



Masas de *Abies pinsapo* en la Sierra de las Nieves (Málaga) por encima de encinares de *Quercus ilex* subsp. *ballota*

Detalle de ramillas y flores de *Abies pinsapo*

Potencialidades y adecuaciones fitoclimáticas de *Abies pinsapo* Boiss. en España

Julián Gonzalo Jiménez*,
Javier M^a García-López** y
Carmen Allué Camacho***

* Ingeniero de Montes. Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Palencia. jgonzalo@pvs.uva.es

** Doctor Ingeniero de Montes. Unidad de Ordenación y Mejora del Medio Natural. Servicio Territorial de Medio Ambiente. Junta de Castilla y León. Burgos. garlopjv@jcy.es

*** Doctor Ingeniero de Montes. Unidad de Ordenación y Mejora del Medio Natural. Servicio Territorial de Medio Ambiente. Junta de Castilla y León. Burgos. allcamca@jcy.es

R E S U M E N

En el presente trabajo se realizan aportaciones a la caracterización fitoclimática de *Abies pinsapo* Boiss. mediante la utilización conjunta de técnicas de diagnóstico, de evaluación de idoneidades fitoclimáticas y de compatibilidad climática factorial, apoyados por técnicas de cartografía digital y de evaluación de variables regionalizadas. *Abies pinsapo* se posiciona en los subtipos fitoclimáticos IV₄, mediterráneo ilicino genuino (propio de formaciones arbóreas predominantemente esclerófilas en condiciones zonales) y VI(IV)₂, nemoromediterráneo húmedo (propio de formaciones arbóreas marcescentes en condiciones zonales). De ellos, el subtipo VI(IV)₂ resulta ser el de mayor idoneidad fitoclimática. Mediante la aplicación sucesiva de técnicas fitoclimáticas de exigencia creciente, entre ellas de la teoría de la envolvente convexa a hiperespacios climáticos factoriales, se determina un área potencial de máxima viabilidad en la España peninsular de 4.600 ha y un área de viabilidad moderada de 3.600 ha, frente a las menos de 4.000 ha totales actuales con presencia de este abeto mediterráneo. Estos resultados son directamente utilizables en la gestión forestal práctica, permitiendo al gestor del territorio evaluar la posibilidad de utilización de *Abies pinsapo* en diversos ambientes y su adecuación fitoclimática a la estación en labores de reconstrucción de la cubierta vegetal.



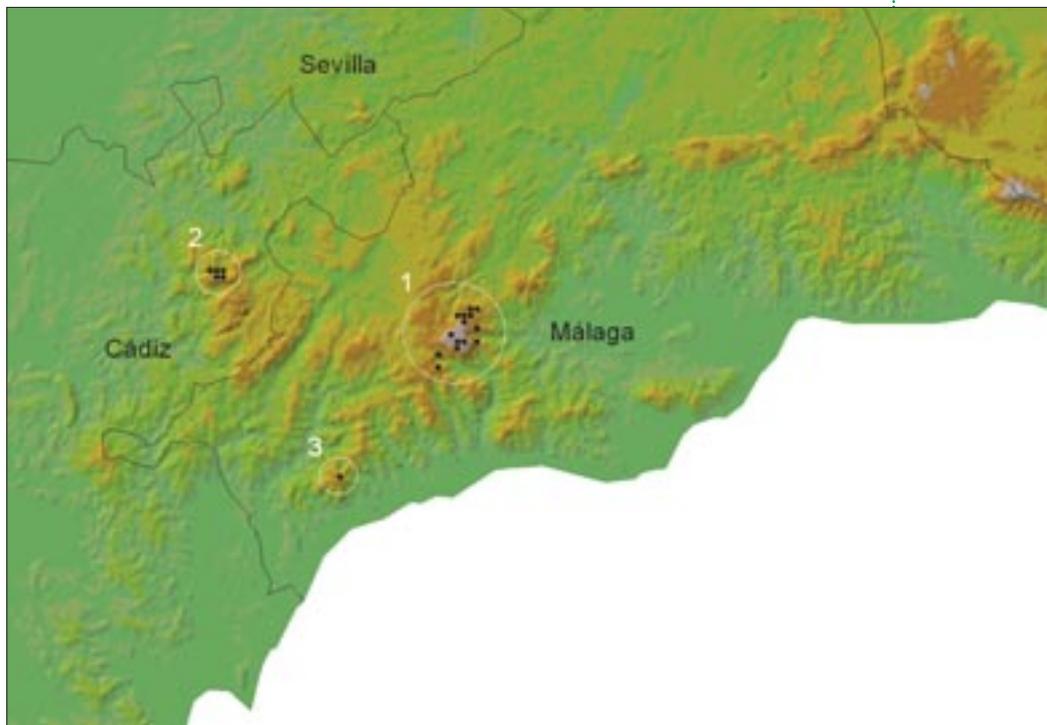
Masas de *Abies cilicica* en el Tauro turco (Akseki)

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La caracterización ecológica del ambiente en que vive una especie forestal tiene gran trascendencia desde el punto de vista de la gestión de sus poblaciones naturales. La determinación de los medios más recomendables para su utilización en labores de repoblación, la identificación de lugares en los que a priori sean de esperar aplicaciones prácticas de los resultados de experimentación previa en las localidades de origen, la identificación de posibles factores de perturbación, la definición de programas de conservación de recursos genéticos de especies o poblaciones representativas, escasas o en peligro de desaparición, así como la identificación de factores ambientales presumiblemente responsables de la variación intraespecífica o de las principales interacciones genotipo-ambiente de especies forestales, son algunas de las aplicaciones de este tipo de estudios.

Los abetales mediterráneos son sin duda una de las formaciones más singulares, repartidos desigualmente por buena parte de la cuenca mediterránea, presentando entre ellos aspectos fisionómicos muy parecidos, aunque con tratamiento taxonómico de sus elementos florísticos dominantes muy variado. Así, se suelen incluir en este grupo, además de nuestro *Abies pinsapo* Boiss., a *Abies maroccana* Trab., *Abies cephalonica* Loud., *Abies numidica* De Lannoy, *Abies nebrodensis* (Lojac) Mettei y *Abies cilicica* (Ant. & Kots.) Carr. (QUEZEL et al., 1991).

Abies pinsapo Boiss. se presenta en nuestro país en menos de 4.000 ha, de las que únicamente 2.307 ha



Mapa 1.- Puntos de muestreo con presencia natural de *Abies pinsapo*. 1: Ronda-Sierra de las Nieves; 2: Grazalema-Sierra del Pinar; 3: Sierra Bermeja

corresponden a superficie forestal arbolada con esta especie como elemento dominante según el II Inventario Forestal Nacional, situadas en las sierras malagueñas de Ronda-Nieves y Bermeja, así como en la gaditana Grazalema-Pinar, formando masas de un enorme valor biogeográfico. A pesar de esta circunstancia, la inexistencia de estaciones meteorológicas en áreas de pinsapar es sin duda la responsable del hasta hoy muy escaso conocimiento fitoclimático de este abeto mediterráneo, aunque determinadas aproxi-

maciones han sido ya realizadas entre otros por BARBERO et al. (1975), QUEZEL (1980), QUEZEL et al. (1991), ASENSI et al. (1976), ASENSI et al. (1980), RUIZ DE LA TORRE (1979), RUIZ DE LA TORRE (1994) y MARTÍN et al. (1998). En la actualidad se reconocen 2 series de vegetación de pinsapar, la serie supramediterránea rondeña calcícola *Paeonia broteroi* —*Abietetum pinsapi* sigmetum y la serie supra-mesomediterránea rondeña serpentícola *Bunio macucae*— *Abietetum pinsapi* sigmetum (RIVAS-MARTINEZ, 1987).

En el presente trabajo se realizan aportaciones a la caracterización fitoclimática de *Abies pinsapo* Boiss. aplicable a la identificación de territorios previsiblemente compatibles desde el punto de vista fitoclimático con la utilización de las fuentes naturales de material genético con vistas a la reconstrucción de la cubierta vegetal en antiguas áreas potenciales de este abeto.

MATERIAL Y MÉTODOS

A partir de la base de datos de parcelas de muestreo correspondientes al II Inventario Forestal Nacional (DGCONA, 1986-1995), se seleccionaron los 20 puntos con presencia natural de *Abies pinsapo*, ya sea como especie dominante o secundaria, situados entre los 875 y los 1809 m. de altitud. La selección de parcelas se hizo mediante la utilidad informática BASIFOR (DEL RÍO et al., 2001) segregando aquellos registros con presencia de la especie (Cod.32) en los campos ESPECIB1-3.

La altitud de cada punto fue determinada mediante proyección sobre el Modelo Digital de Elevaciones a nivel Peninsular DEM_250_MONA_PRO (250 m.) del Joint Research Centre (European Commission), al considerar que la precisión de 100 m. de la base de datos inicial era insuficiente a nuestros efectos.

En el mapa 1 puede observarse la distribución de los 20 puntos de muestreo, organizados según las regiones de procedencia de MARTÍN et al. (1998).

Los 20 puntos con presencia natural de *Abies pinsapo*, identificados por sus coordenadas UTM (Huso 30) y su altitud fueron tratados con el programa informático FITOCLIMOAL'2000 (GARCÍA-LÓPEZ et al., 2000) para la obtención de los datos mensuales brutos de temperatura y precipitación conforme a los modelos de SÁNCHEZ-PALOMARES et al. (1999). Posteriormente, con el mismo programa fueron hallados los factores fitoclimáticos de ALLUÉ-ANDRADE (1990) a excepción de la oscilación térmica, que se calculó como TMC-TMF (tablas 1y 2). Este sistema fitoclimático fue el elegido para la realización del presente estudio al ser en la actualidad el único sistema fitoclimático de carácter

cuantitativo, es decir, que no sólo permite la adscripción meramente cualitativa de una estación a una categoría fitoclimática previamente definida, como es el caso del resto de clasificaciones fitoclimáticas al uso, sino que permite además una cuantificación del nivel de adecuación de la estación a dicha categoría o tipo fitoclimático y también al resto de tipos del sistema, mediante la utilización *coordinadas de posición* y de *distancias* fitoclimáticas relativas entre sí y referidas a ámbitos fitoclimáticos factoriales correspondientes a las principales estrategias de vida vegetal de las cubiertas forestales dominantes basadas en los tipos vitales de WALTER et al. (1960). Todo ello permite algo importante en este estudio, como es la cuantificación numérica del grado de potencialidad fitoclimática de un territorio para albergar pinsapares.

La tabla de factores fitoclimáticos correspondiente a los 20 puntos de presencia de pinsapo fue a su vez sometida a diagnóstico fitoclimático conforme a la metodología de ALLUÉ-ANDRADE (1990) mediante el programa FITOCLIMOAL'2000.

RESULTADOS

Primera aproximación

En la tabla 3 se exponen los resultados de la diagnosis fitoclimática. La significación fitológica de cada subtipo fitoclimático puede consultarse en la tabla 4 auxiliar, aunque remitimos al lector a ALLUÉ-ANDRADE (1990) como fuente bibliográfica básica para profundizar en el sistema fitoclimático utilizado. *Abies pinsapo* tiene en principio presencia sólo en los subti-

Tabla 1.- Factores fitoclimáticos utilizados

ABREVIATURA	FACTOR	UNIDAD
K	Intensidad de la aridez. Se calcula por el cociente As/Ah , siendo Ah el área húmeda de climodiagrama (curva de P_i por encima de la de T_i , es decir $2T_i < P_i$) y As el área seca del climodiagrama (curva de P_i por debajo de la de T_i , es decir $2T_i > P_i$).	
A	Duración de la aridez, en el sentido de GAUSSEN, es decir, el número de meses en que la curva de T_i se sitúa por encima de la de P_i , es decir cuando $2T_i > P_i$.	meses
P	Precipitación anual total	mm.
PE	Precipitación estival mínima (Junio, Julio, Agosto o Septiembre)	mm.
TMF	Temperatura media mensual más baja	°C
T	Temperatura media anual	°C
TMC	Temperatura media mensual más alta	°C
TMMF	Temperatura media de las mínimas del mes de temperatura media más baja	°C
TMMC	Temperatura media de las máximas del mes de temperatura media más alta	°C
F	Temperatura mínima absoluta	°C
C	Temperatura máxima absoluta	°C
HS	Helada segura. Calculada como n° de meses en que $TMMF \leq 0$	meses
HP	Helada probable. Calculada como n° de meses en que $F \leq 0$ con $TMMF > 0$	meses
OSC	Oscilación térmica. Se calcula como TMC-TMF	°C

Tabla 2.- Factores fitoclimáticos de las estaciones de *Abies pinsapo* extraídas del II Inventario Forestal Nacional. X e Y son las coordenadas UTM (Huso 30) y Alt. la altitud en m.

Nº	Provincia	X	Y	Alt.	K	A	P	PE	T	TMF	TMC	TMMF	TMMC	HS	HP	OSC
1	Cádiz	283000	4073000	1014	0,03	2,12	1881	6	13,70	7,00	22,30	3,00	27,40	0	4	15,30
2	Cádiz	284000	4073000	885	0,05	2,46	1664	5	14,40	7,40	22,90	3,40	28,00	0	3	15,50
3	Cádiz	285000	4073000	875	0,05	2,49	1649	5	14,40	7,40	22,90	3,40	28,00	0	3	15,50
4	Cádiz	284000	4072000	1291	0,02	1,60	2384	10	12,20	5,90	21,10	2,00	26,20	0	5	15,20
5	Cádiz	285000	4072000	1134	0,03	1,87	2092	8	13,10	6,50	21,80	2,60	26,90	0	4	15,30
6	Málaga	324000	4067000	1218	0,09	3,07	1196	4	13,30	6,80	22,20	2,90	27,20	0	5	15,40
7	Málaga	321000	4066000	1204	0,09	3,08	1206	4	13,40	6,80	22,20	2,90	27,30	0	5	15,40
8	Málaga	322000	4066000	1408	0,06	2,86	1343	4	12,20	5,80	21,10	1,90	26,20	0	6	15,30
9	Málaga	323000	4066000	1338	0,07	2,93	1287	4	12,60	6,20	21,50	2,30	26,60	0	5	15,30
10	Málaga	322000	4065000	1624	0,05	2,58	1513	4	11,00	4,80	19,60	1,00	24,70	0	6	14,80
11	Málaga	324000	4064000	1182	0,09	3,09	1182	4	13,50	6,90	22,30	3,00	27,40	0	5	15,40
12	Málaga	318000	4060000	1299	0,07	2,97	1306	4	12,80	6,40	21,60	2,50	26,60	0	5	15,20
13	Málaga	318000	4058000	1213	0,08	3,04	1253	4	13,30	6,80	22,00	2,90	27,00	0	5	15,20
14	Málaga	303000	4041000	1012	0,09	3,17	1262	4	14,20	7,60	22,70	3,60	27,70	0	4	15,10
15	Málaga	323000	4067000	1148	0,09	3,13	1154	4	13,60	7,10	22,50	3,10	27,50	0	4	15,40
16	Málaga	320000	4063000	1687	0,04	2,50	1582	4	10,60	4,50	19,20	0,70	24,30	0	6	14,70
17	Málaga	321000	4062000	1744	0,04	2,44	1627	4	10,20	4,20	18,70	0,40	23,80	0	6	14,50
18	Málaga	322000	4062000	1809	0,04	2,37	1677	4	9,80	3,90	18,20	0,10	23,20	0	7	14,30
19	Málaga	324000	4062000	1079	0,10	3,20	1122	4	14,00	7,40	22,80	3,40	27,80	0	4	15,40
20	Málaga	321000	4061000	1680	0,04	2,52	1576	4	10,60	4,50	19,20	0,70	24,30	0	6	14,70

Tabla 3.- Coordenadas fitoclimáticas de las estaciones de *Abies pinsapo*. La terna fitoclimática se expresa como (G; A1; A2; A3; D1; D2) siendo G el número del subtipo genuinos, A1 el número de subtipo análogo de mayor escalara (idem para A2 y A3 en orden de escalara decreciente) y D1 el número de subtipo dispar de escalara positivo mayor (idem D2 para escalara positivo inmediatamente inferior al de D1)

Código	IV ₃	IV ₄	IV(VI) ₁	IV(VI) ₂	VI(IV) ₁	VI(IV) ₂	VI(IV) ₃	VI(IV) ₄	VI(VII)	Terna
Num.	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	****D	-2,87D	-12,92D	-146,37D	-180,91D	0,52G	0,35A	-46,76D	-33,00D	(10 ; 11 ; — ; — ; — ; —)
2	****D	-0,90D	-9,76D	-66,34D	-88,98D	0,49G	0,48A	-29,55D	-23,52D	(10 ; 11 ; — ; — ; — ; —)
3	****D	-0,81D	-9,53D	-62,41D	-84,29D	0,49G	0,48A	-29,19D	-23,46D	(10 ; 11 ; — ; — ; — ; —)
4	****D	-15,84D	-37,85D	-670,01D	****D	0,51G	-0,47D	-202,21D	-131,35D	(10 ; — ; — ; — ; — ; —)
5	****D	-6,16D	-18,55D	-278,19D	-325,17D	0,54G	0,13D	-83,87D	-56,06D	(10 ; — ; — ; — ; 11 ; —)
6	-281,06D	0,33G	-4,43D	-5,20D	-9,94D	0,38A	0,11A	-31,98D	-28,44D	(6 ; 10 ; — ; — ; — ; —)
7	-295,50D	0,33G	-4,44D	-5,61D	-10,59D	0,37A	0,10A	-32,56D	-28,94D	(6 ; 10 ; — ; — ; — ; —)
8	-740,02D	0,08A	-2,43D	-19,62D	-30,42D	0,59G	-0,41D	-29,91D	-26,32D	(10 ; 6 ; — ; — ; — ; —)
9	-578,87D	0,20A	-2,82D	-13,58D	-22,67D	0,54G	-0,05D	-32,21D	-28,58D	(10 ; 6 ; — ; — ; — ; —)
10	****D	-0,62D	-2,16D	-38,07D	-49,56D	0,66G	-1,68D	-23,53D	-19,44D	(10 ; — ; — ; — ; — ; —)
11	-261,71D	0,34G	-4,83D	-4,61D	-9,10D	0,36A	0,13A	-33,34D	-29,50D	(6 ; 10 ; 11 ; — ; — ; —)
12	-630,19D	0,21A	-3,47D	-15,19D	-25,15D	0,51G	0,02D	-34,77D	-30,85D	(10 ; 6 ; — ; — ; 11 ; —)
13	-424,06D	0,29G	-4,64D	-9,01D	-16,07D	0,41A	0,15A	-30,97D	-27,58D	(6 ; 10 ; 11 ; — ; — ; —)
14	-442,22D	0,33G	-6,35D	-9,43D	-17,10D	0,25A	0,27A	-38,46D	-34,09D	(6 ; 11 ; 10 ; — ; — ; —)
15	-226,05D	0,36G	-5,27D	-3,60D	-7,58D	0,32A	0,17A	-35,92D	-31,58D	(6 ; 10 ; 11 ; — ; — ; —)
16	****D	-1,02D	-2,73D	-52,11D	-65,41D	0,67G	-2,32D	-24,92D	-19,76D	(10 ; — ; — ; — ; — ; —)
17	****D	-1,45D	-3,26D	-63,82D	-77,60D	0,68G	-3,11D	-26,34D	-20,26D	(10 ; — ; — ; — ; — ; —)
18	****D	-2,10D	-4,02D	-79,25D	-93,02D	0,70G	-4,29D	-28,58D	-21,26D	(10 ; — ; — ; — ; — ; —)
19	-189,87D	0,39G	-6,12D	-2,67D	-6,14D	0,23A	0,19A	-41,62D	-35,89D	(6 ; 10 ; 11 ; — ; — ; —)
20	****D	-0,99D	-2,64D	-50,88D	-63,90D	0,67G	-2,32D	-25,11D	-20,02D	(10 ; — ; — ; — ; — ; —)

Tabla 4.- Clave numérica cualitativa y significación fitológica de los subtipos fitoclimáticos utilizados

Clave cualitativa				Adscripción		Formaciones zonales más frecuentes			
TMMF>-7	3<=A<11	TMMF>0	TMC>=9,5	P<=450	III(IV)	Sahariano	Espinales de azufaifo y cornicales		
				P>450	IV ₂		Subsahariano	Lenticares	
			TMC<9,5	P<=400	IV ₁		Mediterráneos	Genuinos	Acebuchales
		400<P<=500		IV ₃	Coscojares				
		P>500		IV₄	Encinares secos				
		TMMF<=0	TMF<=2		IV(VII)		Subestepario	Piornales espinosos almohadillados	
	TMF>2		IV(VI) ₁	Subnemorales	Encinares húmedos con quejigo o rebollo				
	P<=850		IV(VI) ₂		Alsinares secos				
	1,25<=A<3	TMF>=7,5	P>850		VI(IV) ₃		Subnemorales	Robledales pedunculados secos	
			P<=725		VI(IV) ₁			Genuinos	Quejiares y melojares secos con encina
		TMF<7,5	P>725		VI(IV)₂		Genuinos		Queji. y melojares húmedos con encina
			TMMF>0		VI(IV) ₄			Submediterráneo	Alsinares húmedos
	0<=A<1,25	P<=950	TMMF<=0		VI(VII)		Subestepario		Robledales pubescentes
			TMF>4		VI(V)			Genuinos	Robledales pedunculados húmedos
			P>950	TMF<=4	HS<=3				VI
HS>3		VIII(VI)		Subnemoral	Pinares de silvestre con frondosa				
TMMF<-7		A=0	TMC>10		X(VIII)	Genuino	Pinares de silvestre o moro		
	TMC<=10		X(IX) ₁	Termoaxérico	Pastos alpinos				
	A>0		X(IX) ₂		Termoxérico	Pastos alpinoideos			

Tabla 5.- Ámbitos fitoclimáticos de *Abies pinsapo* en España pormenorizados por subtipos

Subtipo	K	A	P	PE	T	TMF	TMC	TMMF	TMMC	HS	HP	OSC
IV₄	0,100	3,20	1262	4	14,2	7,6	22,8	3,6	27,8	0	5	15,4
	0,079	3,04	1122	4	13,3	6,8	22,0	2,9	27,0	0	4	15,1
VI(IV)₂	0,071	2,97	2384	10	14,4	7,4	22,9	3,4	28,0	0	7	15,5
	0,016	1,60	1287	4	9,8	3,9	18,2	0,1	23,1	0	3	14,3
Total	0,100	3,20	2384	10	14,4	7,6	22,9	3,6	28,0	0	7	15,5
	0,016	1,60	1122	4	9,8	3,9	18,2	0,1	23,1	0	3	14,3

pos fitoclimáticos VI(IV)₂ (13 estaciones), nemoromediterráneo húmedo (propio de formaciones arbóreas marcescentes en condiciones zonales) y IV₄ (7 estaciones), mediterráneo ilicino genuino (propio de formaciones arbóreas predominantemente esclerófilas en condiciones zonales). Los subtipos análogos son los propios VI(IV)₂ y IV₄ además del subtipo VI(IV)₃. En la totalidad de los casos, los escalares de genuinidad son mayores para VI(IV)₂ (no bajan de 0,49) que para IV₄ (no suben de 0,39), por lo que los pinsapos ubicados en localidades nemoromediterráneas parecen más acomodadas a este ámbitos que las ubicadas en localidades mediterráneas genuinas.

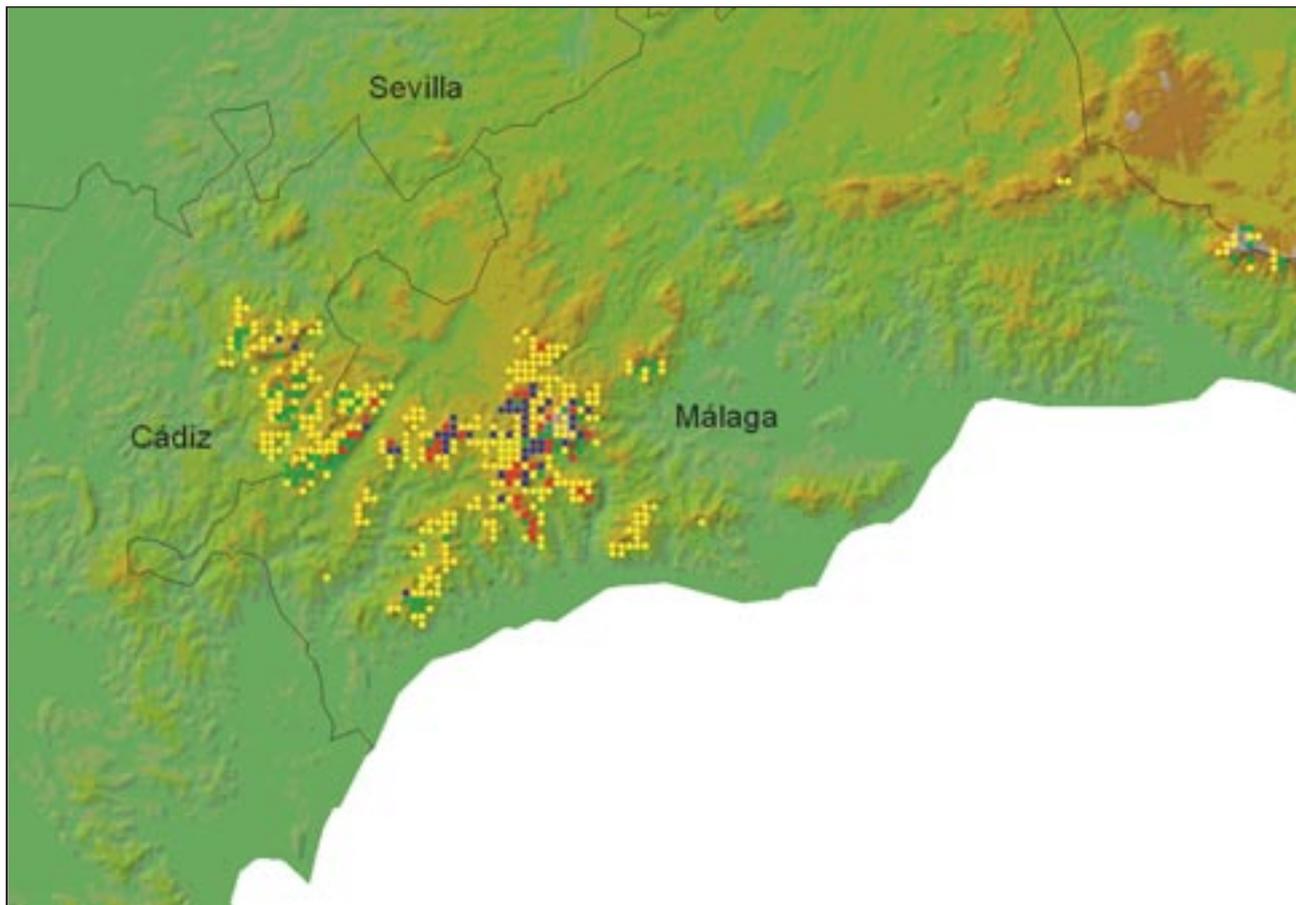
En la tabla 5 se exponen los ámbitos fitoclimáticos de *Abies pinsapo* pormenorizados por subtipos.

Los ámbitos fitoclimáticos de la tabla 5 se aplicaron al modelo digital de elevaciones GTOPO30 del U.S. Geological Survey con una resolución de aproximadamente 1 km, previamente tratado mediante FITOCLIMOAL'2000 para hallar el valor de los factores fitoclimáticos para cada uno de sus puntos.

El resultado de este proceso es el mapa 2 adjunto, en que se aparecen los puntos (100 has por punto aproximadamente) incluidos dentro de los ámbitos fitoclimáticos de los subtipos de la tabla 5. Según este mapa 47.700 ha (del total peninsu-

lar) serían aptas, en principio, para albergar ensayos de *Abies pinsapo* desde el punto de vista fitoclimático.

Las áreas incluidas en el mapa 2 pueden considerarse como el máximo absoluto compatible con *Abies pinsapo*, albergando, evidentemente, áreas de cierta marginalidad desde el punto de vista fitoclimático para el ensayo de la especie, dado que en la construcción de los ámbitos fitoclimáticos se ha adoptado un criterio amplio, en el sentido de considerar no sólo los puntos de muestreo en donde *Abies pinsapo* es la especie dominante, sino también aquéllos en los que la especie aparece en segundo y tercer lugar de dominancia.



Mapa 2.- Áreas fitoclimáticas potenciales de *Abies pinsapo* en España. La totalidad de los puntos (477) se corresponde con la 1ª aproximación fitoclimática utilizada en este estudio. El conjunto de los puntos azules, rojos y verdes (153 puntos) se corresponde con la 2ª aproximación, esto es, con altas idoneidades fitoclimáticas. Mediante la 3ª aproximación (envolvente factorial convexa) se identifican en azul los 46 puntos de alta compatibilidad factorial, en rojo los 36 puntos de compatibilidad factorial moderada y en verde los 71 puntos de baja compatibilidad factorial

Segunda aproximación. Idoneidades fitoclimáticas

En este sentido, en orden a una mayor restricción del área de ensayo y, consecuentemente, mayor probabilidad de éxito en las futuras pruebas de repoblación, se ha realizado un estudio de idoneidades basado en el cálculo del índice de idoneidad para cada una de las 20 estaciones, conforme a la metodología de ALLUE CAMACHO (1996), como indicativo del nivel de adecuación fitoclimática de la especie al sitio de ensayo.

A los efectos de este trabajo se entiende por *idoneidad fitoclimática* el grado de adecuación de un lugar para acoger a determinados taxones o sintaxones, todo ello desde el punto de vista mixto de su

perdurabilidad (capacidad de autorregeneración) y de su competitividad con otras especies. Aunque el éxito vital de los individuos vegetales, medido por ejemplo en capacidad de acumulación de biomasa de forma rápida, suele ser una componente importante de la competitividad, otros condicionantes como capacidad de regeneración natural, la resistencia a enfermedades o las de sus taxones potencialmente competidores suelen ser más determinantes, y están más relacionados con el concepto de idoneidad fitoclimática, que se aparta así de otros conceptos más tradicionales como el de *calidad de estación forestal*. Remitimos al lector a las fuentes bibliográficas originales para conocer el detalle del modelo pa-

ra distintas especies y comunidades vegetales españolas desde 1993, como son entre otras CAÑELLAS (1993) para *Quercus coccifera*, ALLUE-ANDRADE et al. (1994) para *Pinus pinea*, ALLUE CAMACHO (1995) para comunidades pascícolas, CAMARA (1997) para *Pinus halepensis* o GRAU et al. (1999) para *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* y *Pinus pinaster*.

Como puede verse en la tabla 6 las áreas correspondientes al subtipo VI(IV)₂ son las de mayor índice de idoneidad medio (69,5) frente a las áreas de subtipo IV₄ (47,4). Es de destacar que precisamente el subtipo de mayor idoneidad media es también el que sustenta mayor número de estaciones con presencia natural de la especie (13 estaciones de las 20 totales).

Tabla 6.- Valores medios y extremos del índice de idoneidad (Id) para las estaciones con presencia natural de *Abies pinsapo* agrupadas por subtipos fitoclimáticos

Subtipo	Nº de puntos	Id. min.	Id. máx.	Id. media	Desv.Est.
VI(IV) ₂	13	38	86	69,5	16,6
IV ₄	7	22	66	47,4	15,4

Los valores de idoneidad fitoclimática media enmascaran, como es evidente, una cierta variabilidad interna más o menos acusada, dado que no se trata de subtipos específicamente adaptados en sus ámbitos a una estrategia fitológica aciculilignosa exclusivamente basada en *Abies pinsapo*, sino que están basados en estrategias fisionómicas más generales a nivel mundial (WALTER & al., 1960). Por ello, con objeto de obtener una mayor finura en la delimitación de las áreas de ensayo de *Abies pinsapo*, y obtener por tanto áreas de mayor probabilidad de adecuación fitoclimática de la especie, se seleccionaron aquellos puntos correspondientes a índices de idoneidad superiores a 0,70, correspondiendo la totalidad de las estaciones al subtipo VI(IV)₂. Quedaron así seleccionados 9 puntos de muestreo del II Inventario Forestal Nacional.

En la tabla 7 se incluyen los ámbitos fitoclimáticos correspondientes a los subtipos en los que el índice de idoneidad fitoclimática para *Abies pinsapo* es superior a 0,70.

El resultado de aplicar los ámbitos anteriores al modelo digital de elevaciones GTOPO30 previamente tratado con FITOCLIMOAL'2000 para hallar los valores de los factores fitoclimáticos correspondientes a cada uno de sus puntos se puede ver en el mapa 2. En este mapa se muestran las 15.300 ha correspondientes a áreas de alta viabilidad fitoclimática (conjunto de puntos azules, rojos y verdes).

Tercera aproximación. Envoltente factorial convexa

Una todavía mayor fiabilidad en la elección de posibles emplazamientos de ensayos para la reconstrucción de cubiertas vegetales dominadas por *Abies pinsapo* puede conseguirse mediante la novedosa aplicación de la teoría de la envoltente convexa en la mejora del Sistema Fitoclimático de Allué-Andrade. Los fundamentos concretos de esta teoría fitoclimática pueden consultarse en GARCÍA-LÓPEZ et al. (2003), fuente bibliográfica a la que remitimos al lector por resultar demasiado prolija la explicación para los objetivos del presente artículo. No obstante lo anterior, el principio de la envoltente convexa aplicada al Sistema fitoclimático Allué-Andrade consiste básicamente en la sustitución del paralelepípedo factorial, propio de la ecología clásica, que se calcula en el hiperespacio factorial formado por las estaciones que se utilizan para la construcción de los ámbitos y limitado por los valores extremos de los ámbitos factoriales de existencia de la fitología considerada por sólidos de contornos suaves (envoltente convexa) en lugar de angulosos y mucho más ceñidos a la nube de puntos anterior, lo que permite descartar como genuinas estaciones situadas dentro del paralelepípedo pero exteriores al sólido convexo y por tanto a la nube de puntos de partida con presencia segura de la fitología.

Mediante la previa construcción de un sistema fitoclimático con ám-

bito único formado por la nube de los 20 puntos factoriales de partida (tabla 2), basado en la teoría de la envoltente convexa, se realizó la diagnosis fitoclimática de los 153 puntos genuinos y con alta genuinidad correspondientes a la segunda aproximación, obteniéndose como resultado 46 puntos genuinos (interiores al sólido hiperfactorial convexo), 36 puntos análogos (muy cercanos al sólido hiperfactorial convexo) y 71 puntos dispares, es decir, muy alejados del sólido hiperfactorial convexo.

Ello significa que existe una alta compatibilidad factorial con las manifestaciones naturales de *Abies pinsapo* de alta genuinidad en unas 4.600 ha, y una compatibilidad moderada en otras 3.600 ha. Los ensayos de repoblación en las 7.100 ha restantes presentan un apreciable grado de incertidumbre, al no corresponderse con combinaciones factoriales comprobadas.

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio han permitido, por una parte, el ensayo de una nueva metodología de caracterización fitoclimática aplicable a diversas especies forestales de interés, que ha permitido avanzar sobre los estudios fitoclimáticos de *Abies pinsapo* ya existentes, basados en su mayor parte en extrapolaciones factoriales altitudinales, ante la falta de estaciones meteorológicas en las masas de estudio. Sus principales aportaciones se centran

Tabla 7.- Ámbitos fitoclimáticos de *Abies pinsapo* en España pormenorizados correspondientes a estaciones con índice de idoneidad fitoclimática superior a 0,70 (todos corresponden al subtipo VI(IV)₂)

K	A	P	PE	T	TMF	TMC	TMMF	TMMC	HS	HP	OSC	Altitud
0,071	2,97	2092	8	13,7	7,0	22,3	3	27,4	0	6	15,3	1744
0,025	1,87	1287	4	10,2	4,2	18,7	0,4	23,8	0	4	14,5	1014

en la concreción numérica de ámbitos fitoclimáticos de *Abies pinsapo*, que con la aplicación de criterios de creciente exigencia homologatoria combinada con el concepto de idoneidad, y de compatibilidad factorial a través de la teoría de la envolvente convexa permiten por primera vez concretar los resultados en una cartografía digital de áreas de potencialidad fitoclimática de la especie en nuestro país.

Abies pinsapo Boiss. presenta en España manifestaciones naturales en los subtipos fitoclimáticos VI(IV)₂ y IV₄, cuyos ámbitos fitoclimáticos particularizados para los puntos de presencia de la especie representan una superficie aproximada de 47.700 ha. El subtipo VI(IV)₂ no sólo resulta ser el de mayor presencia de la especie, sino el de mayor idoneidad fitoclimática, correspondiente a ubicaciones situadas entre los 1000 y los 1700 m. de altitud, sin embargo, únicamente existe una potencialidad fitoclimática alta en 4.600 ha.

El estudio numérico parece confirmar la ligazón del pinsapo con áreas de características fitoclimáticas muy singulares, de gran originalidad no sólo a nivel peninsular, sino de toda la cuenca mediterránea. Se trata de localidades caracterizadas por una muy elevada pluviometría, superior a los 1000 mm de media anual, pero muy irregularmente repartida, con veranos muy secos, en dónde la precipitación mensual mínima no supera los 10 mm y el periodo de aridez se sitúa aproximadamente entre los 2 y los 3 meses. Asimismo, desde el punto de vista térmico, nos hallamos en localidades no demasiado frías, en donde TMF no parece bajar de 4°C, la TMMF no parece bajar de 0°C, sin periodo de helada segura y con una oscilación térmica reducida, que parece no superar los 15 °C. Estos resultados numéricos son concordantes con los calculados para P, PE y T por MARTIN et al. (1998) a excepción de T, que estos autores estiman entre 14,3 y 17,1 °C frente a nuestros valores de entre 10,2 y 13,7 °C, situación que parece deberse a haber utilizado estos autores estaciones reales situadas altitudinalmente por debajo de las masas de pinsapar.

Estas condiciones fitoclimáticas únicamente se producen, en la cuenca mediterránea, en ubicacio-

nes muy particulares, principalmente macizos montañosos con altitud y cercanía al mar suficientes, que, como en el caso de las serranías gaditanas y malagueñas, permitan a las laderas situadas a barlovento de vientos marítimos dominantes captar abundantes precipitaciones y nieblas que compensen la prolongada sequía estival, a la par que rehuir oscilaciones térmicas acusadas. Estas condiciones fitoclimáticas mínimas parecen reproducirse en localidades muy alejadas pero que albergan comunidades vegetales vicariantes, como es el caso de los abetales de *Abies cilicica* de la cadena montañosa del Tauro turco (GARCÍA-LÓPEZ, 1999a), de *Abies maroccana* del Rif (CHARCO, 1999) y probablemente del resto de los abetales mediterráneos, separándose claramente del resto de abetos existentes en la cuenca mediterránea como *Abies alba* Mill., *Abies nordmanniana* (Stev.) Spach., *Abies equi-trojani* Asch. & Sint. o *Abies bornmuelleriana* Matt. (GARCÍA-LÓPEZ, 1999b).

La posición fitoclimática de *Abies pinsapo* en las porciones más áridas del VI(IV)₂ (aunque muy lluviosas) parece corroborar numéricamente la realidad de estas masas, que entran en contacto en sus límites altitudinales inferiores con formaciones esclerófilas de *Quercus ilex ballota* y la impresión general de que la presencia de frondosas marcescentes (*Quercus faginea*) o caducifolias (*Acer granatensis*), nunca abundantes en los pinsapares, se hace en condiciones desfavorables para estas estrategias vegetales, precisamente por esa elevada aridez, salvo en ubicaciones caracterizadas por cierta azonalidad edáfica que la compense, como bases de roquedos, bolsas terrosas en sustratos muy fisurados o karstificados, fondos umbrosos de barrancos etc..., tanto aquí en España como en otros países de la cuenca mediterránea (QUEZEL et al., 1973).

La cifra de 4.600 ha de alta compatibilidad a la que podrían sumarse las 3.600 ha de potencialidad moderada parece apoyar la opinión extendida entre la mayoría de los autores conforme a la cual la superficie actualmente ocupada por esta especie no es sino los restos de poblaciones antaño más extendidas, objeto de múltiples actuaciones antrópicas de degradación, muy señaladamente

los incendios forestales (RUIZ DE LA TORRE, 1994; ÁLVAREZ CALVENTE, 1994).

Desde un punto de vista más metodológico, el contar con un muestreo completo de estaciones con presencia natural de *Abies pinsapo*, por estar basada la metodología aplicada en el propio Inventario Forestal Nacional, nos ha permitido aplicar directamente el concepto de idoneidad fitoclimática en lugar de recurrir a su aplicación indirecta a través del *modelo puzzle* (ALLUÉ CAMACHO, 1996), pensado para soslayar situaciones con datos iniciales incompletos y ensayar así una metodología de evaluación de riesgos fitoclimáticos potenciales de utilización de la especie en dónde el concepto de *frecuencia* cobra sentido y puede estudiarse en combinación con el de idoneidad, resultando que las ubicaciones más idóneas desde el punto de vista fitoclimático son también las de mayor frecuencia de ocurrencia real de la especie.

La utilización conjunta de técnicas de diagnosis, de homologación, de evaluación de idoneidades fitoclimáticas y de compatibilidad factorial, así como técnicas de cartografía digital y de evaluación de variables regionalizadas ha permitido la obtención de resultados directamente utilizables en la gestión forestal práctica, permitiendo al gestor evaluar la posibilidad de utilización de *Abies pinsapo* en diversos ambientes y su adecuación fitoclimática a la estación.

Asimismo, es necesario resaltar la importancia de completar lo aquí iniciado con futuros estudios sobre el papel de los factores edáficos que son de gran importancia en la caracterización del ambiente de las especies forestales, y muy especialmente en el caso de *Abies pinsapo*, en donde la fisuración de sustratos calizos rocosos y las propiedades de rocas madre muy peculiares, como las serpentinas parece tener cierta importancia en la distribución de la especie. En cualquier caso se hace indispensable una adecuada investigación de campo que confirme o matice los resultados teóricos del presente estudio, mediante un riguroso seguimiento de la evolución de las repoblaciones forestales o parcelas de investigación realizadas con esta especie. 🌲

- ALLUÉ-ANDRADE, J.L.; 1990. *Atlas fitoclimático de España. Taxonomías*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid. 221 pp.
- ALLUÉ-ANDRADE, J.L. & MARTIN BLAS, M.T.; 1994. *Indicador de idoneidad de lugar para las masas forestales. Aplicación a Pinus pinea L.* Conferencia Universidad de Castilla la Mancha. Inédita.
- ALLUÉ CAMACHO, C.; 1995. *Idoneidad y expectativas de cambio fitoclimáticas en los principales sintaxa pascícolas de los montes españoles*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. 423 pp. Madrid.
- ALLUÉ CAMACHO, C.; 1996. Un modelo para la caracterización fitoclimática de individuos, comunidades y fitologías. El modelo idoneidad y su aplicación a las comunidades pascícolas. *Ecología* 10: 209-230. Madrid.
- ÁLVAREZ CALVENTE, M.; 1994. *Los pinsapares malagueños en el recuerdo*. In: «Gestión y conservación de los pinsapares andaluces. Monografías Forestales Andaluzas. Asociación Forestal de Andalucía». 77-90.
- ASENSI, A. & RIVAS-MARTINEZ, S.; 1976. Contribución al estudio fitosociológico de los pinsapares de la Serranía de Ronda. *Anal. Inst. Bot. Cavanilles* 33: 239-247.
- ASENSI, A. & GUERRA, J.; 1980. Sobre la posición bioclimática y sintaxonómica de Abies pinsapo. *Doc. Phytosociologiques*, 5: 455-465.
- BARBERO, M. & QUEZEL, P.; 1975. Les forêts de sapin du pourtour méditerranéen. *Anal. Inst. Bot. Cavanilles*, 32(2): 1245-1289.
- CÁMARA OBREGÓN, A.; 1997. *Idoneidades fitoclimáticas para el pino carrasco*. Actas del I Congreso Forestal Hispano-Luso 1: 15-20. Gobierno de Navarra.
- CAÑELLAS, I.; 1993. *Ecología, características y usos de los coscojares (Quercus coccifera L.) en España*. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Inédita. 574 pp.
- CHARCO, J.; 1999. *El bosque mediterráneo en el norte de África. Biodiversidad y lucha contra la desertificación*. Ediciones Mundo Árabe e Islam. Ministerio de Asuntos Exteriores. 370 pp.
- DEL RÍO, M. et al.; 2001. BASIFOR: *Aplicación Informática para el manejo de bases de datos del Segundo Inventario Forestal Nacional*. III Congreso Forestal Español, Granada. III. 49-54.
- DGCONA, 1986-1995. *II Inventario Forestal Nacional*. Ministerio de Medio Ambiente.
- GARCIA-LÓPEZ, J.M.; 1999a. Taxonomía fitoclimática de Turquía. *Ecología* 13: 25-53. Dirección General de Conservación de la Naturaleza.
- GARCIA-LÓPEZ, J.M.; 1999b. Posición fitoclimática de *Abies bornmuelleriana* Matt. en el macizo del Uludag (Turquía noroccidental). *Invest. Agr. Recur. For.* Fuera de Serie nº 1: 65-74.
- GARCIA-LÓPEZ, J.M. & ALLUE CAMACHO, C.; 2000. FITOCLIMOAL'2000, un programa para la diagnosis, homologación y estudio de dinámicas e idoneidades fitoclimáticas. *Montes* 67: 9-18. www.FITOCLIMOAL.com
- GARCÍA-LÓPEZ, J.M. & ALLUÉ CAMACHO, C.; 2003. Aplicación de la teoría de la envolvente convexa a la mejora del Sistema Fitoclimático Allué-Andrade. *Ecología* 17: 329-343.
- GRAU, J.M.; CAMARA, A. & MONTOTO, J.L.; 1999. Fitoclimatología básica de *Pinus nigra* Arn., *Pinus sylvestris* L. y *Pinus pinaster* Ait. Aplicación del modelo idoneidad. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*. Fuera de serie nº 1: 37-51.
- MARTÍN, S.; DIAZ-FERNANDEZ, P.M. & DE MIGUEL, J.; 1998. *Regiones de Procedencia de las especies forestales españolas. Géneros Abies, Fagus, Pinus y Quercus*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Servicio de Material Genético. Madrid.
- QUEZEL, P.; 1980. *Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen*. In: Pesson, P. (ed.): *Actualités d'écologie forestière*. Gauthier-Villars. 205-255.
- QUEZEL, P. & PAMUKCUOGLU, A.; 1973: Contribution à l'étude phytosociologique de quelques groupements forestiers du Taurus. *Feddes Repertorium* 84(3): 184-229.
- QUEZEL, P. & BARBERO, M.; 1991. *Caractéristiques écologiques, dynamiques et structurales des populations naturelles de sapins sur le pourtour méditerranéen*. Rapport Séminaire International. In: Ducrey & Oswald (1991): *Sapins méditerranéens. Adaptation, sélection et sylviculture*. Commission des communautés européennes. 3-25. Avignon.
- RIVAS MARTÍNEZ, S.; 1987. *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. ICONA. Serie Técnica. 268 pp.
- RUIZ DE LA TORRE, J.; 1979. *Árboles y arbustos de la España peninsular*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. 512 pp.
- RUIZ DE LA TORRE, J.; 1994. *Los pinsapares andaluces*. In: «Gestión y conservación de los pinsapares andaluces». Monografías Forestales Andaluzas. Asociación Forestal de Andalucía. 11-25.
- SÁNCHEZ PALOMARES, O.; SÁNCHEZ SERRANO, F. & CARRETERO CARRERO, M.P.; 1999. *Modelos y cartografía de estimaciones climáticas termoplumiométricas para la España peninsular*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid. 192 pp.
- WALTER, H. & LIETH, H.; 1960. *Klimadiagramm Welt atlas*. Fisher. Viena.