

Investigación del grupo de selvicultura¹ del Cifor-Inia en la Comunidad de Madrid

Grupo de Selvicultura formado por Bravo-Oviedo A., Calama R., Cañellas I., Madrigal G., Montero G., Montes F., Pardos M., del Río M., Ruiz-Peinado R., Sánchez-González M., Sixto H.

El objetivo fundamental del “Grupo de Selvicultura”, encuadrado dentro del Departamento de Selvicultura y Gestión Forestal del CIFOR-INIA, se centra en la generación de conocimientos científicos y prácticos encaminados a obtener nuevos métodos y técnicas selvícolas que permitan la innovación de la gestión forestal.

INTRODUCCIÓN

Los cambios sociales y económicos que se han producido en España en los últimos 25-30 años, unidos al cada vez más evidente cambio climático, hacen necesaria la implantación de nuevos métodos de gestión forestal más acordes con el nivel actual de conocimientos científicos y técnicos capaces de dar respuesta a las nuevas exigencias que plantea la sociedad actual.

Naturalmente, la innovación de los métodos y técnicas de gestión debe nutrirse de los nuevos conocimientos proporcionados por la investigación forestal. Sin investigación, no puede haber innovación y sin innovación no hay desarrollo. Es evidente que la situación actual necesita algunos cambios de actuación en lo referente a la gestión y conservación de los sistemas forestales. Hay que cambiar la antigua idea de trabajar para las poblaciones rurales por la nueva de trabajar con las poblaciones rurales, incorporando sus puntos de vista y teniendo en cuenta otros intereses que puedan contribuir al desarrollo rural. Lo mismo se podría decir de la obligación que tienen los gestores de asegurar que los bosques cumplan todas las funciones ambientales fuertemente demandadas por la

ciudadanía, especialmente los habitantes de los grandes núcleos urbanos. Si no se hace un gran esfuerzo por seguir incorporando este tipo de ideas al quehacer cotidiano de la gestión forestal, los forestales pueden correr el riesgo de quedar marginados de la toma de decisiones en su propio campo de actuación en un futuro no lejano.

Partiendo de estos planteamientos, las actuales líneas de investigación del grupo de selvicultura del CIFOR-INIA se agrupan en dos grandes temas:

- 1. Dinámica de los sistemas forestales: efecto de la gestión, de las perturbaciones y del cambio global.** Esta línea incluye el estudio del crecimiento y estructura de los sistemas forestales, de la regeneración natural y de las relaciones intra e interespecíficas de la dinámica forestal.
- 2. Gestión multifuncional de los sistemas forestales.** Incluye líneas de investigación sobre producción maderable, cultivos forestales, recursos forestales no maderables, los sistemas forestales como sumideros de carbono y otras funciones sociales del monte.

Estas dos grandes líneas se complementan con tres líneas de investigación



Masa de *Pinus pinea* en el T.M. de San Martín de Valdeiglesias (Madrid)

transversales: Definición de indicadores y desarrollo de modelos para la gestión forestal sostenible; Respuesta ecofisiológica de los sistemas forestales ante un escenario de cambio global; y Modelización forestal.

Parte de la actividad investigadora que conllevan estas líneas de investigación se lleva a cabo dentro de sistemas forestales de la Comunidad de Madrid. A continuación se expone una síntesis de cada una de las actividades que el grupo desarrolla en esta comunidad.

INVESTIGACIÓN EN LAS MASAS DE *PINUS PINEA* L. DE LOS VALLES DEL TIÉTAR Y DEL ALBERCHE

ANTECEDENTES

El pino piñonero (*Pinus pinea* L.) ocupa como especie dominante en los valles del Tiétar y del Alberche (SO de la Comunidad de Madrid y NE de la provincia de Ávila) una superficie superior a 30.000 ha. La mayor parte de estas masas se sitúan en laderas de relieve abrupto salpicadas de afloramientos graníticos y berrocales. En este territorio las masas de pinar se

localizan entre los 600 y los 1.000 metros de altitud, sobre suelos de textura arenosa. El fitoclima propio es el Mediterráneo genuino, con precipitaciones que oscilan entre 500–1.000 mm anuales y temperaturas medias anuales superiores a 13-14 °C. Las condiciones ambientales del territorio difieren notablemente del hábitat típico de la especie en zonas del interior peninsular (meseta norte), lo que confiere

a estas masas un importante valor ecológico (Montero *et al.*, 2008).

Desde un punto de vista ambiental, estas formaciones forestales son de enorme interés al conformar el principal hábitat forestal de la ZEPA “Encinares de los ríos Alberche y Cofio”, que alberga buena parte de la población madrileña de águila imperial ibérica, águila real, buitre negro y otras rapaces. Desde un punto de vista productivo, el aprovechamiento de la piña de *Pinus pinea* y el de los pastos forestales y de la bellota de *Quercus ilex* L. por parte del ganado caprino conlleva que la gestión sostenible de estas masas suponga una renta económica importante para los propietarios (públicos o privados)

de las mismas. Por último, debe considerarse el importante papel recreativo y social que juegan estas masas, al ser foco habitual de esparcimiento de visitantes desde la cercana ciudad de Madrid.

La gestión tradicional de estas masas forestales ha estado orientada desde antiguo a la producción multifuncional piña-ganado-leña de encina (Laguna, 1864), a lo que se añade en la actualidad la importancia recreativa y paisajística. La ocurrencia repetida de incendios, la presión excesiva del pastoreo en determinadas zonas, el mantenimiento de pies grandes productores de piña y la aplicación de cortas de entresaca han conformado unas formaciones forestales características. En estas es habitual que el estrato arbóreo de piñonero presente una estructura muy abierta y compleja, con presencia de árboles añosos dispersos intercalados entre bosquetes de individuos de menor edad, grandes claros con presencia abundante de otras especies (*Q. ilex* y *Juniperus oxycedrus* L.) y escasez notable de regenerado natural de pino en la mayor parte del territorio (Montero *et al.*, 2003, Calama y Montero, 2007).

En las zonas más septentrionales y de mayor altitud (monte UP 54 de San Martín de Valdeiglesias, Robledo de Chavela, Valdemaqueda y pinares de la provincia de Ávila), la menor ocurrencia de incendios ha conformado masas de pinar más denso, donde la encina aparece dispersa en el pinar formando matas arbustivas. Sin embargo, en la zona más meridional y de menor altitud del territorio (pinares de Cenicientos, San Martín de Valdeiglesias, Villa del Prado, Cadalso de los Vidrios, Pelayos de la Presa), el piñonero aparece habitualmente mezclado con chaparras de encina, que actúa como sotobosque denso y que tiende a ocupar los huecos dejados por el estrato arbóreo. Esta pauta de ocupación alcanza su máximo en las zonas incendiadas, donde la temprana capacidad de rebrote de la encina favorece la ocupación del territorio quemado frente al regenerado procedente de los escasos y dispersos pinos supervivientes.

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El interés ambiental, ecológico, paisajístico, productivo y social de estas masas forestales requiere el conocimiento de los mecanismos implicados en la dinámica de las mismas, con el objeto de dotar a los gestores del

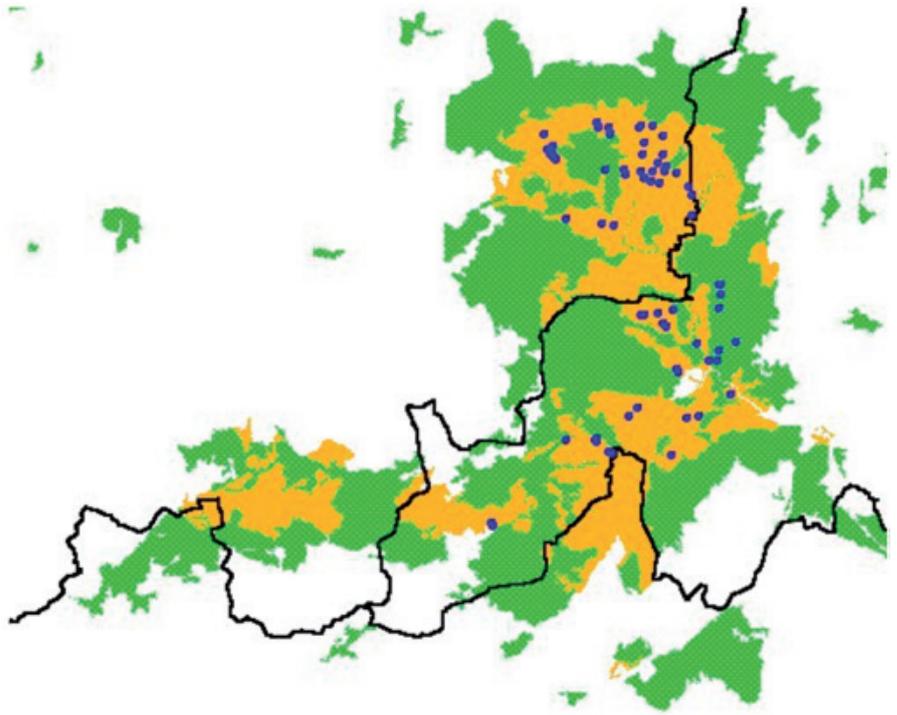


Figura 1. Localización de la red de parcelas INIA en la región Valles del Tiétar y del Alberche

territorio de herramientas y esquemas de gestión que garanticen el adecuado aprovechamiento sostenible de estas formaciones. Con esta finalidad, el CIFOR-INIA inició en 1996 una línea de investigación sobre selvicultura, gestión sostenible, dinámica y producción de los pinares de *P. pinea* en los valles del Tiétar y del Alberche. A lo largo de estos años, los objetivos específicos de la línea han sido:

- Estudio de la dinámica de crecimiento en masas monoespecíficas de *P. pinea*
- Caracterización y modelización de la producción de piña y piñón
- Caracterización estructural de las masas de *P. pinea* de los valles del Tiétar y del Alberche
- Regeneración natural: factores de influencia y efecto de la gestión, estructura, composición y perturbaciones sobre la dinámica y estado fisiológico del regenerado de *P. pinea*
- Dinámica y gestión de rodales heterogéneos de *P. pinea*

Estos objetivos se han trabajado en el marco de distintos proyectos de investigación, entre los que cabe destacar SC-99-017 “Modelos selvícolas para el aprovechamiento sostenible de las masas de *Pinus pinea*”, CPE-03-005-C1.2

“Bases para la gestión sostenible de las masas de *Pinus pinea* L. en la península Ibérica: Modelos ecológicos-selvícolas” y S-AMB-1668, “REGENFOR: regeneración de los Sistemas Forestales de la Comunidad de Madrid”. Todos los proyectos se han desarrollado a través de la colaboración con los técnicos y agentes del Área de Conservación de Montes de la Comunidad de Madrid.

DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES

Los primeros dispositivos de seguimiento en masas de *P. pinea* en el territorio de estudio datan de 1966, cuando el IFIE instala cuatro parcelas de 2500 m² en rodales puros regulares localizados en el monte U.P. 47 “Pinar del Concejo” (T.M. Cadalso de los Vidrios). Estas parcelas se remidieron cada 5–10 años hasta 1999, fecha en que se procedió a su abandono, al considerarse poco representativas de los sistemas forestales del territorio. En 1996 se procedió a instalar una red de 72 parcelas que cubriera de forma exhaustiva la región de estudio (figura 1). La finalidad principal era el estudio del crecimiento y la producción de madera y piña en las masas de la especie y de los factores de influencia (densidad, edad, calidad de estación, selvicultura).



Foto 2. Parcela INIA en el monte UP 52 (T.M. Cenicientos, Madrid) y recogida manual de piña en las parcelas INIA



Foto 3. Regeneración de pino en masa mixta con encina y enebro y dispositivo de seguimiento de la germinación

Las parcelas experimentales tienen forma circular y radio variable y contienen entre 10 y 20 árboles con diámetro normal superior a 5 cm (foto 2). En estas parcelas se identificaron y ubicaron todos los árboles de la parcela, tomando de cada uno mediciones de diámetro normal, de copa, alturas total y de poda, así como edad y crecimientos radiales en una muestra de pies. Los inventarios se repitieron en 2001 y 2008-2011. La producción de piña se ha evaluado anualmente, desde 1996 hasta el 2005, en 49 de las parcelas. En estas parcelas, en los cinco pies más cercanos al centro se ha recolectado la cosecha de cada pie (ver figura 3), separando las piñas sanas de las atacadas por *Pissodes validirostris* o *Dyorictria mendacella*, contando y pesando el número total de piñas de cada grupo recogidas en cada árbol. En una serie de pies se

selecciona una muestra de cinco piñas, que son llevadas a laboratorio para posteriores análisis referentes al contenido de piñones en la piña. A partir del año 2006 y hasta 2008 el muestreo se redujo a 15 parcelas.

Como complemento al dispositivo anterior, en 2000 se replantearon cuatro parcelas de gran tamaño (entre 2.200 y 4.000 m²) en rodales puros de *P. pinea* con gran complejidad estructural horizontal, vertical e irregularidad en diámetros y edades. En estas parcelas se midieron y posicionaron todos los individuos con altura superior a 20 cm, procediéndose a su remediación en 2011.

En 2010-2011 se ha procedido a instalar una red de seguimiento de la dinámica y regeneración natural de *P. pinea* dentro de la región de estudio, analizando las distintas tipologías de

masa existentes en el territorio. La red anterior se ha ampliado instalando cinco parcelas de 0,45 ha en masas con distintos niveles de abundancia de *Q. ilex* y *J. oxycedrus*, planteando también el seguimiento en zonas incendiadas recientemente (incendio de julio 2003). En estas parcelas, además del posicionamiento y medición de todos los individuos de las tres especies principales con altura superior a 20 cm, se ha procedido a instalar dispositivos de seguimiento de la instalación de regenerado, germinación y de producción de fruto (foto 3). Asimismo, se está realizando un seguimiento estacional del estado fisiológico del regenerado de las distintas clases, con el objetivo de identificar el nicho óptimo para el establecimiento y desarrollo de cada especie.

PRINCIPALES RESULTADOS

Los principales resultados obtenidos a lo largo de los años de seguimiento de la línea de investigación son:

- Construcción de un modelo dinámico de árbol individual para predecir la evolución del rodal bajo diferentes supuestos de gestión (Cañadas, 2000; Calama *et al.*, 2007). El modelo consta de: módulo de calidad de estación; módulos de estado que permiten caracterizar las dimensiones de los pies, la producción en volumen, la producción de piña, las fracciones de biomasa y la fijación de CO₂; módulo de transición que predice el crecimiento del rodal en intervalos de cinco años; y módulo de gestión, que permite simular el efecto de claras y otras intervenciones. El modelo se encuentra desarrollado en una aplicación informática (PINEA2), y dentro del área de estudio ha sido utilizado en la ordenación de los MUP 56 “Cuartel del Norte” (T.M. de Villa del Prado, Madrid) (Lozano, 2006) y MUP 4 “Pinar del Común y Pinar de propios y Valdeoliva” (T.M. Almorox, Toledo) (Pereira, 2011).
- Se ha identificado el control que factores como la espesura, la competencia, la dimensión del árbol y la capacidad de retención de agua ejercen sobre la producción de piña de *P. pinea*, construyendo modelos para la producción media y producción anual de fruto (Calama y Montero, 2007). Asimismo, se ha caracterizado y modelizado el con-

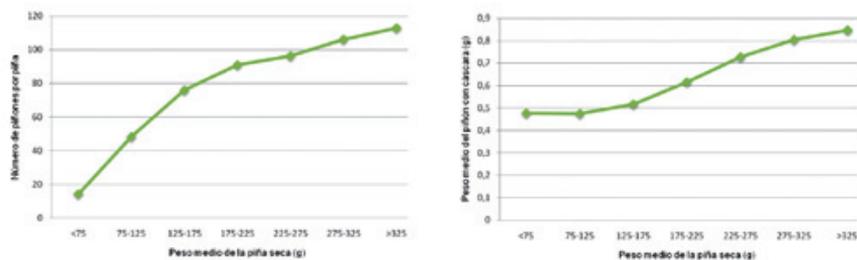


Figura 2. Efecto del tamaño de piña sobre el número de piñones por piña y peso medio del piñón con cáscara

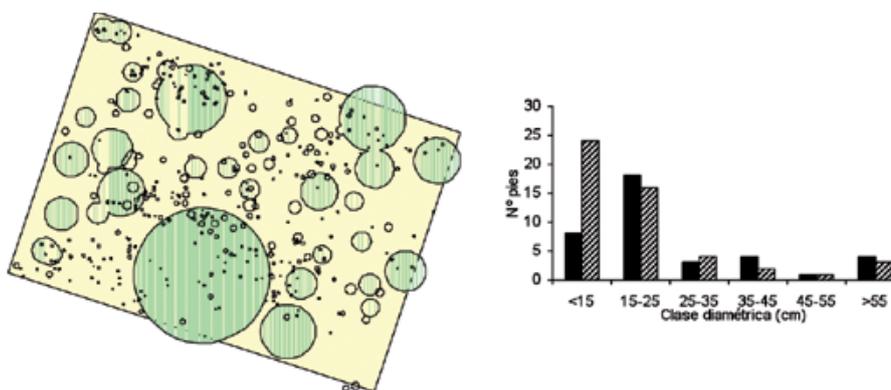


Figura 3. Esquema en planta de una parcela con estructura irregular e histograma de frecuencias de diámetros característico en este tipo de masas

tenido de piñón en piña (Morales, 2009), identificando un control principal del tamaño de la piña sobre aspectos de calidad del contenido (figura 2).

- Caracterización estructural y estudio de la dinámica de masas con forma principal irregular del territorio (Montero *et al.*, 2003) (figura 3), planteando esquemas de gestión adecuados para el mantenimiento de esta tipología de masa (Calama *et al.*, 2005; Calama *et al.*, 2008) y comparando la gestión de las mismas con la de las masas regulares en términos de producción de madera, fruto y fijación de CO₂ (Del Río *et al.*, 2008).
- Se ha identificado el patrón espacial y temporal de respuesta fisiológica del regenerado de *P. pinea* (Mayoral *et al.*, 2011), contrastándolo con el de otras especies acompañantes (*Q. ilex*, *J. oxycedrus*), lo que servirá de base para el desarrollo de modelos de dinámica con base fisiológica. **F**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CALAMA, R., MONTERO, G. 2007. Cone and seed production from stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in Central Range (Spain). *European Journal of Forest Research* 126(1): 23-35.
- CALAMA, R., FINAT, L., GORDO, F.J., BACHILLER, A., RUÍZ-PEINADO, R., MONTERO, G. 2005. Estudio comparativo de la producción de madera y piña en masas regulares e irregulares de *Pinus pinea*. IV CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL (SECF). Zaragoza.
- CALAMA, R., SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M., MONTERO G. 2007. Management oriented growth models for multifunctional Mediterranean forests: the case of stone pine (*Pinus pinea* L.). *EFI Proceedings* 56: 57-70.
- CALAMA, R., BARBEITO, I., PARDOS, M., RÍO, M., MONTERO, G. 2008. Adapting a model for even-aged *Pinus pinea* L. stands to complex multi-aged structures. *Forest Ecology and Management* 256: 1390-1399.
- CAÑADAS, M.N. 2000. *Pinus pinea* L. en el Sistema Central (valles del Tiétar y del Alberche): desarrollo de un modelo de crecimiento y producción de piña. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 356 pp.
- LAGUNA, M: 1864. Memoria de reconocimiento de la Sierra de Guadarrama bajo el punto de vista de la repoblación de sus montes. Imprenta Nacional. Madrid, 46 pp.
- LOZANO, J. 2006. Proyecto de ordenación del monte U.P. 56 "Cuartel del Norte", T.M. Villa del Prado (Madrid). Proyecto Fin de Carrera. EUIT Forestal. UPM.
- MAYORAL, C., SÁNCHEZ, M.O., CALAMA, R., MADRIGAL, G., PARDOS, M. 2011. Seasonal changes in the physiological status of regeneration under two structural typologies and a natural light gradient in mixed *Pinus pinea* – *Quercus ilex* stands in Spain. *MEDPINE 4: 4th International Conference on Mediterranean Pines Conservation, Ecology, Restoration and Management of Mediterranean Pines and their Ecosystems*. Avignon.
- MONTERO, G., CAÑADAS, N., YAGÜE, S., BACHILLER, A., CALAMA, R., GARRIGA, E., CAÑELLAS, I. 2003. Aportaciones al conocimiento de las masas de *Pinus pinea* L. en los Montes de Hoyo de Pinares (Ávila-España). *Revista Montes* 73.
- MONTERO, G., CALAMA R, RUIZ PEINADO R. 2008. Selvicultura de *Pinus pinea* L. En MONTERO G., SERRADA R, REQUE J (Eds.) *Compendio de Selvicultura de Especies*, pp 431-470. INIA-Fundación Conde del Valle de Salazar.
- MORALES, L. 2009. Modelos para la predicción del contenido y calidad de piñón en piñas de *Pinus pinea* L. en los valles del Tiétar y del Alberche. Proyecto Fin de Carrera. ETSI Montes. UPM.
- PEREIRA, S. 2011. Métodos de optimización aplicados a la producción conjunta de madera y piñón. Aplicación al Monte "Pinar del común y Pinar de propios y Valdeoliva", Almorox (Toledo). Proyecto Fin de Carrera. ETSI Montes. UPM.
- RÍO, M., CALAMA, R., MONTES, F., MONTERO, G. 2003. Influence of Competition and Structural Diversity on Basal Area Growth in Uneven-Aged stands of Stone pine (*Pinus pinea* L.) in Spain. *IUFRO International Interdisciplinary Conference on "Uneven-aged Forest Management: alternative forms, practices, and constraints"*. IUFRO-METLA. Helsinki (Finlandia).
- RÍO M., BARBEITO I., BRAVO-OVIEDO A., CALAMA R., CAÑELLAS I., HERRERO C., BRAVO F. 2008. Carbon sequestration in mediterranean pine forests. En F. BRAVO *et al.* (ed.), *Managing Forest Ecosystems: the challenge of Climate Change*, 215–241. Kluwer Academic Publishers.

RESPUESTA DEL CRECIMIENTO A LAS CLARAS EN MONTES BAJOS DE *QUERCUS PYRENAICA* WILLD

ANTECEDENTES

Las masas de *Quercus mediterránea* se han gestionado tradicionalmente como monte bajo en ciclos de 20 a 25 años, regenerando las masas a través de brotes de raíz o de cepa. El valor económico de estas masas forestales estaba vinculado a la demanda de leña o carbón para uso doméstico. Este uso perdió importancia a partir de 1960 de forma progresiva debido al desarrollo rural y a la posterior irrupción de otras fuentes de energía, como los derivados del petróleo. La consecuencia de este cambio es la falta de gestión en extensas áreas de especies de *Quercus mediterránea*. Este es uno de los problemas más importantes en la investigación y la gestión forestal de los países mediterráneos de la Unión Europea como Grecia, Italia, Francia, España y Portugal, donde los montes bajos ocupan una superficie de 8,5 millones de hectáreas (Morandini, 1996). Resolver problemas tales como la alta densidad, la falta de regeneración sexual, la reducción de crecimiento, el decaimiento de las masas y el riesgo de incendio debido a la vulnerabilidad y la acumulación de biomasa se consideran hoy en día prioritarios. Una de las alternativas para adaptar la gestión de estos montes bajos a los cambios que se han producido en el medio rural en España y las nuevas demandas por parte de la sociedad tanto de beneficios directos como indirectos de los bosques, como el uso público o la conservación de la biodiversidad, son las relacionadas con la conversión en bosques abiertos o en monte alto a través de tratamientos selvícolas como las claras. Uno de los principales objetivos de la gestión de estas masas es aumentar el crecimiento de los árboles o mejorar su calidad de forma sostenible.

El control de densidad a través de las claras ha sido una herramienta importante para alcanzar este objetivo en muchas especies y sistemas forestales. El objetivo de las claras es concentrar el crecimiento en algunos árboles por hectárea de forma que se mejore la estructura y la calidad de los

misimos. En estas masas forestales de monte bajo, las claras eliminan primero la competencia entre los brotes que pertenecen a una misma cepa dejando el más vigoroso y con mayor capacidad de respuesta al tratamiento (claras por lo bajo) y en segundo lugar reduce la competencia entre cepas al reducir su número.

DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES

El CIFOR-INIA estableció diferentes ensayos de claras en masas de monte bajo de rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.) en la Comunidad de Madrid (Tabla 1) con el fin de analizar la respuesta en el crecimiento y la estructura de la masa a distintas intensidades de claras (Tabla 2).

PRINCIPALES RESULTADOS

Los principales resultados obtenidos de estos ensayos son:

a. Efecto de las claras sobre el crecimiento del árbol:

Quercus pyrenaica muestra una respuesta positiva al crecimiento después de los tratamientos de claras aplicados (Cañellas *et al.*, 2004). Esta respuesta es mayor al aumentar la intensidad de la clara (Figura 1). Resultados similares se han encontrado en otros trabajos con especies de *Quercus mediterránea* (Ducrey y Toth, 1992; Mayor y Roda, 1993; Cañellas *et al.*, 1994). También se observó una respuesta distinta atendiendo al tamaño del árbol. En términos absolutos, la respuesta de la clara en el crecimiento en diámetro de árboles de mayor tamaño fue superior que en aquellos árboles de menores dimensiones. Por el contrario, no se obtuvieron diferencias significativas entre intensidades de clara en el crecimiento de la masa (área basimétrica total y biomasa total, Tabla 3).

Tabla 1.- Sitios de ensayo de claras del CIFOR-INIA en monte bajo de *Quercus pyrenaica* en la Comunidad de Madrid

Sitio de ensayo	Año de instalación	latitud	longitud	Pendiente %	Exposición	Altitud (m)	Precipitación (mm)
Rascafría	1994	40°5'N	3°51'O	30	SE	1.350	1.037
Nacaverrada	1980	40°43'N	4°16'O	20	NE	1.250	678

Tabla 2. Tratamientos realizados en los sitios de ensayo de claras del CIFOR-INIA en monte bajo de *Quercus pyrenaica* en la Comunidad de Madrid

Tratamientos	Rascafría		Navacerrada	
	Número y tamaño parcela	Basal área residual (%)	Número y tamaño parcela	Basal área residual (%)
Testigo (T)	2 (1.600 m ²)	100	3 (1.600 m ²)	100
Clara débil (C)	2 (1.600 m ²)	75	3 (1.600 m ²)	90
Clara moderada (D)	2 (1.600 m ²)	65	3 (1.600 m ²)	85
Clara fuerte (E)	2 (1.600 m ²)	50	3 (1.600 m ²)	65

Tabla 3. Principales variables de masa por parcela al inicio de la experiencia (30 años) en la masa de monte bajo de Rascafría: C- clara débil; D- clara moderada; E- clara fuerte

Tratamiento	Antes de la clara						Eliminado por la clara		
	N	Dg	Hg	G	Bm	BT	N/ha	G	BT
testigo	4.506	10,1	7,6	36,4	31,8	143,4			
testigo	4.144	10,6	7,8	36,8	36,4	150,8			
clara C	4.869	9,4	8,7	33,5	26,0	126,5	2.813	8,6	23,1
clara C	4.506	9,5	8,8	32,2	27,6	124,2	2.681	8,7	23,2
clara D	5.325	8,5	8,3	30,0	20,1	107,2	3.531	10,5	27,6
clara D	5.300	9,1	8,6	34,5	23,9	126,5	3.550	12,7	35,7
clara E	5.394	9,0	8,8	34,3	23,0	124,3	4.063	17,2	52,4
clara E	4.913	9,4	8,9	33,9	26,3	129,2	3.719	16,9	52,43

N: número de brotes/ha; Dg: diámetro cuadrático medio (cm); Hg: altura media (m); G: área basimétrica (m² ha⁻¹); Bm: biomasa del árbol medio (kg árbol⁻¹); BT: biomasa total (t ha⁻¹).

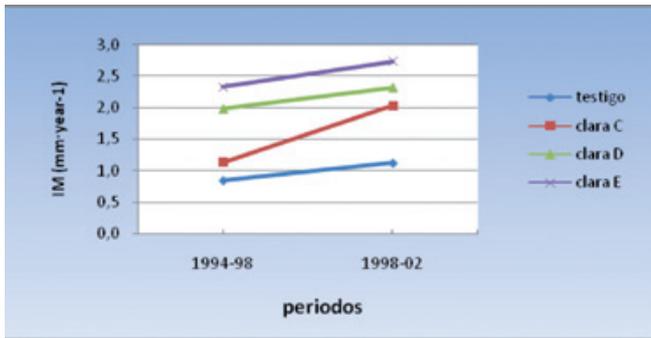


Figura 1.- Incremento medio en diámetro (IM, mm año⁻¹) por tratamiento y periodo de crecimiento en las parcelas de ensayo de claras de Rascafría

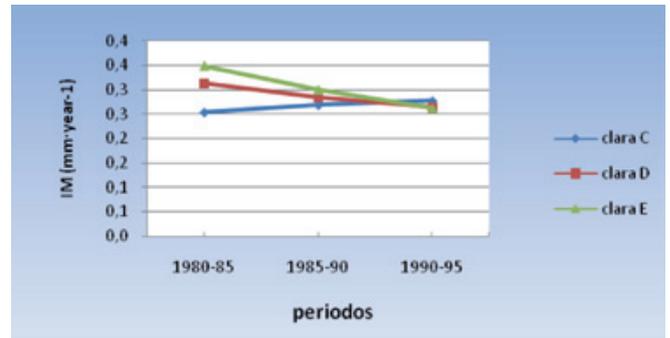


Figura 2.- Evolución del índice de diferenciación de altura de Gadow por tratamiento y periodo en las parcelas de ensayo de claras de Navacerrada

b. Efecto de las claras sobre la estructura

La respuesta de estas masas al tratamiento es significativa tanto para las variables de altura total del árbol como para la de diámetro de copa. Las claras bajas modifican la estructura hacia masas más homogéneas (Figura 3), pero en el caso de los rebollares la diferenciación en altura se incrementa con la intensidad de la clara: la homogeneidad entre árboles cercanos (microestructura) es mayor después de la clara en las claras débiles que en el caso de las claras moderadas y fuertes (Figura 2), que dan lugar a una mayor diferenciación entre árboles próximos, aumentando la variabilidad de la estructura vertical (Montes *et al.*, 2004).

En la actualidad se están desarrollando otros estudios para avanzar en el conocimiento del efecto del clima y de la interacción clima-tratamientos en el crecimiento. Para ello se han colocado dendrómetros de banda para medir el crecimiento en diámetro durante el periodo vegetativo y se han recogido testigos de madera para realizar estudios dendroecológicos. También se controla la fenología y los recursos hídricos disponibles.

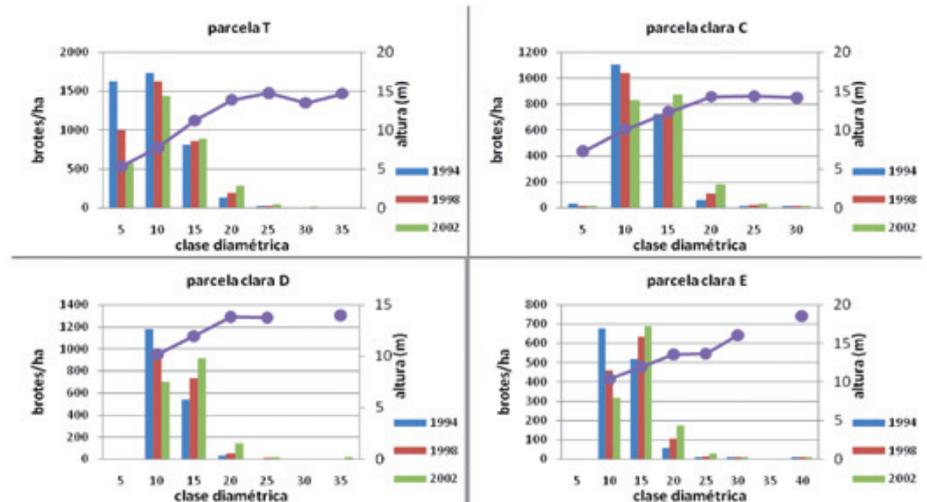


Figura 3.- Distribución de las clases diamétricas y de alturas por tratamiento en las diferentes inventarios realizados en las parcelas de ensayo de claras de Rascafría



Foto 1.- Detalle de dendrómetros de banda y contenedores de recogida de desfronde en el sitio experimental permanente de Rascafría

El mantenimiento de este tipo de experiencias de larga duración es fundamental para incrementar el conoci-

miento de la respuesta de esta especie a los tratamientos selvícolas y al cambio climático.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAÑELLAS I., MONTERO G., SAN MIGUEL A., MONTOTO J.L., BACHILLER A. 1994. Transformation of rebollo oak coppice (*Quercus pyrenaica* Willd.) into open woodlands by thinning at different intensities. Preliminary results. *Investig. Agr., Sistemas y Recursos Forestales*, FS 3: 71-78.
- CANELLAS I., RÍO M., ROIG S., MONTERO G. 2004. Growth response to thinning in *Quercus pyrenaica* Willd. coppice stands in Spanish central mountain. *Ann. For. Science*, 61:243-250.
- DUCREY M., TOTH J. 1992. Effect of clearing and thinning on height growth and girth increment in holm oak coppices (*Quercus ilex* L.). *Vegetatio* 99/100: 365-376.
- MAYOR X., RODA F. 1993. Growth response of holm oak (*Quercus ilex* L.) to commercial thinning in the Montseny mountains (NE Spain). *Ann. Sci. For.*, 50:247-256.
- MONTES F., CAÑELLAS I., RÍO M., CALAMAR, MONTERO G. 2004. The effects of thinning on the structural diversity of coppice forests. *Ann. For. Science*, 61: 771-779.

CLARAS EN REPOBLACIONES DE PINO SILVESTRE

ANTECEDENTES

Las repoblaciones forestales presentan una serie de características singulares en cuanto a su estructura y crecimiento y, por tanto, necesitan estudios específicos que ayuden a comprender su dinámica y evolución. En la Comunidad de Madrid, las superficies repobladas desde los años 40 del siglo XX ascienden aproximadamente a 60.000 ha (Fuente: Estadística Forestal de España y Anuario de Estadística Agraria). Estas cifras reflejan el interés de desarrollar herramientas específicas que permitan realizar una gestión sostenible de estas superficies repobladas, tales como modelos de crecimiento, modelos de claras, etc., especialmente para *Pinus sylvestris* debido a su importancia y representación en esta comunidad autónoma.

DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES

El CIFOR-INIA mantiene tres sitios de ensayos de claras en repoblaciones de pino silvestre en la Comunidad de Madrid (Tabla 1). En estos ensayos se comparan diferentes tipos e intensidades de claras:

- *Testigo*: No se realizan claras y solo se cortan y extraen los pies muertos, que se contabilizan como mortalidad natural.
- *Clara baja débil*: Clara por lo bajo en la que se elimina un 15-20 % del área basimétrica.
- *Clara baja moderada*: Clara por lo bajo en la que se elimina un 20-25 % del área basimétrica.
- *Clara baja fuerte*: Clara por lo bajo en la que se elimina un 25-35 % del área basimétrica.
- *Clara de selección de árboles de porvenir*: Clara fuerte en la que se eliminan los competidores de los 300-350 mejores individuos por hectárea y en la que se elimina un 30 % del área basimétrica.
- *Clara alta moderada*: Clara por lo alto en la que se elimina un 35 % del área basimétrica.

Estas experiencias se han inventariado cada cinco años desde su instalación, por lo que ya ha transcurrido suficiente tiempo para ofrecer información valiosa sobre la respuesta a los tratamientos ensayados.

PRINCIPALES RESULTADOS

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos de estos ensayos de claras.

- a. Efecto de las claras en la estabilidad frente a nevadas

Las fuertes nevadas que tuvieron lugar en el sistema Central en el invierno de 1996 causaron una elevada

mortandad en el sitio de ensayo de La Morcuera. El diseño de esta experiencia de claras permitió obtener información sobre la relación entre los diferentes regímenes de claras y los daños ocasionados por la nieve, resultados que se recogen en Montero *et al.* (1997) y Río *et al.* (1997). Las intervenciones de claras están muy relacionadas con la estabilidad de una masa forestal, ya que modifican la densidad del rodal y la esbeltez del árbol individual, variables que influyen en la susceptibilidad a sufrir daños por nieve

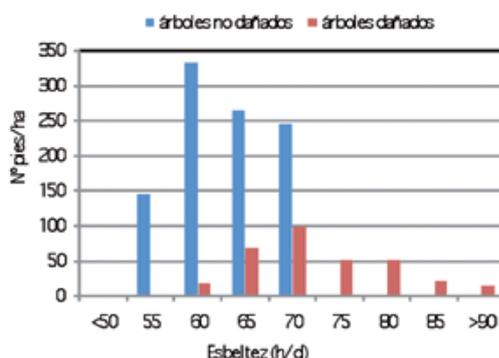


Figura 1. Número de pies por hectárea dañados y no dañados por la nieve en 1996 según los distintos valores del coeficiente de esbeltez en el sitio de ensayo de claras de La Morcuera

TABLA 1. Sitios de ensayo de claras del CIFOR-INIA en repoblaciones de pino silvestre en la Comunidad de Madrid

Sitio de ensayo	Año de instalación	Edad inicial	Calidad de estación ¹	N.º parcelas	Exposición	Altitud (m)	Pendiente %	Clima ³
Perímetro de Gascones	1980	26	23	4	SE	1180	10 %	VI(IV) ₂
Perímetro de Montejo	1980	28	17	4	NE	1400	15-20 %	VI(IV) ₂
La Morcuera	1991	39	11-14	27	NE	1630	10-40 %	VIII (VI)

1.- Altura dominante a la edad de referencia de 50 años según las curvas de calidad de estación para repoblaciones de Río *et al.* (2005).
3.- Clasificación fitoclimática de Allué (1990)



Foto 1. Repoblación de *Pinus sylvestris* en Gascones (Comunidad de Madrid)

(Figura 2). Los resultados indicaron que las claras por lo bajo contribuyen a mejorar la estabilidad frente a la nieve, especialmente cuando la intensidad de las claras es fuerte.

b. Selvicultura de *Pinus sylvestris*

La red de ensayos de claras en masas de pino silvestre del CIFOR-INIA, en la que se encuentran los tres ensayos situados en repoblaciones de la Comunidad de Madrid, ha permitido estudiar la respuesta de las masas de esta especie a los tratamientos de claras. En estos ensayos se ha estudiado el efecto de las claras en la mortalidad natural (Río *et al.*, 2001), en el crecimiento del árbol, en el crecimiento en área basimétrica y en volumen del rodal (Montero *et al.*, 2000; 2001; Río *et al.*, 2008) y en la estabilidad de la masa frente a viento y nieve (Montero *et al.*, 1997; Río *et al.*, 1997). Todos estos resultados han permitido proponer regímenes de claras adaptados para esta especie, como queda reflejado en el capítulo sobre selvicultura de *Pinus sylvestris* (Montero *et al.*, 2008) del *Compendio de Selvicultura Aplicada en España* (Serrada *et al.*, 2008).

c. Modelo de simulación de claras

Los modelos de simulación tienen como principal objetivo facilitar la toma de decisiones en la gestión de los sistemas forestales. Con este fin, el grupo de selvicultura del CIFOR-INIA desarrolló un modelo de simulación

t	MASA PRINCIPAL ANTES DE LA CLARA						PARÁMETROS WEIBULL			MASA EXTRAIDA					MASA PRINCIPAL DESPUES DE LA CLARA				
	Ho	Nac	Dgac	Hac	ABac	Vmac	a	b	c	Nex	Dgex	ABex	Vmex	Vex	Ndc	Dgdc	ABdc	Vmdc	Vdc
25	11.95	2500	14.27	9.89	40	86.23	215.5	2.14	12.93	3.25									

Figura 2. Ventana "Datos por hectárea" del programa SILVES v2 en la que se pueden simular distintos tipos y pesos de claras

de claras (SILVES) para masas de pino silvestre (Río y Montero, 2001) que posteriormente adaptó a las repoblaciones de la Comunidad de Madrid (Río *et al.*, 2005). El modelo SILVES permite simular la evolución del rodal con diferentes regímenes de claras a partir de las condiciones iniciales de la masa (Figura 2). Además de las principales variables dasométricas, el modelo estima también la distribución diamétrica del rodal.

En la actualidad se están desarrollando otros estudios en la red de parcelas de claras del CIFOR-INIA que

responden a nuevos objetivos, tales como el papel de las claras como medida de adaptación al cambio climático o el efecto de estas cortas en el carbono fijado en el suelo. El mantenimiento a largo plazo de este tipo de experiencias de claras es fundamental para definir esquemas selvícolas con base científica que respondan a las diferentes demandas de la sociedad. Los interesados pueden obtener más información sobre los resultados en la bibliografía referenciada o ponerse en contacto con el grupo de Selvicultura mediterránea del CIFOR-INIA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLUÉ, J.L., 1990. Atlas fitoclimático de España. Taxonomías. I.N.I.A., Ministerio de Agricultura, Madrid, 221 pp., 8 planos.
- MONTERO, G., CAÑELLAS, I., ORTEGA, C., RÍO, M., 2001. Results from a thinning experiment in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) natural regeneration stand in the Sistema Iberico Mountain Range (Spain). *For. Ecol. Manage.* 145, 151-161.
- MONTERO, G., RÍO, M., ORTEGA, C., 1997. Efectos de la selvicultura en la reducción de los daños causados por la nieve en masas de *Pinus sylvestris* L. del Sistema Central. *Revista Montes* N.º 47.
- MONTERO, G., RÍO, M., ORTEGA, C., 2000. Ensayo de claras en una masa natural de pino silvestre en el Sistema

- Central. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 1, 147-177.
- MONTERO, G., RÍO, M., ROIG, S., ROJO, A., 2008. Selvicultura de *Pinus sylvestris* L. En: SERRADA R., MONTERO G., REQUE J.A. (Eds.) *Compendio de Selvicultura Aplicada en España*. INIA, Madrid, 503-534.
- RÍO, M., MONTERO, G., ORTEGA, C., 1997. Respuesta de los distintos regímenes de claras a los daños causados por la nieve en masas de *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 6(1 y 2), 103-117.
- RÍO, M., MONTERO, G., 2001. Modelo de simulación de claras en masas de *Pinus sylvestris* L. *Monografías del INIA: Forestal* n.º 3, 114 pp.

- RÍO, M., MONTERO, G., BRAVO, F., 2001. Analysis of diameter-density relationships and shelf-thinning in non-thinned even-aged Scots pine stands. *For. Ecol. Manage.* 142, 79-87.
- RÍO, M., ROIG, S., CAÑELLAS, I., MONTERO, G., 2005. Programación de claras en repoblaciones de *Pinus sylvestris* L. Seguimiento de sitios de ensayo en la Comunidad de Madrid. *Monografías del INIA: Serie forestal* 12, 46 pp.
- RÍO, M., CALAMA, R., CAÑELLAS, I., ROIG, S., MONTERO, G., 2008. Thinning intensity and growth response in SW-European Scots pine stands. *Ann. For. Sci.* 65.
- SERRADA, R., MONTERO, G., REQUE, J.A. (Eds.) *Compendio de Selvicultura Aplicada en España*. INIA, Madrid, 503-534.

PRODUCCIÓN EN MASAS DE PINO SILVESTRE Y PINO NEGRAL



Pinares de silvestre

RED DE PARCELAS PERMANENTES DE PRODUCCIÓN

A principios del siglo XX, el extinto Instituto Central de Experimentación Técnico-Forestal instaló una red de parcelas con el propósito de “obtener el material científico necesario para fundamentar la Dasonomía” (Colomo y Elorrieta, 1914 en Montero *et al.*, 2004). A lo largo de dicho siglo se sucedieron otras experiencias, hasta que en 1963 la Sección de Selvicultura y Ordenación de Montes del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (I.F.I.E.), dentro del Plan de Experimentación en Montes de Utilidad Pública y reconociendo que “los sistemas de ordenación están basados en la adecuada combinación de las circunstancias económicas con la capacidad productiva y regeneradora de los montes” (Anónimo, 1963), comienza a instalar una red de parcelas de ensayo con el fin de conocer la evolución de la capacidad productiva que sirva como información base en la ordenación de montes públicos. Entre los objetivos establecidos en el diseño de la red de parcelas se estableció la “determinación, por comarcas y espe-

cies, de la magnitud de la producción maderable en términos de volumen y crecimiento bajo sistemas definidos de ordenación”.

En el caso de la Comunidad de Madrid se instalaron en 1963 cinco parcelas de la especie *Pinus sylvestris* L. en los montes Los Robledos (n.º UP 114), Peñalara-La Cinta (n.º 113), Pinar Gargantón (2 parcelas) y Vaquerizas Altas en la actual Comarca Parque Natural de Peñalara, y en 1966, tres parcelas de la especie *Pinus pinaster* Ait. en los montes n.º 46, La Jurisdicción, en la comarca de El Escorial, y dos parcelas, en el monte n.º 32, Pinar y Agregados, en la comarca Oeste del Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares.

Desde su instalación se han realizado de seis a siete inventarios en las parcelas de pino silvestre, quedando en la actualidad cuatro parcelas activas. Las parcelas de pino negral se han medido de dos a cuatro veces, quedando una única parcela activa. Las parcelas que se han dado de baja lo fueron por haberse perdido la numeración, por haber sido afectadas por incendios o por algún aprovechamiento.

PRINCIPALES RESULTADOS

La información de estas valiosas parcelas, junto con otras en otras provincias, ha permitido construir curvas de calidad, tablas de producción y modelos de crecimiento y producción.

a) Curvas de calidad

Las primeras curvas de calidad derivadas de estas parcelas fueron producidas por Pita en 1964 para pino silvestre y en 1967 para pino negral. En 2004 se publicaron unas nuevas curvas de calidad de estación para pino negral (Bravo-Oviedo *et al.*, 2004) siguiendo una metodología de diferencias algebraicas. El avance en la metodología de curvas de calidad hizo que se modificarán las curvas propuestas en 2004 por otras regionales (Bravo-Oviedo *et al.*, 2007), de aplicación en el sistema Central, y unas curvas locales asociadas a valores climáticos del rodal (Bravo-Oviedo *et al.*, 2008).

b) Tablas de producción

Con las primeras curvas de calidad desarrolladas por Pita (1964) se construyeron unas tablas de producción de densidad variable para *Pinus sylvestris* L. en el sistema Central (García y Gómez, 1984). Rojo y Montero (1996) construyeron otras tablas mejorando el muestreo y la estimación de la calidad de estación estableciendo tablas de selvicultura de referencia con intensidades moderada y fuerte.

Las tablas de producción para pino negral (García y Gómez, 1989), siguiendo una metodología similar a la de silvestre, proponen una selvicultura media observada (régimen moderado) y la de referencia (régimen fuerte). No obstante, los turnos de máxima renta en especie de calidades bajas son inferiores a los de las mejores calidades (Madrigal *et al.*, 1999).

c) Modelización

A partir de las parcelas de producción de pino negral se realizó un modelo de crecimiento y producción dinámico que ofrece una mayor flexibilidad que las tablas de producción (Bravo-Oviedo *et al.*, 2004). Este modelo permite obtener una salida similar a las tablas de producción, es decir, la evolución de un rodal sometido a un régimen de claras determinado, aunque casi siempre moderado, a partir de un único conjunto de datos de partida que incluye el índice de sitio, la edad del rodal, el número de pies por hectárea y



el diámetro medio cuadrático. Las claras son caracterizadas por el peso de la misma expresado en porcentaje de área basimétrica.

Otros estudios derivados de este tipo de parcelas han sido los modelos de probabilidad de supervivencia en masas no aclaradas para ambas especies, en los que se comprobó cómo el efecto de la competencia ejerce una influencia distinta para pino silvestre,

más sensible a la competencia por la luz, que para pino negral, más sensible a la competencia por recursos subterráneos (Bravo-Oviedo *et al.*, 2006). Los modelos de crecimiento en altura dominante con información climática de pino negral permiten evaluar la variación del patrón de crecimiento entre rodales distintos en el momento actual o entre el mismo rodal con climas distintos, (Bravo-Oviedo *et al.*, 2010),

observándose un comportamiento diferente entre regiones y entre calidades de estación.

Junto con los datos dasométricos necesarios para construir los modelos explicados, el CIFOR-INIA está completando la información disponible en las parcelas de producción mediante la apertura de calicatas para caracterizarlas edáficamente. Con esta información se ha construido un modelo que permite a los gestores clasificar las masas en calidad de estación cuando no es posible aplicar las clásicas curvas de calidad (Bravo-Oviedo *et al.*, 2011).

La información de estas parcelas constituye una fuente de datos válida para la gestión y permite ampliar el conocimiento de la dinámica natural de las masas forestales (crecimiento, supervivencia de masas adultas). La recopilación exhaustiva de datos en parcelas donde se conoce bien el número de pies y la historia selvícola de las mismas permite cuantificar el efecto de las actuaciones y de las variaciones climáticas locales en el crecimiento y producción forestal. Las líneas futuras de actuación, por tanto, deben combinar la información de los inventarios, la información ambiental y la información detallada que los propios árboles pueden proporcionar mediante análisis dendroclimatológico o de desarrollo de biomasa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAVO-OVIEDO, A., RÍO, M., MONTERO, G., 2004. Site index curves and growth model for Mediterranean maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Spain. *For. Ecol. Manage.*, 201, 187-197.
- BRAVO-OVIEDO, A., STERBA, H., DEL RÍO, M., BRAVO, F. 2006. Competition-induced mortality for Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. and *P. sylvestris* L. *For. Ecol. Manage.*, 222, 88-98.
- BRAVO-OVIEDO A., RÍO M., MONTERO G., 2007. Geographic variation and parameter assessment in generalized algebraic difference site index modelling. *For. Ecol. Manage.* 247, 107-119.
- BRAVO-OVIEDO, A., TOMÉ, M., BRAVO, F., MONTERO, G., RÍO M. 2008. Dominant height growth equations including site attributes in the generalized algebraic difference approach. *Can. J. For. Res.* 38, 2348-2358.
- BRAVO-OVIEDO, A., GALLARDO-ANDRÉS, A., RÍO, M., MONTERO, G. 2010. Regional changes of *Pinus pinaster* site index in Spain using a climate-based dominant height model. *Can. J. For. Res.* 40, 2036-2048.
- BRAVO-OVIEDO A., ROIG, S., BRAVO, F., MONTERO, G., RÍO, M. 2011. Environmental variability and its relationship to site index in Mediterranean Maritime. *Forest Systems*, 20(1), 50-64.
- GARCÍA-ABEJÓN, J.L., GÓMEZ-LORANCA, J.A. 1989. Tablas de producción de densidad variable para *Pinus pinaster* Ait. en el Sistema Central. Comunicaciones INIA. Serie Recursos Naturales, n.º 47. INIA. Madrid.
- GARCÍA ABEJÓN, J.L., GÓMEZ LORANCA, J.A. 1984. Tablas de producción de densidad variable para *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central. Comunicaciones I.N.I.A. Serie Recursos Naturales 29, 36 pp.
- MADRIGAL, A., ÁLVAREZ, J.G., ROJO, A., RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R. 1999. Tablas de producción para los montes españoles. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.
- MONTERO, G., MADRIGAL, G., RUIZ-PEINADO, R., BACHILLER, A., 2004. Red de parcelas experimentales permanentes del CIFOR-INIA. *Cuad. Soc. Esp. Cie. For.* 18, 229-236.
- PITA, P.A., 1964. La calidad de estación en las masas de *Pinus sylvestris* de la Península Ibérica. *Anales del I.F.I.E.*, n.º 9, 5-28.
- PITA, P.A., 1967. Clasificación provisional de las calidades de la estación en las masas de *P. pinaster* Sol. and *P. uncinata* Ram. de la península Ibérica. *Anales del I.F.I.E.*, 125-138.
- ROJO, A., MONTERO, G. 1996. El pino silvestre en la Sierra de Guadarrama. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. 293 pp.

CULTIVOS FORESTALES PARA ENERGÍA

ANTECEDENTES

En los últimos años, el interés de la bioenergía ha cobrado un fuerte protagonismo a nivel nacional y europeo dentro de un contexto general de cambio climático. La estrategia 20-20-20 desarrollada por la Comisión Europea y articulada en la Directiva 2009/28/CE de energías renovables indica un escenario en el que la producción de energía de origen renovable debe alcanzar el 20 %, así como también deben reducirse los gases de efecto

Los cultivos energéticos de origen lignocelulósico hacen posible la obtención de madera en plazos breves, siendo muy elevada su adecuación para la obtención de energía bajo diferentes procesos de conversión. Estas plantaciones se basan en el empleo de especies consideradas de crecimiento rápido, realizadas de manera preferente en terrenos excedentarios de la producción agrícola óptimos o marginales, existiendo los conocimientos básicos esenciales para ponerlos en práctica.

Tabla 1. Dispositivos experimentales de cultivos forestales para energía en la Comunidad de Madrid

Dispositivo experimental	Año de instalación	Densidad de plantación	Rotación prevista	Material vegetal	Tipo de ensayo
A	2006	33.333 pies ha ⁻¹	3+3	9 genotipos de <i>Populus</i> spp. e híbridos	<ul style="list-style-type: none"> — Respuesta del material genético — Respuesta de tratamientos culturales: fertilización y control de malas hierbas — Respuesta a corta inicial — Respuesta al recepe — Tasa de descomposición foliar
B	2008	10.000 pies ha ⁻¹	3	4 genotipos de <i>Populus</i> spp. e híbridos	<ul style="list-style-type: none"> — Diferentes regimenes hídricos — Eficiencia en el uso del agua
C	2009	10.000 pies ha ⁻¹	3	Robinia pseudoacacia <i>Platanus x hybrida</i> <i>Salix</i> spp. <i>Populus</i> spp.	<ul style="list-style-type: none"> — Adaptación y respuesta productiva en las distintas especies

invernadero e incrementar la eficiencia energética en el mismo porcentaje. La crisis energética actual presenta por tanto además de una componente de índole económica y de estrategia política una fuerte componente medioambiental, al ser acuciante lograr la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero.

La biomasa constituye una herramienta clave para cumplir los objetivos energéticos planteados tanto a escala europea como nacional y se considera uno de los sectores más interesantes en los que sustentar el crecimiento previsto en renovables. En la actualidad, las principales fuentes de suministro de biomasa las constituyen por una parte los residuos y por otra los cultivos energéticos, permitiendo estos últimos la planificación en el espacio y en el tiempo de la producción de la materia prima, lo que puede aportar estabilidad en el suministro y suponer paralelamente un impulso al desarrollo rural.

DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES

Con el fin de contribuir en el avance del conocimiento para una producción sostenible de biomasa a partir de cultivos forestales, el CIFOR-INIA mantiene en la finca La Canaleja, perteneciente al Centro y ubicada en la Comunidad de Madrid, diferentes dispositivos experimentales que se relacionan en la tabla 1. Estos dispositivos se inscriben en el ámbito de diferentes proyectos de investigación, como son los proyectos RTA 2002-00182-C02-01 y RTA 2008-00025-C02-01, pertenecientes al subprograma de investigación fundamental orientada a los recursos y tecnologías agrarias en colaboración con las CC.AA., así como al proyecto singular estratégico On Cultivos.

En estos ensayos se evalúan diferentes variables que inciden sobre la producción de biomasa en corta rotación, como son:

- Comparación de material genético, valorando la idoneidad de diferentes especies susceptibles de ser

utilizadas en alta densidad y corta rotación, así como también diferentes genotipos para algunas de las especies.

- Efecto de tratamientos culturales:
 - Diferente grado de fertilización
 - Diferente control de malas hierbas
 - Diferente régimen hídrico. En este caso se evalúan:
 - Incidencia sobre el crecimiento y la producción
 - Eficiencia en el uso del agua del material genético que se ensaya
- Se comparan diferentes densidades de plantación y el efecto de una corta inicial para favorecer el desarrollo de múltiples brotes.
- Se valora la tasa de descomposición foliar en las condiciones de ensayo.

Los dispositivos experimentales que se relacionan en la Comunidad de Madrid están replicados en otras comunidades autónomas de tal forma que sea posible evaluar la interacción de los factores mencionados en relación a la variabilidad de suelo y clima.

Cada año y en cada periodo vegetativo (de marzo a octubre aproximadamente) se han realizado inventarios sobre variables dendrométricas de producción al final de los correspondientes periodos vegetativos, de arquitectura del árbol y de variables funcionales (medidas de intercambio gaseoso, determinación de nitrógeno en hoja, discriminación isotópica del ¹³C).

PRINCIPALES RESULTADOS

En la actualidad, se dispone de resultados que aportan información relevante en relación a la idoneidad del material genético y de los tratamientos culturales más relevantes del cultivo. Algunos de estos resultados se comentan brevemente a continuación:

a) Efecto de genotipo

En las condiciones de suelo y clima de la parcela experimental ubicada en la Comunidad de Madrid, los distintos genotipos mostraron diferencias significativas en crecimiento y producción al finalizar la primera rotación. La figura 1 muestra la respuesta clonal en peso verde por cepa observada en el sitio de ensayo. Estas diferencias dependen mucho del sitio, por lo que la respuesta puede ser distinta en condiciones diferentes de suelo y clima.



Foto 1. Dispositivos experimentales de cultivos forestales para energía en la finca La Canaleja (Madrid)

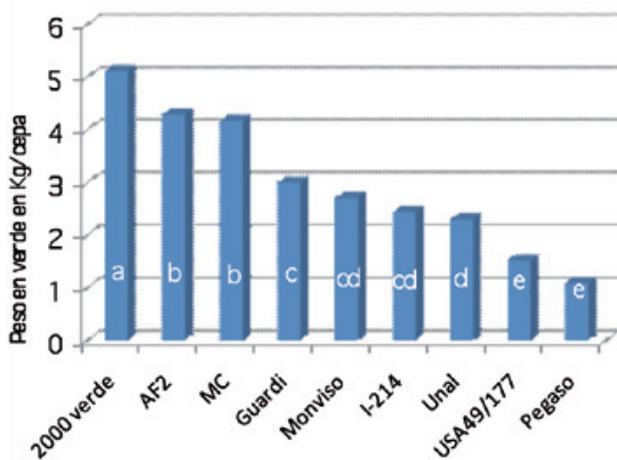


Figura 1. Respuesta clonal de genotipos de especies e híbridos de Populus

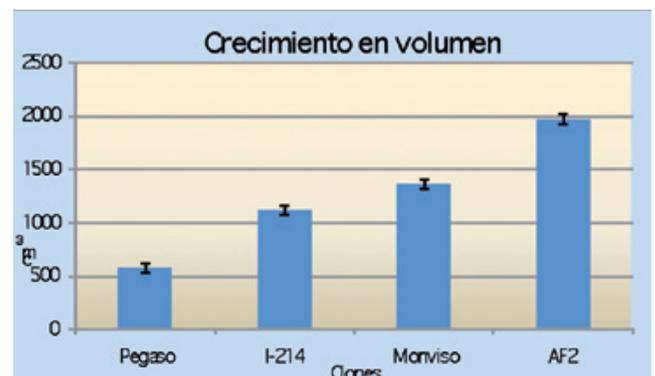
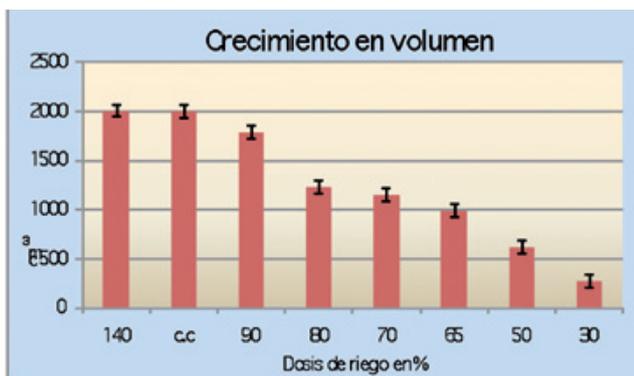


Figura 2. Crecimiento en volumen en función de la dosis de riego y del clon

La producción media en la parcela fue de 15,7 t M.S. ha⁻¹ año⁻¹, oscilando entre 26,8 t M.S. ha⁻¹ año⁻¹ para el clon más productivo (2000 verde) y 5,8 t M.S. ha⁻¹ año⁻¹ para el menos productivo (Pegaso). La producción media teniendo en cuenta los cuatro mejores clones del ensayo fue de 22,2 t M.S. ha⁻¹ año⁻¹.

b) Efecto de los tratamientos de fertilización y control de malas y hierbas

La aplicación de fertilización adicional con 8N:15P:15K no se tradujo en un incremento significativo de la producción para el conjunto de los clones, lo que probablemente se debe a las buenas condiciones de fertilidad iniciales del suelo.

Sin embargo, el control adicional de malas hierbas mediante tratamientos dirigidos con la materia activa glifosato aplicado en la mitad del 1.º periodo vegetativo produjo un incremento significativo de producción respecto al control, en el que se observó abundante presencia de hierba, destacando especies como *Chenopodium album* L., *Chenopodium polyspermum* L., *Salsola kali* L., *Senecio jacobea* L., *Solanum nigrum* L. y *Portulaca oleracea* L.

Parece por tanto que los tratamientos culturales deben diseñarse en función de las características de sitio teniendo en cuenta el banco de semillas del suelo.

c) Efecto de los diferentes regímenes hídricos aplicados

La producción en volumen disminuye significativamente a medida que se reduce la dosis de riego. No obstante, en todos los casos el cultivo vegeta sin mostrar síntomas de decaimiento, reflejándose la diferencia de riego solo en la pérdida de crecimiento. La producción



se reduce a la mitad cuando se pasa de una situación de riego óptimo (capacidad de campo) a otra próxima al punto de marchitez. A nivel clonal, el mayor crecimiento en volumen se observa en el clon AF2, seguido de Monviso, I-214 y Pegaso, manteniéndose estas diferencias bajo cualquiera de las situaciones de riego contempladas.

Si bien la reducción de la dosis de riego siempre acarrea una pérdida de producción, en condiciones de riego muy restrictivo el cultivo sería viable. En este escenario sería necesario comparar la producción frente a otras espe-

cies menos higrófilas y de crecimiento más lento.

Igualmente se han puesto de manifiesto diferencias en la eficiencia en el uso del agua a nivel clonal, lo que se traduciría en la mayor idoneidad de unos genotipos frente a otros en condiciones de riego restrictivas.

d) Respuesta al recepe

El porcentaje de mortalidad observado en el conjunto de clones ensayados después de efectuar la primera corta correspondiente a la 1.^a rotación de cultivo fue del 24 %. Este porcentaje

no puede sin embargo atribuirse exclusivamente a la distinta habilidad para el rebrote de los clones y al efecto de la competencia por la alta densidad, ya que ensayos paralelos en diferentes localizaciones sitúan la mortalidad por debajo del 10 %.

La presencia de una sintomatología atribuible a clorosis férrica ha podido influir sobre la mortalidad en el sitio de ensayo, incidiendo esta de manera diferente sobre los distintos clones. ‘Unal’ y ‘USA 49-177’ (*P. x interamericana*) mostraron los mayores porcentajes de mortalidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CIRIA, P., ROVIRA, L., PÉREZ, J., MONTOTO, J.L., MAZÓN, P., RUEDA, J.L., SIXTO, H. 2010. Ability for regrowth in a short-rotation clonal poplar plantation. 18 th European Biomass Conference & Exhibition from Research to Industry and Markets
- SIXTO, H., HERNÁNDEZ, M.J., BARRIO, M., CARRASCO, J., CAÑELLAS, I. 2007. Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales 16 (3)
- SIXTO, H., CIRIA, P., RUEDA, J., PÉREZ, J., GARCÍA-CABALLERO, J.L., MAZÓN, P., MONTOTO, J.L., CAÑELLAS, I. 2009. Comparison of two cuttings scenarios in the first rotation period of a poplar crop for biomass energy production. 2009. 17 th European Biomass Conference & Exhibition from Research to Industry and Markets.
- SIXTO, H., CIRIA, P., ROVIRA, L., MONTOTO, J.L., PÉREZ, J., GARCÍA-CABALLERO, J.L., MAZÓN, P. 2010. Comparison of different forest species during the first vegetative growth period in short rotation coppice. 18 th European Biomass Conference & Exhibition from Research to Industry and Markets.
- SIXTO, H., HERNÁNDEZ, M.J., CIRIA, P., CARRASCO, J.E., CAÑELLAS, I. 2010. Manual de cultivo de *Populus* spp. para la producción de biomasa con fines energéticos. Monografías INIA n.º 21. ISBN: 978-84-7498-530-6. Disponible en la web de INIA.
- SIXTO, H., SALVIA, J., BARRIO, M., CIRIA, P., CAÑELLAS, I. 2011. Genetic variation and genotype-environment interactions in short rotation *Populus* plantations in southern europe. New Forest. DOI: 10.1007/s11056-010-9244-6.

ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO EN LOS BOSQUES



Separación de ramas finas (menores de 2 cm) y medias (de 2 a 7 cm) para su posterior pesado en una muestra de *Quercus pyrenaica*

ANTECEDENTES

El carácter de multifuncionalidad que presentan los bosques es aún más palpable en los ecosistemas mediterráneos, dado que en muchas ocasiones esa conjunción de funciones (recreo, paisaje, protección de suelos, mantenimiento de la biodiversidad, etc.) los hace ser mucho más importantes, aunque en ocasiones sea difícil asignarles un precio. Así, dada la incorporación de la fijación de dióxido de carbono atmosférico como una más de sus funciones, se ha incluido otro criterio a tener en cuenta para su valoración. Para cuantificar las cantidades de carbono que los bosques tienen almacenadas en la vegetación viva y sus posibilidades anuales de secuestro del mismo es necesario disponer de modelos de estimación de biomasa que sean aplicables a los datos proporcionados por los inventarios forestales (Montero *et al.*, 2003; 2004).

MODELOS DE ESTIMACIÓN DE BIOMASA

El departamento de Silvicultura y Gestión de Sistemas Forestales del CIFOR-INIA realizó un muestreo para conocer la cantidad de biomasa producida por las principales especies forestales de España. El muestreo se ejecutó en toda España, realizándose para *Pinus sylvestris* L. y *Quercus pyrenaica* Willd. principalmente en la Comunidad de Madrid, aunque fue complementado en otras zonas.

Apoyados en los sitios de ensayos de claras que tiene el CIFOR-INIA en el puerto de La Morcuera y en Rascafría, se realizó un muestreo a lo largo de las clases diamétricas que el Inventario Forestal Nacional identifica y que se fue capaz de encontrar en el monte. En este muestreo se realizó una separación en las distintas fracciones del árbol: fuste, ramas de diferentes diámetros (mayores de 7 cm de diámetro, entre 7 y 2 cm de diámetro, menores de 2 cm de diámetro) y acículas u hojas. Esta separación se llevó a cabo para tener un mejor conocimiento de la distribución de biomasa y para disponer de información para el estudio de los flujos de nutrientes y la toma de decisiones a la hora de la planificación de las operaciones selvícolas (Bravo *et al.*, 2008), además de la cuantificación de las diferentes reservas de carbono (Montero *et al.*, 2005; Bravo, 2007).

A partir de estos datos se ajustaron modelos que tienen como variable independiente el diámetro normal del árbol (Montero *et al.*, 2005), variable siempre presente en los inventarios forestales. Posteriormente también se ha incluido la altura total del árbol en los diferentes modelos (Ruiz-Peinado *et al.*, 2011, para diferentes especies de coníferas) con el fin de conseguir una mejora en las estimaciones y una mejor aplicación a zonas diferentes de las muestreadas.

Con la aplicación de la cantidad de carbono presente en la madera para

las diferentes especies forestales o el valor por defecto aceptado (50 % de carbono en la materia seca), se convierten las estimaciones de biomasa en cantidades de carbono fijado en la vegetación.

Aunque el carbono fijado en la vegetación viva no es el único almacén de carbono en el bosque, ya que también hay carbono almacenado en el suelo mineral, en la capa orgánica del suelo y en la madera muerta sobre el suelo o en pie, es un reservorio sobre el que la gestión forestal tiene mucha influencia. Los distintos métodos de beneficio, la intensidad de las cortas, la gestión de los restos de corta, etc. modifican las cantidades de biomasa en la masa y también tienen influencia, en menor medida, en los otros almacenes. El conocimiento de estos reservorios y su dinámica es fundamental para realizar planificaciones donde se pretenda maximizar este objetivo, en conjunción con todos los demás que cumple la masa. F

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAVO, F. (Ed.) 2007. El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación Gas Natural, Barcelona, 315 pp.
- BRAVO, F., BRAVO-OVIEDO, A., RUIZ-PEINADO, R., MONTERO, G. 2008. Silvicultura y cambio climático. En: SERRADA, R., MONTERO, G., REQUE, J.A. (Eds.), Compendio de Silvicultura aplicada en España, INIA-FUCOVASA, Madrid, pp. 981-1003.
- MONTERO, G., MUÑOZ, M., DONÉS, J. 2003. Fijación de CO₂ por *Pinus sylvestris* en el monte Pinar de Valsain. Foresta n.º 24, 40-49.
- MONTERO, G., MUÑOZ, M., DONÉS, J., ROJO, A. 2004. Fijación de CO₂ por *Pinus sylvestris* L. y *Quercus pyrenaica* Willd. en los montes "Pinar de Valsain" y "Matas de Valsain". Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 13, 399-415.
- MONTERO, G., RUIZ-PEINADO, R., MUÑOZ, M. 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografías INIA: Serie Forestal n.º 13. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid, 270 pp.
- RUIZ-PEINADO, R., RÍO, M., MONTERO G. 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. Forest Systems 20, 176-188.