



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-066

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Medio físico e inestabilidad de masas forestales meso-supramediterráneas en espacios naturales gestionados por el Organismo Autónomo de Parques Nacionales.

GÓMEZ-SANZ, V.¹; GARCÍA VIÑAS, J.I.¹; SANZ IZQUIERDO, A.¹; SERRADA HIERRO, R.²

¹ Grupo de Investigación de Ecología y Gestión Forestal Sostenible (ECOGESFOR). Universidad Politécnica de Madrid.

² Sociedad Española de Ciencias Forestales.

Resumen

De cara a prevenir situaciones de inestabilidad en las masas forestales provocadas por cambio global y, con ello, poder fundamentar diseñar y ejecutar las tareas de mitigación y de adaptación que se estimen oportunas en cada caso, resulta de especial interés la aplicación de herramientas metodológicas de diagnóstico ecológico que evalúen el papel del medio físico en la respuesta vegetal observada. En este contexto, el objetivo central del trabajo que esta aportación recoge fue la elaboración de un diagnóstico ecológico sobre la inestabilidad achacable al cambio climático para el conjunto de masas arbóreas de los pisos meso y supramediterráneos situadas en Parques Nacionales y fincas adscritas al Organismo Autónomo Parques Nacionales, basado éste en los modelos de envolvente ambiental, con datos de autoecología paramétrica de las especies forestales españolas. A partir de las observaciones de campo de 28 localizaciones de muestreo, la valoración final del conjunto de datos elaborados permitió la identificación como ámbitos más estables para las especies analizadas Guadarrama (pinar y rebollar) y Dehesa de Cotillas (quejigares y encinares), mientras que los más vulnerables se reconocieron en Cabañeros (quejigares, rebollares y alcornoques), Quintos de Mora (quejigares) y en Monfragüe (encinares y alcornoques).

Palabras clave

Espacios protegidos, cambio climático, autoecología paramétrica, biotopo, marginalidad ecológica.

1. Introducción

La dinámica de cambio global, y en especial la derivada del cambio climático, introduce importantes niveles de incertidumbre en lo relativo a la estabilidad y evolución de los sistemas naturales (GRACIA *et al.* 2005). Las consecuencias derivadas implicarán alteraciones en la fisiología y fenología de las especies, con efectos de diferente signo sobre la productividad, estabilidad y persistencia de sus masas.

Entre los impactos esperables del cambio climático está la elevación de la temperatura del aire, lo que traerá asociado un incremento en las tasas de evapotranspiración, con la consecuente reducción de la reserva hídrica de los suelos en los sistemas naturales. A esto deben incorporarse los efectos de un incremento en la irregularidad de las precipitaciones, con consecuencias sobre la torrencialidad y los procesos erosivos que llevan a la desertificación (SERRADA *et al.* 2011), y de la potenciación de la actividad de agentes bióticos, al reducirse la limitación por frío y ampliarse sus períodos de actuación.

En especial, el incremento del estrés hídrico que deriva de estos nuevos escenarios es probable que conlleve una menor capacidad de acumular reservas por parte del arbolado, circunstancia íntimamente ligada a un incremento en su vulnerabilidad frente a las perturbaciones (fuegos, plagas, enfermedades), al presentar mayores dificultades para completar procesos renovadores (brotación, diseminación) y de resistencia biótica (GRACIA *et al.* 2005).

Las masas forestales arbóreas, dada su complejidad y variedad, son los sistemas naturales en los que de modo más patente se manifiesta la vulnerabilidad a los efectos derivados del cambio climático. Esta poco halagüeña perspectiva obliga a mejorar el conocimiento de su funcionamiento ecológico, para adecuar así el manejo de las mismas y poder mitigar tendencias no deseables con la implementación de modelos de planificación y gestión más adaptativos, que permitan la anticipación a los problemas o retos emergentes, y que gocen de la flexibilidad necesaria para afrontarlos de una manera adecuada (VERICAT et al., 2012).

El Organismo Autónomo Parques Nacionales (OAPN), junto con otras unidades del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), está involucrado en actividades de seguimiento del cambio global, particularmente del cambio climático, en los Parques Nacionales y en las fincas y centros que de él dependen, con el fin de aumentar el conocimiento y contribuir a tareas de mitigación y de adaptación. Estas se incluyen en el Plan de Seguimiento y Evaluación de la Red de Parques Nacionales, ejecutado en colaboración con las comunidades autónomas y de acuerdo con el procedimiento establecido en el Consejo de la Red.

A día de hoy, en la España peninsular los territorios con declaración efectiva de Parque Nacional son 9, de los que 6 están situados en la región biogeográfica mediterránea (Sierra del Guadarrama, Monfragüe, Cabañeros, Tablas de Daimiel, Sierra Nevada y Doñana) y en los que los sistemas vegetales allí presentes se encuentran distribuidos en diferentes pisos bioclimáticos que oscilan entre el crioromediterráneo y el mesomediterráneo. El 5º Informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) sitúa a la región mediterránea como uno de los ámbitos territoriales que a escala planetaria parece asumido va a presentar mayores transformaciones climáticas respecto de su situación actual. Ante estos nuevos escenarios climáticos, en los que se prevé un patente incremento de la eficacia térmica del clima y del estrés hídrico, resulta coherente esperar que las formaciones vegetales más expuestas a riesgo sean aquellas instaladas en los pisos bioclimáticos altitudinalmente más bajos, dentro de un contexto climático marcadamente mediterráneo.

El conocimiento adquirido sobre la autoecología paramétrica de especies supone una versátil herramienta que ha sido frecuentemente utilizada en la modelización de la su distribución espacial, posibilitando, entre otros aspectos, la identificación y evaluación de situaciones de inestabilidad ecológica, tanto pasada como actual. En el ámbito español y para las principales especies forestales arbóreas, los estudios de autoecología paramétrica fueron iniciados por *Gandullo* y *Nicolás* en el año 1967, tarea que ha sido continuada en las últimas décadas bajo la dirección de *Sánchez Palomares* y *Montero*. A lo largo de este dilatado proceso, se han realizado más de 2.800 inventarios de campo, con un especial interés en la caracterización edáfica de las localizaciones. Esta circunstancia dota de un valor singular al trabajo realizado, pues son particularmente escasas las bases de datos edáficos estandarizados asociados a las condiciones de hábitats de especies forestales.

La potencial utilización en las iniciativas de seguimiento de esta información autoecológica puede ayudar al establecimiento de indicadores que permitan diagnosticar las limitaciones ecológicas más importantes que pueden tener las masas forestales existentes y el modo en que los escenarios de cambio climático pueden modificar estas limitaciones. Todo ello debe contribuir a aumentar el conocimiento sobre el estado de conservación de estas formaciones en la Red de Parques Nacionales y en las fincas adscritas, y la posible afección debida a impactos del cambio global y sus tendencias.

2. Objetivos

Esta comunicación presenta los resultados de un trabajo que estableció como objetivo principal la elaboración de un diagnóstico sobre el grado de inestabilidad ecológica para el conjunto de masas arbóreas mesomediterráneas situadas en Parques Nacionales y fincas adscritas al OAPN.

La finalidad última del trabajo en cuestión era la de implementar una herramienta metodológica basada en la evaluación ecológica de especies y localizaciones a través de la aplicación del conocimiento de la autoecología paramétrica de las principales especies forestales españolas. Con ella, se pretende facilitar actuaciones como:

- 1) identificar con cierta robustez las limitaciones climáticas y edáficas (medio físico) que un rodal concreto presenta frente a la instalación y/o perpetuación de especies forestales arbóreas.
- 2) orientar las decisiones para la restauración de futuros lugares y/o masas degradados, permitiendo en su caso seleccionar las especies compatibles y su procedencia más adecuada.
- 3) aproximar el modo en el que los posibles escenarios de cambio climático pueden modificar las limitaciones del medio físico identificadas, para así adecuar el manejo y las prácticas de ordenación forestal.

3. Metodología

Si se asume que los futuros escenarios climáticos, derivados de un proceso de cambio más o menos intenso, se caracterizarán por un régimen térmico más cálido, sumado a una mayor irregularidad en el régimen pluviométrico, con un probable descenso en la entrada de agua al sistema por precipitación (IPCC, 2013), la hipótesis más plausible es la de que los rodales más vulnerables ante previsible escenarios de cambio climático serán aquellos que reúnan condiciones de marginalidad ecológica y se encuentren más expuestos a los efectos del mismo. De esta manera el riesgo de inestabilidad de un rodal concreto (estación) resultará de la combinación de su exposición al cambio y de su susceptibilidad al mismo (marginalidad ecológica).

Desde el punto de vista de la exposición al cambio, los rodales más susceptibles serán aquellos que ocupen las cotas más bajas dentro del área de distribución de la especie correspondiente. En el conjunto peninsular de la Red de Parques Nacionales, el piso bioclimático más bajo es el mesomediterráneo, cubriendo una extensión que supone en términos generales el 24,2 % de la superficie total, destacando por su mayor representación en valor absoluto los relativos a los Parques de Cabañeros y Monfragüe (tabla nº 1).

Tabla 1. Representación superficial de las masas de la región mediterránea y piso mesomediterráneo en la Red de Parques Nacionales peninsulares (Fuente: <http://www.magrama.gob.es/es/red-parques-nacionales/>).

Parque Nacional	Superficie Total de masas mediterráneas (ha)	Superficie en el piso mesomediterráneo	
		Absoluta (ha)	Relativa (%)
Sierra de Guadarrama	33.960	0	0,00
Monfragüe	18.396	17.985	97,77
Cabañeros	40.856	35.419	86,69
Tablas de Daimiel	3.030	3.030	100,00
Sierra Nevada	85.883	737	0,86

A su vez, en estos y otros espacios de la Red, es posible identificar territorios en clara situación de ecotonía con el piso inmediato superior, el supramediterráneo. Estos se pueden localizar en la finca Quintos de Mora, en las cotas más bajas del Parque Sierra de Guadarrama y en la finca Dehesa Cotillas. Aunque en ellos domina superficialmente el piso supramediterráneo, incluyen a escala local enclaves más o menos ecotonaes de carácter mesomediterráneo.

De esta forma, el área de estudio de este trabajo queda compuesta por los territorios pertenecientes a los parques nacionales de Cabañeros, Monfragüe y Guadarrama, más las superficies correspondientes a la Dehesa de Cotillas y la finca Quintos de Mora. Las formaciones arbóreas dominantes en esos ámbitos territoriales meso-supramediterráneos de la Red de Parques son encinares y alcornoques de penillanura (mesomediterráneo inferior y medio) y melojares, rebollares y pinares de silvestre no altimontanos (mesomediterráneo superior – supramediterráneo inferior).

Las superficies concretas de estudio se delimitaron a partir de la información georeferenciada facilitada por el Banco de Datos de la Naturaleza del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). Sobre ellas, y tomando como punto de partida el Mapa Forestal de España, escala 1:50.000 (MAGRAMA), la unidad de trabajo espacial elegida fue la tesela, entendida ésta como aquella superficie en la que es relativamente homogénea la presencia preponderante de alguna de las especies arbóreas dominantes en los diferentes espacios naturales (sólo se consideraron aquellos recintos con una superficie mayor de 1 ha).

La valoración del grado de exposición a los previsibles efectos del cambio climático se aproximó a través de la evaluación de la posición fisiográfica de cada una de las teselas identificadas, junto a la estimación de la capacidad de retención de agua potencial de sus suelos, a partir de la identificación del tipo litológico que lo ha generado.

Paracada especie, y a partir de sus bases autocológicas (GANDULLO y SÁNCHEZ, 1994; SANCHEZ PALOMARES et al., 2007, 2008, 2012), se delimitaron dos umbrales de variación de la altitud, que se denominaron “inferior” (cota de 500 m para el quejigo, la encina y el alcornoque, o de 800 m para el pino silvestre y el rebollo) y “superior” (cota de 800 m para el quejigo, la encina y el alcornoque, o de 1500 para el pino silvestre y el rebollo).

La caracterización altimétrica de todas las teselas se realizó a partir de un Modelo Digital del Terreno del Instituto Geográfico Nacional (paso de malla de 5 m), identificándose en cada caso las cotas superior e inferior y clasificando su posición altitudinal de acuerdo con los siguientes criterios:

- Intervalo inferior (II): ambas cotas se sitúan por debajo del umbral inferior.
- Intervalo central-inferior (ICI): la cota inferior se sitúa por debajo del umbral inferior, mientras que la superior lo hace por encima de él, no superando el umbral superior.
- Intervalo central (IC): Ambas cotas quedan incluidas entre los umbrales inferior y superior.
- Intervalo central-superior (ICS): la cota inferior es superior al umbral inferior pero sin superar el umbral superior, y la cota superior sí supera éste último.
- Intervalo superior (IS): Ambas cotas se localizan por encima del umbral superior.
- Intervalo total (IT): La tesela muestra una amplitud de variación altitudinal muy alta, desde cotas inferiores al umbral inferior a cotas que superan el umbral superior.

Los distintos litotipos que aparecen referenciados espacialmente en la cartografía del Mapa Geológico de España (IGME Serie MAGNA, E: 1/50.000) en las localizaciones de estudio fueron clasificados de acuerdo a su origen, tamaño de grano y composición química dominante, atributos que dirigen en gran medida los productos resultantes de su meteorización y que constituyen la fracción mineral del suelo en los territorios estudiados. Cada una de las categorías identificadas integra unas condiciones potenciales de capacidad de retención de agua.

La consideración conjunta de ambos aspectos evaluados (posición altitudinal y capacidad potencial de retención de agua) permitió establecer las clases de exposición a los efectos del cambio climático que aparecen recogidas en la tabla nº 2. La implementación de esta asignación en un SIG permitió generar diferentes mapas que muestran la distribución espacial de las teselas seleccionadas, diferenciadas en función de su grado de exposición.

Tabla 2. Clases de exposición frente a los previsibles efectos del cambio climático

		Capacidad potencial de retención de agua				
		Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Posición en rango altitudinal	II	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Moderada	Moderada
	ICI	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada
	IC	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Baja
	ICS	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Baja
	IS	Baja	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja
	IT	Variable				

II, intervalo inferior; ICI, intervalo central-inferior; IC, intervalo central; ICS, intervalo central-superior; IS, intervalo superior; IT, intervalo total.

Por otro lado, para la evaluación de la marginalidad se requirió un descenso de escala, para así poder hacer una aproximación a nivel estación (rodal). La imposibilidad de caracterizar el medio físico de cada una de las estaciones que ocupan las teselas seleccionadas obligó a establecer un diseño de muestreo de puntos concretos de inventario en campo. Este se dirigió básicamente hacia las teselas con mayor exposición, tratando que fueran representativas de cubiertas con riesgo significativo de cambio en su composición y estructura si se confirman las previsiones de cambio.

En cada localización general y para cada especie se muestreó un mínimo de dos situaciones diferenciadas: rodal con buen estado vegetativo (parcela con etiqueta terminada en "A"); rodal en situación de cierta dificultad vegetativa o con manifestación de mortalidad reciente (parcela con etiqueta terminada en "B"). Este doble muestreo por localización buscaba asegurar posibles diferencias entre marginalidad para cada especie y mostrar así la sensibilidad de la herramienta en su identificación. Además, en Monfragüe se muestreó en 4 localizaciones donde los trabajos de restauración habían resultado fallidos, en la idea de aproximar sus posibles causas. La selección concreta de los lugares de estudio se consensuó con el personal técnico de gestión de los diferentes espacios incluidos en el estudio, llevando a que respecto de la planificación inicial, el número de localizaciones se incrementara en 3: un rodal de alcornocal y otra como representativa de la raña adhesada en Cabañeros y un rodal de quejigo en Quintos de Mora.

En los trabajos de campo, en cada una de las parcelas de inventario se seleccionó un punto representativo de las condiciones fisiográficas, botánicas y de dosel dominantes, procediéndose a continuación a su inventariación ecológica detallada. Para esta tarea, se fijó una parcela circular de 12,6 m de radio, sobre la que posteriormente se llevó a cabo la recogida de información dasométrica, fisiográfica y botánica. Paralelamente se realizó el estudio del perfil del suelo, abriendo la correspondiente calicata (zanja en curva de nivel, de unos 2 m de longitud y una profundidad máxima de 1,25 m, si previamente no se alcanza la roca madre coherente y dura), identificando y describiendo los distintos horizontes edáficos, y tomando una muestra representativa de cada uno de ellos. Los muestreos y trabajos de campo fueron realizados a lo largo de los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2015, con el apoyo del personal técnico adscrito a OAPN y de Agentes Medioambientales. Las muestras de suelo fueron remitidas a ITAGRA.CT, laboratorio especializado que cumple los estándares de homologación y certificación para los procedimientos y resultados de analítica edáfica.

La caracterización del medio físico de los rodales seleccionados se realizó mediante el cálculo de diferentes parámetros, ampliamente reconocidos como evaluadores de la influencia del clima y del suelo sobre la respuesta vegetal (GANDULLO y SÁNCHEZ, 1994). Los datos climáticos fueron extraídos del Atlas Climático de España y Portugal de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) que presenta valores termo-pluviométricos normales para el período 1971-2000.

Obtenido el conjunto de parámetros climáticos y edáficos que caracterizan cada uno de los rodales seleccionados, se procedió a su integración y evaluación a través de metodologías del tipo de envolvente ambiental. El objeto es la evaluación del grado de posible marginalidad de las masas estudiadas mediante la determinación de su posición en el espectro paramétrico que se ha establecido para las especies correspondientes (GANDULLO y SÁNCHEZ, 1994; SANCHEZ PALOMARES et al., 2007, 2008, 2012).

En dicho espectro (hábitat), para cada uno de los parámetros descriptivos del medio físico que sustenta las diferentes formaciones vegetales en todo el territorio peninsular español, los principales valores característicos son: Límite Inferior (LI; valor más bajo registrado del parámetro (mínimo), Umbral Inferior (UI; percentil del 10 % del conjunto de valores del parámetro), Umbral Superior (US; percentil del 90 % del conjunto de valores del parámetro) y Límite Superior (LS; valor máximo registrado del parámetro). De esta forma, si para un parámetro concreto, su valor en una localización de estudio se sitúa entre ambos umbrales (inferior y superior), se considera que dicha localización se ubica en el “hábitat central” para ese parámetro. Si el valor es más bajo del umbral inferior, se dice que está en el “hábitat marginal inferior”, mientras que si supera el umbral superior, se considera incluido en el “hábitat marginal superior”.

Sobre la hipótesis de que la posición de una localización en el hábitat marginal de la especie allí instalada determina de forma trascendente su estabilidad ecológica, se ha construido un indicador específico, denominado Indicador de Marginalidad (IM). El valor del mismo para un valor concreto (x) de un parámetro determinado asociado a una localización, resulta de la expresión siguiente:

$$\text{IM} = f(x) = \begin{cases} -1 & , \text{ si } x < 2 \cdot \text{LI} - \text{UI} \\ \frac{1}{1 + e^{5,55 \cdot \left(\frac{\text{UI}-x}{\text{UI}-\text{LI}} - 1\right)}} - 1 & , \text{ si } 2 \cdot \text{LI} - \text{UI} \leq x < \text{UI} \\ 0 & , \text{ si } \text{UI} \leq x \leq \text{US} \\ 1 - \frac{1}{1 + e^{5,55 \cdot \left(\frac{x-\text{US}}{\text{LS}-\text{US}} - 1\right)}} & , \text{ si } \text{US} < x \leq 2 \cdot \text{LS} - \text{US} \\ 1 & , \text{ si } x > 2 \cdot \text{LS} - \text{US} \end{cases}$$

donde: IM, indicador de marginalidad; x, valor del parámetro, LI, límite inferior; UI, umbral inferior; US, umbral superior; LS, límite superior. El IM varía para la marginalidad inferior entre -1 y 0, mientras que para la superior lo hace entre 0 y 1.

4. Resultados

Para cada uno de los ámbitos territoriales analizados, el proceso de identificación y delimitación de teselas de las especies arbóreas que predominantemente ocupan los ámbitos territoriales analizados arrojó como resultado los valores que aparecen resumidos en la tabla 3. Para la especie *Quercus ilex*, el número de teselas y su extensión en el Parque Nacional de Cabañeros incluyen aquellas calificadas como “dehesa” en el Mapa Forestal de España. Así mismo, las teselas identificadas como “restauración” (Parque Nacional de Monfragüe) aparecen en la cartografía haciendo referencia a las diferentes especies utilizadas: *Eucaliptus camaldulensis* (21 teselas), *Eucaliptus globulus* (2 teselas), *Pinus halepensis* (1 tesela), *Pinus pinaster* (9 teselas), *Quercus ilex* (6 teselas) y *Quercus suber* (4 teselas).

Tabla 3. Número de teselas y superficie de ocupación por especies y por ámbito espacial.

Ámbito territorial	Especies					
	<i>P. sylvestris</i>	<i>Q. pyrenaica</i>	<i>Q. faginea</i>	<i>Q. ilex</i>	<i>Q. suber</i>	Restauración
PN Guadarrama	437 (41.585,77 ha)	218 (13.537,12 ha)	-	-	-	-
PN Cabañeros	-	842 (1.887,33 ha)	990 (2.557,36 ha)	1460 (4.473,71 ha)	-	-
PN Monfragüe	-	-	-	80 (3.897,10 ha)	38 (1.439,36 ha)	43 (2.207,41 ha)
F Quintos de Mora	-	-	-	34 (1.287,22 ha)	-	-
F Dehesa de Cotillas	-	-	2 (37,25 ha)	6 (556,12 ha)	-	-
Totales	437 (41.585,77 ha)	1060 (15.424,45 ha)	992 (2.594,61 ha)	1580 (10.214,15 ha)	38 (1.439,36 ha)	43 (2.207,41 ha)

La tabla 4 presenta el resultado final del proceso de asignación a cada tesela de su grado de exposición a los posibles efectos del cambio climático, organizada por especies en cada uno de los ámbitos territoriales muestreados.

Tabla 4. Superficies relativas de exposición a los efectos del cambio climático por especies y por ámbito espacial.

Especie	Ámbito territorial	Exposición (% de superficie)					
		Muy Alta	Alta	Moderada	Baja	Muy Baja	Variable
<i>Pinus sylvestris</i>	Guadarrama Norte	0,00	0,00	2,58	74,23	19,36	3,83
	Guadarrama Sur	0,00	0,00	8,51	53,23	8,36	29,90
	Total	0,00	0,00	5,01	65,61	14,85	14,52
<i>Quercus faginea</i>	Cabañeros	0,00	0,00	6,08	82,83	11,09	0,00
	Dehesa Cotillas	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
	Total	0,00	0,00	5,99	81,64	12,37	0,00
<i>Quercus ilex</i>	Cabañeros	0,00	0,00	3,39	86,60	10,01	0,00
	Cabañeros (dehesa)	0,00	0,00	0,32	99,60	0,09	0,00
	Monfragüe	0,00	36,42	37,13	26,44	0,00	0,00
	Quintos de Mora	0,00	0,00	0,00	21,00	79,00	0,00
	Dehesa Cotillas	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
	Total	0,00	13,90	15,06	53,16	17,88	0,00
<i>Quercus pyrenaica</i>	Cabañeros	9,39	47,25	12,11	31,25	0,00	0,00
	Guadarrama Norte	0,00	4,97	1,31	93,72	0,00	0,00
	Guadarrama Sur	5,66	9,08	3,52	35,71	0,36	45,66
	Total	5,02	12,95	4,14	46,44	0,24	31,20
<i>Quercus suber</i>	Monfragüe	9,66	13,31	41,37	35,66	0,00	0,00
	Total	9,66	13,31	41,37	35,66	0,00	0,00
Restauración	Monfragüe	0,00	36,89	24,64	38,46	0,00	0,00
En el total de ámbitos analizados		1,24	6,02	7,56	59,02	11,38	14,77

El total de rodales muestreados fue de 28, cuya asignación a especie, ámbito territorial y coordenadas queda reflejada en la tabla 5. El medio físico de este conjunto de estaciones fue caracterizado, a partir de la información recopilada en campo y gabinete, mediante la determinación de los diferentes parámetros seleccionados.

Tabla 5. Puntos de muestreo por espacios y especies.

PARCELA	PARQUE NACIONAL O FINCA	ESPECIE	Altitud (m)	Coordenadas UTM		
				Huso	X-ETRS89	Y-ETRS89
QF(DC)A	Dehesa Cotillas	<i>Quercus faginea</i>	1160	30	592341	4435256
QF(DC)B		<i>Quercus faginea</i>	1150	30	591323	4434151
QI(DC)A		<i>Quercus ilex</i>	1240	30	589246	4437851
QI(DC)B		<i>Quercus ilex</i>	1325	30	590249	4438940
QS(MF)A	Monfragüe	<i>Quercus suber</i>	385	29	755757	4412532
QS(MF)B		<i>Quercus suber</i>	340	29	749501	4412975
QI(MF)A		<i>Quercus ilex</i>	305	30	248591	4412648
QI(MF)B		<i>Quercus ilex</i>	255	30	251645	4411919
R(MF)1		(Restauración fallida)	290	29	755506	4413267
R(MF)2		(Restauración fallida)	410	29	754770	4416102
R(MF)3		(Restauración fallida)	411	29	755545	4417722
R(MF)4		(Restauración fallida)	370	30	257051	4408916
QF(CB)A	Cabañeros	<i>Quercus faginea</i>	680	30	373464	4354370
QF(CB)B		<i>Quercus faginea</i>	675	30	375308	4354121
QI(CB)A		<i>Quercus ilex</i>	700	30	372168	4355698
QI(CB)B		<i>Quercus ilex</i>	730	30	379047	4356139
QP(CB)A		<i>Quercus pyrenaica</i>	755	30	371597	4359633
QP(CB)B		<i>Quercus pyrenaica</i>	1010	30	382168	4359257
QS(CB)		<i>Quercus suber</i>	670	30	379780	4353840
R(CB)		(Raña)	625	30	381756	4350713
QI(QM)A	Quintos de Mora	<i>Quercus ilex</i>	1125	30	407193	4366455
QI(QM)B		<i>Quercus ilex</i>	785	30	405912	4362083
QF(QM)A		<i>Quercus faginea</i>	755	30	403937	4360668
R(QM)		(Restauración)	835	30	406355	4363294
PS(GD)S	Guadarrama	<i>Pinus sylvestris</i>	1200	30	423056	4513730
PS(GD)N		<i>Pinus sylvestris</i>	1400	30	408981	4522447
QP(GD)S		<i>Quercus pyrenaica</i>	950	30	431952	4511868
QP(GD)N		<i>Quercus pyrenaica</i>	1140	30	414145	4527765

La incorporación de los valores característicos (límites y umbrales) de los espectros paramétricos para el total del territorio peninsular de cada una de las especies implicadas llevó a la determinación del indicador de marginalidad asociado a cada parámetro en la localización correspondiente. Las tablas 6 y 7 muestran los valores de los parámetros que tenían asociados los indicadores de marginalidad más elevados.

Tabla 6. Parámetros climáticos y su indicador de marginalidad (IM), por especies y por ámbito espacial.

Ámbito territorial	ESPECIE	Parcela	PV (mm)		ETP (mm)		DSQ (mes)	
			Valor	IM	Valor	IM	Valor	IM
PN de CABAÑEROS	<i>Quercus faginea</i>	QF(CB)A	47,39	-0,563	785,30	0,488	3,61	0,529
		QF(CB)B	46,42	-0,602	790,00	0,570	3,67	0,628
	<i>Quercus ilex</i>	QI(CB)A	48,91	0,000	790,10	0,000	3,56	0,000
		QI(CB)B	48,13	0,000	777,80	0,000	3,67	0,000
	<i>Quercus pyrenaica</i>	QP(CB)A	56,16	-0,019	762,50	0,040	3,27	0,190
		QP(CB)B	56,85	-0,016	724,90	0,008	3,25	0,179
	<i>Quercus suber</i>	QS(CB)	42,87	0,000	793,00	0,000	3,87	0,136
Finca DEHESA DE COTILLAS	<i>Quercus faginea</i>	QF(DC)A	91,52	0,000	657,90	0,000	2,32	0,000
		QF(DC)B	92,70	0,000	650,40	0,000	2,29	0,000
	<i>Quercus ilex</i>	QI(DC)A	94,85	0,000	644,70	0,000	2,19	0,000
		QI(DC)B	96,80	0,000	636,90	-0,005	2,10	0,000
PN de GUADARRAMA	<i>Pinus sylvestris</i>	PS(GD)N	112,82	0,000	578,30	0,000	1,62	0,006
		PS(GD)S	101,37	0,000	592,80	0,000	1,79	0,013
	<i>Quercus pyrenaica</i>	QP(GD)N	105,92	0,000	641,40	0,000	2,14	0,000
		QP(GD)S	77,41	0,000	681,30	0,000	2,67	0,006
PN de MONFRAGÜE	<i>Quercus ilex</i>	QI(MF)A	36,61	0,000	907,30	0,066	3,88	0,000
		QI(MF)B	36,49	0,000	903,90	0,048	3,89	0,000
	<i>Quercus suber</i>	QS(MF)A	38,64	0,000	898,40	0,687	3,83	0,132
		QS(MF)B	38,91	0,000	910,80	0,975	3,73	0,119
Finca QUINTOS DE MORA	<i>Quercus faginea</i>	QF(QM)A	51,74	-0,383	771,80	0,269	3,55	0,406
	<i>Quercus ilex</i>	QI(QM)A	61,25	0,000	700,00	0,000	3,20	0,000
		QI(QM)B	52,60	0,000	765,30	0,000	3,53	0,000

PV, precipitación acumulada en los meses de verano; ETP, evapotranspiración potencial anual según THORNTHWAITE & MATHER (1955); DSQ, duración de la aridez según Gaussen

5. Discusión

El análisis de las posibles condiciones de inestabilidad de las masas forestales en los espacios caracterizados se aproximó a partir de la consideración conjunta de su marginalidad autoecológica y de su exposición a los efectos del cambio climático.

Respecto a la exposición, del global de superficies catalogadas, el 70 % lo fue como baja o muy baja. Pino silvestre y quejigo no presentan exposición alta o muy alta en ninguno de los ámbitos territoriales analizados, mientras que las mayores superficies con estas categorías se concentran en Monfragüe (para encina y alcornoque) y Cabañeros (para la encina y el rebollo). En estos territorios más expuestos (que se corresponden con zonas basales de la distribución altitudinal que muestran las diferentes especies consideradas) un incremento de la temperatura del aire, unido a una presumible disminución de la pluviosidad, supondrá un riesgo manifiesto de desequilibrio en el balance hídrico, circunstancia que puede comprometer la estabilidad ecológica de las masas forestales allí instaladas, y consecuentemente su persistencia. En este escenario, las condiciones edáficas juegan entonces un papel especialmente trascendente, pues en función de su capacidad para la retención efectiva de agua, pueden amortiguar de forma significativa el grado de deficiencia

hídrica al que puedan verse sometidas. Los suelos con elevada capacidad de retención de agua supondrán localizaciones resistentes, menos vulnerables a los efectos del cambio climático.

Tabla 7. Parámetros edáficos y edafoclimáticos, y su indicador de marginalidad, por especies y por ámbito espacial.

Ámbito territorial	ESPECIE	Parcela	LIM (%)		ARC (%)		ETRMP (mm)		SF (mm)	
			Valor	IM	Valor	IM	Valor	IM	Valor	IM
PN de CABAÑEROS	<i>Quercus faginea</i>	QF(CB)A	27,90	0,000	22,20	0,000	495,95	0,000	289,35	0,016
		QF(CB)B	22,80	0,000	56,50	0,568	562,01	0,000	227,99	0,000
	<i>Quercus ilex</i>	QI(CB)A	38,90	0,000	47,10	0,037	595,95	0,000	194,15	0,000
		QI(CB)B	36,30	0,000	13,90	0,000	354,28	-0,130	423,52	0,000
	<i>Quercus pyrenaica</i>	QP(CB)A	36,60	0,000	28,60	0,000	546,25	0,000	216,25	0,000
		QP(CB)B	25,40	0,000	8,20	0,000	350,17	-0,730	374,73	0,458
	<i>Quercus suber</i>	QS(CB)	9,10	-0,031	8,10	0,000	346,21	-0,724	446,79	0,027
Finca DEHESA DE COTILLAS	<i>Quercus faginea</i>	QF(DC)A	30,10	0,000	46,90	0,016	557,78	0,000	100,12	0,000
		QF(DC)B	7,20	-0,940	18,60	0,000	513,14	0,000	137,26	0,000
	<i>Quercus ilex</i>	QI(DC)A	15,10	-0,010	61,20	0,524	431,91	0,000	212,79	0,000
		QI(DC)B	12,60	-0,031	68,70	0,867	522,21	0,000	114,69	0,000
PN de GUADARRAMA	<i>Pinus sylvestris</i>	PS(GD)N	22,90	0,000	7,80	0,000	405,98	-0,008	172,32	0,025
		PS(GD)S	24,20	0,000	9,40	0,000	438,26	0,000	154,54	0,005
	<i>Quercus pyrenaica</i>	QP(GD)N	31,80	0,000	16,20	0,000	511,73	0,000	129,67	0,000
		QP(GD)S	22,60	0,000	8,50	0,000	435,12	-0,006	246,18	0,005
PN de MONFRAGÜE	<i>Quercus ilex</i>	QI(MF)A	32,80	0,000	16,90	0,000	442,70	0,000	464,60	0,013
		QI(MF)B	27,60	0,000	14,50	0,000	363,08	-0,066	540,82	0,622
	<i>Quercus suber</i>	QS(MF)A	44,00	0,000	13,20	0,000	371,60	-0,248	526,80	0,583
		QS(MF)B	37,10	0,000	29,90	0,000	470,64	0,000	440,16	0,019
Finca QUINTOS DE MORA	<i>Quercus faginea</i>	QF(QM)A	35,50	0,000	15,00	0,000	493,92	0,000	277,88	0,011
	<i>Quercus ilex</i>	QI(QM)A	44,80	0,000	21,00	0,000	381,67	-0,014	318,33	0,000
		QI(QM)B	33,40	0,000	10,40	0,000	364,14	-0,060	401,16	0,000

LIM, presencia de limos USDA en tierra fina; ARC, presencia de arcillas USDA en tierra fina; ETRMP, evapotranspiración real máxima posible anual según THORNTWHAITE & MATHER (1955); SF, sequía fisiológica según THORNTWHAITE & MATHER (1955)

En lo referente a la marginalidad, las especies consideradas en el parque de Guadarrama y la finca de la Dehesa de Cotillas presentan reducidos valores del indicador de marginalidad en los distintos parámetros evaluados (inferiores a 0,05) con lo que no parecen existir limitaciones trascendentes del medio físico. En el resto de ámbitos territoriales si aparecen parámetros con indicadores de marginalidad que permiten identificar algunas restricciones ecológicas respecto de sus condiciones del medio físico, diferenciados según la especie implicada.

Para el pino silvestre, con sólo representación en el parque de Guadarrama, no se identifica marginalidad en las parcelas inventariadas. Ubicadas éstas en la parte media de su distribución, también su exposición es reducida, con lo que la inestabilidad ecológica de esta especie en ese entorno resulta especialmente baja.

Con un bajo grado general de exposición aparecen las masas de quejigo, si bien en las parcelas inventariadas sí aparecen limitaciones del medio físico, identificadas por valores de marginalidad elevados respecto de alguno de los parámetros estudiados. Concretamente, en el parque de Cabañeros y en la finca de Quintos de Mora, los valores reducidos de precipitación estival, y elevados

de evapotranspiración potencial y duración del período de aridez, sitúan estas localizaciones en el espectro de variación observado en la península Ibérica (LÓPEZ SENESPLEDA –comunicación personal-, 2015) en clara situación de marginalidad climática. Escenarios que impliquen una potenciación de las condiciones de mediterraneidad (elevadas temperaturas estivales con escasez patente de precipitaciones) llevarán a situaciones de inestabilidad de estas masas que pueden comprometer su persistencia.

Alcornoque y encina son las especies con mayor grado de exposición en el total de ámbitos analizados. Su marginalidad en las parcelas muestreadas es, sin embargo, diferente. La encina no muestra valores de marginalidad notorios (salvo en aspectos relativos al edafoclima; valores reducidos de evapotranspiración real máxima posible en una de las parcelas de Cabañeros, y valores elevados de sequía fisiológica para una parcela de Monfragüe). Por el contrario, los valores del alcornoque si son elevados, focalizándose en la eficacia térmica del clima (valores altos de evapotranspiración potencial) y de duración del período de aridez, lo cual tiene transcendencia en el balance edafoclimático (bajas tasas de evapotranspiración real máxima posible y, por consiguiente, elevadas de sequía fisiológica). Estos resultados llevan a valorar como moderado el riesgo de inestabilidad del encinar y elevado para el alcornocal, tanto en Monfragüe como en Cabañeros.

Finalmente, en una situación parecida al alcornoque respecto a la marginalidad está el rebollo, con presencia evaluada en Guadarrama y Cabañeros. A excepción de la vertiente Norte de Guadarrama, el grado de exposición es notable (en Cabañeros, más del 50 % de la superficie ocupada por esta especie presenta una exposición alta o muy alta). Las parcelas de Guadarrama no presentan marginalidades relevantes, con lo que su riesgo de inestabilidad es reducido, se deriva básicamente de su exposición y se concentra en la vertiente Sur. Situación bien distinta presentan las parcelas de Cabañeros, donde la marginalidad es evidente en cuanto al periodo de aridez, lo cual afecta al balance hídrico a nivel suelo (evapotranspiración real máxima posible reducida y sequía fisiológica elevada). Exposición y marginalidad hacen que estas localizaciones de rebollo en Cabañeros tengan un marcado riesgo de inestabilidad si se cumplen las previsiones de cambio climático.

6. Conclusiones

Los resultados de la aproximación realizada permiten extraer un conjunto de valoraciones que deben ser contextualizadas para el entorno físico concreto de las localizaciones (parcelas) muestreadas. Las principales conclusiones que del mismo se derivan son:

- 1) En los ámbitos territoriales analizados, la menor exposición frente a los posibles efectos del cambio climático la presentan las teselas de pino silvestre y de quejigo, mientras que las situaciones de exposición alta se concentran en las teselas de encina (Monfragüe y Cabañeros), alcornoque (Monfragüe) y rebollo (Cabañeros).
- 2) En lo referente a la marginalidad, en las parcelas muestreadas, a excepción de las del parque de Guadarrama y de la finca de la Dehesa de Cotillas, aparecen parámetros con indicadores de marginalidad que permiten identificar restricciones ecológicas achacables a las condiciones del medio físico, concretamente en lo referente a la eficacia térmica del clima y al balance hídrico.
- 3) El riesgo de inestabilidad ecológica se valora como bajo en las parcelas de pino silvestre y moderado en las de encinar (a pesar de su alto grado de exposición).
- 4) En el otro extremo, las parcelas de quejigo, rebollo y alcornoque se considera que presentan un apreciable riesgo de inestabilidad frente a escenarios que impliquen una potenciación

de las condiciones de mediterraneidad (incremento de la aridez estival acompañada de elevadas temperaturas), situación que puede comprometer su persistencia.

La metodológica aplicada ha mostrado unos resultados coherentes e interpretables, con unos niveles de precisión y discriminación satisfactorios, lo que avala su potencial capacidad para la detección del riesgo de inestabilidad ecológica actual o futura en masas forestales arbóreas, ofreciéndose, a su vez, como una útil herramienta sobre la que fundamentar la gestión selvícola de las mismas.

7. Agradecimientos

Al personal técnico y Agentes Medioambientales que cumplen funciones en el Organismo Autónomo de Parques Nacionales, particularmente a Basilio Rada y a Alberto Moral, que facilitaron la realización del estudio.

8. Bibliografía

GANDULLO, J.M.; SÁNCHEZ PALOMARES, O.; 1994. Estaciones ecológicas de los pinares españoles. ICONA. Madrid. 188 pp.

GRACIA, C.; GIL, L.; MONTERO, G.; 2005. Impactos sobre el sector forestal. En: Moreno JM, coordinador. Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. pp. 399-435.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp

SÁNCHEZ PALOMARES, O.; JOVELLAR, L.C.; SARMIENTO L.A.; RUBIO, A.; GANDULLO, J.M.; 2007. Las estaciones ecológicas de los alcornoques españoles. Monografías INIA: Serie Forestal nº 14. INIA, Madrid. 232 pp.

SÁNCHEZ PALOMARES, O.; ROIG GÓMEZ, S.; DEL RIO GAZTELURRUTIA, M.; RUBIO SÁNCHEZ, A.; GANDULLO GUTIÉRREZ, J.M.; 2008. Las estaciones ecológicas actuales y potenciales de los rebollares españoles. Monografías INIA: Serie Forestal nº 17. INIA, Madrid. 343 pp.

SÁNCHEZ PALOMARES, O.; LÓPEZ SENESPLEDA, E.; ROIG GÓMEZ, S.; VÁZQUEZ DE LA CUEVA, A.; GANDULLO GUTIÉRREZ, J.M.; 2012. Las estaciones ecológicas actuales y potenciales de los encinares españoles peninsulares. Monografías INIA: Serie Forestal nº 23. INIA, Madrid. 317 pp.

SERRADA, R.; AROCA, M.J.; ROIG, S.; BRAVO, A.; GÓMEZ-SANZ, V.; 2011. Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector forestal. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R.; 1955. The water balance. *Climatology*, 8: 1-104.

USDA; 1975. Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Handbook nº 436. Soil Conservation Service, Soil survey staff, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.

VERICAT, P.; PIQUÉ, M.; SERRADA, R.; 2012. Gestión adaptativa al cambio global en masas de *Quercus* mediterráneos. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Solsona (Lleida). 172 p.