

GRADO DE AFECTACIÓN Y RESPUESTA DE *PINUS HALEPENSIS* A LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y TEMPORAL

RIBAS, M. (1); IBARRA, N. (2); MARTÍN-BERNAL, E. (2); GUTIÉRREZ, E. (1).

(1) Universitat de Barcelona. Dept. d' Ecología, Facultat de Biología.

(2) Servicio Provincial de Medio Ambiente de Zaragoza. Asesoría Técnica de Sanidad Forestal, Gobierno de Aragón. Apdo. 727, 50080 Zaragoza.

E-mail: emartin@aragon.es

RESUMEN

Las alteraciones son eventos que perturban las comunidades o poblaciones y cambian la disponibilidad de recursos, creando oportunidades para nuevos individuos. Éstas presentan características tanto espaciales como temporales: tamaño del área afectada, frecuencia en la que se presenta dicha perturbación, su intensidad, su severidad, y su origen o causa (climático, biológico – plagas- o antrópico -talas, incendios, etc.-). El efecto que pueda tener una perturbación en una población depende tanto de sus características, como de la resistencia y capacidad de adaptación de la población y de la especie afectada.

El objetivo de este estudio, es poner de manifiesto el grado de afectación y la respuesta del pino carrasco a una perturbación de origen climático. Dicho trabajo se centra en la evaluación del grado de afectación que tuvo la helada de diciembre del año 2001 en la masa forestal de la Retuerta de Pina comparándolo con el régimen de perturbaciones climáticas de las últimas décadas. Se trata de un bosque en el que la especie dominante es el pino carrasco, aunque también se encuentran algunas sabinas (*Juniperus thurifera* y *J. phoenicea*), y dónde las encinas son muy escasas.

El trabajo se basa en series dendrocronológicas, de manera que no sólo se evalúan los efectos inmediatos de dicha perturbación y la capacidad de recuperación de los individuos en años sucesivos, sino también se reconstruye la historia reciente del bosque y el régimen de perturbaciones a las que han estado sometidos los árboles a lo largo de los últimos 100 años. Todo esto permite situar el grado de intensidad y rareza de la perturbación dentro de un marco histórico amplio.

P.C.: *Pinus halepensis* Mill., funciones respuesta, variabilidad climática, dendroclimatología

SUMMARY

Alterations are events that modifies the communities or populations and change the availability of resources, creating opportunities for new individuals. The affected area as well as temporary characteristics: size of the affected area, frequency in which this perturbation is presented, and their intensity, severity and origin or cause (climatic, biological plagues- or anthropic -felling, fires, etc. -). The effect that a perturbation can produce in a population depends on its characteristics, as well as on the resistance and adaptation capacity of the population and/or the affected species.

The aim of this study is to show the degree of affectation and the response of the Aleppo pine to a perturbation of climatic origin. This work is focused in the evaluation of the degree of affectation that had the freeze of December of 2001 in the woodland of la Retuerta de Pina comparing it with the regime of climatic perturbation along the last decades. It is a forested area in which the dominant species is the Aleppo pine, although some Sabinas are also found (*Juniperus thurifera* and *J. phoenicea*), and where the Holm oaks are very scarce.

The work is based on dendrochronological series, so that not only the immediate and successive years effects of the perturbation are evaluated. Reconstruction of the forest recent history and the regime of perturbations to those trees have been submitted throughout the last 100 years are reconstructed. All this analysis allow situating the degree of intensity and rarity of the perturbation in a wide historical frame.

INTRODUCCIÓN

El principal factor que determina el funcionamiento de los ecosistemas es el clima, por este motivo resulta de gran importancia conocer la respuesta que ofrecen a los diversos cambios climáticos

que se producen. De la misma manera, trasciende el interés por entender los mecanismos y procesos implicados en dicha respuesta.

En la actualidad, el cambio climático es plenamente aceptado por la comunidad científica (IPCC, 2001). La temperatura de la superficie del planeta en este último siglo ha aumentado entre 0.4 y 0.8 °C según la región (GATES, 1994), y los modelos de Circulación General predicen un calentamiento de magnitud similar al valor promedio global (1.2 – 3.5°C) para la región mediterránea en el presente siglo. Además, también se está produciendo un cambio acusado en el régimen de precipitaciones a nivel regional, siendo éstas cada vez más escasas en la región mediterránea y concentrándose en episodios intensos. De manera que está aumentando la frecuencia e intensidad de las sequías y de las lluvias torrenciales.

El Panel Intergubernamental de expertos sobre cambio climático en su informe del 2001 pone de manifiesto que a la complejidad del cambio climático hay que añadir otro componente del mismo: el aumento de variabilidad del clima y la frecuencia de los acontecimientos climáticos extremos. Con relación a este último aspecto, podemos citar como ejemplos en la Península, el anticlón persistente durante el invierno de 1989, la sequía extrema durante el verano de 1994 y 1995, las heladas en mayo de 1997 y el frío intenso y sostenido en diciembre de 2001. La importancia de este aumento en la variabilidad para la conservación de los ecosistemas radica en que, aunque éstos puedan tener una elevada capacidad de adaptación, a menudo no tienen tiempo de responder a cambios súbitos, especialmente cuando se trata de especies muy longevas como son los árboles. Lo más habitual es que éstos se debiliten haciéndose más vulnerables a cualquier otro factor que normalmente no les causaría daño alguno. Entender cómo las especies forestales más características han respondido a estos acontecimientos es importante por la extensión del territorio que ocupan y porque cada vez son más frecuentes los episodios climáticos extremos.

No obstante, se sabe muy poco sobre cómo el pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) puede responder al cambio climático: aumento de temperatura y fenómenos climáticos extremos. Asimismo, la gran variabilidad de situaciones climáticas extremas acontecidas en los últimos años proporcionan un escenario natural muy apropiado para el análisis de su respuesta a las condiciones climáticas futuras. En las parcelas objeto de estudio situadas en la Retuerta de Pina (término municipal Pina de Ebro, Zaragoza), el cambio climático sigue las tendencias generales enunciadas anteriormente: las temperaturas medias han aumentado en la segunda mitad del siglo XX, 0.06 °C/año y las precipitaciones anuales no muestran ningún cambio significativo debido a que la disminución en las lluvias primaverales es compensada por el aumento que experimentan las lluvias de otoño.

OBJETIVOS

El propósito principal del presente trabajo es poner de manifiesto el grado de afectación y la respuesta del pino carrasco a las perturbaciones de origen climático en la Retuerta de Pina. Dicho objetivo se desglosa en: (i) la evaluación del grado de afectación que tuvo la helada de diciembre de 2001, y (ii) el análisis de la estabilidad temporal en las relaciones crecimiento – clima.

El trabajo se basa en series dendrocronológicas, de manera que no sólo se evalúan los efectos inmediatos de dicha perturbación y la capacidad de recuperación de los individuos en años sucesivos, sino también se reconstruye el régimen de perturbaciones de la masa forestal a lo largo de los últimos 100 años, lo que permite situar el grado de intensidad y rareza de la perturbación dentro de un marco histórico amplio.

METODOLOGÍA

El trabajo de campo se ha realizado sobre diferentes parcelas establecidas en función de los objetivos diseñados. En primer lugar, se delimitó una parcela de 400 m² que fuera representativa de la zona para llevar a cabo la descripción del tipo de vegetación, geología, edafología y de la estructura del bosque. De todos los individuos de la parcela se han tomado medidas de la altura y el diámetro a la altura del pecho (D.A.P), y se han hecho observaciones generales de su estado fitosanitario (presencia de heridas y/o podredumbres, anomalías en el crecimiento, grado de dominancia, etc.). Por otro lado, se seleccionaron 15 individuos, lo más viejos y sanos posibles, para la extracción de las muestras de los anillos de crecimiento (testigos de madera o *cores*). Las muestras se han tomado a

1.30 m de altura (D.A.P.) mediante el uso de barrenas *Pressler* de 0.5 cm de diámetro interior, tal y como muestra la figura 1.



Figura 1. Extracción de un testigo de madera mediante el empleo de una barrena *Pressler*.

En el laboratorio, el tratamiento de las muestras, la datación de los anillos de crecimiento, su validación estadística y la obtención de las cronologías o series promedio estandarizadas del grosor de los anillos de crecimiento se ha elaborado siguiendo la metodología estándar en dendrocronología (FRITTS, 1976 y COOK & KAIRIUKSTIS, 1990).

Para cuantificar el efecto inmediato de la helada de diciembre del 2001, en abril del 2002, delimitamos una nueva parcela de 10 m x 100 m con el objetivo de muestrear las laderas con exposición N y S de los pequeños montículos de yeso en los que se desarrolla el bosque de la localidad estudiada. Marcamos todos los árboles de la parcela y se recogieron tres o cuatro muestras de brotes de cada uno de ellos. De esta manera, obtuvimos muestras de todas las orientaciones posibles, de distintos niveles de la copa y de árboles con distinto status competitivo y de crecimiento (achaparrados o verticales). También se midieron todos los parámetros (altura, diámetro basal y D.A.P., altura de la primera rama viva, radios de la copa y grosor de la corteza), y se establecieron categorías según el grado de afección, considerando la transparencia de la copa, el porcentaje de acículas y yemas afectadas, el estado de la corteza, la presencia de estrías o heridas en el tronco, etc. En junio de 2004 se volvieron a muestrear los mismos árboles siguiendo idéntica metodología, con el fin de poner de manifiesto si los efectos de la helada han perdurado años después, tanto en la formación de brotes y acículas como en su crecimiento radial.

Análisis de los anillos característicos

Para determinar aquellos años con presencia de anillos característicos se ha trabajado con series estandarizadas del grosor de los anillos de crecimiento de todas las muestras (series que siguen una distribución normal tipificada, es decir con media igual a 1.0 y desviación estándar igual a 0). Estadísticamente se considera que todos los casos que quedan fuera del rango ($-1.645 \cdot SD$, $+1.645 \cdot SD$) pueden considerarse extremos con una probabilidad del 90% cuando los datos siguen una distribución normal. La normalidad de las series del grosor de los anillos se ha establecido mediante la prueba de Shapiro Wilks (SOKAL & ROHLF, 1969) con el programa estadístico STATGRAPHICS ver. 5.0.

Datos climáticos

Se ha trabajado con los datos climáticos de los observatorios meteorológicos que se encuentran próximos al bosque de estudio, y con un registro que incluye un completo intervalo de años (Tabla 1, Figura 2). Las variables climáticas consideradas son: precipitaciones (P), temperatura media (TM), temperatura media de las máximas (TMMA) y temperatura media de las mínimas (TMMI); todas ellas mensuales. Previamente, se ha comprobado que tanto los observatorios como el bosque pertenecen al mismo tipo de fitoclima según el atlas fitoclimático de España (ALLUÉ-

ANDRADE, 1990).

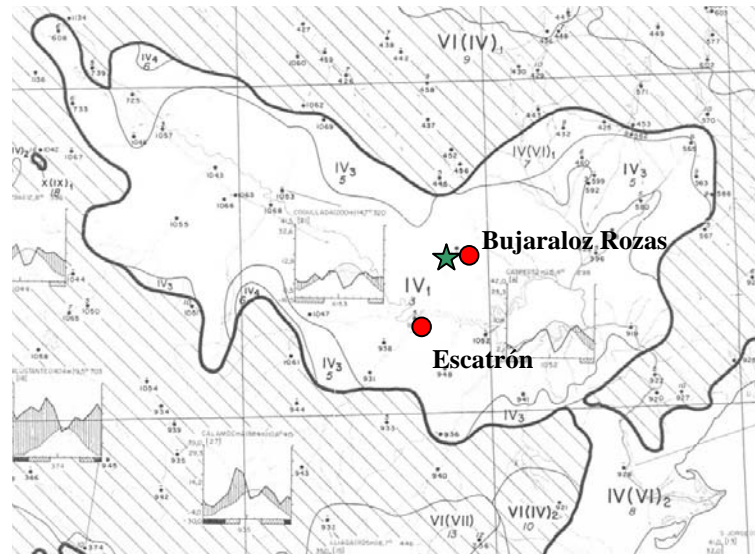


Figura 2. Situación de la Retuerta de Pina (estrella), de las estaciones meteorológicas (círculos) y de los límites del emplazamiento árido infrailicino con genuidades medio altas (IV_1). Extraída de ALLUÉ-ANDRADE (1990).

Estación	Longitud (°)	Latitud (°)	Altitud (m)	Período de precipitaciones	Período de temperaturas
Bujaraloz Rozas	0.23	41.30	380	1978-2000	---
Escatrón	0.35	41.30	143	1947-2000	1947-2000

Tabla 1. Situación y período utilizado para cada variable climática de las estaciones meteorológicas usadas para estimar los datos climáticos de la Retuerta de Pina.

Las series de datos pluviométricos de Bujaraloz han sido prolongadas varios años en el pasado utilizando los datos de Escatrón mediante el ajuste de funciones de regresión lineal tal y como recomienda la FAO (1998).

Funciones Respuesta: relaciones crecimiento-clima

La obtención de funciones respuesta (modelos que relacionan el crecimiento de los árboles con las variables climáticas) se ha realizado mediante el análisis de regresión múltiple, una vez extraídos los componentes principales de las series de datos climáticos.

El análisis de los componentes principales proporciona nuevas variables independientes entre sí, que son las que se utilizan posteriormente para hacer la regresión múltiple (COOK & KAIRIUKSTIS, 1990). El resultado es un modelo en el que la variable dependiente es el crecimiento radial, y las independientes son las variables climáticas, cada una de las cuales tiene asociado un coeficiente de regresión parcial, cuyo valor indica la significación de la relación entre el crecimiento y la variable climática. Los coeficientes positivos indican una relación positiva entre el descriptor forestal (crecimiento) y la variable climática mensual considerada. Es decir, cuanto más alto sea el valor de la variable climática más crecerán los árboles; de la misma manera, un coeficiente negativo indica una relación inversa; así, el crecimiento es mayor cuanto más bajo sea el valor de la variable climática. La fiabilidad del modelo obtenido ha sido contrastada mediante la técnica “bootstrap” (EFRON, 1979; HUGHES et al., 1982).

Se han establecido las funciones respuesta para el período 1970-1999, por ser el máximo período de tiempo durante las últimas décadas en el que, tanto las condiciones climáticas como las tasas de crecimiento radial, no presentan ningún cambio de tendencia, además de ser el período en el que el cambio climático se ha acentuado (IPCC, 2001). Para evaluar la estabilidad temporal de las relaciones crecimiento-clima siguiendo la misma metodología se han obtenido las funciones respuesta para los períodos: 1950-1979 y 1960-1989.

En el proceso de obtención de todos los modelos de funciones respuesta, se han ido eliminando, de forma progresiva, aquellas variables climáticas con menos efecto sobre el crecimiento hasta obtener el modelo definitivo. En ningún caso se ha eliminado ninguna variable que tuviera un efecto significativo sobre el crecimiento. Una vez establecidas las funciones respuesta para las variables climáticas mensuales, se ha realizado el mismo análisis trabajando con series bimensuales, y una vez comprobado que los resultados no varían, los modelos que se presentan en el presente estudio son los basados en las series bimensuales por ser más claros, sencillos y significativos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectos sobre el crecimiento radial

La figura 3 muestra para cada año el porcentaje de árboles que presentan el anillo de crecimiento más ancho o más estrecho que lo habitual (año característico). Se considera que un año es característico si al menos la mitad de los árboles de la zona estudiada lo presentan como tal. Los resultados indican que en la Retuerta de Pina hay más años característicos por presentar los árboles un crecimiento elevado que por presentarlo más bajo. Las causas de estos crecimientos anómalos deben buscarse en las condiciones climáticas, puesto que al trabajar con los datos estandarizados, ya han sido eliminadas otras posibles causas. Las causas climáticas responsables de la mayoría de anillos característicos se encuentran en las condiciones climáticas acontecidas en el año anterior al de formación del anillo de crecimiento. Este resultado no debe sorprender, puesto que es bien conocido que el crecimiento radial de los árboles depende en gran medida del acumulo de reservas (hidratos de carbono) en el tronco durante el año anterior. Se han encontrado 5 años con crecimiento radial excepcionalmente bajo a lo largo del siglo XX (1949, 1953, 1955, 1967 y 2002), todos ellos pueden haber sido causados por inviernos extremadamente fríos en el año anterior, excepto en 1955 y 1967, años en los que hubo una ola de calor que se centró en el mes de julio.

Los años con crecimiento elevado suelen coincidir con años lluviosos (especialmente en primavera y verano) y cálidos, excepto el año 1954 que posiblemente haya sido considerado ancho, tan sólo por comparación con los cinco anteriores (los cuales fueron muy estrechos, grosor medio de 0.499 mm), puesto que su grosor bruto (0.948 mm) no sobresale del grosor promedio de los anillos en el bosque de la Retuerta de Pina ($1.109 \text{ mm} \pm 0.495$). Desafortunadamente, no existen datos de estaciones meteorológicas cercanas o documentación histórica que permita comprobar los resultados obtenidos para el s. XIX.

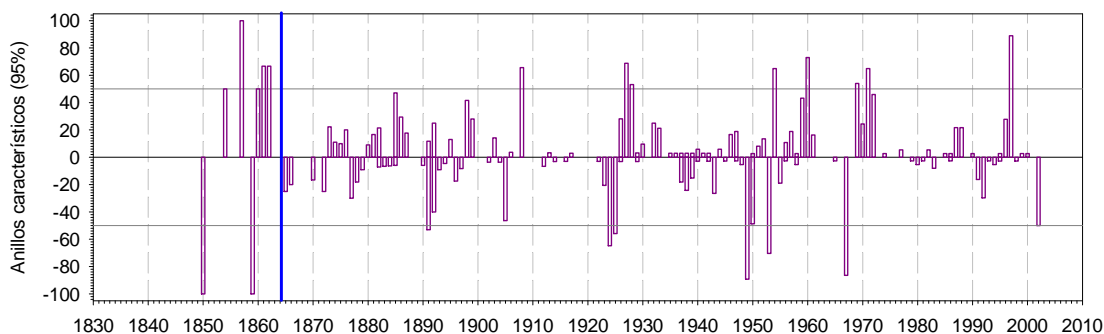


Figura 3. Frecuencia de anillos característicos al 90% de confianza en los bosques estudiados. La línea vertical indica a partir de dónde las cronologías son estadísticamente fiables.

Por otro lado, en la observación con lupa binocular ($10 \times 40 \times$), no se ha detectado ninguna anomalía anatómica en el anillo del año en el que se produjo la helada (2001), posiblemente debido a que cuando la helada tuvo lugar, el anillo de crecimiento ya había completado totalmente su desarrollo.

Efectos sobre el crecimiento longitudinal: brotes y acículas

Las sabinas no sufrieron efectos negativos sobre el crecimiento longitudinal, pero la mayoría de los pinos presentaban en parte o en su totalidad, la mayoría de las acículas marrones y un nivel alto de defoliación.

En abril del año 2002, los pinos dominados eran los que presentaban un mayor porcentaje de acículas del año anterior marrones, seguidos de los árboles dominantes (Figura 4). Si bien es de esperar que los árboles con menor status competitivo sean más vulnerables a cualquier perturbación; podría sorprender que los árboles con mayor status competitivo (dominantes) sean la siguiente clase en grado de afectación. Este resultado puede explicarse porque los árboles dominantes son también los más expuestos a la radiación, y seguramente fueron las fluctuaciones de temperatura alrededor de los 0° C las que dañaron los tejidos. Este resultado es coherente con el hecho que los brotes de las zonas más altas y expuestas de las copas fueron los más afectados. A pesar de existir estas tendencias, las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas. Por otra parte, el hecho de que algunos pinos estuvieran sanos, mientras que otros al lado estuvieran muy dañados puede atribuirse a la variabilidad genética y/o al microhábitat.

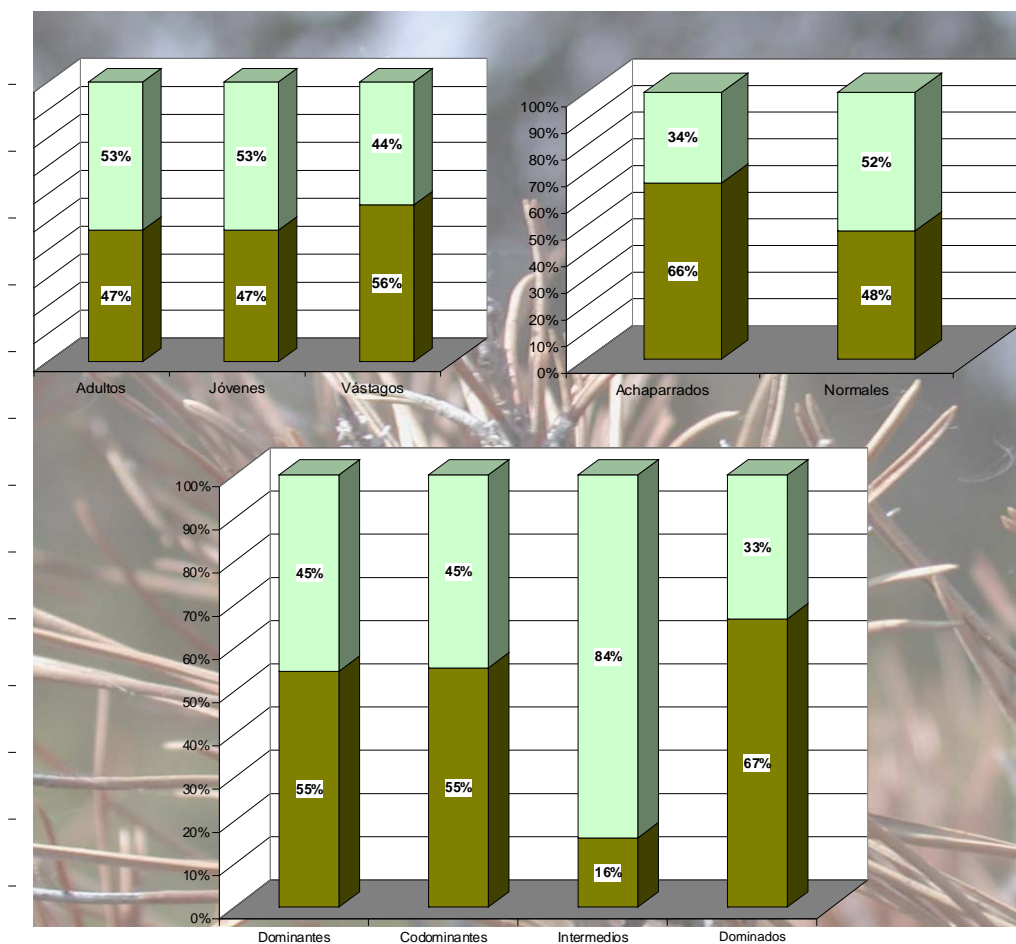


Figura 4. Porcentaje de acículas marrones y acículas sanas según clases de tamaño, forma de crecimiento y status competitivo en la Retuerta de Pina en abril del 2002.

Según las clases de tamaño y atendiendo al porcentaje de acículas marrones (Figura 4), los vástagos fueron la clase más afectada; y según la forma de crecimiento, los árboles achaparrados son los que presentaban más síntomas de afectación. Tampoco en estos casos las diferencias son estadísticamente significativas.

La helada no afectó a la formación de brotes y acículas en el año 2002 cualitativamente,

aunque sí pudo hacerlo cuantitativamente (menor número de brotes y/o acículas por árbol) y/o en un retraso temporal en su formación. Tampoco existen diferencias significativas en la longitud de los brotes y acículas según las clases de status competitivo, edad o forma de crecimiento, ni tampoco según la orientación del brote o su apicalidad en el año 2002, ni entre los años estudiados (2001, 2002, 2003 y 2004, datos en estudio).

Estabilidad temporal de las relaciones crecimiento - clima.

Todos los modelos de las funciones respuesta obtenidos son altamente significativos, de manera que se evidencia el estrecho control que las condiciones climáticas ejercen sobre el crecimiento en grosor del pino carrasco en la Retuerta de Pina (Figura 5).

En primer lugar destaca el efecto positivo y significativo de las precipitaciones (PR y (P/TM) sobre el crecimiento radial del pino carrasco desde enero hasta junio en los tres períodos analizados. También tienen efecto positivo sobre el crecimiento las precipitaciones del otoño previo a la estación de crecimiento, cuando el pino carrasco acumula reservas en el tronco.

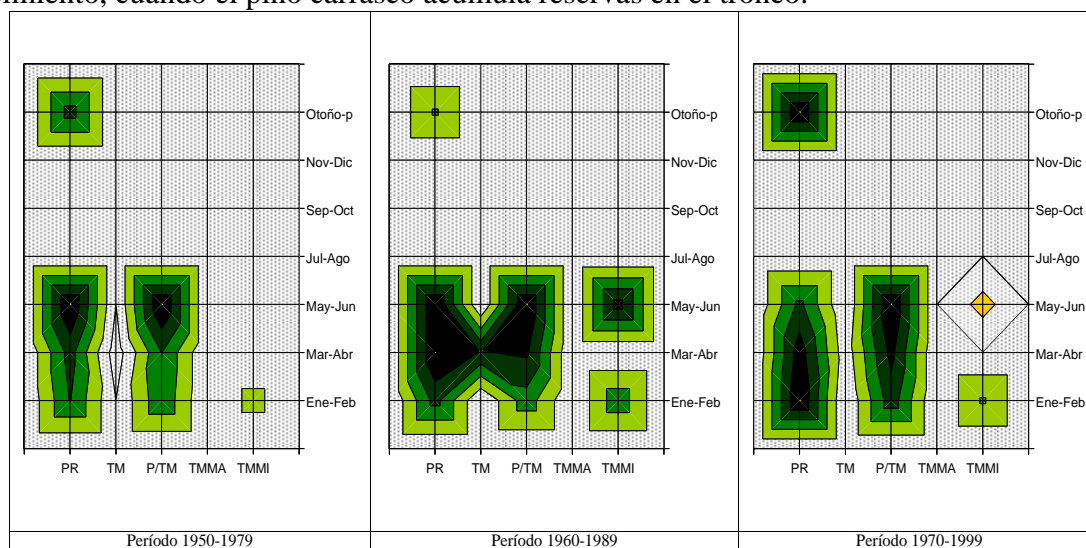


Figura 5. Evolución de las relaciones crecimiento – clima del pino carrasco en la Retuerta de Pina, dónde los colores amarillos y rojos indican que la variable climática tiene un efecto negativo sobre el crecimiento de los árboles, y los colores verdes indican que el efecto es positivo. La intensidad del color es mayor cuánto más significativa sea la relación.

La no relación entre el crecimiento y las precipitaciones y temperaturas estivales hace pensar que el pino carrasco detiene su crecimiento radial durante los meses de verano por estrés hídrico.

Los resultados obtenidos muestran que a pesar de no haber habido cambios en las variables climáticas que limitan el crecimiento radial del pino carrasco a lo largo de los últimos 50 años (Figura 5), la importancia (nivel de significación) de las mismas ha oscilado. En general, las precipitaciones han limitado cada vez más el crecimiento radial del pino carrasco en la zona estudiada.

CONCLUSIONES

El análisis de los anillos característicos y sus posibles causas climáticas ponen de manifiesto que el crecimiento radial del pino carrasco depende en gran medida del acumulo de reservas del año anterior. Se han detectado cinco años (1949, 1953, 1955, 1967 y 2002) a lo largo del siglo XX en los que las heladas acaecidas durante el invierno anterior han causado una disminución significativa en el crecimiento radial.

No se ha encontrado ninguna anomalía anatómica en el anillo del año en el que se produjo la helada (2001), puesto que ésta tuvo lugar en diciembre, cuando el anillo de crecimiento ya ha sido totalmente formado y el cámbium ya ha entrado en la fase de reposo. Sin embargo, el anillo del 2002 fue muy estrecho debido a que muy probablemente la helada afectó a la acumulación de reservas para el crecimiento del año siguiente.

Los pinos más afectados por la helada (defoliación) fueron los vástagos, achaparrados y/o

dominados, de manera que podemos afirmar que la helada ha actuado limitando las poblaciones de pino carrasco favoreciendo a los individuos con un mejor estado fitosanitario liberando espacio y recursos al causar la muerte de los árboles menos vigorosos. Por otro lado, la helada no tuvo efectos en la longitud de los brotes, ni en la de las acículas en los años 2002, 2003 y 2004; aunque sí retardó su elongación y desarrollo en el año 2002.

Por último, los resultados obtenidos muestran que el pino carrasco presenta una gran capacidad de resistencia a las heladas invernales, puesto que a finales de la primavera del 2002 la gran mayoría de árboles se habían recuperado totalmente, presentando copas densas y sanas.

El crecimiento del pino carrasco en la Retuerta de Pina está claramente limitado por las precipitaciones desde enero hasta junio. Por tanto, la falta de agua es el principal factor limitante para el desarrollo de la masa forestal estudiada. No obstante, las escasas precipitaciones estivales no presentan ningún efecto significativo sobre el crecimiento del pino carrasco con lo que concluimos que éste detiene su actividad en verano.

El análisis de la estabilidad temporal de las relaciones crecimiento clima indica que no se han producido cambios en las variables climáticas que limitan el crecimiento radial del pino carrasco. No obstante, el efecto de las precipitaciones sobre el crecimiento ha aumentado significativamente durante los últimos 50 años, muy probablemente debido a un aumento de la aridez como consecuencia del aumento de temperaturas.

BIBLIOGRAFIA

- ALLUÉ-ANDRADE, J.L. 1990. *Atlas fitoclimático de España*. Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid.
- COOK, E.R. & KAIRIUKSTIS, L.A., 1990. *Methods of dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers. Boston.
- FAO. 1998. ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. & SMITH, M. 1998. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. *Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)*. 290 pp.
- EFRON, B. 1979. Bootstrap methods: another look at the Jackknife. *The Annals of Statistics*, 7: 1-26.
- FRITTS, H.C., 1976. *Tree-rings and climate*. Academic Press. London.
- GATES, D.M. 1994. *Climate change and its biological consequences*. Sinauer Associates, Inc. Sunderland. Massachussets.
- IPCC, 2001. *Cambio climático*. Informe. <http://www.ipcc.ch/pub/>
- HUGHES, M.K.; KELLY, P.M.; PILCHER, J.R. & LAMARCHE, V.C. 1982. Climatic signals in British Isles tree-ring chronologies. *Nature*, 272: 605-606.
- SOKAL, R.R. & ROHLF, F.J. 1969. *Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. Blume ediciones. Madrid.