



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-055

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 y decaimiento de rodales de *Pinus halepensis* Mill. en la Comunidad Valenciana.

GÓMEZ-SANZ, V.¹, GARCÍA VIÑAS, J.I.¹ y 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

En la Comunidad Valenciana se han puesto de manifiesto en los últimos años alarmantes procesos de mortalidad en masas forestales de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.). La implantación de medidas de mitigación y control de los mismos hace pertinente la elaboración de un diagnóstico ecológico sobre la inestabilidad de las masas arbóreas afectadas. Este es el objetivo central del presente trabajo, cuya consecución está fundamentada en el conocimiento adquirido de la autoecología paramétrica de las principales especies forestales españolas. La valoración final del conjunto de datos elaborados, basada en las observaciones de campo de 20 localizaciones de muestreo, permitió la identificación de mayores tasas de mortalidad en el ámbito climático próximo al dominio árido (localizaciones alicantinas que suponen masas climáticamente marginales, especialmente vulnerables a los efectos desestabilizadores del cambio climático), y en localizaciones donde las condiciones fisiográficas y edáficas potencian las condiciones de aridez en episodios prolongados de sequía meteorológica (cotas inferiores a 300 m sobre el nivel del mar y en exposición a solana, con suelos que muestran un escaso grado de desarrollo del perfil, una baja capacidad de retención de agua y/o con presencia de horizontes particularmente arcillosos que provocan cambios de permeabilidad abruptos).

Palabras clave

Inestabilidad ecológica, pino carrasco, parámetros ecológicos, autoecología paramétrica, marginalidad ecológica.

1. Introducción

La Comunidad Valenciana es un territorio especialmente característico del ámbito mediterráneo español, aquel en el que se espera que los efectos del previsible cambio climático sean ecológicamente trascendentes (GRACIA et al., 2005; SERRADA et al., 2011). Dentro de las comunidades vegetales que configuran su paisaje actual, las formaciones arbóreas de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) son un elemento habitual, manifestando una rica variedad en cuanto a origen, condiciones de madurez y estado de vigor vegetativo.

Esta especie vegetal ha mostrado de forma frecuente unas condiciones de estabilidad ecológica que han garantizado su perpetuación y renovación, si bien en los últimos años se han venido observando episodios de notable decaimiento vegetativo que han provocado, en los casos más extremos, la completa desaparición de la cubierta de pino carrasco. Esta imprevista y no deseada situación debe ser analizada y evaluada de cara al establecimiento de medidas de gestión selvícola que amortigüen o minimicen los procesos que llevan al decaimiento vegetativo de estas masas y prevean posibles efectos negativos bajo futuros escenarios de cambio climático.

Los mecanismos que subyacen bajo la mortalidad o supervivencia de árboles durante episodios de sequía permanecen aún no del todo comprendidos, a pesar de décadas de investigación en los campos de la fisiología, la patología y la ecología forestal (PEÑUELAS et al., 2001; McDOWELL et al., 2011).

Los procesos de decaimiento en masas forestales son particularmente complejos, pues están dirigidos por un conjunto especialmente variado de factores (ALLEN et al., 2010). De acuerdo con el modelo de “espiral del decaimiento” (MANIÓN & LACHACE, 1992), la sequía actúa como un “factor desencadenante”, que puede conducir a la mortalidad de árboles que estén en situación de “predisposición”, resultante ésta de la combinación de condiciones de edad y espesura de la masa y de las particulares condiciones de estación (medio físico). Los “factores contribuyentes”, como son insectos perforadores y hongos patógenos, culminan el proceso de decaimiento, dando lugar a episodios de mortalidad a gran escala.

Las peculiaridades del medio físico a escala estación se presentan entonces como un claro factor de predisposición. Su inherente variabilidad espacial está en la base de la irregularidad en los patrones de mortalidad a pequeña escala (OBERHUBER, 2001; GITLIN et al., 2006), con lo que los procesos de decaimiento observados no pueden ser correctamente interpretados si no se lleva a cabo una adecuada caracterización de la misma.

De cara a diagnosticar las limitaciones estacionales más importantes que puedan tener las masas forestales que manifiestan decaimiento, los modelos de distribución de especies se han mostrado como herramientas de utilidad. Son muchos los modelos desarrollados, con diferentes finalidades, hipótesis de partida y limitaciones. Dentro de este variado conjunto, los modelos de envolvente ambiental, basados sólo en datos de presencia, son una práctica opción, dada su facilidad de implementación, a partir de información autoecológica paramétrica.

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. Continuados en las últimas décadas por Sánchez Palomares y Montero, el resultado de todo este proceso ha generado una valiosa información ecológica básica, en la que la componente edáfica tiene un papel preponderante, circunstancia que da un valor añadido especial, pues son particularmente escasas las bases de datos edáficos estandarizados asociados a las condiciones de hábitats de especies forestales.

2. Objetivos

El objetivo principal del trabajo que recoge esta comunicación fue la elaboración de un diagnóstico ecológico sobre el papel de las condiciones locales del medio físico en los procesos de decaimiento de masas arbóreas de pino carrasco de la Comunidad Valenciana, estando éste fundamentado en el conocimiento adquirido de la autoecología paramétrica de las principales especies forestales españolas.

El conjunto de resultados obtenidos debe ayudar a la hora de orientar las decisiones para la restauración de lugares y/o masas afectados por episodios de mortalidad manifiesta, tanto actuales como futuros, permitiendo en su caso identificar limitaciones trascendentes y orientar la selección de especies compatibles y su procedencia más adecuada.

3. Metodología

El ámbito territorial del estudio fue el conjunto de masas forestales de pino carrasco de la Comunidad Valenciana en las que en distinta medida se han manifestado problemas de mortalidad, especialmente en 2014. Limitaciones de disponibilidad presupuestaria y de tiempo de ejecución llevaron a fijar un número total de 10 localizaciones de estudio: dos en la provincia de Castellón, seis en la de Valencia y dos en la de Alicante. En cada localización se seleccionaron dos situaciones diferenciadas: (1) rodal con buen estado vegetativo y ausencia de mortalidad reciente (parcela con etiqueta terminada en “N”); (2) rodal, cercano fisiográfica y geográficamente al anterior, en situación

de cierta dificultad vegetativa o con manifestación de mortalidad reciente (parcela con etiqueta terminada en "S"). Este doble muestreo por localización permitió hacer una aproximación a la variabilidad a pequeña escala de las condiciones de estación, en las que los caracteres edáficos pueden mostrar diferencias que son especialmente trascendentes en el proceso de decaimiento.

El total de áreas afectadas por decaimiento a finales de 2015 aparece referenciado espacialmente en la figura 1, junto con la posición del total de parcelas inventariadas. La situación administrativa de las mismas, junto a sus coordenadas UTM se incluye en la tabla 1. La selección de estos lugares de estudio fue sugerida por el personal técnico que cumple funciones relacionadas con Sanidad Forestal en la Dirección General de Medio Natural y en VAERSA, bajo la dirección de Eduardo Pérez-Laorga y con el apoyo de personal técnico adscrito a Sanidad Forestal y de Agentes Medioambientales.

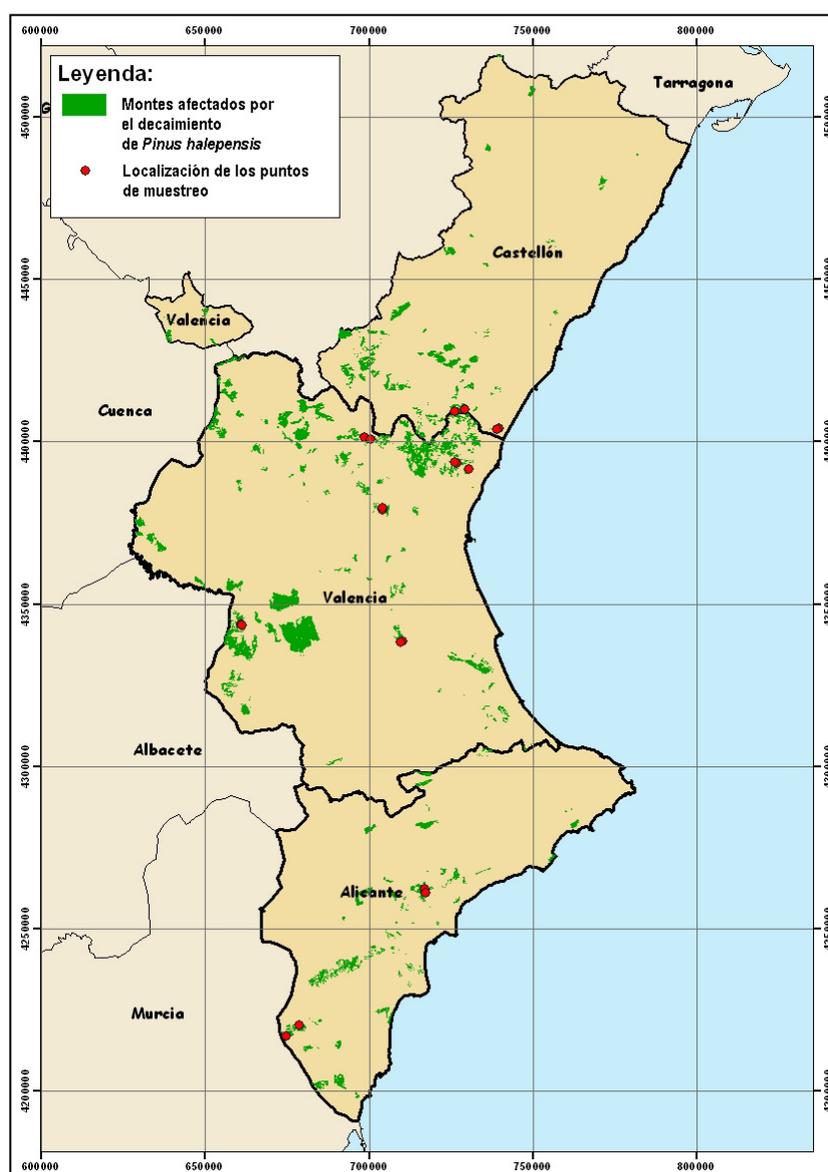


Figura 1. Localización general de las parcelas de estudio.

Tabla 1. Situación de las parcelas de estudio

Localización	Parcela	Provincia	Municipio	Huso	X-ETRS89	Y-ETRS89
1(CS)	1(CS)N	Castellón	Almenara	30	739659	4404126
	1(CS)S	Castellón	Almenara	30	739100	4403741
2(CS)	2(CS)N	Castellón	Soneja	30	726199	4409447
	2(CS)S	Castellón	Soneja	30	729371	4409909
3(V)	3(V)N	Valencia	Gilet	30	726809	4393373
	3(V)S	Valencia	Sagunto (Gilet)	30	730557	4391548
4(V)	4(V)N	Valencia	Sagunto	30	726222	4393666
	4(V)S	Valencia	Sagunto	30	726257	4393705
5(V)	5(V)N	Valencia	Jalance	30	660792	4343644
	5(V)S	Valencia	Jalance	30	661107	4343625
6(V)	6(V)N	Valencia	Guadassuar	30	710163	4338690
	6(V)S	Valencia	Guadassuar	30	709611	4338390
7(V)	7(V)N	Valencia	Lliria	30	698656	4401217
	7(V)S	Valencia	Lliria	30	700365	4400789
8(V)	8(V)N	Valencia	Villamarxant	30	703981	4379061
	8(V)S	Valencia	Villamarxant	30	703961	4379638
9(A)	9(A)N	Alicante	Orihuela	30	678806	4220205
	9(A)S	Alicante	Orihuela	30	674683	4217131
10(A)	10(A)N	Alicante	Jijona	30	717053	4262180
	10(A)S	Alicante	Alicante	30	717248	4261049

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. Así mismo, 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. La apertura de calicatas fue realizada por personal de TRAGSA, contratado a estos efectos. 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.

Con los datos aportados por el inventario forestal se procedió a evaluar las condiciones de espesura de cada masa de pino carrasco, así como a asignar a cada una de ellas un valor de su calidad de estación o índice de sitio, según la metodología propuesta por Montero et al. (2001), en DEL RÍO et al. (2009).

La caracterización de los ámbitos climático y edáfico asociados a las distintas estaciones inventariadas se realizó mediante la determinación de 25 parámetros, ampliamente reconocidos como evaluadores de la influencia del medio físico sobre la respuesta vegetal (GANDULLO Y SÁNCHEZ, 1994). La información climatológica básica para la determinación de los valores de estos parámetros fue la ofrecida por la Agencia Estatal de Meteorología a través del Atlas Climático de España y Portugal (2011), que con una resolución de 1 km², aporta valores medios de variables termopluviométricas relativas al periodo 1971-2000.

Finalmente, y basados en las metodologías del tipo de envolvente ambiental, la evaluación del grado de posible inestabilidad de las masas estudiadas se efectuó mediante la determinación de su posición en el espectro paramétrico que establecieron GANDULLO Y SÁNCHEZ (1994) para el pino carrasco (tabla 2). Dicho espectro (hábitat) queda caracterizado, para cada parámetro, por los valores siguientes, asociados a la presencia de la especie en todo el territorio peninsular español: 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).

Tabla 2. Valores de referencia del hábitat del *Pinus halepensis* en la península Ibérica (GANDULLO Y SÁNCHEZ, 1994, actualizados por MONTERO et al., comunicación personal)

PARÁMETROS		LI	UI	M	US	UI		
Fisiográficos	ALT (m)	70,0	341,0	671,8	966,0	1.375,0		
	INS	0,10	0,30	0,90	1,50	1,80		
Climáticos	Régimen Pluviométrico	PI (mm)	60,2	82,1	140,1	232,3	432,7	
		PP (mm)	79,2	112,7	151,8	193,8	352,2	
		PV (mm)	17,1	40,6	80,2	129,1	196,4	
		PO (mm)	98,9	115,5	158,1	193,8	352,2	
		PT (mm)	306,2	363,4	530,2	693,0	1.111,0	
	Régimen Térmico	TM (° C)	11,3	12,6	13,9	15,5	17,4	
		TXMC (° C)	28,1	28,9	31	33	35,6	
		TNMF (° C)	-2,9	-0,8	1,2	3,1	6,8	
		OSC (° C)	22,1	26,0	29,8	33,0	36,5	
	Balance Hídrico	ETP (mm)	671,0	711,4	758,3	807,0	884,0	
		DSQ (mes)	0,00	1,30	2,90	4,00	6,20	
	Edáficos	Propiedades físicas	IH	-36,4	-30,0	-9,8	13,5	67,3
			TF (%)	20,90	32,80	62,80	94,20	99,50
			ARE (%)	4,3	13,5	34,6	59,8	97,4
LIM (%)			2,0	23,7	40,3	56,6	73,6	
ARC (%)			0,5	12,2	25,0	39,9	64,9	
Propiedades biológicas		CRA (mm)	26,9	58,1	137,8	227,8	288,4	
		MOS (%)	1,00	1,70	4,40	7,10	30,50	
Prop. Químicas		PHA	6,50	7,70	8,20	8,60	9,20	
		CI (%)	0,00	12,10	70,00	94,30	100,00	
		CA (%)	0,00	3,80	28,90	50,10	75,30	
Balance Hídrico		ETRMP (mm)	306,1	356,3	464,5	595,8	690,6	
		SF (mm)	52,3	171,4	293,8	420,2	524,3	

LI, Límite Inferior; UI, Umbral Inferior; US, Umbral Superior; LS, Límite Superior; ALT, altitud sobre el nivel del mar; INS, coeficiente de Insolación (Gandullo, 1985); PI: Precipitación en Invierno; PP: Precipitación en Primavera; PV: Precipitación en Verano; PO: Precipitación en Otoño; PT: Precipitación Anual; TM: Temperatura media anual; TXMC: Temperatura media de las máximas del mes más cálido; TNMF: Temperatura media de las mínimas del mes más frío; OSC: Amplitud térmica media anual; DSQ: Duración de la aridez según Gaussen; ETP: Evapotranspiración potencial anual; IH: Índice Hídrico; TF: contenido en tierra fina en suelo natural; ARE: contenido en arenas en TF; LIM: contenido en limos en TF; ARC: contenido en arcillas en TF; CRA: capacidad de retención de agua (GANDULLO, 1994); MOS: contenido en materia orgánica del horizonte superficial; PHA: pH en agua; CA: contenido en carbonatos activos; CI: contenido en carbonatos inactivos; ETRMP: Evapotranspiración Real Máxima Posible anual; SF: Sequía Fisiológica anual.

De acuerdo con GANDULLO Y SÁNCHEZ (1994), el hábitat central para un parámetro concreto queda delimitado por los valores de umbral (UI y US), mientras que la marginalidad superior se asocia

a valores comprendidos entre el umbral superior y el límite superior, y la marginalidad inferior entre el límite inferior y umbral inferior.

A partir de la hipótesis de que la marginalidad respecto de uno o varios parámetros es reveladora de inestabilidad ecológica, se procedió a su evaluación a través de un indicador específico diseñado al efecto. Este *Indicador de Marginalidad* (IM) es una variable continua, que varía en valor absoluto entre 0 y 1, con signo negativo para la marginalidad inferior y positivo para la superior, y que señala la posición del valor (x) de un parámetro determinado, asociado a una localización concreta, respecto de los valores límites y umbrales del espectro observado para la especie en cuestión (en este caso, pino carrasco). Su algoritmo de cálculo es el 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.

4. Resultados

La caracterización de la mortalidad observada, tanto en las parcelas inventariadas como en su entorno próximo, permitió establecer una tipología de los patrones superficiales de mortalidad observados, fijándose tres categorías: (I) pies muertos aislados en una misma posición fisiográfica; (II) golpes de pies muertos, frecuentemente contiguos y en similar posición fisiográfica; (III) superficies con la totalidad (o práctica totalidad) de pies muertos. La asignación de estos patrones de mortalidad a cada una de las localizaciones muestreadas queda resumida en la tabla 3, junto a los datos descriptivos de su estado dasométrico.

La posición fisiográfica en la que se ubican las parcelas inventariadas aparece resumida en la tabla 4. Puede observarse que altitudinalmente, el rango de variación va desde prácticamente el nivel del mar (Almenara, Castellón) hasta más de 750 m en Jalance (Valencia). La amplitud del mismo tiene consecuencias en la variabilidad de las condiciones climáticas que soporta cada una de las localizaciones analizadas.

Una vez realizada la caracterización paramétrica de cada una de las estaciones, y obtenidos los correspondientes valores del indicador de marginalidad (IM), aquellos parámetros del medio físico que mostraron valores del mismo más elevados aparecen resumidos en la tabla 5. Puede observarse que las localizaciones alicantinas son las que presentan un mayor número de marginalidades, mientras que en el otro extremo se sitúan las valencianas de Jalance y Llíria.

La caracterización de los suelos en las parcelas inventariadas no sólo se efectuó elaborando el correspondiente conjunto de parámetros específicos, relativos al perfil edáfico, sino que además se evaluó su variabilidad interna (dentro del perfil), permitiendo así valorar los patrones de variación con

la profundidad de propiedades trascendentes (profundidad, permeabilidad,...) e identificar su grado de evolución edáfica (tabla 6).

Tabla 3. Caracterización de la mortalidad y del estado dasométrico de las masas analizadas

PARCELA	Mortalidad	N (pies/ha)		G (m ² /ha)		Mrt N %	Mrt G %	Dg (cm)	Ho (m)	S (%)	Calidad
1(CS)N	-	500 n		15,8				20,0	11,0	43,7	14 (III)
1(CS)S	III	320 d	100 d	5,8	3,1	68,7	46,5	15,3	10,7	56,3	14 (III)
2(CS)N	-	340 n		11,2				20,5	11,3	47,3	14 (III+)
2(CS)S	III	520 e	60 d	13,3	2,9	88,4	78,2	18,1	12,7	37,2	14 (III+)
3(V)N	-	520 d		5,1				11,1	6,7	70,7	11 (IV-)
3(V)S	III	200 n	0 d	8,9	0	100	100	23,8	12,0	63,3	11 (IV+)
4(V)N	-	640 e		14,8				17,1	9,0	47,2	14 (III+)
4(V)S	II	919 e	779 e	10,4	9,4	15,2	9,6	12,0	6,7	53,2	11 (IV-)
5(V)N	-	759 e		44,1				27,2	14,5	26,9	17 (II+)
5(V)S	I	260 d	240 d	10,2	9,9	7,6	2,9	22,4	7,0	95,2	11 (IV-)
6(V)N	-	979 e		21,8				18,3	11,0	31,2	14 (III-)
6(V)S	III	477 n	0 d	25,1	0	100	100	25,9	11,0	44,7	14 (III-)
7(V)N	-	380 d		10,0				18,4	7,5	73,5	11 (IV-)
7(V)S	II	300 d	220 d	8,2	6,4	26,6	21,9	18,7	7,5	82,7	11 (IV-)
8(V)N	-	1059 e		22,4				16,4	11,5	28,7	14 (III+)
8(V)S	II	320 d	140 d	7,7	0,9	56,2	88,3	17,5	6,0	100,2	11 (IV-)
9(A)N	-	779 n		9,3				12,3	8,0	48,1	11 (IV+)
9(A)S	III	640 d	0 d	7,2	0	100	100	12,0	6,0	70,8	11 (IV-)
10(A)N	-	700 d		0,3				2,5	3,0	135,4	11 (IV-)
10(A)S	III	500 d	160 d	0,2	0,1	68,0	50,0	2,5	3,0	160,2	11 (IV-)

I, pies muertos aislados en una misma posición fisiográfica; II, golpes de pies muertos, frecuentemente contiguos y en similar posición fisiográfica; III, superficies con la totalidad (o práctica totalidad) de pies muertos; N, densidad; G, área basimétrica; Mort N, mortalidad sobre densidad; Mort G, mortalidad sobre área basimétrica; Dg, diámetro medio cuadrático; Ho, altura dominante; S, Índice de Hart-Becking; espesura según Montero et al. (2001): n, espesura normal; d, espesura defectiva; e, espesura excesiva; Calidad: calidad de estación o índice de sitio según Montero et al. (2001) expresada como altura dominante a 80 años y mediante ordinal.

Nota: en las parcelas con mortalidad se presentan los valores de N y G previos y posteriores al decaimiento.

Tabla 4. Caracterización paramétrica de la fisiográfica de las localizaciones visitadas.

		Localizaciones									
Parámetro		1(CS)	2(CS)	3(V)	4(V)	5(V)	6(V)	7(V)	8(V)	9(A)	10(A)
ALT (m)	N	35	266	247	275	769	67	455	243	117	307
	S	17	303	181	283	759	69	429	317	76	282
INS	N	0,89	0,71	0,94	1,12	1,00	1,00	1,23	0,84	0,69	0,50
	S	1,17	1,25	1,20	1,12	1,06	1,00	1,21	1,25	1,25	1,25

1(CS), Almenara (Castellón); 2(CS), Soneja (Castellón); 3(V), Gilet-Sagunto (Valencia); 4(V), Sagunto (Valencia); 5(V), Jalance (Valencia); 6(V), Guadassuar (Valencia); 7(V), Liria (Valencia); 8(V), Villamarxant (Valencia); 9(A), Orihuela (Alicante); 10(A), Jijona-Alicante (Alicante); ALT, altitud sobre el nivel del mar; INS, coeficiente de Insolación (Gandullo, 1994); N, parcela sin mortalidad; S, parcela con mortalidad

1

Tabla 5. Valores de los parámetros más discriminadores y su indicador de marginalidad (IM).

Parcela		ALT (m)		PT (mm)		ETP (mm)		IH		DSQ (mes)		TF (mm)		CRA (mm)		PHA		CA (%)		SF (%)	
		Valor	IM	Valor	IM	Valor	IM	Valor	IM	Valor	Valor	Valor	IM	Valor	IM	Valor	IM	Valor	IM	Valor	IM
1(CS)	N	35	-0,672	446,7	0,000	861,9	0,169	-26,35	0,000	3,9	0,000	51,6	0,000	98,8	0,000	8,3	0,000	10,46	-0,008	415,2	0,000
	S	17	-0,748	441,6	0,000	859,1	0,142	-26,63	0,000	4,0	0,000	40,4	0,000	33,6	-0,233	6,1	-0,859	0,00	-0,500	438,1	0,010
2(CS)	N	266	-0,018	513,2	0,000	820,6	0,010	-17,61	0,000	3,2	0,000	58,2	0,000	64,6	0,000	8,4	0,000	12,85	0,000	333,6	0,000
	S	303	-0,008	519,7	0,000	809,8	0,005	-16,41	0,000	3,1	0,000	44,5	0,000	25,4	-0,566	7,0	-0,102	0,00	-0,500	363,0	0,000
3(V)	N	247	-0,026	521,7	0,000	801,9	0,000	-15,54	0,000	3,2	0,000	56,7	0,000	49,4	-0,018	8,2	0,000	0,00	-0,500	331,1	0,000
	S	181	-0,093	477,1	0,000	826,7	0,016	-21,87	0,000	3,4	0,000	58,8	0,000	46,6	-0,029	6,2	-0,800	0,00	-0,500	365,4	0,000
4(V)	N	275	-0,015	545,3	0,000	783,1	0,000	-11,40	0,000	3,0	0,000	54,4	0,000	87,6	0,000	8,4	0,000	3,45	-0,170	283,6	0,000
	S	283	-0,013	545,3	0,000	783,1	0,000	-11,40	0,000	3,0	0,000	62,8	0,000	68,5	0,000	8,2	0,000	0,00	-0,500	299,9	0,000
5(V)	N	769	0,000	510,7	0,000	755,4	0,000	-11,71	0,000	3,1	0,000	68,1	0,000	111,9	0,000	8,2	0,000	0,00	-0,500	282,2	0,000
	S	759	0,000	510,7	0,000	755,4	0,000	-11,71	0,000	3,1	0,000	5,9	-1,000	2,0	-0,988	8,3	0,000	5,00	-0,092	388,7	0,000
6(V)	N	67	-0,515	536,2	0,000	875,7	0,355	-16,76	0,000	3,6	0,000	86,1	0,000	62,7	0,000	8,4	0,000	0,00	-0,500	419,0	0,000
	S	69	-0,505	540,0	0,000	879,6	0,421	-16,51	0,000	3,6	0,000	86,3	0,000	80,5	0,000	8,3	0,000	0,00	-0,500	405,7	0,000
7(V)	N	455	0,000	435,3	0,000	814,8	0,007	-25,79	0,000	3,1	0,000	37,8	0,000	22,0	-0,705	8,3	0,000	15,60	0,000	401,2	0,000
	S	429	0,000	439,4	0,000	812,1	0,006	-25,26	0,000	3,1	0,000	42,3	0,000	14,9	-0,894	8,5	0,000	16,20	0,000	404,1	0,000
8(V)	N	243	-0,028	478,5	0,000	829,4	0,019	-21,46	0,000	3,6	0,000	45,5	0,000	59,2	0,000	8,4	0,000	10,30	-0,009	373,3	0,000
	S	317	-0,006	474,0	0,000	825,7	0,015	-21,74	0,000	3,5	0,000	27,9	-0,037	44,8	-0,040	8,5	0,000	0,00	-0,500	385,9	0,000
9(A)	N	117	-0,276	327,3	-0,114	874,7	0,338	-36,73	-0,571	5,0	0,047	34,8	0,000	73,1	0,000	8,4	0,000	15,71	0,000	547,4	0,774
	S	76	-0,469	304,7	-0,535	913,7	0,895	-39,68	-0,945	7,0	0,873	22,0	-0,374	71,5	0,000	8,4	0,000	14,76	0,000	609,0	0,989
10(A)	N	307	-0,008	359,4	-0,006	837,2	0,033	-33,55	-0,078	4,0	0,000	17,1	-0,855	33,6	-0,233	8,5	0,000	15,84	0,000	477,8	0,078
	S	282	-0,013	348,4	-0,016	857,3	0,127	-35,21	-0,263	4,2	0,006	25,2	-0,119	9,5	-0,957	8,5	0,000	17,00	0,000	508,9	0,306

ALT, altitud sobre el nivel del mar; PT: Precipitación Anual; ETP: Evapotranspiración anual; IH: Índice Hídrico; DSQ: Duración de la aridez según Gaussen; TF: contenido en tierra fina en suelo natural; CRA: capacidad de retención de agua (GANDULLO, 1994); PHA: pH en agua; CA: contenido en carbonatos activos; SF: Sequía Fisiológica; 1(CS), Almenara (Castellón); 2(CS), Soneja (Castellón); 3(V), Gilet-Sagunto (Valencia); 4(V), Sagunto (Valencia); 5(V), Jalance (Valencia); 6(V), Guadassuar (Valencia); 7(V), Llíria (Valencia); 8(V), Villamarxant (Valencia); 9(A), Orihuela (Alicante); 10(A), Jijona-Alicante (Alicante); N, parcela sin mortalidad; S, parcela con mortalidad

Nota. En azul, marginalidad negativa; en rojo, marginalidad positiva (en ambos casos: moderada, en tonos claros, severa, en tonos oscuros)

Tabla 6. Caracterización de la variabilidad interna de los perfiles de las parcelas inventariadas.

Localización / Nombre		Mortalidad	Sin Mortalidad				Con Mortalidad			
			CTA	CPA	PU (cm)	Perfil	CTA	CPA	PU (cm)	Perfil
1(CS)	Almenara (Castellón)	III	NO	NO	50	A B _w /C R	SI	SI	20	A B _t /C R
2(CS)	Soneja (Castellón)	III	NO	NO	50	A B _w /C R	NO	SI	15	A B _t R
3(V)	Gilet-Sagunto (Valencia) Si	III	NO	NO	40	A B _w R	SI	SI	20	A B _t /C R
4(V)	Sagunto (Valencia)	II	NO	NO	65	A _k B _w R	NO	NO	45	A B _t R
5(V)	Jalance (Valencia)	I	NO	NO	35	AR	NO	NO	10	AR
6(V)	Guadassuar (Valencia)	III	NO	NO	15	AR	NO	NO	20	AR
7(V)	Lliria (Valencia)	II	NO	NO	20	AR	NO	NO	20	AR
8(V)	Villamarxant (Valencia)	II	NO	NO	45	A _k C R	NO	SI	30	A B _t /R
9(A)	Orihuela (Alicante)	III	NO	NO	100	A B _w BC	NO	SI	25	A _k B _w C
10(A)	Jijona-Alicante (Alicante) Si	III	NO	NO	100	A BC	NO	NO	15	AR

I, pies muertos aislados en una misma posición fisiográfica; II, golpes de pies muertos, frecuentemente contiguos y en similar posición fisiográfica; III, superficies con la totalidad (o práctica totalidad) de pies muertos; CTA, cambio textural abrupto; CPA, cambio de permeabilidad abrupto; PU, profundidad "útil"

5. Discusión

El total de las localizaciones estudiadas muestra un clima de tipo mediterráneo genuino, en el que el período de aridez se extiende en cualquier caso más allá de los tres meses, coincidiendo con el período de temperaturas más altas (meses de verano). El desigual régimen de precipitaciones, atributo también típico del tipo mediterráneo, y la elevada eficacia térmica del clima (globalmente mesotérmico) derivan en un balance hídrico claramente deficitario, que expone a la vegetación a niveles bastante elevados de estrés hídrico.

Esta dominante situación se ve agravada en estaciones con exposición (pendiente más orientación) en solana, donde la mayor insolación deriva en una potenciación del estrés hídrico, al ser mayor la eficacia térmica del clima para evaporar agua. En este sentido, todas las parcelas con mortalidad presentan valores del parámetro INS superiores o iguales a 1, lo que indica que están claramente asociadas a exposiciones de solana, situación muy diferenciada de las no muestran decaimiento patente.

El estado forestal de las masas analizadas, si bien es bastante heterogéneo en el total de localizaciones, no lo es entre las parcelas con y sin mortalidad. Al haberse alcanzado alturas dominantes similares (con lo que no pueden asumirse notables diferencias de calidad de estación) y no observarse, en principio, relación entre la mortalidad y la espesura inicial de la masa, los episodios de mortalidad parecen responder predominantemente a procesos extraordinarios (en intensidad y duración) en pies predispuestos a los efectos de los mismos. De esta forma, el análisis de esta predisposición se debe focalizar en las particulares condiciones de estación.

El análisis y valoración de las diferentes condiciones estacionales caracterizadas permitió identificar distintas situaciones de marginalidad (figura 2) que muestran elevada correlación con los episodios de mortalidad observados.

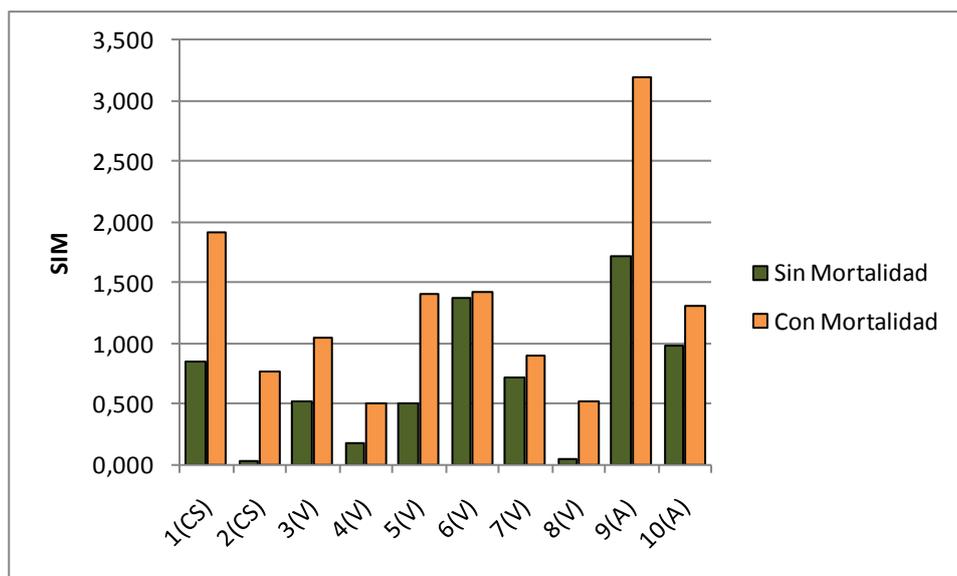


Figura 2. Marginalidad acumulada en las parcelas de estudio (SIM, sumatorio de los valores absolutos del indicador de marginalidad; 1(CS), Almenara (Castellón); 2(CS), Soneja (Castellón); 3(V), Gilet-Sagunto (Valencia); 4(V), Sagunto (Valencia); 5(V), Jalance (Valencia); 6(V), Guadassuar (Valencia); 7(V), Lliria (Valencia); 8(V), Villamarxant (Valencia); 9(A), Orihuela (Alicante); 10(A), Jijona-Alicante (Alicante))

Jalance (5(V)) es la única de las localizaciones que no presenta ningún tipo de marginalidad climática ni fisiográfica. Dentro de ella, la parcela con mortalidad evidente (5(V)S) es la que muestra una posición de marginalidad más definida respecto de ciertas propiedades físicas del suelo, en especial la presencia de elementos gruesos (particularmente elevada) y la capacidad de retención de agua (muy reducida), caracteres íntimamente asociados al escaso grado de desarrollo edáfico que presenta el suelo y que lleva a que la respuesta de la masa de pino carrasco sea de las que tiene un peor índice de sitio (calidad). La mortalidad aquí observada (tipo I) concuerda con este diagnóstico, pues probablemente sea respuesta a desequilibrios fisiológicos generados por otras causas (abióticos –nieve, viento,...- o bióticos –competencia,...-) y catalizados por el grado de evolución edáfica

Localizaciones con marginalidad climática débil son las de Almenara (1(CS)), Soneja (2(CS)), Gilet-Sagunto (3(V)), Sagunto (4(V)), Lliria (7(V)) y Villamarxant (8(V)). En ellas, los patrones de mortalidad observados no pueden ser atribuidos expresamente a las actuales condiciones de esta marginalidad. No obstante, en función del ámbito bioclimático en el que se sitúan, las condiciones particulares fisiográficas y edáficas parecen haber contribuido de forma evidente.

- En las localizaciones del ámbito termomediterráneo (Almenara y Gilet-Sagunto), el inherente estrés hídrico se ha visto favorecido por condiciones fisiográficas y edáficas desfavorables. Concretamente, Almenara muestra una notoria marginalidad fisiográfica (cota especialmente baja) y edáfica (escasa profundidad “efectiva” del suelo y reacción moderadamente ácida con abundancia de carbonatos en la parcela con mortalidad), lo cual puede haber generado sinergias fisiológicas que hayan dado como resultado episodios de mortalidad superficial como los observados (tipo III). Situación pareja (sin marginalidad por altitud) puede asignarse a Gilet-Sagunto.
- Por otro lado, en el ámbito mesomediterráneo (Soneja, Sagunto, Lliria y Villamarxant), el patrón de mortalidad dominante es el de por golpes de pies en posiciones fisiográficas similares (tipo II) –a excepción de Soneja que es de tipo III-. La variabilidad espacial de ciertas propiedades edáficas puede estar en la base de estos comportamientos. Para Soneja y Lliria la marginalidad en cuanto a la capacidad de retención de agua (muy baja en ambas) aumenta el riesgo de

inestabilidad por sequía en los pies con peores condiciones locales de balance hídrico (microtopografía desfavorable, ausencia de grietas,...). En el caso de Sagunto y Villamarxant, la diagnosis de reducida capacidad de retención de agua es similar, aunque ésta no alcance valores de marginalidad evidentes y sí la relativa a la presencia de carbonatos. Las mortalidades aquí son, por tanto, achacables a sinergias fisiológicas derivadas de la marginalidad edáfica, y catalizadas por situaciones de escasez de precipitaciones (sequías), como las experimentadas en los últimos años.

Finalmente, las localizaciones que presentan marginalidad climática manifiesta son Guadassuar (Valencia), Orihuela y Jijona-Alicante (Alicante). Estas condiciones actuales comprometen seriamente la estabilidad de las masas de pino carrasco en ellas instaladas (esta afirmación es particularmente aplicable a la localización de Orihuela). Si a ello se suman marginalidades tanto fisiográficas (en Guadassuar y Orihuela), como edáficas de tipo físico (Orihuela), de tipo químico (Guadassuar) o de ambos (Jijona-Alicante), la mortalidad de patrón superficial continuo acaecida parece ser una consecuencia inevitable.

6. Conclusiones

La valoración final del conjunto de datos elaborados, basada en las observaciones de campo, resultados de laboratorio y cálculos de gabinete, permitió la identificación de las siguientes tendencias que se manifiestan como conclusiones del presente estudio:

- 1) La aparición de los episodios de decaimiento registrados presenta una alta correspondencia con el ámbito definido por el piso termomediterráneo (Orihuela, Jijona-Alicante, Almenara, Gilet-Sagunto y Guadassuar). En él, episodios de reducción notable de las entradas de agua por precipitación (sequía) lleva a niveles letales de su ya por sí elevado estrés hídrico. Este hecho, constatado en el año 2014 y en los años inmediatamente anteriores a él, provocó relevantes desequilibrios fisiológicos que derivaron (ayudados o no por otros factores bióticos y abióticos) en llamativos episodios de mortalidad (todas son localizaciones que presentan un patrón superficial de mortalidad, tipo III).
- 2) En el otro extremo, las localizaciones que caen en el ámbito del piso mesomediterráneo (Lliria, Villamarxant, Soneja, Sagunto y Jalance) muestran mayoritariamente patrones de mortalidad no superficiales (tipos I y II). En este caso, el incremento del estrés hídrico, derivado del reciente episodio de sequía, fue catalizado por las condiciones locales de estación (fisiográficas y/o edáficas), llevando a desestabilizar fisiológicamente ciertos individuos, lo que se manifestó en una mortalidad individual o por golpes.
- 3) Las condiciones particulares de la estación, especialmente en lo relativo a posición fisiográfica y estado edáfico, se revelan como un factor principal de predisposición, modulando los efectos de la sequía como factor desencadenante del decaimiento de las masas de pino carrasco. Los mayores riesgos de decaimiento se asocian a los rodales ubicados en las cotas más bajas, con orientación a solana y con escasa profundidad “efectiva” del suelo, por escaso grado de desarrollo del perfil, una baja capacidad de retención de agua y/o la presencia de horizontes particularmente arcillosos que provocan cambios de permeabilidad y aireación abruptos (las posibilidades de exploración de las raíces para la nutrición y el consumo hídrico quedan bastante limitadas).

Ante la cada día más aceptada expectativa de que el clima en la cuenca mediterránea evoluciona hacia escenarios más cálidos y áridos, la elevada marginalidad climática de las localizaciones muy próximas al ámbito árido (Orihuela y Jijona-Alicante) compromete seriamente la persistencia futura de las masas de pino carrasco allí instaladas. Para el resto de localizaciones, las consecuencias de este anunciado cambio climático sobre las mismas van a estar muy matizadas por

las condiciones particulares de la estación, dando lugar a patrones de decaimiento altamente heterogéneos a escala estación.

7. Agradecimientos

Al personal técnico y Agentes Medioambientales que cumplen funciones relacionadas con Sanidad Forestal en la Dirección General de Medio Natural de la Comunidad Valenciana y en VAERSA, y en especial a Emilio González y a Eduardo Pérez-Laorga como promotores del estudio.

8. Bibliografía

ALLEN, C.D.; MACALADY, A.K.; CHENCHOUNI, H.; BACHELET, D.; MCDOWELL, N.; VENNETIER, M.; KITZBERGER, T.; RIGLING, A.; BRESHEARS, D.D.; HOGG (TED), E.H.; GONZALEZ, P.; FENSHAM, R.; ZHANG, Z.; CASTRO, J.; DEMIDOVA, N.; LIM, J.-H.; ALLARD, G.; RUNNING, S.W.; SEMERCI, A.; COBB, N.; 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For. Ecol. Manage.* 259, 660–684,

DEL RÍO, M.; CALAMA, R.; MONTERO, G.; 2009. Selvicultura de *Pinus halepensis* Mill. pp 289 - 313. en SERRADA, R.; MONTERO, G.; REQUE, J. (Editores); 2009. Compendio de Selvicultura Aplicada en España. INIA. FUCOVASA. Madrid.

GANDULLO J.M., 1994. Climatología y Ciencia del Suelo. Fundación Conde del Valle de Salazar. E.T.S.I. de Montes. Madrid.

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

GITLIN, A.R.; STHULTZ, C.M.; BOWKER, M.A.; STUMPF, S.; PAXTON, K.L.; KENNEDY, K.; MUÑOZ, A.; BAILEY, J.K.; WHITHAM, J.K.; 2006. Mortality gradients within and among dominant plant populations as barometers of ecosystems change during extreme drought. *Conservation Biology*, 20(5): 1477-1486.

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.

MANIÓN, P.D.; LACHANCE, D.; 1992. Forest decline concepts. APS Press. St Paul. MN. 249 pp.

MCDOWELL, N.G.; BEERLING, D.J.; BRESHEARS, D.D.; FISHER, R.A.; RAFFA, K.F.; STITT, M.; 2011. The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. *Trends Ecol. Evol.* 26, 523–532.

MONTERO, G.; CAÑELLAS, I.; RUIZ-PEINADO, R.; 2001. Growth and yield models for *Pinus halepensis* Mill. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 10(1), 179-201

OBERHUBER, W.; 2001. The role of climate in the mortality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) exposed to soil dryness. *Dendrochronologia* 19, 45-55.

PEÑUELAS, J.; LLORET, F.; MONTOYA, R.; 2001. Severe drought effects on mediterranean woody flora in Spain. *Forest Science* 47(2), 214-218.

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.