Monografías

Ramón Elena Rosselló
Otilio Sánchez Palomares

Los pinares españoles de *Pinus Nigra* Arn.: Síntesis ecológica

MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACION
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION Y TECNOLOGIA AGRARIA Y ALIMENTARIA

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

Colección: MONOGRAFIAS INIA, núm. 81

LOS PINARES ESPAÑOLES DE *PINUS NIGRA* ARN.: SINTESIS ECOLOGICA

Ecological study of the Spanish black pinewoods (*Pinus nigra* Arn.)

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION Y TECNOLOGIA AGRARIA Y ALIMENTARIA

LOS PINARES ESPAÑOLES DE *PINUS NIGRA* ARN.: SINTESIS ECOLOGICA

Ecological study of the Spanish black pinewoods (*Pinus nigra* Arn.)

R. ELENA ROSSELLO

O. SANCHEZ PALOMARES

Departamento de Sistemas Forestales CIT-INIA
Apdo. 8111 - 28080 Madrid

Con la colaboración de M. Pilar Carretero Carrero e
Higinio Pascual Terrats.
Unidad de Ecología SIA-CAM

Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria
José Abascal, 56. Teléf. 347 39 16. Fax 442 35 87
Telex 48989 INIA E. 28003 Madrid (España)

MADRID - 1991

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

Edita: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria
Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
ISSN: 0210-3354
ISBN: 84-7498-386-X
NIPO: 252-91-032-2
Depósito Legal: M. 44.164-1991
Diseño: INIA
Imprime: Gráficas Rama, S. A.

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

INDICE

	Página
RESUMEN	7
1. INTRODUCCION	7
2. EL PINO LARICIO EN LA ORLA PIRENAICA	8
2.1. *Caracterización de las Fitocenosis*	8
2.1.1. Caracterización del estrato arbóreo: Análisis de la calidad de la estación	9
2.1.2. Caracterización de las masas según las comunidades vegetales presentes	10
2.1.2.1. Análisis de Especies Indicadoras	10
2.1.2.2. Contraste fitosociológico SIGMA	14
2.2. *Ecología del **Pinus nigra***	17
2.2.1. Análisis múltiple integrado de las tipificaciones abióticas y bióticas	17
2.2.2. Análisis multivariable de las variables bióticas y de las variables de los factores ecológicos	19
2.2.3. Ecuación multifactorial de pronóstico de la calidad de estación	28
2.3. *Conclusiones regionales*	33
3. EL PINO LARICIO EN EL SISTEMA IBERICO ORIENTAL Y SIERRAS COSTERAS MEDITERRANEAS	35
3.1. *Caracterización de las Fitocenosis*	35
3.1.1. Caracterización del estrato arbóreo: Análisis de la calidad de la estación.	35
3.1.2. Tipificación de las comunidades vegetales presentes	35
3.1.2.1. Análisis de Especies Indicadoras	35
3.1.2.2. Contraste fitosociológico SIGMA	38
3.2. *Ecología del **Pinus nigra***	39
3.2.1. Análisis múltiple integrado de las tipificaciones abióticas y bióticas	39
3.2.2. Análisis multivariable de las variables bióticas y de las variables de los factores ecológicos	41
3.2.3. Ecuación multifactorial de pronóstico de la calidad de la estación	52
3.3. *Conclusiones regionales*	52
4. EL PINO LARICIO EN LAS SERRANIAS CONQUENSES Y LA ALTA ALCARRIA	53
4.1. *Caracterización de las Fitocenosis*	54
4.1.1. Caracterización del estrato arbóreo: Análisis de la calidad de la estación	54
4.1.2. Caracterización de las masas según las comunidades vegetales presentes	54
4.1.2.1. Análisis de Especies Indicadoras	54
4.1.2.2. Contraste fitosociológico SIGMA	55
4.2. *Ecología del **Pinus nigra***	59
4.2.1. Análisis múltiple integrado de las tipificaciones abióticas y bióticas	59

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

Página

4.2.2. Análisis multivariable de las variables bióticas y de las variables de los factores ecológicos 62
4.2.3. Ecuación multifactorial de pronóstico de la calidad de la estación 70
4.3. *Conclusiones regionales* 71

5. EL PINO LARICIO EN LAS SIERRAS BETICAS 72
5.1. *Caracterización de las Fitocenosis* 72
5.1.1. Caracterización del estrato arbóreo: Análisis de la calidad de la estación 72
5.1.2. Caracterización de las masas según las comunidades vegetales presentes 72
5.1.2.1. Análisis de Especies Indicadoras 72
5.1.2.2. Contraste fitosociológico SIGMA 73
5.2. *Ecología del* ***Pinus nigra*** 78
5.2.1. Análisis múltiple integrado de las tipificaciones abióticas y bióticas 78
5.2.2. Análisis multivariable de las variables bióticas y de las variables de los factores ecológicos 78
5.2.3. Ecuación multifactorial de pronóstico de la calidad de la estación 86
5.3. *Conclusiones regionales* 87

6. ANALISIS INTERREGIONAL 88
6.1. *Las comunidades vegetales acompañantes* 88
6.2. *La calidad de las masas* 91

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 95

SUMMARY 98

AGRADECIMIENTOS 99

APENDICES 100

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

RESUMEN

En este trabajo se lleva a cabo la integración de los distintos estudios monofactoriales (fisiográfico, climático, florístico y edáfico) realizados sobre las masas naturales de *Pinus nigra* de la Península Ibérica. Basándose en la división del área natural de la especie establecida en el anterior estudio fisiográfico climático, se ha realizado este estudio a nivel regional, analizándose la información de campo obtenida tras un muestreo de 122 estaciones. En él se han cubierto las siguientes fases:

1. Caracterización de las fitocenosis que constituyen los pinares de *Pinus nigra*, tanto por lo que se refiere al estrato arbóreo (calidad de estación), como en lo que se refiere a las comunidades acompañantes de la especie, definiéndose una tipología de comunidades vegetales.

2. Análisis integrados de los distintos factores ecológicos (clima, relieve, suelo y vegetación), para con ellos poder definir las interrelaciones existentes entre ellos, prestando especial atención a las relaciones con la calidad de la estación, y obteniendo sendos modelos ecológicos multifactoriales predictivos de la calidad para cada una de las regiones.

Por último, con una visión general, se describe la ecología de la especie en toda su área de distribución a partir de los análisis regionales efectuados.

Palabras Claves: *Pinus nigra, Pino laricio, Ecología, Suelos, Clima, Comunidades Vegetales, Twinspan, Canoco, Decorana, España.*

Keywords: *Pinus nigra, Blackpine, Ecology, Soils, Climate, Vegetation Communities, Twinspan, Canoco, Decorona, Spain.*

1. INTRODUCCION

Con el presente trabajo se culmina una serie que, de forma parcial, ha venido analizando distintos factores ecológicos de los pinares autóctonos o asilvestrados de *Pinus nigra* Arn. en España. Está, por tanto, encadenado a ellos y, basándose en el mismo diseño experimental , trata de integrar los aspectos parciales que en cada uno de ellos han sido analizados: La fisiografía y el clima (Elena Rossello R., Sánchez Palomares O., y Carretero M.P., 1985); la flora (Pascual Terrats H., 1987), y el suelo (Sánchez Palomares O., Elena Rosselló R. y Carretero M.P., 1990).

Aunque en el primer libro de la serie fueron anunciadas siete publicaciones independientes, se ha preferido agrupar las cuatro últimas por varios motivos:

— Facilidad de consulta por parte del lector interesado.

— Economía de esfuerzos al no tener que repetir cuatro veces introducciones que serían, en gran parte, comunes a todos los trabajos.

— Posibilidad de incluir un capítulo de conclusiones generales comparativas entre las cuatro regiones que, de otro modo, no se haría o quedaría unido al último libro.

— No dilatar demasiado la terminación de la serie.

Con todas las publicaciones terminadas creemos que el Pino laricio queda suficientemente estudiado a escala nacional, acompañando a los otros pinos españoles que ya han sido objeto de este tipo de estudios; *P. pinaster, P. sylvestris, P. halepensis* y *P. radiata.* Ahora queda abierta la puerta para estudios de escala regional, en los que podrán precisarse más los grandes trazos que aquí se describen.

Este trabajo pretende, en cada una de las cuatro regiones que se han establecido desde el punto de vista de los factores fisiográficos y climáticos, alcanzar dos objetivos fundamentales:

1. Caracterizar las fitocenosis constitutivas de las masas de *Pinus nigra,* tanto desde el punto de vista cualitativo (tipología de las comunidades vegetales), como cuantitativo (identificación de la clase de calidad de estación).

2. Analizar las relaciones existentes entre los distintos elementos y factores ecológicos de cara a facilitar la comprensión de la respuesta biológica y, por tanto, ayudar a la gestión de las masas forestales existentes y a la implantación de otras nuevas.

El estudio se culmina con una comparación entre las distintas regiones naturales.

En el capítulo 2, relativo a los pinares de la Orla Pirenaica, se le ha dado un mayor contenido al desarrollo metodológico, de tal forma que en los restantes capítulos se presentan y analizan sólo los resultados obtenidos utilizando idéntica metodología.

2. EL PINO LARICIO DE LA ORLA PIRENAICA

En este capítulo nos centramos en las masas que se sitúan en la región fisiográfico-climática primera de las definidas en el área de distribución de la especie en España (Elena Rosselló R., Sánchez Palomares O., y Carretero Carrero M.P., 1985). La descripción geográfica de la región y la localización de las parcelas prospectadas en ella aparecen en el citado trabajo.

Dentro de la subespecie *salzmannii*, común a todas las masas autóctonas de la Península Ibérica, la forma botánica o raza correspondiente a las masas de *Pinus nigra* situadas en esta región es la *pirenaica.*

2.1. *Caracterización de las Fitocenosis*

La respuesta biológica de las 27 estaciones forestales estudiadas en esta región ha sido evaluada de dos formas: por una parte se ha cuantificado el desarrollo del estrato arbóreo con el paso del tiempo, evaluando la calidad de la estación, y, por otra, se han determinado mediante inventariación florística las comunidades vegetales presentes; se han clasificado todas ellas obteniéndose

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

una tipificación y, consecuentemente, se han evaluado cualitativamente todas las estaciones forestales estudiadas.

2.1.1. Caracterización del estrato arbóreo. Análisis de la calidad de la estación.

La productividad potencial de las estaciones forestales para una especie arbórea puede ser valorada de muy diversas formas. Carmean (1975), Hagglund (1981) y Ortega et al. (1987) han realizado sendas revisiones bibliográficas sobre los métodos existentes para la evaluación de la productividad de la estación forestal. De entre todos, el índice de calidad de la estación (SI, Site index) parece ser el método más comúnmente aceptado en todo el mundo y, aunque en algún tipo de masa exista alguno más apropiado, es muy ventajoso utilizar un método único que permita comparaciones entre distintos estudios (Hagglund, 1981).

El Site Index (SI) viene determinado por la altura de la masa a una edad predeterminada. La altura de la masa que se acepta como menos dependiente del tratamiento sometido a la población arbórea y que, por tanto, mejor refleja las condiciones ecológicas de la estación es la altura dominante, definida como la altura de los 100 árboles más gruesos por hectárea (Assmann, 1959).

Para poder evaluar el índice de calidad (SI) es preciso construir un modelo de la variación de la altura de las masas de pino laricio de la raza correspondiente. No existiendo curvas de calidad construidas para la forma *pirenaica* de esta especie, se ha procedido a construirlas para este trabajo, mediante los datos recogidos en las 54 parcelas correspondientes a esta raza situadas en las regiones primera y segunda.

De entre los distintos métodos de construcción de curvas de calidad, se ha utilizado el de García Abejón (1982), basado en las curvas de calidad del pino laricio de raza hispánica (Pita, 1965). Así, en cada parcela de 300 m^2, en cuyo centro se sitúa la calicata abierta para la evaluación edáfica, se han medido las alturas y edades de los tres árboles más gruesos.

La representación gráfica en un plano de ejes edades y alturas dominantes permite la definición de una nube de 113 puntos, representando a los distintos árboles estudiados. Mediante curvas de la familia $Ho = (edad / a \times edad + b)^2$ se divide la nube de puntos en cinco sectores y para cada uno de ellos se ajusta la nube parcial a curvas de la misma familia que cumplan la condición de que a los 50 años se alcancen alturas de 7, 10, 13, 16 y 19 metros.

Las líneas obtenidas son las curvas de calidad I, II, III, IV y V, respectivamente, con lo que se definen como de tales calidades aquellas estaciones en las que, a mitad de turno, la altura dominante de la masa alcanza los valores citados.

Los valores de los parámetros que definen las curvas de calidad obtenidas, así como la bondad del ajuste, son:

	a	b	k	R2	n
Calidad I	4,67	0,14	0,64	0,95	6
Calidad II	5,00	0,15	0,26	0,97	14
Calidad III	5,33	0,17	0,12	0,99	35
Calidad IV	5,99	0,19	–0,28	0,98	42
Calidad V	8,27	0,20	–0,45	0,98	16

$Ho = (edad / a \times edad + b)^2 + k$

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

En la figura 1 se representan las curvas obtenidas; la constante k es el valor de la traslación necesaria para que se cumpla la condición, antes establecida, de alcanzar las alturas citadas a mitad de turno (50 años); R2 = Coeficiente de Regresión; n = número de árboles.

Estas curvas han sido utilizadas para evaluar la calidad de las parcelas de esta región pirenaica y de la región ibérico-mediterránea. La evaluación se ha realizado mediante dos parámetros; el primero (CD1) es una evaluación cuantitativa mediante la valoración, a partir del modelo establecido, de la altura dominante a los 50 años, proyectando la situación actual de la altura dominante hasta dicha edad. La segunda (CD2) es una valoración cualitativa, mediante la calificación en clases de calidad según la posición de la altura dominante de la masa en la edad actual respecto de las curvas de calidad. En el Cuadro 1 del Apéndice aparecen los valores de CD1 y CD2 correspondientes a las 27 parcelas de esta región.

El Site Index 50 (CD1) se distribuye en la región pirenaica con un valor medio de 12,71 metros, correspondiente a una clase de calidad III-P y una desviación de 3,23 metros.

2.1.2. Caracterización de las masas según las comunidades vegetales presentes.

Pascual Terrats (1987), en su trabajo sobre la flora de los pinares de *Pinus nigra*, describió sucintamente el marco fitosociológico de los mismos. De acuerdo con ese trabajo, las comunidades que constituyen estas masas están enmarcadas en la subalianza *Aceri-Quercion fagineae* (Rivas Goday, Rigual et Rivas Mart., in Rivas Goday, 1959, Rivas Mart, enmend, nom, et ampl.).

En un primer análisis no cuantificado, Pascual Terrats (1987) afirma que una gran parte de los pinares de *Pinus nigra* pueden ser considerados como matorrales seriales con pinos intercalados. Cabe, no obstante, profundizar en la realidad fitosociológica de las estaciones estudiadas de cara a definir, de modo cuantificado, las comunidades presentes en ellas y homologarlas dentro de la sintaxonomía fitosociológica.

2.1.2.1. Tipificación de las comunidades vegetales: Análisis de Especies Indicadoras:

Marco metodológico:

La intención declarada de este punto es la definición de una tipología de comunidades vegetales acompañantes de las masas de *P. nigra* sin ningún tipo de condicionamiento subjetivo y con una independencia a priori de la taxonomía fitosociológica sigmatista, fundamentalmente centrada en la vegetación potencial climácica. Puesto en duda, si no rechazado, el carácter climácico de buena parte de las formaciones de *Pinus nigra*, hasta el momento no han sido analizadas en conjunto, sino como supuestas etapas de sustitución de distintas series de vegetación potencial.

El método que se va a utilizar es el Análisis de Especies Indicadoras (*Indicator Species Analysis*), y con él se construirá una clasificación de comunidades vegetales. El Análisis de Especies Indicadoras es el procedimiento de clasificación multivariable utilizado por el Twinspan (Hill, 1979), programa que será usado en este trabajo.

Este método de clasificación, diseñado específicamente para el análisis de inventarios florísticos, trata de clasificar tanto inventarios como especies, intentando poner de manifiesto los gradientes ecológicos existentes en el área donde se lleva a cabo el análisis. Conceptualmente es un análisis indirecto de gradiente ecológico, en el sentido de Whittaker (Gauch, H. et al., 1981).

Tanto el programa Twinspan, como su antecesor Isa, han sido utilizados con éxito en análisis de vegetación, fundamentalmente en los países sajones (Bunce, 1982 y 1989; Girard, M. *et al.* 1989).

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

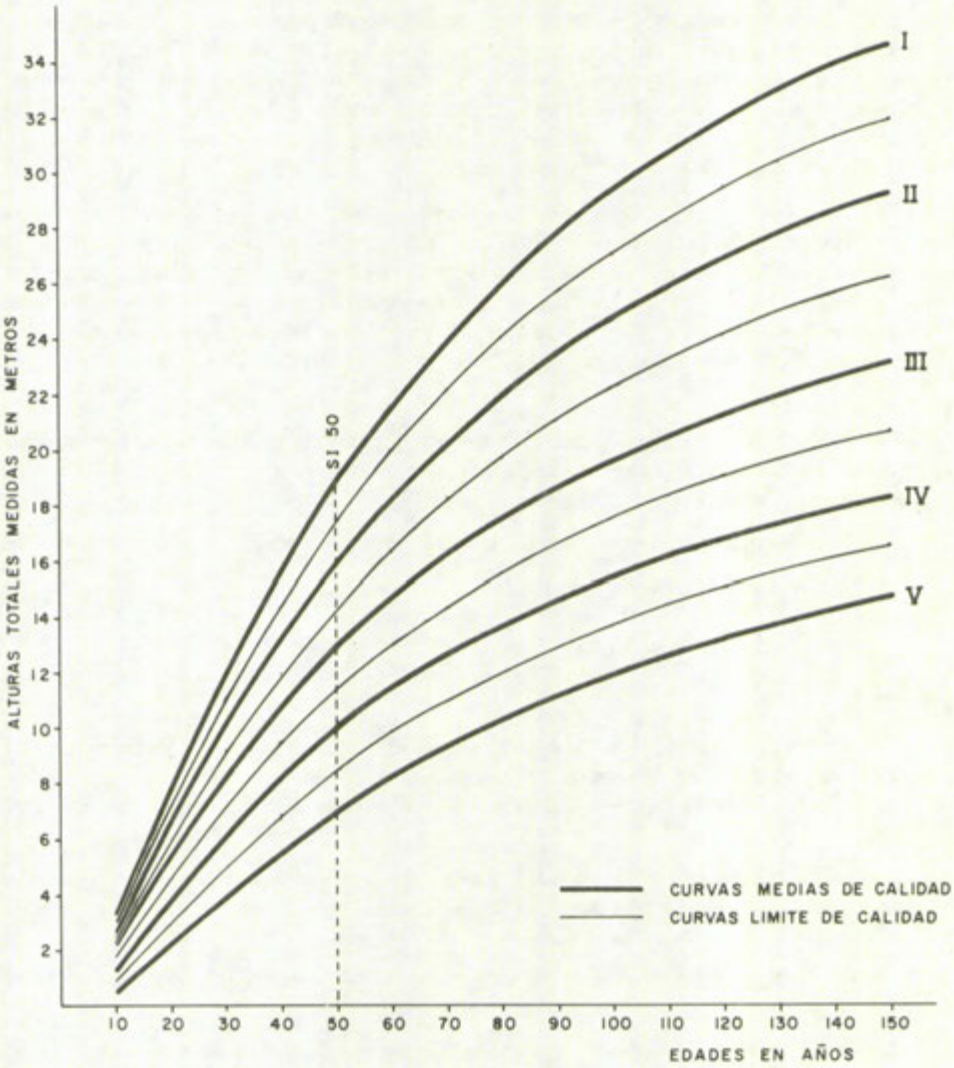


Figura 1.—Curvas provisionales de calidad de la estación en función de las alturas dominantes de las masas de pino laricio, forma pirenaica, construidas a partir de las estaciones muestreadas en este trabajo. Las curvas han sido elaboradas por García Abejón utilizando la ecuación de Pita. A partir del modelo elaborado, la calidad de cada estación se ha evaluado de dos formas: (CD1) mediante la variable continua SI 50 (índice de sitio para los 50 años) (Site Index 50), y (CD2) clase e interclase de calidad. Geométricamente SI 50 queda reflejada en la Figura como el corte de la recta vertical de abscisa 50 con las distintas curvas.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

El análisis tiene como resultado una clasificación jerárquica, dicotómica, politética y divisiva, que establece clases disjuntas y que, en cada dicotomía, da lugar a un criterio sencillo de clasificación, mediante el uso de varias especies indicadoras. El conjunto de los criterios de clasificación de todos los nudos dicotómicos constituyen la clave de la clasificación. Más información acerca del Isa y Twinspan puede encontrarse en Hill et al. (1975) y Gauch (1982).

Los tipos de comunidades vegetales aparecen definidos por la presencia de una serie de *especies constantes,* entre las cuales hay una subserie de *especies indicadoras,* en algún sentido similares a las especies diferenciales del enfoque sigmatista. De hecho ese enfoque sigue el mismo proceso divisivo de aquel a partir del nivel de asociación. Por otra parte, se diferencia de él en que aquí no se parte del concepto *asociación,* sino del conjunto total de las comunidades florísticas inventariadas, tratando de definir qué tipos de comunidades aparecen.

El análisis Twinspan (*Twice Indicator Species Analysis*) realiza un análisis inverso en una forma similar al análisis de Willians & Lambert (1957), es decir, clasificando las especies por su fidelidad a los tipos de comunidades previamente definidos. La combinación de ambas clasificaciones, de especies y de parcelas, permite la organización de la tabla de datos de modo que se observen fácilmente las relaciones entre ambas tipologías, y la determinación de las especies *exclusivas, constantes, características o diferenciales,* siempre en el ámbito de los inventarios estudiados.

Resultado del análisis realizado:

Las 27 parcelas de la Región, caracterizadas por la presencia en ellas de las 121 especies vegetales que estaban al menos en tres inventarios, han sido analizadas con el procedimiento Twinspan, bajo las siguientes condiciones:

— Tamaño mínimo de grupo susceptible de división: 6 parcelas.

— N.° máximo de especies indicadoras por división: 7 especies.

— N.° de niveles de división: 3.

Con estas condiciones el resultado del proceso de clasificación aparece en el esquema de la Figura 2.

Por su parte, el Cuadro 4 del Apéndice refleja la tabla de los inventarios reordenada en parcelas y especies, tras las clasificaciones directa de parcelas y subsecuente o inversa de especies. A partir de ellas se pueden observar los grupos de especies caracterizadoras de los tipos de comunidades vegetales.

A su vez, en la Figura 3 quedan reflejadas aquellas *especies preferenciales* de cada grupo surgido de cada dicotomía, con validez para dicha dicotomía, así como las *especies constantes* del conjunto total de parcelas antes de realizarse la división.

En todas las figuras y en el conjunto del texto las especies aparecen codificadas de acuerdo con el Cuadro 2 del Apéndice.

Las *especies preferenciales* vienen definidas por su preferencia hacia uno de los dos grupos de la dicotomía. Conceptualmente son similares a las especies diferenciales del enfoque sigmatista. Tienen el sentido de Clase de Fidelidad III, de Mueller Dumbois y Ellemberg (1974), respecto de la dicotomía. Quiere esto decir que en otras comunidades no incluidas en la dicotomía pueden estar presentes, es decir, no son *exclusivas.*

Por su parte, las *especies constantes* vienen a ser especies características no exclusivas y son definidas como aquellas presentes en más del 80% de las parcelas de un grupo de ellas. Las *especies*

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

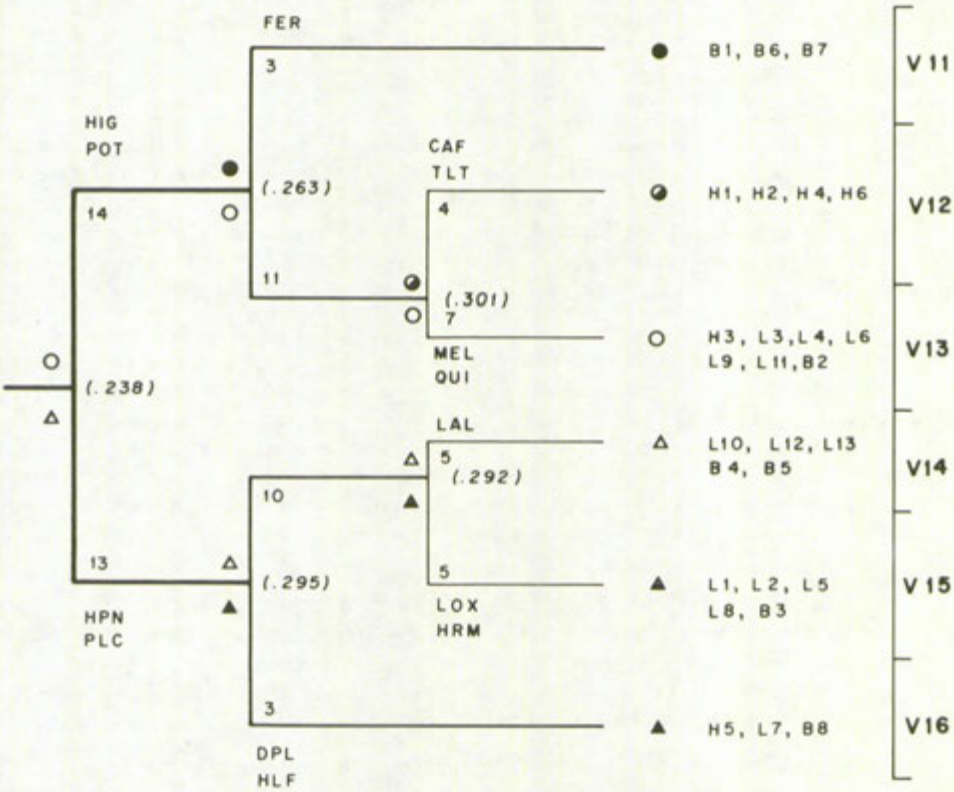


Figura 2—Dendrograma que resume la tipificación de comunidades vegetales de los pinares de laricio de la Orla Pirenaica. La tipificación se ha obtenido mediante el análisis Twinspan, definiéndose seis tipos (V11 a V16). En cada nudo se reflejan: 1) Símbolos de los grupos que surgen; 2) Autovalor de eje factorial principal que ha servido para hacer la división; 3) Número de parcelas incluidas en cada grupo que surge, y 4) especies indicadoras de cada grupo. En la parte derecha del dendrograma aparecen, junto a los tipos finalmente definidos, las parcelas incluidas en cada uno de ellos. Las especies indicadoras aparecen identificadas de acuerdo con el código del cuadro 2 del Apéndice.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

constantes pueden no ser exclusivas e incluyen a las *especies características* y a las *acompañantes constantes* en el sentido de Braun-Blanquet.

La diferenciación entre ambos tipos de especies se realiza tras el análisis conjunto de todas las especies constantes de los distintos tipos de comunidades vegetales definidos al finalizar todo el análisis, dando por sentado que tiene una validez reducida a la taxonomía de las comunidades vegetales acompañantes de *Pinus nigra* en la región estudiada.

La observación de los resultados obtenidos permite definir seis tipos de comunidades vegetales que oscilan desde una mayor termofilia: Tipos V11 y V13, con especies tales como *Brachypodium phoenicoides, Thalictrum tuberosum, Bromus erectus, Koeleria vallesiana, Juniperus phoenicea, Potentilla tabernaemontani,* hasta comunidades de especies más esciófilas o mesófilas: tipos V16 y V15 con *Galium vernum, Hepatica nobilis, Daphne laureola, Polygala calcarea* y *Helleborus foetidus,* entre otras.

Junto a estos trazos diferenciales de los extremos del gradiente subyacente, las comunidades vegetales se caracterizan por la presencia casi constante de especies tales como *Aphyllantes monspeliensis, Juniperus communis, Avenula gonzaloi, Buxus sempervirens* y *Rubia peregrina.*

2.1.2.2. Contraste Fitosociológico SIGMA:

Marco Metodológico:

La taxonomía de comunidades vegetales obtenida no ha tenido en cuenta la taxonomía fitosociológica desarrollada hasta el momento en la región. Se ha considerado de utilidad tratar de homologar y encuadrar los tipos de vegetación dentro de dicha taxonomía. El método que se ha utilizado para ello ha sido el Análisis de Correlación Corregido (*Detrented Correlation Analysis,* Decorana) (Hill et al., 1980). Este análisis es una versión avanzada del Análisis Factorial de Correspondencias (Benzecri, 1973), en el que el efecto arco existente entre los dos primeros ejes ha sido eliminado (Gauch, 1982).

El Decorana es un análisis de ordenación en espacio reducido (Legendre et al., 1979) diseñado para datos florísticos; es decir, presencias de especies en estaciones medidas de forma discreta. Con él se pueden obtener los ejes factoriales más significativos de un determinado fenómeno, definido en un espacio multidimensional cualitativo como es el florístico. La significatividad de los ejes viene medida en términos de porcentaje de varianza total explicada. Utilizando los ejes principales y proyectando sobre los planos definidos con ellos las parcelas y las especies es posible analizar más fácilmente el fenómeno florístico a estudiar, si bien se pierde parte de la información inicialmente obtenida.

Para realizar la homologación se ha aplicado el Decorana al conjunto de inventarios compuesto por los 27 de las parcelas de *P. nigra* más unos inventarios teóricos conformados con las especies características de distintas etapas climácicas y de sustitución de las series de vegetación potencial definidas para la región. De este modo se pueden observar las semejanzas y diferencias entre las parcelas inventariadas, los tipos florísticos establecidos y las series de vegetación potencial.

Para Rivas Martínez (1987), las series de vegetación potencial que se presentan en el área de distribución del *Pinus nigra* de la Orla Pirenaica son las siguientes:

Región Eurosiberiana

— Piso montano

1. Serie montana pirenaica de roble peloso: *Buxo-Querceto pubescentis sigmetum* (10).

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

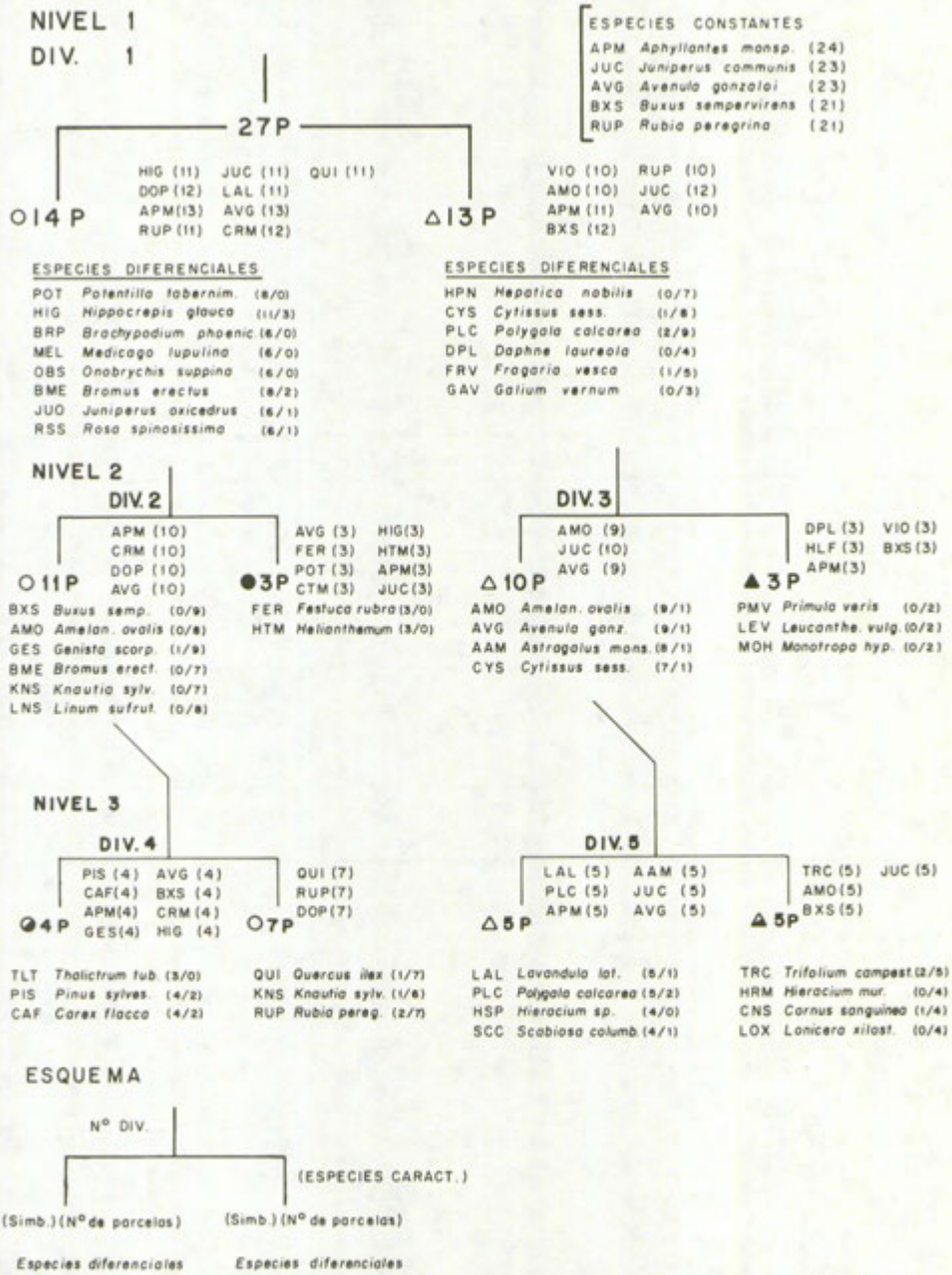


Figura 3.—Esquema de la tipificación de las comunidades vegetales de los pinares de *Pinus nigra* de la Orla Pirenaica en el que se reflejan las especies constantes de cada grupo en los distintos niveles y las especies diferenciales respecto de los restantes grupos surgidos del mismo nudo. En cada nudo se reflejan también los símbolos de cada grupo, tal como se definen en la Figura 2, el número de parcelas incluidas en ellos, así como la frecuencia de cada especie en los grupos que surgen del nudo y su poder diferenciador. Las especies aparecen identificadas según el código del cuadro 2 del Apéndice.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

2. Serie montana pirenaica y supramediterránea somontano aragonesa de la encina: *Helleboro foetidi-Querceto rotundifoliae sigmetum* (11c).

Región Mediterránea

— Piso supramediterráneo

3. Serie supra-mesomediterránea tarraconense, maestracense y aragonesa basófila del quejigo: *Violo willkommii-Querceto fagineae sigmetum* (19c).

— Piso mesomediterráneo.

4. Serie mesomediterránea manchego-aragonesa basófila de la encina: *Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae sigmetum* (22b).

Para cada serie de vegetación potencial, los inventarios teóricos han sido elaborados a partir de las especies correspondientes a los bioindicadores de las distintas etapas presentes en cualquiera de los 27 inventarios de las parcelas estudiadas (Rivas Martínez, 1987). Las especies vienen identificadas por el código que aparece en el Cuadro 2 del Apéndice.

			Etapa climácica .1	Etapa regresiva .2
EUROSIBERIANA	Piso montano	Serie 1 (10)	QUP,ACS,PMV,HLF BXS,AMO,VIL,CTM 10.1	BXS,AMO,VIL,CTM APM,GES,THL,CEM, KOV 10.2
EUROSIBERIANA / MEDITERRANEA	Piso montano/ supramedit.	Serie 2 (11 c)	QUI,HJF,JUO,RUP BXS,JUP 11c.1	BXS,JUP,GES,SJM,APM, TMV,BME,LAL, BRP,BRR 11c.2
MEDITERRANEA	Piso supramedit.	Serie 3 (19 c)	QUL,VIO,ACG,DPL ROS,BXS,CYS,CLR 19c.1	BXS,ROS,CYS,CLR, GEH, APM,LAL,TLT, BRP, PLC,BME 19c.2
MEDITERRANEA	Piso mesomedit.	Serie 4 (22 b)	QUI,TLT,BUR,QUC,GES,LAL,BRR 22 b	

En las 27 parcelas no aparecían bioindicadores de etapas de regresión de la serie 4, por lo que se ha elaborado un solo inventario teórico.

Resultado del análisis realizado:

En la Figura 4 aparecen los resultados del Decorana. En los tres ejes principales se absorbe el 77,48 % de la varianza total, quedando retenida en el plano formado por los ejes 1 y 2 el 56,02%. De la observación de la proyección de las parcelas e inventarios testigo se pueden extraer las siguientes deducciones:

— En el eje 1 se ordenan los inventarios testigos en función de su grado de regresión: Las etapas de sustitución tienen valores más altos que las etapas climácicas, dentro de una misma serie de vegetación.

— Las comunidades vegetales, en conjunto, se homologan a las Series 11c (*Helleboro foetidi-Querceto rotundifoliae sigmetum*), 19c (*Violo willkommii-Querceto fagineae sigmetum*) y 10 (*Buxo-Querceto pubescentis sigmetum*).

— Entre los tipos de comunidades vegetales definidos, los V11 al V13 son semejantes a la etapa climácica de la Serie 11c, así como a las etapas de sustitución de las Series 10 y

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

19c, mientras que los tipos V14 al V16 se asemajan a las etapas climácicas de las Series 10 y 19c. Parece claro que la Serie *Helleboro foetidi-Querceto rotundifoliae sigmetum* se sitúa en estaciones más xéricas y cálidas que la Serie *Violo willkommii-Querceto fagineae sigmetum*, siempre dentro del mismo piso supramediterráneo.

2.2. Ecología del *Pinus nigra*

Los estudios parciales realizados han permitido progresar en el conocimiento de los distintos factores y elementos del ecosistema "pinar de *Pinus nigra*" y en la consiguiente tipificación respecto de ellos. Pero estos análisis factoriales son insuficientes, ya que los ecosistemas son el resultado de la acción conjunta e integrada de todos los factores. Por ello planteamos ahora el análisis multivariable y multifactorial de los ecosistemas, de cara a poner de manifiesto las relaciones entre factores y de éstos con las comunidades vegetales que viven con la presencia dominante de *Pinus nigra.*

Este análisis multifactorial es abordado, utilizando toda la información disponible, de tres formas:

1. Estudio múltiple integrado de las tipificacioanes cualitativas obtenidas tras los análisis unifactoriales.
2. Estudio conjunto multivariable de las comunidades vegetales definidas por las especies presentes y de los factores físicos ecológicos que las determinan, definidas mediante parámetros cuantitativos.
3. Estudio de la relación entre la calidad de la estación y los factores ecológicos que la determinan.

2.2.1. Análisis múltiple integrado de las tipificaciones bióticas y abióticas.

Marco metodológico:

Las parcelas de *Pinus nigra* han quedado tipificadas de diversas formas: a) climáticamente, por su pertenencia a una determinada subregión climática; b) fisiográficamente, por su pertenencia a clases de altitud, pendiente, etc.; c) edáficamente, por su pertenencia a determinados grupos o subgrupos de suelos, y d) bióticamente, como consecuencia de la presencia de un determinado tipo de comunidad vegetal y la asignación a una clase de calidad de la masa arbórea.

Entre esas tipologías se presentan múltiples relaciones. Para facilitar la observación de éstas en un espacio multidimensional de carácter cualitativo se va a utilizar un análisis multifactorial específico para este tipo de datos: El Análisis de Correlación Corregido (*Detrented Correspondence Analysis*) Decorana, (Hill et al., 1980), ya citado y descrito en el epígrafe 2.1.2.2.

Las 27 parcelas caracterizadas por grupo y subgrupo edáficos (Sánchez Palomares et al., 1988), subregión climática, régimen hídrico de Thornthwaite, régimen de aridez de Vernet, clase de altitud, tipo de orientación y clase de pendiente (Elena Rosselló et al., 1985) y tipo de comunidad vegetal y clase de calidad de estación determinados en los epígrafes anteriores son susceptibles de ser analizadas mediante el Decorana, para obtener los ejes factoriales más significativos y proyectar sobre los planos definidos por ellos las parcelas y los distintos tipos edáficos, climáticos, fisiográficos y biológicos utilizados en su evaluación.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

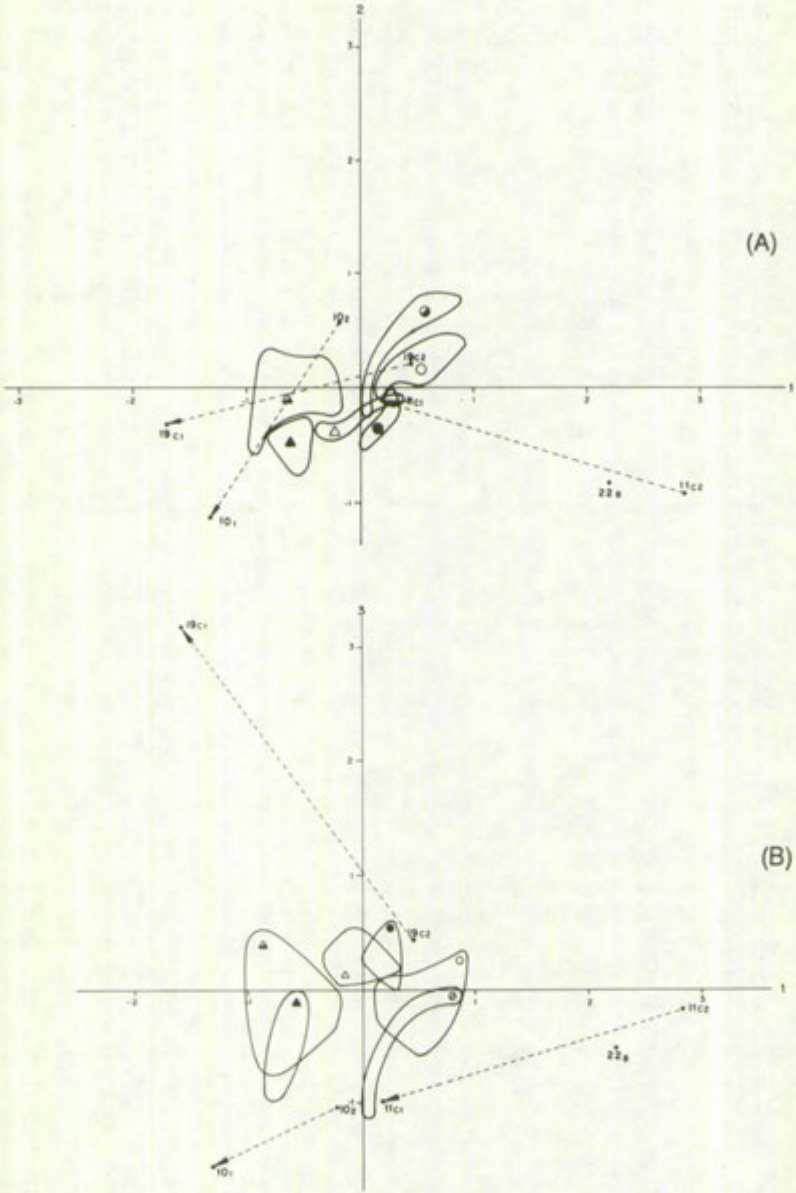


Figura 4.—Resultado del contraste fitosociológico de los tipos de comunidad vegetal definidos para los pinares de la Orla Pirenaica con los sintaxones sigmatistas. El contraste se ha realizado mediante el análisis Decorana obteniéndose los ejes principales cuyos planos aparecen en la Figura. A) Plano de los ejes Decorana 1 y 2 que absorbe el 56,02% de la varianza total y en él que se han dibujado las envolventes de los distintos tipos definidos y la situación de los inventarios teóricos correspondientes a las distintas etapas de las series de vegetación definidas para las zonas de pino laricio de la región. B) Plano de los ejes Decorana 1 y 3 que absorbe el 51,03% de la varianza y en él que se han proyectado todos los inventarios de la misma forma que en el Plano 1-2. (Los tipos de comunidades vegetales están identificados por los símbolos definidos en la Figura 2, y los inventarios teóricos por los identificadores del texto.)

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

Análisis de los resultados obtenidos:

Los cuatro ejes factoriales principales obtenidos alcanzan unos autovalores de 0,38, 0,19 y 0,13, respectivamente, por lo que el análisis de los tres primeros ejes recoge el 70% del total de la varianza existente en el conjunto de las 27 parcelas.

En las Figuras 5 se presentan los cuatro diagramas de dispersión de las proyecciones conjuntas de tipos y parcelas sobre planos definidos por los ejes 1, 2 y 3.

Observando las figuras se destaca rápidamente la concordancia del eje 2 con la calidad de la estación, de modo que valores altos en ese eje equivalen a mala calidad, y valores bajos se corresponden con buenas calidades. Este hecho ha permitido la estructuración de ambos planos como campos de calidad, con isolíneas de separación entre clases de calidad. De este modo la localización de las otras tipologías, dentro de esos planos, permite la detección de sus relaciones con la calidad. Asimismo, la mayor proximidad en ambos planos entre dos tipos implica una mayor asociación entre ellos. También se observa una concordancia similar entre el eje 1 y la altitud de las parcelas.

Las conclusiones que con carácter diagnóstico podemos extraer de este análisis son las siguientes:

— Existe una clara asociación entre tipos de comunidades de vegetación y calidad de estación. Los tipos de comunidades vegetales V13 y V12 aparecen en estaciones de mala calidad (V y IV), mientras que los tipos V16 y V14 se presentan en estaciones de buena calidad (I y II).

— Existe una estrecha asociación entre tipos de orientación y clases de calidad de estación. Así, orientaciones al norte (umbrías) presentan estaciones de buena calidad, y orientaciones al sur y al oeste (solanas) son características de malas calidades.

— La tipología edáfica no se asocia en absoluto con la calidad. Sólo algunos subgrupos lo hacen, como es el caso de los suelos con aportes coluviales relacionados con malas calidades y suelos rojizos con buenas.

— La tipología climática no presenta una clara asociación con la calidad de estación.

— El primer eje es de altitud y el segundo de calidad. Se pueden establecer, a partir de dichos ejes, ensayos de campos de calidad y de altitud en el espacio definido por los tres ejes principales, en los que se pueden establecer diagnosis para los distintos tipos edáficos, climáticos y fisiográficos.

2.2.2. Análisis multivariable de las variables bióticas y de las variables de los factores ecológicos:

En el epígrafe anterior todas las variables tenían la misma consideración; caracterizaciones tipológicas monofactoriales realizadas de forma independiente. No existía ninguna idea preconcebida acerca de las relaciones de dependencia causal entre ellas. No obstante, estas relaciones existen y es conveniente ponerlas de manifiesto.

Los tipos de comunidades vegetales han sido establecidos mediante el análisis de su composición florística. Esta información sobre la respuesta vegetal integra de hecho la acción de una serie de factores ecológicos de los que depende.

El análisis del epígrafe anterior da una idea sobre cuales son los factores ecológicos que están más correlacionados con la respuesta vegetal. En base a ella se han seleccionado aquellos parámetros

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

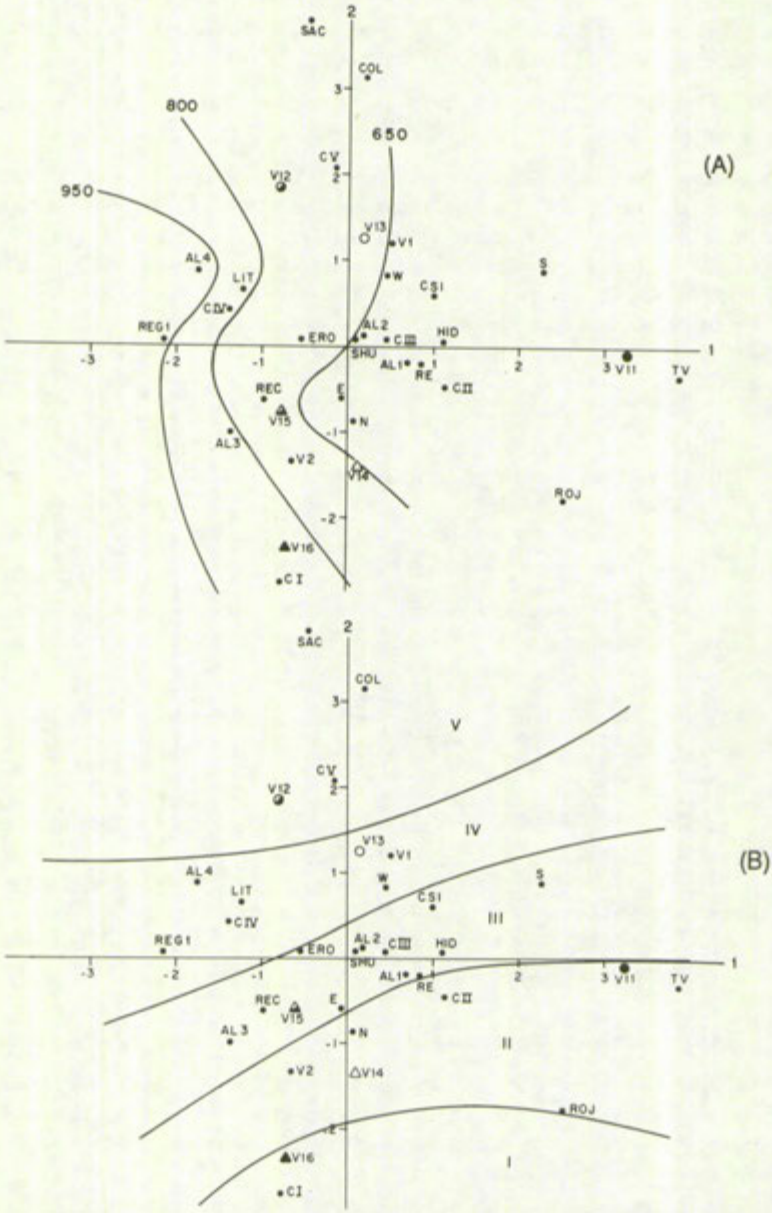


Figura 5 (A y B).—Análisis conjunto de las tipificaciones ecológicas monofactoriales de los pinares de *Pinus nigra* de la Orla Pirenaica. El análisis Decorana de las tipificaciones climáticas, fisiográficas, edáficas y florísticas permite detectar ejes factoriales cuya representación gráfica en forma de planos y las proyecciones de los distintos tipos ecológicos sobre ellos se presentan en esta Figura. A) Plano definido por los ejes 1 y 2 en el que se ha definido un campo de altitudes. B) El mismo plano del diagrama A en el que se ha definido un campo de calidad de la estación. (*Tipos edáficos*: grupos = REC, RE y SAC; subgrupos = LIT, SHU, ERO, ROJ, HID, COL y CSI. *Tipos climáticos*: subregiones regiones = REG1, REG2; continentalidad = EX1, EX2; ind. hídrico = HI1, HI2 y HI3; índice Vernet = V1 y V2. *Tipos fisiográficos*: pendiente = TV y P1 hasta P5; altitud = AL1 a AL7; orientaciones = N, S, E y W. *Clases de Calidad*: CI a CV. *Tipos de vegetación*= V11 a V16.)

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

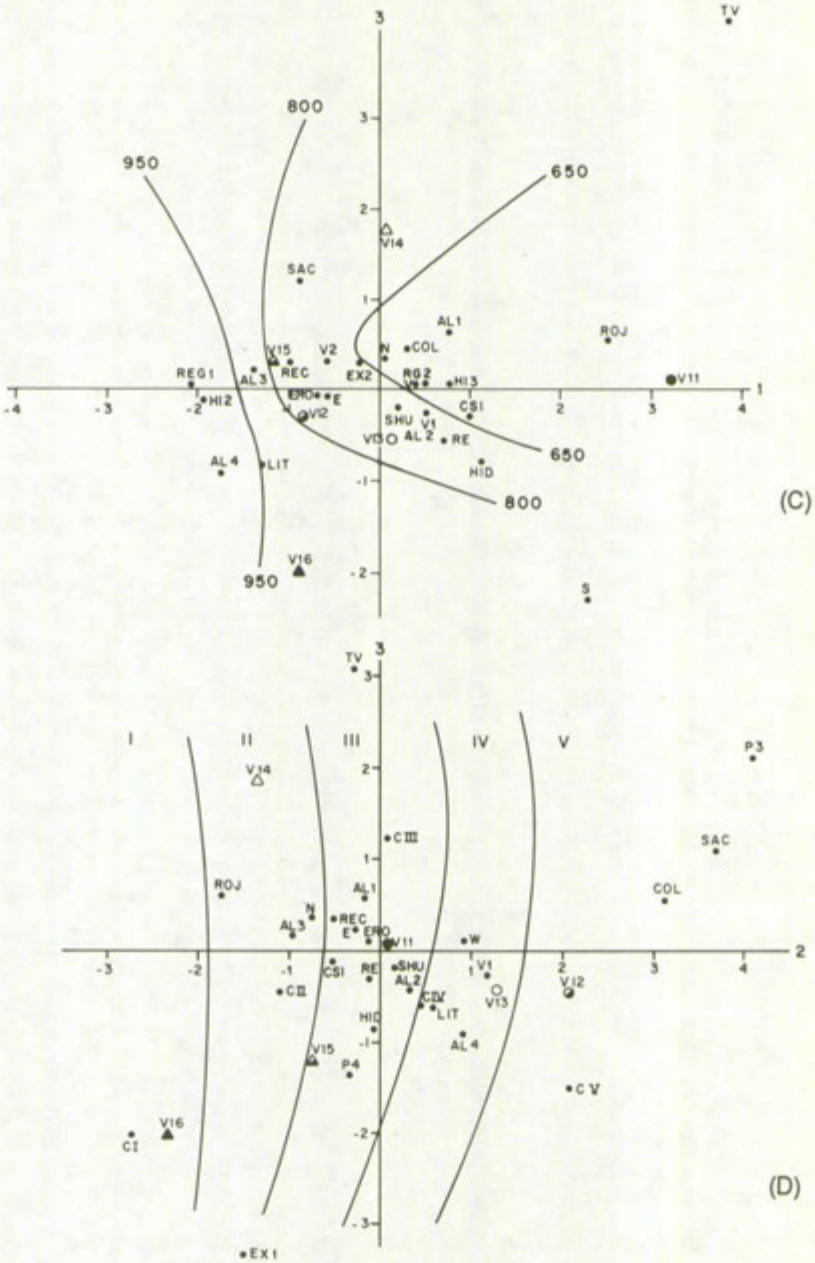


Figura 5 (C y D).—Análisis conjunto de las tipificaciones monofactoriales de los pinares de la Orla Pirenaica. C) Plano definido por los ejes 1 y 3 en el que se ha definido un campo de altitudes. D) El mismo plano del diagrama C en que se ha definido un campo de calidad de la estación. (*Tipos edáficos*: grupos = REC, RE y SAC; subgrupos = LIT, SHU, ERO, ROJ, HID, COL y CSI. *Tipos climáticos*: subregiones regiones = REG1, REG2; continentalidad = EX1, EX2; ind. hídrico = HI1, HI2 y HI3; índice Vernet = V1 y V2. *Tipos fisiográficos*: pendiente = TV y P1 hasta P5; altitud = AL1 a AL7; orientaciones = N, S, E y W. *Clases de Calidad*: CI a CV. *Tipos de vegetación*= V11 a V16.)

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

que se considera tienen una influencia causal más importante: insolación, altitud, pedregosidad, materia orgánica, porcentaje de tierra fina y calidad de la estación (Site Index 50).

Marco metodológico:

Estamos en presencia de un fenómeno ecológico que se pone de manifiesto mediante la variación de la composición florística de las comunidades vegetales presentes. El análisis del fenómeno desde ese punto de vista exclusívamente florístico, así como su homologación ya se han efectuado mediante el Análisis de Especies Indicadoras Twinspan y el Análisis de Correlación Decorana. Ambos son, en verdad, análisis indirectos del gradiente ecológico en el sentido de Whittaker (1967).

Pero esa variación a lo largo del gradiente indirecto está causada por variaciones en la acción de distintos factores ecológicos. Ter Braak (1985, 1986, 1987) ha desarrollado un método de análisis multivariable que, además de detectar la existencia de un gradiente ecológico definido por la variación en las comunidades vegetales, pone en claro las causas que provocan esta variación. Es decir, qué factores ecológicos son más determinantes. Este método recibe el nombre de Análisis del Gradiente Directo (Gauch, 1982).

Desde el punto de vista operativo, la composición florística viene definida mediante una serie de variables cualitativas y los factores ecológicos vienen medidos por medio de una serie de variables generalmente cuantitativas: las primeras tienen carácter dependiente, y las segundas, independiente. El Canonical Correspondence Analysis, Canoco (Ter Braak, 1987), es una técnica de ordenación en espacio reducido que trata, en primer lugar, de visualizar las pautas de variación de las comunidades y, a continuación, las variaciones principales en la distribución de las especies a lo largo de variables ambientales. Como cualquier otro análisis de ordenación en espacio reducido, trata de detectar los ejes principales de variación del fenómeno estudiado, en términos de composición florística, pero *condicionándolos* a su regresión respecto de las variables ambientales que se consideren determinantes del fenómeno.

El Canoco combina, para ello, el Análisis Factorial de Correspondencias (Benzecri, 1973; Hill, 1979) con el Análisis de Regresión Lineal. Los resultados de este análisis permiten la proyección sobre un mismo plano de las parcelas muestreadas, de las especies inventariadas y de las variables ambientales. En estos planos es posible detectar la correlación existente entre comunidades vegetales y lugares estudiados, así como la situación de ambos, respecto de gradientes ambientales monofactoriales.

En consecuencia, y de forma práctica en este caso, podremos determinar simultáneamente qué comunidades vegetales son indicadoras de mejor o peor calidad de estación y en qué hábitat se encuentran.

Análisis de los resultados obtenidos.

Se han caracterizado las 27 parcelas por la presencia en ellas de 128 especies y por los valores que en ellas alcanzan las variables CD1, ALT, INS, PDG, MOR y TF (calidad de la estación, altitud, insolación, pedregosidad superficial, materia orgánica en el perfil y porcentaje de tierra fina). Se han seleccionado estas variables por ser las que presentaban, en un primer análisis univariable, una más alta correspondencia con la respuesta vegetal.

El Análisis de Correspondencias Canónicas se ha realizado usando el programa Canoco (Ter Braak, 1987).

Los tres ejes canónicos principales obtenidos absorben el 56,4% de la varianza de los datos estudiados. Las proyecciones conjuntas de parcelas y especies, y la situación de los ejes de las variables ambientales aparecen en las Figuras 6 y 7.

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

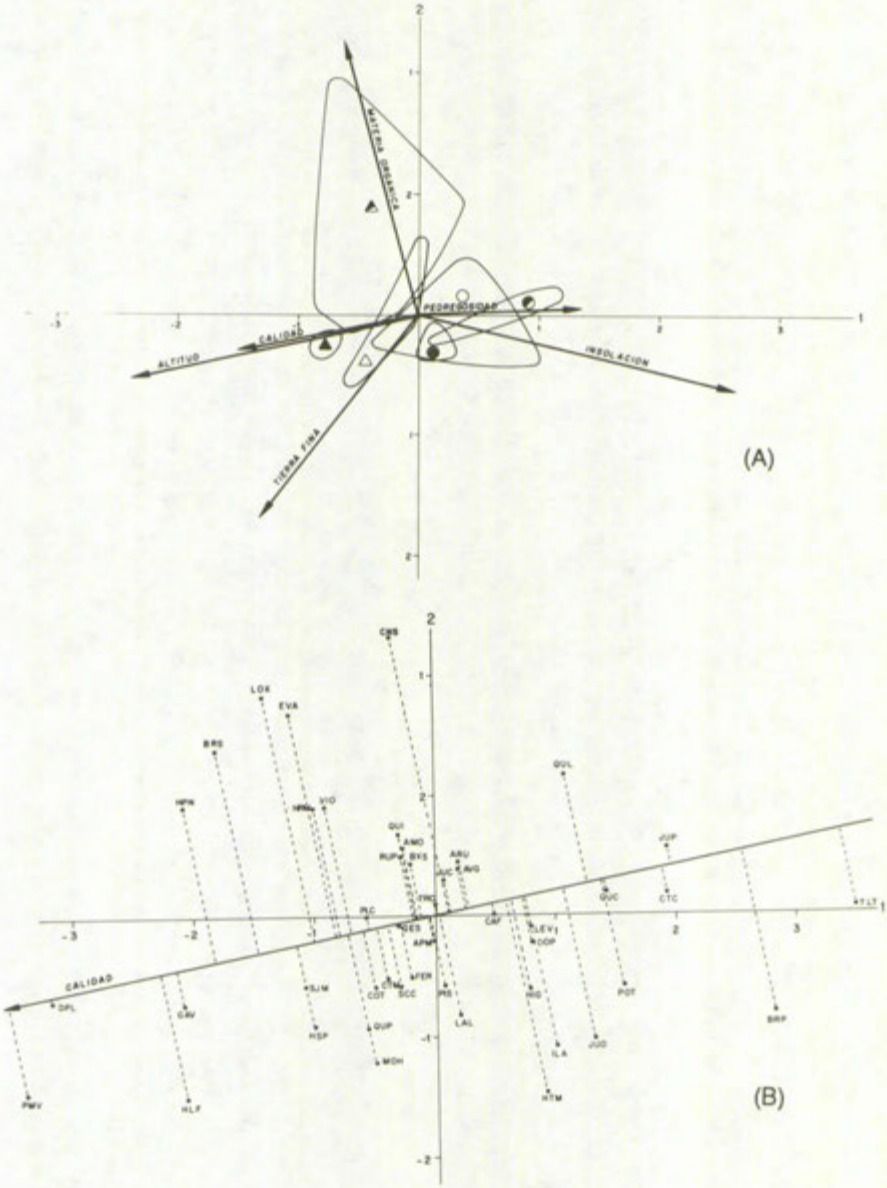


Figura 6 (A y B).—Resultados del análisis multivariable conjunto de las variables bióticas y de las variables ecológicas realizado mediante el programa Canoco para los pinares de la Orla Pirenaica. A partir de los tres ejes factoriales obtenidos se han representado los planos de los diagramas siguientes sobre los que se han proyectado conjuntamente parcelas estudiadas, especies vegetales inventariadas y variables ecológicas medidas. La información absorbida por los ejes principales es el 43,7% del total. A) Diagrama de dispersión de las proyecciones de las parcelas caracterizadas por el tipo de vegetación y de las variables ecológicas sobre el Plano 1-2. B) Diagrama de dispersión de las proyecciones de las especies sobre el Plano 1-2, con la ordenación de las mismas respecto de la calidad de la estación. (Las especies vienen identificadas por los Códigos del Cuadro 2 del Apéndice; los tipos de comunidades vegetales están identificadas por los símbolos definidos en la Figura 2.)

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

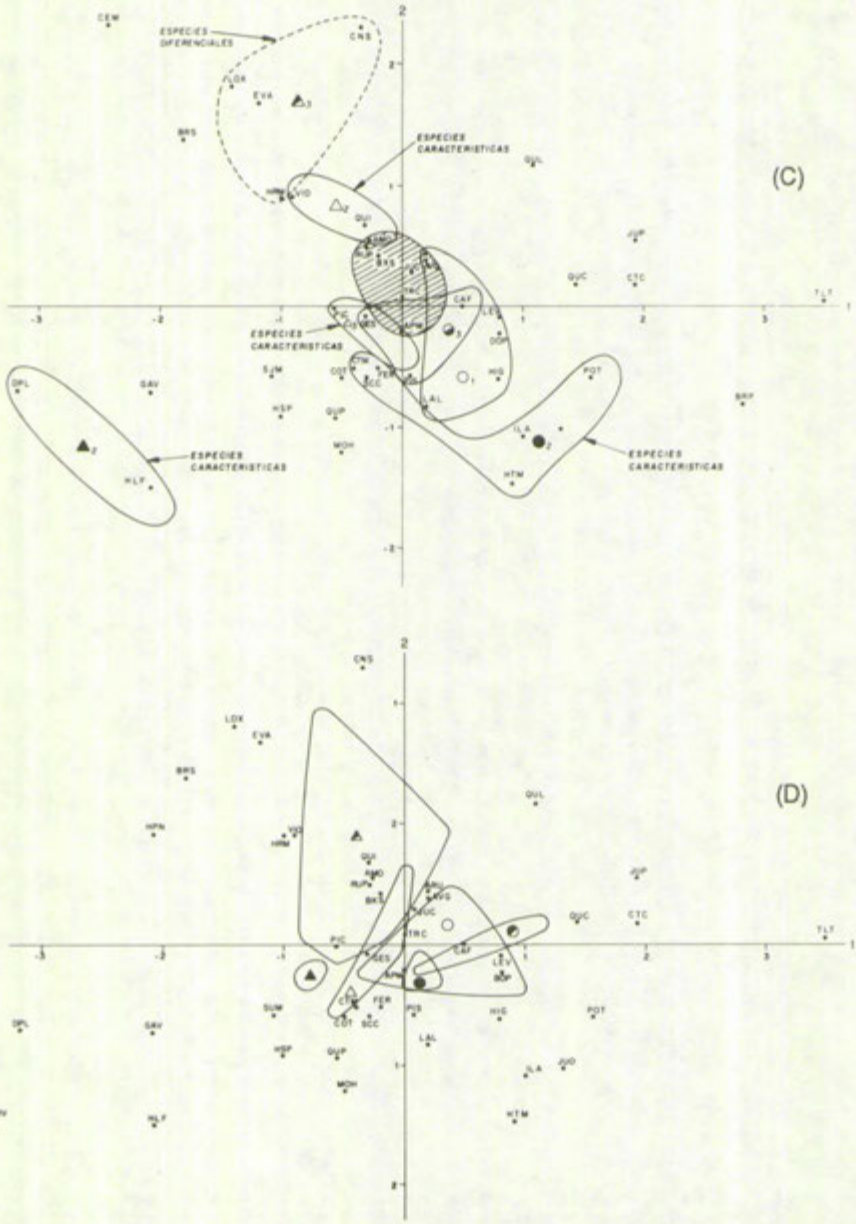


Figura 6 (C y D).—Resultados del análisis Canoco de las variables bióticas y ecológicas de los pinares de la Orla Pirenaica. C) Diagrama de dispersión similar al anterior en donde mediante envolvente se han diferenciado las espe-cies características de cada tipo de vegetación definido. D) Diagrama de dispersión conjunta de las proyecciones de especies y parcelas agrupadas estas últimas según tipos de vegetación sobre el Plano 1-2. (Las especies vienen identificadas por los Códigos del Cuadro 2 del Apéndice; los tipos de comunidades vegetales están identificadas por los símbolos definidos en la Figura 2.)

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

Antes de analizar los resultados debemos hacer los siguientes comentarios:

— La varianza absorbida por los tres primeros ejes es relativamente baja. No obstante, hay que tener en cuenta que la respuesta vegetal no es sólo consecuencia de la acción de los factores ecológicos incluidos en el Análisis, sino de factores de origen antrópico, tales como pastoreo, tratamientos selvícolas, etc. Estos factores no han sido cuantificados y su acción es considerada importante en estos ambientes forestales submediterráneos. En conjunto no superan el 43,7% restante y ninguno de ellos, en caso de acción individualizada, superará el 11,8%. Se trata de una información "ruido" que globalmente ha sido eliminada en estos tres ejes que se van a analizar a continuación.

— El poder de significación de las variables ambientales en el espacio definido por el conjunto de los tres ejes principales viene dado por la longitud del vector que lo define, ponderando las coordenadas por **σXi,** varianza absorbida por cada uno de los ejes principales:

	AX1	σX1	AX2	σX2	AX3	σX3	LV
CD1	–209	25,6	–48	19	–7	11,8	54
ALT	–132	25,6	–26	19	39	11,8	34
INS	240	25,6	–60	19	–110	11,8	63
PED	114	25,6	1	19	258	11,8	42
MOR	–86	25,6	305	19	0	11,8	61
TF	–125	25,6	–160	19	–96	11,8	45

$$LVj = \sqrt{\Sigma\ (AXij \times \sigma Xi)^2}$$

De acuerdo con ello, la variable que más explica la variación es la insolación, seguida de materia orgánica y calidad de estación.

Analizando los diagramas de las Figuras 6 y 7 se observa que:

— En el primer eje son calidad e insolación, en sentidos opuestos, las variables más significativas; a más insolación menor calidad (Figura 6.A).

— En el segundo eje es el contenido de materia orgánica del suelo la variable más explicativa, mientras que para el tercero es la pedregosidad superficial.

Con estos datos se pueden interpretar las proyecciones conjuntas de variables ambientales, especies y parcelas en los planos 1-2 y 1-3. Los vectores ambientales representados en el plano se interpretan siguiendo los siguientes criterios:

A) Vectores de igual dirección implican alta correlación entre los factores.

B) Vectores ortogonales implican nula correlación.

C) Vectores de igual dirección e igual sentido implican alta correlación positiva.

D) Vectores de igual dirección y opuesto sentido implican alta correlación negativa.

En este caso, la interpretación de los resultados que aparecen en la Figura 6.A es la siguiente:

— Insolación y pedregosidad son factores alta y positivamente correlacionados.

— Calidad y altitud son factores con alta correlación positiva.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

— Materia orgánica tiene una baja correlación con el resto de factores ambientales.

A su vez, la proyección ortogonal de especies y de parcelas sobre los ejes ambientales permite la ordenación de aquéllas respecto de los gradientes ambientales que representan. De este modo, y en este caso, se pueden ordenar las especies según su poder indicador de calidad de estación, de la altitud del pinar o de la insolación.

A partir de los ejes 1 y 2 (44,6% de varianza absorbida) tal como se refleja en la Figura 6.B, la ordenación según la calidad de la estación de algunas de las especies más significativas es la siguiente:

MEJOR CALIDAD	*Daphne laureola*	*DPL*
	Helleborus foetidus	*HLF*
	Gallium vernum	*GAV*
	Hepatica nobilis	*HPN*
	Brachypodium sylvaticum	*BRS*
	Satureja montana	*SJM*
	Lonicera xylosteum	*LOX*
	Coriaria myrtifolia	*COT*
	Euphorbia amigdaloides	*EVA*
	Hieracium murorum	*HRM*
	Polygala calcarea	*PLC*
	Crataegus monogyna	*CTM*
	Rubia peregrina	*RUP*
	Quercus ilex	*QUI*
	Amelanchier ovalis	*AMO*
	Buxus sempervirens	*BXS*
	Aphyllantes monspeliensis	*APM*
	Lavandula latifolia	*LAL*
	Pinus sylvestris	*PIS*
	Juniperus communis	*JUC*
	Arctostaphyllos uva-ursi	*ARU*
	Carex flacca	*CAF*
	Helianthemum nummularium	*HTM*
	Hippocrepis glauca	*HIG*
	Ilex aquifolium	*ILA*
	Dorycnium pentaphyllum	*DOP*
	Leucanthemum vulgare	*LEV*
	Juniperus oxicedrus	*JUO*
	Quercus faginea	*QUL*
	Quercus coccifera	*QUC*
	Juniperus phoenicea	*JUP*
	Catananche coerulea	*CTC*
PEOR CALIDAD	*Brachypodium phoenicoides*	*BRP*

De igual modo se puede hacer para los restantes ejes ambientales y, como aparece en la Figura 7, tanto en lo que se refiere a las especies como en lo que se refiere a las parcelas inventariadas.

Por último cabe utilizar estas representaciones para analizar la clasificación florística realizada a partir del Análisis de Especies Indicadoras (2.1.2.1.), en el que tanto las especies como las parcelas

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

quedaron clasificadas. Los grupos de parcelas pueden ser representados en el plano mediante la envolvente de todas ellas (Figuras 6.A y 6.D). De ese modo, en su relación con los ejes ambientales, se puede conocer la amplitud ecológica de las distintas clases florísticas.

Al mismo tiempo, considerando los grupos de especies constantes de cada uno de los taxones florísticos definidos a los distintos niveles de la taxonomía y representados por sus envolventes, puede realizarse un análisis similar al anterior (Figura 6.C).

Los resultados de las dos formas de análisis son coincidentes:

- En conjunto los tipos V14 y V16 se presentan en sitios altos, de umbría, y con alto contenido en materia orgánica. Estas condiciones dan lugar a una buena calidad de las masas de *Pinus nigra*. Las especies diferenciales de estas clases son *Hepatica nobilis, Gallium vernum, Brachypodium sylvaticum, Lonicera xylosteum, Helleborus foetidus, Daphne laureola* y *Satureja montana*.

  — El tipo V16 aparece como el de mayor calidad de estación, con especies constantes DPL y HLF, mayor altitud y menor pedregosidad e insolación. Por otra parte, es el más estenoico de todos. Altitud media = 850. Calidad media = 16,1.

  — El tipo V15, por el contrario, es más eurioico, con calidad media, tendencia a un alto contenido en materia orgánica edáfica y situaciones de escasa insolación y pedregosidad. Altitud media = 737. Calidad media = 12,9

  — El tipo V14 es más estricto, con calidad media y escasa pedregosidad e insolación. Altitud media = 658. Calidad media = 12,3

- Las especies características de los tipos V11 a V13 son *Ilex aquifolium, Juniperus oxycedrus, Hippocrepis glauca, Potentilla tabernaemontani, Brachypodium phoenicoides* y *Talictrum tuberosum*.

  — El tipo V11 es también estenoico, con tendencia a baja calidad, algo de pedregosidad, insolación y escasez de materia orgánica. Altitud media = 613. Calidad media = 13,6.

  — El tipo V12 es más amplio, con características similares al anterior, pero con peor calidad en sus masas. Altitud media = 712. Calidad media = 10,8.

  — Por último, el tipo V22 tiene amplio hábitat, con características generales comunes a los dos tipos anteriores. Altitud media = 665. Calidad media = 11,8.

En el siguiente cuadro quedan resumidas las características apuntadas:

	Calidad	Altitud	Mat.Org.	Pedreg.	Insol.	TF
V11	+++ Est	+++ Est	= Est	— Est	— Est	++ Est
V12	= Amp	= Amp	++ Amp	= Amp	- Amp	= Amp
V13	= Amp	= Amp	= Amp	- Est	- Est	= Amp
V14	- Amp	- Amp	= Amp	++ Amp	++ Amp	= Amp
V15	- - Amp	- - Amp	- Amp	+++ Amp	++ Amp	- Amp
V16	= Est	- Est	- Est	+ Est	+ Est	+ Est

Est = Estenoico; Amp = Eurioico; +++ Muy Alta, ++ Alta, + Poco Alta; — Muy Baja, - - Baja, - Poco Baja, = Media.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

Por último, se ha hecho una comparación de los grupos y subgrupos de suelos presentes mediante las calidades de las masas que sustentan. Las calidades medias aparecen reflejadas en el siguiente cuadro:

Grupo de suelo	Calidad Media	Desv.Típica	N.Estac.
Rendzinas empardecidas carbonatadas	12,39	3,61	10
Rendzinas empardecidas	13,06	3,01	15
Suelos argilúvicos calizos	12,90	2,94	2

Las diferencias entre las medias de los distintos grupos nunca llegan a ser significativas ($P \geq ,1$). Las calidades medias de los distintos subgrupos de suelos son las siguientes:

Subgrupos de suelos	Calidad Media	Desv.Típica	N.Estac.
Líticos	10,13	2,69	8
Subhúmicos	13,57	1,98	23
Erosionados	12,63	3,41	13
Rojizos	16,20	2,30	2
Hidromórficos	13,80	2,30	5
Con aportes coluviales	10,95	2,75	2
Calco-silíceos	14,45	2,44	11
Dolomíticos	—	—	0

Realizados los test de comparación de medias entre los subgrupos no se aprecian diferencias significativas ($P > 0,1$). Sólo cabe reseñar una cierta tendencia a mala calidad en suelos con aportes coluviales y líticos, y a buenas calidades en los suelos rojizos.

2.2.3. Ecuación multifactorial de pronóstico de la calidad de la estación.

Si se hace abstracción de los factores antrópicos, el desarrollo de una masa forestal responde fundamentalmente a dos tipos de factores en presencia; los factores ecológicos y los factores genéticos. La calidad de una estación forestal está, por tanto, determinada por la acción del clima, el suelo, la vegetación acompañante y el genotipo de la especie arbórea.

La estimación directa de la productividad forestal es excesivamente costosa en tiempo y dinero para llevarla a cabo en todas las estaciones forestales. Es, por ello, que en muchos casos es mejor recurrir a evaluaciones indirectas a partir de los resultados de evaluaciones directas realizadas en otras estaciones.

Ambito metodológico:

Existen muchos métodos de evaluación indirecta de la calidad, métodos que han sido ampliamente estudiados por Coile (1952), Rennie (1962), Ralston (1962) y Carmean (1975). Jones (1969)

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

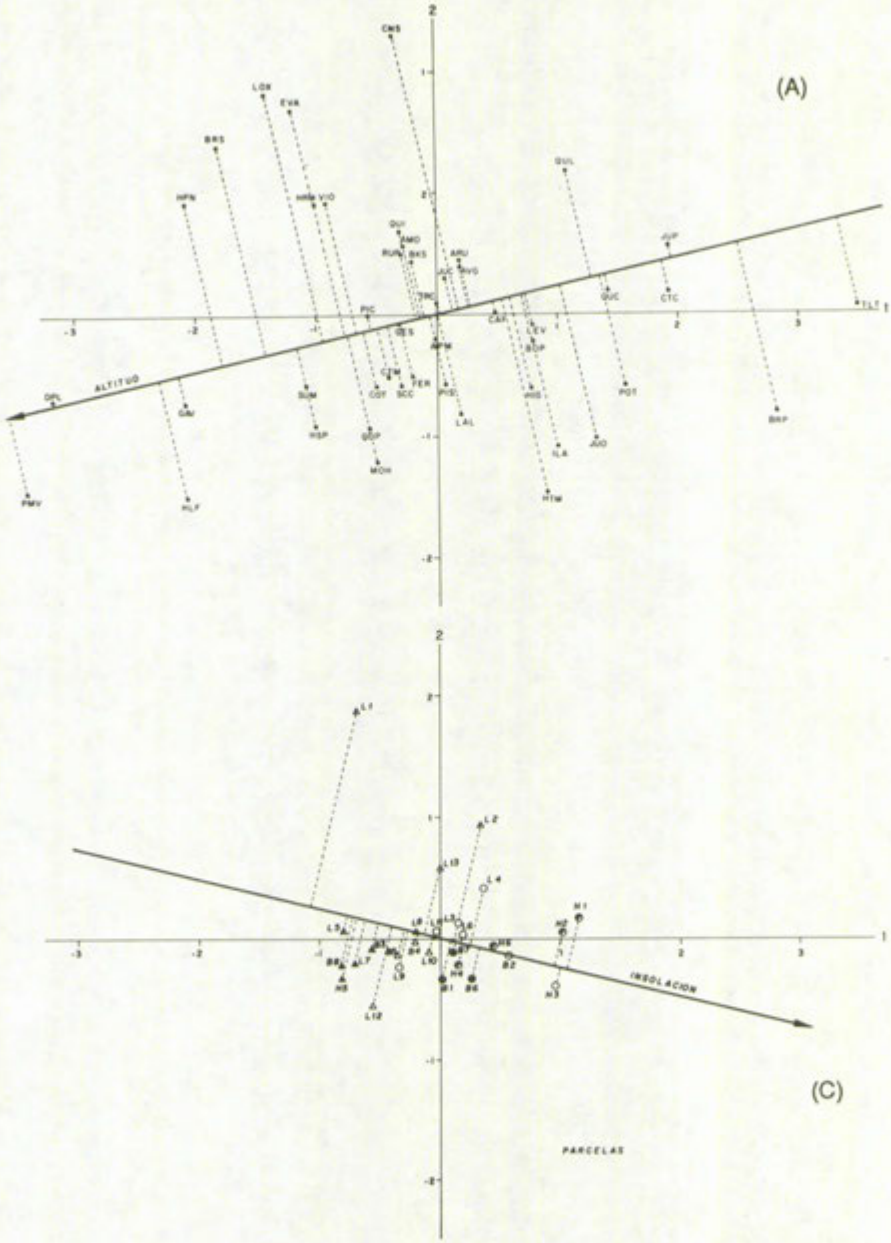


Figura 7 (A y C).—Resultados del análisis multivariable conjunto de las variables bióticas y de las variables ecológicas realizado mediante el análisis Canoco para los pinares de la Orla Pirenaica. (Continuación de Figura 6.) A) Diagrama de dispersión de las proyecciones de las especies sobre el Plano 1-2 con la ordenación de las mismas respecto de la altitud. C) Diagrama de dispersión de las proyecciones de las parcelas muestreadas sobre el Plano 1-2 con la ordenación de las mismas respecto de la insolación de la parcela. (Las especies vienen identificadas por los Códigos del Cuadro 2 del Apéndice; los tipos de comunidades vegetales están identificadas por los símbolos definidos en la Figura 2.).

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

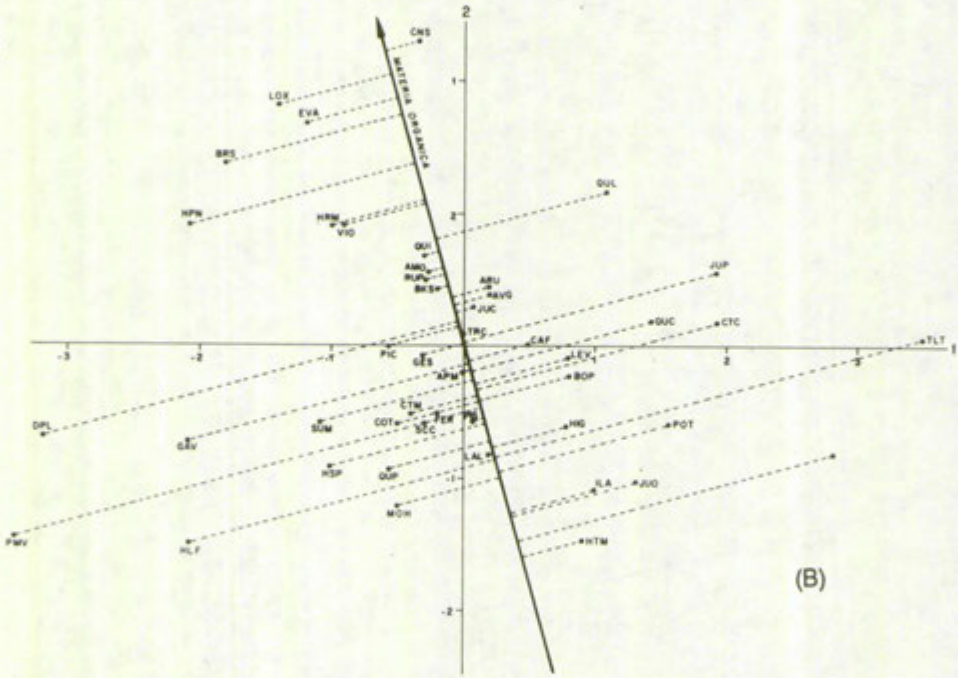


Figura 7 (B).—Resultados del análisis Canoco de las variables bióticas y ecológicas para los pinares de la Orla Pirenaica. B) Diagrama similar al anterior con la ordenación de las especies respecto del contenido de materia orgánica del suelo de los pinares. (Las especies vienen identificadas por los Códigos del Cuadro 2 del Apéndice; los tipos de comunidades vegetales están identificadas por los símbolos definidos en la Figura 2.)

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

clasifica los métodos existentes en tres grupos: 1) Estimaciones a partir de la vegetación; 2) estimaciones a partir del medio físico; 3) estimaciones a partir de factores múltiples.

El último grupo de métodos está basado en la idea de que existe una interacción conjunta de todos los factores ecológicos que inciden en la estación forestal. Dos tendencias se han desarrollado entre ellos: 1) Elaboración de clasificaciones territoriales a partir de sus elementos físicos para fijar áreas homogéneas en cuanto a la productividad forestal (Kraus, 1936; Rowe, 1969; Hills, 1952, 1977; Krajina, 1972; Bailey, 1976; Bunce, et al., 1982. 2) Elaboración de índices multifactoriales en una determinada región y para una especie dada (Day, 1946; Decourt, 1969; Pyatt, et al., 1969; Page, 1970).

Estos últimos índices son ecuaciones predictivas de la calidad de la estación a partir de la medida de una serie de parámetros ecológicos que están altamente correlacionados con ella. Para ello se requiere la evaluación de la productividad de una serie de parcelas de experimentación, evaluación que puede hacerse mediante las tablas de producción existentes (White, 1982) o a partir de mediciones de la biomasa arbórea existente (Frank et al., 1984). En este caso vamos a elaborar las ecuaciones de pronóstico siguiendo el primer tipo de evaluación.

Como antecedentes de ecuaciones definidas para esta especie existente los de Fourt et al., (1971) para repoblaciones de *Pinus nigra* var. calábrica en el sur de Inglaterra, y las de *Pinus nigra* var. austríaca de los Alpes franceses (Timbal et al., 1985). Por lo que se refiere a antecedentes en España están los de *Pinus radiata* (Gandullo et al., 1974), *Pinus pinaster* (Bara et al., 1983) y *Pinus canariensis* (varios autores, 1989).

Para la elaboración de la ecuación se han utilizado las siguientes variables medidas en las parcelas de cada región:

1. Variable dependiente:

   (CD1) = Site Index a 50, evaluado tal y como se expuso en el Epígrafe 2.1.1.

2. Variables independientes:

   2.1. Variables fisiográficas: tal como se definieron y midieron en el estudio correspondiente Elena Rosselló et al. (1985): (ALT) = Altitud, (PND) = Pendiente e (ING) = Insolación.

   2.2. Variables climáticas: tal como se definieron y midieron en el estudio climático:

   - Relacionadas con el régimen pluviométrico: (PT) = Precipitación media anual; (PP) = Precipitación media primaveral; (PV) = Precipitación media estival, y (PO) = Precipitación media otoñal.
   - Relacionadas con el régimen térmico: (TM) = Temperatura media anual, (INT) = Indice de Gorszinsky (1920) sin corrección de altitud.
   - Relacionadas con la eficiencia térmica y radiante: (ETP) = Evapotranspiración potencial anual según Thornthwaite (1948); (CAL) = Suma de evapotranspiraciones estivales; (FRI) = Suma de evapotranspiraciones invernales.
   - Relacionadas con las disponibilidades hídricas atmosféricas y evaluadoras de la aridez: (DEF) = Suma de déficits mensuales, (SUP) = Suma de superávits mensuales, (IV) Indice de Vernet.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

2.3. Variables edáficas: tal como vienen definidas y medidas en el estudio edáfico (Sánchez Palomares et al., 1990):

(PDG) = Pedregosidad.
(TF) = Porcentaje de tierra fina.
(LIM) = Porcentaje de limo.
(ARC) = Porcentaje de arcilla.
(ARF) = Porcentaje de arena fina.
(CCC) = Capacidad de cementación (Nicolás et al., 1966).
(CIL) = Impermeabilidad por limo (Nicolás et al., 1966).
(CEL) = Evacuación lenta (Nicolás et al., 1966).
(PH) = Acidez actual.
(PHS) = Acidez actual superficial (pH).
(MO) = Porcentaje de materia orgánica humificada.
(MOS) = Porcentaje de materia orgánica humificada superficial.
(N) = Porcentaje de nitrógeno.
(NS) = Porcentaje de nitrógeno superficial.
(CAI) = Porcentaje de carbonatos inactivos.
(CAC) = Porcentaje de carbonatos activos.
(P) = Partes por millón de fósforo.
(K) = Partes por millón de potasio.
(CA) = Partes por millón de calcio.
(MG) = Partes por millón de magnesio.
(CN) = Relación carbono/nitrógeno.
(CNS) = Relación carbono/nitrógeno superficial.

El procedimiento seguido para la construcción de las ecuaciones ha sido la elaboración de un modelo de regresión lineal múltiple, de la misma forma como se ha hecho en trabajos similares (White, 1982; Schiller, 1982; Frank et al., 1984; Keenan et al., 1985; Minore et al., 1985; Brown et al., 1984). Dado el gran número de variables, desproporcionadamente grande respecto del número de parcelas, y dada la conveniencia de utilizar un número reducido de ellas para que la ecuación tenga una utilidad práctica, se ha llevado a cabo una selección siguiendo el siguiente proceso:

1. Verificación de la normalidad de las variables independientes, con rechazo de aquellas que no cumplen con esta hipótesis del modelo de regresión.

2. Análisis de correlación univariable respecto de la calidad de la estación (CD1), con realización del correspondiente test de significación y verificación de las variables más altamente correlacionadas.

3. Construcción de diagramas bivariables de cada variable independiente y CD1 con posterior elaboración de transformaciones de las variables de cara a lograr variables con mejor correlación lineal con CD1.

4. Construcción, a partir de las variables seleccionadas, de un modelo preliminar de regresión lineal mediante el procedimiento paso a paso de carácter ascendente y con eliminación de alguna variable seleccionada en los pasos previos (Efroymson, 1960). El programa que ha sido utilizado es el BMDP2R (Dixon, 1982).

El modelo preliminar obtenido es modificado mediante la transformación de las variables retenidas de cara a obtener un modelo más robusto, mejorando los coeficientes de determinación y

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

haciendo decrecer los residuos medios. Las transformaciones ensayadas son cuadrados, exponentes, logaritmos, inversas y raíces cuadradas.

Evaluación de los resultados obtenidos

En el Cuadro 3 del Apéndice se presenta la Tabla de los Coeficientes de Correlación de las distintas variables independientes con respecto de CD1. En la región pirenaica las variables edáficas físicas son las que aparecen correlacionadas con CD1. Quizá sea su relación con la capacidad de retención de agua en el suelo, a igualdad de otras circunstancias, lo que condicione la productividad. Hay que tener en cuenta, por otra parte, que las variables químicas edáficas presentan una escasa variabilidad en toda la región (Sánchez Palomares, et al., 1990).

La ecuación de pronóstico obtenida es la siguiente:

1. Ecuación de regresión:

   $CD1 = 0{,}001\ LIM^2 - 0{,}2\ [TF - 70] - 1{,}94\ PDG - 0{,}3\ CAS - 40{,}04/CN + 24{,}51$

   Error Medio de Estimación = 2,06

   Coeficiente de Determinación Múltiple = 0,825

2. Tabla del análisis de varianza:

	S.C.	g.l.	C.M.	F
Regresión	191,09	5	38,21	8,95 **
Desv. de la Regresión	89,63	21	4,26	
TOTAL	280,72	26		

Con esta ecuación sólo una parcela [H05] tiene un residuo superior a dos veces la desviación típica; otras tres parcelas [L07, L10 y B08] tienen residuos superiores a la desviación típica [** = Significativo al 99%].

2.3. Conclusiones regionales

La visión de las comunidades vegetales presentes en las masas autóctonas de *Pinus nigra* en la Orla Pirenaica, desde la óptica conjunta de los factores ecológicos y de su respuesta biológica, permite establecer el siguiente modelo:

Dentro de una elevada homogeneidad vegetal existe una gradación florística, en los extremos de la cual encontramos comunidades caracterizadas por la presencia de:

A)	*Coriaria myrtifolia*	*COT*	*Galium vernum*	*GAV*
	Coronilla emerus	*CEM*	*Hepatica nobilis*	*HPN*
	Daphne laureola	*DPL*	*Cytissus sessilifolius*	*CYS*
	Brachypodium sylvaticum	*BRS*	*Polygala calcarea*	*PLC*
	Lonicera xylosteum	*LOX*	*Helleborus foetidus*	*HLF*
	Acer monspesulanum	*ACM*	*Fragaria vesca*	*FRV*
	Rubus ulmifolius	*RBV*		

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

B)	*Brachypodium phoenicoides*	*BRP*	*Dactylis glomerata*	*DAG*
	Helianthemum nummularium	*HTM*	*Onobrychis supina*	*OBS*
	Ononis spinosa	*ONS*	*Potentilla tabernaemontani*	*POT*
	Thalictrum tuberosum	*TLT*	*Thymus lectophyllus*	*THL*
	Medicago lupulina	*MEL*	*Ononis antiquorum*	*OAN*
	Hippocrepis glauca	*HIG*	*Bromus erectus*	*BME*
	Koeleria vallesiana	*KOV*	*Dorycnium pentaphyllum*	*DOP*

Las primeras comunidades (V14 a V16) se homologan con la serie montana pirenaica del roble peloso (*Buxo-Querceto pubescentis sigmetum*) y a etapas evolucionadas de la serie montana pirenaica y supramediterránea y somontana aragonesa de la encina *Helleboro foetidi-Querceto rotundifoliae sigmetum* y de la serie supramediterránea tarraconense, maestracense y aragonesa basófila del quejigo (*Violo willkommii-Querceto fagineae sigmetum*).

Las segundas comunidades (V11 a V13) se homologan con etapas de sustitución de las dos últimas series antes citadas y con etapas más evolucionadas de la serie mesomediterránea manchego-aragonesa basófila de la encina (*Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae sigmetum*).

El primer grupo de tipos de comunidades se presenta en estaciones altitudinalmente más elevadas, y/o con orientaciones más umbrías y pendientes fuertes, que determinan insolaciones notablemente más bajas que en las estaciones con comunidades de los otros tipos.

Las anteriores condiciones ecológicas provocan un notable gradiente en la calidad de estación de *Pinus nigra* en el Pirineo. En efecto, la calidad del primer grupo de comunidades (V20 a V22) es notablemente mayor que la del segundo grupo (V23 a V25).

Parece clara la implicación ecofisiológica de las condiciones ecológicas expuestas. La altitud proporciona una disminución térmica que, junto a la falta de insolación, hace que la evapotranspiración sea menor, y ya se sabe el papel limitante que supone la disponibilidad hídrica para la vegetación sometida a un clima submediterráneo. Por ello, en ambientes más frescos y umbríos, la disponibilidad hídrica es mayor y, en consecuencia, también la calidad de las masas de *Pinus nigra*.

Se ha detectado que no hay correlación estadísticamente significativa entre la clasificación de suelos y la calidad de la estación de pino laricio. Dado el carácter genésico de la clasificación utilizada, se infiere que el grado de evolución edáfica no es un factor determinante de la calidad de las masas de *Pinus nigra*. Hay que tener en cuenta, por otra parte, que los suelos de esta región son poco evolucionados.

No obstante, existen otros aspectos edáficos que sí influyen en la calidad. Así, si se observa la ecuación de pronóstico, todas las variables que han sido incluidas en ella son edáficas, tres de carácter físico (LIM, TF y PDG) y dos de carácter químico (CAS y CN), pero de indudables repercusiones en la estructura de los suelos. La preponderancia de los aspectos texturales y estructurales refuerzan lo expuesto en el párrafo anterior.

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

3. EL PINO LARICIO EN EL SISTEMA IBERICO ORIENTAL Y SIERRAS COSTERAS MEDITERRANEAS

Las masas de pinares de *Pinus nigra* de estas sierras quedaron incluidas en la región fisiográfico-climática segunda en el estudio correspondiente (Elena Rosselló et al., 1985). Se incluyen en ellas la parte más meridional del área de distribución de su forma *pirenaica* localizada en las provincias de Tarragona, Castellón y Teruel. En esta última provincia se encuentra el límite con la región tercera que, de una forma convencional, se ha situado en el curso de río Turia-Guadalaviar. Asimismo quedaron incluidos en esta región los relictos situados en el núcleo septentrional del Sistema Ibérico de la provincia de Soria.

En esta región se han analizado un total de 27 parcelas dispersas, cuyo diseño de muestreo, localización geográfica, caracterización florística y edáfica han sido descritos en los correspondientes estudios previos (Elena Rosselló et al., 1985; Pascual Terrats, 1987, y Sánchez Palomares et al., 1990).

3.1. Caracterización de las Fitocenosis

3.1.1. Caracterización del estrato arbóreo; análisis de la calidad de la estación:

Para estimar la calidad de la estación se ha supuesto que las masas de *Pinus nigra* de todas las parcelas muestreadas pertenecían a la forma *pirenaica*. Por ello se ha utilizado el modelo de curvas de calidad de estación descrito en el Epígrafe 2.1.1. A partir de las alturas dominantes obtenidas para cada parcela se ha calculado CD1 (Site Index 50) y CD2 (Clase de Calidad), cuyos valores aparecen en el Cuadro 1 del Apéndice.

El Site Index 50 se distribuye en la región ibérica oriental con un valor medio de 10,53 metros, correspondiente a una Clase de Calidad IV-P, con una desviación de 2,74.

3.1.2. Tipificación de las comunidades vegetales presentes:

La base para el análisis de las comunidades vegetales presentes en los pinares de esta región han sido los inventarios florísticos realizados en las 27 parcelas muestreadas. En dichos inventarios aparecen 161 especies distintas, cuyo código de identificación se presenta en el Cuadro 2 del Apéndice.

3.1.2.1. Análisis de especies indicadoras:

Tal como ha sido descrito en el Epígrafe 2.1.2.1. correspondiente a la región primera se ha aplicado a los inventarios florísticos el Análisis Twinspan con las siguientes especificaciones:

— Tamaño mínimo de grupo susceptible de división = 6 parcelas.

— Número máximo de especies indicadoras por división = 7.

— Número de niveles de división = 3.

— Número de especies presentes en al menos tres parcelas = 113.

Bajo estas condiciones, el resultado de la clasificación directa aparece reflejado de forma esquemática en la Figura 8. En el primer nivel de división se observa una partición caracterizada por la especie *Juniperus communis* de carácter positivo, frente a *Rubia peregrina* y *Thalictrum tuberosum* de carácter negativo. Aparentemente esta partición es de carácter latitudinal, tal como se

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

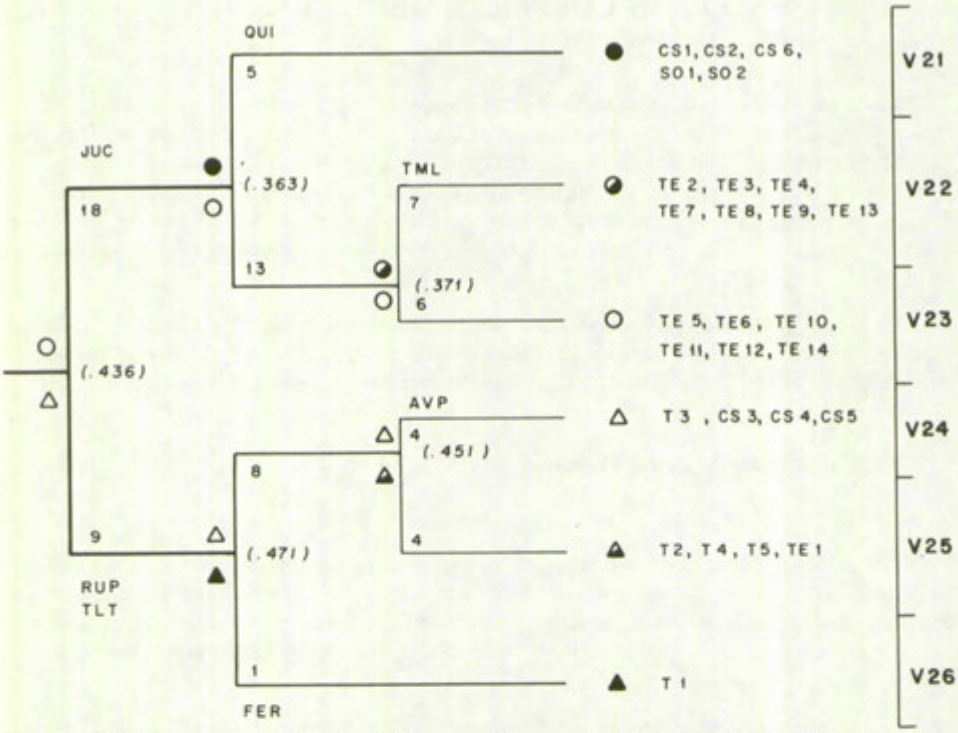


Figura 8.—Dendrograma que resume la tipificación de comunidades vegetales de los pinares de laricio del Sistema Ibérico Oriental y Sierras Costeras Mediterráneas. La tipificación se ha obtenido mediante el análisis Twinspan, definiéndose seis tipos (V21 a V26). En cada nudo se refleja: 1) Símbolos de los grupos que surgen; 2) autovalor del eje factorial principal que ha servido para hacer la división; 3) número de parcelas incluidas en cada grupo que surge, y 4) especies indicadoras de cada uno de grupos. En la parte derecha del dendrograma aparecen, junto a los tipos finalmente definidos, las parcelas incluidas en cada uno de ellos.

pone de relieve al observar el reparto geográfico de las parcelas de cada uno de los dos grupos surgentes.

Los sucesivos niveles de división siguen el mismo patrón de distribución geográfica y altitudinal, en cuyos extremos se encuentran V26 y V21, respectivamente. En el Cuadro 4 del Apéndice aparece la ordenación conjunta de parcelas y especies, resultado de los procesos de clasificación directo e inverso. En él se observa que las especies diferenciales de los tipos (V21 a V23) respecto de los tipos (V24 a V26) son *Juniperus communis, Koeleria vallesiana, Juniperus sabina, Thymus leptophyllus, Pinus sylvestris*. Viceversa, las especies diferenciales de los tipos (V24 a V26) frente a los tipos (V21 a V23) son: *Rubia peregrina, Thalictrum tuberosum, Genista hispanica, Dorycnium pentaphyllum, Bupleurum rigidum, Bupleurum fruticescens* y *Juniperus oxicedrus*. Todas ellas confirman el gradiente altitudinal implícito apuntado en los anteriores resultados.

En la Figura 9 aparece la relación de especies características y diferenciales a los distintos niveles de división del dendrograma establecido. Se observa que no hay especies constantes que caractericen a la totalidad de los pinares de *Pinus nigra* de la región. Especies indiferentes a la clasificación y

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

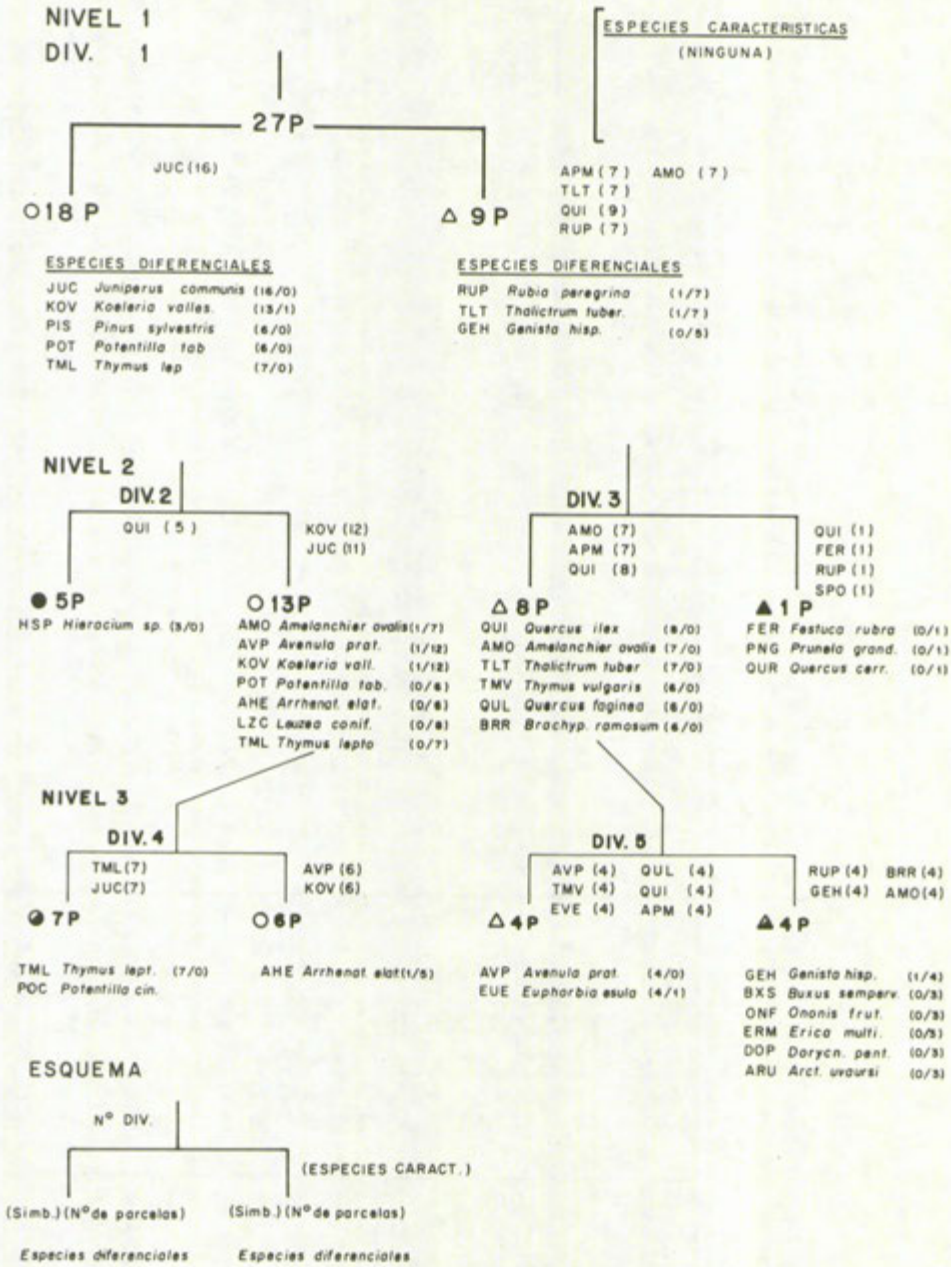


Figura 9.—Esquema de la tipificación de las comunidades vegetales de los pinares de *Pinus nigra* del Sistema Ibérico Oriental y Sierras Costeras Mediterráneas, en el que se reflejan las especies constantes de cada grupo en los distintos niveles y las especies diferenciales respecto de los restantes grupos surgidos del mismo nudo. En cada nudo se reflejan también los símbolos de cada grupo tal como se definen en la Figura 8, y el número de parcelas incluidas en ellos, así como las frecuencias de cada especie en los grupos que surgen del nudo y su poder diferenciador.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

gradiente detectados y ampliamente presentes en todos los tipos de comunidades son: *Lavandula latifolia, Aphyllantes monspelliensis, Teucrium chamaedrys, Euphorbia nicaensis* y *Quercus faginea.*

3.1.2.2. Homologación fitosociológica:

Siguiendo el marco metodológico descrito en el Epígrafe 2.1.2.2. se han detectado las series de vegetación potencial de las comarcas en donde están situadas las parcelas muestreadas. Para cada serie se han confeccionado inventarios teóricos mediante la presencia de las especies bioindicadoras de sus etapas climáticas y de sustitución. De acuerdo con Rivas Martínez (1987), las series de vegetación que aparecen son las siguientes:

Región mediterránea

Piso oromediterráneo:

1. Serie maestracense basófila de sabina rastrera: *Sabino-Pineto syslvestris sigmetum* (14a).

Piso supramediterráneo:

2. Serie ibérico-leonesa y alcarreña de sabina albar: *Junipereto hemisphaerico-thuriferae sigmetum* (15b).
3. Serie tarraconense, maestracense y aragonesa basófila de quejigo: *Violo willkommii-Querceto fagineae sigmetum* (19c).
4. Serie castellano-maestrazgo-manchega basófila de Q. rotundifolia: *Junipereto thuriferae-Querceto rotundifoliae sigmetum* (22a).

Piso mesomediterráneo:

5. Serie catalana de Quecus ilex: *Viburno tini-Querceto ilicis sigmetum* (21b).

Para cada serie de vegetación los inventarios teóricos elaborados han sido los siguientes:

Piso oromediterráneo	Serie 1 (14a)	PIS, JUS, JUC, ONA, ROS 14a.1	ERA, JUC, JUS, ONA, FER, BME CIF,CDM. 14a.2
Piso supramediterráneo	Serie 2 (15b)	JUT, JUC, ROS, BBV, ROS, GEP, RHI, BBV, FER, SVL. 15b	
	Serie 3 (19c)	QUL, VIO, ACG, DPL, ROS, BXS, CYS, CLR 19c.1	ROS, BXS, CYS, CLR, GEH, APM, LAL 19c.2
	Serie 4 (22a)	QUI, JUT, JUC, RHI, RHI,ROS,CRM 22a.1	ROS,CRM,GEP, GLV,DAG. 22a.2
Piso mesomediterráneo	Serie 5 (21b)	QUI,PHM,ROS QUC,DPG,BUF 21b.1	QUC,DPG,BUF, ERM, APM,BRP, BRR 21b.2

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

Muy pocas especies bioindicadoras de las etapas de regresión de la serie 15a aparecían en las 27 parcelas, por lo que sólo se confeccionó un inventario único para esta serie.

La totalidad de los inventarios de las parcelas, junto con los nueve inventarios teóricos, han sido sometidos al análisis Decorana dentro del mismo marco metodológico descrito en el Epígrafe 2.1.2.2. El resultado del mismo aparece en la Figura 10.

Los dos primeros ejes factoriales alcanzan unos autovalores de 0,55 y 0,51 que absorben el 58,9% de la varianza total. La proyección de las parcelas sobre el plano definido por ambos ejes permite observar una ordenación de las parcelas según el gradiente altitudinal, tal como lo sugieren los resultados anteriores. Es en el eje primero donde subyace dicho gradiente: En el extremo positivo del mismo se sitúan las series más altas (15b y 14a), mientras que en el extremo negativo se sitúan las series más bajas (21b).

Es posible dibujar las envolventes de los distintos tipos de comunidades vegetales definidos en el Epígrafe anterior. Se constata una ordenación latitudinal coincidente con los resultados anteriores. De todo ello se extraen las siguientes consecuencias:

— El eje primero refleja la estructura de pisos bioclimáticos de la clasificación fitosociológica de la región (Rivas Martínez, 1987).

— La serie *Junipereto thuriferae-Querceto rotundifoliae sigmetum* es la que se homologa mejor con las comunidades vegetales definidas, siendo identificable en parcelas muestrales del grupo V25.

— Las series *Sabino-Pineto sylvestris sigmetum* y *Junipereto hemisphaerico thuriferae sigmetum* tienen más similitud con las comunidades del tipo V22 y, en general, con todos los tipos V21 a V23. Por el otro extremo, las series *Viburno tini-Querceto ilicis sigmetum* y *Violo willkommii-Querceto fagineae* tienen más similitud con las comunidades de los tipos V24 a V26, siendo la primera la más homologable a V26. Queda, por lo tanto, claramente explicada biogeográficamente la división primera del análisis Twinspan: Siendo fundamentalmente comunidades del piso supramediterráneo, se escinden en el primer nivel las comunidades de parcelas con tendencias mesomediterráneas de las de tendencias oromediterráneas.

— En esta región no se aprecia una diferenciación en base a degradación ecológica, aspecto que sí era destacable en la Región Pirenaica.

3.2. Ecología del *Pinus nigra*

Para analizar la autoecología de esta especie en esta región se han realizado los mismos estudios de carácter multifactorial descritos en el Epígrafe 2.2.

3.2.1. Análisis múltiple integrado de las tipificaciones bióticas y abióticas:

Se ha aplicado el método Decorana de acuerdo con el marco metodológico ya descrito (Epígrafe 2.2.1.). Las 27 parcelas muestreadas quedaron caracterizadas por las siguientes variables discretas: Tipo de comunidad vegetal (Twinspan), grupo y subgrupo de suelo (Sánchez Palomares et al., 1990), subregión climática, índice de Vernet, índice hídrico, índice de continentalidad, clase de altitud, orientación, clase de pendiente (Elena Rosselló et al., 1985).

Los cuatro ejes factoriales principales obtenidos alcanzan unos autovalores de 0,46, 0,29, 0,21 y 0,17, respectivamente, recogiendo entre los cuatro más del 85% del total de la varianza existente en el conjunto de las 27 parcelas.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

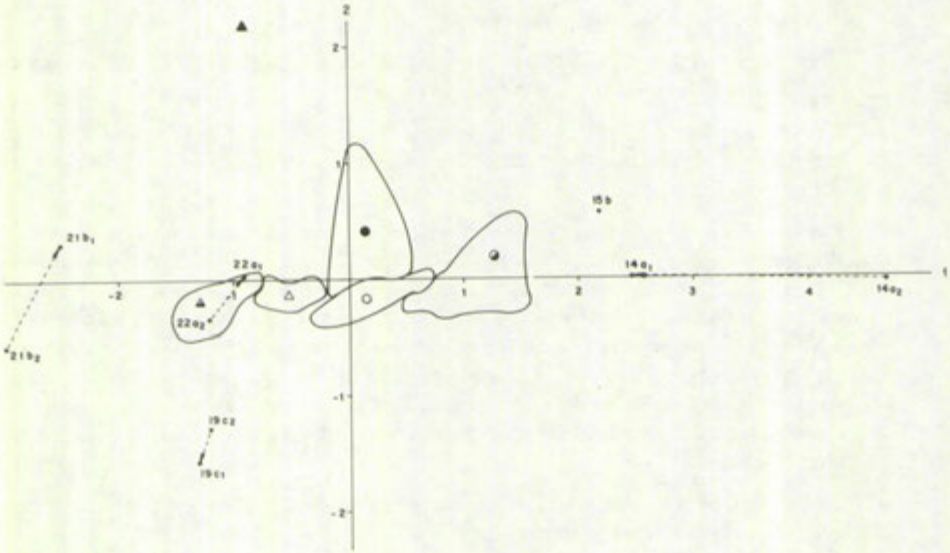


Figura 10.—Resultado del contraste fitosociológico de los tipos de comunidad vegetal definidos para los pinares del Sistema Ibérico Oriental y Sierras Costeras Mediterráneas con los sintaxones sigmatistas. El contraste se ha realizado mediante el análisis Decorana obteniéndose los ejes principales cuyos planos aparecen en la Figura. Plano de los ejes Decorana 1 y 2 que absorbe el 56,02% de la varianza total y en el que se han dibujado las envolventes de los distintos tipos definidos y la situación de los inventarios teóricos correspondientes a las distintas etapas de las series de vegetación definidas para las Comarcas donde se encuentran las masas autóctonas de pino laricio. (Los tipos de comunidades vegetales están identificados por los símbolos definidos en la Figura 8, y los Inventarios teóricos por los identificadores del texto.)

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

En las Figuras 11 se presentan 4 diagramas de dispersión de proyecciones de las distintas variables utilizadas sobre planos definidos por los ejes 1, 2 y 4.

Observando los ejes obtenidos se destaca la coincidencia del eje 1 con el gradiente altitudinal inverso, ya observado cuando se analizaron las biocenósis. En efecto, los valores altos del eje corresponden a parcelas bajas y valores bajos corresponden a parcelas altas. Asimismo, se ha detectado una coincidencia del eje 4 con un gradiente de calidad de estación. Estas dos circunstancias han permitido establecer en los planos definidos por alguno de estos dos ejes unos campos de altitud y de calidad de la estación que de forma simplificada ayudan a extraer conclusiones generales sobre la autoecología de *Pinus nigra* en esta región (Figura 11).

— Existe una cierta asociación entre tipos de comunidades de vegetación y calidad de estación. Los tipos de comunidades de los extremos del gradiente florístico subyacente detectado en el análisis Twinspan (tipos V21 y V26) corresponden a estaciones de peor calidad. Por el contrario, los tipos situados en el centro del gradiente (tipos V22, V23 y V24) corresponden a las mejores calidades de la región. De acuerdo con la homologación fitosociológica (Epígrafe 3.1.2.2.), los pisos oromediterráneo y mesomediterráneo son los de peor calidad y las estaciones más genuinamente supramediterráneas son las de mejor calidad.

— Se observa la asociación ya descrita entre el gradiente florístico y el gradiente latitudinal. Sólo el tipo de comunidad V21, situado en altitudes intermedias, altera el gradiente.

— No se aprecia una asociación entre la evolución edáfica y la calidad de la estación o la altitud. Sólo se puede detectar una cierta tendencia de algún grupo: los suelos argilúvicos calizos aparecen en estaciones de mejor calidad.

— Las orientaciones de solana y poniente aparecen asociadas con las peores calidades de estación, mientras que las de levante y umbrías se asocian con calidades medias. En cuanto a las pendientes, las medias (10 a 20%) son las que presentan tendencia a mejores calidades.

— Las estaciones de la subregión climática de las sierras costeras mediterráneas tienen peor calidad que las estaciones de la subregión ibérica oriental, que tienen las mejores calidades. Cabe recordar que el régimen hídrico y la continentalidad eran las características diferenciadoras entre estas dos subregiones: la tendencia a mejor calidad se presenta, por lo tanto, en las estaciones más continentales, húmedas y de régimen hídrico estival pseudo-oceánico.

— El eje 1 es un eje de altitud y el eje 4 es de calidad. Se pueden establecer, a partir de dichos ejes, ensayos de campos de calidad y de altitud en el espacio definido por estos ejes con el eje 2, en los que se pueden establecer diagnósis para los distintos tipos edáficos, climáticos y fisiográficos.

3.2.2. Análisis multivariable de las variables bióticas y de las variables de los factores ecológicos:

De acuerdo con el marco metodológico descrito en el Epígrafe 2.2.2. se ha aplicado el análisis Canoco a las 27 parcelas muestreadas caracterizadas por la presencia de 161 especies y por una serie de variables independientes y continuas de carácter ambiental seleccionadas a la vista de los resultados anteriores por su probada influencia sobre la composición florística de los pinares. Estas variables son: Altitud (ALT), calidad de la estación (CD1), insolación (INS), índice hídrico (HID), pedregosidad superficial (PDG), materia orgánica (MOR), % de arcilla (ARC) y % de tierra fina (TF).

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

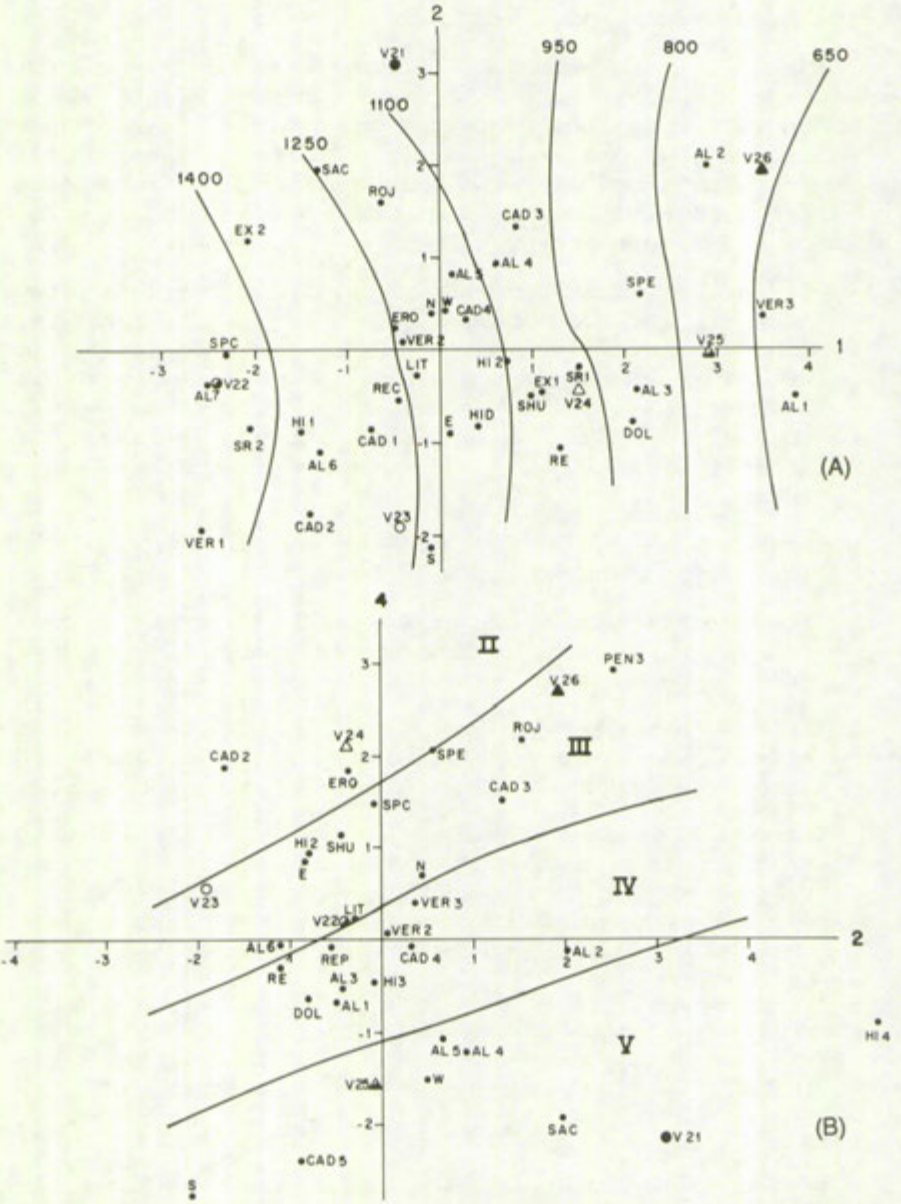


Figura 11 (A y B).—Análisis conjunto de las tipificaciones ecológicas monofactoriales de los pinares de *Pinus nigra* del Sistema Ibérico Oriental y Sierras Costeras Mediterráneas. El análisis Decorana de las tipificaciones climáticas, fisiográficas, edáficas y florísticas permite detectar ejes factoriales cuya representación gráfica en forma de planos y las proyecciones de los distintos tipos ecológicos sobre ellos se presentan en esta Figura. A) Plano definido por los ejes 1 y 2 en el que se ha definido un campo de altitudes. B) Plano definido por los ejes 2 y 4 en el que se ha definido un campo de calidad de la estación. (*Tipos edáficos*: Grupos = REC, RE, SAC, SFC, SPE y SA; subgrupos = LIT, SHU, ERO, ROJ, HID y DOL. *Tipos climáticos:* Subregiones = SRG1, SRG2 y SRG3; continentalidad = EXT1, EXT2; ind. hídrico = HI1, HI2 y HI3; índice Vernet = VER1, VER2 y VER3. *Tipos fisiográficos:* Pendiente = TV y PEN1 hasta PEN6; altitud = ALT1 a ALT7; orientaciones = N, S, E y W. *Clases de Calidad:* CAD1 hasta CAD5. *Tipos de Vegetación* = V21 a V26.)

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

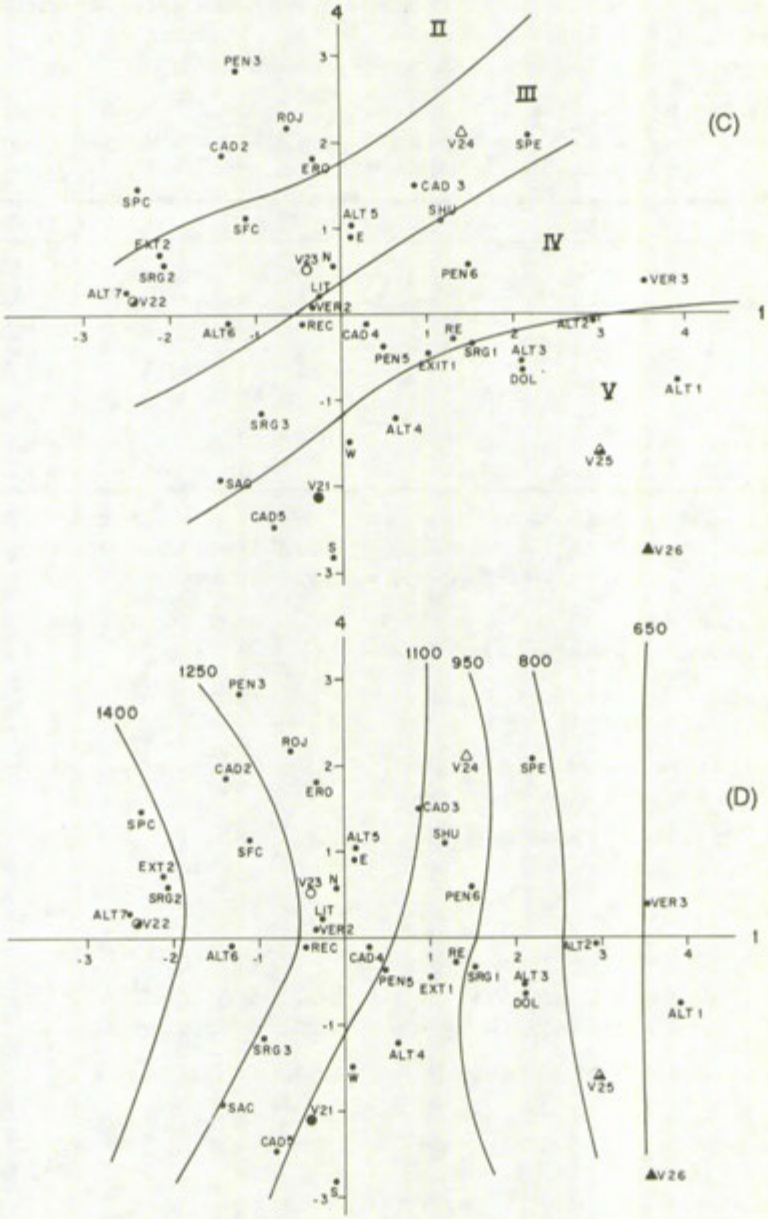


Figura 11 (C y D).—Tipificaciones ecológicas monofactoriales de los pinares del Sistema Ibérico Oriental y Sierras Costeras Mediterráneas. C) Plano definido por los ejes 1 y 4 en el que se ha definido un campo de calidad de la estación. D) El mismo plano del diagrama C en que se ha definido un campo de altitudes. (*Tipos edáficos*: Grupos = REC, RE, SAC, SFC, SPE y SA; subgrupos = LIT, SHU, ERO, ROJ, HID y DOL. *Tipos climáticos:* Subregiones = SRG1, SRG2 y SRG3; continentalidad = EXT1, EXT2; ind. hídrico = HI1, HI2 y HI3; índice Vernet = VER1, VER2 y VER3. *Tipos fisiográficos:* Pendiente = TV y PEN1 hasta PEN6; altitud = ALT1 a ALT7; orientaciones = N, S, E y W. *Clases de Calidad:* CAD1 hasta CAD5. *Tipos de Vegetación* = V21 a V26.)

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

Los resultados del análisis se presentan en las Figuras 12 y 13. Los tres ejes canónicos principales obtenidos absorben el 51,7% del total de la varianza. Mediante ellos se han elaborado los diagramas de dispersión que, de una forma sintética, permiten describir las relaciones entre las especies vegetales y los factores ecológicos físicos que actúan en las estaciones muestreadas.

En esta ocasión sirve lo dicho en el Epígrafe 2.2.2. acerca de la significación de los ejes canónicos. Por lo que se refiere al poder de significación de las variables ambientales en el espacio definido por los tres ejes canónicos principales, la tabla correspondiente es la siguiente:

	AX1	σ X1	AX2	σX2	AX3	σX3	LV
ALT	–485	28,0	47	13,0	–41	10,7	136,0
CD1	49	28,0	12	13,0	237	10,7	28,9
INS	–51	28,0	42	13,0	–326	10,7	38,1
HID	–279	28,0	282	13,0	–23	10,7	86,3
PDG	106	28,0	106	13,0	171	10,7	37,5
MOR	–4	28,0	3	13,0	155	10,7	16,6
ARC	–253	28,0	62	13,0	–3	10,7	71,3
TF	–10	28,0	41	13,0	–150	10,7	17,1

De acuerdo con la tabla, la variable que más influye en la configuración de las comunidades vegetales es la altitud. Índice hídrico, % de arcilla e insolación siguen en orden decreciente. Este resultado en conforme con los obtenidos en los Epígrafes anteriores.

Del análisis de los diagramas de las Figuras 12 y 13 se extraen las siguientes interpretaciones de la significación de los ejes canónicos (Figuras 12A y 13A):

— En el eje 1 las variables que más explican la variación son ALT, HID y ARC (altitud, índice hídrico y % arcilla), las tres en sentido inverso al del eje.

— En el eje 2 son las variables HID y PDG (índice hídrico y pedregosidad) las más explicativas, ambas en el mismo sentido que el eje.

— En el eje 3 las variables más explicativas son CD1 e INS (calidad de la estación e insolación), la primera en el mismo sentido y la segunda en sentido inverso al eje.

Por lo que se refiere a las relaciones de las variables independientes ambientales entre sí:

— Altitud y % de arcilla son factores alta y positivamente correlacionados.

— Insolación y calidad son factores muy correlacionados negativamente. Se reproduce el resultado obtenido en la región primera: a más insolación menos calidad.

— Calidad y altitud son factores muy poco correlacionados.

Dibujando envolventes de los tipos de comunidades vegetales (diagramas 12A, 12B, 13A, y 13B) en los planos 1-2 y 1-3 se observa que el eje 1 reproduce los resultados anteriores: es un eje que refleja el gradiente florístico Twinspan (Epígrafe 3.2.1.) que, como se ve, es fundamentalmente altitudinal. Por el contrario, la tipificación de comunidades acompañantes no tiene ninguna correlación con la calidad de la estación. Como se observa en el diagrama 13A, las proyecciones ortogonales de las envolventes sobre el vector calidad se solapan totalmente.

Las proyecciones conjuntas de parcelas y especies (diagramas 12B y 13B) permiten observar la afinidad de las distintas especies respecto de los tipos de comunidad vegetal definidos. Se repite lo ya observado en la Tabla final del análisis Twinspan (Epígrafe 3.1.2.1.).

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

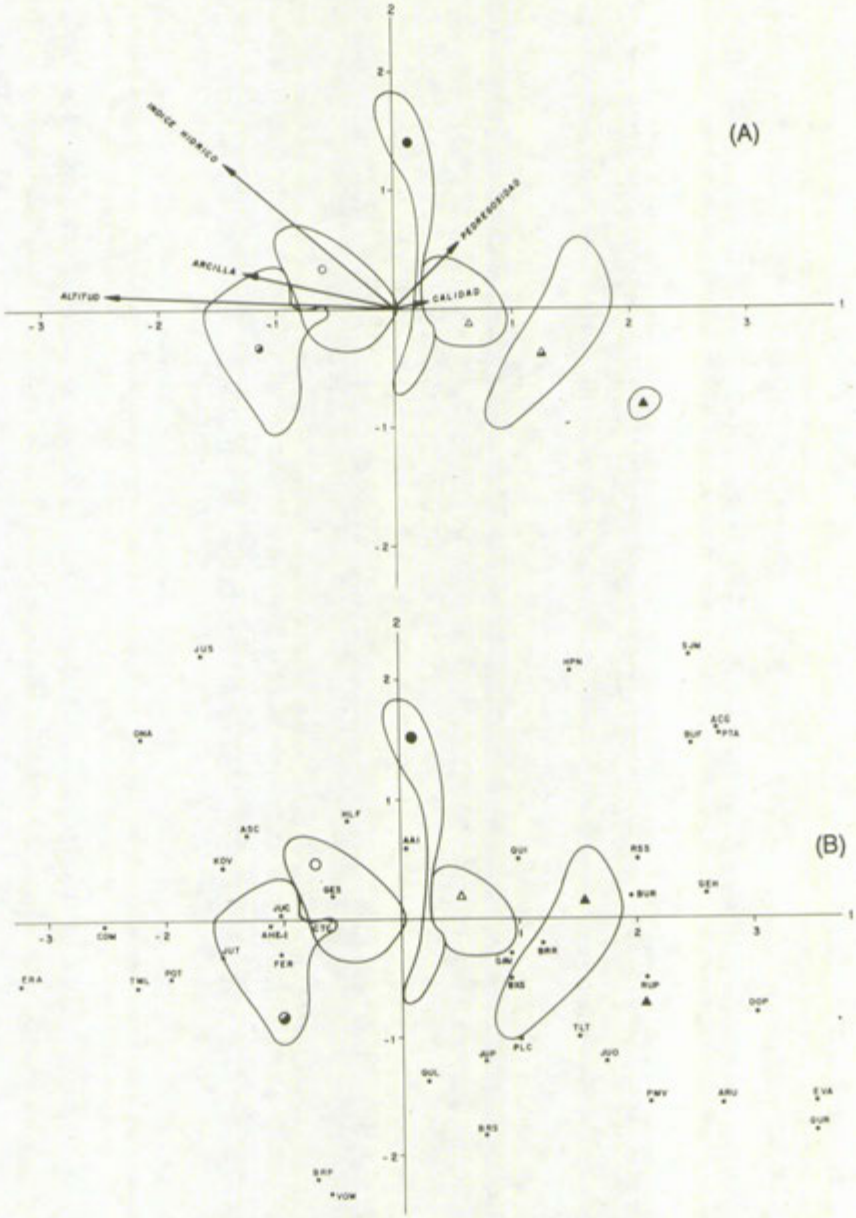


Figura 12 (A y B).—Resultados del análisis multivariable conjunto de las variables bióticas y de las variables ecológicas realizado mediante el análisis Canoco para los pinares del Sistema Ibérico Oriental y Sierras Costeras Mediterráneas. A partir de los tres ejes factoriales obtenidos se han representado los planos de los diagramas siguientes, sobre los que se han proyectado conjuntamente parcelas estudiadas, especies vegetales inventariadas y variables ecológicas medidas. La información absorbida por los ejes principales es el 51,7% del total. A) Diagrama de dispersión de las proyecciones de las parcelas caracterizadas por el tipo de vegetación y de las variables ecológicas sobre el Plano 1-2. B) Diagrama conjunto de dispersión de las proyecciones de las especies y de las parcelas muestreadas sobre el Plano 1-2. (Las especies vienen identificadas por los Códigos del Cuadro 2 del Apéndice; los tipos de comunidades vegetales están identificadas por los símbolos definidos en la Figura 8.)

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

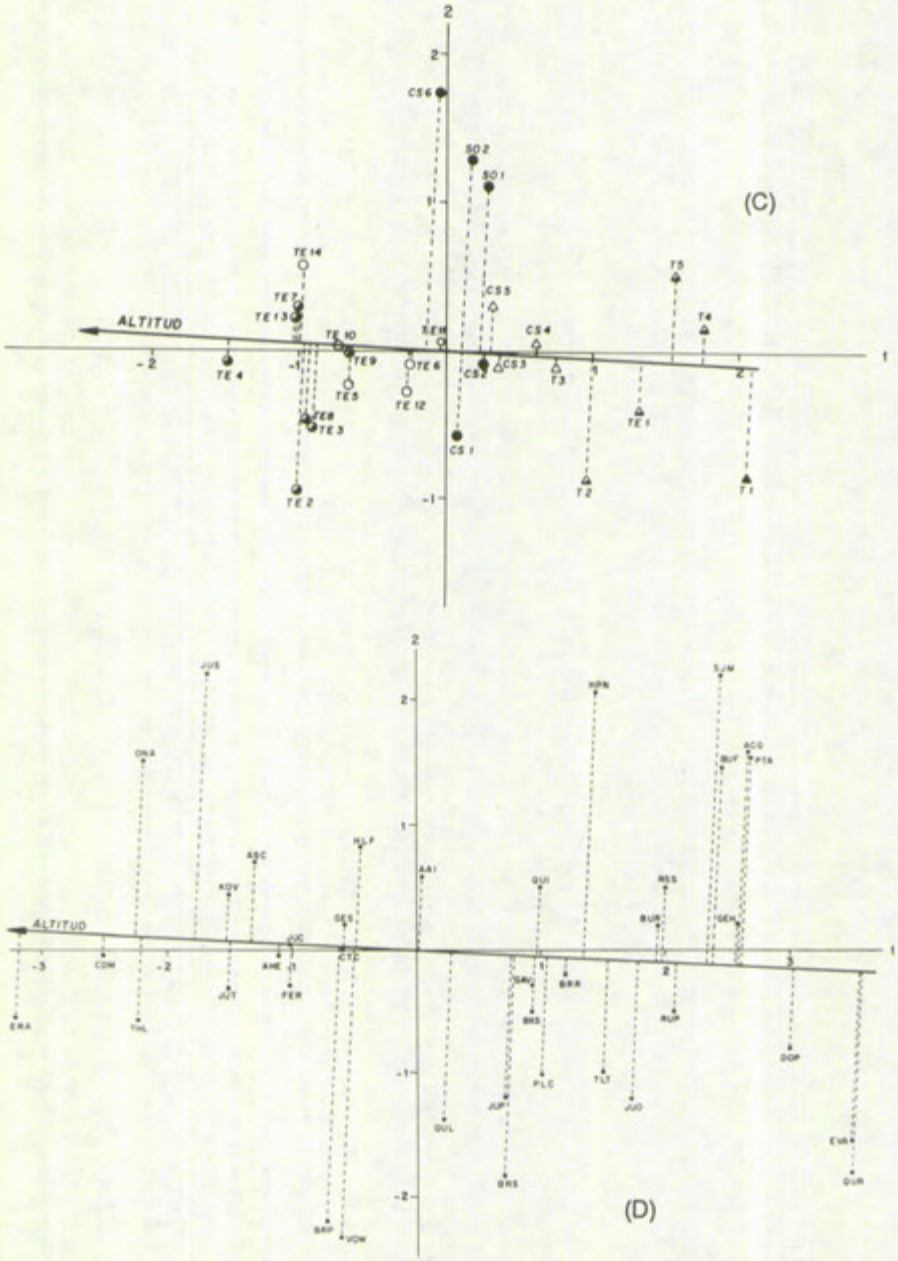
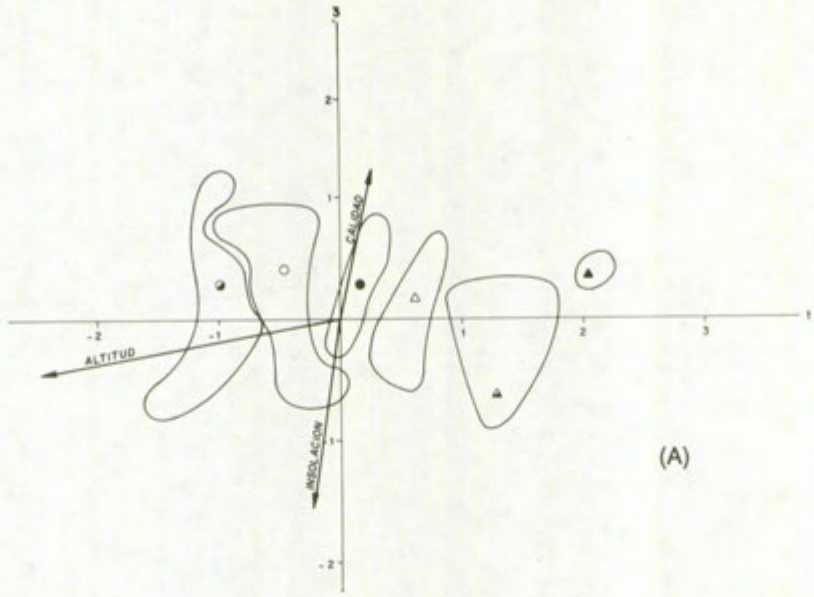


Figura 12 (C y D).—Resultados del análisis Canoco para las variables bióticas y ecológicas de los pinares del Sistema Ibérico Oriental y Sierras Costeras Mediterráneas. C) Diagrama de dispersión en el que se presentan las proyecciones de las parcelas muestreadas y su ordenación respecto de la altitud en el Plano 1-2. D) Diagrama de dispersión de las proyecciones de especies y su ordenación respecto de la altitud sobre el Plano 1-2. (Las especies vienen identificadas por los Códigos del Cuadro 2 del Apéndice; los tipos de comunidades vegetales están identificadas por los símbolos definidos en la Figura 8.)

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados



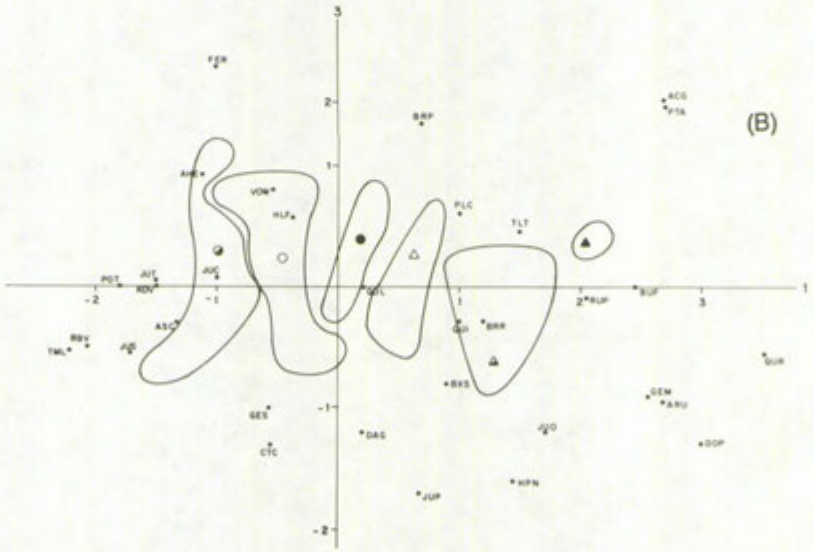
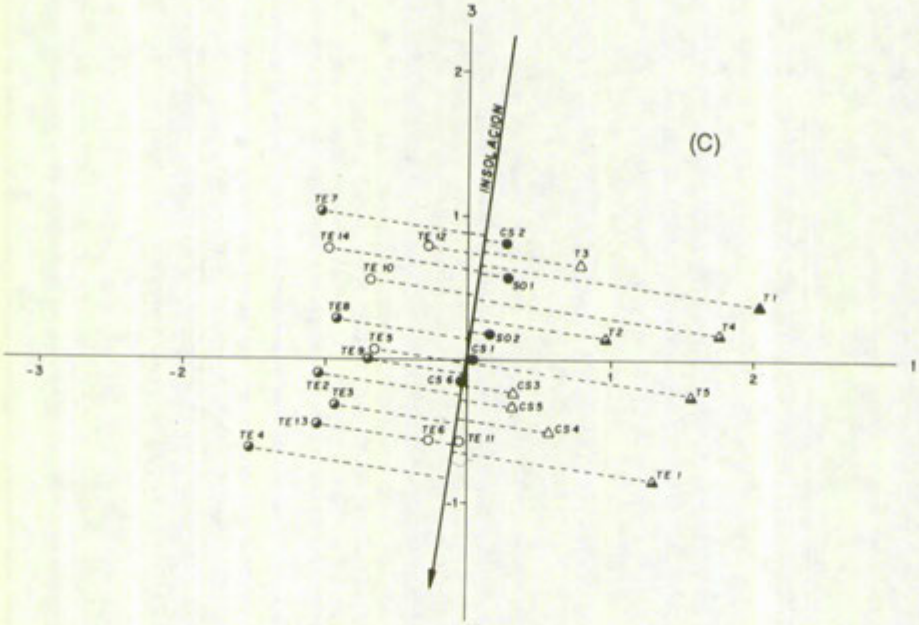


Figura 13 (A y B).—Resultados del análisis multivariable conjunto de las variables bióticas y de las variables ecológicas realizado mediante el análisis Canoco para los pinares del Sistema Ibérico Oriental y las Sierras Costeras Mediterráneas (Continuación de Figura 12). A) Diagrama de dispersión conjunta de las proyecciones de las parcelas agrupadas por envolventes de los tipos de comunidades vegetales y las variables ecológicas sobre el Plano 1-3. B) Diagrama de dispersión conjunta de las proyecciones de las parcelas muestreadas agrupadas según tipos de vegetación y de las especies sobre el Plano 1-3. (Las especies vienen identificadas por los Códigos del Cuadro 2 del Apéndice; los tipos de comunidades vegetales están identificadas por los símbolos definidos en la Figura 8.)

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es



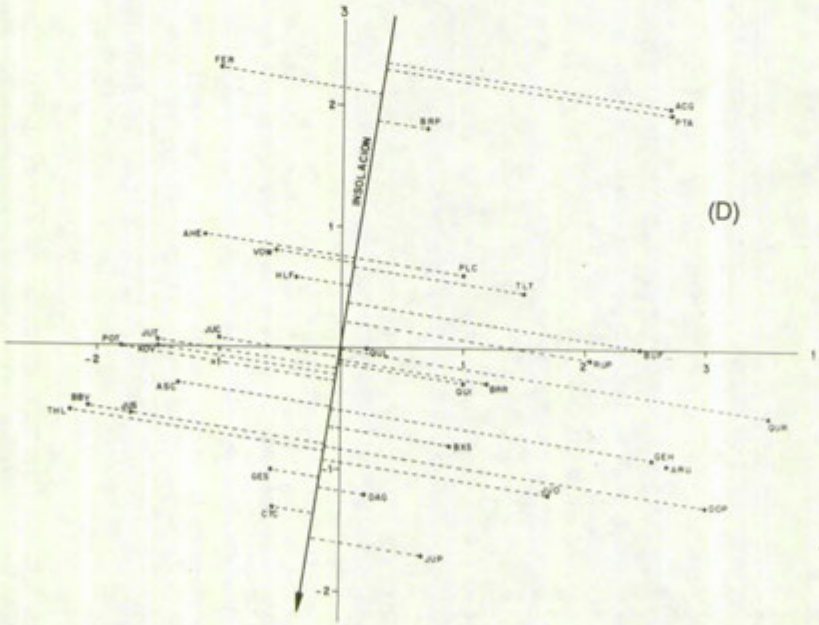


Figura 13 (C y D).—Continuación de Figura 12. C) Diagrama de dispersión de las proyecciones de las parcelas muestreadas y su ordenación según la insolación sobre el Plano 1-3. D) Diagrama de dispersión de las proyecciones de las especies y su ordenación según la insolación sobre el Plano 1-3. (Las especies vienen identificadas por los Códigos del Cuadro 2 del Apéndice; los tipos de comunidades vegetales están identificadas por los símbolos definidos en la Figura 8.)

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

Por último, las proyecciones conjuntas de parcelas y especies junto a los vectores ambientales permite la ordenación de aquéllos respecto de los gradientes ambientales más importantes (diagramas 12C, 12D, 13C y 13D). En respecto del gradiente latitudinal y de la calidad de estación:

Más altitud:	*Erinacea anthyllis*	*ERA*
	Carduncellus monspelliensium	*CDM*
	Ononis aragonensis	*ONA*
	Thymus leptophyllus	*THL*
	Juniperus sabina	*JUS*
	Koeleria vallesiana	*KOV*
	Juniperus thurifera	*JUT*
	Arrhenatherum elatius	*AHE*
	Juniperus communis	*JUC*
	Festuca rubra	*FER*
	Brachypodium phoenicoides	*BRP*
	Genista scorpius	*GES*
	Catananche coerulea	*CTC*
	Helleborus foetidus	*HEF*
	Quercus faginea	*QUL*
	Juniperus phoenicea	*JUP*
	Brachypodium sylvaticum	*BRS*
	Galium vernum	*GAV*
	Buxus sempervirens	*BXS*
	Quercus ilex	*QUI*
	Polygala calcarea	*PLC*
	Hepatica nobilis	*HPN*
	Thalictrum tuberosum	*TLT*
	Juniperus oxicedrus	*JUO*
	Bupleurum rigidum	*BUR*
	Rubia peregrina	*RUP*
	Satureja montana	*SJM*
	Bupleurum fruticescens	*BUF*
	Genista hispanica	*GEH*
	Dorycnium pentaphyllum	*DOP*
	Eurphorbia amygdaloides	*EVA*
Menos altitud	*Quercus cerrioides*	*QUR*

Mejor calidad y Menor insolación	*Acer opalus*	*ACG*
	Pteridium aquilinum	*PTA*
	Festuca rubra	*FER*
	Brachypodium phoenicoides	*BRP*
	Polygala calcarea	*PLC*
	Arrhenatherum elatius	*AHE*
	Viola willkommii	*VOW*
	Thalictrum tuberosum	*TLT*
	Helleborus foetidus	*HLF*
	Bupleurum fruticescens	*BUF*
	Rubia peregrina	*RUP*

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

	Quercus faginea	*QUL*
	Juniperus communis	*JUC*
	Juniperus thurifera	*JUT*
	Quercus ilex	*QUI*
	Koeleria vallesiana	*KOV*
	Genista hispanica	*GEH*
	Arctostaphyllos uva-ursi	*ARU*
	Buxus sempervirens	*BXS*
	Berberis hispanica	*BBV*
	Juniperus sabina	*JUS*
	Dorycnium pentaphyllum	*DOP*
	Thymus leptophyllus	*THL*
	Juniperus oxycedrus	*JUO*
	Genista scorpius	*GES*
Mayor insolación y	*Catananche coerulea*	*CTC*
Peor calidad	*Juniperus phoenicea*	*JUP*

Como resumen de todo este análisis multivariable se puede concluir lo siguiente:

- La tipificación de las comunidades vegetales acompañantes del *Pinus nigra* en esta Región tiene una causalidad altitudinal preponderante. Los tipos V21 a V23 se presentan en los pisos oromediterráneo y partes altas del mesomediterráneo presentando las siguientes especies diferenciales: *Juniperus communis, Koeleria vallesiana, Pinus sylvestris, Potentilla tabernaemontani* y *Thymus leptophyllus*. En general se sitúan en el Sistema Ibérico y tienen mayor continentalidad y humedad que los otros tipos de comunidades.

  — El tipo V21 agrupa a las parcelas relícticas de Soria con algunas situadas en las Sierras Costeras Mediterráneas. Se puede considerar el tipo más heterogéneo, en el que se unen parcelas de transición, entre otros tipos definidos, junto con otras claramente diferentes de los otros tipos. Es muy seguro que en una profundización de la clasificación se hubieran separado ambos grupos. Altitud media = 1.086. Calidad media = 10,2.

  — El tipo V22 es el que se sitúa en los pisos más altos: Oromediterráneo y supramediterráneo, todas las parcelas están situadas en el Sistema Ibérico turolense, con el consiguiente mayor índice hídrico y mayor continentalidad. Los suelos son los menos pedregosos y los más arcillosos. Altitud media = 1.445. Calidad media = 9,7.

  — El tipo V23 se sitúa en una altitud intermedia entre el anterior y los tipos V24 a V26. Geográficamente se sitúan en él las partes altas del piso supramediterráneo de las zonas más orientales del Sistema Ibérico turolense, en las proximidades de la otra subregión climática. Edáficamente presenta una situación intermedia. Altitud media = 1.273. Calidad media = 11,0.

- Los tipos V24 a V26 en conjunto se sitúan en las partes más bajas del piso supramediterráneo y en el mesomediterráneo de las sierras costeras de Tarragona y Castellón. El clima es más seco y menos continental. Las especies diferenciales respecto de los otros tipos son: *Rubia peregrina, Thalictrum tuberosum* y *Genista hispanica.*

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

— El tipo V24 se sitúa claramente en el piso supramediterráneo de las sierras costeras, que tiene su mayor presencia en el Maestrazgo. Altitudinalmente se encuentra en la transición hacia los tipos V21 a V23. Edáficamente las estaciones son pedregosas y con bajo % de arcillas. Altitud media = 995. Calidad media = 12,0.

— El tipo V25 se sitúa en el piso supramediterráneo siendo coincidente con la serie *Junipereto thuriferae-Querceto rotundifoliae sigmetum*. Geográficamente aparece en el sector más nororiental de las Sierras Costeras situado en Tarragona e incluyendo localizaciones turolenses en los puertos de Beceite. La continentalidad climática está muy amortiguada. Edáficamente se refuerzan las características descritas en el tipo V24. Altitud media = 775. Calidad media = 10,5

— El tipo V26 está representado por una sola parcela situada en el extremo nororiental de la subregión de Sierras Costeras, en Tarragona. Constituye, igualmente, un extremo respecto de las características climáticas y edáficas de estas comunidades. Altitud media = 700. Calidad media = 8,7.

En el siguiente cuadro quedan resumidas las características ambientales de los tipos de comunidades vegetales definidos:

	Altitud	Calidad	Ind.hid.	Mat.Org.	Pedreg.	%arcilla	Insol.
V21	= Est	= Amp	+ Amp	= Amp	= Amp	= Amp	= Amp
V22	+++ Amp	= Amp	+ Amp	= Amp	- - Amp	+++ Amp	= Amp
V23	+ Amp	= Amp	+ Amp	= Amp	- Amp	+ Amp	= Amp
V24	- Amp	= Amp	- Amp	= Amp	+ Est	- Amp	= Amp
V25	- - Amp	= Amp	- - Amp	= Amp	+ + Amp	- - Est	= Amp
V26	---	=	---	=	+ +	---	-

Est = Estenoico; Amp = Eurioico, +++ Muy Alta, ++ Alta, + Poco Alta, = Media, - Poco Baja, - - Baja, - - - Muy Baja.

Se ha analizado, por último, la correlación entre la clasificación de suelos y la calidad de la estación. Para ello se han calculado los valores medios de la calidad de estaciones con el mismo grupo de suelos y se ha realizado la comparación entre ellas. Las calidades calculadas se reflejan en el siguiente cuadro:

Grupo de suelos	Calidad media	Desv.típ.	N.estac.
Rendzinas empardecidas carbonatadas	12,19	2,63	11
Rendzinas empardecidas	10,13	2,51	8
Suelos argilúvicos calizos	13,03	1,27	5
Suelos ferriargilúvicos calizos	11,10	—	1
Suelos pardo eutróficos	7,00	—	1
Suelos argilúvicos	11,35	—	1

Ninguna diferencia entre las medias de los distintos grupos son significativas (P>0,1). No parece que el grado de evolución edáfica sea un factor determinante en la calidad de los pinares de laricio de esta región. Se han calculado, asi mismo, las calidades medias de los distintos subgrupos de suelos:

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

Subgrupo de suelos	Calidad media	Desv.típ.	N.estac.
Líticos	10,52	2,77	23
Subhúmicos	11,10	1,81	3
Erosionados	10,37	1,92	6
Rojizos	10,59	2,36	6
Hidromórficos	7,95	1,15	2
Dolomíticos	10,50	2,06	7

La comparación de medias tampoco es significativa (P>0,1).

3.2.3. Ecuación multifactorial de pronóstico de la calidad de la estación.

De acuerdo con el marco metodológico descrito en el Epígrafe 2.2.3. se han realizado los análisis de correlación de las 27 variables respecto de CD1 (Site Index 50), cuyos resultados aparecen en el Cuadro 7 del Apéndice. En él se resalta el bajo nivel de correlación alcanzado, apareciendo sólo la pedregosidad y la insolación algo correlacionadas con la calidad. Esto corrobora los resultados del Epígrafe anterior.

La ecuación de pronóstico obtenida es la siguiente:

1. Ecuación de regresión:

$$CD1 = 2{,}03 \sqrt{PDG} - 1{,}87\,[CCC\text{-}2] - 0{,}13\,[CAC\text{-}20] - 1{,}71\,INS^2 + 13{,}25$$

Error medio de estimación = 1,96

Coeficiente de determinación múltiple = 0,760

2. Tabla del análisis de varianza:

	S.C.	g.l.	C.M.	F
Regresión	116,65	4	29,16	7,53**
Desv. de la regresión	85,14	22	3,87	
TOTAL	201,79	26		

Esta es la ecuación de mejor predictividad. Con ella sólo una parcela [TE08] tiene un residuo superior a dos veces la desviación típica, y otras seis [CS03, CS05, TE10, TE11, TE12, SO02] tienen un residuo superior a la desviación típica.

3.3. Conclusiones regionales

Del conjunto de datos recogidos y analizados de las parcelas situadas en la región se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Las comunidades vegetales presentes en esta región no son homogéneas, no existiendo ninguna especie constante en las parcelas estudiadas, excepto *Pinus nigra*. Desde este punto de vista se presenta un gradiente caracterizado por la presencia en sus extremos de las siguientes especies:

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

A)	*Asperula cynanchica*	*ASC*	*Carduncellus monspeliensium*	*CDM*
	Juniperus communis	*JUC*	*Juniperus sabina*	*JUS*
	Koeleria vallesiana	*KOV*	*Pinus sylvestris*	*PIS*
	Centaurea tenuifolia	*CET*	*Potentilla tabernaemontani*	*POT*
	Vicia pyrenaica	*VCP*	*Helianthemun origanifolium*	*HTO*
	Teucrium aragonensis	*TEA*	*Brachypodium phoenicoides*	*BRP*
	Thymus leptophyllus	*THL*		
B)	*Acer opalus*	*ACG*	*Bupleurum fruticescens*	*BUF*
	Dorycnium hirsutum	*DOH*	*Dorycnium pentaphyllum*	*DOP*
	Genista hispanica	*GEH*	*Juniperus oxycedrus*	*JUO*
	Hedera helix	*HEH*	*Rubia peregrina*	*RUP*
	Lonicera xylosteum	*LOX*	*Euphorbia esula*	*EUE*
	Ononis fruticosa	*ONF*	*Phyllirea media*	*PHM*
	Thalictrum tuberosum	*TLT*		

Los primeros tipos (V21 a V23) se homologan con series de los pisos oromediterráneo y partes altas del piso supramediterráneo: Serie oromediterránea maestracense basófila de la sabina rastrera (*Sabino-Pineto sylvestris sigmetum*) y serie supramediterránea maestracense y celtíbero-alcarreña de la sabina albar (*Junipereto hemisphaerico-thuriferae sigmetum*).

Las comunidades de los segundos tipos (V24 a V26) se homologan con series claramente supramediterráneas e incluso mesomediterráneas: Serie supramediterránea castellano-maestrazgo-manchega basófila de la encina (*Junipereto thuriferae-Querceto rotundifoliae sigmetum*), serie supramediterránea tarraconense, maestrazgo-aragonense del quejigo (*Violo willkommii-Querceto fagineae sigmetum*) y serie mesomediterránea catalana de la encina (*Viburno tini-Querceto ilicis sigmetum*).

En consecuencia se aprecia que, a diferencia de lo que sucedía en la región de la Orla Pirenaica, la composición florística de los pinares de esta región está marcada por factores fisiográfico-climáticos de escala comarcal más que por factores estacionales.

Respecto de la calidad de la estación no existe correlación con la composición florística, estando aquélla condicionada fundamentalmente por la insolación y las características edáficas de las estaciones, que condicionan fuertemente las disponibilidades hídricas de los pinos. No obstante lo anterior, el grado de evolución edáfica no parece tener una influencia significativa en la calidad. Hay factores fisiográficos decisivos y otras variables edáficas más influyentes.

La ecuación de pronóstico de la calidad utiliza las variables INS, ya citada, CCC, CAC y PDG, todas estas edáficas de carácter físico. Todo ello refuerza las limitaciones hídricas para el crecimiento de esta especie en esta región.

4. EL PINO LARICIO, EN LAS SERRANIAS CONQUENSES Y LA ALTA ALCARRIA

Las masas de *Pinus nigra* que existen en la provincia de Cuenca y Guadalajara, junto con las de Teruel situadas al oeste del río Turia-Guadalaviar, quedaron incluidas en la región fisiográfico-

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

climática tercera en el estudio precedente (Elena Rosselló et al., 1985). Asimismo, quedaron incluidas en esta región aquellas masas relícticas del Sistema Central en Avila.

En esta región se muestrearon 38 parcelas de masas con estrato arbóreo de *Pinus nigra*. El diseño del muestreo, la localización geográfica de las parcelas, así como su caracterización florística y edáfica han sido descritos en los estudios previos (Elena Rosselló et al., 1985; Pascual Terrats, 1987; Sánchez Palomares et al., 1990).

4.1. Caracterización de las Fitocenosis

4.1.1. Caracterización del estrato arbóreo: Análisis de la calidad de la estación:

Todas las masas de *Pinus nigra* de esta región son de la forma o raza *hispánica* (Ceballos, 1966), por lo que para evaluar la calidad de la estación de las parcelas muestreadas se han utilizado las curvas de calidad elaboradas para esa forma (Pita, 1965). Mediante ellas se han calculado CD1 (Site Index 50) y CD2 (Clase de Calidad). En el Cuadro 1 del Apéndice quedan reflejados los valores de CD1 y CD2 en las 38 parcelas muestreadas.

El *Site Index 50* se distribuye en la región con un valor medio de 11,98 metros, correspondiente a una clase de calidad III-H, con una desviación típica de 1,85.

4.1.2. Tipificación de las comunidades vegetales presentes:

Los inventarios florísticos recogidos en 37 parcelas muestreadas en los pinares de laricio han sido la base utilizada para lograr esta tipificación. No se ha incluido el inventario de la parcela AV01 debido a las evidentes diferencias corológicas con el resto de los inventarios, dada su localización geográfica y sustrato litológico. En estos inventarios aparecían 174 especies presentes al menos en tres parcelas. Las especies a lo largo del texto y en las figuras aparecen identificadas de acuerdo con el código del Cuadro 2 del Apéndice.

4.1.2.1. Análisis de especies indicadoras:

Siguiendo el marco metodológico del Epígrafe 2.1.2.1. utilizado en todas las regiones se ha aplicado el análisis Twinspan a los inventarios con las siguientes especificaciones:

— Tamaño mínimo de grupo susceptible de división = 6.

— Número máximo de especies indicadoras por división = 7.

— Número máximo de niveles de división = 3.

Con esas condiciones el resultado obtenido en la clasificación directa (clasificación de parcelas) aparece en forma de Dendrograma a la Figura 14. Asimismo, en la Figura 15 queda reflejada la clasificación con las especies características y diferenciales de los distintos grupos surgentes y para todos los niveles.

En el primer nivel de división, las 37 parcelas quedan escindidas en dos grupos de 17 y 20 parcelas. Las especies indicadoras son *Geum sylvaticum* del grupo positivo frente a *Thymus vulgaris* y *Argyrolobium zanonii* del grupo negativo.

La clasificación inversa (clasificación de especies) aparece de forma conjunta con la directa en el Cuadro 5 del Apéndice. De la observación conjunta de todos estos resultados parece deducirse la existencia de un gradiente florístico de carácter altitudinal xero-térmico. Los tipos V31 a V33 tienen como especies diferenciales a *Galium sp., Geum sp., Crataegus monogyna, Lathyrus filiformis, Prunus*

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

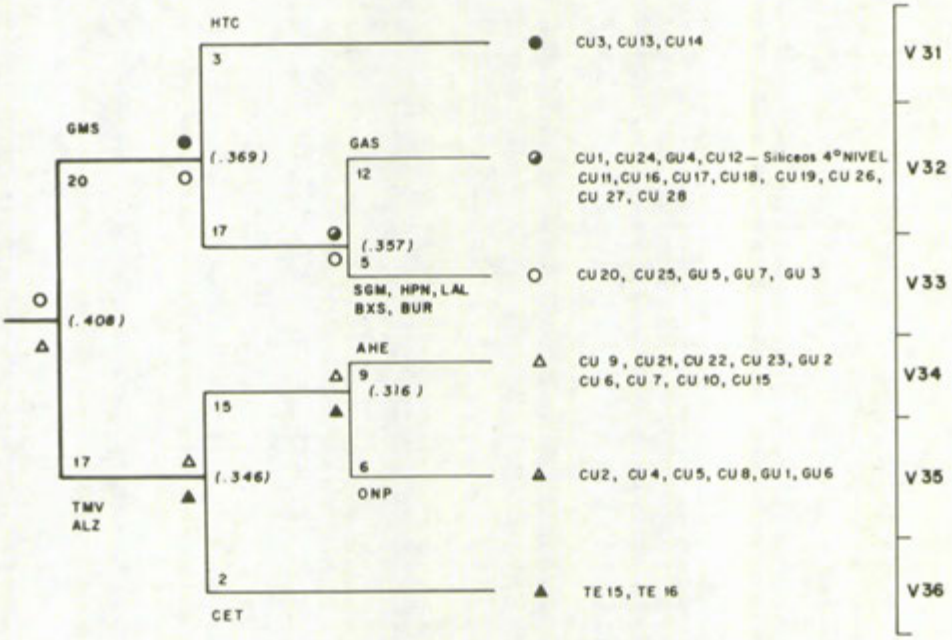


Figura 14.—Dendrograma que resume la tipificación de comunidades vegetales de los pinares de laricio de las Serranías Conquenses y de la Alta Alcarria. La tipificación se ha obtenido mediante el análisis Twinspan, definiéndose seis tipos (V31 a V36). En cada nudo se refleja: 1) Símbolos de los grupos que surgen; 2) autovalor del eje factorial principal que ha servido para hacer la división; 3) número de parcelas incluidas en cada grupo que surge, y 4) especies indicadoras de cada uno de los grupos. En la parte derecha del dendrograma aparecen, junto a los tipos finalmente definidos, las parcelas incluidas en cada uno de ellos. Las especies aparecen identificadas por los códigos de la tabla 2 del Apéndice.

spinosa y *Hieracium murorum*, frente a los tipos V34 a V35 que tienen como especies diferenciales a *Argyrolobium zanonii, Carex halleriana, Juniperus oxycedrus, Aphyllantes monspelliensis, Thymus vulgaris* y *Lavandula latifolia*. Estas especies refuerzan la primera impresión acerca del gradiente ecológico existente en el conjunto de la región.

Si se observa la ordenación de especies del Cuadro 5 del Apéndice y la Figura 15 se deduce que sólo es constante en los pinares de laricio la presencia de *Quercus faginea*. Asimismo, existen muchas otras especies de distribución indiferente respecto de la clasificación y gradiente detectado, entre las que se encuentran *Juniperus communis, Euphorbia nicaensis, Arrhenatherum elatius, Brachypodium phoenicoides, Bupleurum rigidum, Thapsia villosa, Quercus ilex, Juniperus thurifera* y *Hieracium pilosella*.

4.1.2.2. Homologación fitosociológica:

De acuerdo con la metodología descrita en el Epígrafe 2.1.2.2. se han identificado las series de vegetación potencial de las comarcas de esta región, en las que existen masas de pino laricio. Para

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

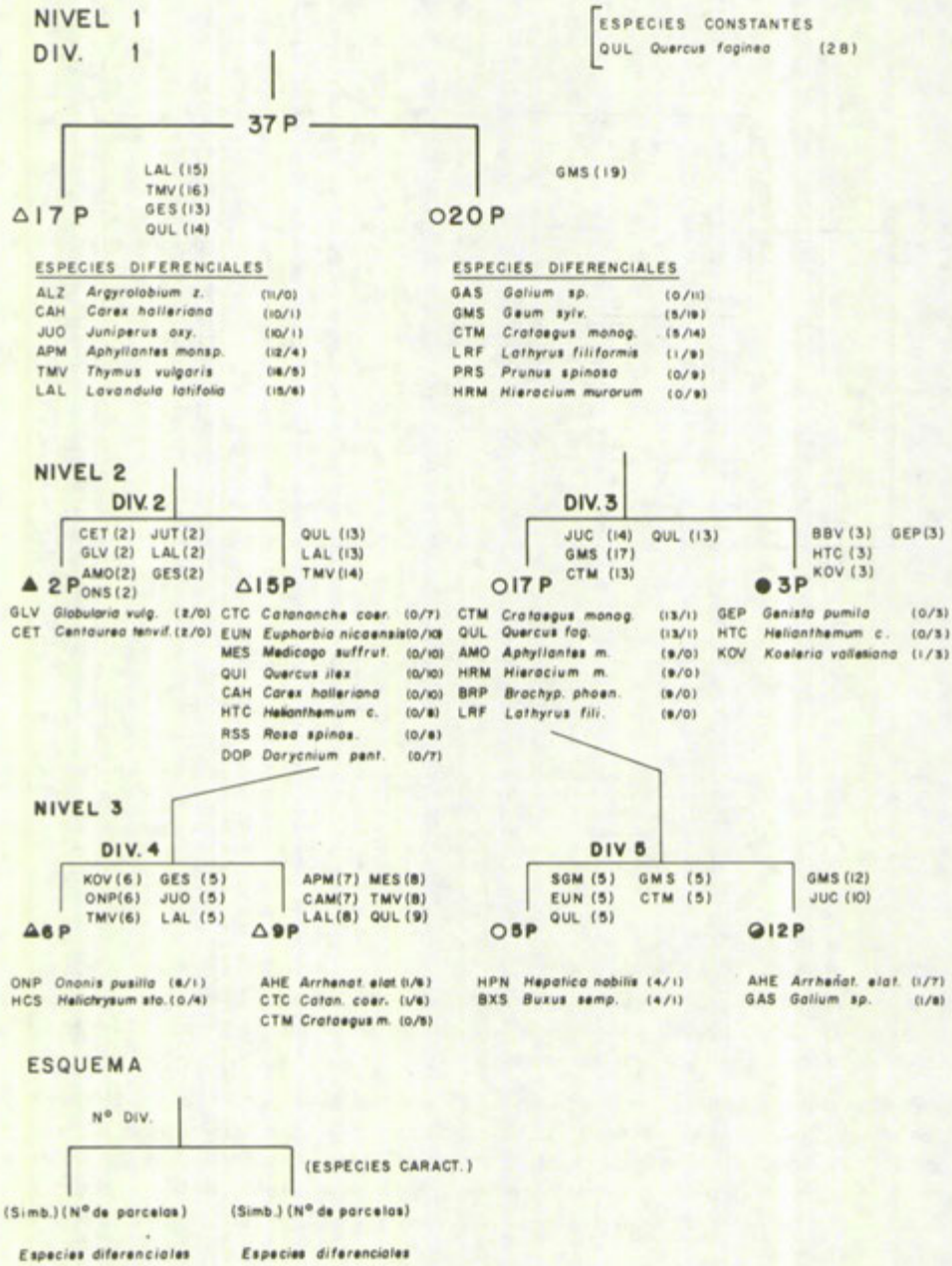


Figura 15.—Esquema de la tipificación de las comunidades vegetales de los pinares de *Pinus nigra* de las Serranías Conquenses y la Alta Alcarria, en el que se reflejan las especies constantes de cada grupo en los distintos niveles y las especies diferenciales respecto de los restantes grupos surgidos del mismo nudo. En cada nudo se reflejan también los símbolos de cada grupo, tal como se definen en la Figura 14, el número de parcelas incluidas en ellos, así como las frecuencias de cada especie en los grupos que surgen del nudo y su poder diferenciador.

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

cada serie se han elaborado los correspondientes inventarios teóricos a partir de los bioindicadores de las distintas etapas climácicas y de sustitución. Según Rivas Martínez (1987), las series de vegetación potencial son las siguientes:

Región mediterránea

Piso supramediterráneo

1. Serie maestracence y celtibérico-alcarreña de la sabina albar: *Junipereto hemisphaerico-thuriferae sigmetum* (15b).
2. Serie castellano-alcarreño-manchego basófila del quejigo: *Cephalantero longifoliae Querceto fagineae sigmetum* (19b).
3. Serie castellano-maestrazgo-manchega basófila de la encina: *Junipereto thuriferae-Querceto rotundifoliae sigmetum* (22a)

Piso mesomediterráneo

4. Serie manchega y aragonesa basófila de la encina: *Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae sigmetum* (22b).

Han sido elaborados los siguientes inventarios para cada serie de vegetación:

Piso supramediterráneo	Serie 1 15b	JUT, JUC, ROS, BBV, FER 15b.1	ROS, GEP, SVL, AVG 15b.2
	Serie 2 19b	QUL, CEF, CLR, ROS,VIL 19b.1	ROS,VIL,ARU, SVL,BRP 19b.2
	Serie 3 22a	QUI,JUT,JUC RHI,ROS,CRM 22a.1	ROS,CRM,GEP GLV,DAG,KOV 22a.2
Piso mesomediterráneo	Serie 4 22b	QUI,BUR,TLT, TEC,QUC. 22b.1	QUC,GES,LAL TEP,BRR,HTN 22b.2

Los 37 inventarios de las parcelas junto con los 8 inventarios teóricos han sido analizados con el Decorana y obteniéndose el resultado que aparece reflejado en los diagramas de las Figuras 16.

Los autovalores de los tres primeros ejes factoriales son 0,46, 0,33 y 0,27, que absorben el 78,4% de la varianza total. Si se proyectan las parcelas y los testigos sobre los planos definidos por los ejes 1 y 2, y por los ejes 1 y 3 se pueden interpretar dichos ejes y hacer la homologación de los tipos de comunidades definidos en el Epígrafe anterior respecto de los taxones fitosociológicos sigmatistas. Para ello se han trazado las envolventes de los tipos de comunidades.

El eje 1 parece ser tener implícito un gradiente inverso de evolución ecológica. De acuerdo con él, las comunidades de los tipos V31 a V33 pertenecen en general a etapas más evolucionadas que las comunidades de los tipos V34 a V36. Los inventarios teóricos más homologables son 19b.2, 22a.1, 22a.2 y 22b.1. El primero, etapa de sustitución de la serie basófila del quejigo se homologa a los tipos V31 y V32. Los segundos pertenecientes a la serie basófila de la encina lo hacen al tipo V34.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

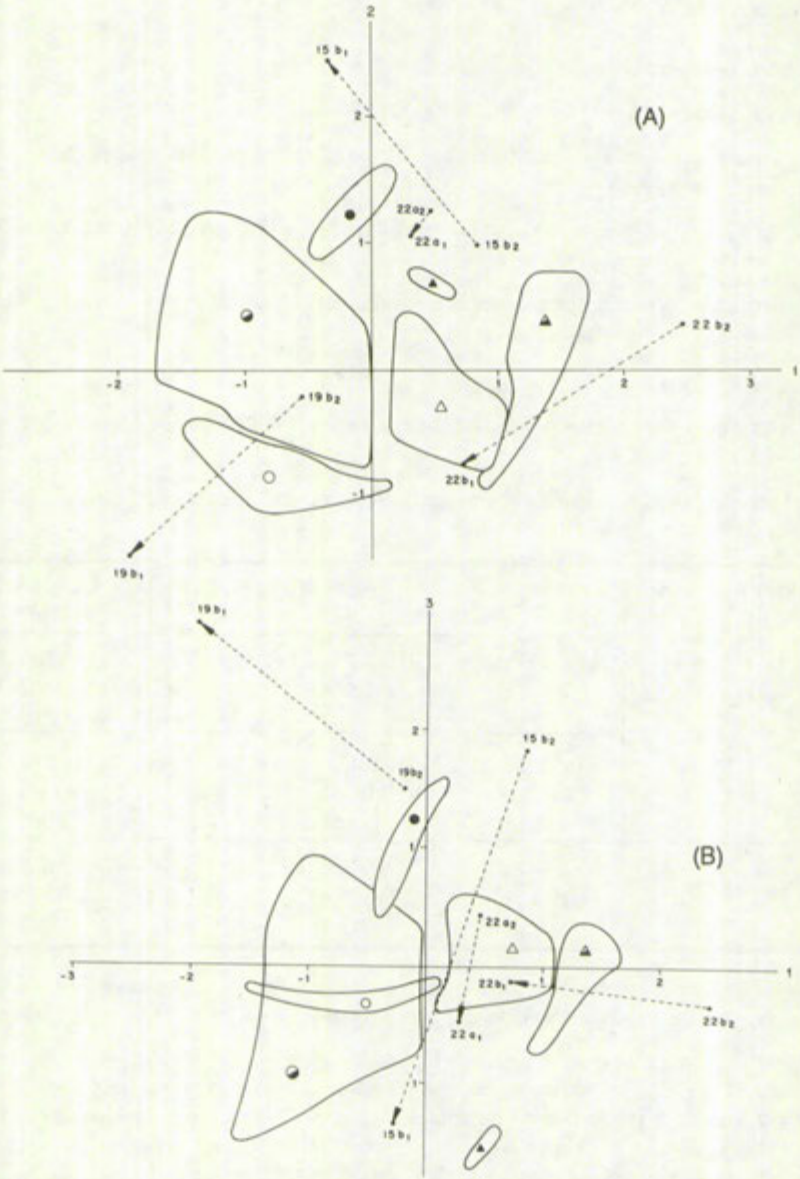


Figura 16.—Resultado del contraste fitosociológico de los tipos de comunidad vegetal definidos para los pinares de las Serranías Conquenses y la Alta Alcarria con los sintaxones sigmatistas. El contraste se ha realizado mediante el análisis Decorana, obteniéndose los ejes principales cuyos planos aparecen en la Figura. A) Plano de los ejes Decorana 1 y 2 que absorbe el 59,40% de la varianza total, y en el que se han dibujado las envolventes de los distintos tipos definidos y la situación de los inventarios teóricos correspondientes a las distintas etapas de las series de vegetación definidas para las comarcas donde se encuentran las masas autóctonas de pino laricio. B) Diagrama similar al anterior realizado con el Plano definido por los ejes Decorana 1 y 3, que absorbe el 53,50% de la varianza total. (Los tipos de comunidades vegetales están identificados por los símbolos definidos en la Figura 14, y los inventarios teóricos por los identificadores del texto.)

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

La etapa de sustitución de la 22b, también serie basófila de la encina, lo hace con V34 y V35. El eje 1 refleja también la ordenación ecológica implícita en la clasificación Twinspan. Los tipos V31 a V33 tienen valores negativos y los tipos V34 a V36 tienen valores positivos.

De todas las observaciones se pueden extraer resumidamente las siguientes conclusiones:

— La mayor variabilidad florística existente entre los pinares de *Pino laricio* se interpreta en términos de evolución ecológica, tal como sucedía en la región de la Orla Pirenaica.

— La serie *Junipereto thuriferae-Querceto rotundifoliae sigmetum* es la que se homologa con todas las comunidades vegetales V34 y V35.

— La serie *Cephalantero longifoliae-Querceto fagineae sigmetum,* y sobre todo en sus etapas de matorral, se homologa con las comunidades vegetales de tipo V31, V32 y V33.

— La serie *Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae sigmetum,* sobre todo en sus etapas climácicas, se homologa con las comunidades vegetales de tipo V34 y V35.

— Las Comunidades del tipo V36 son las que se homologan mejor con la serie *Junipereto hemisphaerico-thuriferae sigmetum.*

4.2. Ecología del *Pinus nigra*

Siguiendo el planteamiento metodológico descrito en el Epígrafe 2.2. se ha abordado el análisis autoecológico multivariable del *Pinus nigra* en la región segunda.

4.2.1. Análisis múltiple integrado de las tipificaciones bióticas y abióticas:

Las 38 parcelas muestreadas en la región quedaron caracterizadas por las siguientes variables discretas que reflejaban distintas tipificaciones realizadas en este trabajo y en los previos: Tipo de comunidad vegetal (tipo Twinspan V31 a V36), grupo y subgrupo de suelo (Sánchez Palomares et al., 1990), subregión climática, índice de Vernet, índice hídrico, clase de altitud, orientación y clase de pendiente (Elena Rosselló et al., 1985).

Con el Decorana se han obtenido tres ejes factoriales principales que alcanzan unos autovalores de 0,45, 0,29 y 0,22, respectivamente, recogiendo entre los tres más del 75% del total del total de la varianza existente en las 38 parcelas. Mediante los tres ejes principales es posible definir dos planos de máxima variación en el espacio multidimensional estudiado y proyectar sobre ellos todas las variables utilizadas. En las Figuras 17 se presentan los planos correspondientes sobre los que se han definido los correspondientes campos de altitud y de calidad de la estación.

No se aprecia una alta correlación entre ninguno de los ejes factoriales principales y la calidad o la altitud, al contrario de lo que sucedía en las regiones de la Orla Pirenaica, del Sistema Ibérico Oriental y las Sierras Costeras Mediterráneas. No obstante, es posible establecer un campo de calidad en el plano 1-2, de modo que la calidad es mayor en el tercer cuadrante y decrece hacia el primer cuadrante (Diagrama 17-a). Para el plano 1-3, la calidad es mayor en el cuarto cuadrante y decrece hacia los dos primeros cuadrantes (Diagrama 17-c). Por lo que se refiere a la altitud los campos se definen de una forma mucho más irregular (Diagramas 17-b y 17-d).

— Se aprecia una cierta relación entre los tipos de comunidades vegetales y la calidad de la estación. Los tipos de los extremos del gradiente florístico presentan las calidades más altas (V31) y las calidades más bajas (V36), mientras que el resto de tipos tienen calidades intermedias.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

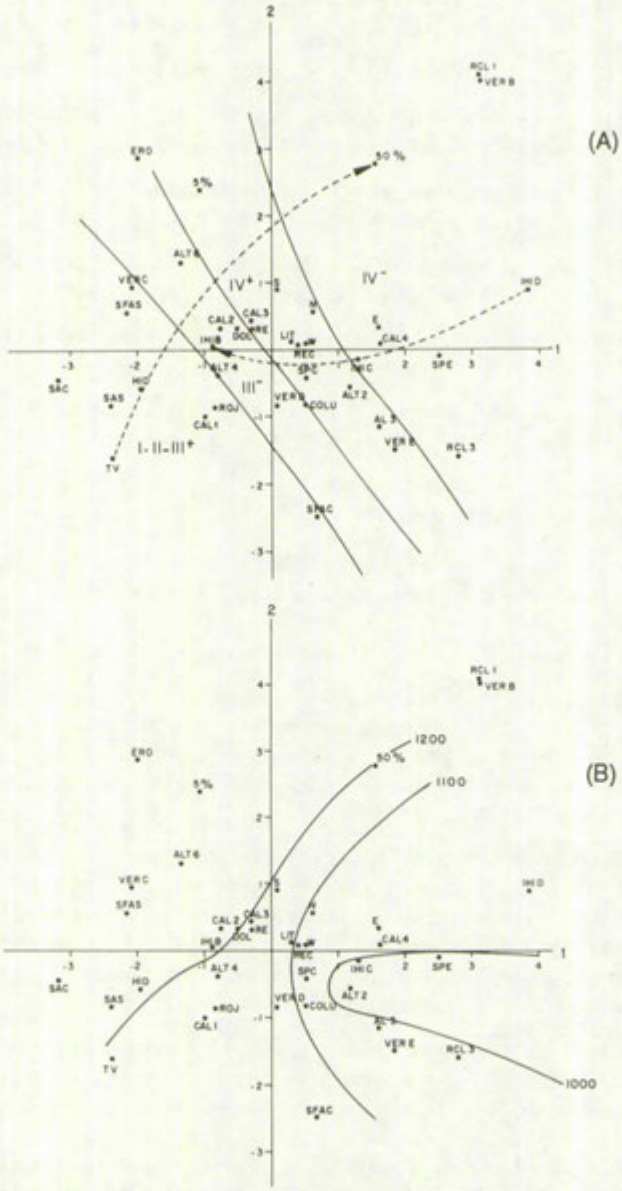


Figura 17 (A y B).—Análisis conjunto de las tipificaciones ecológicas monofactoriales de los pinares de *Pinus nigra* de las Serranías Conquenses y la Alta Alcarria. El análisis Decorana de las tipificaciones climáticas, fisiográficas, edáficas y florísticas permite detectar ejes factoriales cuya representación gráfica en forma de planos y las proyecciones de los distintos tipos ecológicos sobre ellos se presentan en esta Figura. A) Plano definido por los ejes 1 y 2, en el que se ha definido un campo de calidad de estación de pinar de laricio. B) Plano definido por los ejes 1 y 2, en el que se ha definido un campo de altitudes. (*Tipos edáficos:* Grupos = REC, RE, SPC, SAC, SFC, SPE, SAS y SFAS; subgrupos = LIT, SHU, ERO, ROJ, HID, COLU y DOL. *Tipos climáticos:* Subregiones = RCL1, RCL2 y RCL3; índ. hídrico = IHIB, IHIC y IHID; índice Vernet = VERB, VERC, VERD y VERD. *Tipos fisiográficos:* Pendiente = 0%, 5%, 30% y 50%; altitud = AL1 a AL6; orientaciones = TV, N, S, E y W. *Clases de Calidad:* CAL1 hasta CAL5. *Tipos de vegetación* = V31 a V36.).

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

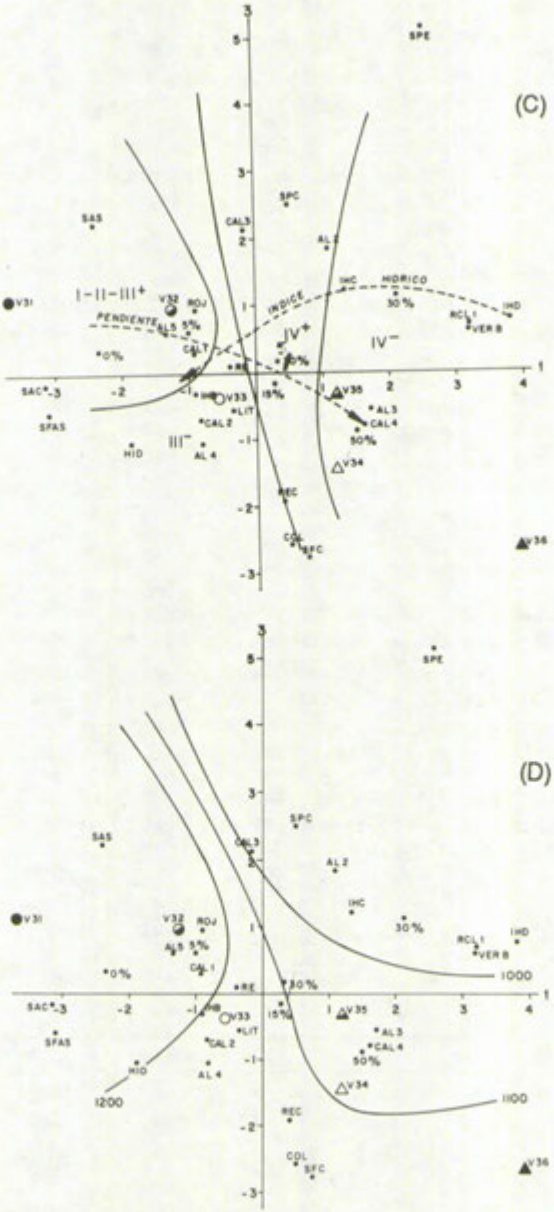


Figura 17 (C y D).—Análisis conjunto de las tipificaciones monofactoriales de los pinares de las Serranías Conquenses y Alta Alcarria. C) Plano definido por los ejes 1 y 3, en el que se ha definido un campo de calidad de la estación. D) El mismo plano del diagrama C en que se ha definido un campo de altitudes. (*Tipos edáficos:* Grupos = REC, RE, SPC, SAC, SFC, SPE, SAS y SFAS; subgrupos = LIT, SHU, ERO, ROJ, HID, COLU y DOL. *Tipos climáticos:* Subregiones = RCL1, RCL2 y RCL3; ind. hídrico = IHIB, IHIC y IHID; índice Vernet = VERB, VERC, VERD y VERD. *Tipos fisiográficos:* Pendiente = 0%, 5%, 30% y 50%; altitud = AL1 a AL6; orientaciones = TV, N, S, E y W. *Clases de Calidad:* CAL1 hasta CAL5. *Tipos de vegetación* = V31 a V36.)

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

— En los gradientes físicos que es posible delinear en los planos destacan la pendiente y el índice hídrico por su correlación con la calidad de estación. El primero en sentido contrario a la calidad: A más pendiente menos calidad. El segundo, en el mismo sentido: Mayor calidad a mayor índice hídrico.

— La altitud no se presenta como un factor importante en la determinación de la calidad de la estación, si bien sí lo es en la definición de las comunidades vegetales.

— Los pinares de la subregión climática oriental, localizada en las estribaciones turolenses de los Montes Universales y en la Sierra del Escornadero de Cuenca, que presentan menor continentalidad que el resto de los pinares, son también de menor calidad.

— Por lo que se refiere a los suelos parece que las parcelas con suelos más evolucionados (suelos ferriargilúvicos y argilúvicos, tanto calizos como silíceos) tienden a tener mejores calidades de estación. Los menos evolucionados (Rendzinas y Rendzinas empardecidas) están en parcelas de calidad peor. Por lo que se refiere a los subgrupos, los suelos rojizos tienden a dar buenas calidades.

— La ordenación que alcanzan los suelos respecto de la calidad coincide con la ordenación de los tipos de comunidades en el eje 1 del análisis de homologación fitosociológica (Figura 16). Dado que en aquel eje se refleja la evolución ecológica de las comunidades vegetales, se deduce una cierta correlación entre evolución edáfica, evolución ecológico-florística y calidad de la estación.

4.2.2. Análisis multivariable de las variables bióticas y de las variables de los factores ecológicos:

Para llevar a cabo este análisis se han utilizado las siguientes variables continuas relativas a factores ecológicos de acuerdo con los resultados que hasta aquí se habían obtenido: Altitud (ALT), calidad de la estación (CD1), insolación (INS), índice hídrico (HID), pedregosidad superficial (PDG), materia orgánica (MOR), % de arcilla (ARC), % de tierra fina (TF) y acidez superficial (PHS). Las variables bióticas son las presencias de las especies inventariadas en las parcelas muestreadas. Todas estas variables han sido analizadas en la forma descrita en el marco metodológico del Epígrafe 2.2.2.

De acuerdo con aquella metodología se ha aplicado el análisis Canoco mediante el cual se han obtenido los resultados que se presentan en las Figuras 18 y 19. Los tres ejes canónicos principales absorben el 50,4% del total de la varianza existente en la información florística. Hay que recordar que este análisis tiene una función descriptiva y que, por tanto, los gráficos no recogen la totalidad de la variabilidad existente. No obstante la variación absorbida, se ha obtenido una muy buena síntesis de la realidad florística y de los factores causantes de la misma.

El poder de significación de las variables ambientales en el espacio definido por los tres ejes canónicos principales viene resumido en la siguiente tabla:

	AX1	σX1	AX2	σX2	AX3	σX3	LV
ALT	419	23,3	73	16,2	–2	10,9	98
CD1	109	23,3	–95	16,2	–83	10,9	31
INS	14	23,3	–152	16,2	–36	10,9	25
HID	417	23,3	–70	16,2	–99	10,9	98
PDG	–117	23,3	–56	16,2	–82	10,9	30
MOR	90	23,3	51	16,2	69	10,9	23
ARC	176	23,3	18	16,2	–142	10,9	43
TF	85	23,3	195	16,2	–75	10,9	38
PHS	–221	23,3	191	16,2	–218	10,9	64

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

La altitud (ALT), el índice hídrico (HID) y la acidez edáfica superficial (PHS) son las variables que más influyen en la configuración de las comunidades vegetales presentes.

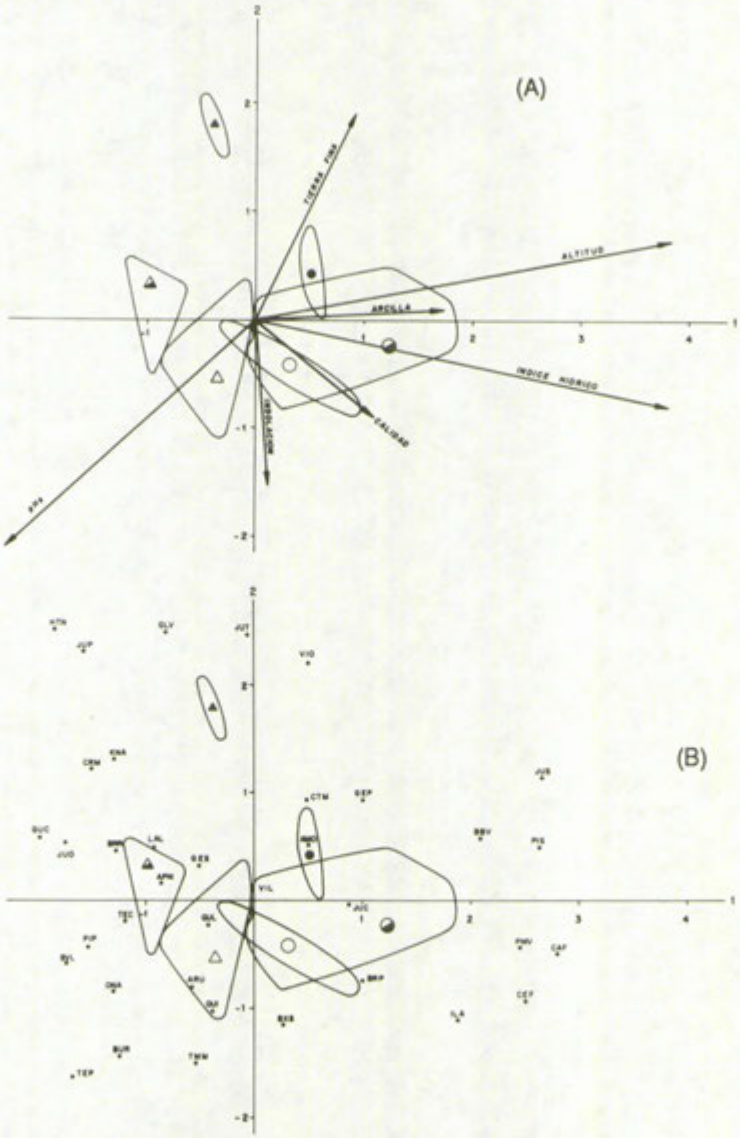


Figura 18 (A y B).—Resultados del análisis multivariable conjunto de las variables bióticas y de las variables ecológicas realizado mediante el análisis Canoco para los pinares de las Serranías Conquenses y de la Alta Alcarria. A partir de los tres ejes factoriales obtenidos se han representado los planos de los diagramas siguientes sobre los que se han proyectado conjuntamente parcelas estudiadas, especies vegetales inventariadas y variables ecológicas medidas. La información absorbida por los ejes principales es el 50,4% del total. A) Diagrama de dispersión de las proyecciones de las parcelas caracterizadas por el tipo de vegetación y de las variables ecológicas sobre el Plano 1-2. B) Diagrama conjunto de dispersión de las proyecciones de las especies y de las parcelas muestreadas sobre el Plano 1-2. (Las especies vienen identificadas por los Códigos del Cuadro 2 del Apéndice; los tipos de comunidades vegetales están identificadas por los símbolos definidos en la Figura 14.)

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

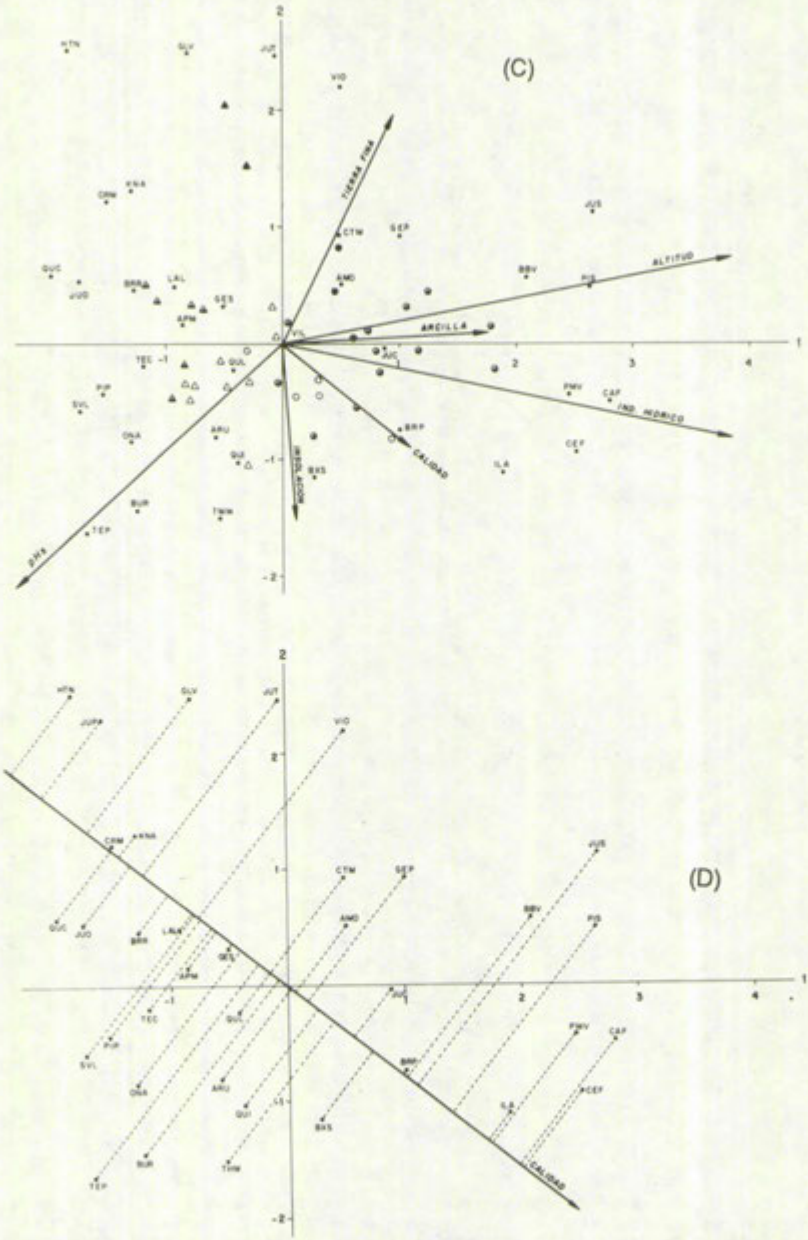


Figura 18 (C y D).—Resultado del análisis Canoco de variables bióticas y ecológicas de los pinares de las Serranías Conquenses y Alta Alcarria.C) Diagrama de dispersión conjunta de dispersión de las proyecciones de especies y variables ecológicas sobre el Plano 1-2. D) Diagrama de dispersión de las proyecciones de especies y su ordenación respecto de la calidad de la estación sobre el Plano 1-2. (Las especies vienen identificadas por los Códigos del Cuadro 2 del Apéndice; los tipos de comunidades vegetales están identificadas por los símbolos definidos en la Figura 14.)

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

Del análisis de los Diagramas de las Figuras 18 y 19 se extraen las siguientes interpretaciones acerca del significado de los ejes canónicos (Figuras 18A y 19A).

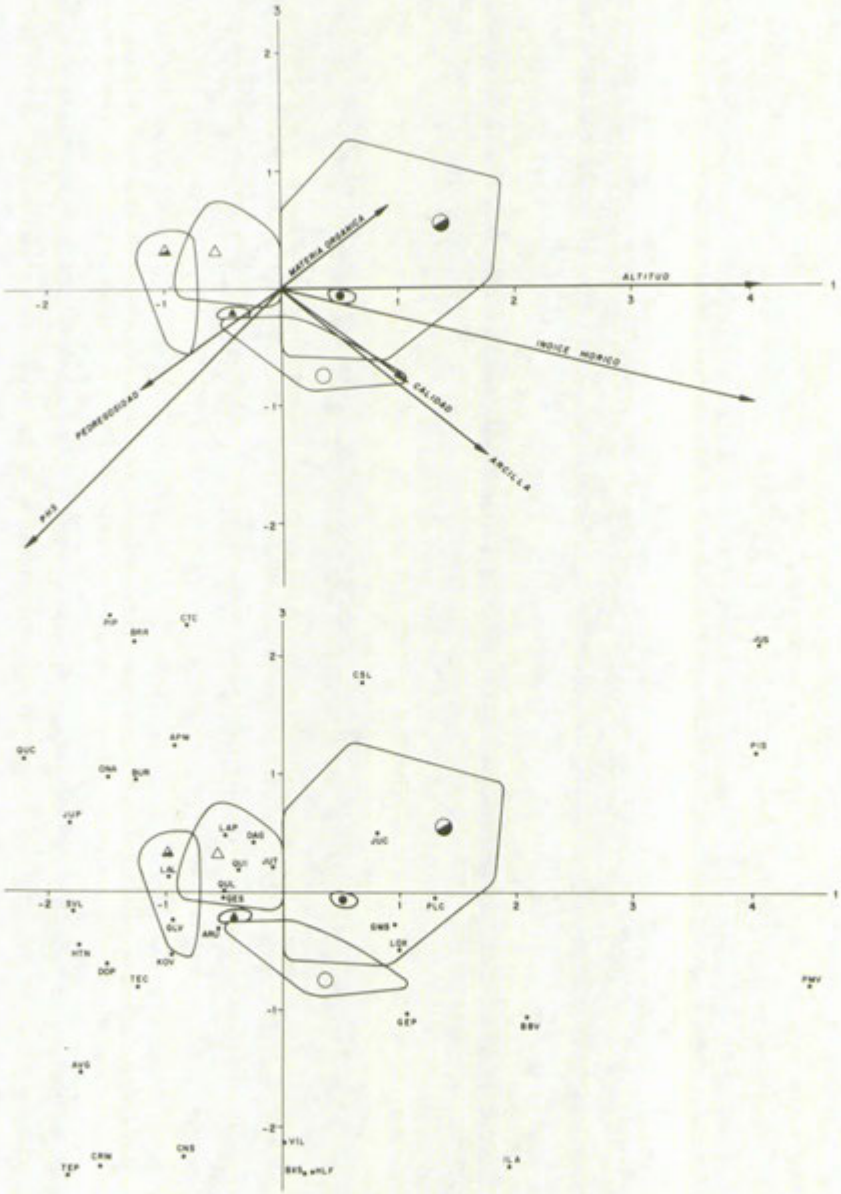


Figura 19 (A y B).—Resultados del análisis multivariable conjunto de las variables biótica y de las variables ecológicas realizado mediante el análisis Canoco para los pinares de las Serranías Conquenses y de la Alta Alcarria (continuación de Figura 18.) A) Diagrama de dispersión conjunta de las proyecciones de las parcelas agrupadas por envolventes de los tipos de comunidades vegetales y las variables ecológicas sobre el plano 1-3. B) Diagrama de dispersión de las proyecciones de las parcelas muestreadas y su ordenación según la insolación sobre el Plano 1-3. (Las especies vienen identificadas por los Códigos del Cuadro 2 del Apéndice; los tipos de comunidades vegetales están identificadas por los símbolos definidos en la Figura 14.)

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

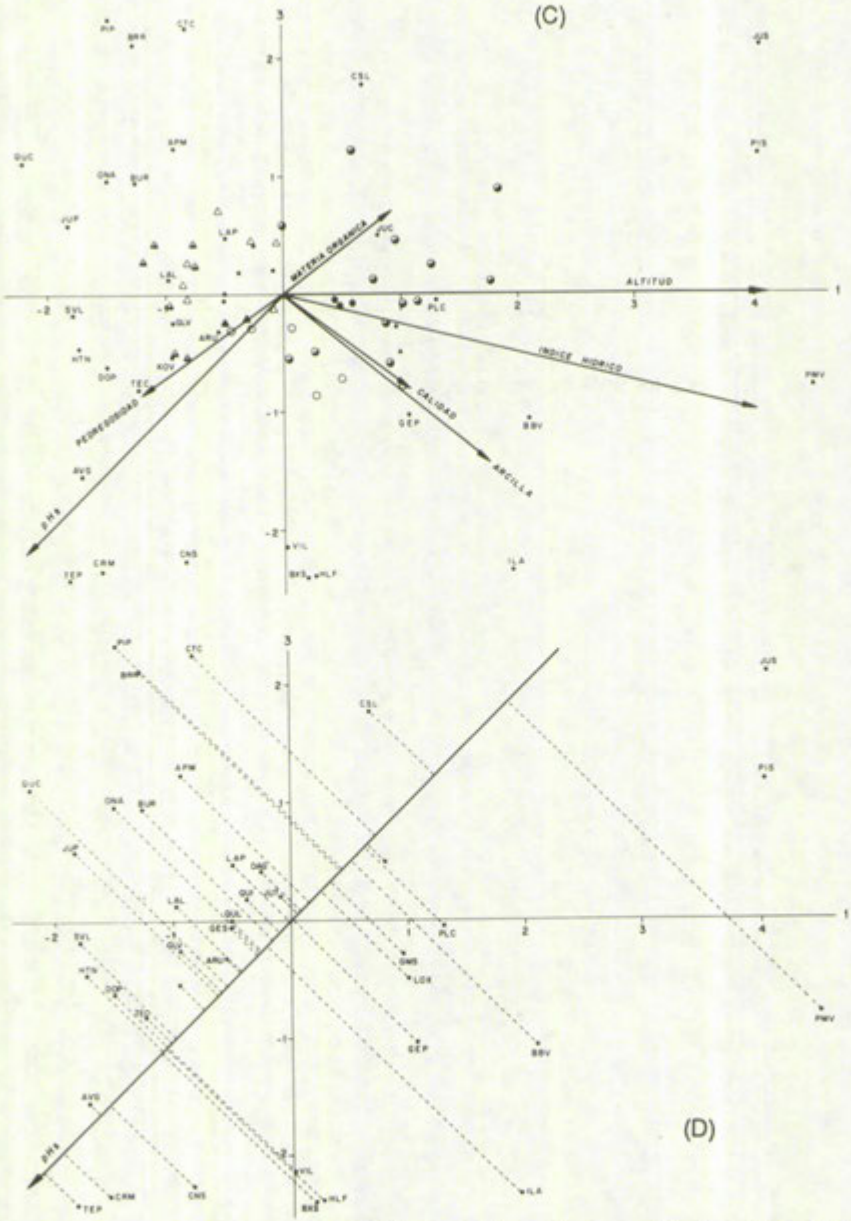


Figura 19 (C y D).—Análisis Canoco de las variables bióticas y ecológicas de los pinares de las Serranías Conquenses y la Alta Alcarria. C) Diagrama de dispersión conjunta de las proyecciones de las parcelas muestreadas identificadas según tipos de vegetación, de las especies y variables ecológicos sobre el Plano 1-3. D) Diagrama de dispersión de las proyecciones de las especies y su ordenación según la acidez del suelo sobre el Plano 1-3. (Las especies vienen identificadas por los Códigos del Cuadro 2 del Apéndice; los tipos de comunidades vegetales están identificadas por los símbolos definidos en la Figura 14.)

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

— El eje 1 es fundamentalmente un eje de altitud (ALT), con el que el régimen hídrico (HID) está altamente correlacionado. También el % de arcillas (ARC) y la acidez (PHS) tienen cierta correlación con el eje 1, pero de distinto signo.

— El eje 2 es un eje de acidez (PHS) y de tasa de tierra fina (TF), con distinto sentido.

— En el eje 3 las variables más explicativas son acidez superficial (PHS) y % de arcillas (ARC).

Las relaciones de las variables ambientales entre sí son las siguientes:

— La calidad no aparece claramente correlacionada con ninguna otra variable, ni siquiera con la insolación.

— Altitud e índice hídrico aparecen alta y positivamente correlacionados, así como la tasa de arcillas.

Las envolventes a los tipos de comunidades vegetales que se han dibujado en los Diagramas 18A, 18B, 19A y 19B, correspondientes a los planos 1-2 y 1-3, permiten observar que en el eje 1 se reproduce el gradiente florístico Twinspan (Epígrafe 4.2.1.), con la excepción de los tipos extremos V31 y V36 que se sitúan en posiciones más intermedias. Dada la correlación de ese primer eje con la altitud y el índice hídrico se deduce una cierta trascendencia de estos dos factores en la determinación de la composición florística de los pinares de laricio. Los tipos V31 y V33 se localizan en sitios más altos y más húmedos que los tipos V34 y V36. Por lo que se refiere a la calidad de la estación, también se detecta una tendencia a mejores calidades en los pinares que presentan comunidades de los tipos V31 a V33, frente a los de tipos V34 a V36 (Diagramas 18A y 19A).

En las proyecciones conjuntas de parcelas y especies (Diagramas 18B y 19B) se pueden observar las afinidades de las especies respecto de los distintos tipos de comunidad vegetal. Las especies más constantes en toda la región se sitúan en las zonas centrales, mientras que las especies características de algún tipo se sitúan alejadas del centro y en las proximidades de las parcelas del tipo correspondiente. El resultado es similar al obtenido en el análisis Twinspan que se presenta en la tabla final (Epígrafe 4.1.2.1. y Cuadro 5 del Apéndice).

Las proyecciones conjuntas de parcelas, especies y variables ambientales permiten establecer ciertas ordenaciones de especies y parcelas, o tipos de parcelas, respecto de los gradientes que interesen. La calidad de la estación es uno de los gradientes más interesantes dado el valor que puede tener la ordenación de las especies como indicadores de calidad. Por ello se ha analizado dicha ordenación a pesar del bajo peso que la calidad tenía en el análisis. Esto debe ser tenido en cuenta a la hora de utilizar la ordenación indicada más adelante.

Se entiende que los términos calidad mejor, media o peor deben ser interpretados en el contexto regional. De igual modo se puede hacer con el resto de los gradientes, siempre teniendo en cuenta que la ordenación es tanto más fiable cuanto mayor sea el módulo del vector correspondiente a la variable ambiental considerada.

A modo de resumen de todo este análisis multivariable se puede concluir lo siguiente:

- La tipificación de las comunidades vegetales que se desarrollan en los pinares de *Pino laricio* de la región tiene una fuerte componente fisiográfica (altitud), climática (régimen hídrico) y edáfica (%de arcilla), a pesar de que la homologación fitosociológica sitúa todos los tipos en el piso supramediterráneo. Los tipos V31 a V33 tienden a situarse, dentro de la subregión climática occidental, en las estaciones más altas, más húmedas y suelos más evolucionados

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

Ordenación de especies según calidad de estación:

Mejor calidad	*Cephalantera longifolia*	*CEF*
	Carex flacca	*CAF*
	Primula veris	*PMV*
	Ilex aquifolium	*ILA*
	Pinus sylvestris	*PIS*
	Juniperus sabina	*JUS*
	Berberis hispanica	*BBV*
	Brachypodium phoenicoides	*BRP*
	Buxus sempervirens	*BXS*
	Juniperus communis	*JUC*
	Thymus mastichina	*THM*
	Quercus ilex	*QUI*
	Genista pumila	*GEP*
	Arcstotaphyllos uva-ursi	*ARU*
	Amelanchier ovalis	*AMO*
Calidad media	*Quercus faginea*	*QUL*
	Teucrium polium	*TEP*
	Crataegus monogyna	*CTM*
	Genista scorpius	*GES*
	Aphyllantes monspeliensis	*APM*
	Teucrium chamaedrys	*TEC*
	Pinus pinaster	*PIP*
	Salvia lavandulaefolia	*SVL*
	Lavandula latifolia	*LAL*
	Brachypodium retusum	*BRR*
	Juniperus oxycedrus	*JUO*
	Knautia arvensis	*KNA*
	Quercus coccifera	*QUC*
	Juniperus thurifera	*JUT*
	Globularia vulgaris	*GLV*
	Juniperus phoenicea	*JUP*
Peor calidad	*Helianthemum cinereum*	*HTN*

con la presencia de especies tales como *Pinus sylvestris, Ilex aquifolium, Primula veris, Berberis hispanica, Helleborus foetidus, Genista pumila, Polygala calcarea, Juniperus communis,* etc.

— El tipo V31 se presenta en parcelas llanas culminales de las sierras de Valdecabras y Valdemeca al este de la provincia de Cuenca. Los suelos son poco pedregosos con abundante tierra fina y alto % de arcilla. Altitud media = 1.273. Calidad media = 12,4.

— El tipo V32 es algo heterogéneo, ya que se presenta en todas las parcelas de suelo silíceo, tanto de Cuenca como de Guadalajara, así como en parcelas altas de las estribaciones occidentales de los Montes Universales y en las comarcas más septentrionales de la provincia de Cuenca. Es el tipo más característico de esta división, pues en él se acentúan todos los aspectos citados inicialmente. Tienen los suelos menos

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

ácidos y con tendencia a una mayor evolución. En una profundización de la clasificación, las parcelas de suelos de sustrato silíceo se separarían del resto. Altitud media = 1.275. Calidad media = 12,3.

— El tipo V33 se presenta geográficamente concentrado en la comarca limítrofe de las provincias de Guadalajara y Cuenca. En el análisis aparece como una transición de los dos tipos anteriores hacia los tipos V34 a V36. Se localiza en parcelas más bajas y las calidades son también inferiores. Altitud media = 1.143. Calidad media = 11,7.

- Los tipos V34 a V36, en conjunto, se sitúan en la subregión climática oriental y en la orla más baja y exterior de la subregión climática occidental. Se presentan por lo tanto, un clima más claramente mediterráneo que los tipos V31 a V33 (Elena Rosselló, et al., 1985). Los suelos son más básicos, menor descarbonatación, y presentan las siguientes especies: *Quercus coccifera, Aphyllantes monspelliensis, Lavandula latifolia, Juniperus oxycedrus, Genista scorpius, Salvia lavandulaefolia,* etc.

— El tipo V34, siguiendo el gradiente definido en la región, es un tipo de transición hacia los tipos anteriores. Presente en las zonas más bajas de la subregión climática occidental, sus suelos son los más básicos. Altitud media = 1.031. Calidad media = 12,1.

— El tipo V35 se presenta en las zonas sudorientales de la subregión occidental, en estaciones también bajas con suelos pedregosos poco descarbonatados. Altitud media = 1.045. Calidad media = 11,5.

— El tipo V36 supone el extremo del gradiente florístico. Se presenta en las estribaciones turolenses de los Montes Universales; es decir, en la subregión climática oriental. Sus estaciones son las más altas y de menor calidad de este grupo de tipos, con suelos poco descarbonatados. Altitud media = 1.202. Calidad media = 9,66.

Las características ambientales de los distintos tipos de comunidad vegetal observadas en el análisis realizado se sintetizan en el siguiente cuadro:

	Altitud	Calidad	Insol.	Ind.híd.	Pedreg.	Mat.org.	%arcilla	%TierraF.	Acidez
V31	++ Est	+ Amp	= Amp	++ Est	-- Est	+ Est	+ Est	+ Amp	- Amp
V32	++ Amp	+ Amp	+ Amp	++ Amp	- Amp	+ Amp	= Amp	= Amp	- Amp
V33	= Amp	= Amp	+ Amp	+ Amp	= Est	- Est	+ Amp	= Est	= Est
V34	- Amp	+ Amp	+ Amp	- Amp	= Amp	- Amp	- Amp	- Amp	+ Amp
V35	- Amp	= Amp	= Amp	- Amp	+ Amp	- Amp	- - Amp	- Amp	+ Amp
V36	+ Est	- - Est	- Est	- Est	+ Est	- Est	= Est	++ Est	= Est

Est = Estenoíco; Amp = Eunioco; +++ Muy Alta; ++ Alta; + Poco alta; = Media; - Poco Baja; - - Baja; - - - Muy Baja.

Por último, se ha hecho una comparación de las calidades medias de los distintos grupos y subgrupos edáficos. Los valores aparecen en los siguientes cuadros:

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

Grupo de suelos	Calidad media	Desv.típ.	N.estac.
Rendzinas empardecidas carbonatadas	11,94	2,14	12
Rendzinas empardecidas	11,38	1,51	14
Suelos pardos calcimórficos	12,80	1,11	4
Suelos argilúvicos calizos	13,60	0,51	2
Suelos ferriargilúvicos calizos	15,60	—	1
Suelos pardos eutróficos	11,07	0,40	3
Suelos argilúvicos	14,66	—	1
Suelos ferriargilúvicos	10,97	—	1

Subgrupo de suelos	Calidad media	Desv.típ.	N.estac.
Líticos	11,54	1,59	24
Subhúmicos	12,18	1,79	11
Erosionados	13,75	—	1
Rojizos	13,02	2,06	9
Hidromórficos	12,64	1,83	4
Con aportes coluviales	12,53	2,30	3
Calco-silíceos	10,10	0,02	2
Dolomíticos	12,16	2,34	10

Ninguno de los test de comparación de medias entre grupos y subgrupos de suelos ha sido estadísticamente significativo (P>0,1), por lo que cabe descartar la influencia exclusiva del grado de evolución edáfica sobre la calidad de las estaciones de pino laricio en esta región.

4.2.3. Ecuación multifactorial de pronóstico de la calidad de la estación:

Para construir la ecuación se ha seguido la metodología que se describe en el Epígrafe 2.2.3. De acuerdo con ella, se han realizado los análisis de correlación de las 27 variables candidatas a ser introducidas en la ecuación como independientes y la variable CD1 (Site Index 50); los resultados de los análisis aparecen en el Cuadro 7 del Apéndice. En esta región destaca el gran número de variables que se correlacionan altamente con CD1. La mayor parte de las variables son edáficas, tanto físicas (ARC y CEL [P<0,01], y TF [P<0,05]) como químicas (K [P<0,001] P, CAS, CAI y PHS [P<0,01], y PH [P<0,001]. Sólo la insolación general de la ladera (ING [P<0,05]), de entre todas las variables fisiográficas y climáticas, aparece algo correlacionada con la calidad.

Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

1. Ecuación de regresión:

$$CD1 = 2{,}26\ ING + 0{,}014\ K + 1{,}97\ Lg(TF) + 0{,}107\ \sqrt{MG} - 2{,}70\ Lg(MOS) + 5{,}325$$

Error medio de estimación = 1,48

Coeficiente de determinación múltiple = 0,680

2. Tabla del análisis de varianza:

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

	S.C.	g.l.	C.M.	F
Regresión	60,87	5	12,17	5,50 **
Desv. de la regresión	70,74	32	2,21	
TOTAL	131,61	37		

La anterior es la mejor ecuación entre las ensayadas. Con ella sólo una parcela [GU01] tiene una estimación con residuo superior a dos veces la desviación típica, mientras que otras ocho parcelas tienen residuos superiores a la desviación típica [CU05, CU06, CU08, CU11, CU15, CU19, CU25 y CU26].

4.3. Conclusiones regionales

A la vista de todos los resultados obtenidos al analizar de forma conjunta los aspectos florísticos, dasométricos, edáficos, fisiográficos y climáticos de los pinares de *Pinus nigra* de la región se han extraído las siguientes conclusiones:

Los pinares de laricio de las serranías de Cuenca y de la Alta Alcarria se caracterizan por la presencia de comunidades vegetales del piso supramediterráneo, presentándose como especie constante de todas ellas *Quercus faginea*. Dentro de esta relativa homogeneidad se define un gradiente florístico en cuyos extremos se presentan las siguientes especies:

A)	*Acer monspesulanum*	*ACM*	*Brachypodium sylvaticum*	*BRS*
	Hepatica nobilis	*HPN*	*Ilex aquifolium*	*ILA*
	Berberis hispanica	*BBV*	*Polygala calcarea*	*PLC*
	Hieracium murorum	*HRM*	*Viburnum lantana*	*VIL*
	Thalictrum tuberosum	*TLT*	*Pinus sylvestris*	*PIS*
	Prunus spinosa	*PRS*	*Lonicera xylosteum*	*LOX*
B)	*Staehelina dubia*	*STD*	*Juniperus phoenicea*	*JOP*
	Carex halleriana	*CAH*	*Quercus coccifera*	*QUC*
	Brachypodium retusum	*BRR*	*Juniperus oxycedrus*	*JUO*
	Helichrysum stoechas	*HLS*	*Salvia lavandulaefolia*	*SVL*
	Rosa spinosissima	*RSS*	*Dorycnium pentaphyllum*	*DOH*

De la tipología de comunidades vegetales definida se deducen las siguientes homologaciones: Los tipos V31 a V33 se homologan con distintas etapas de la serie supramediterránea castellano-alcarreño-manchega basófila del quejigo (*Cephalantero longifoliae-Querceto fagineae sigmetum*).

Por lo que se refiere a los tipos V34 a V36 hay mayor diversidad en la homologación: El tipo V36 se homologa con la serie maestracense y celtibérico-alcarreña de la sabina albar (*Junipereto hemisphaerico-thuriferae sigmetum*) y los tipos 34 y 35 se homologan con distintas etapas de las series basófilas de la encina (*Junipereto thuriferae-Querceto rotundifoliae sigmetum* y *Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae sigmetum*).

Esta diferenciación florística responde claramente a factores fisiográficos y climáticos. Por lo que se refiere a la calidad de la estación, si bien se aprecia una cierta tendencia, estadísticamente no significativa, hacia una mayor evolución edáfica en las masas con comunidades vegetales de los tipos V31 a V33, existen factores de carácter estacional que son los que influyen más claramente.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

De hecho son parámetros edáficos, tanto físicos como químicos, los que alcanzan más altas correlaciones y los que se usan en la ecuación de pronóstico (K, TF, MG, MOS).

Las implicaciones ecofisiológicas de todo ello no se escapan: para alcanzar mayor producción se deben combinar un régimen hídrico húmedo y unas condiciones edáficas textuales y estructurales adecuadas, así como unas disponibilidades de cationes: Cuando el primero no está en su óptimo se compensa con buenas condiciones edáficas.

5. EL PINO LARICIO EN LAS SIERRAS BETICAS

La región cuarta que se definió en el estudio fisiográfico climático incluía las masas de pino laricio situadas en lo que, de forma amplia, se ha denominado sierras de Cazorla y Segura. Más concretamente incluye todas las masas béticas de esta especie de origen no antrópico situadas en las provincias de Albacete, Jaén, Granada y Almería (Sierras de La Sagra, Taibilla, Alcaraz, Calar del Mundo, Sierras del Pozo, María, Cazorla y Segura).

En esta región se han muestreado 30 parcelas dispersas por las masas de *Pinus nigra*, cuyo diseño de muestreo, localización geográfica, caracterización florística y edáfica han sido descritos en los correspondientes estudios previos (Elena Rosselló et al., 1985; Pascual Terrats, 1987, y Sánchez Palomares et al., 1990).

5.1. Caracterización de las Fitocenosis

5.1.1. Caracterización del estrato arbóreo: Análisis de la calidad de la estación:

Como todas las masas de *Pinus nigra* de esta región son de la forma *hispánica* (Ceballos, 1966), se han utilizado las curvas de calidad construidas para esta forma (Pita, 1965). Con ellas se han calculado CD1 (Site Index 50) y CD2 (Clase de Calidad). En el Cuadro 1 del Apéndice quedan reflejados los valores de CD1 y CD2 de las 30 parcelas muestrales.

El *Site Index 50* se distribuye por la región con un valor medio de 12,54 metros, correspondiente a una clase de calidad III-H, con una desviación típica de 2,48.

5.1.2. Tipificación de las comunidades vegetales presentes:

Para llevar a cabo la tipificación se han utilizado los inventarios florísticos realizados en las 30 parcelas muestreadas. En ellas aparecían 108 especies en, al menos, tres parcelas, cuyo código de identificación aparece en el Cuadro 2 del Apéndice.

5.1.2.1. Análisis de especies indicadoras:

Este análisis ha sido realizado de acuerdo con el método descrito en el Epígrafe 2.1.2.1. relativo a la región primera, utilizando el programa Twinspan a los 30 inventarios florísticos con las siguientes especificaciones:

— Tamaño mínimo de grupo susceptible de división = 6 parcelas.

— Número máximo de especies indicadoras por división = 7.

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

— Número de niveles de división = 3.

— Número de especies presentes en al menos tres parcelas = 108.

Con tales condiciones el Twinspan dio como resultado la clasificación directa que se refleja de forma sintética en la Figura 20. Al final del proceso de clasificación se definen 7 tipos de comunidad vegetal. El primer nivel de división está indicado por la especie *Teucrium polium* de carácter negativo que produce la escisión de las 30 parcelas en 23 del grupo positivo [V41 a V44] y 7 negativo [V45 a V47]. Los dos últimos tipos (V46 y V47) están formados por una sola parcela, por lo que debe relativizarse su importancia, siendo considerados más como derivaciones excepcionales del tipo V45. La tabla resumen del análisis inverso que se presenta en el Cuadro 6 del Apéndice revela que no se aprecia una composición florística muy diferente.

En la tabla antes citada se deduce la existencia de un gradiente florístico definido en un extremo [V41 a V44] por la presencia de *Pteridium aquilinum, Sanguisorba minor, Rosmarinus officinalis, Viola suavis, Quercus faginea, Carex flacca, Amelanchier ovalis, Rubia peregrina, Cirsium flavispina, Daphne gnidium,* etc. En el otro extremo del gradiente [V45 a 47] se presentan las especies *Genista scorpius, Teucrium polium, Erinacea antyllis, Knautia arvensis, Helianthemum cinereum, Scabiosa tomentosa, Leuzea conifera,*etc. El gradiente florístico puede ser interpretado en términos ecológicos por un gradiente de xericidad. Asimismo, esto se aprecia al comprobar la localización geográfica de las distintas parcelas: Todas las muestras situadas en la subregión oriental presentan comunidades de los tipos V45 y V46, y es esta subregión la de régimen hídrico más seco de toda la región (Elena Rosselló et al., 1985).

En la Figura 21 se presentan las especies constantes, características y diferenciales de todos taxones definidos en la tipificación. De ella se deduce que *Quercus ilex y Catananche coerulea* son constantes en todos los pinares de la región. Asimismo, existen otras especies que no siendo constantes aparecen por todos los tipos y no tienen carácter discriminante de ninguno de ellos: *Lavandula latifolia, Brachypodium sylvaticum, Geum sylvaticum, Helleborus foetidus.*

5.1.2.2. Homologación fitosociológica:

Siguiendo lo expuesto en el Epígrafe 2.1.2.2. se han identificado las series de vegetación potencial que previsiblemente podrían aparecer en las comarcas donde se encuentran las masas autóctonas de *Pinus nigra* de la región. Según Rivas Martínez (1987), las series son las siguientes:

Región mediterránea
Piso oromediterráneo

1. Serie bética basófila de la sabina: *Daphno oleodi-Pineto sylvestris sigmetum* (14b).

Piso supramediterránea

2. Serie bética basófila del quejigo: *Daphno latifoliae-Acereto granatensis sigmetum* (19e).
3. Serie castellano-meaestrazgo-manchega basófila de la encina: *Junipereto thuriferae-Querceto rotundifoliae sigmetum* (22a).
4. Serie bética basófila de la encina: *Berberidi hispanicae-Querceto rotundifoliae sigmetum* (24f).

A partir de los bioindicadores de cada una de las etapas de sustitución y climácicas de las anteriores series, y teniendo en cuenta que estén presentes en las parcelas inventariadas, se han elaborado los inventarios siguientes: sólo estaban presentes especies bioindicadoras de etapas de sustitución en la serie 22a.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

Piso oromediterráneo	Serie 1 14b	PIS,JUS,JUC,BBV,PLB,ERA 14b.1	
Piso supramediterráneo	Serie 2 19e	QUL,ACG,DPL,HLF,BBV,CTM,BRP 19e.1	
	Serie 3 22a	QUI,JUT,JUC, ROS,CRM 22a.1	ROS,CRM,GLV DAG,KOV 22a.2
	Serie 4 24f	QUI,BBV,HLF,AMO,ERA,BRR 24f.1	

Los 30 inventarios de las parcelas de pinares muestreados junto con los cinco inventarios teóricos anteriores han sido analizados con el Decorana obteniéndose el resultado que se presenta en las Figuras 22.

Los tres primeros ejes factoriales alzanzan unos autovalores de 0,50, 0,42 y 0,35, absorbiendo el 82% de la varianza total. Proyectando las parcelas y los testigos sobre los planos definidos por los ejes 1, 2 y 3, se detectan las posibles homologaciones entre tipos de comunidad definidos en el Epígrafe anterior y las distintas etapas y series de vegetación. Las parcelas de un mismo tipo de comunidad vegetal aparecen reunidas dentro de envolventes en los diagramas de la Figura 22.

Al observar los diagramas se ve que el eje 1 coincide con el gradiente florístico descrito en el análisis de especies indicadoras, de modo que los tipos V41 a V44 se sitúan con valores negativos y los tipos V45 y V47 se sitúan con valores positivos. La proyección de los inventarios testigos denuncia que la serie que mejor se homologa con los tipos definidos es la 19e, que lo hace de forma reincidente en los planos 1-2 y 1-3 con respecto de los tipos V41 a V44, muy especialmente con los tipos V42 y V43. De las restantes series, la 14b no se homologa en absoluto, la 24f lo hace ligeramente con los tipos V44 y V45, y los tipos V45 a V46 se podrían homologar con una etapa intermedia dentro de la serie 22a.

La ausencia de inventarios correspondientes a etapas de sustitución de tres series impide hacer una interpretación del resultado en términos de evolución ecológica.

A partir de lo observado se puede concluir resumidamente que:

— Las comunidades vegetales existentes en los pinares de *Pinus nigra* pertenecen al piso supramediterráneo.

— La serie *Daphno latifoliae-Acereto granatensis sigmetum* es la que se homologa mejor con los tipos definidos, identificandose claramente en parcelas muestrales de los tipos V42 y V43.

— Las series *Junipereto thuriferae-Querceto rotundifoliae sigmetum* y *Berberidi hispanicae-Querceto rotundifoliae sigmetum* se homologan con los tipos más xéricos V45 y V47.

— La serie oromediterránea *Daphno oleoidi-Pineto sylvestris sigmetum* se homologa ligerísimamente con el tipo V47.

— La mera ausencia de especies indicadoras de esas estapas seriales permite deducir que las Comunidades presentes en los pinares son bastante evolucionadas.

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

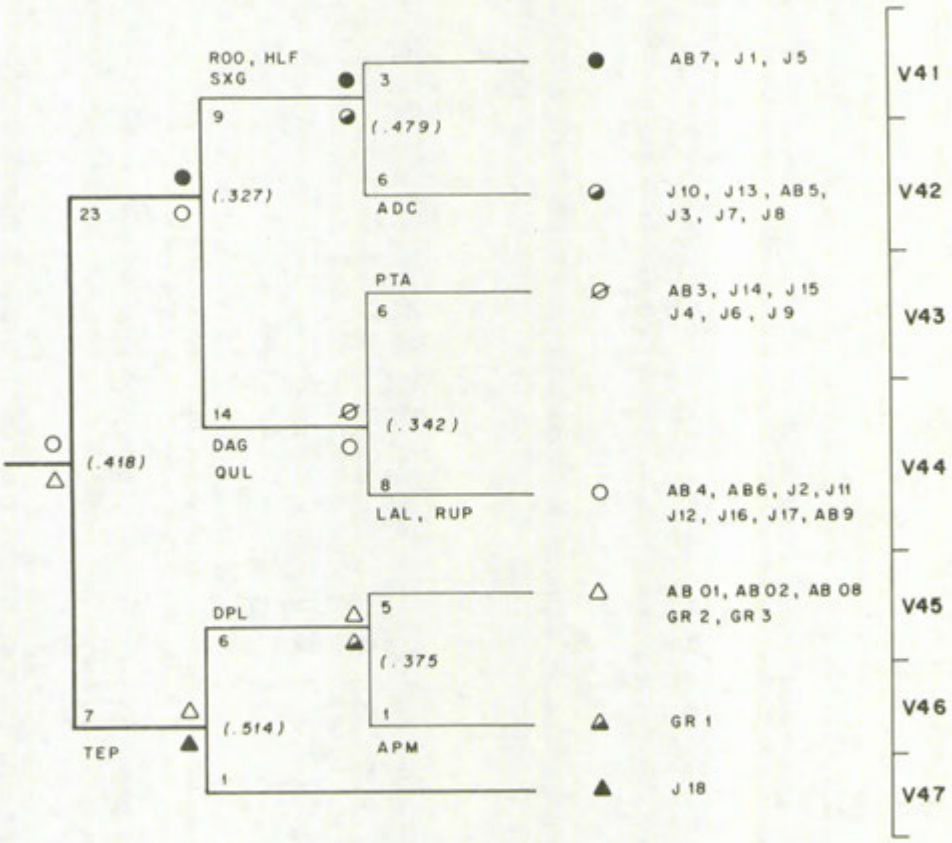


Figura 20.—Dendrograma que resume la tipificación de comunidades vegetales de los pinares de laricio de las Sierras Béticas. La tipificación se ha obtenido mediante el análisis Twinspan, definiéndose siete tipos (V41 a V47). En cada nudo se refleja: 1) Símbolos de los grupos que surgen; 2) autovalor del eje factorial principal que ha servido para hacer la división; 3) número de parcelas incluidas en cada grupo que surge, y 4) especies indicadoras de cada uno de los grupos. En la parte derecha del dendrograma aparecen, junto a los tipos finalmente definidos, las parcelas incluidas en cada uno de ellos. Las especies aparecen identificadas mediante el código del cuadro 2 del Apéndice.

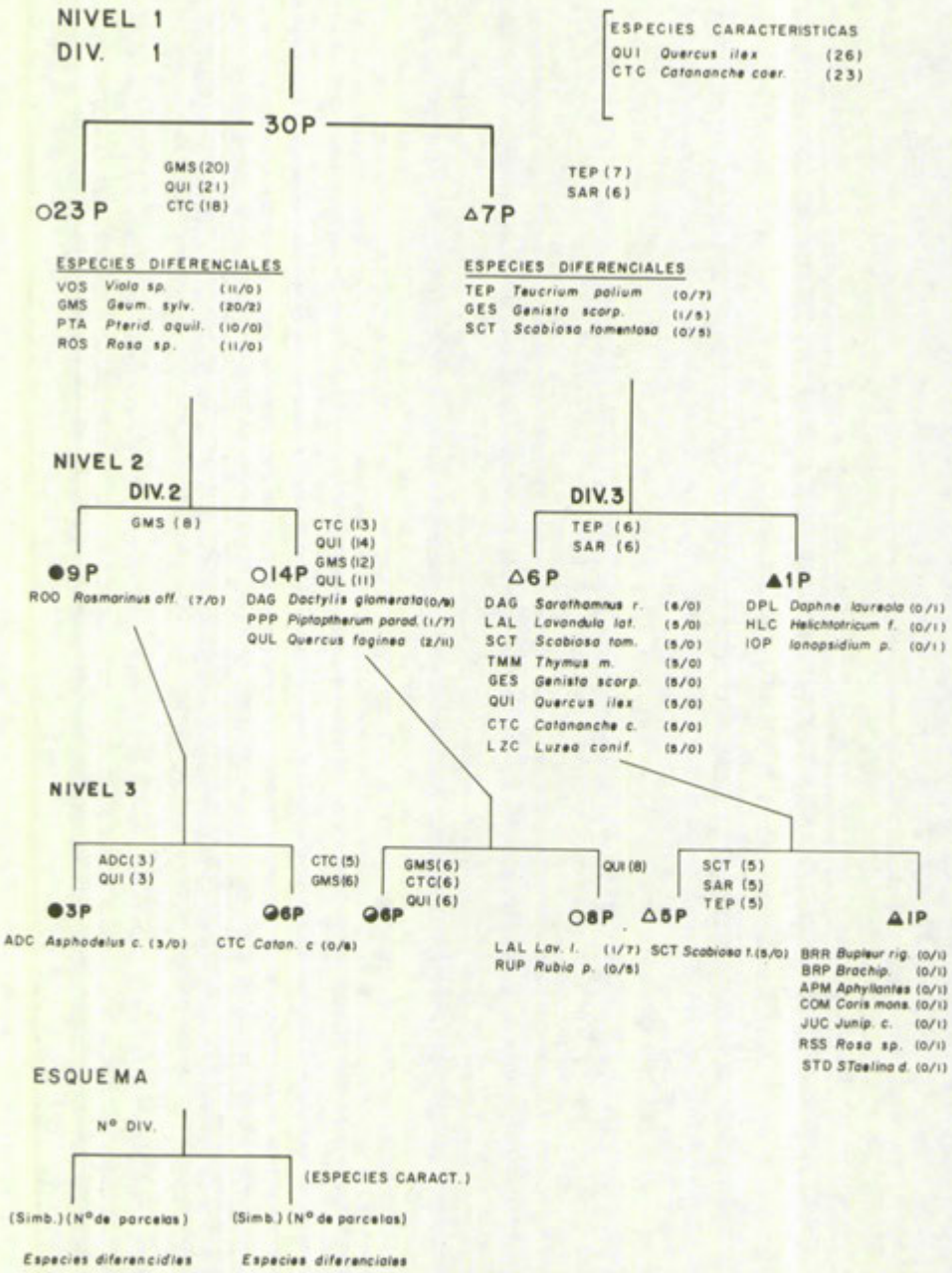


Figura 21.—Esquema de la tipificación de las comunidades vegetales de los pinares de *Pinus nigra* de las Sierras Béticas en el que se reflejan las especies constantes de cada grupo en los distintos niveles y las especies diferenciales respecto de los restantes grupos surgidos del mismo nudo. En cada nudo se reflejan también los símbolos de cada grupo, tal como se definen en la Figura 20, el número de parcelas incluidas en ellos, así como las frecuencias de cada especie en los grupos que surgen del nudo y su poder diferenciador.

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

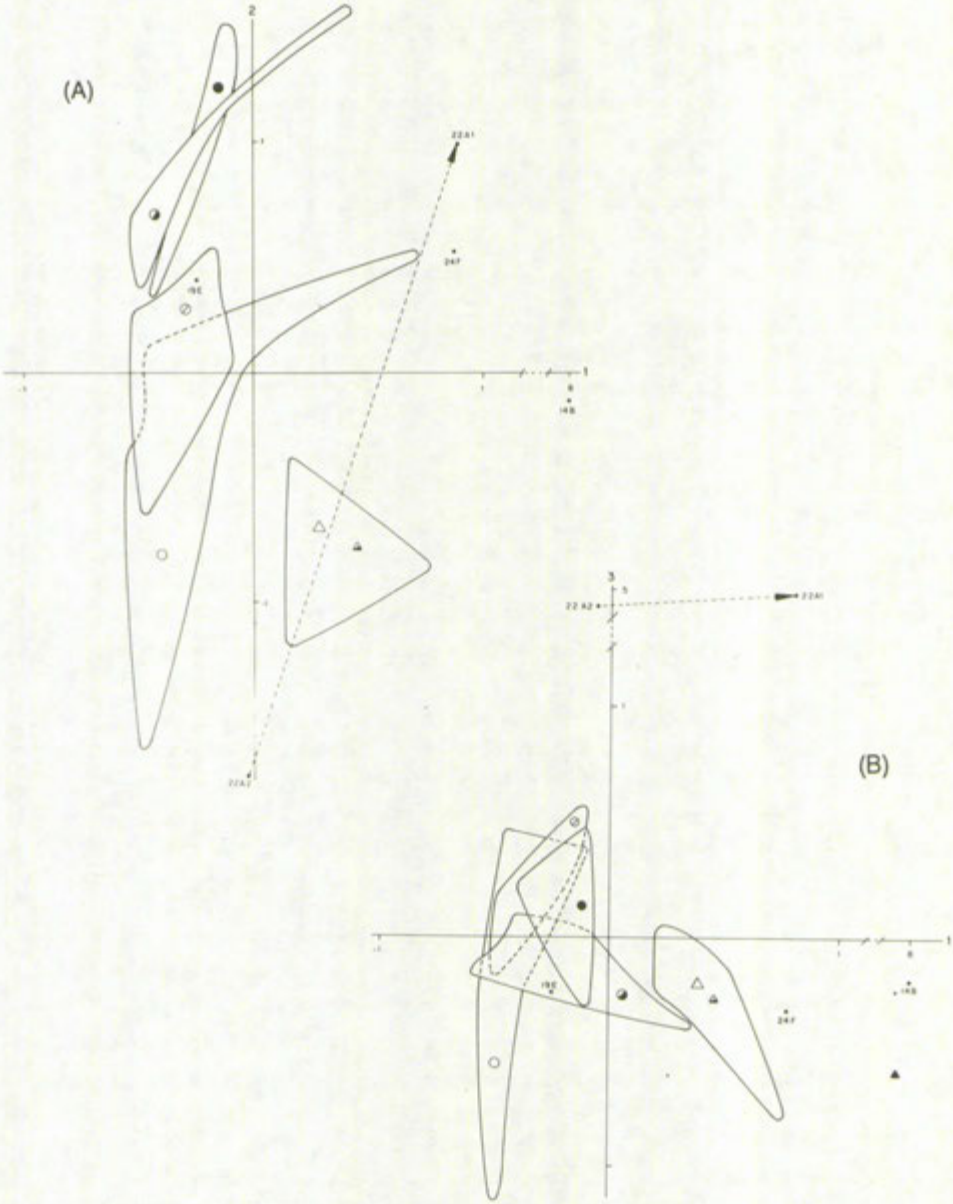


Figura 22.—Resultado del contraste fitosociológico de los tipos de comunidad vegetal definidos para los pinares de las Sierras Béticas con los sintaxones sigmatistas. El contraste se ha realizado mediante el análisis Decorana, obteniéndose los ejes principales cuyos planos aparecen en la Figura. A) Plano de los ejes Decorana 1 y 2 que absorbe el 59,40% de la varianza total y en el que se han dibujado las envolventes de los distintos tipos definidos y la situación de los inventarios teóricos correspondientes a las distintas etapas de las series de vegetación definidas para las comarcas donde se encuentran las masas autóctonas de pino laricio. B) Diagrama similar al anterior realizado con el plano definido por los ejes Decorana 1 y 3 que absorbe el 54,88% de la varianza total. (Los tipos de comunidades vegetales están identificados por los símbolos definidos en la Figura 20, y los inventarios teóricos por los identificadores del texto.)

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

5.2. Ecología del *Pinus nigra.*

El estudio autoecológico de la especie en las Sierras Béticas se ha realizado siguiendo el método descrito en el Epígrafe 2.2.

5.2.1. Análisis múltiple integrado de las tipificaciones bióticas y abióticas:

Las 30 parcelas muestreadas en la región han quedado clasificadas a través de los distintos estudios previos según: Tipo de comunidad vegetal (Twinspan), grupo y subgrupo de suelo (Sánchez Palomares, et al., 1990), régimen hídrico, clase de orientación, clase de altitud y clase de pendiente (Elena Rosselló, et al., 1985).

A los datos referentes a dichas clasificaciones se les ha aplicado el análisis Decorana, obteniéndose tres ejes factoriales principales con autovalores 0,39, 0,29 y 0,23, respectivamente. Los planos definidos por los tres ejes permiten resumir las relaciones existentes entre las distintas clasificaciones. En las Figuras 23 se representan dichos planos en los que se han dibujado un campo de calidad de la estación (Plano 1-2) y un campo de altitud (Plano 1-3). La varianza absorbida por los planos supera el 67% de la varianza total.

Del análisis de la Figura se destaca una cierta coincidencia entre el eje 1 y el gradiente florístico subyacente en la clasificación Twinspan: Los tipos V45 a V47 tienen valores positivos en el eje 1, mientras que los tipos V41 a V44 tienen valores negativos.

En su conjunto, los ejes 1 y 2 permiten establecer el campo de calidad de tal modo que los puntos de valores positivos en ambos ejes (primer cuadrante) corresponden a parcelas de baja calidad, y los valores negativos en ambos ejes (tercer cuadrante) corresponden a parcelas de buena calidad.

El eje 3 es coincidente con el gradiente altitudinal. En el plano 1-3 se puede dibujar un campo altitudinal.

En los dos planos se han trazado dos gradientes relativos a la altitud y al régimen hídrico, y a la calidad y al régimen hídrico, respectivamente. A partir de ellos se pueden extraer conclusiones generales acerca de la ecología de la especie en esta región.

- Se aprecia una correlación entre tipos de comunidad y la calidad de la estación: Los tipos V41 y V44 tienden a mejor calidad y los tipos V45 a V47 a la calidad peor. De acuerdo con la homologación fitosociológica, las estaciones de la serie supramediterránea del quejigo son las que tienden a una mejor calidad, mientras que las de las series supramediterráneas béticas de la encina tienden a peores calidades.
- No hay concordancia entre el gradiente de calidad y el gradiente altitudinal. Las mejores calidades se alcanzan en las altitudes medias y las peores en las estaciones más altas.
- No se detecta asociación entre la evolución edáfica y la calidad de la estación o la altitud.
- Por lo que se refiere al régimen hídrico sólo se observa una mala calidad en las estaciones de régimen subhúmedo. Estas estaciones coinciden con la subregión Oriental definida climáticamente (Elena Rosselló, et al., 1985).
- El eje 1 es un eje florístico, mientras que el eje 3 es altitudinal. Ello permite hacer ensayos de campos de variación en los planos generados por ellos, y hacer diagnosis para los distintos tipos y subtipos edáficos, climáticos y fisiográficos.

5.2.2. Análisis multivariable de las variables bióticas y de las variables de los factores ecológicos:

Para llevar a cabo este análisis se ha utilizado el programa Canoco de acuerdo con lo descrito en el marco metodológico del Epígrafe 2.2.2. Las 30 parcelas muestreadas estaban caracterizadas por

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

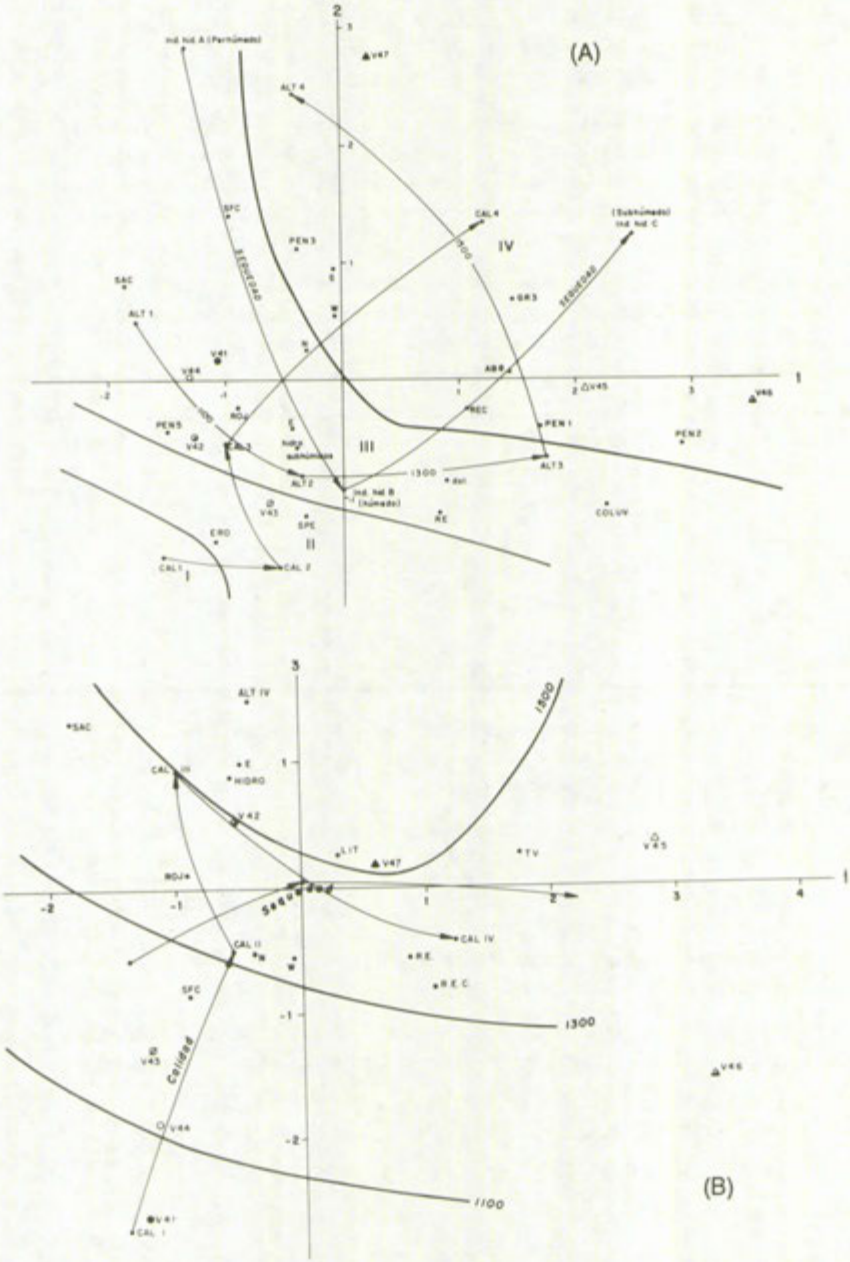


Figura 23.—Análisis conjunto de las tipificaciones ecológicas monofactoriales de los pinares de *Pinus nigra* de las Sierras Béticas. El análisis Decorana de las tipificaciones climáticas, fisiográficas, edáficas y florísticas permite detectar ejes factoriales cuya representación gráfica en forma de planos y las proyecciones de los distintos tipos ecológicos sobre ellos se presentan en esta Figura.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

la presencia en ellas de 126 especies y por los valores que en ellas alcanzaban una serie de variables ambientales seleccionadas a partir de los resultados anteriores por su probada influencia en la respuesta vegetal. Las variables ambientales seleccionadas son: Altitud (ALT), calidad de estación (CD1), insolación (INS), pedregosidad superficial (PDG), % de materia orgánica en el suelo (MOR), índice hídrico (HID), % de tierra fina (TF) y % de carbonatos activos (CAC).

Los resultados del análisis Canoco aparecen en las Figuras 24, 25 y 26. En ellas se representan los planos correspondientes a los ejes 1-2 y los ejes 1-3, siendo la varianza total absorbida por los dos planos del 49,5%. Con dichos planos se han elaborado diagramas de dispersión que de una forma sintética permiten la descripción de las relaciones entre la composición florística de los pinares y los factores ecológicos que la determinan.

Para determinar la significatividad de las variables ambientales es preciso ponderar sus módulos en el espacio tridimensional (ejes 1-2-3) por la varianza explicada por cada uno de los ejes canónicos. Todo ello viene reflejado en la tabla siguiente:

	X1	σ1	X2	σ2	X3	σ3	LV
ALT	52	25,2	98	13,1	238	11,2	32
CD1	–302	25,2	32	13,1	12	11,2	76
INS	248	25,2	258	13,1	75	11,2	71
PDG	248	25,2	–54	13,1	–209	11,2	63
MOR	35	25,2	–287	13,1	24	11,2	38
HID	–258	25,2	122	13,1	–221	11,2	71
TF	–145	25,2	134	13,1	–112	11,2	42
CAC	325	25,2	–58	13,1	27	11,2	82

Según la tabla, las variables más influyentes en la composición florística de las comunidades de los pinares de esta región son el % de carbonatos activos (CAC), la calidad de la estación (CD1), la insolación (INS) y el índice hídrico (HID).

Si se analizan los resultados expresados en las Figuras 24 y 26 se pueden interpretar los ejes canónicos:

— El eje 1 aparece como un gradiente inverso de calidad y directo de insolación y riqueza en carbonatos activos. Por su parte, el eje 2 es un gradiente inverso de riqueza en materia orgánica del suelo y directo de insolación, mientras que el eje 3 es un gradiente directo altitudinal.

Las relaciones entre las distintas variables ambientales pueden ser deducidas a partir de la situación relativa entre sus vectores representativos en los dos planos analizados:

— La calidad aparece clara y negativamente correlacionada con pedregosidad, % de carbonatos activos e insolación.

— El % de tierra fina aparece correlacionado positivamente con el índice hídrico.

— Entre el resto de variables no hay correlación significativa.

Por lo que se refiere a los tipos de comunidad vegetal, de la posición de las envolventes correspondientes dibujadas en los Diagramas 24A y 26A, se deduce que el eje 1 es coincidente con la ordenación florística definida en el Twinspan, con la excepción de los extremos V41 y V47 que se sitúan en posiciones intermedias. Como se recordará también el eje 1 del análisis Canoco presentado

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

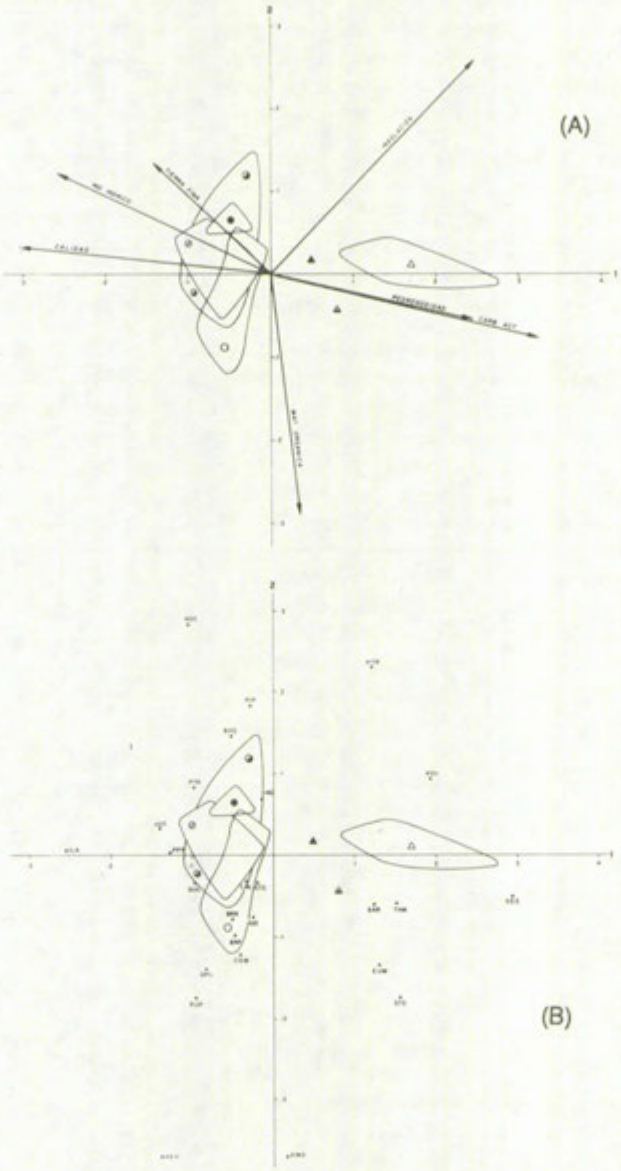


Figura 24.—Resultados del análisis multivariable conjunto de las variables bióticas y de las variables ecológicas realizado mediante el análisis Canoco para los pinares de las Sierras Béticas. A partir de los tres ejes factoriales obtenidos se han representado los planos de los diagramas siguientes sobre los que se han proyectado conjuntamente parcelas estudiadas, especies vegetales inventariadas y variables ecológicas medidas. La información absorbida por los ejes principales supone el 49,5% del total. A) Diagrama de dispersión de las proyecciones de las parcelas caracterizadas por el tipo de vegetación y de las variables ecológicas sobre el Plano 1-2. B) Diagrama conjunto de dispersión de las proyecciones de las especies y de las parcelas muestreadas agrupadas según tipo de vegetación sobre el Plano 1-2. (Las especies vienen identificadas por los Códigos del Cuadro 2 del Apéndice; los tipos de comunidades vegetales están identificadas por los símbolos definidos en la Figura 20.)

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

en el Epígrafe 5.2.1. coincidía con esa ordenación. Dado que la calidad, la pedregosidad y la presencia de carbonatos activos son las variables que interpretan mejor el eje 1, se deduce una causalidad estacional que tiene una repercusión edáfica en la composición florística de los pinares de laricio: Los tipos V41 a V44 se localizan en las estaciones de más calidad, con suelos menos pedregosos y más descarbonatados, mientras que los pinares de tipos V45 y V47 aparecen en estaciones de baja calidad con suelos pedregosos poco descarbonatados.

El diagrama 24B refleja la proyección conjunta de especies y parcelas analizadas sobre el plano 1-2. En él se detectan las afinidades entre los tipos de comunidad y las especies. La situación de las especies en dicho plano se interpreta de modo que una especie es tanto mas común cuanto más cercana al centro del diagrama se encuentra. De hecho sólo se han representado las especies más alejadas, es decir, las menos comunes y más características de algún tipo concreto. El resultado es similar al obtenido en la Tabla conjunta del análisis Twinspan que se presenta en el Cuadro 6 del Apéndice.

Con el análisis Canoco es posible hacer una proyección conjunta de las especies, las variables ambientales y las parcelas muestreadas sobre los planos definidos por los ejes canónicos. De ese modo se han diseñado los diagramas 25A, 25B y 26B, que permiten ordenar tanto especies como parcelas, o sus envolventes correspondientes a los tipos de comunidad vegetal, respecto de los gradientes ambientales definidos por los vectores de las variables independientes utilizadas. Dado el mayor interés del gradiente calidad de la estación desde un punto de vista selvícola, se presenta la ordenación de las especies respecto de dicho gradiente:

Mejor calidad	*Ilex aquifolium*	*ILA*
	Juniperus communis	*JUC*
	Asphodelus cerasiferus	*ADC*
	Piptaptherum paradoxum	*PPP*
	Pteridium aquilinum	*PTA*
	Hedera helix	*HEH*
	Quercus faginea	*QUL*
	Rubia peregrina	*RUP*
	Daphne laureola	*DPL*
	Buxus sempervirens	*BXS*
	Pinus pinaster	*PIP*
	Brachypodium retusum	*BRR*
	Brachypodium phoenicoides	*BRP*
Calidad media	*Lavandula latifolia*	*LAL*
	Coris monspelliensis	*COM*
	Dactylis glomerata	*DAG*
	Juniperus oxycedrus	*JUO*
	Catananche coerulea	*CTC*
	Amelanchier ovalis	*AMO*
	Helianthemun croceum	*HTR*
	Cytisus reverchonii	*SAR*
	Euphorbia mariolensis	*EUM*
	Thymus mastichina	*THM*
	Staehelina dubia	*STD*
	Koeleria vallesiana	*KOV*
	Ononis pusilla	*ONP*
Peor calidad	*Genista scorpius*	*GES*

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

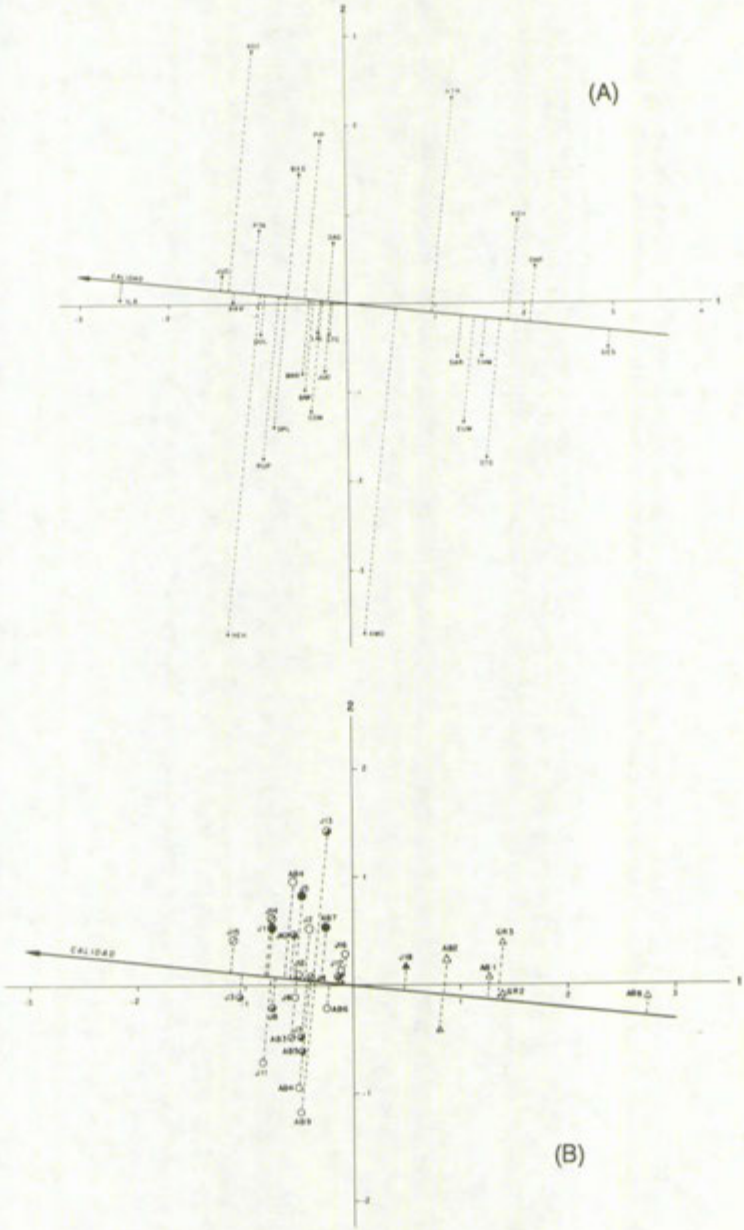


Figura 25.—Resultados del análisis multivariable conjunto de las variables bióticas y de las variables ecológicas realizado mediante el análisis Canoco para los pinares de las Sierras Béticas (Continuación de Figura 24. A) diagrama de dispersión de las proyecciones de las especies y su ordenación según la calidad de estación sobre el Plano 1-2. B) Diagrama de dispersión de las proyecciones de las parcelas muestreadas y su ordenación según la calidad de la estación sobre el Plano 1-2. (Las especies vienen identificadas por los Códigos del Cuadro 2 del Apéndice; los tipos de comunidades vegetales están identificadas por los símbolos definidos en la Figura 20.)

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

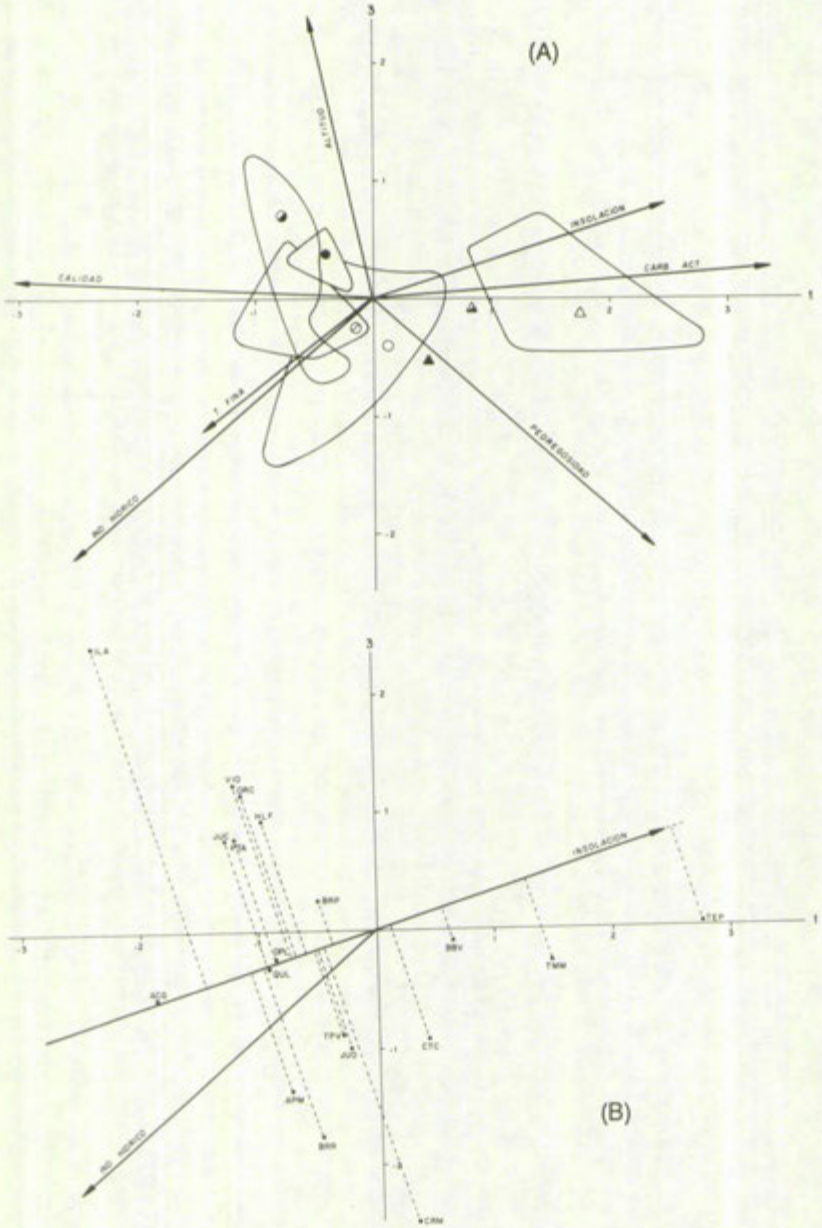


Figura 26.—Resultados del análisis multivariable conjunto de las variables biótica y de las variables ecológicas realizado mediante el análisis Canoco para los pinares de las Sierras Béticas (continuación de Figura 24 y 25). A) Diagrama de dispersión conjunta de las proyecciones de las parcelas agrupadas por envolventes de los tipos de comunidades vegetales y las variables ecológicas sobre el Plano 1-3. B) Diagrama de dispersión de las proyecciones de las especies y su ordenación según la insolación sobre el Plano 1-3. (Las especies vienen identificadas por los Códigos del Cuadro 2 del Apéndice; los tipos de comunidades vegetales están identificadas por los símbolos definidos en la Figura 20.)

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

Tras el estudio de los resultados de este análisis multivariable se puede resumir lo observado del siguiente modo:

- La tipificación de las comunidades vegetales que aparecen en los pinares de laricio de la región tiene una causalidad estacional preponderante, de modo que la calidad de la estación discrimina perfectamente la primera división de la clasificación Twinspan. Los tipos V41 a V44 se presentan preferentemente en las subregiones climáticas septentrional y meridional donde el régimen hídrico es húmedo e incluso perhúmedo, localizándose en las partes medias y altas del piso supramediterráneo. Las especies diferenciales son: *Brachypodium sylvaticum, Pteridium aquilinum, Viola suavis, Rubia peregrina, Piptaptherum paradoxum,* etc.
  - El tipo V41 agrupa a parcelas altas situadas en la subregión septentrional, en el eje Calar del Mundo-Cerro de los Castellanos de las provincias de Jaén y Albacete. Destaca por tener peor calidad de estación, por lo que aparece en posiciones intermedias en los análisis realizados. Altitud media = 1.373. Calidad media = 11,41.
  - El tipo V42 se localiza en las subregiones septentrional y meridional: Estaciones altas de las vertientes occidentales de Sierra de Segura, en Jaén, apareciendo en la Sierra de Alcaraz, de Albacete. Tienen un elevado índice hídrico y una excelente calidad. Altitud media = 1.397. Calidad media = 13,31.
  - El tipo V43 se presenta en las subregiones septentrional y meridional: Estaciones medias desde la Sierra del Pozo, en Jaén, hasta la Sierra de Alcaraz, en Albacete, apareciendo en la Sierra de Segura y Cerro de los Castellanos. Elevado índice hídrico y buena calidad. Altitud media = 1.301. Calidad media = 12,90.
  - El tipo V44 se presenta en estaciones mas bajas de las mismas zonas que el tipo anterior en las subregiones septentrional y meridional, presentándose también en la vertiente occidental de la Sierra de Taibilla, en Albacete. Los suelos son más húmedos y las estaciones tienen la mejor calidad de todos los tipos. Altitud media = 1.165. Calidad media = 13,63.
- Los tipos V45 a V47 se incluyen en un único tipo, dado que dos de ellos tienen una sola parcela. Se presentan en la subregión oriental en estaciones de altitud ligeramente superior a la de los tipos anteriores correspondientes a las partes altas del piso supramediterráneo, pero con condiciones climáticas mucho más xéricas que los otros tipos dada la orientación y situación en las Sierras del Pozo, La Sagra y Taibilla. Las estaciones tienen la mayor insolación. Los suelos son pedregosos y dada su situación están muy poco descarbonatados. Altitud media = 1.420. Calidad media = 10,49.
  - Dentro de esta agrupación de tipos, las únicas estaciones de los tipos V46 y V47 progresivamente aparecen más alto y tienen menor calidad.

Es posible reflejar en un cuadro resumen el temperamento de los distintos tipos de comunidad vegetal definidos:

	Altitud	Calidad	Insol.	Pedreg.	Mat.org.	Ind.Hid.	Tie.Fin.	Carb.Act.
V41	+ Est	= Est	- Est	- Est	- Est	+ Est	= Est	- Est
V42	+ Amp	++ Est	- Est	- Amp	= Amp	+ Est	+ Est	- Est
V43	= Amp	+ Est	- Amp	= Amp	= Amp	+ Amp	+ Amp	- Amp
V44	- Amp	+ Amp	= Amp	= Amp	= Amp	+ Est	+ Est	= Amp
V45	+ Amp	- Amp	++ Amp	+ Amp	= Amp	- - Amp	- Amp	++ Amp
V46	++	- -	+++	+	-	- -	-	++
V47	+++	- -	+++	+	-	- -	-	++

(Est = Estenoico; Amp = Eurioico; +++ = Muy Alta; ++ = Alta; + = Poco Alta; = Media; - = Poco Baja; - - = Baja; — = Muy baja.)

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

Por último, la comparación de las calidades de las estaciones de *Pinus nigra* que tienen el mismo grupo de suelos permite saber si la clasificación de suelos y el grado de evolución edáfica que subyace en ella tienen trascendencia en la calidad de las masas de esta especie. Las calidades medias y sus desviaciones típicas son las siguientes.

Grupo de suelo	Calidad Media	Desv.Típica	N.Estac.
Renzinas empardecidas carbonatadas	11,69	1,79	11
Renzinas empardecidas	13,76	3,02	6
Suelos argilúvicos calizos	12,14	1,61	6
Suelos ferriargilúvicos calizos	13,35	2,74	6
Suelos pardo eutróficos	13,53	—	1

Las diferencias entre las medias de los distintos grupos edáficos nunca son significativas ($P > 0,1$), por lo que el grado de evolución edáfica no influye significativamente en la calidad de la estación de los pinares de las sierras Béticas y Penibéticas. Este resultado confirma lo apuntado en el Epígrafe 5.2.1.

También se ha calculado la calidad media de los pinares que se desarrollan sobre los distintos subgrupos de suelos. Las diferencias entre distintos subgrupos nunca llegan a ser estadísticamente significativas ($P > 0,1$).

Subgrupos de suelos	Calidad Media	Desv.Típica	N.Estac.
Líticos	12,14	2,05	20
Subhúmicos	13,75	2,15	8
Erosionados	12,90	—	1
Rojizos	13,39	1,73	9
Hidromórficos	12,35	2,10	9
Con aportes coluviales	12,40	2,65	3
Calco-silíceos	16,16	—	1
Dolomíticos	12,25	2,32	13

5.2.3. Ecuación multifactorial de pronóstico de la calidad de la estación:

Para la construcción de la ecuación se ha seguido el plan metodológico descrito en el Epígrafe 2.2.3. Tal como allí se describe, en primer lugar se han realizado los análisis de correlación de las 27 variables respecto de CD1 (Site Index 50). Los resultados se presentan en el Cuadro 7 del Apéndice, destacando que ésta es la región en la que existe un mayor número de variables ecológicas altamente correlacionadas con la calidad de la estación. Además las variables son de todos los tipos: Fisiográficas (altitud), climáticas (evapotransp. estival, índice de Vernet, evapotransp. anual, ind. Gorszinski y temp. media anual) y edáficas; tanto físicas (pedregosidad, % de limo, ind. evacuación lenta, % tierra fina, % de arena fina y ind. de capac. de cementación) como químicas (materia orgánica, nitrógeno, carbonatos activos, carbonatos inactivos y calcio).

Estos resultados corroboran lo dicho anteriormente en el sentido de que la calidad de la estación no está directamente influida por el grupo de suelo: Existen otros factores más influyentes.

La ecuación de pronóstico que conseguía las mejores estimaciones de la calidad ha sido la siguiente:

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

1. Ecuación de regresión:

   $CD1 = 5{,}27\,[INS - 0{,}8] - 1{,}10\,PDG - 0{,}13(PT^2) + 46298 / ETP + 0{,}16\,CAL + 90 / LIM - 107{,}66$

   Error medio de la estimación = 1,62

   Coeficiente de determinación múltiple = 0,81

2. Tabla del análisis de varianza:

	S.C.	g.l.	C.M.	F
Regresión	121,66	6	20,27	7,65 **
Desv. de la regresión	60,96	23	2,65	
TOTAL	182,62	29		

Con esta ecuación hay dos parcelas que tienen un residuo superior a dos veces la desviación típica (J02 y J11), otras cuatro tienen un residuo superior a la desviación típica (AB06, AB07, J03 y J10).

5.3. Conclusiones regionales

De todos los datos recogidos y analizados en los pinares de laricio de esta región se extraen las siguientes conclusiones:

La diversidad florística de los pinares queda enmarcada dentro de un gradiente en cuyos extremos se encuentran las siguientes especies:

A)	*Pteridium aquilinum*	*PTA*	*Sanguisorba minor*	*SGM*
	Asphodelus cerasiferus	*ADC*	*Rosmarinus officinalis*	*ROO*
	Biscutella variegata	*BSR*	*Saxifraga granulata*	*SXG*
	Bellis sylvestris	*BLS*	*Cirsium flavispina*	*CIF*
B)	*Teucrium polium*	*TEP*	*Scabiosa tomentosa*	*SCT*
	Medicago suffruticosa	*MES*	*Linum suffruticosum*	*LIS*
	Helianthemum cinereum	*HTN*	*Genista scorpius*	*GES*
	Erinacea anthyllis	*ERA*	*Argirolobium zanoni*	*ALZ*

Se han definido cinco tipos principales de comunidad vegetal. Los tipos V41 a V44 se homologan en distinto grado con la serie supramediterránea bética basófila del quejigo (*Daphno latifoliae-Acereto granatensis sigmetum*). El tipo V45 se homologa en sentido amplio con las series supramediterráneas béticas basófilas de la encina (*Junipereto thuriferae-Querceto rotundifoliae sigmetum* y *Berberidi hispanicae-Querceto rotundifoliae sigmetum*). Los pinares en conjunto se sitúan en el piso supramediterráneo y muy excepcionalmente en partes más bajas del piso oromediterráneo.

La diferenciación existente entre las comunidades vegetales está producida, en un primer término, por factores climáticos no inducidos por la altitud (térmicos), sino por la situación respecto de los sistemas orográficos (hídricos). En un segundo término, la altitud sí juega un papel importante, en su faceta térmica reguladora de los regímenes hídricos.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

Existe una cierta correlación entre la calidad de la estación y la composición florística. Los pinares con comunidades vegetales de los tipos V41 al V44 son significativamente mejores que los otros tipos de vegetación. El régimen hídrico, la pedregosidad, la descarbonatación de los suelos y la insolación son los factores que de forma conjunta determinan en mayor medida la composición florística y la calidad de la estación.

Por otra parte no se ha encontrado una significativa exclusiva correlación entre el grado de evolución edáfica, expresada en la clasificación de los perfiles, y la calidad de los pinares de laricio en esta región.

En consonancia con todo lo dicho la ecuación de pronóstico de la calidad obtenida incluye fundamentalmente variables climáticas (ETP, CAL, PT), junto a dos edáficas (LIM y PDG) y una fisiográfica (INS).

6. ANALISIS INTERREGIONAL

La visión conjunta de los estudios ecológicos de la especie en las cuatro regiones en que se ha diferenciado su área ibérica de distribución natural permite describir la posición del *Pinus nigra* en el contexto ecológico peninsular. Asimismo permitirá hacer estudios comparativos con el resto de subespecies que se distribuyen en el contorno de la Cuenca del Mediterráneo. El análisis interregional de los ámbitos climático y edáfico ha sido abordado ya en anteriores trabajos, por lo que aquí se van a poner en común los aspectos biológicos de las masas (tipificación fitocenótica y calidad del estrato arbóreo) y aquellos aspectos ecológicos (biotópicos) que tienen incidencia en ellos.

6.1. Fitocenosis acompañantes del *Pinus nigra* y sus características ecológicas.

Las tipificaciones de las comunidades vegetales presentes en los pinares de laricio de cada una de las regiones estudiadas pueden ser puestas en relación mediante la homologación fitosociológica sigmatista efectuada para cada una de ellas. En la Figura 27 aparece el cuadro resumen de la homologación de los 25 tipos definidos para toda la península, sin incluir los relictos.

A la vista del citado Cuadro se puede definir claramente la posición que los pinares de laricio ocupan en el ámbito ecológico peninsular, que puede ser sintetizada del siguiente modo:

1. Biogeográficamente, el *Pinus nigra* se presenta fundamentalmente en la región mediterránea, si bien aparece en algunos sectores de la región eurosiberiana; concretamente en los dos sectores de la provincia pirenaica. Estos pinares pertenecen a la región primera de las definidas fisográfico-climáticamente, en donde las masas de pino laricio se encuentran a caballo de las dos regiones biogeográficas ibéricas.

2. Dentro de la región eurosiberiana, los pinares se localizan exclusivamente en el piso montano.

3. En la región mediterránea los pinares se presentan en todo el piso supramediterráneo, teniendo su límite superior en el subpiso oromediterráneo inferior (Sistema Ibérico Turolense y Sierras Béticas) y el límite inferior en el mesomediterráneo superior (Cuenca y Sierras Litorales Mediterráneas.)

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

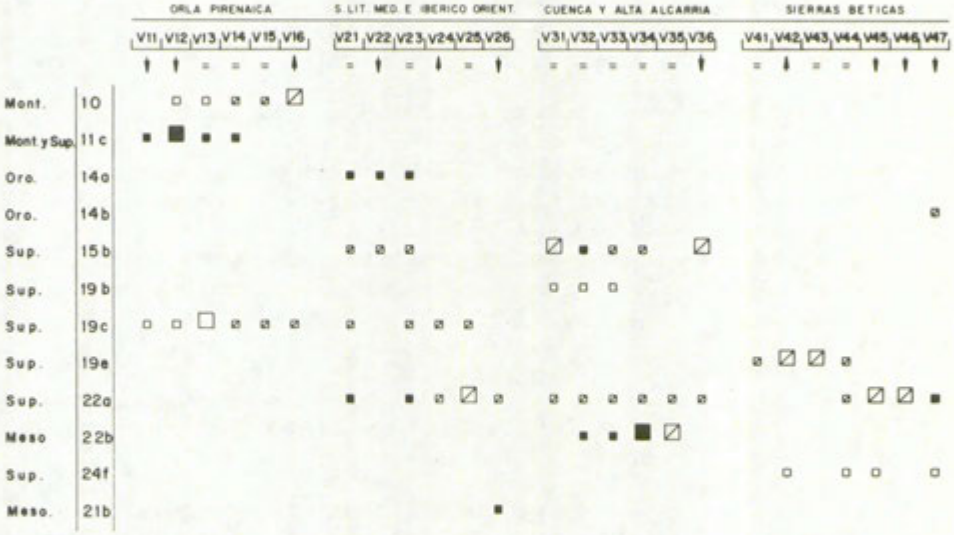


Figura 27.—Diagrama resumen de las homologaciones de los 25 tipos de comunidad vegetal definidos en los pinares del laricio y las series de vegetación potencial. La homologación viene simbolizada por cuadrados; a mayor tamaño de cuadrado mayor homologación. La forma interior del cuadrado significa: Negro = Homologable sólo a etapas climácicas. Blanco = Homologable sólo a etapas de sustitución. Con diagonal = Homologable indistintamente a etapas climácicas como de sustitución. La fila siguiente a los tipos de comunidad indican la calidad esperada de los mismos en el contexto regional: Flecha ascendente = Mas calidad que la media; flecha descendente = Menos calidad que la media; símbolo de igual = Igual calidad que la media. (Las series de vegetación potencial siguen los símbolos identificadores de Rivas-Martínez, 1987, citados en el texto. Los tipos de vegetación se identifican del modo que se define en el texto.)

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

4. Dentro del ámbito bioclimático general descrito, las comunidades que aparecen se homologan casi exclusivamente a series basófilas, lo que confirma la fuerte especialización edáfica que caracteriza a esta especie.

5. Se han diferenciado 25 tipos de comunidades vegetales en todo el área de distribución del pino laricio, de los que solamente dos tienen una homologación fitosociológica sigmatista idéntica: V21 y V23. Las 24 homologaciones oscilan entre etapas de sustitución hasta etapas climácicas de 12 series de vegetación diferentes. El papel colonizador, puesto de relieve tanto en procesos de sucesión primaria como secundaria, como la gran longevidad, justifican su presencia en comunidades de distinto grado evolutivo.

6. En las comunidades acompañantes del pino laricio se presentan otras especies arbóreas. Frecuentemente, este pino forma parte de masas mixtas con las siguientes especies. *Quercus faginea* y *Quercus ilex*, en todas las regiones; *Juniperus thurifera*, en todo el Sistema Ibérico; *Quercus pubescens*; en el Pirineo; *Pinus sylvestris*, en el Pirineo; sierras costeras mediterráneas y Sistema Ibérico; *Pinus pinaster*, en Cuenca y en las sierras béticas.

7. Se han apreciado diferencias regionales en la amplitud del ámbito bioclimático de los pinares de laricio: en la orla pirenaica, el ámbito bioclimático es estrecho y la diferenciación fitocenótica es debida a factores estacionales: orientación, pendiente y características litológicas. Por el contrario, en la región segunda (sist. ibérico oriental y sierras costeras mediterráneas) la diferenciación fitocenótica tiene causalidad bioclimática: Sus pinares aparecen desde el piso mesomediterráneo hasta el oromediterráneo. Las otras dos regiones (Cuenca, Alta Alcarria y sierras béticas) presentan una amplitud bioclimática intermedia.

8. Analizados en conjunto, los pinares de la forma *pirenaica* (regiones primera y segunda) presentaban algunas diferencias climáticas y edáficas con los pinares de la forma *hispánica* y, sin embargo, no se diferencian de éstos por lo que se refiere a la amplitud bioclimática de las fitocenosis acompañantes.

9. Las variaciones corológicas se ponen de manifiesto en el transecto definido en el Cuadro, que partiendo de los Pirineos termina en las sierras béticas. En este transecto se aprecia la sucesiva aparición y desaparición de distintas series y su grado de homologación con las comunidades presentes en los pinares de laricio. (Es preciso recordar que este transecto fue claramente interpretado en términos fisiográficos y climáticos: Latitudinal, altitudinal, continentalidad y mediterraneidad.) Estos factores ecológicos pueden estar causando las variaciones corológicas observadas.

A la vista de la homologación fitosociológica sigmatista de los tipos de comunidad vegetal que aparecen en los pinares se pueden contrastar los juicios ecológicos de las series de vegetación potencial de cara a la repoblación con *Pinus nigra* (Rivas Martínez, 1987). Hay que hacer constar que el contraste se realiza pensando en repoblaciones con las formas autóctonas de la especie, aunque otras subespecies no ibéricas han sido utilizadas con éxito en ámbitos biogeográficos peninsulares diferentes de su área natural.

De las series enjuiciadas para el pino laricio 12 se han homologado en este trabajo con uno o varios tipos de pinar. A partir del grado de homologación respecto de los pinares cabe modificar el juicio en la forma que se refleja en la siguiente tabla:

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

	Series	Juicio ecológico
10	*Buxo sempervirentis-Querceto pubescenstis sigmetum*	P +
11c	*Helleboro foetidi-Querceto rotundifoliae sigmetun*	P +
14a	*Sabino-Pineto sylvestris sigmetum*	P +
14b	*Daphno oleoidi-Pineto sylvestris sigmetum*	D +
15b	*Junipereto hemisphaerico-thuriferae sigmetum*	P +
19b	*Cephalanthero longifoliae-Querceto fagineae sigmetum*	P +
19c	*Violo willkommii-Querceto fagineae sigmetum*	P +
19e	*Daphno longifoliae-Acereto granatensis sigmetum*	P +
22a	*Junipereto thuriferae-Querceto rotundifoliae sigmetum*	P +
24f	*Berberidi hispanicae-Querceto rotundifoliae sigmetum*	P +
22b	*Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae sigmetum*	P +
21b	*Viburno tini-Querceto ilicis sigmetum*	D +

[P+ = posible positiva; D+ = dudosa positiva]

Todas estas series, excepto la 24f (*Berberidi hispanicae-Querceto rotundifoliae*) homologan etapas climácicas en algún grado con algún tipo de pinar. Del resto de series que no han sido homologadas con algún tipo de comunidad de pinar no es posible hacer un juicio acerca de la idoneidad ecológica sin analizar previamente las repoblaciones realizadas con las formas peninsulares de la especie.

En un juicio globalizador se puede decir que en todas las series mesomontanas, oromediterráneas inferiores, supramediterráneas y mesomediterráneas superiores basófilas las repoblaciones con las formas *pirenaica* e *hispánica* merecen un juicio de posibilidad generalmente positiva. Las series silicícolas de esos mismos pisos y subpisos merecen un juicio desfavorable para las repoblaciones.

6.2. La calidad de las masas

Tras los análisis regionales realizados se ha observado que dos son los grandes factores ecológicos que condicionan la productividad, es decir, la calidad selvícola (CD1) de los pinares de laricio españoles: los factores fisiográfico-climáticos y los factores edáficos. Vamos a analizar a escala peninsular las consecuencias de su acción de forma independiente, así como las posibles relaciones entre los tipos de vegetación y la calidad.

Naturalmente, al tomar como evaluador de la calidad el parámetro cuantitativo CD1 y no el cualitativo de clases, CD2, es posible realizar estos análisis, aunque en las dos primeras regiones se presente la raza *pirenaica* y la variedad *hispánica* en las dos últimas .

6.2.1. Análisis de diferencias de calidad entre regiones:

El clima y la fisiografía de las masas de *Pinus nigra* han definido las cuatro regiones en las que se ha basado este estudio. De forma resumida la calidad de los pinares de cada una de las regiones es la siguiente:

Región	Calidad Media	Desviación típica	N.Est.
1.ª	12,71	3,23	27
2.ª	10,53	2,74	27
3.ª	11,98	1,85	38
4.ª	12,54	2,48	30

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

Para ver la influencia de los factores fisiográfico-climáticos sobre la calidad productiva se ha llevado a cabo el correspondiente análisis de varianza respecto de las regiones citadas. El resultado del análisis es el siguiente:

Fuentes de Variación	S.C.	g.l.	C.M.	F
Entre 4 regiones	81	3	27	3.85 **
Región 2.ª/Resto	71	1	71	10.14 ***
Entre otras 3 regiones	10	2	5	N.S.
Error	839	118	7	
TOTAL		920	121	

[P < 0.01 = ***; P < 0.05 = **]

Es claro que existen diferencias significativas entre las distribuciones de la calidad en las distintas regiones. Estas diferencias son fundamentalmente debidas a las diferencias entre la región del Sistema Ibérico Oriental y las Sierras Costeras Mediterráneas y el resto de las regiones. Un análisis de comparación de medias nos permite confirmar este resultado:

	Región 2.ª	Región 3.ª	Región 4.ª
Región 1.ª	* *	—	—
Región 2.ª		*	* *
Región 3.ª			—

Los pinares de la región segunda son significativamente peores que los del resto de la península, destacando sus diferencias respecto de los pinares pirenaicos y de los béticos. Los pinares de las otras regiones no tienen calidades significativamente diferentes, no apareciendo tampoco diferencias significativas entre las dos formas de *Pinus nigra* ibérico.

Para indagar sobre las causas de este resultado se han analizado aquellos factores más discriminantes de las regiones en el estudio fisiográfico-climático (Elena Rosselló et al., 1985). Se observa que la región 2ª es la que tiene un régimen hídrico más seco y, además, la que tiene las masas con más pendiente. La combinación de ambos factores da lugar a una inferior disponibilidad de agua en el suelo. Esto confirma las ideas de Timbal et als. (1985) acerca de los factores de la productividad de *Pinus nigra*.

6.2.2. Análisis de diferencias de calidad entre grupos y subgrupos edáficos.

Los valores de la calidad de la estación de los distintos grupos y subgrupos edáficos, para el conjunto de España, quedan reflejados en el siguiente cuadro:

Grupos de suelos	Calidad media	Desv.típica	N.est.
Rendzinas empardecidas carbonatadas	11,70	2,76	44
Rendzinas empardecidas	12,23	2,53	43
Suelos pardo calcimórfico	12,77	1,11	4
Suelos argilúvicos calizos	11,35	2,07	15
Suelos ferriargilúvicos calizos	13,60	2,50	8
Suelos pardos eutróficos	11,10	1,52	5
Suelos argilúlivicos y ferriargilúvicos	11,00	3,02	3

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

La posible influencia de la tipología edáfica sobre la calidad de la estación de las masas de *Pinus nigra* es analizada mediante el análisis de varianza de la calidad respecto de los grupos de suelos, cuyo resultado aparece en el cuadro siguiente:

Fuentes de variación	S.C.	g.l.	C.M.	F
Grupos de suelos	41	6	6,8	0,89 N.S.
Ferriarg. cal/resto grupo	20	1	20,0	2,72 N.S.
Entre resto de grupos	21	5	4,2	0,54 N.S.
Error	879	115	7,64	
TOTAL	920	121		

A la vista del análisis se infiere que no existen diferencias significativas en la calidad de la estación de los diferentes grupos de suelos. Ni siquiera las estaciones con suelos ferriargilúvicos calizos mantienen masas con calidades significativamente mejores que el resto de los grupos de suelos. Se deduce, por lo tanto, que tampoco a nivel peninsular se produce la correlación entre grado de evolución edáfica y calidad de los pinares de laricio.

Por lo que se refiere a los subgrupos no es posible hacer un análisis de varianza, ya que los subgrupos no son disjuntos. Se ha optado por hacer un análisis de comparación de medias, viendo si son significativas las diferencias entre las medias de calidad de los distintos subgrupos. El resultado se expresa en el siguiente cuadro:

	SUBGRUPOS							
	Líticos	Subhúmicos	Erosionados	Rojizos	Ap.Coluvial	Calcosil.	Dolomíticos	Típicos
2 Subhúm.	2,57 (*)							
3 Erosio.	0,86 NS	0,83 NS						
4 Rojizos	2,78 (*)	0,38 NS	1,09 NS					
5 Hidrom.	1,71 NS	0,29 NS	0,51 NS	0,61 NS				
6 Ap. Col.	0,83 NS	0,44 NS	0,17 NS	0,66 NS	0,23 NS			
7 Calcosil.	3,39 (*)	1,58 NS	2,00 NS	1,24 NS	1,67 NS	1,50 NS		
8 Dolomít.	1,11 NS	1,22 NS	0,09 NS	1,52 NS	0,74 NS	0,26 NS	2,46 (*)	
9 Típicos	1,32 NS	0,27 NS	0,73 NS	0,08 NS	0,42 NS	0,53 NS	0,70 NS	0,84 NS

Solamente aparecen cuatro subgrupos con diferencias de medias estadísticamente significativas. Tres de las diferencias se refieren al subgrupo lítico y dos al subgrupo calcosilíceo. Si se observa la tabla de valores medios de cada uno de los subgrupos se infiere que los suelos líticos son significativamente peores que los suelos subhúmicos, los suelos rojizos y los suelos calcosilíceos, y estos últimos, a su vez, son significativamente mejores que los suelos dolomitícos.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

Subgrupos	Calidades medias	Desv.típ.	N. estac.
Líticos	11,23	2,19	75
Subhúmicos	12,57	1,95	45
Erosionados	11,88	2,65	21
Rojizos	12,83	2,03	26
Hidromórficos	12,36	2,00	20
Ap. Coluviales	12,09	2,54	8
Calcosilíceos	13,96	1,91	14
Dolomíticos	11,81	2,26	30
Típicos	12,94	2,41	6

La gran abundancia de suelos líticos en la región segunda explica el porqué aquella región tiene masas de calidades significativamente peores.

Por último hay que reseñar que no se ha elaborado un modelo de regresión a escala peninsular de la calidad de los pinares a partir de los parámetros ecológicos estacionales, ya que en su validez será obligadamente menor que los elaborados para cada una de las regiones, dado que las diferencias de calidad entre regiones existe sólo en la región segunda respecto de las restantes.

6.2.3. La calidad y los tipos de comunidades vegetales:

Dentro de cada una de las regiones se ha observado la calidad de estación de los distintos tipos de comunidad presente en los pinares. En el Cuadro de la Figura 27 se han señalado las calidades esperadas para cada uno de los tipos definidos en los análisis Twinspan que de forma separada se han descrito en los Capítulos correspondientes. En una visión conjunta se observa una tendencia hacia una mayor calidad en aquellos pinares con vegetación de tipos homologables a series de vegetación potencial del *Quercus faginea* o *Quercus pubescens* es decir situadas en subpisos supramediterráneos superiores o medios (V16, V24, V42 y V44). Al mismo tiempo, las peores estaciones están asociadas a tipos de vegetación homologables a las series de vegetación potencial de la encina, de los subpisos supramediterráneos inferiores y mesomediterráneos (V11, V26, V36, V45, V46) o a series del pino silvestre (V22 y V47) en el piso oromediterráneo.

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ASSMANN, E. 1970. "Principles of Forest Yield Study". Pergamon Press, Oxford.

BARA, F., y TOVAL, G. 1983. "Calidad de Estación del *Pinus Pinaster Ait.* en Galicia". Com. INIA: Serie Recursos Naturales (n. 32), INIA, Madrid.

BROWN, J.H., y STIRES, J.L. 1984. "Growth of white pine in relation to soils and topography." *Res. Bull. Ohio Res. and Develop. Cent.* núm. 1.164.

BAILEY, R.G. 1976. "Ecoregions of the United States (map)". U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Ogden.

BUNCE, R.G.H. 1982. "A Field Key for Classifying British Woodland Vegetation, Part. 1". Edit. I.T.E. Cambridge.

BUNCE, R.G.H. 1989. "A Field Key for Classifying British Woodland Vegetation, Part. 2". Her Majesty's Stationery Office. London.

BENZECRI, J.P. 1973. "L'Analyse des données: II L'Analyse des correspondences." Ed. Dunod. París.

CARMEAN, W.H. 1975. "Forest Site Quality Evaluation in the U.S." *Adv. Agronomy* (27):209-269.

CEBALLOS, G. 1966. "Mapa forestal de España". Ministerio de Agricultura. Madrid.

COILE, T.S. 1952. "Soil and the growth of forest". *Adv. Agronomy.* (4):330-398.

DAY. W.S. 1946. "On the effect of changes in elevation, slope". *Forestry* (20):7-20.

DECOURT, N.; GORDON, M.; ROMANE, F., y TOMMASONE, R. 1969. "Comparaison de diverses methodes d'interpretation statitisque de liaison entre milieu et la production du pin en Sologne". *Ann. Sci. For.* (26):413-443.

DIXON. D. 1982. "BMDP Statistical Software". Univ. of California Press. Berkeley.

EFROYMSON, H.A. 1960. "Multiple regression analysis". En RALSTON, A., y WILF, H.S. (Edit.) Mathematical methods for digital computers. (1):191-203.

ELENA ROSSELLO, R.; SANCHEZ PALOMARES, O., y CARRETERO CARRERO, P. 1985. "Estudio fisográfico climático de los pinares autóctonos españoles de *Pinus Nigra*". Com. INIA: Ser. Recursos Naturales (n. 36) Madrid.

FRANK, P.S.; HICKS, R.R. y HANER, E.J. 1984. "Biomass predicted by soil-site factor: a case in N.C. West Virginia". *Can. J. For. Res.* (14):137-140.

FOURT, D.F.; DONALD, D.; JEFFERS, J.N., y BINNS, W.O. 9171. "Corsican pine in S. Britain: a study of growth and site factors". *Forestry* (44):189-207.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

GANDULLO, J.M.; GONZALEZ ALONSO, S., y SANCHEZ PALOMARES, O. 1974. "Ecología de los pinares españoles.: IV Pinus Radiata". INIA. Madrid.

GARCIA ABEJON, J.L. 1982. "Curvas de la calidad de la estación del *Pinus Nigra* forma pirenaica". Comunicación Personal.

GAUCH, H.G. 1982. "Multivariate Analysis in community ecology". Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press. Cambridge.

GAUCH, H.G., y WHITTAKER, R.H. 1981. "Hierarchical classification of community data." *Journal of Ecology* (69): 537-557.

GIRARD, M.M.; GOETZ, H., y BJUSGSTAD, A.J. 1989. "Native Woodland Habitat Types of Southwestern North Dakota". *USDA For. Serv. Res. Paper 281.* Fort Collins. Colorado.

GOSRZINSKY, P. 1920. "Sur le calcul du degreé du continentalisme et son aplication dans la climatologie". *Geog. Ann.* 324.

HÄGGLUND, B. 1981. "Evaluation of Forest Site Productivity". *Forestry Abstracs* Review Article. Vol. 42(11):515-527.

HILL, M.O. 1979. " TWINSPAN: a Fortran program for arranging Multivariate Data in an Ordered Two-way Table by Classification of the individuals and attributes". Cornell University Press, Ithaca.

HILL, M.O.; BUNCE, R.G.H., y SHAW, M.W. 1975. "Indicator Species Analysis: a divisive polythetic method of classification and its application to a survey of native pinewood in Scotland". *J. Ecology* (69):597-613.

HILL, M.O., y GAUCH, H.G. 1980. "Detrented correspondence analysis: An improved ordination technique." *Vegetatio* (42):47-58.

HILLS, G.A. 1952. "The use of site in forest management". *For. Chron.* 29:128-136.

HILLS, G.A. 1977. "An integrated iterative holistic approach to ecosystem classification". *Env. Canada.* Ottawa.

JONES, R. 1969. "Review and comparison of site evaluation methods". *USDA For. Serv. Res. Pap.* n.51.

KEENAN, R., y CANDY, S. 1984. "Growth of young eucaliptus in relation to variation in site factors". *Austr. For. Res.* (13):197-205.

KRAJINA, V.J. 1972. "Ecosystem perspectives in forestry". M.R. Mcmillan lectureship in Forestry. Univ. of British Columbia. Vancouver.

LEGENDRE, L., y LEGENDRE, P. 1979. Ecologie Nemérique, Edit. Masson. Paris.

MUELLER DUMBOIS, D., y ELLEMBERG, H. 1974. "Aims and methods of Vegetation Ecology". Edit. Wiley. New York.

MINORE, D.; GRAHAM, J.N., y MURRAY, E.W. 1984. "Environment of forest regeneration in the Illinois Valley of S.W. Oregon". *Res. Note Pacif. N.W. For. and Rang. Exp. Stat.* USDA 413.

NICOLAS, A., y GANDULLO, J.M. 1967. "Ecología de los pinares españoles: I *Pinus pinaster*". IFIE, Madrid.

ORTEGA, A., y MONTERO, G. 1988. "Evaluación de la calidad de las estaciones forestales". Revisión Bibliográfica. *Ecología*, núm. 2, pp. 155-184.

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

PAGE, G. 1970. "Forest site assessment in relation to the productivity of conifers in N. Wales". Univ. of Wales Press, Bangor.

PASCUAL TERRATS, H. 1987. "Flora de los pinares autóctonos españoles de *Pinus nigra* Arn". *Comun. INIA: Ser. Recursos Naturales,* (núm. 46) INIA, Madrid.

PITA CARPENTER, A.P. 1965. "Clasificación provisional de las calidades de la estación de las masas de pino laricio y pino carrasco de la península ibérica". *Anales IFIE* (10):33-59.

PYATT, D.G.; HARRISON, D., y FORD, A.S. 1969. "Guide to the site types in forest of North and Mid-Wales". *For. Rec. For. Comm.*, n. 69. London.

RALSTON, C.W. 1964. " Evaluation of forest site productivity". *Int. Rev. For. Res.* 1:171-201

RENNIE, P.J. 1962. "Methods of assessing forest site capacity". *Trans. 7th Intern. Soc. Soil Sci. Comm.* (IV and V):3-18.

RIVAS MARTINEZ, S. 1987. "Mapa de series de vegetación de España y su memoria". ICONA. Madrid.

ROWE, J.S. 1962. "Soil site and land classification". *For. Chron.* 38:420-432.

SANCHEZ PALOMARES, O.; ELENA ROSSELLO, R., y CARRETERO CARRERO, P. 1990 "Caracterización edáfica de los pinares autóctonos españoles de *Pinus nigra* Arn". Comm. INIA: Serie de recursos Naturales INIA. Madrid.

SCHILLER, G. 1982. "Significance of bedrock as a site factor for Aleppo pine". *For.Ecology and Manag.* (4):213-223.

TER BRAAK, C.J.F. 1985. "Correspondence Analysis of Incidence and Abundance Data: Properties in Terms of a Unimodal Response Model". *Biometrics* (41):859-873.

TER BRAAK, C.J.F. 1986. "Canonical Correspondence Analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis". *Ecology* (67):1167-1179.

TER BRAAK, C.J.F. 1987a. "The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis". *Vegetatio* (69):69-77.

TER BRAAK, C.J.F. 1987b. "Canoco: a Fortran program for canonical community ordination". Wageningen.

TIMBAL, J.; TURREL, M., y DUCREY, M. 1985. "Les facteurs de productivité du Pin noir d'Autriche dans les Alpes du Sud". *Ann. Sci. For.* 42 (3):265-282.

THORNTHWAITE, C.W. 1948. "An approach to a rational classification of climate". *Geog. Rev.* (38):55-94.

VARIOS AUTORES. 1989. "Estudio ecológico del pino canario". *Serie Técnica ICONA*, núm. 6, Madrid.

WHITE, E.J. 1982. "Relationship between height growth of scots pine and site factors in G.B". *For. Env. and Manag.* (4):225-245.

WILLIAMS, W.T., y LAMBERT, J.M. 1961. "Multivariate methods in plant ecology. III Inverse Association Analysis". *Journal of Ecology* (49):717-729.

WHITTAKER, R.H. 1967. " Gradient Analysis of Vegetation". *Biol. Rev.* (42):207-264.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

SUMMARY

Ecological study of the Spanish black pinewoods
(*Pinus nigra* Arn.)

The integration of several ecological monofactor studies (physiographic, climatic, floristic and edaphic) on native black pinewoods (*Pinus nigra* ssp. *salzmannii*) of the Iberian peninsula has been carried out.

After an extensive field survey, data from 122 sample woodstand plots have been analysed in four separate regional studies completing two steps:

1) Plant community characterization of the pinewoods from both tree canopy (Site Index) and understory (Plant Community Type) points of view.

2) Multiple integrated analysis of the ecological factors (Physiography, climate, vegetation and soil) in order to figure out their relationships, emphasizing site quality and obtaining multifactor predicting models at natural region level.

Afterwards, the four regional studies have been put together in an interregional analysis. Consequently an overall view of the Iberian black pinewood ecology is provided.

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Prof. José Manuel Gandullo Gutiérrez, Catedrático y Director del Departamento de Silvopascicultura de la Universidad Politécnica de Madrid, verdadero impulsor del proyecto que culmina con este trabajo y bajo cuya dirección se realizaron los anterirores estudios de ecología de los pinares españoles.

Especial agradecimiento al Dr. Higinio Pascual Terrats, cuya inventariación florística realizada dentro del proyecto y publicada en su correspondiente comunicación ha constituido una colaboración muy estimable.

Nuestro agradecimiento también a todos los que han colaborado en alguna medida en la realización del proyecto, personal de campo y de los laboratorios de suelos del antiguo Departamento de Ecología de INIA.

Por último agradecemos a Jesús de Miguel y del Angel todo el trabajo de delineación de esta monografía.

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

APENDICES

Cuadros Anejos

Cuadro 1: Calidades de las estaciones muestreadas.

Cuadro 2: Identificadores de las especies.

Cuadro 3: Significación estadística de las correlaciones de los parámetros ecológicos con la calidad de estación, según regiones naturales.

Cuadro 4: Tabla del análisis Twinspan de la Orla Pirenaica.

Cuadro 5: Tabla del análisis Twinspan de las Sierras Litorales Mediterráneas y del Sistema Ibérico Oriental.

Cuadro 6: Tabla del análisis Twinspan de las Serranías Conquenses y Alta Alcarria.

Cuadro 7: Tabla del análisis Twinspan de las Sierras Béticas.

En las tablas de los respectivos análisis Twinspan aparecen las clasificaciones de parcelas y de especies confrontadas lo que permite la detección del gradiente ecológico subyacente en términos territoriales (parcelas) y florísticos (especies). Cada círculo que aparece en la intersección de una especie y una parcela indica la presencia de la especie en la parcela.

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

CUADRO 1

CALIDADES DE LAS ESTACIONES MUESTREADAS

N.°	Ident.	CD1	CD2	Forma	N.°	Ident.	CD1	CD2	Forma	N.°	Ident.	CD1	CD2	Forma
1	H1	11.5	III-	P	35	CS2	10.7	IV-	P	69	CU15	10.2	IV-	H
2	H2	8.2	V+	P	36	CS3	7.7	V+	P	70	CU16	11.9	III-	H
3	H3	9.9	IV-	P	37	CS4	13.3	III+	P	71	CU17	13.3	III+	H
4	H4	9.7	IV-	P	38	CS5	14.1	III+	P	72	CU18	13.2	III-	H
5	H5	21.2	I+	P	39	CS6	7.4	V+	P	73	CU19	10.6	IV+	H
6	H6	13.7	III+	P	40	TE2	6.5	V-	P	74	CU20	13.1	III-	H
7	L1	12.2	III-	P	41	TE3	10.8	IV+	P	75	CU21	15.6	II-	H
8	L2	9.2	IV-	P	42	TE4	6.8	V-	P	76	CU22	11.4	IV+	H
9	L3	15.2	II-	P	43	TE5	12.2	III-	P	77	CU23	13.0	III-	H
10	L4	12.3	III-	P	44	TE6	9.9	IV-	P	78	CU24	11.0	IV+	H
11	L5	17.0	II+	P	45	TE7	16.7	II+	P	79	CU25	14.6	III+	H
12	L6	13.7	III+	P	46	TE8	9.0	IV-	P	80	CU26	12.0	III-	H
13	L7	8.6	IV-	P	47	TE9	9.0	IV-	P	81	CU27	11.4	IV+	H
14	L8	9.8	IV-	P	48	TE10	7.3	V+	P	82	CU28	12.7	III-	H
15	L9	13.3	III+	P	49	TE11	6.8	V-	P	83	GU1	13.8	III+	H
16	L10	11.5	III-	P	50	TE12	15.0	II-	P	84	GU2	10.1	IV-	H
17	L11	11.3	IV+	P	51	TE13	9.3	IV-	P	85	GU3	10.8	IV+	H
18	L12	12.5	III-	P	52	TE14	14.9	II-	P	86	GU4	14.7	III+	H
19	L13	11.7	III-	P	53	TE15	9.8	IV-	H	87	GU5	9.4	IV-	H
20	B1	13.9	III+	P	54	TE16	9.6	IV-	H	88	GU6	12.2	III-	H
21	B2	7.0	IV+	P	55	CU1	11.6	IV+	H	89	GU7	10.2	IV-	H
22	B3	16.3	II+	P	56	CU2	10.1	IV-	H	90	SO1	10.8	IV+	P
23	B4	11.6	III-	P	57	CU3	11.3	IV+	H	91	SO2	13.2	III-	P
24	B5	13.8	III+	P	58	CU4	13.0	III-	H	92	AV1	11.0	IV+	H
25	B6	12.8	III-	P	59	CU5	9.9	IV-	H	93	AB1	10.7	IV+	H
26	B7	17.0	II+	P	60	CU6	14.3	III+	H	94	AB2	12.0	III+	H
27	B8	18.5	I-	P	61	CU7	13.3	III-	H	95	AB3	11.9	III-	H
28	T1	8.8	IV-	P	62	CU8	10.1	IV-	H	96	AB4	14.8	III+	H
29	T2	12.3	III-	P	63	CU9	10.6	IV+	H	97	AB5	10.1	IV-	H
30	T3	13.0	III-	P	64	CU10	10.1	IV-	H	98	AB6	12.8	III-	H
31	T4	10.7	IV+	P	65	CU11	17.5	I-	H	99	AB7	11.1	IV+	H
32	T5	10.0	IV-	P	66	CU12	12.1	III-	H	100	AB8	10.4	IV+	H
33	TE1	9.2	IV-	P	67	CU13	14.1	III+	H	101	AB9	9.2	IV-	H
34	CS1	9.1	IV-	P	68	CU14	11.8	III-	H	102	J1	13.5	III+	H

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

CUADRO 1 (continuación)

N.°	Ident.	CD1	CD2	Forma	N.°	Ident.	CD1	CD2	Forma	N.°	Ident.	CD1	CD2	Forma
103	J2	16.6	II+	H	110	J9	11.5	IV+	H	117	J16	13.2	III-	H
104	J3	14.7	III+	H	111	J10	14.9	II-	H	118	J17	10.1	IV-	H
105	J4	10.2	IV-	H	112	J11	18.9	I-	H	119	J18	9.1	IV-	H
106	J5	9.6	IV-	H	113	J12	13.4	III+	H	120	GR1	9.9	IV-	H
107	J6	15.3	II-	H	114	J13	13.2	III-	H	121	GR2	10.1	IV-	H
108	J7	14.2	III+	H	115	J14	15.4	II-	H	122	GR3	10.3	IV+	H
109	J8	16.2	II-	H	116	J15	13.1	III+	H					

CD1: Site Index 50; CD2: Clase de calidad; P: Forma pirenaica; H: Forma hispánica

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

CUADRO 2

IDENTIFICADORES DE LAS ESPECIES

IDENTIF.	ESPECIE	IDENTIF.	ESPECIE
ACG	*Acer opalus*	CDM	*Carduncellus monspeliensium*
ACM	*Acer manspesulanum*	CAF	*Carex flacca*
ACS	*Acer sp.*	CAH	*Carex halleriana*
ACO	*Achillea ororata*	CTC	*Catananche coerulea*
AGE	*Agrimonia eupatoria*	CET	*Centaurea tenuifolia*
AMO	*Amelanchier ovalis*	CEL	*Cephalaria leucanta*
ANL	*Anarrhinum laxiflorum*	CEF	*Cephalantera longifolia*
ANG	*Anthericum liliago*	CLR	*Cephalantera rubra*
ATV	*Anthyllis vulneraria*	CHL	*Chlora perfoliata*
APM	*Aphyllanthes monspeliensis*	CIF	*Cirsium flavispina*
ARU	*Arctostaphyllos uva-ursi*	CSL	*Cistus laurifolius*
ALZ	*Argyrolobium zanonii*	COM	*Coris monspeliensis*
AHE	*Arrhenatherum elatius*	CNS	*Cornus sanguinea*
ASC	*Asperula cynanchica*	CEM	*Coronilla emerus*
ADC	*Asphodelus cerasiferus*	CRM	*Coronilla minima*
AAI	*Astragalus incanus*	COT	*Coriaria mirtifolia*
AAM	*Astragalus monspessulanum*	CTM	*Crataegus monogyna*
AVB	*Avenula bromoides*	CPA	*Crepis albida*
AVG	*Avenula gonzaloi*	CAN	*Crucianella angustifolia*
AVP	*Avenula pratensis*	CYS	*Cytisus sessilifolius*
BLS	*Bellis sylvestris*	DAG	*Dactylis glomerata*
BBV	*Berberis hispanica*	DPG	*Daphne gnidium*
BAR	*Betonica algeriensis*	DPL	*Daphne laureola*
BSL	*Biscutella laevigiata*	DIH	*Dianthus hispanicus*
BSV	*Biscutella valentina*	DGO	*Digitalis obscura*
BSR	*Biscutella variegata*	DOH	*Dorycnium hirsutum*
BRP	*Brachypodium phoenicoides*	DOP	*Dorycnium pentaphylium*
BRR	*Brachypodium retusum*	ERM	*Erica multiflora*
BRS	*Brachypodium sylvaticum*	ERA	*Erinacea anthyllis*
BZM	*Briza media*	ERG	*Erysimum grandiflorum*
BME	*Bromus erectus*	EUA	*Euphorbia amygdaloides*
BUF	*Bupleurum fruticescens*	EUE	*Euphorbia esula*
BUR	*Buplerum rigidum*	EUM	*Euphobia mariolensis*
BXS	*Buxus sempervirens*	EUN	*Euphobia nicaensis*

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

CUADRO 2 (continuación)

IDENTIF.	ESPECIE	IDENTIF.	ESPECIE
FOV	*Festuca ovina*	LAA	*Lavandula angustifolia*
FEP	*Festuca paniculata*	LAL	*Lavandula latifolia*
FER	*Festuca rubra*	LAP	*Lavandula pedunculata*
FET	*Festuca triflora*	LEV	*Leucanthemum vulgare*
FRV	*Fragata vesca*	LZC	*Leuzea conifera*
GAH	*Galium helodes*	LIV	*Ligustrum vulgare*
GAM	*Galium maritimum*	LMA	*Limidorum abortivum*
GAP	*Galium pinetorum*	LNN	*Linum narbonense*
GAV	*Galium vernum*	LNS	*Linum suffruticosum*
GAS	*Galium sp.*	LOI	*Lonicera implexa*
GEH	*Genista hispanica*	LOX	*Lonicera xylosteum*
GEP	*Genista pumila*	LTC	*Lotus corniculatus*
GPS	*Genista pseudopilosa*	MEL	*Medicago lupulina*
GES	*Genista scorpius*	MES	*Medicago suffruticosa*
GMS	*Geum sylvaticum*	MOH	*Monotropa hypopithys*
GLV	*Globularia vulgaris*	NAP	*Narcisus palidulus*
HEH	*Hedera helix*	OBS	*Onobrychis supina*
HTC	*Heliantheum canum*	OAN	*Ononis antiquorum*
HTN	*Heliantheum cinereum*	ONA	*Ononis aragonensis*
HTR	*Heliantheum croceum*	ONP	*Ononis pusilla*
HTM	*Heliantheum nummularium*	ONS	*Ononis spinosa*
HTO	*Heliantheum origanifolium*	ORC	*Orchis sp.*
HTS	*Heliantheum sp.*	ORR	*Origanum virens*
HCS	*Helichrysum stoechas*	ORV	*Origanum vulgare*
HLC	*Helichtotrichon filifolium*	PEB	*Paeonia broteroi*
HLF	*Helleborus foetidus*	PHP	*Phleum phleoides*
HPN	*Hepatica nobilis*	PHM	*Phyllirea media*
HRM	*Hieracium murorum*	PIP	*Pinus pinaster*
HRP	*Hieracium pilosella*	PIS	*Pinus sylvestris*
HSP	*Hieracium sp.*	PPP	*Piptaptherum paradoxum*
HIG	*Hippocrepis glauca*	PLB	*Polygala boissieri*
IBP	*Iberis pruitii*	PLC	*Polygala calcarea*
ILA	*Ilex aquifolium*	POC	*Potentilla cinerea*
IOP	*Ionopsidium prolongoi*	POT	*Potentilla tabernaemontani*
JUC	*Juniperus communis*	PMV	*Primula veris*
JUO	*Juniperus oxycedrus*	PMG	*Primula vulgaris*
JUP	*Juniperus phoenicea*	PNG	*Prunella grandiflora*
JUS	*Juniperus sabina*	PRS	*Prunus spinosa*
JUT	*Juniperus thurifera*	PTA	*Pteridium aquilinum*
KNA	*Knautia arvensis*	PYO	*Pyrola oblacantha*
KNS	*Knautia sylvatica*	QUR	*Quercus cerrioides*
KSB	*Knautia subscaposa*	QUC	*Quercus coccifera*
KOV	*Koeleria vallesiana*	QUI	*Quercus ilex*
LRF	*Lathyrus filiformis*	QUL	*Quercus faginea*

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

CUADRO 2 (continuación)

IDENTIF.	ESPECIE	IDENTIF.	ESPECIE
QUP	*Quercus pubescens*	TEA	*Teucrium aragonensis*
RAG	*Ranunculus gregarius*	TEC	*Teucrium chamaedrys*
RHI	*Rhamnus saxatilis*	TEP	*Teucrium polium*
RSS	*Rosa spinosissima*	TEY	*Teucrium pyrenaicum*
ROS	*Rosa sp.*	TLT	*Thalictrum tuberosum*
ROO	*Rosmarinus officinalis*	TPV	*Thapsia villosa*
RUP	*Rubia peregrina*	TMB	*Thymus bacteatus*
RBU	*Rubus ulmifolius*	THH	*Thymus hyemalis*
SVL	*Salvia lavandulaefolia*	THL	*Thymus leptophillus*
SGM	*Sanguisorba minor*	THM	*Thymus mastichina*
SGS	*Sanguisorba sp.*	THV	*Thymus vulgaris*
SPO	*Saponaria ocymoides*	TRC	*Trifolium campestre*
SAR	*Cytisus reverchonii*	TRM	*Trifolium medium*
SJM	*Satureja montana*	TRP	*Trifolium pratense*
SXG	*Saxifraga granulata*	VIL	*Viburnum lantana*
SCC	*Scabiosa columbaria*	VCP	*Vicia pyrenaica*
SCT	*Scabiosa tomentosa*	VCS	*Vicia sativa*
SZG	*Scorzonera graminifolia*	VCT	*Vicia tenuifolia*
SNC	*Serratula nudicaulis*	VOS	*Viola suavis*
SVA	*Solidago virgo-aurea*	VOW	*Viola willkommii*
SOA	*Sorbus aucuparia*	VIO	*Viola sp.*
STD	*Staehelina dubia*		

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

CUADRO 3

Tabla de significatividad estadística de los coeficientes de correlación de las distintas variables ecológicas y la calidad de la estación (CD1) en cada una de las Regiones Naturales establecidas en el estudio fisiográfico-climático.

	Orla Pirenaica	Sist. Ibér. y Sier. Cost. Med.	Serr. Conq. y Alta Alcarria	Sierras Béticas
ALT				***
INS		*		
ING			*	
TM				*
IV				* *
ETP				* *
CAL				***
ITV	* *			*
PDG	* *	* *		***
TF	*		*	*
LIM				***
ARC			* *	
ARF				*
CCC	*			*
CEL	***		* *	* *
PH			*	
PHS			* *	
MO				* *
MOS				* *
N				* *
NS				* *
CAI			* *	*
CAC				* *
CAS			* *	*
P			* *	
K			***	
CA				*

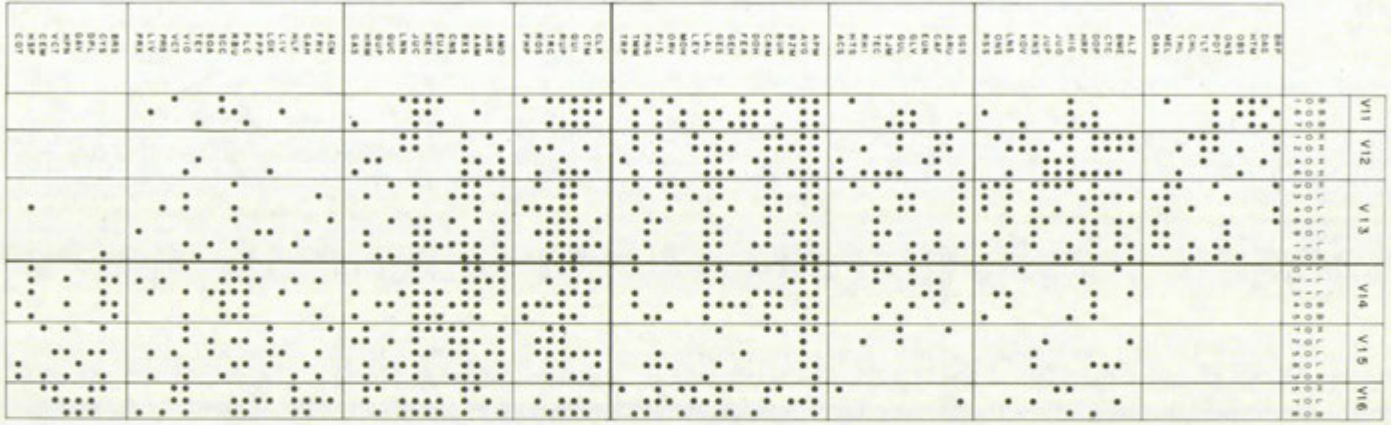
Las variables ecológicas son identificadas según los códigos del epígrafe 2.2.3.
La significatividad estadística viene codificada por los siguientes símbolos: *** = Significativo a P<0,001; * * = Significativo a P<0,01; * = Significativo a P<0,05.

© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

CUADRO 4

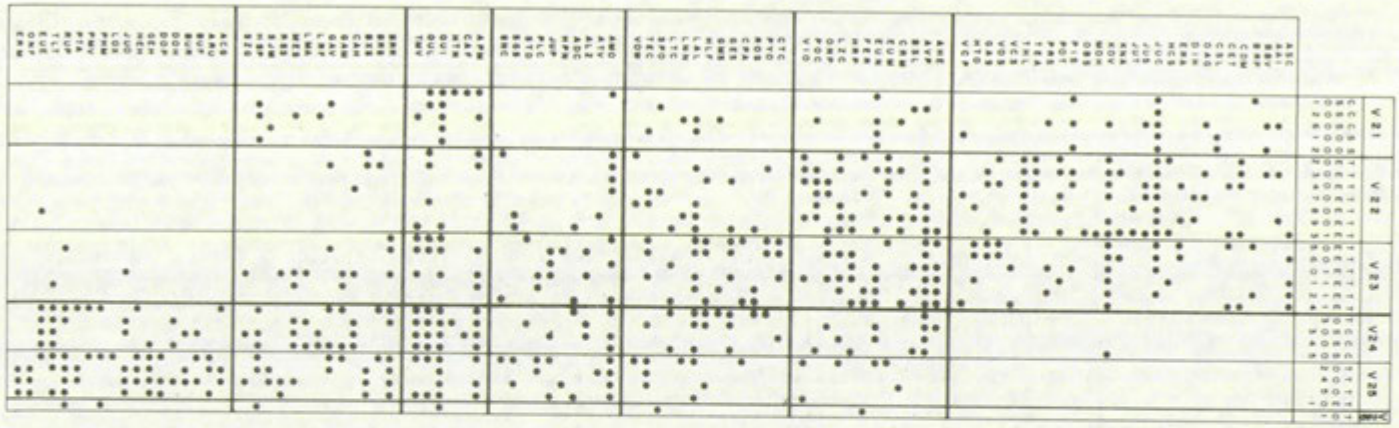
TABLA DEL ANALISIS TWINSPAN DE LA ORLA PIRENAICA



© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

CUADRO 5

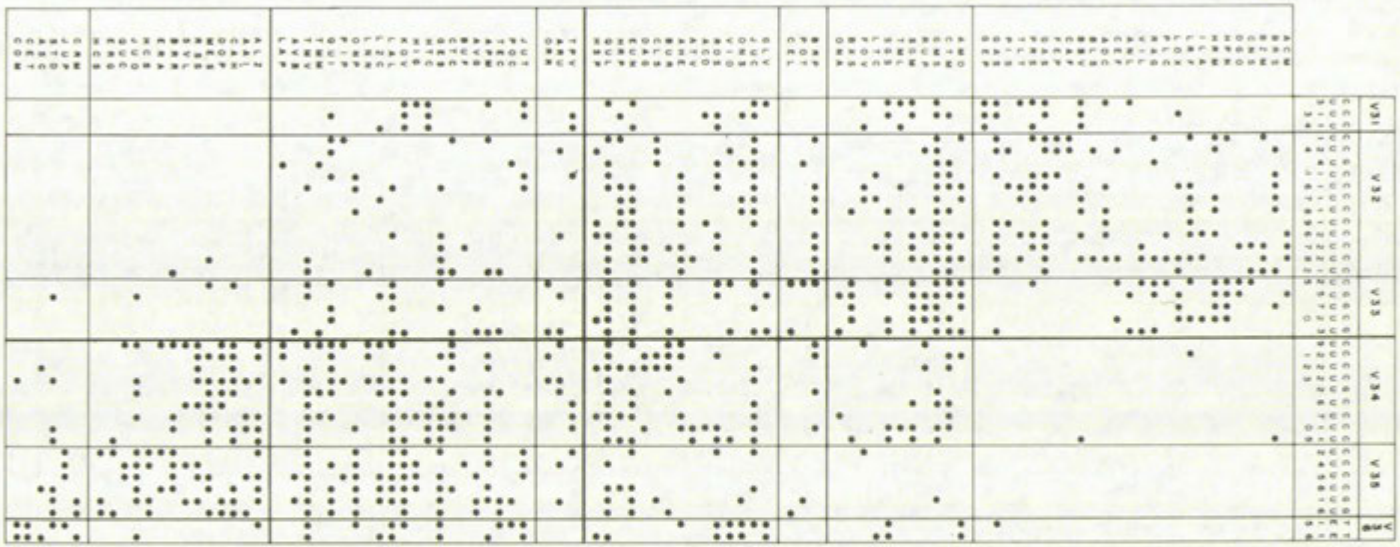
TABLA DEL ANALISIS TWINSPAN DE LAS SIERRAS LITORALES MEDITERRANEAS Y DEL SISTEMA IBERICO ORIENTAL



Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es

CUADRO 6

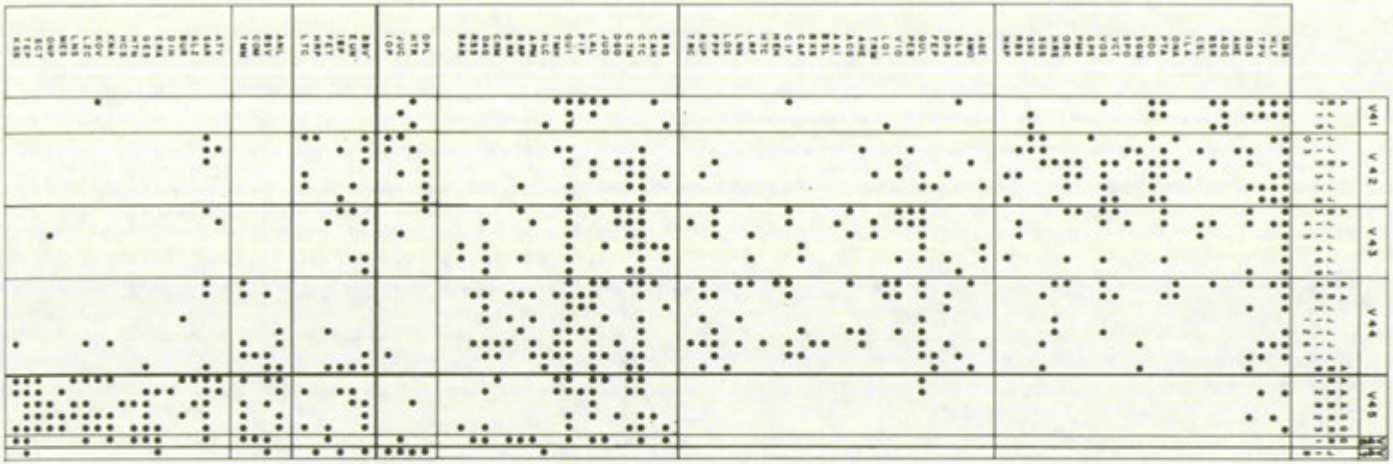
TABLA DEL ANALISIS TWINSPAN DE LAS SERRANIAS CONQUENSES Y ALTA ALCARRIA



© INIA © del autor o autores / Todos los derechos reservados

CUADRO 7

TABLA DEL ANALISIS TWINSPAN DE LAS SIERRAS BETICAS



PUBLICACIONES DEL

INSTITUTO NACIONAL
DE INVESTIGACION Y
TECNOLOGIA AGRARIA
Y ALIMENTARIA

Copia gratuita. Personal free copy http://libros.inia.es