DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES PERMANENTES DE LA UNIDAD DE GESTIÓN FORESTAL SOSTENIBLE PARA EL ESTUDIO DE MODELOS DE CRECIMIENTO FORESTAL EN GALICIA

A. Rojo Alboreca [1], R. Rodríguez Soalleiro [2], F. Sánchez Rodríguez [2], F. Castedo Dorado [3] y J.A. Grandas Arias [1]

[1] Departamento de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. Campus universitario s/n. 27002-LUGO (España). Correo electrónico: rojo@lugo.usc.es
[2] Departamento de Producción Vegetal. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. Campus universitario s/n. 27002-LUGO (España)
[3] Departamento de Ingeniería Agraria. Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria. Universidad de León. Campus de Ponferrada. Avda. de Astorga s/n. 24400-PONFERRADA (León, España)

Resumen

Se presentan los dispositivos experimentales permanentes instalados y mantenidos por la Unidad de Gestión Forestal Sostenible (Universidad de Santiago de Compostela) para la elaboración de modelos de crecimiento forestal, que constan de redes de parcelas permanentes con dos inventarios para *Pinus radiata* (151 parcelas) y *Pinus sylvestris* (91 parcelas), y con uno único para *Quercus robur* (172 parcelas), *Betula alba* (125 parcelas) y *Pseudotsuga menziesii* (92 parcelas). También se han instalado ensayos de claras, uno en masas de *Pinus sylvestris* y de *Pinus pinaster*, y dos en repoblaciones de *Pinus radiata*, en los que se ha establecido la posición exacta de cada pie dentro de las parcelas mediante una estación total topográfica. Finalmente se discute la necesidad, ventajas e inconvenientes de mantener dichos dispositivos experimentales como permanentes, así como el número adecuado de parcelas, la periodicidad óptima entre mediciones y el sistema de señalización de los árboles.

Palabras Clave: *Parcelas permanentes, Parcelas de intervalo, Claras, Pinus pinaster, P. radiata, P. sylvestris, Pseudotsuga menziesii, Quercus robur, Betula alba*

INTRODUCCIÓN

El diseño de modelos de crecimiento y evolución de rodales forestales determina los requerimientos de los datos a obtener, de manera que los trabajos de inventario en campo deben proveer la información necesaria y suficiente de una forma precisa y eficiente (VANCLAY, 1994). Para ello, habitualmente se emplean parcelas de área fija, distribuidas aleatoriamente dentro de estratos representativos de distintas condiciones de calidad, edad o densidad de la especie, y donde se identifica de forma clara cada árbol, lo que ofrece mayores opciones de modelización y resulta la única forma segura para detectar errores de medición.

La Unidad de Gestión Forestal Sostenible (UGFS) de la Universidad de Santiago de Compostela ha establecido dispositivos experimentales permanentes para la elaboración de modelos de crecimiento forestal, que se concretan en redes de parcelas de producción para las especies *Pinus*

ISSN: 1575-2410

© 2004 Sociedad Española de Ciencias Forestales

radiata, P. sylvestris, Quercus robur, Betula alba y *Pseudotsuga menziesii,* y en ensayos de claras en masas de *Pinus radiata, P. pinaster* y *P. sylvestris*.

En este trabajo se describen brevemente dichos dispositivos experimentales y se discute la necesidad de su existencia, el número óptimo de parcelas, el momento idóneo de su medición, la periodicidad ideal entre mediciones y los sistemas de identificación de los árboles.

DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES PERMANENTES DE LA UGFS

Las redes de parcelas que posee la UGFS están formadas por un número variable de parcelas *a priori* permanentes, de forma cuadrada o rectangular y de tamaño variable (entre 200 y 1.200 m^2), pero suficiente para albergar al menos 30 pies inventariables. Dichas parcelas, siguiendo las recomendaciones habituales (GARCÍA, 1994; MADRIGAL et *al.,* 1999), se instalan en masas regulares (lo más homogéneas posibles) de todas las clases de calidad, edades y, si es posible, densidades existentes en el área de estudio.

En ellas se ha medido el diámetro normal en cruz de todos los pies, la altura de una muestra aleatoria de 30 pies por parcela (altura media) y la de los correspondientes 100 árboles más gruesos por ha (altura dominante). Además, siempre que se ha podido se han cortado, troceado y medido dos pies dominantes en las proximidades de las parcelas, siguiendo las recomendaciones y la metodología expuesta por MADRIGAL et *al.* (1999). Sólo en el caso de las parcelas gallegas de *Pseudotsuga menziesii* se han cubicado por escalada los árboles muestra.

En la actualidad, la UGFS cuenta en Galicia con redes de parcelas a priori permanentes para cinco especies. De ellas, las de *Pinus radiata* y *P. sylvestris* se han medido dos veces, y las de *Quercus robur, Betula alba* y *Pseudotsuga menziesii* sólo una vez. Los principales datos de cada red, así como los valores medios de algunas de las variables de masa más importantes, se describen en la tabla 1.

Todas las parcelas de las especies de coníferas corresponden a repoblaciones, así como 34 de las 125 de *Betula alba.* Por el contrario, la totalidad de las parcelas de *Quercus robur,* así

Especie		*Pinus radiata*		*Pinus sylvestris*		*Quercus robur*	*Betula alba*	*Pseudotsuga menziesii*
Inventario		1º	2º	1º	2º	1º	1º	1º
Nº de parcelas		177(1)	151	185(2)	91(3)	172(4)	125	92(5)
Año del inventario		1995/96	1998/99	1996/97	2003	2000/01	1998/99	1994;2000/01
N (pies/ha)	Media	969,9	832,4	1.432,9	1.247,3	873,9	1.793,3	1.100,3
	Máximo	2.048,0	1.968,0	2.720,0	2.112,0	3.022,2	6.000,0	2.300,0
	Mínimo	191,7	183,3	600,0	580,0	302,2	390,0	280,0
	Desv. est.	507,4	434,5	425,5	342,9	481,6	1.134,3	496,6
t (años)	Media	22,4	25,1	32,7	39,7	70,0	30,1	19,9
	Máximo	38,0	41,0	48,0	55,0	155,0	60,0	30,0
	Mínimo	5,0	8,0	12,0	21,0	34,0	12,0	8,0
	Desv. est.	8,2	8,0	7,8	7,9	25,0	9,4	7,5
Ho (m)	Media	19,6	21,8	12,1	15,5	17,0	15,0	15,7
	Máximo	32,7	34,0	22,6	24,0	25,6	23,8	26,3
	Mínimo	9,1	12,1	4,0	9,0	7,2	7,2	6,5
	Desv. est.	5,4	4,9	4,3	3,9	3,3	3,6	6,1
G (m^2/ha)	Media	32,6	36,3	34,3	44,6	28,3	24,6	26,3
	Máximo	59,8	70,6	74,2	72,6	72,9	66,5	50,8
	Mínimo	11,4	16,5	4,2	16,2	3,4	3,3	4,4
	Desv. est.	10,3	9,7	14,4	11,4	9,2	10,7	15,2

Tabla 1. *Datos y principales variables de las redes de parcelas permanentes de la UGFS para el estudio de modelos de crecimiento forestal. (1) Datos de las 151 parcelas remedidas; (2) Datos de las 155 parcelas utilizadas para elaborar el modelo dinámico de la especie; (3) Datos de las 68 parcelas utilizadas para elaborar el modelo dinámico de la especie; (4) Los datos de edad corresponden a las 94 parcelas en las que se pudieron cortar árboles; (5) Datos correspondientes a las 28 parcelas instaladas en Galicia*

como 91 de las de *Betula alba,* se instalaron en masas naturales.

Del total de 151 parcelas remedidas en el segundo inventario de la red de *Pinus radiata,* 21 habían sido objeto de alguna clara, mientras que de las 91 reinventariadas de *Pinus sylvestris* sólo 12 habían sido clareadas.

Respecto a su localización geográfica, todas las parcelas se encuentran en Galicia salvo varias de *Pseudotsuga menziesii,* especie de la cual hay instaladas 13 parcelas en Asturias, 9 en Cantabria, 12 en Burgos y 30 en La Rioja, además de 28 en Galicia.

Además de las redes de parcelas de producción descritas, la UGFS también ha instalado focos de ensayos de tratamientos selvícolas (claras en este caso) en masas de *Pinus radiata, P. pinaster* y *P. sylvestris.* Solo en el caso del pino insigne se han instalado dos ensayos, que corresponden a masas repobladas el mismo año, en el mismo sitio y con los mismos procedimientos, pero que se diferencian en el origen de la semilla empleada (neozelandesa y gallega), por lo que se ha decidido duplicar el ensayo para buscar posibles diferencias.

Cada uno de los ensayos instalados consta de 12 parcelas (de tamaño variable según la densidad inicial), correspondientes a un diseño con tres bloques aleatorios y cuatro tratamientos cada uno, que se describen en la tabla 2 junto a datos generales de cada sitio de ensayo. La instalación de estos focos ha tenido lugar en los años 2003 y 2004, por lo que sólo se ha realizado una clara y un inventario en cada uno de ellos.

DISCUSIÓN

Cuando se pretende abordar el estudio de modelos de crecimiento forestal es conveniente, antes de iniciar la instalación de una red de parcelas, obtener y analizar los datos existentes correspondientes a otros organismos y empresas, lo que es de especial importancia en Galicia y otras regiones que han contado con actividad de centros de investigación sectorial. En ocasiones, la información de que se dispone resulta de escasa utilidad debido a que las parcelas son excesivamente pequeñas o las mediciones no tienen el nivel de precisión deseable (GARCÍA, 1994). Tal es el caso de muchas parcelas establecidas por compañías madereras o en el marco de proyectos de ordenación. Sin embargo, toda la información recogida permite realizar una estratificación para montar la red de parcelas propia.

Resulta también importante obtener información sobre el origen de los rodales en los que se van a instalar parcelas, ya que el crecimiento inicial puede estar directamente afectado por este factor. Se deben distinguir las plantaciones de las masas naturales, y en este último caso, en la medida de lo posible, los rodales procedentes de rebrote de cepa de los de regeneración por semilla.

Si se ha decidido crear una red propia de parcelas, interesa que tenga el mayor número posible de parcelas y que se instalen y midan de forma *a priori* permanente (para que puedan ser remedidas si es posible), tratando de repartirlas por todo el rango de calidades, edades y densidades de la zona a estudiar, así como geográfica-

Especie	*Pinus radiata (1)*	*Pinus pinaster*	*Pinus sylvestris*
Localización	Begonte (Lugo)	Punxín (Ourense)	A Fonsagrada (Lugo)
Edad (en 2004)	12 años	13 años	46 años
Densidad inicial	1.670 pies/ha	3.750 pies/ha	1.350 pies/ha
Origen de la masa	Repoblación	Regeneración tras incendio	Repoblación
Tamaño parcelas	30x30 m	25x25 m	25x40 m
Claras ensayadas	Testigo Baja débil (90% $G_{resid.}$) Baja fuerte (80% $G_{resid.}$) Selección positiva (80% $G_{resid.}$) de 250 pies/ha	Testigo Baja débil (75% $G_{resid.}$) Baja fuerte (60% $G_{resid.}$) Selección positiva (75% $G_{resid.}$) de 450 pies/ha	Testigo Baja débil (85% $G_{resid.}$) Baja moderada (70% $G_{resid.}$) Baja fuerte (60% $G_{resid.}$)

Tabla 2. *Datos descriptivos y tratamientos ensayados en los focos de claras instalados por la UGFS. (1) Datos correspondientes a los dos ensayos instalados para la especie en el mismo monte, uno con semilla procedente de Nueva Zelanda y el otro con semilla de Galicia*

mente. Con la información recogida en esta primera medición (midiendo también árboles medios y dominantes) se pueden ya obtener modelos de calidad de la estación (salvo en el caso de especies como *Eucalyptus globulus* o *E. nitens,* en las que los crecimientos radiales no resultan aparentes), distribuciones diamétricas, funciones de perfil o de razón y tarifas de cubicación con clasificación de productos, y un modelo estático de producción (tablas de producción de selvicultura media o de referencia, simulando alguna alternativa selvícola razonable), simple pero imprescindible cuando no se posee otra herramienta de gestión.

De esta forma, a partir de la primera medición de las redes instaladas por la UGFS se han obtenido, entre otros resultados parciales, curvas de calidad de la estación y tablas de producción de selvicultura media para *Pinus radiata* (SÁNCHEZ et *al.,* 2003), *P. sylvestris* (MARTÍNEZ et *al.,* 2003), *Quercus robur* (BARRIO, 2003) y *Betula alba* (GRANDAS, 2002), así como tarifas de cubicación para *Pseudotsuga menziesii* (GARCÍA et *al.,* 1996).

Resulta muy conveniente medir al menos dos veces las parcelas establecidas como permanentes *a priori,* convirtiéndolas así en "parcelas de intervalo", con las que se obtienen las ventajas de las parcelas permanentes (medidas sucesivas de la misma masa) y de las parcelas temporales (muchos estados iniciales diferentes), y se evitan sus inconvenientes (GADOW et *al.,* 1999). Así, la información obtenida de parcelas de intervalo permite utilizar para la modelización ecuaciones en diferencias algebraicas, basadas en la relación entre dos mediciones sucesivas, y el sistema multidimensional de ecuaciones diferenciales propuesto por GARCÍA (1988), en el cual es necesario conocer las variables que describen el estado inicial para estimar el desarrollo de la masa. Esta metodología evita los inconvenientes de dependencia de errores y posible heteroescedasticidad de las técnicas de regresión por mínimos cuadrados (GADOW et *al.,* 1999).

Sin embargo, las parcelas de este tipo de redes suelen ser parcelas de inventario "pasivo", en las que la gestión es ajena al equipo investigador y en las que se hace un seguimiento simple, sin provocar de forma controlada modificaciones en el sistema (claras u otros tratamientos), lo que hace imposible cuantificar la respuesta del sistema a dichas actuaciones. Por esta razón, resulta imprescindible efectuar mediciones inmediatamente antes y después de cualquier corta o tratamiento selvícola, lo que no siempre resulta posible. Además, factores en principio desconocidos pueden determinar la composición o la densidad de un rodal, por lo que en la descripción de su comportamiento pueden confundirse los efectos de la densidad con los de la estación, problemas sanitarios o pasado selvícola, lo que limita la capacidad de los modelos para realizar predicciones fiables (VANCLAY, 1994).

En cualquier caso, la principal ventaja de las redes de parcelas es su reducido coste de instalación, precisamente al no necesitarse aplicar tratamientos en las parcelas, por lo que tradicionalmente han constituido la fuente principal de datos para la elaboración de modelos de crecimiento, en combinación con algunos sitios de ensayo de tratamientos.

Respecto al número de parcelas que deben tener las redes, depende básicamente del presupuesto y personal disponibles, pero en una segunda medición ya no es necesario remedir todas las parcelas del primer inventario (además, algunas se habrán perdido, por diversas circunstancias). Basta con seleccionar y remedir una serie de parcelas bien repartidas por calidades y edades, y de las cuales se conozca perfectamente su historial de tratamientos. Se estima que entre 30 y 50 parcelas podrían ser suficientes en la mayoría de los casos, aunque si es posible siempre resulta conveniente aumentar ese número. Además, lo ideal es combinarlas con parcelas de ensayos de tratamientos (claras, etc.).

En cuanto a la periodicidad entre mediciones, depende de la rapidez de crecimiento de la especie y parece conveniente, para absorber las condiciones climáticas anormales que pueden ocurrir en determinados años, considerar intervalos de 3 años en especies de crecimiento rápido, como *Eucalyptus globulus, Pinus radiata* o *P. pinaster* ssp. *atlantica,* y, al menos, 5 años para el resto de las especies (GADOW et *al.,* 1999).

En definitiva, el diseño de redes con este tipo de parcelas ofrece grandes ventajas, ya que

es posible disponer de datos de muchos estados iniciales diferentes, útiles para elaborar tablas de producción de selvicultura variable o modelos dinámicos, en un intervalo de tiempo pequeño (3 ó 5 años según las especies), y cuando se hubiesen realizado los dos inventarios se podrían abandonar las parcelas, aunque siempre resulta conveniente remedirlas en sucesivas ocasiones, cuando es posible.

Los resultados obtenidos por la remedición de las redes de parcelas de *Pinus radiata* y *P. sylvestris* de la UGFS se resumen en la elaboración de un modelo dinámico de crecimiento para cada una de las especies (CASTEDO, 2003; DIÉGUEZ, 2004), implementados ambos en la aplicación informática GesMO, que se ha concebido como una plataforma estándar que permite incorporar los modelos de crecimiento de masa que se vayan elaborando.

Un complemento ideal de las redes de parcelas son los ensayos de tratamientos, que suponen la posibilidad de estudiar la respuesta de los rodales a determinados tratamientos, que se aplican bajo la dirección del grupo de investigación que instala los ensayos. Se fijan en este caso todas las variables excepto aquellas que precisamente se pretende ensayar. A este tipo corresponden los sitios de ensayo de claras, de enmiendas o fertilizaciones y las parcelas de espaciamientos. En todos los casos las dimensiones de los sitios y los costes de instalación son muy elevados, por lo que parece razonable realizar un seguimiento a largo plazo de los mismos y obtener la máxima información posible (GARCÍA, 1994).

Por otra parte, y en referencia a los sistemas de señalización permanente de los árboles de las parcelas, en los trabajos que está llevando a cabo en la actualidad la UGFS se están utilizando chapas de aluminio numeradas, de 4,3 x 2,7 cm, que poseen unos ganchos y unas perforaciones con las que es posible fijarlas al árbol mediante una punta de acero inoxidable (o de aluminio) de unos 6 cm, que se introduce parcialmente en el tronco hasta que ceba levemente en la madera, para que la chapa se pueda deslizar por el clavo, impidiendo que quede embutida por el crecimiento del árbol. En posteriores inventarios debe tenerse la precaución de corregir, si es necesario, la posición de la punta, que puede tener tendencia a quedar embutida en el tronco si se ha cebado demasiado, o a ser expulsada al exterior si ha ocurrido lo contrario.

Las chapas se han colocado a la altura normal (1,30 m), y en la posición exacta donde se deben medir los diámetros (desde el lado superior de la ladera), asegurando así que en posteriores inventarios o controles se introduzca la forcípula en el mismo punto del tronco y que las mediciones sean comparables.

Con este sistema se evita tener que pintar el número de cada árbol (lo cual implica quitar parte de la corteza en pinos, pues de lo contrario la marca desaparece en poco tiempo por descamación de la corteza) y la clásica T invertida a la altura normal. Comparando este sistema de numeración con el clásico de chaspeo de la corteza y uso de pintura se consiguen rendimientos muy superiores, aproximadamente tres veces mayores (MADRIGAL et *al.,* 1999). Otra ventaja de la numeración con chapas es su mayor duración frente a la pintura, sobre todo en climas muy húmedos.

CONCLUSIONES

Cuando se plantea la instalación de redes de parcelas para el estudio de modelos de crecimiento forestal se recomienda establecer, en la primera medición, el mayor número posible de parcelas *a priori* permanentes (susceptibles de ser remedidas) y repartidas en el mayor número posible de estados iniciales (diferentes edades, calidades y densidades). Parece conveniente realizar remediciones para obtener parcelas de intervalo, con las que se consiguen las ventajas de las permanentes y de las temporales, evitando sus inconvenientes. Para la segunda medición basta con seleccionar un número de entre 30-50 parcelas, bien repartidas en todas las calidades, edades y densidades, recomendándose intervalos entre mediciones de 3 años para especies de crecimiento rápido y de 5 años para el resto. Resulta conveniente combinar las redes de parcelas con sitios de ensayos de tratamientos.

Finalmente se recomienda la utilización de chapas de aluminio numeradas para señalizar de manera permanente los árboles de las parcelas, clavándolas en el punto del tronco donde se deben medir los diámetros.

BIBLIOGRAFÍA

BARRIO, M.; 2003. *Crecimiento y producción de masas naturales de Quercus robur L. en Galicia.* Tesis doctoral (Inédito). Escuela Politécnica Superior. USC. Lugo.

CASTEDO, F.; 2003. *Modelo dinámico de crecimiento para las masas de Pinus radiata D. Don en Galicia. Simulación de alternativas selvícolas con inclusión del riesgo de incendio.* Tesis doctoral (Inédito). Escuela Politécnica Superior. USC. Lugo.

DIÉGUEZ, U.; 2004. *Modelo dinámico de crecimiento para masas de Pinus sylvestris L. procedentes de repoblación en Galicia.* Tesis doctoral (Inédito). Escuela Politécnica Superior. USC. Lugo.

GADOW, K.; ROJO, A.; ÁLVAREZ, J.G. Y RODRÍGUEZ, R.; 1999. Ensayos de crecimiento. Parcelas permanentes, temporales y de intervalo. *Inv. Agr., Sist. Rec. For. Homenaje a Prof. J.L. Allué Andrade.* Fuera de Serie 1: 299-310.

GARCÍA, O.; 1988. Experience with an advanced growth modelling methodology. *In*: A.R. Ek, S.R. Shifley & T.E. Burke (eds.), *Forest Growth modelling and prediction*: 668-675. USDA For. Serv. Gen. Techn. Rep. NC-120.

GARCÍA, O.; 1994. Minimum data for forest plantation management. *In*: O. García y J. Martínez Millán. 1998. *Seminario sobre modelos de crecimiento.* UPM. Madrid.

GARCÍA, S.; RODRÍGUEZ, R.; ÁLVAREZ, J.G.; GONZÁLEZ, R. Y VEGA, G.; 1996. Primeros resultados de crecimiento de plantaciones de 15 a 30 años de Abeto Douglas (Pseudotsuga menziesii Mirb Franco) en el Noroeste de España. *Inv. Agr., Sist. Rec. For.* 5(2): 231-243.

GRANDAS, J.A.; 2003. *Desarrollo de un modelo de crecimiento para la gestión sostenible de las masas de abedul en Galicia.* Trabajo fin de curso. (Inédito). I Máster Internacional en gestión del Desarrollo Rural. USC-UTAD. Lugo-Vila Real.

MADRIGAL, A.; ÁLVAREZ, J.G.; RODRÍGUEZ, R. Y ROJO, A.; 1999. *Tablas de producción para los montes españoles.* Fundación Conde del Valle de Salazar. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid.

MARTÍNEZ, E.; DIÉGUEZ, U.; ROJO, A. & RODRÍGUEZ, R.; 2003. *Sylvicultural alternatives for Pinus sylvestris L. man-made stands in the north-west of the Iberian Peninsula.* International IUFRO Conference on Silviculture and sustainable management in mountain forests in the Western Pyrenees. Navarra.

SÁNCHEZ, F.; RODRÍGUEZ, R.; ROJO, A.; ÁLVAREZ, J.G.; LÓPEZ, C.; GORGOSO, J. Y CASTEDO, F.; 2003. Crecimiento y tablas de producción de Pinus radiata D. Don en Galicia. *Inv. Agr., Sis. Rec. For.* 12(2): 65-83.

VANCLAY, J.; 1994. *Modelling forest growth and yield.* CAB International. Wallingford.