8 | * PE < 24 | * IF > 1.26 | * PRI ≥ 1.31 * 1.2 < PRI < 1.31 OSC > 11 | * PRV ≤ 0.39 | * IFORI > 1.4 | * K > 0.02 | * IPRI > 1.68 | |

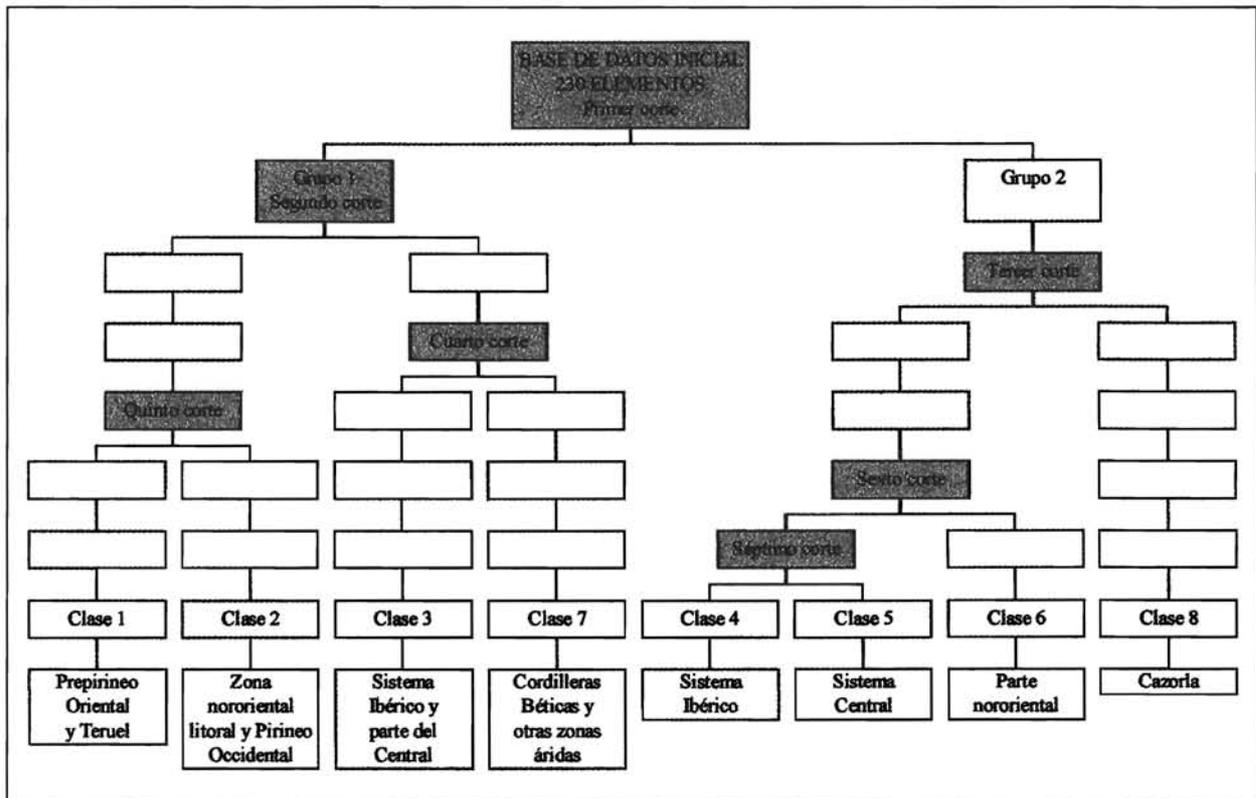


Figura 1. Proceso seguido en el análisis de clasificación jerárquica.

de datos requiere muchas más precauciones ya que posee errores, tanto en la determinación de los puntos como en su grado de significación climática, puesto que muchos puntos son anecdóticos. Por otro lado, la falta de altitud puede falsear la relación entre el punto y la estación en el entorno de 2 Km. Finalmente, la dispersión de los puntos no permite efectuar comprobaciones exhaustivas de campo ni agrupaciones para definir masas naturales o artificiales.

Al representar gráficamente los datos facilitados por la DGCONA se comprueba la existencia de gran cantidad de puntos donde la presencia del taxon es meramente testimonial y que, por tener mucho peso van a condicionar las técnicas de filtraje estadísticos que permiten precisar con suficiente fiabilidad las estaciones correctas.

Ante esta dificultad, se opta por cotejarlos con los Mapas del II Inventario Forestal Nacional clasificando los puntos en función de la densidad de pies presentes en la masa.

Para ello, se consideran sólo los pies mayores por hectárea por considerar que la presencia adecuada de pies adultos en una determinada zona representa una prueba inequívoca de la adaptabilidad de la especie al medio en que se encuentra. Asimismo, también se detalla si dicha presencia es simplemente testimonial o constituye una de las especies predominantes en el estrato en el que se encuentra y, en tal caso, si se trata de una de las especies dominantes o no.

A continuación, se escogen aquellas estaciones que poseen más de 50 pies mayores/ha y las correspondientes al Sistema Central, concretamente las de Gredos las cuáles muestran una presencia algo inferior (entre 10 y 50 pies mayores/ha) pero en las que su condición natural parece bien establecida (REGATO *et al.*, 1991). El resultado final es una Base de Datos con 233 estaciones incluyendo las obtenidas inicialmente del Mapa Forestal de España y de los Mapas de Regiones de Procedencia.

Finalmente se eliminan también las estaciones que posean valores en 3 ó más variables que se desvíen por encima de cuatro desviaciones típicas (es decir, variables con probabilidad inferior a 99.994%). Para ello se aplican gráficos de cajas a cada una de las variables para la detección de valores atípicos que puedan distorsionar los análisis estadísticos multivariantes posteriores.

Sobre las 230 estaciones obtenidas finalmente se han aplicado técnicas multivariantes. En primer lugar, se ha realizado un análisis de agrupación secuencial, aglomerativa, jerárquica y sin solapamiento (método de Ward con distancia Euclídea), que permite obtener una clasificación con sentido biogeográfico. Posteriormente, se ha efectuado un análisis discriminante con selección paso a paso ascendente para confirmar la validez de los elementos asociados a cada clase y modificar con criterios biogeográficos las pocas estaciones que están en el límite de pertenencia a una clase. Finalmente, se ha aplicado un análisis sobre componentes principales para comprobar la separación entre clases y la importancia de las variables seleccionadas.

Obtenidas las clases y aceptados los análisis, se establecen las variables que las separan y se da la significación climática, de forma que a través de la jerarquía de separación se pueda determinar en qué medida las clases son próximas o distantes entre sí. Dadas las dependencias lineales, las variables separadoras, por comodidad, pueden ser diferentes a las elegidas por los métodos multivariantes. Así se intenta contribuir a matizar las Regiones de procedencia para la reforestación y a preparar intervenciones futuras ante un posible Cambio Climático.

Los programas empleados en el tratamiento de datos climáticos y fitoclimáticos han sido desarrollados por Manrique Menéndez; los utilizados en el manejo de las bases de datos han sido desarrollados por Fernández Cancio; los análisis estadísticos se realizaron con STATGRAPHICS Plus 3.1 para Windows, y el análisis geográfico de los datos con SURFER 6.01 para Windows.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Pinus nigra vive fundamentalmente en el piso supramediterráneo y muy limitadamente en todo el bioclima mesomediterráneo, prefiriendo los ombroclimas húmedos.

El análisis de clasificación jerárquica separa en un primer corte las estaciones que presentan mayor índice ómbrico en primavera, un período de heladas seguras superior a los 5 meses y aquéllas que se encuentren situadas en zonas de alta montaña con mayor pluviometría en invierno y primavera y con temperaturas estivales más frescas (clases 4, 5, 6 y 8, Figuras 1 y 2) del resto de estaciones que no presentan estas condiciones. Es decir, se identifican fundamentalmente los sistemas montañosos. Este grupo se caracteriza por ser más frío y menos árido que el grupo 1 (clases 1, 2, 3 y 7, Figuras 1 y 2). (Ver figura 2 en color en pág. 133).

El segundo corte separa la zona nororiental de la Península (Pirineos, Aragón, Cataluña y Comunidad Valenciana) en el grupo 1 (clases 1, 2, 3 y 7, Figuras 1 y 2) del resto de España. Distingue los puntos de influencia mediterránea con mayor reserva de humedad, que experimentan mayores precipitaciones en verano y en otoño y con temperaturas más suaves a lo largo de todo el año (clases 1 y 2, Figuras 1 y 2).

El tercer corte afecta al grupo 2 inicial (clases 4, 5, 6 y 8, Figuras 1 y 2), es decir, a las zonas de montaña, más frías y húmedas. En él separa la Sierra de Cazorla del resto del grupo fundamentalmente por presentar mayor aridez y mayor contraste entre la pluviometría recogida en invierno y primavera que las experimentadas entre los meses de verano y otoño. Este grupo se mantendrá intacto hasta el final y corresponde a la clase 8 (Figuras 1 y 2).

El siguiente corte divide al grupo de la clase 1 que no se correspondía con la zona nororiental de la Península (clases 3 y 4, Figuras 1 y 2). Agrupa por un lado, los puntos del Sistema Ibérico y algunos del Sistema Central que se corresponden con zonas más frías, con un período de heladas seguras más prolongado y poseer una pluviometría supe-

rior a los 600 mm. a lo largo de todo el año (clase 3, Figuras 1 y 2) y, por otro, las estaciones que se encuentran en las Cordilleras Béticas junto con aquéllas que presentan mayor aridez en otros puntos no pertenecientes a esta región y que no pudieron ser clasificados, por este motivo, en otro grupo (clase 7, Figuras 1 y 2). Las agrupaciones realizadas a este nivel son bastante firmes y sólidas pues tampoco experimentarán ninguna otra división.

El quinto corte, tiene lugar en la zona nororiental de la península (clases 1 y 2, Figuras 1 y 2) caracterizando por un lado una zona más continental, más fría y que presentan una relación entre las precipitaciones recogidas en verano y las experimentadas en invierno más elevada (clase 1, Figuras 1 y 2) y que se corresponde con el Pirineo Oriental, Cataluña y Teruel y por otro, una zona menos continental que engloba a la zona litoral y al Pirineo Occidental (clase 2, Figuras 1 y 2).

El siguiente corte se realiza en el grupo correspondiente a las zonas más altas que no pertenecían al grupo de la Sierra de Cazorla (clases 4, 5 y 6, Figuras 1 y 2). Aquí se distinguen claramente las zonas de menor aridez (zonas supramediterráneas de montaña de la región nororiental de la Península) y que se corresponden con la clase 6 (Figuras 1 y 2). Eso quiere decir que en el otro grupo se encuentran los puntos correspondientes al Sistema Ibérico y Central (clases 4 y 5, Figuras 1 y 2).

En el séptimo y último corte se separan los Sistemas Ibérico y Central del grupo que quedaba sin dividir en el caso anterior. El índice de forma sobre It (ICORT) los separa extraordinariamente bien. El Sistema Central (clase 5, Figuras 1 y 2) es mucho más frío y con mayor influencia atlántica que el Sistema Ibérico (clase 4, Figuras 1 y 2). Destacar que son zonas supramediterráneas alcanzando exclusivamente la clase 4 el piso supramediterráneo superior húmedo (ver Tabla 6).

Las variables que separan las ocho clases pueden verse en la Tabla 9. Como se dijo anteriormente, las variables separadoras por comodidad y linealidad no tienen por qué

coincidir con las calculadas por análisis discriminante.

Las variables significativas por orden de importancia en el análisis discriminante son ICORT, A, HS, IFVI, IPRV, PRV, IPRI, K, IFOR1, IPRO, F, IIVER, TMF y PRO. La clase 7 podría ser la más sensible a un Cambio Climático con subida de temperatura por ser la más térmica y seca de todas, detectándose en 1993 importantes focos de mortalidad (FERNÁNDEZ CANCIO, comunicación personal).

Se desea destacar que los resultados obtenidos concuerdan relativamente bien con las Regiones de Procedencia (Tabla 8).

Como se dijo anteriormente, con el primer corte se obtenían dos grupos (Figura 1). Se observa que el grupo 1 (clases 1, 2, 3 y 7) tiene una clara tendencia a separarse por regiones de procedencia (zona nororiental, Sistema Ibérico y Central y, por último, las zonas más áridas de la Península junto con las Cordilleras Béticas) mientras que el 2 termina separándose según las Regiones de Procedencia (Segura, Sistema Central, Sistema Ibérico y zona nororiental peninsular).

En la clase 3 se detectan dos puntos raros; uno en Pirineos (Villalangua) y otro en Granada (Charches). En el primero existe mayor aridez que los puntos que le rodean pero no llega a ser tan excesiva como la de las Cordilleras Béticas así que lo clasifica como perteneciente al Sistema Ibérico. El de Granada presenta valores extremos en este grupo en 14 variables. En la clase 6 se encuentra otro punto digno de ser mencionado en la provincia de Ávila que no encaja en ninguna otra clase pero presenta valores límite en 19 variables. Esto puede ser debido a algún tipo de error en los datos disponibles de esa estación y no corresponder a los datos reales o a artificios matemáticos.

Los ámbitos de los factores fitoclimáticos de las clases se detallan en las Tablas 4 y 5. La clasificación fitoclimática de Rivas-Martínez (1987) y de Allué Andrade (1990) para cada una de las clases se muestra en las Tablas 6 y 7.

Pinus nigra vive desde el piso bioclimático mesomediterráneo inferior, aunque muy limitadamente, hasta el supramediterráneo superior, bajo ombroclimas seco a hiperhúmedo (Tabla 6).

En cuanto a la clasificación de Allué Andrade (1990) se desea resaltar que prácticamente el 77% de los datos analizados pertenecen a los subtipos VI(IV)₁, VI(IV)₂ y VI(VII) y que su distribución concuerda con los ámbitos de existencia definidos por otros autores (CATALÁN BACHILLER et al., 1991, MARTÍN ALBERTOS et al., 1998, GRAU CORBI et al., 1999).

Se desea subrayar también que los análisis fitoclimáticos son muy sutiles y que las coherencias biogeográficas son buenas indicadoras de la corrección del análisis. Que los factores fitoclimáticos relacionados con el régimen estacional de precipitaciones y la acentuación del impacto extremo de las variables, en general muy olvidados, parecen extraordinariamente importantes. Que las poblaciones de *Pinus nigra* parecen ocupar una gran diversidad de dominios bioclimáticos diferentes, y quizá contengan Regiones de procedencia poco compatibles entre sí, que podrían dar lugar a posibles desplazamientos no uniformes ni unidireccionales de esta especie bajo las condiciones de un Cambio Climático que aumente la temperatura y altere los patrones de estacionalidad y la cuantía de las precipitaciones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece muy especialmente a D. Ramón Villaescusa Sanz, Jefe de Área de la Subdirección General de Conservación de la Biodiversidad de la DGCONA y al personal a sus órdenes, por su excelente atención y

esfuerzo en el suministro de los datos utilizados en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLUÉ ANDRADE, J.L. (1990) *Atlas Fitoclimático de España, Taxonomías*. Madrid. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (MAPA). 221 p.
- CATALÁN, G.; GIL, P.; GALERA, R.M.; MARTÍN, S.; AGUNDEZ, D. & ALÍA, R. (1991) *Regiones de procedencia de Pinus sylvestris L. & P. nigra Arn. subsp. Salzmannii (Dunal) Franco*. Servicio de Material Genético, DGCONA & Departamento de Sistemas Forestales, INIA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- DIRECCIÓN GENERAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA. *II Inventario Forestal Nacional (1986-1995)*. Ministerio de Medio Ambiente.
- GRAU, J.M.; CÁMARA, A. & MONTOTO, J.L. (1999) *Fitoclimatología básica de los Pinus nigra Arn., Pinus sylvestris L. Y Pinus pinaster Ait. Aplicación del modelo de idoneidad*. Investigación Agraria. Sistemas de Recursos Forestales. Fuera de serie nº1, 37-51.
- MARTÍN ALBERTOS, S.; DÍAZ FERNÁNDEZ, P.M. & DE MIGUEL, J. (1998) *Regiones de procedencia de las Especies Forestales Españolas. Géneros Abies, Fagus, Pínus y Quercus*. Servicio de Material Genético, DGCONA, Ministerio del Medio Ambiente. 61 pp.
- REGATO et al.; 1991. *Las representaciones relictas de Pinus nigra Arnold en el Sistema Central español*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Biol.), 88 (1-4): 63-71.
- RUIZ DE LA TORRE (dir.) (1990-1992) *Mapa Forestal de España*. ICONA. Madrid.