

# Las clasificaciones biogeoclimáticas: modelos territoriales necesarios para los estudios ecológicos forestales

R. Elena Rosselló\*

*EUIT Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. España*

---

## Resumen

En este artículo se hace un análisis de la utilidad de las clasificaciones territoriales biogeoclimáticas para los estudios ecológicos forestales tanto a escala ecosistémica, en estudios estacionales, como a escala supraecosistémica, en estudios de ecología de paisaje. Para ello se revisan dos experiencias realizadas en España mediante la aplicación del método ITE de clasificación territorial. En primer lugar se describe la utilización y validación de una clasificación de alcance subregional para el muestreo en el estudio de idoneidad de estaciones forestales para repoblación de *Pinus nigra* subesp. *nigra* en Navarra. Tras describir las distintas fases metodológicas requeridas, se culmina con el desarrollo de un modelo territorial de utilidad para el gestor forestal.

En segundo lugar se describe la utilidad de la clasificación biogeoclimática de la España peninsular y balear (CLATERES) para la realización de estudios ecológicos de seguimiento del paisaje. Para ello se analiza la correlación existente entre los estratos CLATERES y la composición espacial de 206 muestras territoriales incluidas en la red de paisajes rurales españoles (REDPARES). La existencia de una correlación muy significativa entre clases biogeoclimáticas y tipos de paisaje valida la utilización de CLATERES como modelo geoestadístico capaz de producir extrapolaciones a toda España a partir de los datos medidos en 206 muestras de paisajes REDPARES.

**Palabras clave:** modelización ecológica territorial, muestreo estratificado, España peninsular y balear, composición espacial del paisaje.

## Abstract

### Biogeoclimatic classifications: land models useful for ecological forest studies

This paper deals with the usefulness of biogeoclimatic land classifications in the development of forest ecological studies, at the ecosystem level on forest site surveys, as well as at supra-ecosystem level on landscape studies. For these purposes, two past experiences carried out in Spain using the ITE land classification system, are reviewed. As a first example, a land classification developed at sub-regional level is used as sample stratification framework for modelling the land suitability for *Pinus nigra* subesp. *nigra* plantations of Navarre. The required methodological phases are described, until the final design of a land model useful for forest managers and planners.

As a second example, it is analysed the usefulness of the biogeoclimatic land classification of Spain (CLATERES) as sample stratification system for ecological landscape monitoring. The model validation is achieved by testing the correlation among CLATERES land stratification and landscape composition of a sample of 206 land units belonging to the Spanish network of rural landscapes (REDPARES). A highly significant correlation among biogeoclimatic classes and landscape composition classes allow us to use CLATERES as a geo-statistical model able to extrapolate to the whole Spain the results obtained from 206 REDPARES landscapes.

**Key words:** land ecological modelling, stratified sampling, Spain, landscape spatial composition.

---

## Introducción

La historia de la Ecología Forestal española en los años sesenta no podría entenderse sin la consideración de un grupo investigador surgido en el antiguo

IFIE (Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias). Bajo la dirección del entonces Catedrático de la Escuela de Ingenieros de Montes Don Antonio Nicolás Isasa, luego continuada por su sucesor Don José Manuel Gandullo Gutiérrez, se introduce en España el concepto de estación forestal, y con ello se plantea la posibilidad de llevar a cabo un análisis integrado de las características ecológicas de las

---

\* Autor para la correspondencia: relena@forestales.upm.es  
Recibido: 13-08-03; Aceptado: 17-02-04.

estaciones forestales entendidas como unidades básicas de un monte.

El primer trabajo en el que se aborda el estudio de las estaciones forestales data de 1964, estableciéndose las pautas metodológicas necesarias para correlacionar las condiciones climáticas y edáficas de un biotopo con las comunidades vegetales que lo habitan (Nicolás y Gandullo, 1964). Partiendo de una profunda formación edafológica, Nicolás y Gandullo son conscientes de la necesidad de integrar la acción de los factores edáficos junto con el resto de factores ecológicos a la hora de analizar y describir la realidad y la potencialidad de las estaciones forestales.

Una vez sentadas las bases conceptuales de los estudios estacionales, se van desarrollando las metodologías apropiadas por medio de la aparición de los sucesivos estudios ecológicos de las principales especies forestales españolas: *Pinus pinaster* (Nicolás y Gandullo, 1967), *Pinus sylvestris* (Nicolás y Gandullo, 1969), *Pinus halepensis* (Gandullo *et al.*, 1972), *Pinus radiata* (Gandullo *et al.*, 1974), *Pinus canariensis* (Blanco *et al.*, 1989), *Pinus nigra* (Elena-Rosselló y Sánchez Palomares, 1991). Su objetivo era la elaboración de un modelo cuantitativo paramétrico de las estaciones que se consideraban adecuadas para las especies objeto del estudio. Metodológicamente, estos trabajos se basan en el análisis exhaustivo de una muestra de estaciones forestales localizadas en comunidades vegetales en las que domina una de las especies arbóreas mencionadas anteriormente. En cada estación se mide una serie de parámetros de carácter climático, fisiográfico y edáfico, que permite la definición de los hábitats central y marginal de la especie arborea objeto del estudio.

Como síntesis de todos los estudios de especies de pinos antes citadas, Gandullo y Sánchez Palomares publican en 1994 su trabajo «Estaciones ecológicas de los pinares españoles». Desde el punto de vista metodológico, esta obra supone la puesta al día del análisis de estaciones forestales, desde la toma de datos en el monte, pasando por el análisis de las muestras y el análisis estadístico de los datos. No obstante, en dicha puesta al día, todavía no se tuvo en cuenta un aspecto que ya se estaba planteando en otros estudios ecológicos entonces en curso: la selección de la muestra de estaciones en las que llevar a cabo la toma de datos. En ningún caso fue una negligencia: dado que se trataba de un estudio compilatorio de siete estudios específicos, varios de ellos realizados en los años sesenta, no había un método común de selección de las muestras.

La validación de los modelos paramétricos obtenidos a partir de la muestra analizada exige que esta sea realmente representativa de la totalidad de estaciones existentes en el territorio estudiado. Para ello, la estadística aplicada propone diversos métodos de muestreo. En el ámbito de la inventariación de los recursos forestales, como para el conjunto de recursos naturales renovables, son de uso corriente los métodos de muestreo estratificado (Bunce *et al.*, 1983, 2001; Barr *et al.*, 1990; Husch *et al.*, 1993), basados en las clasificaciones territoriales biogeoclimáticas.

Las clasificaciones biogeoclimáticas suponen una herramienta de gran interés como base territorial para llevar a cabo la estratificación del muestreo de los estudios ecológicos paramétricos. Iniciado su desarrollo en las décadas precedentes en países muy extensos (Estados Unidos [Bailey (1976)], Canadá [Hills (1952)], Australia [Christian y Stuart (1968), etc.], su uso se fue extendiendo en las décadas siguientes con el avance de los métodos de captura de información territorial, de análisis estadísticos de datos y de cálculo automático por ordenador. En Europa, los trabajos pioneros se deben a Barnes *et al.* (1982) y Barnes (1984) realizados en la región alemana de Baden Wuttenberg. En todos ellos se emplea la teoría de la jerarquía y el concepto de ecosistema.

Estas clasificaciones, además de favorecer la significatividad estadística de las estimaciones obtenidas, permiten una extrapolación de los resultados, con lo que se pueden construir modelos espaciales con expresión cartográfica que facilitan la aplicabilidad de los resultados por parte de los gestores.

En este trabajo se van a analizar dos aplicaciones en España de los sistemas de clasificación territorial biogeoclimática, y más concretamente de la Clasificación CLATERES (Elena-Rosselló, 1997), en el ámbito de los estudios forestales, tanto a escala estacional como de paisaje. Dentro de este contexto, se va a analizar el grado de correlación alcanzado entre los taxones territoriales definidos en las clasificaciones y las respuestas forestales.

## Las clasificaciones territoriales en España

La idea de clasificar el territorio de España no es una idea reciente. En el fondo de la regionalización de España, emprendida a mediados del siglo XIX con

distintos objetivos, fundamentalmente de cara a su organización administrativa, subyacía siempre un intento de clasificación del territorio (Casals, 1998). La Junta General de Estadística, a partir de 1850, planteó la primera regionalización peninsular orientada hacia el reconocimiento de los recursos naturales (Coello *et al.*, 1859), con especial énfasis en los aspectos vegetales. Sobre ellos tuvo gran influencia el botánico forestal alemán Willkomm, quien en 1852 publica un mapa de provincias de vegetación de España. Con posterioridad se van proponiendo clasificaciones territoriales como las de Mallada (1881) de fundamentos geológicos, Andrés y Lázaro (1882) de carácter botánico, Dantín (1922) de carácter climático. La concepción ecológica, como síntesis de distintos factores que afectan a la vida vegetal, no se desarrolla hasta Huguet (1921) quien de manera pionera plantea sus trabajos no plenamente desarrollados en aquellos años.

Más recientemente, se retoma la idea de clasificar el territorio español desde la síntesis de los factores ecológicos, y se lleva a cabo la clasificación que se conoce con el acrónimo CLATERES (Elena-Rosselló, 1997). Esta clasificación se realizó tras una experiencia previa acometida a nivel subregional: la clasificación territorial del Pirineo y Prepirineo de Navarra (Elena Rosselló *et al.*, 1985). Las bases metodológicas de ambas se encuentran en los trabajos similares desarrollados por el *Institute of Terrestrial Ecology* (ITE) para Gran Bretaña: se trata de realizar un análisis multifactorial (climático, geológico y fisiográfico) de una muestra de unidades territoriales seleccionadas de manera sistemática (mediante una retícula) (Bunce *et al.*, 1981). La aplicación de técnicas de clasificación automática divisiva permite la construcción de una clave de clasificación que sirve para la identificación generalizada de las clases territoriales, y la elaboración de una cartografía.

De manera no sorprendente, Casals (1998) observa notables semejanzas entre la cartografía de CLATERES y los mapas de Coello, Luxan y Pascual (1859) y Andrés y Lázaro (1882). En la propia publicación de CLATERES, sus autores analizan la correlación con la cartografía corológica de Rivas-Martínez (1988) mostrando una elevada significación estadística. Es precisamente en las elevadas correlaciones estadísticas entre las clasificaciones territoriales multifactoriales y la distribución geográfica de distintos fenómenos bióticos, bien sean naturales, bien sean antrópicos, donde se fundamenta la validación de las

mismas como herramientas útiles para el diseño del muestreo de estudios ecológicos (Bunce *et al.*, 1996).

## La clasificación territorial del pirineo y prepirineo navarro (1985)

El primer estudio de clasificación territorial multifactorial realizado en España con la metodología ITE, se centró en la subregión Navarra Septentrional y Central, y sirvió de base territorial para llevar a cabo la selección de estaciones forestales a muestrear en el estudio ecológico de las repoblaciones de Pino laricio austriaco (*Pinus nigra* subesp. *nigra*).

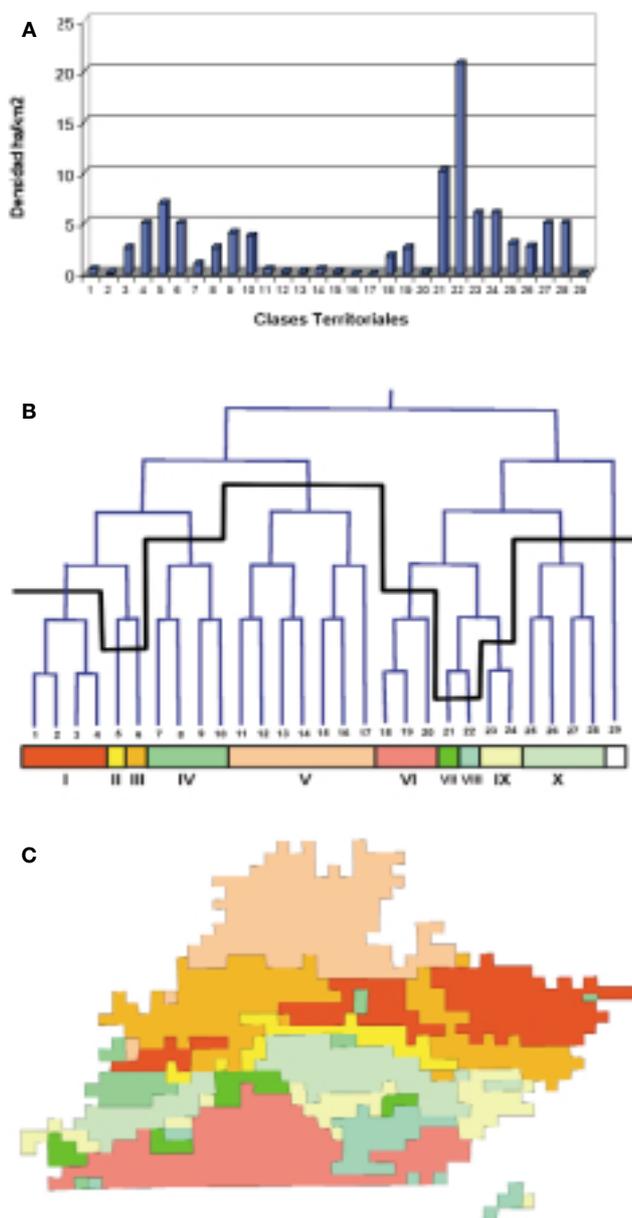
La región analizada tenía una extensión de 7.662 km<sup>2</sup>, estando definida como la parte de Navarra situada por encima del paralelo 42°30', e incluyendo a Peñilla de Aragón.

La clasificación se realizó a partir de una selección de cuadrículas muestrales de 1 km<sup>2</sup>, en las que se recogió información cartográfica de carácter fisiográfico, geológico, climático y de alteraciones antrópicas: en total se midieron 96 variables en 636 cuadrículas, configurando una tabla de datos sobre la que se aplicó el *Indicator Species Analysis (ISA)* de Hill *et al.*, 1975. Como resultado del análisis se definieron 29 clases territoriales cuya definición venía reflejada en el correspondiente dendrograma y cuya distribución territorial era reflejada en el correspondiente mapa.

Mediante la clasificación generada se llevó a cabo el proceso de selección de las estaciones muestrales para el estudio de la repoblaciones de pino laricio. El proceso queda reflejado en la Figura 1. Para ello se cuantificó el reparto superficial de las repoblaciones entre las distintas clases territoriales, obteniendo el correspondiente histograma de barras (Figura 1A). A partir de él, se llevó a cabo la determinación de estratos muestrales mediante el corte a distintas alturas del dendrograma. El corte se hacía más abajo cuando la presencia de repoblaciones era más abundante, y más arriba, cuando la presencia era más escasa. Como resultado del proceso se definieron 11 estratos territoriales caracterizados por dos criterios: (a) Similitud biogeoclimática (b) Suficiencia superficial (Figura 1B).

Dentro de cada estrato se seleccionó una serie de 6 parcelas muestrales: cuatro pertenecientes a repoblaciones de creciente edad [R1 (<25), R2 (25-35), R3 (35-45) y R4 (>45)] y dos testigos: Una testigo correspondiente a una estación con condiciones prerrepoblación (cultivo abandonado o pastizal degradado)

y la otra correspondiente a una estación con la vegetación climácica de su estrato territorial (bosque de frondosas) (Elena-Roselló *et al.*, 1987). La Figura 1C refleja la localización de todos estratos donde se eligieron las parcelas muestrales.

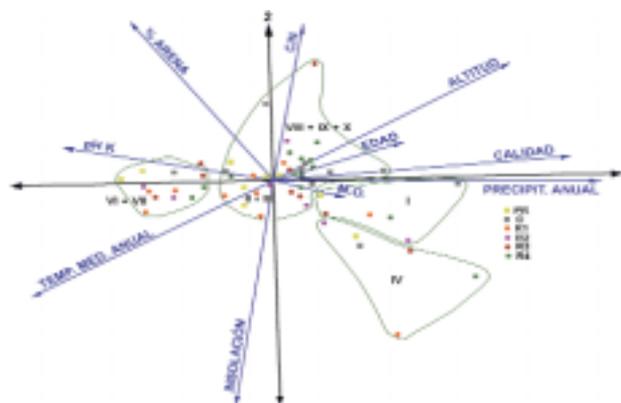


**Figura 1.** Proceso de selección de las parcelas muestrales en repoblaciones de pino laricio a partir de la Clasificación Territorial del Pirineo y Prepirineo Navarro (Elena-Roselló *et al.*, 1987). A: Diagrama de barras del reparto de las repoblaciones en las 29 clases territoriales. B: Proceso de corte del dendrograma de la clasificación en función del diagrama de reparto y establecimiento de estratos territoriales (I, II ... X). C: Mapa con la localización de los distintos estratos territoriales definidos para el estudio de las repoblaciones de pino laricio de Navarra.

Los resultados obtenidos en el estudio mostraron una elevada correlación entre los estratos territoriales definidos y distintos aspectos de las estaciones forestales incluidas en ellos (Elena-Roselló *et al.*, 1991). Como ejemplo que sintetiza dicha correlación, en la Figura 2 se muestra el resultado del análisis multifactorial CANOCO (Ter Braak, 1987) de las estaciones estudiadas, caracterizados por 10 variables independientes tales como Temperatura Media Anual, Precipitación Media Anual, Altitud, Insolación, Acidez de cambio, Relación Carbono/Nitrógeno, % de Materia Orgánica, %Arena, Calidad y Edad de las masas.

A la vista del diagrama de la figura 2, se observa que en el análisis multifactorial se produce una significativa agrupación de las parcelas muestrales según los estratos territoriales a los que pertenecen. Es decir, existe una mayor similitud intraestrato que interestratos. Este resultado se repitió también cuando se hizo el análisis de los parámetros edáficos y de los valores de producción forestal, con lo que quedó puesta de manifiesto la idoneidad de la clasificación en los estudios de carácter estacional.

La consecuente utilidad de la clasificación territorial fue la construcción de un modelo de idoneidad territorial para Pino laricio en Navarra. La extrapolación geoestadística de los resultados obtenidos en el estu-



**Figura 2.** Análisis multivariable CANOCO (Ter Braak, 1987) de la variación conjunta de las comunidades florísticas de las estaciones forestales de las repoblaciones de *Pinus nigra* en función de 10 variables independientes: Temperatura Media Anual, Precipitación Media Anual, Altitud, Insolación, Acidez de cambio, Relación Carbono/Nitrógeno, % de Materia Orgánica, %Arena, Calidad y Edad de las masas. El diagrama refleja el plano de los ejes 1 y 2 (38% de Varianza absorbida) en donde se proyectan las parcelas muestrales en forma puntual y las variables independientes en forma de vectores. Las parcelas muestrales quedan agrupadas de acuerdo con los estratos definidos en la figura 1B. (PR: Prerepoblación; C: Control; R1 a R4: repoblaciones sucesivamente mas viejas)





**Figura 4.** Mapas con los resultados de las dos fases de la clasificación CLATERES. A: Mapa de las 7 Ecorregiones surgidas en la primera Fase. B: Mapa de las 215 Clases territoriales surgidas en la segunda Fase (Elena-Rosselló *et al.*, 1997).

no-aragonesa, Litoral mediterránea, Extremadurensis, Ibérico-manchega y Bética.

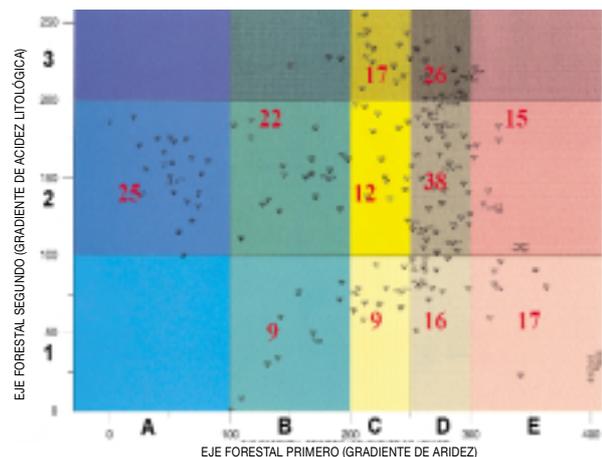
En la segunda etapa, cada una de las 7 ecorregiones se clasificó a partir de una muestra de cuadrículas territoriales de  $2 \times 2$  km<sup>2</sup>. En total se analizaron 5150 muestras, lo que supuso una intensidad muestral del 4%. Como resultado se definieron un total de 215 Clases Territoriales. Su definición, caracterización y localización geográfica quedaron reflejadas en la correspondiente publicación monográfica (Elena-Rosselló, 1997). La Figura 4 presenta el mapa de distribución de las 215 Clases dentro de las 7 Ecorregiones definidas.

La clasificación territorial así definida constituía en verdad una agregación de siete clasificaciones ecorregionales. Ello dificultaba su utilización como modelo territorial para el diseño del muestreo en estudios ecológicos que tuvieran una amplitud superior a la de una determinada ecorregión. Para superar esa dificultad, se llevó a cabo un análisis de correlación interregional de todas las 215 clases territoriales definidas.

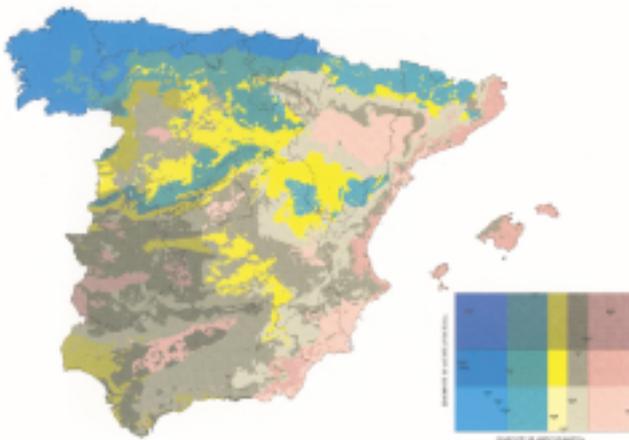
El método elegido para dicho análisis fue el Análisis Canónico de Correspondencias (Ter Braak, 1987). Para ello se caracterizaron las 215 Clases Territoriales mediante los valores medios que alcanzaban 17 variables geológicas, climáticas y fisiográficas en la totalidad de las cuadrículas pertenecientes a ellas. Al mismo tiempo, se llevó a cabo la superposición del mapa forestal de Ceballos (1966) sobre la cartografía CLATERES, obteniéndose una estimación del grado de presencia de las 15 especies forestales arbóreas españo-

las en cada una de las Clases territoriales. El Análisis Canónico de Correspondencias de la tabla de datos así resultante permitió establecer asociaciones geoclimáticas entre las 215 Clases CLATERES con una elevada significación silvológica.

En la Figura 5 se sintetizan los resultados del análisis, de los que se deduce la existencia de dos marcados gradientes geoclimáticos: un gradiente climático de aridez y un gradiente litológico de acidez. En el plano determinado por ambos gradientes, se ordenan las 215 Clases Territoriales, así como las 15 especies forestales incluidas en el estudio. El modelo de ordena-



**Figura 5.** Diagrama de dispersión de las Clases Territoriales CLATERES según los dos ejes geoclimáticos: Aridez climática/Acidez litológica (Elena-Rosselló *et al.*, 1997). Sobre dicha dispersión, en rojo se refleja el número de muestras REDPARES seleccionadas en cada estrato geoclimático.



**Figura 6.** Mapa de las Clases Territoriales CLATERES agrupadas según la Tipificación Geoclimática con transcendencia silvológica (Elena-Rosselló *et al.*, 1997).

ción en espacio reducido así construido, permite la agrupación de clases territoriales que pertenecen a Ecorregiones diferentes ya que su cercanía en el plano nos refleja su similitud geoclimática y silvológica.

En el Mapa de la Figura 6 se refleja la distribución geográfica de las agrupaciones de clases territoriales de acuerdo con su similitud respecto de los gradientes litológico y climáticos.

Constatada la validez del análisis de correlación geoclimática, CLATERES fue utilizada para el diseño del muestreo de dos estudios ecológicos paramétricos que a escala nacional hoy ya se han finalizado: *Fagus sylvatica* (Gandullo *et al.*, 2003) y *Castanea sativa* (Gandullo *et al.*, 2003). Así mismo se ha utilizado en otros de carácter regional (*Pinus sylvestris* en Castilla-León (Modrego, 2001); *Abies alba* en Pirineos, *Quercus pyrenaica* en Castilla-León).

Dentro del nivel estacional, la clasificación CLATERES ha sido utilizada en otros estudios diferentes a los ecológicos paramétricos. Cabe mencionar su uso para la definición de zonas de potencialidad trufera en la Comunidad Valenciana (Domínguez Núñez, 2002), para la delimitación de las Regiones Españolas de Identificación y Utilización de material Forestal de Reproducción (García del Barrio *et al.*, 2001), para la elección de especies y de procedencias para la reforestación mediante el SIGREFOR (Sistema de Información Geográfica para la reforestación) (Castejón *et al.*, 1998), o para la delimitación de zonas potenciales para el alcornoque en Extremadura (González Adrados y Elena-Rosselló, 1994)

Subiendo un peldaño en la escala de organización biológica, la clasificación CLATERES ha sido utiliza-

da en un estudio básico de Ecología del Paisaje. En efecto, la aplicación más reciente es la que ha conducido al desarrollo de SISPADES (Sistema para el seguimiento de los paisajes rurales Españoles) (Elena-Rosselló *et al.*, 2002). Se trata de una iniciativa pionera encaminada a conocer la estructura espacial de los paisajes rurales españoles así como su dinámica temporal. La metodología empleada en este estudio se basó en los trabajos clásicos de Ecología del Paisaje, y más concretamente en los de monitorización de paisajes rurales (Turner y Ruscher, 1988; Turner, 1991; Barr *et al.*, 1990; Ihse, 2001).

El proyecto SISPADES requirió el establecimiento de una red permanente de paisajes rurales que fuera representativa de la realidad ecológica territorial española. Para ello se utilizó la clasificación CLATERES de modo que en toda la España peninsular y balear se seleccionaron 206 cuadrículas territoriales de  $4 \times 4$  km<sup>2</sup> localizadas en las correspondientes 197 clases territoriales CLATERES y 9 agregaciones de clases CLATERES. Esto último sucedió siempre que una clase territorial no presentaba de manera individual suficiente superficie continua que permitiera la inclusión íntegra de una cuadrícula muestral. En la Figura 7 queda reflejada la localización de las cuadrículas territoriales de paisajes incluidos en REDPARES.

Los paisajes REDPARES fueron estudiados para las fechas 1956, 1984 y 1998 mediante la fotointerpretación de los fotogramas aéreos correspondientes. Como resultado se obtuvieron modelos digitales de la estructura espacial, que fueron incorporados al Sistema de Información Geográfica SIGPARES. Mediante dicho



**Figura 7.** Mapa de distribución de los paisajes peninsulares y balears incluidos en REDPARES. La base territorial para la selección de paisajes fue la clasificación CLATERES.

sistema se llevó a cabo el cálculo de diversos parámetros e índices relativos a la composición y configuración espacial del paisaje (Mc Garigal y Marks, 1996).

Dado que se trataba de un trabajo pionero sobre la ecología del paisaje rural en España, se definió una metodología de clasificación según la composición espacial de los paisajes (García del Barrio *et al.*, 2003): A partir del reparto de los distintos elementos espaciales en grandes tipos de uso y cubierta, se establece una sencilla clave de clasificación, en la que los caracteres taxonómicos principales se basan en la dominancia. Como ejemplo de ello, un paisaje tiene carácter silvico cuando los elementos espaciales más frecuentes en el paisaje son los bosques arbolados. A resultas de la aplicación de este sistema de clasificación, los 206 paisajes REDPARES en las tres fechas de referencia quedaron clasificados en los siguientes grandes tipos de paisajes: Silvicos (32,8%), Agrícolas (27,8%), Matorralizados (19,6%), Adhesados (10,1%) Repoblados (6,9%) Pascícolas (1,6%) y Suburbanos (0,003%).

La validación del uso de CLATERES como sistema de estratificación de las muestras territoriales REDPARES, y en consecuencia la validación estadística de las estimaciones estadísticas que se pueden hacer mediante ellas, ha requerido la verificación del nivel de correlación entre la clasificación CLATERES y la clasificación de la composición de los paisajes. Para ello, se ha llevado a cabo una estratificación de las cuadrículas REDPARES mediante los gradientes geoclimáticos de trascendencia silvológica que se han descrito anteriormente y que aparecen reflejados en la Figura 5. De acuerdo con ello se han establecido cinco niveles para la aridez climática: (A) Húmedo, (B) Subhúmedo, (C) Subárido, (D) Árido e (E) Hiperárido y tres niveles para la acidez litológica: (1) Básico, (2) Transicional y (3) Ácido. De los 15 posibles estratos territoriales, los 206 paisajes estudiados se han localizado en 12 estratos.

La tabla de contingencia que refleja la correlación entre la clasificación según los 12 estratos y la clasificación según la composición del paisaje (Figura 8) ha sido analizada mediante el correspondiente test de  $X^2$ , alcanzando un valor de 550,23 que resulta estadísticamente significativo al 99% para 66 grados de libertad. Se puede por tanto descartar la hipótesis de independencia entre las dos formas de clasificar.

Así mismo, se ha realizado el test de Kappa tal como lo definen Monserud y Leemans (1992) para comparar distintos sistemas de clasificación territorial

ESTRATOS		Paisajes Esenciales en todas las fechas								
Aridez	Acidez	B	C	D	M	R	P	U		
A	21	6	4		7	24	7		48	
A	22	9			17	1			27	
B	1	26			1				27	
B	2	29	15		19	2	1		66	
C	1	28	3		2	2			27	
C	2	12	11	5	8				36	
C	3	23	11	18	6	1			60	
D	1	27	9		9	3			48	
D	2	17	64	16	20	4			114	
D	3	7	17	36	14	2	2		78	
E	1	17	28		6				51	
E	2	18	20		9	4		2	45	
Totales		200	172	67	121	48	19	2	618	

**Figura 8.** Tabla de contingencia de los 206 paisajes clasificados por su composición esencial en las tres fechas de referencia y por los estratos geoclimáticos sobre los que se localizan. [Clases de Paisaje: B: silvicos; C: Agrícolas, D: Adhesados, M: Matorralizados, R: Repoblados, P: Pascícolas y U: Suburbanos][Estratos Climáticos: A: Húmedo; B: Subhúmedo; C: Subárido; D: Árido; E: Hiperárido][Estratos litológicos: 1: Básico; 2: Transicional (21: transicional litoral; 22: transicional montano); 3: Ácido].

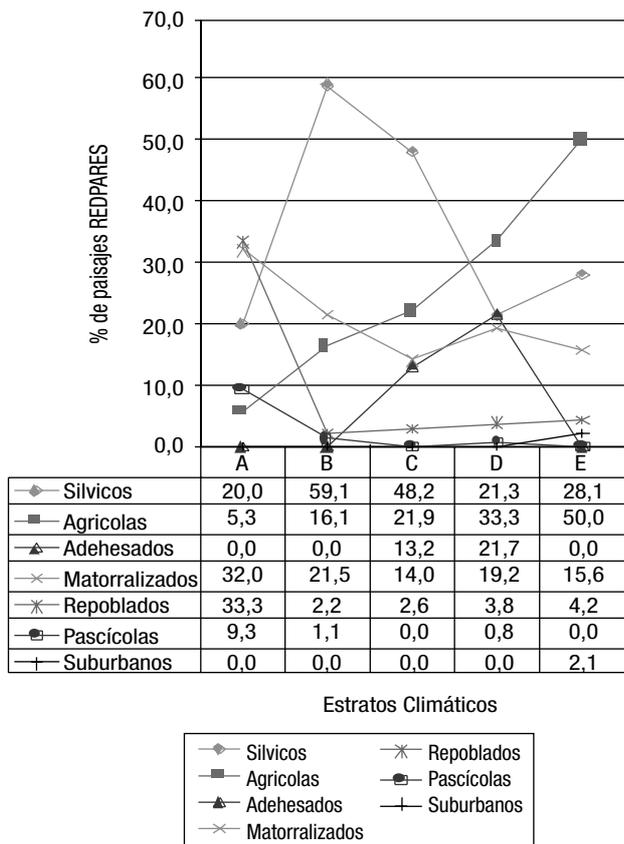
(Bunce *et al.*, 2002). En este caso, el valor del estadístico K fue de 0,607 lo que supone un buen ajuste entre las dos formas de clasificar las cuadrículas Redpares.

Otra forma, en este caso visual, de constatar la correlación entre ambas formas de clasificación es la que se presenta en las figuras 9 y 10. En ellas se presentan los diagramas de frecuencias de los distintos tipos de paisaje según su composición espacial en los gradientes climático y litológico respectivamente.

Sobre la relación con los gradientes geoclimáticos subyacentes, se puede extraer lo siguiente a partir del análisis de los diagramas:

- Hay un continuo descenso de paisajes silvicos desde el estrato subhúmedo hacia el estrato hiperárido.
  - Hay un continuo aumento de paisajes agrícolas desde el estrato húmedo hacia el estrato hiperárido.
  - Hay un máximo de paisajes adhesados en los estratos subárido y árido, y ausencia en el resto de estratos.
  - El estrato húmedo es el que presenta la más destacada presencia de paisajes repoblados y pascícolas.
  - Hay un creciente aumento de los paisajes adhesados desde el estrato básico hacia el estrato ácido.
  - Hay un creciente descenso de los paisajes silvicos desde el estrato básico hacia el estrato ácido.
  - Los paisajes matorralizados presentan una presencia equilibrada en todos los estratos.
- De acuerdo con Forman y Godrón (1986), la estructura ecológica de los paisajes viene determinada

Reparto de Tipos esenciales de paisaje entre Estratos de Aridez

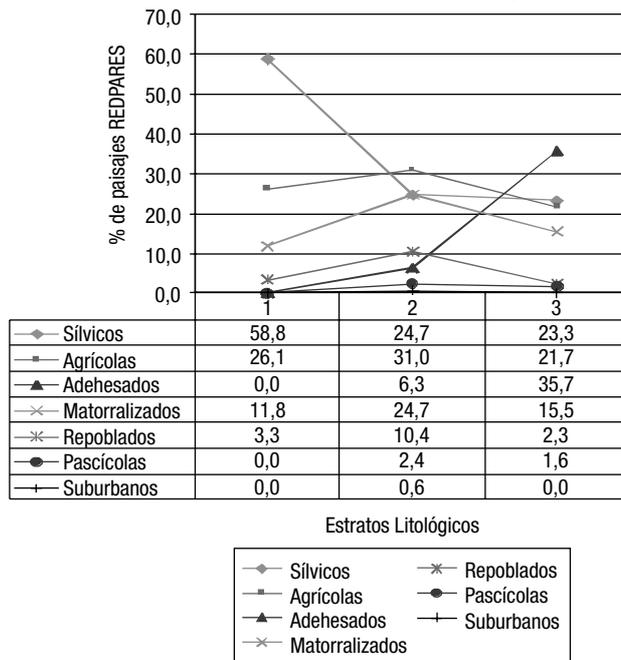


**Figura 9.** Diagrama de reparto (en % respecto del total del estrato) de las distintas clases de composición esencial de los 206 paisajes REDPARES en los distintos estratos climáticos. [Estratos Climáticos: A: Húmedo; B: Subhúmedo; C: Subárido; D: Arido; E: Hiperárido].

por dos tipos de factores: Los de carácter natural y los de carácter antrópico. Los factores de carácter natural más importantes son los climáticos y litológicos, cuya acción produce la cubierta vegetal natural. Sobre ese soporte natural y con el paso del tiempo, los factores antrópicos, van modelando el paisaje tal como lo observamos.

A partir de los resultados antes presentados, es interesante constatar que la clasificación de los paisajes rurales españoles según su composición espacial presenta una significativa correlación con los factores naturales climáticos y litológicos. Si seguimos los principios de Forman y Godron, los paisajes rurales españoles, a pesar de la acción humana, vienen siendo altamente determinados por los factores naturales. Se puede afirmar que la acción humana está fuertemente modulada por los factores naturales, de modo que el hombre actúa modificando el tapiz vegetal, pe-

Reparto de Clases de Paisajes entre Estratos Litológicos



**Figura 10.** Diagrama de reparto (en % respecto del total del estrato) de las distintas clases de composición esencial de los 206 paisajes REDPARES en los distintos estratos litológicos. [Estratos Litológicos (1): Básico; (2): Transicional; (3): Ácido].

ro de una manera muy condicionada por las restricciones esenciales del territorio.

La observación de que clases de paisajes están presentes en los distintos estratos territoriales nos permite afirmar que el reparto de las clases de composición de paisaje es totalmente diferente en cada uno de los 5 estratos climáticos y de los 3 estratos litológicos considerados.

En efecto, el estrato territorial húmedo presenta unos paisajes predominantemente repoblados (33,3%) y matorralizados (32%), sin despreciar la presencia de paisajes silvicos (20%), destaca la mayor presencia relativa de paisajes pascícolas (9,3%), y la menor presencia relativa de paisajes agrícolas (5,3%). Geográficamente estos paisajes se localizan en la ecorregión galaico-cantábrica.

En el estrato territorial subhúmedo, localizado en los Pirineos, Sistema Ibérico y rebordes montañosos de la Meseta Norte, los paisajes mas abundantes son los silvicos (59,%), seguidos por los matorralizados (21,5%) y los agrícolas (16,1%).

En el estrato territorial subárido, localizado en las mesetas centrales, en la corona del Sistema Ibérico septentrional y en las penillanuras hespéricas, los pai-

sajes mas abundantes siguen siendo los sílvicos (48,2%). Les siguen los paisajes agrícolas (21,9%), los matorralizados (14,0%) y los adeshados (13,2%).

En el estrato territorial árido, localizado en el escudo hespérico, mesetas centrales, Sistema Ibérico meridional, sierras béticas y penibéticas, los paisajes más abundantes son los agrícolas (33,3 %), seguidos por los adeshados (21,7 %) y los sílvicos (21,3%).

En el estrato territorial hiperárido, localizado en las depresiones del Ebro y Guadalquivir, así como en todo el litoral mediterráneo, los paisajes mas frecuentes son los agrícolas (50,0 %) seguidos por los sílvicos (28,6%) y los matorralizados (15,1%).

De manera similar se puede constatar la acción de los factores litológicos sobre la composición de los paisajes:

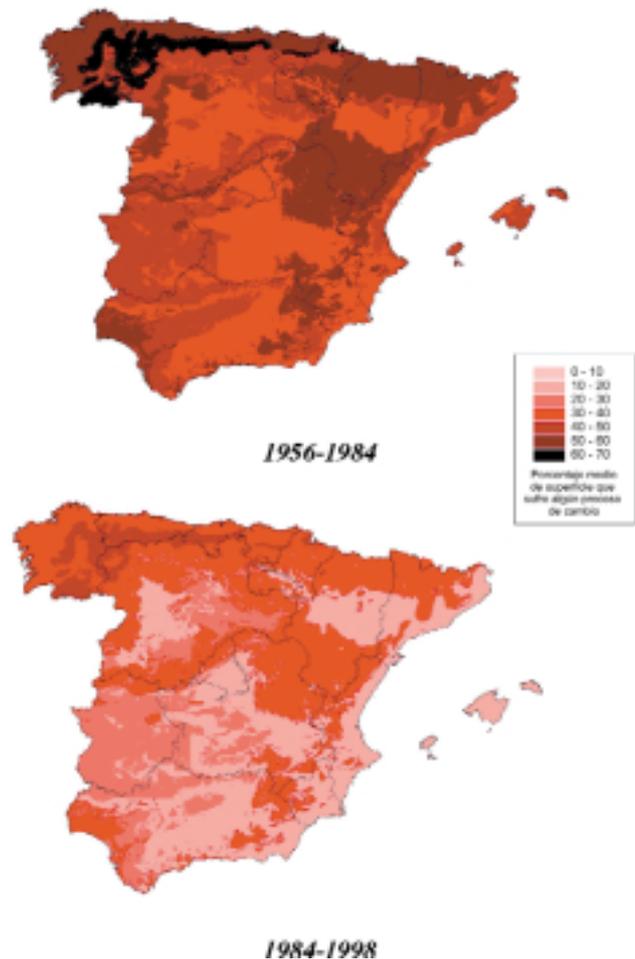
En el estrato territorial básico, localizado en la mitad oriental de la península, y las islas baleares, los paisajes predominantes son los sílvicos (58,8%) seguidos por los agrícolas (18,1%).

En el estrato territorial ácido, localizado en la mitad occidental de la península, los paisajes más frecuentes son los adeshados (35,7%) seguidos por los sílvicos (23,3%) y los agrícolas (21,7%).

Entre ambas situaciones, se encuentra el estrato transicional, caracterizado por el predominio de paisajes agrícolas (31,7%), seguidos por los matorralizados (24,7%) y los sílvicos (24,7%).

La consecuencia final del uso de la clasificación CLATERES en los estudios de ecología del paisaje basados en la red REDPARES, ha sido la construcción de modelos territoriales de España. La extrapolación de los resultados a la totalidad superficial de los estratos territoriales permite la generación de cartografía como la que se presenta en la Figura 11.

El sistema SISPARES, una vez analizados los resultados de las 206 muestras territoriales REDPARES situadas en la península y baleares, ha generado modelos de evolución del paisaje desde 1956 hasta 1998, similares a los que aparecieron en la figura 11. Una observación visual de dichos modelos nos permite hacer valoraciones espacio-temporales acerca de la dinámica del paisaje: es notoria la mayor intensidad de cambios ocurridos durante el periodo 1956-84. Así mismo, es notable el patrón territorial que se presenta, con una mayor intensidad, independientemente del periodo que se trate, de los cambios en la composición espacial ocurrido en las regiones más forestales, respecto de las regiones tradicionalmente agrícolas.



**Figura 11.** Mapas de los dos modelos territoriales de intensidad de cambios en el paisaje correspondientes a los periodos 1956-84 y 1984-98. Los modelos son un ejemplo de los resultados finales alcanzados a partir de las estimaciones obtenidas mediante la estratificación CLATERES de los 206 paisajes REDPARES.

## Conclusión

Las clasificaciones biogeoclimáticas han supuesto una importante aportación metodológica para los estudios ecológicos forestales realizados en España. Los dos ejemplos de clasificación biogeoclimática reflejados en este artículo nos permiten concluir que estos modelos han demostrado su utilidad tanto a escala estacional, como a escala de paisaje.

La utilidad de las clasificaciones viene determinada por que facilitan la selección de las muestras y por que, en consecuencia, permiten la extrapolación de los resultados.

El resultado final es la elaboración de los correspondientes modelos geoestadísticos que facilitan la to-

ma de decisiones de los responsables de la gestión forestal, tanto a escala de monte como a escala comarcal, regional y/o nacional.

Una importante conclusión extraída de la clasificación biogeoclimática de España, es que ha quedado puesta de manifiesto la existencia de una significativa correlación entre los gradientes geoclimáticos y la composición de los paisajes rurales españoles, de modo que queda demostrada la preponderancia de los factores climáticos y litológicos sobre los factores antrópicos en la composición espacial de los paisajes.

Por último, a partir de los resultados obtenidos en estas y otras experiencias, se recomienda la utilización de estos modelos territoriales en los estudios ecológicos forestales. Para ello, se puede bien utilizar los modelos ya existentes bien plantear la elaboración de nuevos modelos ajustados a la escala espacial del estudio y/o con información temática actualizada. El rápido avance tecnológico en captura de información territorial, así como de cálculo informático, permite la construcción de modelos con un esfuerzo mucho menor que el requerido en los años noventa.

## Bibliografía

- ANDRES T., LÁZARO B., 1882, Distribución de las columníferas de la Península Ibérica. Sociedad Linneana Matritense, Madrid.
- BAILEY R.G., 1976. Ecoregions of the United States. Mapa (escala 1:7,500,000). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Region. Ogden, UT.
- BARR C.J., BUNCE R.G.H., *et al.*, 1990, Countryside Survey 1990: Main report. Department of Environment, London.
- BLANCO A., CASTROVIEJO M., GANDULLO J.M., SÁNCHEZ-PALOMARES O., 1989. Estudio ecológico del Pino canario. ICONA, Madrid.
- BUNCE R.G.H., BARR C.J., WHITTAKER H.A., 1981 An integrated system of land classification. Ann Rep Inst Terr Ecol 1980, ITE. Cambridge.
- BUNCE R.G.H., BARR C.J., WHITTAKER H.A., 1983 A stratification system for ecological sampling. En Ecological Mapping from Ground, Air and Space (Edit.) R.M. Fuller, London.
- BUNCE R., BARR C., CLARKE R., HOWARD D., LANE A., 1996. Land classification for strategic ecological survey. Journal of Environmental Management 47, 127-135.
- BUNCE R.G.H., CAREY P.D., ELENA-ROSSELLÓ R., ORR J., WATKINS J., FULLER R., 2002, A comparison of different biogeographical classifications of Europe, Great Britain and Spain Journal of Environmental Management 65, 121-134.
- BARNES B.V., PREGITZER K.S., SPIES T.A., SPOONER V.H., 1982. Ecological forest site classification. Journal of Forestry 80, 493-98.
- BARNES B.V., 1984. Forest ecosystem classification and mapping in Baden-Wurttemberg, West Germany. In: Forest land classification: experience, problems, perspectives. Proceedings of the symposium; 1984 March 18-20, pp. 49-65. Madison, WI.
- CASALS COSTA, V. 1998, Gestión ambiental y regionalización: Una aproximación histórica al caso español. Scripta Nova 16, 1-12.
- CASTEJÓN M., SÁNCHEZ F., ELENA-ROSSELLÓ R., 1998. SIGREFOR: Sistema de Información Geográfica para la Reforestación. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid.
- CEBALLOS L., 1966. Mapa Forestal de España. Ministerio de Agricultura, Madrid.
- COELLO F., LUXAN F, PASCUAL A., 1859 Reseñas geográficas, geológica y agrícola de España. Imprenta nacional, Madrid.
- CHRISTIAN, STUART, 1968 Methodologies of Integrated Surveys. In: Aerial surveys and interpreted studies. Eds. UNESCO Proc. Toulouse Conference. pp. 233-280.
- DANTIN J., 1922. Ensayo acerca de las regiones naturales de España Museo pedagógico Nacional. Madrid.
- DOMÍNGUEZ NÚÑEZ J.A., 2002. Aportaciones de la Micorrización Artificial con Trufa negra en planta forestal. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- ELENA-ROSSELLÓ R. (Edit.), 1997. Clasificación Biogeoclimática de España Peninsular y Balear. MAPA., Madrid.
- ELENA-ROSSELLÓ R. (Edit.), 2002, Análisis de la Dinámica espacio-temporal de los paisajes en España. Memoria Convenio UPM-DGCONA, Madrid.
- ELENA-ROSSELLÓ R., SÁNCHEZ-PALOMARES O., 1991. Los pinares españoles de *Pinus nigra*: síntesis ecológica. INIA, Madrid.
- ELENA-ROSSELLÓ R., SÁNCHEZ O., CARRETERO P., RUIZ DEL CASTILLO J., 1991 Phytological diversification of *Pinus nigra* plantations in Navarre. In: (Díaz Pineda *et al.*, Edit.) Biological Diversity, Fundación Ramon Areces, Madrid.
- ELENA-ROSSELLÓ R., CARRETERO P., SÁNCHEZ O. 1985. Clasificación territorial del Pirineo y Prepirineo navarros. INIA. Madrid.
- ELENA-ROSSELLÓ R., CARRETERO P., SÁNCHEZ O., 2003 Land suitability for Austrian pine (*Pinus nigra* subsp. *nigra*) in Navarre. Proceedings of IUFRO Conference on «Silviculture and sustainable management in mountain forests in Western Pyrenees». Pamplona. (En prensa).
- FORMAN R.T.T., GODRON M., 1986. Landscape Ecology. John Wiley & Sons, New York.
- GANDULLO J.M. (Edit.) 1972. Ecología de los Pinares españoles III *Pinus halepensis* Mill. INIA, Madrid.
- GANDULLO J.M., GONZÁLEZ S., SÁNCHEZ-PALOMARES, 1974. Ecología de los Pinares españoles IV *Pinus radiata* D. Don. INIA, Madrid.
- GANDULLO J.M., SÁNCHEZ PALOMARES O., 1994. Estaciones ecológicas de los pinares españoles. ICONA, Madrid.

- GANDULLO J.M., RUBIO A., SÁNCHEZ-PALOMARES O., BLANCO A., GÓMEZ V., ELENA-ROSSELLO R., 2003. Las Estaciones ecológicas de los castañares españoles. Monografías INIA. Madrid. (En prensa).
- GANDULLO J.M., BLANCO A., SÁNCHEZ-PALOMARES O., RUBIO A., ELENA-ROSSELLÓ R., GÓMEZ V. 2003. Las Estaciones ecológicas de los hayedos españoles. Monografías INIA. Madrid. (En prensa).
- GARCÍA DEL BARRIO J.M., DE MIGUEL J., ALIA R., IGLESIAS S. (Edit.), 2001. Regiones de Identificación y Utilización de material Forestal de Reproducción. DGCONA. Madrid.
- GARCÍA DEL BARRIO J.M., BOLAÑOS F., ELENA-ROSSELLÓ R., 2003. Clasificación de los paisajes rurales españoles según su composición espacial. Revista Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales. (En prensa).
- GONZÁLEZ ADRADOS J.R., ELENA-ROSSELLÓ R., 1994. Atlas del Alcornoque de Extremadura, IPROCOR-INIA, Mérida.
- HILL M.O., BUNCE R.G.H., 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 Ecol* 63, 537-557.
- HILL M.O., 1979. TWINSPAN: a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individual attributes. Cornell University Press. Ithaca, New York.
- HILLS G.A. 1952. The classification and evaluation of site for forestry. Ontario Department of Lands and Forests. Resource Division Report 24.
- HUGUET E., 1921. El valor geográfico de España. Ensayo de ecética. Sucesores de Rivadeneyra, Madrid.
- HUSCH B., MILLER C., BEERS T.W., 1993 Forest mensuration, Krieger Publishing Co., Malabar, Florida.
- IHSE M. 2001. The Swedish Landscape Monitoring Programme- Current status and prospects for the near future. In: G. Groom and T. Reed (Eds.) Strategic Landscape Monitoring for Nordic Countries. Tema Nord 2001:XX, Copenhagen, Nordic Council of Ministers, pp. 61-65.
- MALLADA L., 1881. Proyecto de una nueva división territorial de España. Imprenta de «El Liberal», Madrid.
- MC GARIGAL K., MARKS B., 1995. Fragstats\*Arc. General Technical Report, USDA Forest Service.
- MODREGO P., 2001, Análisis de las repercusiones edáficas de las repoblaciones por terrazas con *Pinus sylvestris* L. en Castilla y León y evaluación de su grado de integración ecológica en la provincia de Soria. Tesis Doctoral, Universidad de Navarra, Pamplona.
- MONSERUD R.A., LEEMANS R., 1992. Comparing global vegetation maps with the Kappa statistics. *Ecological Modelling* 62, 275-293.
- NICOLAS A., GANDULLO J.M., 1964 Contribución al estudio de las estaciones forestales. IFIE, Madrid.
- NICOLAS A., GANDULLO J.M., 1967. Ecología de los Pinares españoles I *Pinus pinaster* Ait. IFIE, Madrid.
- NICOLAS A., GANDULLO J.M., 1969 Ecología de los Pinares españoles II *Pinus sylvestris* L. IFIE, Madrid.
- RIVAS-MARTÍNEZ S., 1988. Mapa de series de vegetación de España. ICONA, Serie Técnica, Madrid.
- TER BRAAK C.J.F., 1987. CANOCO: a Fortran program for canonical community ordination. Wageningen.
- TURNER M.G., RUSCHER C.L., 1988. Changes in spatial patterns of land use in Georgia. *Landscape Ecology* 3, 153-162.
- TURNER M.G., 1991. Landscape Changes in Nine Rural Counties in Georgia, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 56, 379-386.