

## **Distribución de biomasa en las copas y el matorral tras clareos mecanizados intensos de regenerado post-incendio de *Pinus pinaster* Ait.: implicaciones para la prevención de incendios de copa**

Madrigal, J.,<sup>1,3\*</sup> Hernando, C.,<sup>1,3</sup> Guijarro, M.,<sup>1,3</sup> Vega, J.A.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> INIA-CIFOR. Ctra. de la Coruña Km 7,5. 28040 Madrid

<sup>2</sup> CIF- Lourizán, Xunta de Galicia. Apto. 127, 36080, Pontevedra

<sup>3</sup> Unidad Mixta INIA-Xunta de Galicia

\* Autor de correspondencia e-mail: incendio@inia.es

---

### **Resumen**

El clareo mecanizado intenso a edades tempranas se ha mostrado como una técnica selvícola eficaz para dosificar la competencia del regenerado post-incendio de *Pinus pinaster* Ait. en España. En el dispositivo experimental permanente establecido en el monte *Fraguas* (Guadalajara, Sistema Central), se realizaron clareos a los 7 años de edad del arbolado con dos pesos (extracción del 66% con desbroce por fajas y el 81% de los pies y desbroce en toda la superficie). Se analiza el cambio en la distribución de biomasa en la copa de los árboles, 12 años tras la intervención, mediante el muestreo destructivo de 30 pies. Así mismo, se analizan las diferencias en la cobertura y biomasa de matorral en función de los tratamientos. Según las diferencias observadas en los modelos de combustible resultantes, se discute sobre la influencia del tratamiento en las variables estudiadas y se proponen las posibles implicaciones en el potencial de aparición de fuegos de copa.

**Palabras clave:** Clases de tamaño, Densidad aparente, Modelos de propagación, Restauración, Tratamientos selvícolas.

---

### **1. Introducción**

Las masas de *Pinus pinaster* procedentes de regeneración tras incendios forestales presentan con frecuencia situaciones bien diferenciadas: ausencia de regenerado; repoblados de distribución dispersa o por rodales con escasa densidad media y fuer-

te competencia interespecífica; masas de altas densidades con fuerte competencia intraespecífica. En el último caso la dosificación de la competencia mediante clareos tempranos se ha mostrado como una técnica selvícola que induce una buena respuesta del regenerado en diferentes procedencias, áreas geográficas y situaciones fisiográficas (Madrigal *et al.*, 2006, Jiménez *et al.*, 2008).

Pero ¿cuál es la intensidad de la actuación más apropiada para dosificar la competencia y preparar a la masa para un futuro incendio? En las experiencias llevadas a cabo en estas masas y en otras de *P. halepensis* (López-Serrano *et al.*, 2006) el regenerado de entre 5 y 10 años responde bien a clareos muy intensos, hasta el 80% de los pies, siempre que el coeficiente de esbeltez y/o la baja lignificación del fuste no comprometa la resistencia mecánica a vientos y nieves. En todos los casos se demuestra que la respuesta (crecimientos, biomasa, eficacia en el uso del agua, eficiencia fotosintética) es tanto mejor cuanto mayor es la intensidad del clareo. A su vez se ha observado que la puesta en luz rápida de las copas estimula la floración y el mayor número de conos en aquellas procedencias con fructificación precoz (Tapias *et al.*, 2004). Estos cambios en los crecimientos respecto al testigo (no intervención) son de gran intensidad en los primeros años tras el clareo y se van atenuando con el tiempo al completarse la tangencia de copas, pero los pies responden muy bien a la apertura inicial de la masa, esto es, presentan mejores diámetros y mayor acumulación de biomasa aérea, tanto más cuanto más intenso es el tratamiento, cumpliéndose por tanto la certeza experimental de Assmann mediante la cual las producciones se mantienen constantes en un rango amplio de densidades.

La densidad aparente de copas es la variable de masa que más determina la propagación del fuego de copas. Una disminución de la espesura reduce la continuidad horizontal de las copas, disminuyendo por tanto el potencial de ocurrencia de fuegos de copa (Cruz and Alexander, 2010). La apertura de la masa plantea sin embargo el problema de la puesta en luz que suele favorecer la regeneración de matorral y herbáceas acompañantes, que pueden constituir una importante competencia, pero sobre todo un aumento del peligro de incendios forestales y un aumento del potencial de subida de fuego a las copas. Efectivamente, la aparición de matorral bajo copas aumenta la continuidad vertical y la mayor cantidad de biomasa disponible para arder. Esta puesta en luz también puede inducir una diferente distribución de la biomasa disponible para arder en los diferentes estratos de la copa. Los cambios en la longitud de la copa viva pueden implicar cambios en la altura de la primera rama viva que es una de las variables que más influye en la probabilidad de subida de fuego a las copas (Cruz and Alexander, 2010).

Por tanto la intensidad del tratamiento más adecuado será aquel que intente cumplir, en la medida de lo posible, los objetivos que más interesan para que estas masas tengan una mayor capacidad de adaptación en un contexto de convivencia con los incendios: dosificación de la competencia, preparación de la masa para regenerarse tras un futuro incendio promoviendo la fructificación y la obtención de una estructura adecuada para disminuir el potencial de fuego de copas, que son los incendios que más comprometerían la regeneración de la masa a medio y largo plazo.

El objetivo del presente trabajo es analizar el efecto de dos intensidades de cla-

reo sobre la distribución de la biomasa en las copas y la biomasa regenerada bajo copas en una masa de *Pinus pinaster* procedente de regeneración post-incendio. Los resultados obtenidos pueden ser de aplicación para establecer criterios selvícolas que incluyan el potencial de aparición de fuegos de copa.

## 2. Material y métodos

### 2.1 Área de estudio, tratamientos efectuados y seguimiento de parcelas permanentes

En una masa de *Pinus pinaster* de 40 años de edad en el monte “Fraguas” (Guadalajara, España) tuvo lugar un pequeño incendio de 11 ha en 1992 que presentó una abundante regeneración de 10.000 pies/ha. A principios del año 2000, cuando el regenerado contaba con 7 años y una altura media de 120 cm, se estableció un dispositivo experimental de parcelas permanentes. Mediante un diseño de bloques al azar con tres réplicas por tratamiento (parcelas de 20 m x 20 m) se pretendía determinar el efecto de dos intensidades de clareo mecanizado intenso mediante el uso de una desbrozadora de cadenas sobre la respuesta del regenerado y la fijación de carbono en comparación con la no intervención o testigo T (Tratamiento A: reducción del 66% de pies por fajas, que incluyó el desbroce de dichas fajas, pero no así en la entrefaja que se dejó sin tratar; Tratamiento B: reducción del 81% de los pies en toda la superficie incluyendo el desbroce de todo el matorral con ayuda adicional de motodesbrozadora. Para más detalles consultar Madrigal *et al.*, 2006). Desde el establecimiento de las parcelas (2000) se ha realizado el seguimiento de las variables dasométricas de los pies (años 2001-2005) sobre una muestra de 531 árboles y dos muestreos destructivos (años 2002, 2004) sobre un muestreo de 30 árboles (10 árboles por tratamiento) en cada una de la fechas de extracción.

Tras comprobar la respuesta adecuada a los tratamientos (Madrigal *et al.*, 2006), se pretendió realizar una caracterización de la masa resultante 12 años tras la intervención para analizar los cambios en la distribución de biomasa en las copas y la distribución horizontal del matorral (año 2011). Se realizó un nuevo inventario dasométrico, así como un muestreo destructivo de los pies y del matorral regenerado bajo las copas.

### 2.2 Métodos para la estimación de biomasa

Una vez efectuado el inventario dasométrico, una muestra representativa de 30 pies (10 árboles por tratamiento) fue seleccionada según la distribución de frecuencias de diámetros y alturas. Los pies fueron cortados por su base y la pesada de biomasa se efectuó para cada estrato de 1 m desde el ápice hasta la base. En cada uno de ellos se realizó el subsiguiente despiece de las diferentes fracciones y clases de tamaños según la metodología propuesta por Scott and Reindhardt (2001) y Alexander *et al.* (2004).

Se realizó un inventario del estrato de combustible bajo el dosel de copas mediante el replanteo de una malla de muestreo de 64 cuadrículas de 2 m x 2 m en las que se estimó visualmente la cobertura por especie (*Cistus ladanifer*, *Cistus laurifolius*, *Lavandula stoechas*, *Daphne gnidium*). Tras un reconocimiento visual de las parcelas y tomando como criterio los tipos de combustible más representativos en la masa estudiada se consideraron 7 categorías de combustible bajo copas:

- Raso (sin combustible).
- Hojarasca escasa.
- Hojarasca abundante.
- Matorral de menos de 0,5 m con hojarasca escasa.
- Matorral de 0,5 m con hojarasca abundante.
- Matorral de más de 0,5 m con hojarasca escasa.
- Matorral de más de 0,5 m con hojarasca abundante.

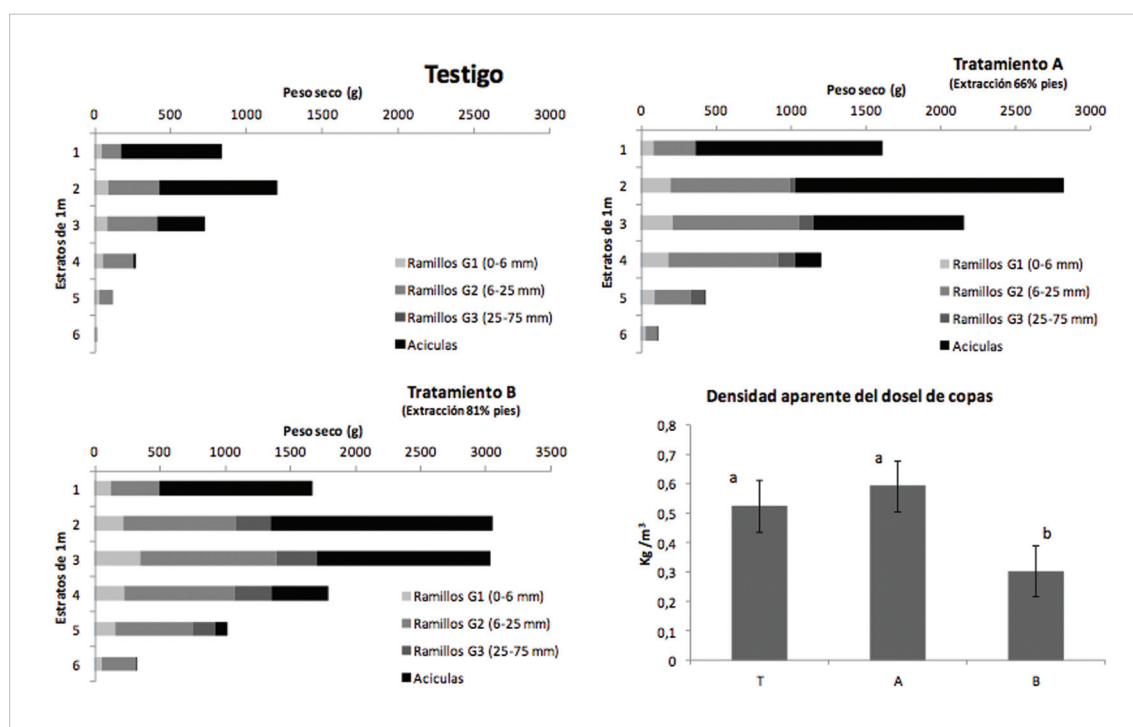
Para estimar la biomasa por unidad de superficie se realizó un muestreo destructivo de una muestra representativa por parcela y categoría.

### 2.3 Tratamiento estadístico

El diseño por bloques al azar de los tres tratamientos (A, B, T) se analizó mediante ANOVA usando tests no paramétricos (Kruskall-Wallis K-W, U de Mann-Withney). Se compararon los datos promedio de distribución de biomasa seca en árbol (g) para la muestra representativa de 10 árboles por tratamiento (n=30) y los datos promedios por parcela (3 réplicas por tratamiento) para las variables de densidad aparente de copas (kg/m<sup>3</sup>), cobertura (%) y carga de combustible bajo copas (kg/m<sup>2</sup>) (n=12). La densidad aparente (peso de biomasa seca del combustible de copas por unidad de volumen de dosel) se calculó asumiendo la distribución uniforme de la biomasa de las copas en el dosel, según criterio de Alexander *et al.* (2004). Para los análisis se utilizó el paquete STATISTICA 7.0®.

## 3. Resultados y discusión

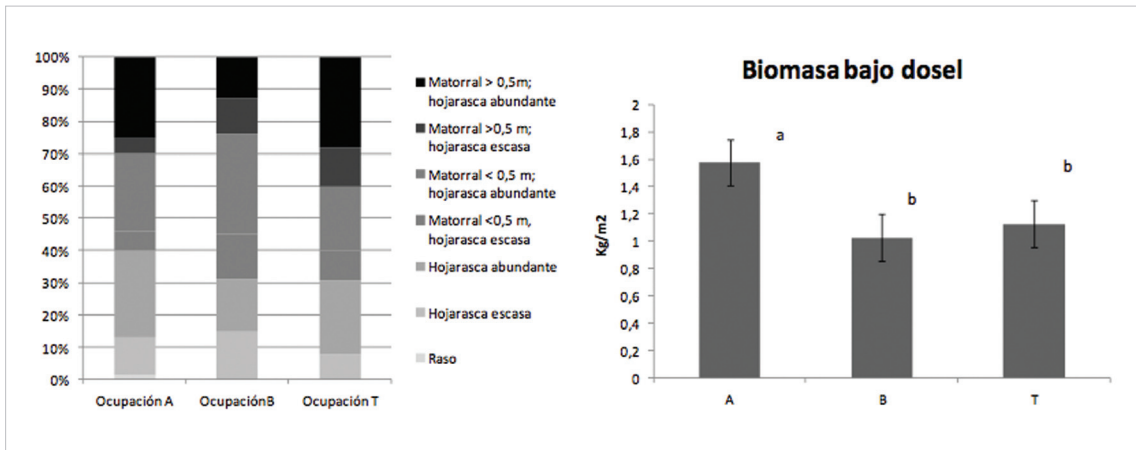
La *Figura 1* muestra la distribución de biomasa en el dosel de copas por clases de tamaños en estratos de 1 m, así como la estimación de la densidad aparente de copas en el rodal (Alexander *et al.*, 2004) para cada tratamiento. Los resultados muestran los cambios significativos respecto al testigo en cuanto a cantidad total de biomasa por árbol (Madrigal *et al.*, 2006) y la diferente distribución por clases de tamaños (GI Test K-W p<0,01; GII Test K-W p<0,01; GIII Test K-W p<0,05). Todos los tratamientos siguen el mismo patrón de distribución por estratos, aunque la menor altura de copa viva del testigo genera menor cantidad de ramas vivas en los estratos inferiores debido a la mayor espesura (estratos 4, 5 y 6; *Figura 1*). No se encontraron diferencias significativas entre la biomasa de acícula por árbol entre los tratamientos A y B, sin embargo ambos presentan diferencias significativas con el testigo (Test U



**Figura 1.** Distribución de biomasa de los pies pertenecientes a los tres tratamientos analizados (A, B, T) y ANOVA para la densidad aparente del dosel de copas (letras distintas implican diferencias significativas al 95%, test no paramétrico de Kruskal-Wallis).

de Mann-Withney: B-T,  $p=0,038$ ; A-T,  $p=0,0123$ ). La densidad aparente de copas en el rodal (*Figura 1*) es significativamente más baja en el tratamiento B, no encontrando diferencias entre el tratamiento A y el testigo T. Por tanto los tratamientos A y B generan menor altura de la primera rama viva y por tanto una mayor continuidad con la vegetación bajo dosel que aumentaría la probabilidad de subida de fuego a las copas (Cruz and Alexander, 2010). Por otro lado, sólo el clareo muy intenso ha sido capaz de generar una estructura del dosel de copas menos peligrosa para la propagación al disminuir significativamente la densidad aparente (Cruz and Alexander, 2010).

La apertura de la masa ha implicado también cambios en la distribución de la cobertura y biomasa bajo dosel (*Figura 2*). El tratamiento A, que consistió en una apertura de fajas mecanizadas, generó una puesta en luz en las calles que ha dificultado el cierre del dosel, encontrando por tanto en las calles alta carga de matorral regenerado y también presencia de rasos sin combustible. En cambio el tratamiento B en el que además de las fajas mecanizadas se trató con motodesbrozadora en la entrefaja, el mayor crecimiento del arbolado ha permitido conseguir la tangencia de copas, una fracción de cabida cubierta del 100% y frenar en parte el desarrollo de matorral bajo el dosel. El mayor potencial de subida de fuego a copas en las parcelas estudiadas lo genera la mayor frecuencia de aparición de matorral de más de 0,5 m con abundante hojarasca, ya que tanto por biomasa total como por estructura, podría generar una altura e intensidad de llama suficiente para que el fuego de superficie suba a los pri-



**Figura 2.** Distribución porcentual de la cobertura bajo el dosel de copas según las categorías definidas mediante estimación visual y ANOVA para la carga de combustible (biomasa total) bajo dosel para los tres tratamientos analizados (letras distintas implican diferencias significativas al 95%, test no paramétrico de Kruskal-Wallis).

meros verticilos del dosel (Cruz and Alexander, 2010). Esta categoría presenta una cobertura significativamente más baja en el tratamiento B (Test K-W  $p < 0,05$ ). Tal como se dijo anteriormente la altura de copa viva era significativamente más baja en las zonas tratadas (A y B), por tanto el tratamiento A aunque está generando una buena respuesta del regenerado está conformando una estructura de masa con un potencial de fuego de copas (subida a copas y propagación por copas) igual o incluso superior al testigo.

#### 4. Conclusiones

Los resultados de este estudio muestran que el efecto a medio plazo de tratamientos de clareo como medida de apoyo al regenerado post-incendio de *P. pinaster* es muy positivo, favoreciendo los crecimientos y la fijación de mayor biomasa en las copas respecto a la ausencia de intervención. Las dos intensidades de clareo ensayadas y su forma de ejecución implican cambios en la estructura del rodal que pueden afectar al potencial de aparición de futuros incendios de copa. Para este tipo de intervenciones el tratamiento más intenso eliminando aproximadamente el 80% de los pies con 7 años de edad del regenerado, es el que ha mostrado mejor respuesta de los pies restantes y una distribución de la biomasa del dosel de copas y bajo dosel más apropiada para disminuir el peligro de aparición de fuegos de copa. La reducción de la espesura a densidades de aproximadamente 1.500 pies/ha en una sola intervención facilita y abarata la planificación selvícola de los clareos. La apertura temprana de la masa prepara al rodal ante un futuro incendio al disminuir la biomasa en disposición de arder. Presenta sin embargo el inconveniente de dificultar la poda natural, pudiendo aumentar el riesgo de subida de fuego a las copas y conformando pies más ramosos, menos esbeltos y por tanto con peores características físicas para su aprovecha-

miento a largo plazo. El gestor debe valorar por tanto las ventajas e inconvenientes de estas intervenciones en función de la silvicultura propuesta, teniendo en cuenta el alto riesgo de incendio al que estas masas estarán sometidas por efecto del cambio climático y el previsible abandono de aprovechamientos en muchas áreas de distribución de la especie.

## 5. Agradecimientos

Este estudio se ha elaborado en el contexto del proyecto del Plan Nacional I+D Recursos y Tecnologías Agrarias RTA2009-00153-C03-02 (Protección contra incendios forestales: condiciones de inicio, propagación e impacto socio-económico de los fuegos de copa en masas de pinares), cofinanciado con fondos FEDER.

## 6. Bibliografía

- Alexander, M.E., Stefner, C.N., Mason, J.A., Stocks, B.J., Hartley, G.R., Maffey, M.E., Wotton, B.M., Taylor, S.W., Lavoie, N., Dalrymple, G.N., 2004. Characterizing the jack-pine spruce fuel complex of the International Crown Fire Modelling Experiment (ICFM). Natural Resources Canada, Forestry Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta, Information Report NOR-X-393, 2004, 49 pp.
- Cruz, M.G., Alexander, M.E., 2010. Assessing crown fire potential in coniferous forests of western North America: a critique of current approaches and recent simulation studies. *Int J Wildland Fire* 19 (4): 377-398.
- Jiménez, E., Vega, J.A., Pérez-Gorostiaga, Cuiñas, P., Fontúrbel, T., Fernández, C., Madrigal, J., Hernando, C., Guijarro, M., 2008. Effects of pre-commercial thinning on transpiration in young post-fire maritime pine stands. *Forestry* 81(4): 543-557.
- López-Serrano, F.R., de las Heras, J., González-Ochoa, A.I., 2006. *Quercus ilex* and *Pinus halepensis* Mill. post-fire forest stands improve growth after thinning treatments as a consequence of a better availability of N. En *New Developments in Ecology Research* (Ed. A.R. Burke) pp. 99-139 (Nova Science Publisher, Inc. New York).
- Madrigal, J., Hernando, C., Guijarro, M., Díez, C., Jiménez, E., 2006. Distribución de biomasa y fijación de carbono tras claros mecanizados intensos en regenerado post-incendio de *Pinus pinaster* (Monte "Fraguas", Guadalajara, España). *Invest Agrar: Sist Recur For* 15 (2): 231-242.
- Scott, J.H., Reinhardt, E.D., 2001. Assessing Crown Fire Potential by Linking Models of Surface and Crown Fire Behavior. Res. Pap. RMRS-RP-29. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 59 p.
- Tapias, R., Climent, J., Pardos, J.A., Gil, L., 2004. Life histories of mediterranean pines. *Plant Ecol* 171: 53-68.

