

RESPUESTA DE LA REGENERACIÓN POST-FUEGO DE *PINUS HALEPENSIS* MILL. A LOS TRATAMIENTOS SELVÍCOLAS EN EL SURESTE DE ESPAÑA

Irene Ruano Benito, Encarna Rodríguez-García y Felipe Bravo Oviedo

Instituto Universitario de Investigación GESTIÓN FORESTAL SOSTENIBLE. Universidad de Valladolid-INIA. Avda. de Madrid 44. Campus de Palencia. 34004-PALENCIA (España). Correo electrónico: irene@pvs.uva.es

Resumen

Durante el verano de 1994 se quemaron más de 24.000 ha de bosque natural de *Pinus halepensis* en la provincia de Murcia. Después del incendio la masa regeneró con un número excesivo de pies por lo que el Gobierno Autonómico de la Región de Murcia está llevando a cabo un programa de clareos para reducir dicha densidad. El objetivo de este trabajo es comprobar el efecto del tratamiento sobre el tamaño, el potencial reproductivo y el crecimiento radial anual del regenerado. Para ello se consideraron dos factores: tiempo desde el tratamiento y exposición. En 2009 se instalaron 29 parcelas de 5 m de radio donde se midieron los diámetros y altura de todos los regenerados y se contaron todos los conos considerando tres tipos: nuevos, maduros y serotinos. Además se seleccionaron tres árboles por parcela y se apearon para obtener las rodajas basales y analizar el crecimiento anual con el software Windendro®. En términos generales los clareos aplicados mejoraron el tamaño, el potencial reproductivo y el crecimiento anual. Pero este impacto positivo sobre el crecimiento anual tiende a disminuir 5 años después del tratamiento. Además, se observaron interacciones entre tratamiento y exposición.

Palabras clave: *Clareo, Dendroecología, Crecimiento anual, Bosque mediterráneo, Pino carrasco*

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Una de las principales especies mediterráneas que está adaptada a los incendios es el *Pinus halepensis* Mill., ya que sus piñas serotinas se abren después del incendio dispersando los piñones para la regeneración de la masa (GIL et al., 1996). A pesar de la facilidad del pino carrasco para regenerar después de un incendio, en muchas ocasiones dicha regeneración puede resultar excesiva, por lo que se necesitarán operaciones selvícolas para disminuir la densidad (VEGA HIDALGO, 2003). Los tratamientos más comunes son los clareos, así

se reduce la densidad y se aprovechará la regeneración presente facilitando el establecimiento de la nueva masa mediante una selvicultura menos intensiva. Además estos tratamientos controlarán la continuidad de combustible y por lo tanto, disminuirá el riesgo de incendio (OROZCO et al., 2007).

El objetivo general de este trabajo es comprobar el efecto de los clareos semi-sistemáticos sobre el regenerado post-fuego de pino carrasco en la cuenca mediterránea. Concretamente se pretende: analizar el efecto del tratamiento y la exposición en el tamaño, crecimiento anual y potencial reproductivo de los árboles liberados y

comprobar si el efecto del clareo es dependiente de la exposición de la masa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se ha llevado a cabo dentro del territorio afectado en 1994 por uno de los incendios forestales más devastadores de los últimos años en España. Este incendio arrasó 24.700 ha de terreno forestal (CABEZAS Y MASÍA, 2004) y las principales masas arboladas afectadas fueron pinares de masas naturales de *Pinus halepensis*, que después del incendio han proporcionado una pujante pero excesiva regeneración natural.

Sobre esta importante superficie forestal, la Consejería de Agricultura y Agua del Gobierno Autónomo de la Región de Murcia, llevó a cabo el proyecto REPLANT (<http://www.murcianatural.carm.es/web/guest/espacio-economico-europeo>). Dicho proyecto incluye, entre otras actuaciones, el tratamiento mediante un clareo semi-sistemático de la regeneración para eliminar la alta competencia y favorecer el desarrollo de las masas forestales. La zona de estudio se encuentra en las masas afectadas por el incendio de 1994 localizadas en la Sierra del Cerezo, en el término municipal de Moratalla (Murcia) (Figura 1).

Los clareos se llevaron a cabo de forma semi-sistemática. Una desbrozadora de cadenas abría calles cada 1,5-2 metros y una desbrozadora de disco con manejo manual entre las calles eliminaba la competencia de los regenerados seleccionados. Además se llevó a cabo una poda de los árboles liberados también de forma manual. La densidad final fue de aproximadamente 1600 pies por hectárea. Los clareos se empezaron en el 2004 y en el momento del muestreo (2009) había zonas tratadas en el 2004, 2005, 2006 y 2007.

Muestreo y toma de datos

Para llevar a cabo el muestreo se realizó un diseño factorial con dos factores: el tiempo desde la ejecución de las prácticas selvícolas (hace 2, 3, 4 y 5 años) y la orientación de la masa (solana y umbría). Para contrastar los resultados se muestreó también en zonas no tratadas (zonas control) considerando los dos niveles de exposición. En cada sitio que cumplía la combinación de los dos factores se instalaron 3 parcelas de 5 metros de radio. La parcela se dividió en tres sectores, orientando la primera línea divisoria al norte (Figura 2a).

En las parcelas se contabilizaron los conos de todos los regenerados, considerando tres grupos: nuevos (pirindolas y piñas verdes pequeñas no más viejas de dos años), maduros (marrones

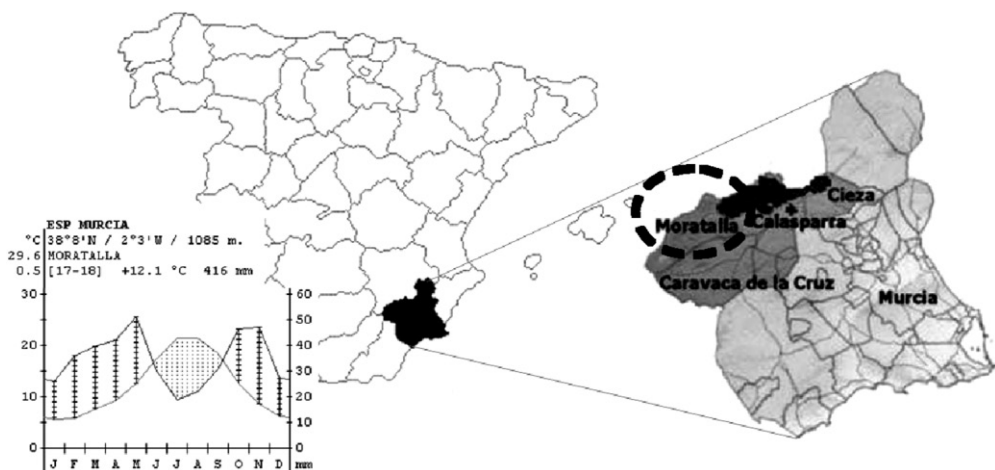


Figura 1. Localización de la zona afectada por el incendio en la provincia de Murcia. (Fuente del climodiagrama: www.globalbioclimatics.org)

entre 2-3 años) y serotinos (grises y cerrados y de más de 3 años). Desde el centro de la parcela, siguiendo las líneas divisorias de los tres sectores, se eligieron los árboles más cercanos al punto situado a 2 metros del centro (Figura 2b). Se midieron el diámetro basal y la altura de cada uno y posteriormente el crecimiento anual mediante dendroecología.

En las parcelas de umbría sin tratar se observó una regeneración explosiva y altas densidades de regenerado por lo que se decidió variar el diseño de muestreo. Se estimó el número medio de regenerados por metro cuadrado mediante 3 subparcelas de 1 m de lado (Figura 2c), localizadas a 2 m del centro de la parcela, siguiendo la línea divisoria de los sectores. En estas subparcelas se contabilizaron los regenerados y los conos y se midió la altura y el diámetro basal de tres regenerados representativos de la subparcela. Además se seleccionó el regenerado más cercano al centro de la subparcela para extraer su rodaja basal y realizar el análisis dendroecológico.

Análisis dendroecológico

Se obtuvieron las rodajas basales de los árboles seleccionados para analizar su crecimiento anual. Se lijaron las rodajas para pulir la superficie y facilitar así la localización de los anillos. Una vez lijadas se escanearon para analizar el crecimiento con el programa Windendro®, con el que se obtuvo el ancho de anillo o incremento anual en diámetro de los árboles.

Análisis de los datos

Las variables obtenidas se pueden clasificar en tres grupos: potencial reproductivo (número de conos nuevos, maduros y serotinos); tamaño

(diámetro basal y altura) y crecimiento anual (Tabla 1).

La influencia del tiempo y la exposición sobre el tamaño y el potencial reproductivo de los árboles se analizó mediante una ANCOVA con el crecimiento previo de los árboles como covariable ya que el tamaño de los árboles podría ser diferente entre ellos antes del tratamiento.

El crecimiento anual después del tratamiento se analizó también mediante una ANCOVA pero considerando dos covariables. En este caso el factor exposición también tuvo dos niveles (sola y umbría) pero el factor año desde el tratamiento tuvo 6 (tratadas hace 1; 2; 3; 4; 5 años y sin tratar). Como covariables se consideraron el crecimiento previo y la precipitación total anual, ya que las parcelas fueron tratadas a lo largo de los años 2004-2007 y existe una diferencia climática entre ellos (datos climáticos obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología) (Tabla 2). Con esta covariable se pretendió tener en cuenta la variabilidad climática interanual y su influencia sobre el crecimiento ya que, según OLIVAR (2009) la precipitación es la variable climática clave para el pino carrasco. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SAS 9.2 (SAS Institute Inc., USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Potencial reproductivo

Para estas variables el análisis obtenido no es el esperado, debido a la abundancia de valores nulos ya que fueron muy escasos los conos encontrados. Aunque a simple vista se observa el aumento de conos con el paso de los años des-

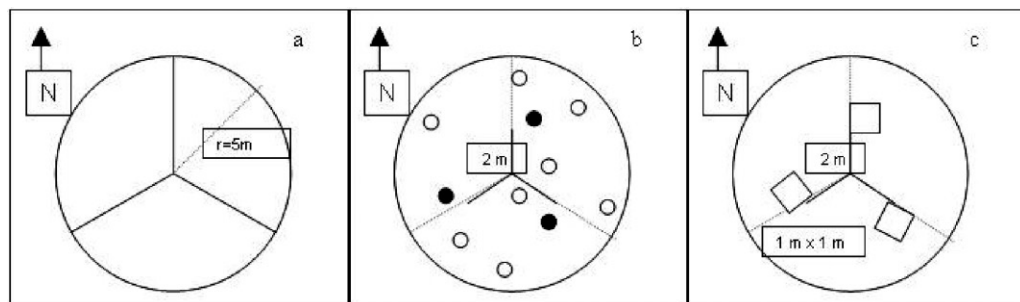


Figura 2. Diseño de las parcelas de muestreo

		N	Media	Max.	Mín.	Desv. estándar
Potencial reproductivo	C. nuevos	266	4,2707	52	0	7,0429
	C. maduros	266	3,1541	31	0	5,4074
	C. serotinos	266	0,6767	21	0	1,9755
Tamaño	D. basal (cm)	79	5,1677	12,55	0,50	2,6325
	H (m)	79	1,9509	5,50	0,66	0,8471
Crecimiento anual después del tratamiento (mm)	Tratado hace 1 año	165	2,0893	8,9155	0,2415	1,7487
	Tratado hace 2 años	63	2,9434	7,2025	0,2930	1,6927
	Tratado hace 3 años	54	4,1548	19,996	0,5795	3,1037
	Tratado hace 4 años	36	4,0558	8,1720	1,1465	1,7661
	Tratado hace 5 años	18	2,8036	4,5970	0,9580	0,9456
	Sin tratar	80	1,2698	5,5480	0,1765	1,0964

Tabla 1. Características de las variables: tamaño de la muestra, media, máximo, mínimo y desviación estándar. D. basal = diámetro basal; H = altura. Crecimientos anuales obtenidos por dendroecología

Año (1 oct. al 30 sep.)	2004	2005	2006	2007	2008
Precipitación anual (mm)	775,3	359	410	643,4	483,9

Tabla 2. Precipitación anual total en mm durante los años que se trataron las masas muestreadas

pués del tratamiento (Figura 3). Por lo tanto se pretende mejorar el análisis del potencial reproductivo para obtener unos resultados fiables.

Tamaño

Se detectaron efectos significativos del tiempo desde el tratamiento y de la interacción entre el tiempo desde el tratamiento y la exposición

en el diámetro basal. La exposición por sí misma no resultó significativa para esta variable. En el caso del tiempo desde el tratamiento se observó una diferencia entre parcelas tratadas y no tratadas, siendo siempre el diámetro basal mayor en las parcelas tratadas. En cambio la diferencia entre parcelas tratadas no es tan clara (Figura 4 izquierda).

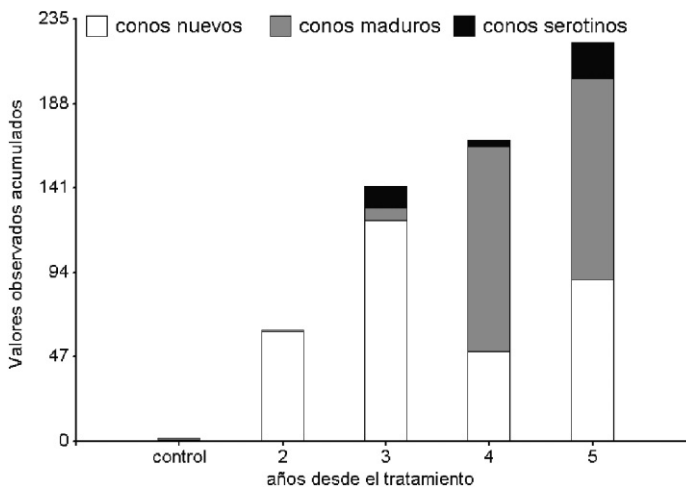


Figura 3. Gráfico de barras con los valores observados para los conos nuevos, maduros y serotinos

Para la variable altura se observaron efectos significativos del tiempo desde el tratamiento y de la exposición, pero no de la interacción entre los dos factores ($p < 0,05$). La altura es significativamente mayor en las parcelas tratadas hace 4 y 5 años, no habiendo diferencias significativas entre las parcelas no tratadas y las tratadas hace 2 y 3 años (Figura 4 derecha). Respecto a la exposición, la altura es significativamente mayor en las parcelas en exposición de umbría que de solana.

Crecimiento anual

En este caso la dendroecología nos permite conocer el crecimiento anual mediante la medición de los anillos de crecimiento. Por ello el factor tiempo desde el tratamiento tiene 6 niveles en

lugar de 5, como ocurre en las anteriores variables. Las dos covariables consideradas, el crecimiento previo y la precipitación anual fueron significativas. El tiempo desde el tratamiento y la interacción entre el tiempo y la exposición influyeron significativamente aunque la exposición por sí sola, no ($p < 0,05$). Se observa que se obtienen los crecimientos mayores a los 3 y 4 años del tratamiento, disminuyendo a los 5 años. A su vez, no se observan diferencias significativas entre los crecimientos a los 5 años y a los 3. También cabe resaltar que no se observaron diferencias significativas entre las parcelas no tratadas (control) y al año del tratamiento (Figura 5).

Se observaron los diámetros menores en las zonas control, siendo significativamente menor

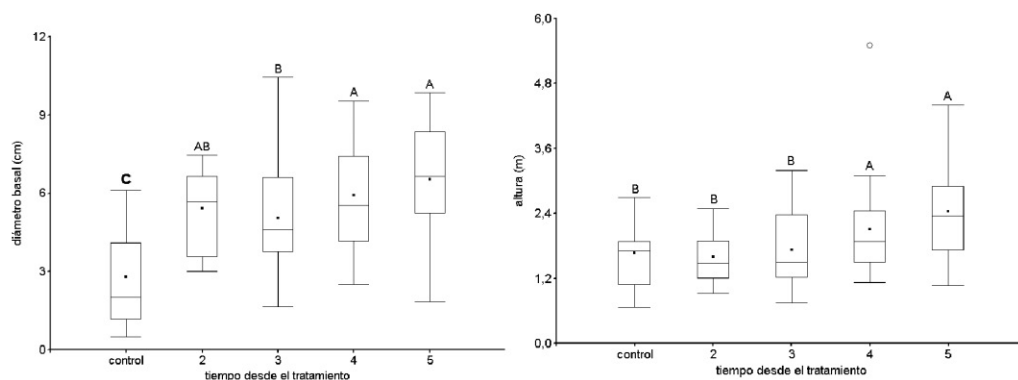


Figura 4. Diagramas de caja de las variables de tamaño (diámetro basal y altura) en función del tiempo desde el tratamiento. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas ($p < 0,05$)

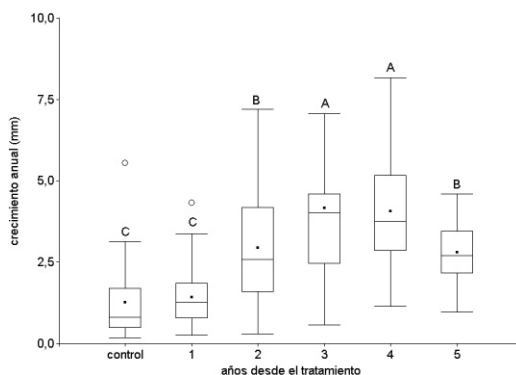


Figura 5. Gráfico de barras con los valores observados para el crecimiento anual. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas ($p < 0,05$)

que los diámetros basales de las zonas tratadas. Este resultado es similar al hallado por MADRIGAL et al. (2004) que analizaron un claro de peso de corta similar en regeneración post-fuego de *Pinus pinaster*. Observaron pequeñas diferencias entre los diámetros de las zonas tratadas después de un año y las no tratadas, siendo más evidente esta diferencia después de dos años. El análisis dendroecológico permite conocer con exactitud el crecimiento anual del árbol, en este caso fue significativamente menor en las zonas control y al año del tratamiento, lo que muestra que el efecto del tratamiento no se observa hasta después de dos años, con un máximo a los 3 y 4 años, siendo menor a los 5 años del tratamiento. Aunque el crecimiento a los 5 años sigue siendo significativamente mayor que en las zonas sin tratar. NAVARRO et al. (2010) también observaron mayores diámetros después del tratamiento con un descenso de ese aumento a lo largo del tiempo (4 años).

Al analizar la altura se observaron las mayores alturas después de un tiempo del tratamiento (4 y 5 años) en cambio no había diferencias significativas entre las alturas de las zonas sin tratar y las tratadas hacía 2 y 3 años. Este período de tiempo desde que se aplica el tratamiento hasta que se nota un efecto positivo en la altura ya fue observado por otros autores (GONZÁLEZ-OCHOA et al., 2004 o MADRIGAL et al., 2004) pero su duración difiere. Ambos autores observaron después de dos años alturas superiores en cambio en el presente trabajo no se observó una altura mayor hasta 4 años después del tratamiento.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran un efecto positivo del tratamiento sobre el tamaño y el crecimiento anual que no se aprecia hasta dos años después de aplicar el tratamiento, debido posiblemente al estrés producido por el tratamiento en el regenerado.

Dicho efecto sobre el crecimiento disminuye con el tiempo. Existe un máximo a los 3-4 años y al quinto disminuye. Pero a pesar de esta disminución de crecimiento, el tamaño de los árboles después de 5 años ya es significativamente mayor que en las zonas control, por lo tanto, aunque ese efecto se disipe con el tiempo, en los

primeros años después del tratamiento los árboles habrán crecido de una forma superior, acelerando el desarrollo de la masa.

La exposición no tiene un efecto significativo individualmente pero si que interacciona con el tiempo desde el tratamiento por lo que influirá en el resultado final. Esto nos indica que el efecto positivo del tratamiento dependerá de la disponibilidad hídrica y la radiación recibida, entre otros factores que diferencian las exposiciones.

Por último, los resultados presentados son un análisis previo que se pretende mejorar. Por un lado, el potencial reproductivo se analizará teniendo en cuenta el alto número de valores nulos. Por otro, se pretende integrar estos resultados en un modelo de crecimiento teniendo en cuenta las variables climáticas específicas que puedan influir.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias al apoyo económico y técnico de Roque Palazón, Pilar Durante y Myriam Lasso de la Vega de la Consejería de Agricultura y Agua del Gobierno Autónomo de la Región de Murcia. También ha sido posible gracias a un contrato cofinanciado por el Ministerio de Ciencia e Innovación mediante el subprograma de Personal Técnico de Apoyo y el Fondo Social Europeo.

BIBLIOGRAFÍA

- CABEZAS, J. DE D. Y MASÍA, R.; 2004. Programa para el seguimiento y control post-incendio en los ecosistemas forestales de Moratalla, Murcia, España. En: *II Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de los Programas de Protección contra Incendios Forestales*. Córdoba.
- DE LAS HERAS, J.; MOYA, D.; LÓPEZ-SERRANO, F. & CONDÉS, S.; 2007. Reproduction of post-fire *Pinus halepensis* Mill. stands six years after silvicultural treatments. *Ann. For. Sci.* 64: 59-66
- GIL L.; DÍAZ-FERNÁNDEZ P.M.; JIMÉNEZ, M.P.; ROLDÁN, M.; ALÍA, R.; AGÚNDEZ, D.; DE MIGUEL, J.; MARTÍN, S. Y DE TUERO, M.; 1996.

- Las regiones de procedencia de Pinus halepensis Mill. en España.* Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid. España.
- GONZÁLEZ-OCHOA, A.I.; LÓPEZ-SERRANO, F.R. & DE LAS HERAS, J.; 2004. Does post-fire forest management increase tree growth and cone production in *Pinus halepensis*? *Forest Ecol. Manage.* 188: 235-247.
- MADRIGAL, J.; MARTÍNEZ, E.; HERNANDO, C.; GUJARRO, M.; DíEZ, C.; VEGA, J.A.; PÉREZ-GOROSTIAGA, P.; FONTURBEL, T.; CUIÑAS, P.; ALONSO, M. y BELOSO, M.C.; 2004. Respuesta a corto plazo del regenerado post-incendio de *Pinus pinaster* Ait. a claros mecanizados intensos. *Silva Lusitana* 12(1): 1-14.
- NAVARRO, F.B.; JIMÉNEZ, M.N.; CAÑADAS, E.M.; GALLEGO, E.; TERRÓN, L. & RIPOLL, M.A.; 2010. Effects of different intensities of overstory thinning on tree growth and understory plant-species productivity in a semi-arid *Pinus halepensis* Mill. afforestation. *For. Systems* 19(3): 410-417
- OLIVAR, J.; 2009. *Growth dynamics and responses of intra-annual density fluctuations to climate in Aleppo pine (Pinus halepensis Mill.) trees of different crown classes identifying strongly related climatic variables.* Tesis de master. Universidad de Valladolid. Palencia.
- OROZCO, E. Y JORDÁN, E.; 2007. *Estudio de la influencia de la intensidad de poda en Pinus halepensis Mill. sobre diversos parámetros morfológicos, fisiológicos y biológicos.* Universidad de Castilla La Mancha y Junta de Comunidades de Castilla La Mancha. Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural. Dirección General del Medio Natural. Toledo.
- VEGA HIDALGO, J.A.; 2003. Regeneración del género *Pinus* tras incendios. *Cuad. Soc. Esp. Cien. For.* 15: 59-68

EFECTO DE LA CLASE SOCIOLÓGICA Y LA ESTRUCTURA DE COPAS EN LA HUMEDAD FOLIAR DE *QUERCUS ROBUR* L. Y *BETULA ALBA* L. EN GALICIA

Ana Daría Ruiz González, Juan Gabriel Álvarez González y Esteban Gómez-García

Unidad de Gestión Forestal Sostenible (UXFS). Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior. Campus Universitario s/n. 27002-LUGO (España). Correo electrónico: Anadaria.ruiz@usc.es

Resumen

En este estudio se aportan datos sobre humedades de hojas y ramillas finas en dos de las especies frondosas de mayor relevancia en Galicia: *Quercus robur* y *Betula alba*. En el documento se analizan diversas fuentes de variación, observándose diferencias debidas a la especie, al tipo de combustible y a la posición en la copa. Los resultados ratifican la importancia de la caracterización de la humedad del dosel de copas por estratos de altura, independientemente de la clase sociológica de los árboles individuales, para la correcta predicción de la subida del fuego a las copas. Destaca la elevada humedad de las hojas frente a las ramillas, y se pone de manifiesto la gran influencia, que en la humedad de los combustibles vivos, presentan las condiciones específicas del lugar.

Palabras clave: *Incendio forestal, Entorchamiento, Combustible, Frondosas*

INTRODUCCIÓN

La humedad foliar es una de las variables más influyentes en la altura de desecado de las copas y en la posibilidad de que un fuego de superficie inicie su transición hacia las mismas (VAN WAGNER, 1977). Prueba de ello es su inclusión en los modelos de predicción de la ocurrencia y del comportamiento del fuego que actualmente se emplean para planificar estrategias de silvicultura preventiva (KEYES, 2006). A pesar de las implicaciones de la humedad foliar en el comportamiento y en los efectos del fuego sobre el arbolado hay poca información publicada sobre los patrones y rangos de variación de esta variable en las especies forestales de nuestros montes, y menos aún en el caso de frondosas. En España existen diversos estudios

sobre humedad de combustibles vivos pero se refieren fundamentalmente a especies de matorral o arbustivas, y además del ámbito mediterráneo (VIEGAS et al., 2001; CASTRO et al., 2006). Más abundante es la información disponible sobre humedad foliar de coníferas pero se limita a especies de Norte América (ALEXANDER, 1988; AGEE et al., 2002). RUIZ et al. (2010) exploran la variación estacional de la humedad foliar y de ramillas finas vivas en masas de *Quercus robur* y *Pinus radiata* e inician una línea de trabajo orientada a cubrir el vacío de información que sobre el tema hay para las especies forestales y condiciones ambientales de Galicia.

En este estudio, que pretende profundizar en la línea apuntada, se aportan datos sobre humedades de hojas y ramillas finas en dos de las

especies de frondosas de mayor relevancia en Galicia: *Quercus robur* y *Betula alba*. En el documento se analizan las diferencias detectadas entre especies, tipo de combustible, estado sociológico y posición en la copa.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se basa en las mediciones de humedad realizadas en 50 pies distribuidos entre distintas clases sociológicas (árboles dominantes, codominantes, intermedios y sumergidos) y procedentes de 14 parcelas experimentales en su mayor parte de la provincia de Lugo (Figura 1).

Para la toma de muestras se aprovecharon los árboles cortados en el contexto del proyecto “Modelos de evolución y capacidad de secuestro de carbono en bosques de frondosas autóctonas

del noroeste de España” que incluye, entre otros objetivos el ajuste de tarifas de biomasa y de contenido en nutrientes y carbono. En la Tabla 1 se indica la distribución temporal y por especies de los árboles apeados y utilizados en el estudio de humedades. Como se observa las mediciones de humedad se hicieron durante los meses de verano, intensificándose las de roble en el mes de junio, y las de abedul en los meses de julio, agosto y septiembre.

En cada parcela, el dosel de copas se dividió en tres zonas de igual longitud comprendidas entre el ápice del árbol más alto (correspondiente al árbol dominante) y la base de la copa más cercana al suelo (correspondiente al árbol sumergido). Los distintos datos de humedades de la parcela en cuestión se distribuyeron entre estas tres zonas en función de la distancia al suelo de cada ramilla.

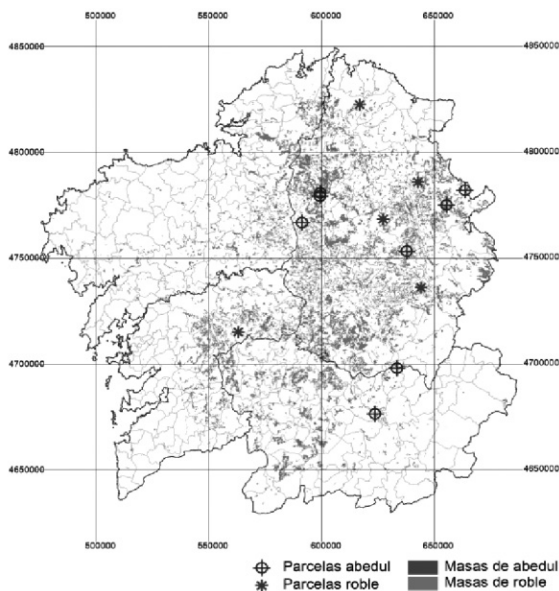


Figura 1. Distribución geográfica de las parcelas experimentales

Especie	Septiembre 2008	Junio 2009	Julio 2009	Agosto 2009	Total
<i>Betula alba</i>	8	1	14	8	31
<i>Quercus robur</i>	---	16	3	--	19
Total	8	17	17	8	50

Tabla 1. Calendario de corta y número de árboles de cada especie utilizados en el estudio

La utilización de pies apeados permitió la toma de muestras de hojas y ramillas para determinación de humedad a distintas alturas en la copa. En cada copa se consideraron tres posiciones: zona basal o tercio inferior, zona media, y zona alta o tercio superior. En cada una de esas zonas se cortaron tres ramillos hasta un grosor de 6 mm medido con un calibre. Cada ramillo se fraccionó a su vez en tres componentes: hojas, ramillas de nuevo crecimiento y ramillas de crecimiento antiguo. La descomposición basada en la madurez de la ramilla no resultó fácil en abedul por lo que para esta especie se basó en el grosor, diferenciándose: hojas, ramillas muy finas (grosor inferior a 3 mm) y ramillas finas (grosor entre 3 y 6 mm). Los distintos componentes correspondientes a cada posición de copa se envasaban por separado, en botes de plástico con tapa y obturador que además se sellaban con cinta adhesiva para minimizar las pérdidas de humedad durante el traslado al laboratorio. Diariamente las muestras traídas del campo se pesaban y se introducían en estufa para su secado a 80°C hasta peso constante. A partir de los pesos húmedos (PH) y secos (PS) se calcularon las humedades de las muestras (M, en porcentaje respecto a peso seco):

$$M(\%) = \frac{PH - PS}{PS} \times 100$$

Análisis de datos

El tratamiento de la información incluye la elaboración de gráficos de cajas y la realización de diversos análisis de varianza según un modelo lineal mixto. La posición de la ramilla en el dosel y la clase sociológica se trataron como factores fijos mientras que el árbol (individuo) se trató como factor aleatorio anidado a la clase. Se realizaron análisis independientes para cada especie (roble o abedul) y tipo de combustible (hojas y distintas categorías de ramillas) según la expresión general del modelo que es la siguiente:

$$m_{ijk(i)} = \mu + CS_i + P_j + CS_i P_j + I_{k(i)} + e_{ijk(i)}$$

Donde $m_{ijk(i)}$ es la humedad (%), μ es la humedad media, CS_i es el factor clase sociológica (i = dominante, co-dominante, intermedia y sumergida), P_j es el factor posición en la copa (j

= superior, media e inferior), $I_{k(i)}$ es el factor individuo anidado a la clase sociológica y $e_{ijk(i)}$ es el término del error. Los gráficos se elaboraron con Sigmaplot (SYSTAT SOFTWARE, 2009) y los análisis de varianza con el procedimiento MIXED de SAS/STAT® (SAS INSTITUTE INC., 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestran los estadísticos descriptivos generales de las humedades observadas. Destaca, para ambas especies la mayor humedad máxima, media y mínima de las hojas frente a las ramillas, y también su mayor rango de variación. La humedad foliar observada en roble resultó ligeramente inferior a la observada en abedul aún cuando la mayor parte de las mediciones de la primera especie se efectuaron a lo largo del mes de junio mientras que las mediciones en la abedul se realizaron cuando el verano ya estaba más avanzado (Tabla 1). Sin embargo, la humedad observada en las ramillas adultas de roble resultó superior a la humedad observada en las ramillas de abedul. Esto se aprecia incluso si se contrasta con las ramillas de abedul más finas (grosor inferior a 3 mm) que estaban constituidas básicamente por crecimiento del año. Los datos de ramillas nuevas en roble se desecharon pues el peso de la muestra resultó insuficiente en la mayoría de las ocasiones para garantizar un error aceptable. La mayor humedad de las hojas frente a las ramillas en ambas especies representa la tendencia general indicada por diferentes autores y para especies muy diversas (CHANDLER *et al.*, 1991; AGEE *et al.*, 2002).

Los diagramas de cajas de las Figuras 2 (abeldul) y 3 (roble) muestran el efecto de la posición en el dosel en la humedad de hojas y ramillas. En las Figuras 4 (abeldul) y 5 (roble) se muestra la influencia de la clase sociológica. En abedul la humedad foliar muestra una clara tendencia a descender conforme aumenta la distancia al suelo mientras que con las ramillas sucede lo contrario (Figura 2). En roble se detectaron las mismas tendencias aunque no son tan marcadas y apenas se notan si se utiliza, como se ha hecho, la misma escala de humedades que en abedul (Figura 3). Los análisis de varianza, fijado un nivel de significación del 5%, indicaron

Especie	Combustible	Nº datos	Media	Máximo	Mínimo	Desv. Est
Abedul	Hojas	93	180,1	301,5	127,6	34,6
	Ramillas <3mm	93	109,6	154,9	79,2	14,1
	Ramillas 3-6mm	93	97,5	131,1	69,3	11,6
Roble	Hojas	57	171,9	276,8	107,1	36,5
	Ramillas adultas < 6 mm	57	123,8	163,6	90,5	17,7

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las humedades observadas en las especies y combustibles estudiados. Las humedades se expresan en porcentaje respecto a peso seco

para ambas especies y categorías de combustible, diferencias significativas en la humedad media debidas al factor posición en el dosel. Sin embargo no se observaron diferencias significativas debidas al factor clase sociológica. En abedul la humedad foliar resultó significativamente diferente en las tres posiciones del dosel mientras que las diferencias de humedad de las ramillas solo resultaron significativas entre el tercio superior e inferior del dosel. En roble los análisis de varianza indicaron diferencias significativas entre la humedad foliar del tercio superior del dosel y las otras dos zonas, y entre la humedad de las ramillas del tercio superior y el tercio inferior del dosel. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre clases sociológicas sí que se observa, en las Figuras 4 y 5, que la humedad media mínima para las distintas categorías de combustible y en ambas especies corresponde al estrato dominante. Esto concuerda con lo observado en *Quercus robur* y *Pinus radiata* por RUIZ et al. (2010). La influencia del

estado sociológico en la humedad foliar es indirecta, las diferencias (no significativas) detectadas entre estados se deben a que sus copas ocupan distintas posiciones en la masa con respecto al suelo. Por ejemplo, en abedul las mayores humedades se observaron en la zona baja de los árboles sumergidos mientras que las menores en la zona alta de los dominantes; las humedades observadas en la parte basal de los árboles dominantes fueron similares a las de la zona alta de los árboles sumergidos. RUIZ et al. (2010) observaron en roble humedades foliares medias similares a las de este estudio. Sin embargo, el rango de variación de la humedad fue bastante menor lo cual es sorprendente pues el periodo de muestreo abarcó un mayor número de meses (de febrero a octubre). Este resultado pone de manifiesto la gran influencia, que en la humedad de los combustibles vivos, presentan las condiciones ambientales del lugar (KEYES, 2006) puesto que el anterior estudio se desarrolló en un único lugar y éste en catorce sitios diferentes.

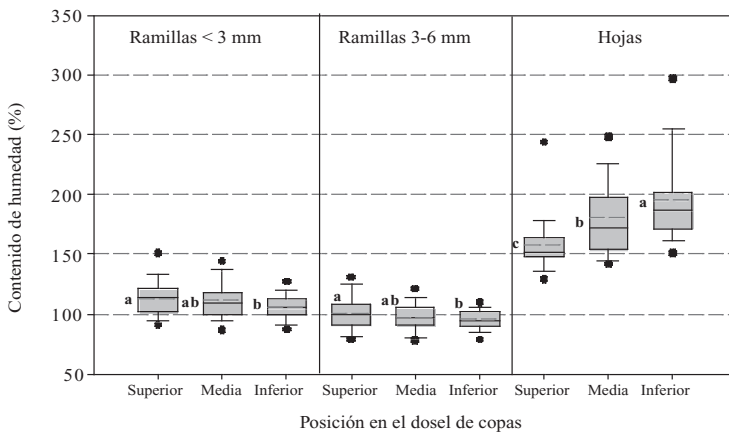


Figura 2. Efecto de la posición en el dosel en la humedad de las hojas y ramillas en abedul. Letras diferentes, dentro de cada tipo de combustible, indican medias significativamente diferentes (línea gris)

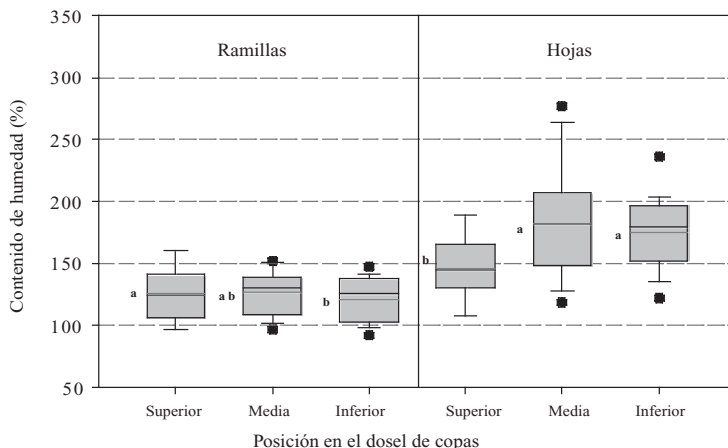


Figura 3. Efecto de la posición en el dosel en la humedad de las hojas y ramillas en roble. Letras diferentes, para cada combustible, indican medias significativamente diferentes (línea gris)

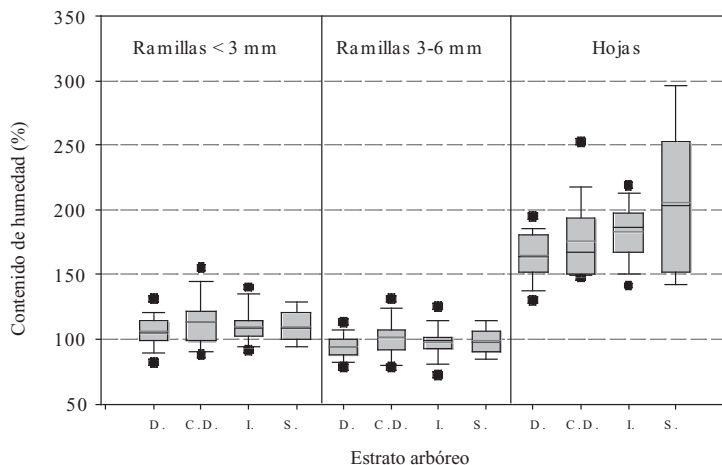


Figura 4. Efecto de la clase sociológica en la humedad de las hojas y ramillas en abedul. D=dominante; CD=co-dominante; I=intermedio; S=sumergido. No existen diferencias significativas entre medias, dentro de cada tipo de combustible (línea gris)

CONCLUSIONES

Destaca la elevada humedad de las hojas frente a las ramillas que también son elementos finos y que aunque presentan menor relación superficie/volumen que las hojas también pueden contribuir a la transición del fuego hacia las copas. La humedad foliar depende de la distancia al suelo, disminuyendo claramente en abedul conforme aumenta dicha distancia. Es necesario

analizar los resultados obtenidos contrastándolos con las condiciones meteorológicas presentes y pasadas, la humedad del suelo y los condicionantes particulares de cada parcela.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el "Ministerio de Educación y Ciencia" de España

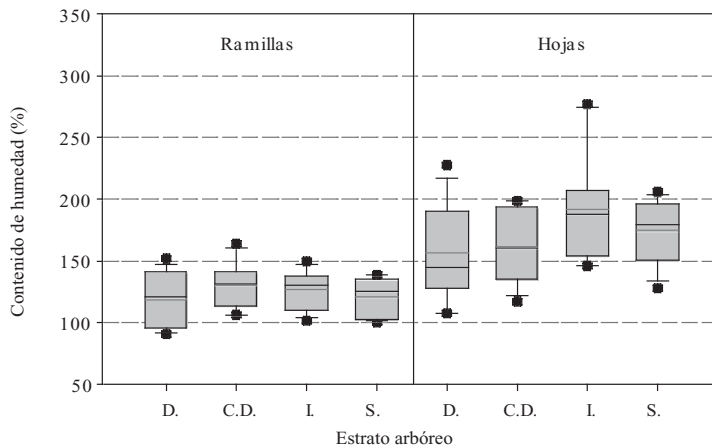


Figura 5. Efecto de la clase sociológica en la humedad de las hojas y ramillas en roble. D=dominante; CD=co-dominante; I=intermedio; S=sumergido. No existen diferencias significativas entre medias, dentro de cada tipo de combustible (línea gris)

mediante el proyecto AGL2007-66739-C02-01 "Modelos de evolución de bosques de frondosas autóctonas del noroeste peninsular".

BIBLIOGRAFÍA

- AGEE, J.K.; WRIGHT, C.S.; WILLIAMSON, N. & HUFF, M.H.; 2002. Foliar moisture content of Pacific Northwest vegetation and its relation to wildland fire behaviour. *Forest Ecol. Manage* 167: 57-66.
- ALEXANDER, M.E.; 1988. Help with making crown fire hazard assessments. In: W.C. Fischer & S.F. Arno (eds.), *Proceedings of the Symposium and Workshop in Protecting People and Homes from Wildfire in the Interior West*: 147-156. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. INT-251.
- CASTRO, F.X.; TUDELA, A.; GABRIEL, E.; MONSERRAT, D.; CANYAMERES, E. & SEGARRA, M.; 2006. Evolution of live fuel moisture in mediterranean forest. In: D.X. Viegas (ed.), *Proceedings of 5th International Conference on Forest Fire Research*: 27-30. Figueira da Foz. Portugal.
- CHANDLER, C.; CHENEY, P.; THOMAS, P.; TRABAUD, L. & WILLIAMS, D.; 1991. *Fire in forestry. Volume I: Forest fire behavior and effects*. Krieger Publishing Company. Malabar. Florida.
- KEYES, C.R.; 2006.; Role of foliar moisture content in the silvicultural management of forest fuels. *W.J.A.F.* 21(4): 228-231.
- VAN WAGNER, C.E.; 1977. Conditions for the start and spread of crown fire. *Can. J. For. Res.* 7(1): 23-34.
- RUIZ, A.D.; VEGA, J.A. & ÁLVAREZ, J.G.; 2010. Foliar moisture content variation in *Quercus robur* L. and *Pinus radiata* D. Don. in Galicia (NW Spain). In: D.X. Viegas (ed.), *Proceedings of 6th International Conference on Forest Fire Research*: 15-18. Coimbra. Portugal.
- SAS INSTITUTE INC.; 2004. *SAS/STAT[®] 9.1 User's Guide*. SAS Institute Inc. Cary, NC.
- SYSTAT SOFTWARE; 2009. *Sigmaplot 11.2 User's guide*. Systat Software. Inc. San Jose.
- VIEGAS, D.X.; PIÑOL, J.; VIEGAS, M.T. & OGAYA, R.; 2001. Estimating live fine fuels moisture content using meteorologically-based indexes. *Int. J. Wild. Fire.* 10: 223-240.