

# CARACTERIZACIÓN DE MASAS MIXTAS DE PINO CARRASCO Y ENCINA EN EL MACIZO DEL MONTSENY (NORESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA)

Javier Retana<sup>1</sup>, Marc Gracia<sup>1,2</sup>, Jose María Espelta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, Facultat de Ciències, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra (Barcelona) España.

<sup>2</sup> Departamento de Producción Vegetal y Ciencia Forestal, Universidad de Lérida, Rovira Roure 177, 25006 Lérida, España.

## 1. INTRODUCCIÓN

La encina y el pino carrasco son dos de las especies forestales más importantes del área mediterránea. En Cataluña, las masas mixtas y puras de ambas especies representan más del 30% de la superficie arbolada y cerca del 40% de pies (según datos del Inventario Ecológico y Forestal de Cataluña). La encina es considerada una especie tolerante a la sombra, de crecimiento lento (FERRÉS 1985, CARTAN-SON *et al.* 1992, LLEDO *et al.* 1992), que llega a formar, tanto en suelos calcáreos como silíceos, masas bien desarrolladas donde es la única especie dominante. El pino carrasco es una especie intolerante a la sombra, de crecimiento rápido (ACHERAR *et al.* 1984, TRABAUD 1988, MORAVEC 1990), más resistente a la sequía que la encina, e igualmente tolerante a suelos calcáreos y silíceos. En muchos casos forma masas abiertas sin verdaderas condiciones nemorales. En el último siglo, la importancia del pino carrasco en el paisaje mediterráneo ha aumentado, tanto por su colonización de zonas de agricultura marginal abandonadas, como por la modificación del régimen de perturbaciones en las masas forestales.

En ausencia de influencias externas, es de esperar, a largo plazo, la dominancia de la encina en la mayoría de lugares. Sin embar-

go, la explotación intensa por parte del hombre en algunas zonas impide o dificulta que la encina pueda desarrollar masas mono-específicas, ya que el pino se ve beneficiado por el régimen de perturbación mantenido. El resultado conjunto de la tendencia natural y de esta perturbación humana es la presencia de un gradiente de situaciones intermedias entre encinares y pinares. En las masas mixtas, ambas especies reparten su dominancia en la cubierta del bosque, creando un microclima diferente al de las masas puras. Así, tal como ha sido sugerido también para otras masas mixtas (PARKER 1984, YEATON 1984, NOWACKI *et al.* 1990, ALLEN *et al.* 1991a), encontramos diferentes tipologías de bosque relacionadas con los factores topográficos y estadios de desarrollo después de la perturbación.

El conocimiento que tenemos actualmente sobre las masas mixtas de pino carrasco y encina es bastante escaso. Así pues, el estudio de los principales parámetros estructurales del bosque en un gradiente de masas con diferente predominio de pino y encina es importante a la hora de poder interpretar posteriormente su dinámica y regeneración. En el presente estudio, se pretende analizar la variación en la composición de masas mixtas de pino y encina que resulta de los diferentes factores ambientales, comparando

la estructura de los diferentes tipos de masas forestales que se distinguen a lo largo del gradiente.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se ha llevado a cabo en un área de 900 ha localizada al sudeste del macizo del Montseny (a 40 km de Barcelona). Estos bosques han sido tradicionalmente explotados por entresaca por huroneo. Según los datos del observatorio más cercano a la zona de estudio, la temperatura media anual dentro del área es de 15,2 °C, con temperaturas medias de enero y febrero de 7,8 y 23,7 °C respectivamente, y precipitación media anual de 625 mm. La precipitación se distribuye de forma irregular a lo largo del año, con una sequía estival marcada. Los suelos se han desarrollado sobre esquistos metamórficos (entisuelos o inceptisuelos según la clasificación de la USDA).

Para este estudio se escogieron al azar 68 parcelas circulares de 12 m de radio, en las que la masa presentaba diferentes proporciones de encina y de pino. La altitud de las parcelas se situaba entre 360 m y 750 m, y la pendiente entre 70 y 40°. Por la localización del área de estudio dentro del macizo del Montseny, las orientaciones principales fueron sur y oeste. En cada parcela se tomaron las siguientes medidas:

- Factores topográficos: orientación, pendiente, altitud, y la altura angular del horizonte en 8 direcciones a intervalos de 45°. La radiación solar potencial en cada parcela se ha calculado usando el programa Radiac (GRACIA, 1990), que usa datos topográficos y geográficos para calcular la radiación potencial mensual directa, difusa y total.

- Propiedades del suelo: profundidad, recubrimiento de piedras y rocas (en escala cualitativa), textura, pH, contenido en materia orgánica, contenido en carbono y contenido total de nitrógeno.

- Medidas individuales del tamaño de todos los árboles de la masa mayores de 5 cm de D.N.: D.N., altura, superficie de

copa (calculada a partir de dos diámetros perpendiculares) y espesor de copa (medida desde la base viva de la copa).

- En la parcelas cortadas, se han tomado dos medidas perpendiculares del diámetro de los tocones. El D.N. de los pies cortados se ha estimado a partir del diámetro del tocón (DT) usando las siguientes ecuaciones de regresión calculadas para el pino carrasco y la encina en la misma zona.

$$\text{D.N.} = 0,81 * \text{DT} - 1,84 \quad (r=0,98, p=0,001) \text{ (para el pino carrasco)}$$

$$\text{D.N.} = 0,82 * \text{DT} - 0,81 \quad (r=0,97, p=0,001) \text{ (para la encina)}$$

El estudio de la relación entre el número de árboles de ambas especies en las diferentes clases diametrales (2,5 cm de amplitud) y las variables ambientales de las diferentes parcelas se ha llevado a cabo mediante un análisis de correspondencias canónicas (CCA). Esta técnica de ordenación multivariante no detecta únicamente patrones de variación de las especies (o clases de tamaño en este caso) entre parcelas, sino también las relaciones principales entre estos datos y cada una de las variables ambientales (ver BRAAK 1986, 1987a,b). A partir de las coordenadas de los primeros ejes del CCA, se ha calculado la matriz de distancias euclidianas al cuadrado y los individuos han sido separados entre clases mediante métodos jerárquicos de clasificación.

En este estudio, las parcelas han sido clasificadas de acuerdo con la proporción de área basimétrica de pino carrasco y encina, distinguiéndose los siguientes tipos de masas:

1. Masas de encina (n=23): el área basimétrica de encina es más del 75% del área basimétrica total.
2. Masas mixtas con predominio de encina (n=10): el área basimétrica de encina se sitúa entre 50-75% del área basimétrica total.
3. Masas mixtas con predominio de pino carrasco (n=9): el área basimétrica de encina se sitúa entre 25-50% del área basimétrica total.

4. Masas de pino carrasco (n=26): el área basimétrica de encina es inferior al 25% del área basimétrica total.

Para algunos análisis, las categorías 2 y 3 se han considerado conjuntamente como masas mixtas.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Factores que influyen en la distribución de la encina y del pino carrasco en masas mixtas

En las sesenta y ocho parcelas muestreadas e incluidas en el presente estudio, la densidad antes de la corta varió de 685 pies/ha en algunas masas de pino carrasco hasta 3.979 pies/ha en algunas masas casi puras de encina. Las áreas basimétricas fueron de 13,3 a 38,5 m<sup>2</sup>/ha, correspondiendo los valores superiores a 25 m<sup>2</sup>/ha a masas maduras de las estaciones de mayor calidad. Los tres factores topográficos considerados (altitud, orientación y pendiente) resultaron ser independientes entre sí (prueba ji cuadrado,  $p > 0,5$  en todos los casos).

En las tres categorías diferenciadas en el gradiente de altitud (<450 m, 450-550 m, >550 m), la densidad total de pies aumentó ligeramente con la altitud (Análisis de la varianza,  $F_{2,65}=4,2$ ,  $p < 0,01$ ) mientras que el área basimétrica no varió significativamente (Análisis de la varianza,  $F_{2,65}=0,27$ ,  $p > 0,7$ ). No obstante, la altitud influyó en la proporción de cada especie en la masa: tanto el área basimétrica como la densidad de encina aumentaron con la altitud, mientras que para el pino carrasco ambas variables disminuyeron por encima de 550 m (Figura 1). Las diferencias fueron significativas para ambas especies (Análisis de la varianza: para la encina,  $F_{2,65}=8,36$  y  $p < 0,001$  para el área basimétrica, y  $F_{2,65}=8,51$  y  $p < 0,001$  para la densidad de pies; para el pino,  $F_{2,65}=10,16$  y  $p < 0,0001$  para el área basimétrica, y  $F_{2,65}=5,1$  y  $p < 0,01$  para la densidad de pies).

La orientación no influyó en la densidad total de pies (Análisis de la varianza,  $F_{3,64}=1,92$ ,  $p > 0,1$ ) ni en el área basimétrica

total (Análisis de la varianza,  $F_{3,64}=1,82$ ,  $p > 0,15$ ), pero se observó un marcado contraste entre los tipos de vegetación presentes en las cuatro orientaciones (Figura 2). Las estaciones orientadas al sur tuvieron una mayor proporción de pinos, mientras que las orientadas al norte tuvieron una mayor proporción de encinas; las estaciones orientadas al este y al oeste mostraron valores intermedios (Análisis de la varianza: para la encina,  $F_{3,64}=3,6$  y  $p < 0,05$  para el área basimétrica y la densidad de pies; para el pino,  $F_{3,64}=4,2$  y  $p < 0,01$  para el área basimétrica, y  $F_{3,64}=4,0$  y  $p < 0,05$  para la densidad de pies). Estas tendencias también se encontraron en los valores de radiación potencial anual en las parcelas de las cuatro orientaciones: 144(7 kcal/cm<sup>2</sup>/año para parcelas de orientación sur, 125(6 kcal/cm<sup>2</sup>/año para parcelas de orientación este, 116(20 kcal/cm<sup>2</sup>/año para parcelas de orientación oeste y 78(16 kcal/cm<sup>2</sup>/año para parcelas de orientación norte (las diferencias resultaron significativas: Análisis de la varianza,  $F_{3,64}=47,2$ ,  $p = 0,0001$ ).

La pendiente (clasificada en tres categorías: <20°, 20-30° y >30°) influyó tanto en la densidad total de pies (Análisis de la varianza,  $F_{2,65}=5,2$ ,  $p < 0,01$ ) como en el área basimétrica total (Anova,  $F_{2,65}=9,0$ ,  $p < 0,001$ ), de tal manera que ambos parámetros estructurales tuvieron valores significativamente más altos en parcelas con pendiente menor a 20° que en las otras dos categorías. Este hecho también resultó evidente cuando se consideró el pino carrasco por separado (Análisis de la varianza,  $F_{2,65}=3,2$  y  $p < 0,05$  para el área basimétrica, y  $F_{2,65}=3,3$  y  $p < 0,05$  para la densidad de pies), pero no para la encina, donde las diferencias halladas fueron despreciables (Análisis de la varianza,  $F_{2,65}=1,0$  y  $p > 0,3$  para el área basimétrica, y  $F_{2,65}=1,1$  y  $p > 0,3$  para la densidad de pies).

Se utilizó el análisis de correspondencias canónicas (CCA) para determinar las variables ambientales que mejor explicaban los gradientes de distribución de ambas especies (a partir del número de árboles incluidos en las diferentes clases de diámetro). Los dos primeros ejes del CCA explican un tercio de la varianza total de la composición específica

del bosque (35,8%), y el 73,4% de la varianza de la relación especies-ambiente. De la Tabla 1 se deduce que el primer eje es un gradiente topográfico, en el que las parcelas de mayor altitud y orientación norte se oponen a las de menor altitud y orientación sur. Los suelos de estas últimas son más calcáreos, con un pH más alto, una textura más fina y un contenido de materia orgánica más elevado. Las correlaciones del segundo eje muestran un contraste entre las parcelas con mejores condiciones de suelo para el crecimiento de los árboles (especialmente mayor profundidad), y las parcelas con peores condiciones (mayor pendiente, mayor rocosidad).

A partir de las coordenadas de los primeros ejes del CCA, las parcelas se agruparon en cuatro clases. Los grupos identificados se distinguen en la Figura 3 por medio de una línea punteada: las masas dominadas por pinos, las masas mixtas y las masas dominadas por encinas están separadas a lo largo del eje 1, mientras que las masas caracterizadas por estar situadas en condiciones topográficas adversas y tener un gran número de árboles de especies del sotobosque (como *Erica arborea*, *Arbutus unedo*, *Rhamnus alaternus*, etc) quedan en el extremo positivo del eje 2. Este último grupo incluye tanto masas puras como mixtas.

### 3.2 Estructura de los diferentes tipos de bosque

Las parcelas se agruparon en cuatro tipos según la proporción de área basimétrica de encina y de pino carrasco (ver métodos). En la Tabla 2 se indica la composición específica del vuelo en los cuatro tipos de bosque. La encina y el pino carrasco fueron las especies dominantes, aunque también se encontraron individuos esporádicos de *Pinus pinea*, *Quercus pubescens* y *Quercus faginea*, así como individuos grandes (con D.N. superior a 5 cm, considerados como árboles en este estudio) de especies características del sotobosque como *Arbutus unedo*, *Erica arborea* y *Juniperus oxycedrus*.

En la Tabla 3 se resumen las principales características estructurales de los cuatro

tipos de bosque. La densidad total de pies se incrementó al aumentar la proporción de encinas (Análisis de la varianza,  $F_{3,64}=13,6$ ,  $p<0,0001$ ), pero el área basimétrica media (22-24 m<sup>2</sup>/ha) no fue significativamente distinta (Análisis de la varianza,  $F_{3,64}=0,2$ ,  $p>0,8$ ). La mortalidad de pies fue bastante baja en los cuatro tipos de bosque considerados: 0,9-2,4% de los pies de encina y 0-8,9% de los pinos estaban muertos; las diferencias entre tipos de bosque no fueron significativas (prueba ji-cuadrado=7,8, 3 gl,  $p>0,05$  para la encina, y ji-cuadrado=4,2, 3 gl,  $p>0,2$  para el pino carrasco). Los pies muertos de ambas especies estaban principalmente concentrados en las clases más pequeñas de tamaño.

Las medidas individuales de tamaño y forma de los árboles en los cuatro tipos de bosque se muestran en la Tabla 4. Considerando conjuntamente los pies de las dos especies, el D.N., el área basimétrica, la altura y el área de la copa disminuyeron cuando aumentó la proporción de encinas, lo cual era de esperar, considerando el menor tamaño de la encina respecto al pino carrasco. No existió ninguna tendencia significativa en el cociente establecido entre el diámetro medio de la copa y su espesor. Tanto en las encinas como en los pinos, el D.N. y el área basimétrica aumentaron con el aumento de la proporción de encina en la masa, mientras que la altura del pino disminuyó y la de la encina no mostró ninguna tendencia clara. La superficie de copa y la relación entre el diámetro de copa y su espesor aumentaron en ambas especies a medida que disminuía su proporción en el rodal.

Las parcelas se agruparon en cuatro categorías según la densidad total de pies antes de la corta. En cada categoría se realizó un análisis de regresión lineal con las medidas de forma de los árboles. La Figura 4 muestra las correlaciones más interesantes para cada una de las especies por separado. En el caso de la encina, la pendiente de la regresión de la altura respecto al D.N. aumentó con la densidad total de pies (los valores de r son significativos y van de 0,45 a 0,54). La pendiente de la regresión entre la superficie de copa y el D.N. disminuyó con la densidad total de pies (con valores de r significativos

y variando de 0,65 a 0,82). En el caso del pino carrasco, ni la relación D.N.: altura (con valores de  $r$  significativos y entre 0,59 y 0,64), ni la relación área de la copa: D.N. (con valores de  $r$  significativos y entre 0,81 y 0,92) variaron significativamente en los cuatro tipos de bosque.

#### 4. DISCUSIÓN

La disponibilidad de luz y de agua, especialmente la de agua en zonas mediterráneas que sufren sequía durante el verano, son factores limitantes para el crecimiento de las plantas (MOONEY, 1987). Existe una interacción entre ambos factores, ya que la radiación solar afecta al régimen de humedad del suelo. El resultado de esta interacción es que la composición específica de la vegetación está normalmente relacionada con la altitud o, para una altitud determinada, con diferencias en la radiación solar incidente (ALLEN et al 1991 a,b). Así pues, se establece un gradiente de humedad topográfico: en los puntos más altos y/o orientados al norte, la temperatura es menor, la precipitación mayor y los niveles de humedad del suelo superiores; en los puntos más bajos y/o orientados al sur, los árboles encuentran condiciones más cálidas donde los niveles de humedad pueden ser muy bajos (PARSONS 1976, ARMESTO & MARTÍNEZ 1978, ALLEN et al 1991a). Este marcado contraste que existe entre tipos de vegetación hallados en diferentes orientaciones y altitudes también se ha observado en las masas mixtas de encina y pino carrasco de este estudio: en zonas de poca altitud orientadas al sur predomina el pino carrasco, mientras que en zonas más elevadas y orientadas al norte la encina tiende a formar masas monoespecíficas.

Las parcelas de mayor altitud y orientación norte y las de menor altitud y orientación sur están opuestas en los dos extremos del primer eje del CCA, a lo largo del cual se sitúan las masas con predominio de pino, las mixtas y las de predominio de encina. Sin embargo, a pesar de que el análisis de correspondencias canónicas ha demostrado ser útil para identificar gradientes ambientales que

ayudan a explicar las estructuras más relevantes del bosque, estos gradientes sólo dan cuenta de una proporción relativamente pequeña (un tercio en este estudio) de la variación de la vegetación total. Esto concuerda con resultados de estudios similares (GAGNON & BRADFIELD 1986, ALLEN et al. 1991a) y sugiere que factores históricos y de gestión (básicamente perturbaciones) son los responsables de la mayor parte de la variabilidad de la vegetación.

En las masas mixtas del presente estudio, la encina y el pino carrasco son las especies principales del sotobosque, apareciendo solamente de manera esporádica individuos de otras especies. Cuando las parcelas estudiadas se subdividen en cuatro grupos según la proporción de ambas especies, es interesante notar que el área basimétrica media es muy similar en todos los casos (alrededor de 22-24 m<sup>2</sup>/ha). La proporción de encinas y de pinos en estas masas mixtas afecta a la forma individual de los árboles: el área de copa y el cociente entre el diámetro medio de copa y el espesor de copa aumenta para una especie cuando su proporción en la masa disminuye. Esto sugiere una mayor sensibilidad de estas variables tamaño/forma a la competencia intraespecífica que a la interespecífica. Este hecho ha sido también observado por KITTREDGE (1988) en masas mixtas del sur de Inglaterra con una elevada proporción de robles y, por tanto, con un alto grado de competencia por el espacio vegetativo en el dosel de copas: los robles con copas en ese estrato tienen una menor proyección del área de la copa y menor biomasa foliar por árbol, lo que hace que tengan una menor capacidad para aumentar el crecimiento en diámetro.

La aparente estabilidad de los bosques a escala humana y el hecho de que patrones similares hayan sido observados en parajes diversos durante siglos por los naturalistas, han ocultado las variaciones constantes y a veces drásticas tanto en el espacio como en el tiempo debido a perturbaciones, variaciones climáticas, y otros factores (OLIVER & LARSON 1990). Los encinares, que en muchos casos ocupan el lugar de los robledales de *Quercus pubescens* destruidos por

la acción humana (ROMANE *et al.* 1992), han sido una de las biocenosis más extendidas por el hombre a lo largo de la historia en la vertiente norte del mediterráneo. Más recientemente, el cambio en los usos y aprovechamientos del bosque ha producido una expansión del pino carrasco, ya sea mediante la repoblación directa o, de forma indirecta, por la aparición de zonas propicias para su regeneración natural. En muchos casos se ha asistido a la aparición de masas mixtas que plantean preguntas importantes desde el punto de vista de su funcionamiento y respuesta a las perturbaciones (fuego, corta, herbivorismo, etc), claves para poder fijar unos objetivos y definir en consecuencia el manejo más adecuado para estas masas. La estructura y dinámica actual de estas masas se encuentra fuertemente marcada por las perturbaciones humanas, especialmente por el régimen de cortas a que se encuentran sometidas, que les impide desarrollarse de manera natural. En el caso de que persistan similares niveles de perturbación, es difícil saber si estas masas alcanzarán un estado de equilibrio basado en la autosucesión a lo largo de gradientes topográficos, o si la proporción de especies fluctuará de acuerdo con la frecuencia y la intensidad de las cortas. Si la gestión actual desapareciera, desconocemos hasta qué punto el régimen natural de perturbación sería capaz de mantener masas mixtas de pino y encina, o si se produciría un cambio hacia mosaicos monoespecíficos. Sólo futuros estudios sobre la regeneración y los patrones de crecimiento de ambas especies en función de la calidad de estación y las condiciones iniciales de la masa, y bajo diferentes regímenes de perturbación, permitirán un mejor conocimiento de la dinámica a corto y a largo término de estos bosques.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- ACHERAR, M., LEPART, J., DEBUSSCHE, M. (1984). *La colonisation des friches par le pin d'Alep (Pinus halepensis) en Languedoc méditerranéen*. Acta Oecologica, Oecol. Plant. 5: 179-189.
- ALLEN, R.B., REIF, A., HALL, G.M.J. (1991a). *Elevational distribution of conifer-broadleaved hardwood forests on South Island, New Zealand*. J. Veg. Sci. 2: 323-330.
- ALLEN, R.B., PEET, R.K., BAKER, W.L. (1991b). *Gradient analysis of latitudinal variation in Southern Rocky Mountain forests*. J. Biogeogr. 18: 123-139.
- ARMESTO, J.J., MARTÍNEZ, J.A. (1978). *Relations between vegetation structure and slope aspect in the Mediterranean region of Chile*. J. Ecol. 66: 881-889.
- CARTON-SON, M., FLORET, C., GALAN, M.J., GRANDJANNY, M., LE FLOC'H, E., MAISTRE, M., PERRET, P., ROMANE, F. (1992). *Factors affecting radial growth of Quercus ilex in a coppice stand in southern France*. Vegetatio 99-100: 61-68.
- FERRES, L. (1985). *Creixement i producció primària neta a l'alzinar de la Castanya (Montseny, Barcelona)*. Orsis 1: 71-79.
- GAGNON, D., BRADFIELD, G. (1986). *Relationships among forest strata and environment in southern coastal British Columbia*. Can. J. For. Res. 16: 1264-1271.
- GRACIA, C.A. (1990). *Programa CREAM*. CREAM Publ., Barcelona.
- KITTREDGE, D.B. (1988). *The influence of species composition on the growth of individual red oaks in mixed stands in southern New England*. Can. J. For. Res. 18: 1550-1555.
- LLEDO, M.J., SÁNCHEZ, J.R., BELLOT, J., BORONAT, J., IBÁÑEZ, J.J., ESCARRÉ, A. (1992). *Structure, biomass and production of a resprouted holm oak (Quercus ilex) forest in NE Spain*. Vegetatio 99-100: 51-59.
- MOONEY, H.A. (1987). *The impact of environmental stress on plant performance in Mediterranean climate ecosystems*. En: J.D. Tenhunen, F.M. Catarino, O.L. Lange, W.C. Oechel (eds.), *Plant response to stress. Functional analysis in Mediterranean ecosystems*, pp. 641-661. Springer Verlag, Berlin.

- MORAVEC, J. (1990). *Regeneration of N.W. african Pinus halepensis forests following fire*. *Vegetatio* 87: 29-36.
- NOWACKI, G.J., ABRAMS, M.D., LORIMER, C.G. (1990). *Composition, structure and historical development of northern red oak stands along an edaphic gradient in north-central Wisconsin*. *For. Sci.* 36: 276-292.
- OLIVER, C.D., LARSON, B.C. (1990). *Forest stands dynamics*. Mc Graw Hill, New York.
- PARKER, A.J. (1984). *Mixed forests of red fir and white fir in Yosemite National Park, California*. *Am. Midl. Natur.* 112: 15-23.
- PARSONS, D.J. (1976). *Vegetation structure in the mediterranean scrub communities of California and Chile*. *J. Ecol.* 64: 435-447.
- ROMANE, F., BACILIERI, R., BRAN, D., BOUCHET, M.A. (1992). *Natural degenerate Mediterranean forests: which future?. The examples of the holm oak (Quercus ilex) and chestnut (Castanea sativa) coppice stands*. En: Teller, A., Mathy, P., Jeffers J.N.R. (eds), *Responses of forest ecosystems to environmental changes*, pp. 374-380. Elsevier Applied Science.
- 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 correspondenca analysis*. *Vegetatio* 69: 69-77.
- TER BRAAK, C.J.F. (1987b). *Ordination*. En: JONGMAN, H.G. , TER BRAAK C.F.J., VAN TONGEREN O.F.R. (eds.), *Data analysis in community and landscape ecology*, pp 91-173. Pudoc, Wageningen.
- TRABAUD, L. (1988). *Survie de jeunes plantes de pin d'Alep apparues après incendie*. *Studia Oecol.* 5: 161-170.
- YEATON, R.I. (1984). *Aspects of the population biology of sugar pine (Pinus lambertiana) on an elevational gradient in the Sierra Nevada of Central California*. *Am. Midl. Natur.* 111:126-137.

**Tabla 1.** Coeficientes canónicos y de correlación de las variables ambientales con los dos primeros ejes del análisis de correspondencias canónicas (CCA).

Variable	Coeficientes Canónicos		Coeficientes de Correlación	
	Eje 1	Eje 2	Eje 1	Eje 2
Norte	- 0,02	0,30	- 0,30	0,01
Sur	0,23	0,00	0,38	- 0,02
Este	0,00	0,00	-0,06	- 0,02
Oeste	0,00	0,00	-0,11	0,02
Pendiente	-0,33	- 0,24	- 0,24	- 0,14
Altitud	-0,46	0,25	- 0,47	0,30
Profundidad del suelo	0,05	0,5	0,14	0,45
Pedregosidad	0,03	- 0,09	- 0,03	- 0,34
Rocosidad	-0,09	- 0,24	0,05	- 0,30
Textura	- 0,22	- 0,28	- 0,09	- 0,19
pH	0,34	- 0,21	0,45	- 0,17
Contenido de C	0,34	0,42	0,30	0,12
Materia Orgánica	0,23	1,09	0,31	0,12
Contenido de N	- 0,55	- 0,26	0,13	- 0,08

**Tabla 2.** Composición específica de los pies inventariables (en porcentaje) en los cuatro tipos de bosque definidos a partir de la relación entre las áreas (vease métodos). Mixto (encina) = masa mixta con predominio de encina. Mixto (pino) = masa mixta con predominio de pino carrasco.

Especies	Encinar	Mixto (encina)	Mixto (pino)	Pinar
<i>Quercus ilex</i>	90,3	83,0	66,3	26,9
<i>Pinus halepensis</i>	1,3	9,2	22,8	66,9
<i>Pinus pinea</i>	0,2	1,0	0,6	1,0
<i>Arbutus unedo</i>	4,4	0,5	1,2	0
<i>Erica arborea</i>	1,5	1,8	6,1	1,1
<i>Juniperus oxycedrus</i>	0,3	3,3	2,3	2,9
<i>Rhamnus alaternus</i>	0,9	0	0,7	0,9
<i>Pistacea lentiscus</i>	0,2	0	0	0
<i>Quercus pubescens</i>	0,1	0,3	0	0,1
<i>Quercus faginea</i>	0,5	0	0	0
Otros	0,3	0,9	0	0,2
Nº de árboles muestreados	2.427	692	692	1.639
Nº de parcelas	23	9	9	26



**Tabla 3.** Principales características estructurales (media  $\pm$  desviación típica) en los cuatro tipos de bosque definidos a partir de la relación entre las carrasco (vease, métodos). Mixto (encina) = masa mixta con predominio de encina. Mixto (pino) = masa mixta con predominio de pino carrasco.

Tipo de bosque	Número de parcelas	Densidad de pies (pies/ha)	Área basimétrica (m <sup>2</sup> / ha)	% Mortalidad Encina	% Mortalidad Pino carrasco
Encinar		23	2.385 $\pm$ 590	23,9 $\pm$ 6,2	2,40
Mixto (encina)	10	1.987 $\pm$ 436	21,9 $\pm$ 4,2	0,9	8,4
Mixto (pino)	9	1.674 $\pm$ 508	23,7 $\pm$ 7,0	2,2	5,9
Pinar	26	1.424 $\pm$ 529	23,6 $\pm$ 7,4	1,0	4,7

**Tabla 4.** Medidas individuales de forma del conjunto de todos los arboles (todos), encina y pino carrasco en los cuatro tipos de bosque definidos; basimétricas de encina y pino carrasco (vease, métodos). Mixto (encina) = masa mixta con predominio de encina. Mixto (pino) = masa mixta con predominio de pino.

Medida	Árboles	Encinar	Mixto (encina)	Mixto (pino)	Pinar
D.N. (cm)	todos	10,25 $\pm$ 4,66	10,41 $\pm$ 5,63	11,31 $\pm$ 7,10	12,62 $\pm$ 7,15
	pino	19,70 $\pm$ 9,64	16,96 $\pm$ 9,40	18,6 $\pm$ 10,14	14,39 $\pm$ 7,49
	encina	10,27 $\pm$ 4,35	9,53 $\pm$ 3,98	9,31 $\pm$ 3,71	8,72 $\pm$ 3,81
Area basimétrica (cm <sup>2</sup> )	todos	99,64 $\pm$ 77,20	106,92 $\pm$ 95,00	123,71 $\pm$ 105,90	156,81 $\pm$ 131,37
	pino	375,60 $\pm$ 314,46	290,69 $\pm$ 310,96	299,32 $\pm$ 301,25	196,57 $\pm$ 222,38
	encina	96,00 $\pm$ 79,69	75,89 $\pm$ 71,97	74,39 $\pm$ 64,91	69,18 $\pm$ 79,66
Altura total(m)	todos	5,62 $\pm$ 1,97	5,46 $\pm$ 2,15	5,87 $\pm$ 2,44	7,65 $\pm$ 3,07
	pino	7,72 $\pm$ 2,68	8,24 $\pm$ 2,75	8,76 $\pm$ 2,95	8,81 $\pm$ 2,91
	encina	5,63 $\pm$ 1,93	5,08 $\pm$ 1,65	5,08 $\pm$ 1,41	5,28 $\pm$ 1,69
Superficie copa (m <sup>2</sup> )	todos	6,78 $\pm$ 5,29	7,65 $\pm$ 6,53	9,06 $\pm$ 8,51	9,28 $\pm$ 8,88
	pino	18,03 $\pm$ 14,17	12,94 $\pm$ 10,79	16,17 $\pm$ 16,63	9,88 $\pm$ 9,73
	encina	6,60 $\pm$ 4,57	6,78 $\pm$ 4,92	7,32 $\pm$ 4,52	8,13 $\pm$ 6,54
Diámetro copa (m)/ Espesor de copa (m)	todos	0,60 $\pm$ 0,48	0,61 $\pm$ 0,33	0,60 $\pm$ 0,32	0,52 $\pm$ 0,40
	pino	0,65 $\pm$ 0,36	0,53 $\pm$ 0,30	0,51 $\pm$ 0,33	0,46 $\pm$ 0,36
	encina	0,60 $\pm$ 0,48	0,61 $\pm$ 0,33	0,63 $\pm$ 0,30	0,64 $\pm$ 0,48

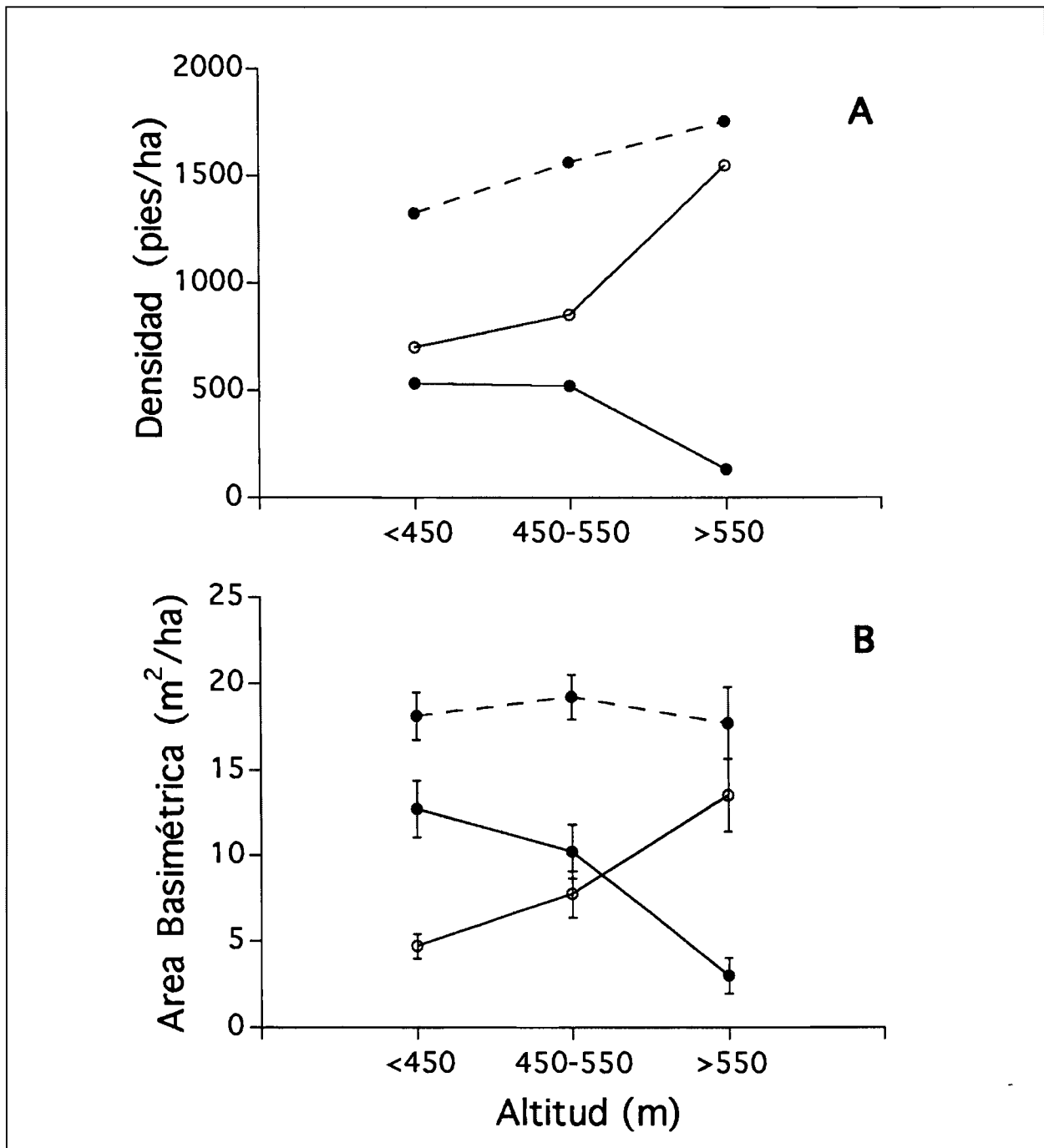


Fig. 1. Densidad media de pies  $\pm$  error estandar (A, pies/ha) y área basimétrica media  $\pm$  error estandar (B, m<sup>2</sup>/ha) de todos los árboles (trazo discontinuo), pino carrasco (trazo continuo, puntos en negro) y encina (trazo continuo, puntos en blanco) según la altitud, dividida en tres categorías (<450 m, 450-550 m, >550m).

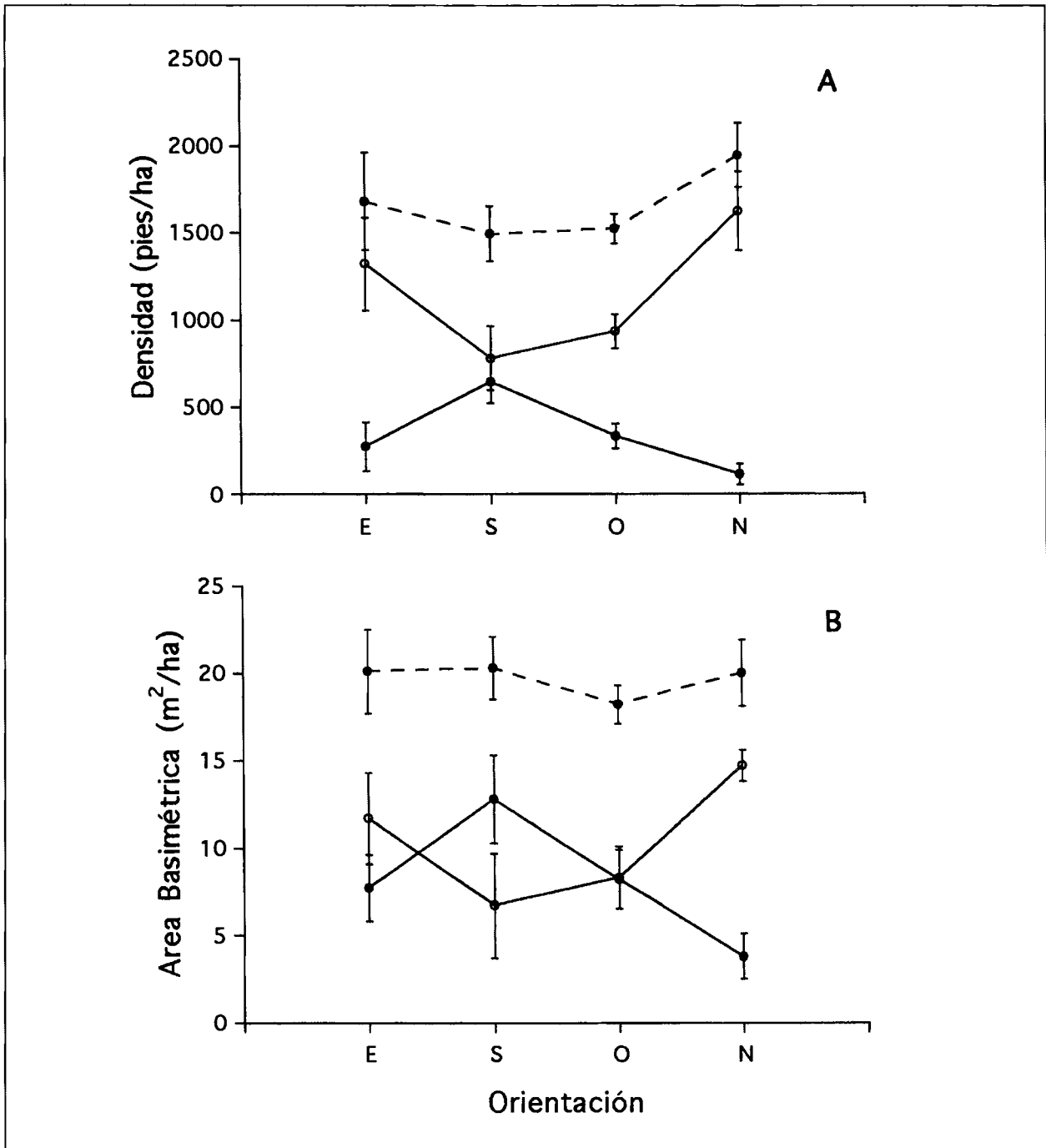


Fig. 2. Densidad media de pies  $\pm$  error estándar (A, pies/ha) y área basimétrica media  $\pm$  error estándar (B, m<sup>2</sup>/ha) de todos los árboles (trazo discontinuo), pino carrasco (trazo continuo, puntos en negro) y encina (trazo continuo, puntos en blanco) en las parcelas según los puntos cardinales: este (E), sur (S), oeste (O) y norte (N).

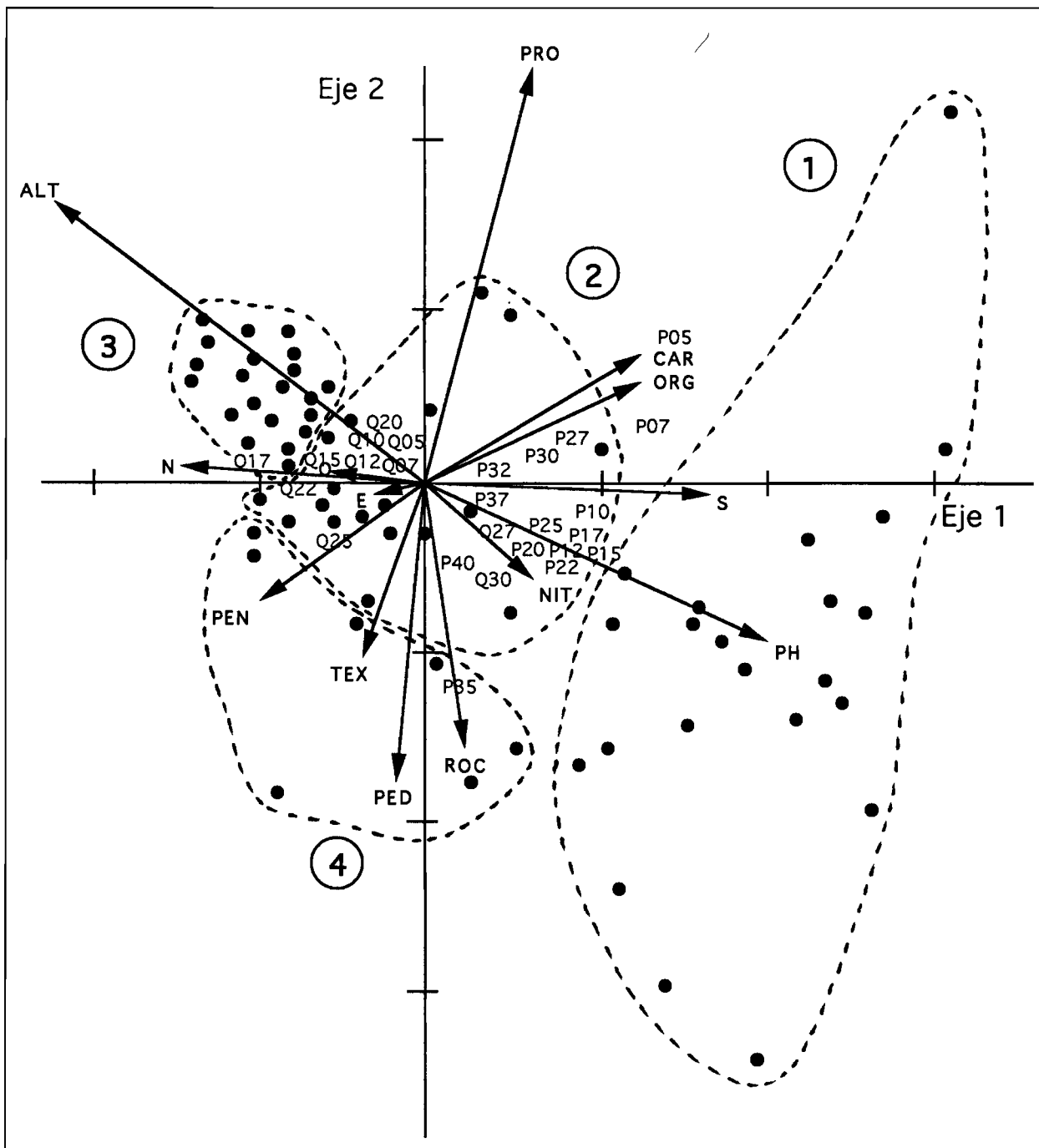


Fig. 3. Diagrama de los dos primeros ejes del análisis de correspondencias canónicas (CCA) con las parcelas (puntos en negro), variables ambientales (flechas), y clases de diámetro. Las abreviaciones de las clases diamétricas incluyen el nombre de la especie (P para pino carrasco y E para encina) y el límite inferior de la clase diamétrica (en cm). Las variables ambientales corresponden a: N = norte, S = sur, E = este, O = oeste, PEN = pendiente, ALT = altitud, PRO = profundidad, ROC = rocosidad, PED = pedregosidad, TEX = textura, PH = pH, ORG = contenido de materia orgánica, CAR = contenido de C, NIT = contenido de N. Las líneas de trazo discontinuo incluyen grupos de parcelas definidos según los métodos de clasificación automática: 1 = parcelas con predominio de pino carrasco, 2 = parcelas mixtas, 3 = parcelas con predominio de encina, 4 = parcelas sobre condiciones topográficas adversas.

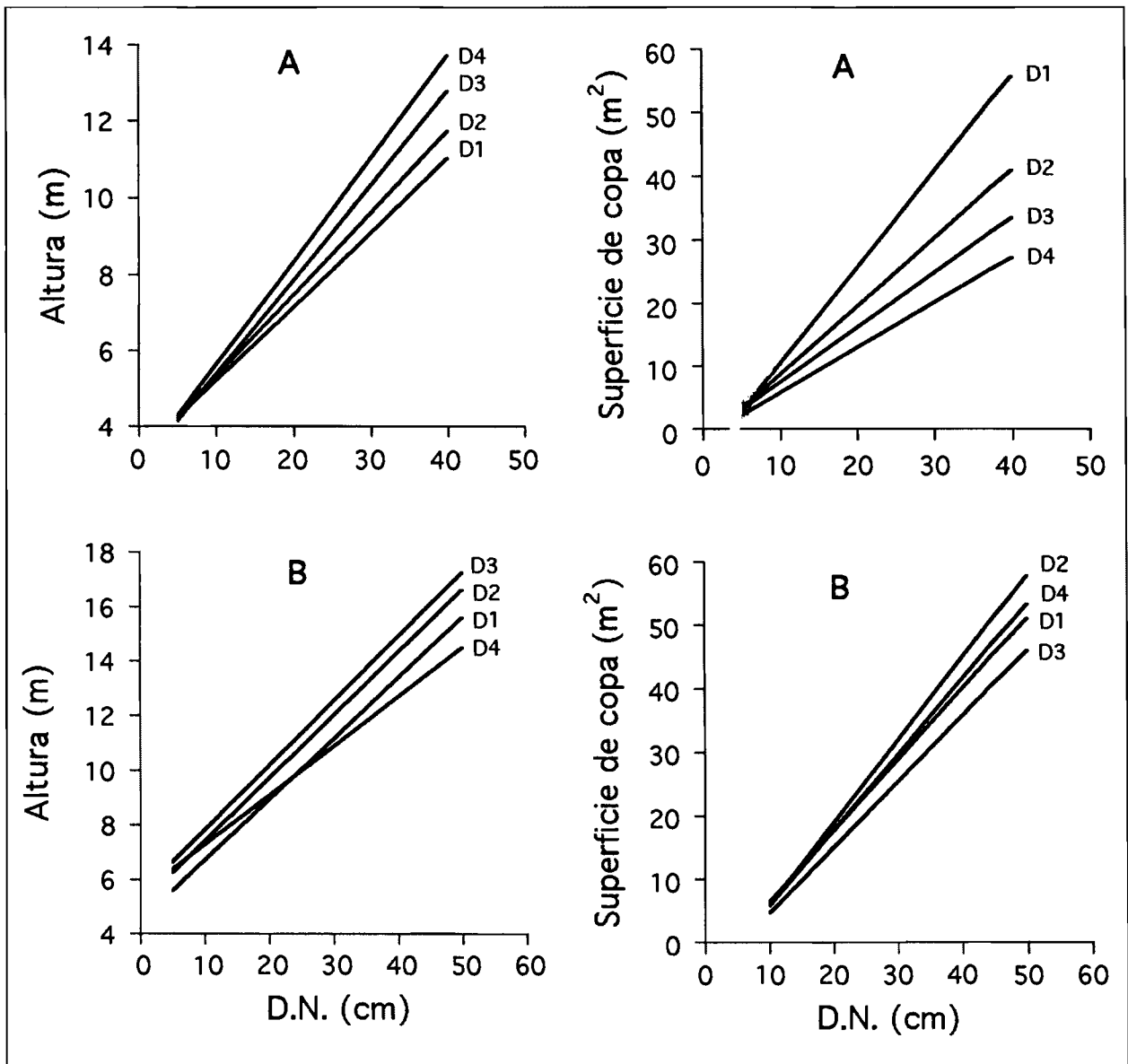


Fig. 4. Rectas de regresión de la altura y de la superficie de copa según el D.N. para la encina (A) y el pino carrasco (B) de parcelas con diferente densidad de arbolado: D1, < 1000 pies/ha (n=85 para la encina y n=162 para el pino carrasco); D2, 1000-1750 pies/ha (n=629 para la encina y n=504 para el pino carrasco); D3, 1750-2500 pies/ha (n=1059 para la encina y n=334 para el pino carrasco); D4, > 2500 pies/ha (n=1049 para la encina y n=154 para el pino carrasco). No se han incluido los puntos individuales para una mejor interpretación de la figura.