



5º CONGRESO FORESTAL
ESPAÑOL

5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

REF.: 5CFE01-501

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009
ISBN: 978-84-936854-6-1
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Análisis de los factores de decaimiento en una repoblación de *Pinus halepensis* en el Sistema Ibérico zaragozano

ALQUÉZAR, J.M. ¹; CENTENO, F. ²; CUBERO, D. ²; GIL-PELEGRÍN, E. ¹, IBARRA, N. ², MARTÍN BERNAL, E. ³; PEGUERO-PINA, J. J. ¹, SÁNCHEZ-MIRANDA, A. ⁴;

¹ Unidad de Recursos Forestales. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, Gobierno de Aragón. Apdo. 727, 50080 Zaragoza.

E-mail: egilp@aragon.es

² Departamento de Medio Ambiente. Dirección General de Gestión Forestal del Gobierno de Aragón. Unidad de la Salud de los Bosques, Avda. Montañana, 930. 50059 Zaragoza.

³ Departamento de Medio Ambiente, Dirección General de Gestión Forestal del Gobierno de Aragón. Pº. de María Agustín nº 36, Edificio Pignatelli, Zaragoza.

E-mail: emartin@aragon.es

⁴ Departamento de Ecología Terrestre. Universidad de Granada. Hospital Real, cuesta del Hospicio, s/n, Granada.

Resumen

El fenómeno de decaimiento del bosque difícilmente puede atribuirse a un único factor. Manion incorpora el concepto de factores de predisposición, entre los que destaca el estado previo de la masa. Una excesiva densidad puede provocar problemas de reparto de recursos, no sólo entre individuos por competencia externa sino dentro del individuo por dificultades en el eficiente reparto de fotoasimilados. Uno de estos episodios de decaimiento ha sido el detectado en una masa de *Pinus halepensis* Mill. situada en el Monte de Utilidad Pública Nº 468 denominado “Cerro de San Juan”, término municipal de Valtorres (Zaragoza). La elevada densidad del arbolado ha desencadenado una gran acumulación de biomasa leñosa con poca biomasa foliar y, probablemente, también reducida biomasa radical. Por otro lado, la falta de tratamientos selvícolas ha contribuido al desarrollo de ejemplares muy “ahilados” con escasa copa útil y crecimientos radiales extremadamente bajos. Por ello, y como consecuencia del bajo crecimiento secundario se constata una reducción en la capacidad conductora del sistema vascular. A esto hay que sumar otros factores desencadenantes como la climatología acontecida. Las estaciones de otoño e invierno acumularon una sequía extrema, con 83,4 mm de precipitación, desde septiembre de 2007 a febrero de 2008, ambos inclusive. Para la cuantificación de la incidencia de esta sequía se realizaron medidas de potencial hídrico, confirmando que los ejemplares en decaimiento, presentaban niveles potenciales por debajo del límite de tolerancia a la cavitación en esta especie. En este trabajo se presenta un ejemplo de relación multiescala entre la gestión de una masa y su capacidad de supervivencia, a través de mecanismos fisiológicos fácilmente modelizables.

Palabras clave

Continentalidad, potencial hídrico, cavitación, ahilamiento.

1. Introducción

Durante el comienzo del otoño de 2007 se observaron los primeros síntomas de amarilleamiento masivo en una repoblación de *Pinus halepensis* de 40 ha aproximadamente, en el término municipal de Valtorres, ubicado en el Sistema Ibérico zaragozano.

La prolongada ausencia de precipitaciones, que se extendía desde finales de la primavera y que continuó durante el otoño e invierno, provocó una mayor acentuación de los daños, hasta la muerte de un elevado número de pies.

Dentro de la repoblación afectada se lograron diferenciar tres niveles de daños, observándose un decaimiento muy acusado en una superficie próxima a las 10 ha.

Este proceso de decaimiento se caracterizó por un amarillamiento de las acículas del año anterior seguido de atabacamiento de las mismas, especialmente en individuos muy ahilados, en situaciones de elevada competencia intraespecífica y con escasa biomasa foliar.

2. Objetivos

La zona objeto de estudio se corresponde con el Monte de Utilidad Pública nº 468 “Cerro de San Juan” de la provincia de Zaragoza, con una cabida total de 90,28 ha y perteneciente al Ayuntamiento de Valtorres.

Este MUP está formado por varias repoblaciones de *Pinus halepensis*, incluyendo dos consorcios el Z-2022 y el Z-3206. Concretamente los daños detectados se localizan en el consorcio Z-2022, con una cabida total de 42 ha.

El principal objetivo de este estudio ha sido la determinación de los factores que han desencadenado este proceso de decaimiento de la masa.

3. Metodología

Siguiendo el modelo definido por Manion (1991), los diferentes factores condicionantes de la vitalidad del arbolado se pueden estructurar en:

- Factores de predisposición: factores mayoritariamente abióticos que debilitan al árbol y/o reducen sus defensas a largo plazo.
- Factores de incitación o desencadenantes: generalmente bióticos, aunque también existen abióticos (heladas, etc.).
- Factores de daño o contribución, que acaban con la vida del árbol previamente debilitado.

En este estudio se han abordado diferentes parámetros partiendo del esquema definido anteriormente. Así, se ha estudiado la influencia antrópica sobre el estado de la masa en relación con el uso del suelo y la densidad del arbolado. También se han estudiado mediante diagramas bioclimáticos los factores climáticos de los últimos veinte años y se ha comparado con el resultante para el año 2007. Además se detalla la influencia de los suelos presentes y el modelo digital del terreno. Finalmente, como evaluación del estado hídrico de los ejemplares, se midieron los potenciales hídricos y el área conductora en pies debilitados y en otros sin aparentes síntomas de decaimiento.

Caracterización de la zona afectada

Inicialmente, con el objetivo de dimensionar los daños y evaluar la posible correlación con elementos fisiográficos e intentar obtener un patrón de daños, se realizó la caracterización de la distribución espacial de daños.

De toda la masa arbolada de este monte, actualmente se está produciendo un debilitamiento masivo en las zonas correspondientes con la primera repoblación (consorcio Z-2022), con una superficie aproximada de 42 ha (ver tabla 1).

Tabla 1. Cuantificación de la superficie afectada

CUANTIFICACIÓN DE LA SUPERFICIE AFECTADA	
Masa sin síntomas de decaimiento	33,51 ha
Masa con síntomas de decaimiento	5,09 ha
Masa gravemente afectada	5,08 ha

El método de repoblación utilizado en esta zona fue la siembra por casillas, con unas densidades próximas a los 1500-1800 pies/ha.

El arbolado hoy día presenta alturas próximas a los 10 m, diámetros que rondan los 15-20 cm y las densidades especificadas anteriormente por la ausencia de tratamientos selvícolas. Se constata un fuerte ahilamiento de los pies - coeficiente de esbeltez promedio de la zona afectada de 92,77, con valores de hasta 126,5 - por la competencia intraespecífica a la que se encuentran sometidos, con una poda natural de hasta los dos tercios de la altura del fuste.

A continuación se describe la metodología seguida para el estudio de diferentes parámetros:

- Factores climáticos

Se ha analizado la serie climática 1981-2002 y el año 2007. Para ello se han realizado los pertinentes diagramas bioclimáticos, que muestran cómo la temperatura y la precipitación afectan al correcto desarrollo de las especies forestales.

En el entorno más próximo al grupo de montes encontramos la estación meteorológica de Calatayud a unos 8 km, situada en el Polígono Industrial de La Charluca (latitud 41°19'51", longitud 1°38'49", altitud 600 m.). Los valores climáticos de las series utilizadas se han corregido dada la diferencia altitudinal con el monte.

Diagramas bioclimáticos

Los diagramas bioclimáticos (Montero de Burgos y González Rebollar, 1983) son un intento de cuantificación aproximada de las relaciones entre clima y vegetación.

El modelo permite incorporar el papel del suelo como regulador de la disponibilidad hídrica para las plantas. No obstante sólo permite cuatro posibles casos, o hipótesis:

- (0,0): Suelos llanos muy someros con escasa retención y sin pérdida por escorrentía.
- (0,30): Suelos en ladera muy someros con escasa retención y con pérdidas por escorrentía del 30% de la precipitación. Constituye la hipótesis más desfavorable.
- (100,0): Suelos en llano con una elevada capacidad de retención y sin pérdida por escorrentía. Es la situación más favorable.

- (100,30): Suelos en ladera con pérdidas del 30% por escorrentía y con una elevada capacidad de retención. Constituye una situación poco frecuente en nuestras montañas.

Evidentemente esto constituye una exagerada simplificación de la realidad, que debería ser corregida con datos más concretos del territorio.

En nuestro caso estas variables nos conducen a la hipótesis más desfavorable:

- Capacidades de retención mínimas: **CR (mm) = 0**
- Elevada escorrentía a causa de las fuertes pendientes: **Escorrentía (%) = 30**

- **Modelo digital del terreno**

Mediante una aplicación GIS se obtuvo el modelo digital del terreno, obteniendo información puntual de la pendiente en cada uno de los píxeles en que se dividió la imagen, observándose para la zona de estudio pendientes medias superiores al 30 %, superándose el 45 % de pendiente en abundantes zonas.

Como hemos comentado anteriormente, mediante el modelo desarrollado por Montero de Burgos y González Rebollar (1983), estas elevadas pendientes junto con la degradación del suelo existente suponen la hipótesis más desfavorable en cuanto a la infiltración de agua se refiere, íntimamente relacionado con la disponibilidad hídrica para la vegetación existente.

Para profundizar en la relación existente entre los árboles afectados y la intensidad de la pendiente es necesario estudiar la relación de dependencia o independencia entre las dos variables cualitativas nominales mediante su análisis a través de una tabla de contingencia.

Para intentar establecer la relación de dependencia o independencia en nuestro caso, hemos utilizado la distribución espacial de daños y el modelo digital del terreno.

Las dos variables comparadas han sido:

- *Daños:* Afectado o No Afectado
- *Pendiente:* < 30 %; > 30 %.

Para obtener resultados representativos se ha intentado aproximar el número de observaciones realizadas tanto en la masa afectada como en la no afectada.

Para identificar relaciones de dependencia entre variables cualitativas se utiliza un contraste estadístico basado en el estadístico χ^2 (**Chi-cuadrado**), cuyo cálculo nos permitirá afirmar con un nivel de confianza estadístico determinado si los niveles de una variable cualitativa influyen en los niveles de la otra variable nominal analizada.

- **Potencial hídrico**

Como indicador del estado hídrico de los vegetales se midió el potencial hídrico del xilema mediante el empleo de una cámara de presión tipo Schollander, según metodología habitual en este tipo de estimaciones ecofisiológicas. Valores absolutos de presión (en MPa) bajos (próximos a cero) señalarían condiciones de alta hidratación; valores absolutos muy altos se asocian a estados de hidratación deficientes o críticos, según cada especie. Para el

caso de *Pinus halepensis*, Fabienne et al. (2002) demostraron que por debajo de -4,9 MPa se produce una pérdida de conductividad en el tallo del 50 % como consecuencia de la cavitación del xilema. Por otro lado, la vulnerabilidad de las raíces a este proceso de cavitación inducida por tensión hídrica es superior que la de los tallos. La pérdida de conductividad de las raíces podría ser, si cabe, más grave que la de las ramas, al cuestionar severamente la capacidad de recuperación del arbolado incluso tras un posterior evento de precipitación.

Se cortaron ramas de la parte media-baja del fuste en cinco árboles con síntomas graves de decaimiento, otros cinco con síntomas iniciales de debilitamiento y otros cinco control.

4. Resultados

En este apartado se exponen las líneas de estudio desarrolladas en la zona afectada para determinar las circunstancias que están provocando este decaimiento, así como para predecir la evolución de los daños.

- Factores antrópicos

- Uso inicial del suelo, previo a la repoblación.
- Densidad del arbolado.

La historia previa de uso del territorio es uno de los factores que condiciona de manera más crítica la evolución de un paisaje. En nuestro caso, nos encontramos con un monte que había sido objeto de continuo pastoreo hasta su restauración forestal. Por tanto, sería razonable considerar en esta zona la existencia de suelos degradados, con una escasa retención de agua y nutrientes.

Uno de los motivos por la que se decidió repoblar esta zona fue la necesidad de establecer una cobertura vegetal susceptible de remediar los graves riesgos de erosión de las laderas, al incidir sobre la infiltración y la escorrentía superficial del terreno, debido a que la zona presenta pendientes muy elevadas - superiores en muchos casos al 45 % - que, unido a suelos degradados y alterados, implica un alto riesgo de pérdida continuada de suelo.

En cuanto a la densidad observada en las zonas afectadas, como ya hemos indicado anteriormente, se encuentran densidades próximas a los 1500-1800 pies/ha, muy superiores a las óptimas para su edad y calidad de estación. Esta situación provoca una elevada competencia intraespecífica por los recursos, desarrollándose pies con escasa biomasa foliar. Además, en el contexto de una sequía prolongada como la acontecida en el lugar de estudio, hace que la competencia por los recursos hídricos origine potenciales muy negativos, próximos a la embolia de los vasos conductores para el pino carrasco, actuando por tanto la densidad como un factor de predisposición al decaimiento del arbolado.

- Estado fitosanitario del arbolado

Los síntomas observados en la zona afectada corresponden con la presencia de muchos ejemplares de *P. halepensis* completamente secos, sin un patrón aparente de mortalidad y que conservan parte del follaje atabacado en las ramas. Esta conservación de acículas marchitas en las ramas se ha observado en otras zonas afectadas por procesos de decaimiento. Todos estos

hechos sugieren que esta masa forestal se encuentra en un proceso de debilitamiento generalizado en respuesta a procesos bióticos y abióticos.

Entre los diversos factores que pueden propiciar el aumento de plagas y/o enfermedades, se pueden destacar la competencia por la luz y por el suelo, que se produce en las zonas de mayor densidad y elevadas pendientes.

Por otro lado, condiciones climáticas anormales – prolongados periodos de sequía, fuertes heladas, nevadas – o la realización de una mala gestión – falta de saneamiento, repoblaciones con especies alejadas de su óptimo – provocan la aparición de hospedantes óptimos para la instalación de insectos perforadores subcorticales provocando el incremento de sus poblaciones hasta alcanzar niveles epidémicos.

Los ataques encontrados en el monte son esporádicos, y corresponden a especies de la familia Scolytidae: *Ips sexdentatus* Boern, *Orthotomicus erosus* Woll. y *Tomicus piniperda* Woll.

No se puede señalar a estos perforadores como los únicos causantes de los daños que están ocurriendo, pero sí es necesario entender el proceso de decaimiento como un conjunto de procesos interrelacionados, donde estos perforadores pueden llegar a convertirse en el factor de daño que produzca finalmente la muerte del arbolado.

En lo que respecta a la presencia de enfermedades, no se detectaron síntomas de posibles afecciones ni a nivel radical, ni en el fuste, ramillos o acículas. Para su comprobación se evaluaron los pies para intentar detectar síntomas de su presencia como micelios, canchros, cuerpos de fructificación o deformaciones características en las acículas.

- Factores climáticos

A continuación (figuras 1 y 2) se representan los diagramas bioclimáticos para el periodo 1981-2002 y para el año 2007, a partir de los datos climatológicos de la estación de Calatayud.

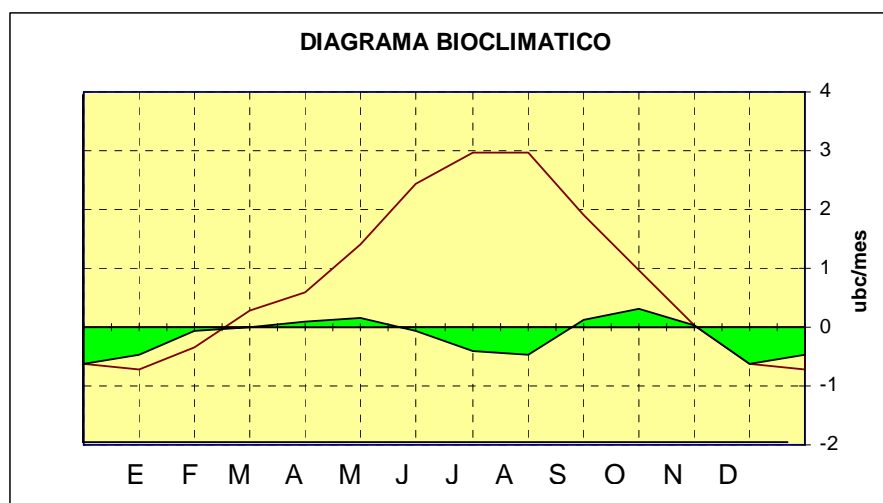


Figura 1. Diagrama bioclimático periodo 1981-2002

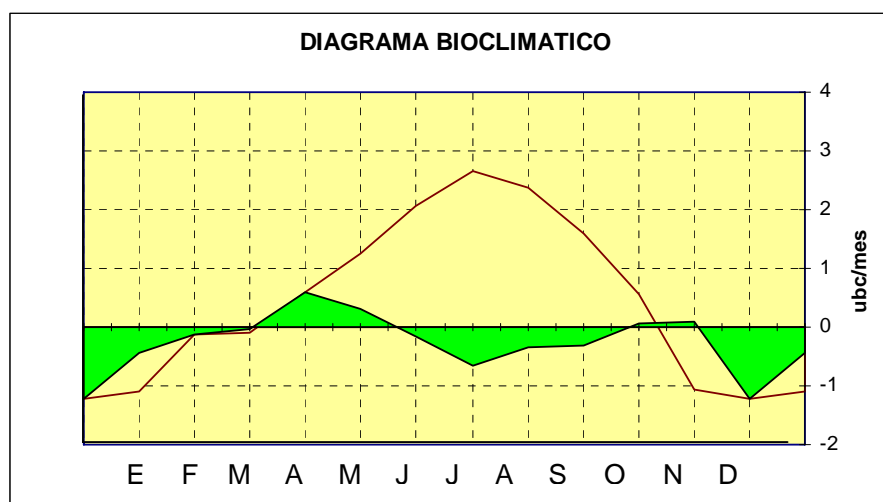


Figura 2. Diagrama bioclimático año 2007

- Los suelos

Los suelos que forman parte de un ecosistema natural son esencialmente conservadores de nutrientes. La erosión, tanto hídrica como eólica, el lavado superficial por la escorrentía y el arrastre a capas profundas extrarradicales por la percolación del agua, producen pérdidas que pueden, en los suelos fuertemente degradados, afectar al normal desarrollo de los vegetales. A su vez, dicho desarrollo de la cubierta vegetal permite una patente mejoría en las propiedades físicas y químicas del suelo así como su evolución hacia estratos más maduros.

Un análisis inicial de la estructura del suelo, utilizando los taludes del terreno en los bordes de las pistas nos demuestra un suelo poco evolucionado, con una estructura muy suelta con gran abundancia de poros. También la pedregosidad es muy elevada, llegando prácticamente al 50%.

Por tanto, la estructura del suelo junto con la abrupta orografía de la zona limita enormemente la disponibilidad hídrica de los vegetales presentes y la escasa evolución del suelo y la alta pedregosidad origina elevadas pérdidas de suelo.

- Modelo digital del terreno

A continuación (tabla 2) se presenta la distribución de las observaciones realizadas para cada una de las variables:

		TABLA CONTINGENCIA		
		> 30 %	< 30 %	
<i>Afectados</i>	224	41	265	
<i>No afectados</i>	116	95	211	
	340	136	476	

Para el valor obtenido de **Chi-cuadrado** ($X^2 = 50,27$) obtenemos que podemos rechazar la hipótesis nula con un nivel de significación del 99 %.

Por lo tanto, podemos afirmar que hay una probabilidad mayor del 99 % de que haya asociación entre las dos variables, es decir, queda demostrada la existencia de una relación directa entre la pendiente y la presencia de pies en decaimiento.

- Seguimiento del estado hídrico de los ejemplares

En las muestras control se obtuvieron potenciales comprendidos entre -1,77 y -2,35 MPa y, en cambio, en árboles con síntomas iniciales de atabacamiento los valores oscilaron entre -2,44 y -2,98 MPa.

En último lugar, los árboles más afectados, que prácticamente estaban secos pero que aún mantenían acículas en las ramas, se alcanzaron potenciales entre -4,45 y -4,85, alcanzándose valores superiores a -5 MPa en dos muestras.

- Medida del área conductora

La generación de potenciales hídricos muy negativos, como consecuencia de una escasa disponibilidad de agua en el suelo, provoca un aumento de las probabilidades de embolia en los conductos del xilema y, por tanto, una obstrucción en la conducción de agua.

Los síntomas presentados por los árboles, tanto al comienzo del proceso como en niveles más avanzados del mismo podrían ser perfectamente compatibles con un proceso severo de embolia. Con objeto de evaluar el grado de disminución de su conductividad hidráulica se realizaron experimentos de tinción sobre los ápices de árboles en regresión y árboles sanos para comprobar si las ramas eran o no conductoras. El colorante, en este caso la floxina, tiñe las traqueidas que permiten su paso, es decir, las conductoras (Mayr & Cochard, 2003).

Para medir el porcentaje de área teñida se trató la imagen con el programa Image J, convirtiendo la parte no teñida en negro y la parte teñida en blanco. Para conocer el área total (que corresponde al 100 %) se convierte toda la imagen a negro y se contabilizan los píxeles.

Se evaluaron diez árboles en importante estado de debilitamiento y otros diez árboles no afectados. La muestra de los árboles no afectados, se dividió a su vez, en árboles procedentes de zonas con presencia de árboles dañados, y de otras zonas sin síntomas de debilitamiento.

En la tabla número 3 se detallan los resultados de las mediciones del área conductora, y en la figura número 3 se representan gráficamente con el error típico muestral correspondiente.

Tabla 3. Resultado área conductora (%)

	ÁREA CONDUCTORA (%)
Árboles decaídos	65,76
Árboles sanos en zona decaída	74,16
Árboles sanos en zonas sin daños	93,25

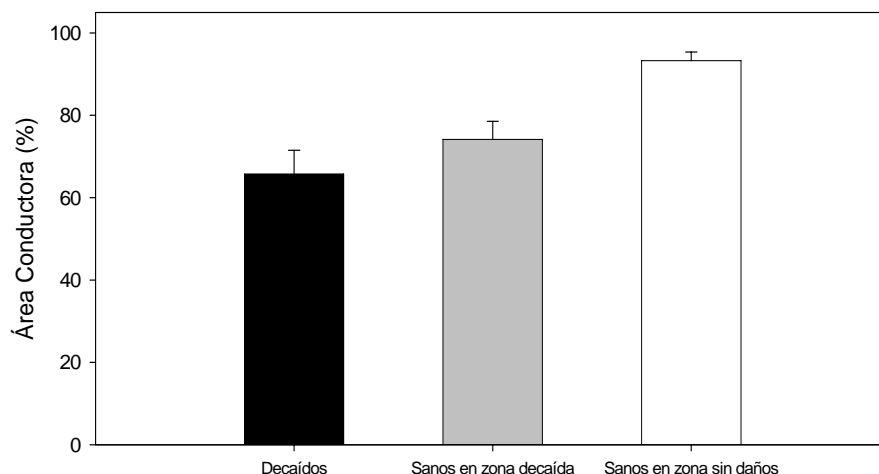


Figura 3. Los datos están representados como el promedio de las muestras para cada clase más el error típico muestral. Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$)

5. Discusión

A continuación se realiza la discusión de los resultados en los diferentes parámetros estudiados:

- Factores climáticos

A través del análisis de los diagramas bioclimáticos anteriores podemos obtener conclusiones interesantes:

- Durante el 2007 tuvo lugar un periodo de auténtica sequía (IBS) en verano con una duración de casi 5 meses, frente a los tres meses de media de los últimos 20 años.
- Además, la IBS en el año 2007 alcanza el valor de 1,49 unidades bioclimáticas (ubc). Para determinar el verdadero alcance de este valor, basta considerar que la IBS media para el periodo 1981-2002 se sitúa en 0,93 ubc y que el valor máximo admisible para esta especie es de 2,3 ubc. Se ha producido, por lo tanto, un claro desplazamiento de la aridez durante los meses cálidos hacia valores limitantes para la especie.
- También se puede observar cómo el periodo durante el cual las especies se recuperan de este estrés hídrico (IBC), que se da desde comienzo del otoño hasta finales de noviembre, en este último año escasamente duró un mes. La importancia de un otoño prolongado, que prepare la transición hacia los meses de parada invernal, es clave en estos climas, y la falta del mismo ha podido, entre otros factores, actuar de desencadenante final del proceso de marchitamiento.
- Si profundizamos en el significado de alguno de los parámetros derivados de estos diagramas bioclimáticos obtenemos apuntes importantes:
 - **La temperatura básica libre (T_{bl})** es un índice que representa las condiciones térmicas de la estación frente al óptimo de cada especie, y que influye en la estabilidad de éstas. Así se establece que se deberán desechar todas las especies cuya T_{bl} difiera en más de 1°C de la T_{bl} de la estación. También se

indica que es preferible que este índice sea superior, en contraposición con las especies cuya Tbl sea inferior.

- Este índice nos sitúa la zona estudiada en el límite climático de la especie, obteniendo valores de hasta 1,3 °C inferiores en comparación con el óptimo para *Pinus halepensis* (valor obtenido en el periodo 2005-2007).

- **Modelo digital del terreno**

La fuerte pendiente registrada en algunas laderas puede amplificar el efecto de la sequía, al reducir de un modo importante la cantidad de agua que puede incorporarse como reserva al suelo.

Esta realidad, si bien parece bastante intuitiva, ha quedado demostrada en el presente trabajo, tal y como se ha especificado en el apartado de “Resultados” mediante el análisis de la chi-cuadrado.

- **Seguimiento del estado hídrico de los ejemplares**

Un análisis preliminar de los resultados demuestra diferencias notables entre ambos tipos de árboles, existiendo un notable gradiente de agua de pies sanos a pies dañados.

En virtud a los resultados obtenidos en campo y a los límites de potenciales hídricos descritos para esta especie podemos verificar que nos encontramos ante una situación climatológica límite para el *Pinus halepensis*. Además, la mayor susceptibilidad a la embolia radicular podría explicar el fenómeno de mortalidad súbita producida al inicio del otoño.

- **Medida del área conductora**

Los resultados revelan diferencias significativas en la reducción de la superficie conductora entre los árboles decaídos y los sanos. De esta manera, queda demostrado que entre las causas de debilitamiento del arbolado se encuentra la disminución del área conductora como consecuencia de un proceso generalizado de embolia ante la escasez de agua disponible por el sistema radicular.

6. Conclusiones

La aparición periódica de procesos de debilitamiento y pérdida de vigor de árboles ha sido, y sigue siendo, motivo de preocupación y de estudio por parte de administradores de los recursos y de científicos. Estos fenómenos, denominados como “muerte regresiva”, “degradación forestal” o “decaimiento”, hoy día son temas de creciente interés.

Estos casos de decaimiento no se ciñen exclusivamente a nuestra geografía sino que nos encontramos en un contexto mundial, con procesos constatados en Europa, América del Norte, Australia, o Pacífico, entre otros lugares. Tampoco se ciñen temporalmente a años concretos, ya que se han registrado episodios agudos de decaimiento desde la década de los años cincuenta del siglo anterior. Sin embargo, y lo que evidencia un claro efecto del clima como factor de predisposición al daño, siempre se han registrado estos episodios en épocas de registro “aberrante” en lo relativo a los valores climáticos. En la región mediterránea dicha

alteración climática se expresa como un incremento de las temperaturas, una disminución de las precipitaciones y un aumento de la variabilidad climática (IPCC 2001).

Por otro lado, en el caso de aquellas especies dotadas de la capacidad de rebrote, se constata una recuperación del arbolado al recuperarse los valores climáticos. En estos casos, donde la alteración de los valores medios en los registros climáticos es “aguda” y severa, aunque reversible, también se produce una sincronización entre clima y decaimiento, lo que necesariamente apunta hacia la aceptación de un papel clave, e inevitable, del clima entre las condiciones que promueven el decaimiento masivo del arbolado.

Sin embargo, otra evidencia se solapa con la anterior. La existencia de episodios climáticos aberrantemente secos no implica una respuesta común y única de las masas forestales de un territorio, ni tan siquiera una respuesta común entre los árboles de una especie dentro de la misma masa. Por lo tanto, otros factores deben combinarse para provocar esta respuesta de tipo “umbral” en el vegetal. Aspectos geológicos, edáficos o incluso, antrópicos conforman un conjunto de factores que claramente predisponen al daño.

Este episodio de decaimiento probablemente sea un ejemplo más de los muchos que pueden aparecer en el paisaje forestal aragonés, si las condiciones climáticas persisten en su tendencia a la aridez. Para un adecuado diagnóstico de la situación de las diferentes masas (naturales o repobladas), un pronóstico de su posible evolución y la propuesta de mecanismos selvícolas que puedan amortiguar el efecto de un clima adverso se requiere profundizar en los mecanismos que relacionan la sequía y la supervivencia del arbolado. El desarrollo de un perfil de resistencia de cada especie de interés forestal en Aragón, mediante la recopilación de datos ya publicados o mediante el desarrollo de estudios nuevos, podría permitir establecer el grado de riesgo de decaimiento, por razones fisiológicas, en cada situación.

Por otro lado, es imprescindible alcanzar, en paralelo, un detallado conocimiento del clima en el territorio aragonés, implementando herramientas geoestadísticas que suplan la baja densidad de información meteorológica disponible.

En definitiva, se considera básico mejorar la capacidad analítica de la sanidad forestal para poder abordar la síntesis de los cambios previsibles en el paisaje aragonés.

7. Bibliografía

(IPCC); 2001. *Climate change 2001: the scientific basis*. Cambridge University Press. Cambridge.

(FROUX, F.); (HUC, R.); 2002. Vulnerability to embolism differs in roots and shoots and among three Mediterranean conifers: consequences for stomatal regulation of water loss. *Trees* 137-144.

(MANION, P.D.); 1991. *Tree Disease Concepts*. Prentice-Hall Ed.. Londres.

(MAYR, S.); (COCHARD, H.); 2003. A new method for vulnerability analysis of small xylem areas reveals that compression wood of Norway spruce has lower hydraulic safety than opposite wood. *Plant Cell and Environment* 26: 1365-1371.

(MONTERO DE BURGOS, J.L.); (GONZÁLEZ REBOLLAR, J.L.); 1983. Diagramas bioclimáticos. ICONA. Ministerio de Agricultura. 379 pp. Madrid