

ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ESTACIÓN UTILIZANDO MODELOS DE INTERCEPTO DE CRECIMIENTO EN *PINUS RADIATA* D. DON EN EL BIERZO (LEÓN)

F. Castedo Dorado ¹, R. Ruiz Barrientos ¹, A. Fernández Manso ¹, R. Castrosín ¹ y A. Sarmiento Maillo ¹

¹Grupo de Investigación IPR-Ingeniería y Planificación Rural. Departamento de Ingeniería Agraria. Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria. Universidad de León (Campus de Ponferrada). Avda. de Astorga s/n. 24400-LEÓN (España). Correo electrónico: diaafh@unileon.es

Resumen

Se presenta una alternativa de estimación de la calidad de estación para las masas de *Pinus radiata* D. Don en El Bierzo a partir de la metodología de intercepto de crecimiento o intercepto de altura. Esta metodología se basa en la medición del crecimiento en altura durante una cierta fase de desarrollo del árbol a partir de cierta altura inicial y es especialmente útil en masas jóvenes, como la mayoría de las que se pueden encontrar en la comarca estudiada. La metodología utilizada, además de presentar una buena estimación del índice de sitio, es de muy sencilla aplicación práctica, ya que prescinde de la medición de la altura dominante y de la edad de la masa.

Palabras clave: *Intercepto de crecimiento, Índice de sitio, Pinus radiata, El Bierzo*

INTRODUCCIÓN

Las masas de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) en la comarca de El Bierzo (León) ocupan unas 15.000 ha, la mayoría de ellas muy jóvenes, al proceder de repoblaciones realizadas al amparo de órdenes de ayudas para la forestación de tierras agrarias o del programa MINER (FERNÁNDEZ MANSO *et al.*, 2001). En este tipo de masas es especialmente importante la determinación temprana de la calidad de estación con suficiente fiabilidad para el planteamiento de los objetivos de la gestión. Una de las metodologías que se pueden utilizar con este fin es la conocida como intercepto de altura o intercepto de crecimiento (ORTEGA Y MONTERO, 1988).

El método del intercepto de crecimiento consiste en usar una porción seleccionada del

crecimiento temprano en altura como estimador de la calidad de la estación a través del índice de sitio; habitualmente el intercepto se define como el largo total o promedio de los cinco primeros entrenudos por encima de 1,3 metros de altura (CHAUCHARD, 2001).

La principal ventaja del método es que, para aquellas especies bien verticiladas y monocíclicas, se puede estimar el índice de sitio (criterio más usado para estimar la calidad de estación –CLUTTER *et al.*, 1983–) usando solamente el intercepto y prescindiendo de la edad del rodal. En estas especies la medición del crecimiento en altura con el árbol en pie es una tarea sencilla, sin embargo, *Pinus radiata* presenta el problema de que el crecimiento de esta variable es generalmente policíclico, es decir, presenta varias medidas a lo largo del año. Para solventar el

inconveniente planteado, a efectos de este trabajo, se ha considerado como intercepto de crecimiento la longitud total correspondiente a los 5 primeros años por encima de la altura normal, donde cada año puede incluir varios períodos de crecimiento (generalmente dos). Se ha considerado esta modificación ya que el crecimiento total anual está mucho más relacionado con el índice de sitio que el correspondiente a un determinado período de crecimiento. Además, la identificación de los entrenudos correspondientes a cada una de las estaciones de crecimiento es una tarea relativamente sencilla ya que los entrenudos de verano o de otoño suelen ser más cortos que el correspondiente al crecimiento de primavera.

El objetivo de este trabajo es elaborar un modelo basado en el método del intercepto de crecimiento para estimar el índice de sitio en las masas de pino radiata en la comarca de El Bierzo. Con ello se pretende poner a disposición de los propietarios y gestores forestales una herramienta precisa y de sencilla aplicación para estimar la calidad de estación en rodales jóvenes como los que se pueden encontrar mayoritariamente en dicha comarca.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el objetivo mencionado se inventariaron 45 parcelas permanentes en montes repoblados con pino radiata en las que se apeó una muestra de 41 árboles dominantes. Todos ellos fueron seleccionados en los alrededores de las parcelas siguiendo la metodología expuesta para la elaboración de las curvas de calidad de estación para *Fagus sylvatica* en Navarra (MADRIGAL et al., 1992). Las alturas obtenidas del análisis de tronco fueron corregidas siguiendo las indicaciones de CARMEAN

(1972) para solventar la subestimación que supone la no coincidencia del corte con el término de cada incremento en altura. Para el ajuste de las curvas de calidad de estación se han escogido 31 árboles (aquellos que contaban con 14 o más años de edad), con el fin de no cometer excesivos errores en la obtención del índice de sitio por interpolación o extrapolación de las mediciones efectuadas, obteniéndose finalmente 633 pares de datos altura dominante-edad.

En cada árbol se ha estimado el índice de sitio (altura dominante a una determinada edad de referencia) tomando como edad base o edad de referencia (t_{ref}) 15 años. Esta edad tan baja se justifica por la existencia mayoritaria de masas muy jóvenes en la comarca, procedentes de repoblaciones recientes y gestionadas a turnos muy cortos. Por otra parte, se ha medido también el intercepto de crecimiento, que se ha definido como el largo total correspondiente al crecimiento de los 5 primeros años por encima de 1,3 metros de altura.

Los valores de los estadísticos descriptivos más comunes para las variables edad (t), altura dominante (H_0), índice de sitio (IS) e intercepto de crecimiento (IC) de la muestra de árboles empleada se muestran en la tabla 1.

Para poder estimar la evolución de la altura dominante con la edad se han ajustado curvas de calidad de estación; los modelos analizados han sido algunos de los que mejores resultados proporcionaron en otras zonas con presencia importante de *P. radiata* como Nueva Zelanda, Galicia y el País Vasco (Tabla 2). Así, los modelos ensayados han sido los de HOSSFELD (citado en PESCHEL, 1938) y de BAILEY & CLUTTER (1974), empleado para la construcción de las curvas de calidad en el País Vasco (MADRIGAL y TOVAL, 1975 y ESPINEL et al., 1997, respectivamente) y las modificaciones propuestas por PAYANDEH & WANG (1994) y por BURKHART & TENNENT

Variable	Media	Máximo	Mínimo	Desv. típica
t (años)	19,42	33,00	14,00	5,14
H_0 (m)	19,06	27,30	11,90	3,90
IS (m)	15,79	21,50	12,35	2,15
IC (m)	5,22	9,00	2,80	1,33

Tabla 1. Estadísticos descriptivos básicos para los valores de edad (t), altura dominante (H_0), índice de sitio (IS) e intercepto de crecimiento (IC) de los 31 árboles tipo utilizados

Ámbito geográfico	Modelo	Expresión	Metodología de ajuste
País Vasco	BAILEY & CLUTTER (1974)	$H_0 = b_0 \cdot e^{-b_1 \cdot t - b_2}$	Curva guía
País Vasco	HOSSFELD	$H_0 = \frac{t^2}{b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2}$	Curva guía
Nueva Zelanda	BURKHART & TENNENT (1977)	$H_0 = IS \cdot \left(1 - e^{-b_2 \cdot IS \cdot t_{ref}}\right)^{-b_3} \cdot \left(1 - e^{-b_2 \cdot IS \cdot t}\right)^{b_3}$	Parametrización con IS
Galicia	PAYANDEH & WANG (1994)	$H_0 = b_0 \cdot IS^{b_1} \cdot \left(1 - e^{-b_2 \cdot t}\right)^{\left[\frac{\ln\left(\frac{IS^{(1-b_1)}}{b_0}\right)}{\ln\left(1 - e^{-t_{ref} \cdot b_2}\right)}\right]}$	Parametrización con IS

Tabla 2. Modelos de curvas de calidad de estación analizados

(1977) del modelo de RICHARDS (1959), que resultaron ser funciones adecuadas para las masas gallegas (SÁNCHEZ, 2001) y neozelandesas de la especie. Los dos primeros se han ajustado mediante la metodología de la curva guía, mientras que en los dos últimos se ha utilizado la de predicción de parámetros, relacionando éstos con el índice de sitio.

La capacidad de ajuste se ha analizado mediante la obtención, a partir de los residuos, de tres estadísticos utilizados con frecuencia en la modelización forestal: sesgo, error medio cuadrático y coeficiente de determinación ajustado. Además, se ha llevado a cabo una representación gráfica de los residuos frente a los valores predichos de las variables dependientes y los valores observados de las variables independientes con el fin de detectar valores atípicos o tendencias anómalas.

En el caso de las curvas de calidad de estación se ha analizado también el comportamiento gráfico de los modelos, al ser ésta una herramienta muy importante para la selección (HUANG, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se muestran los pares de datos índice de sitio (IS) e intercepto de crecimiento (IC) para cada uno de los árboles tipo analizados, así como la expresión del modelo ajustado a los mismos. Como se aprecia, se ha utilizado una función lineal sencilla para formular esta relación, ya que consigue explicar casi un 80 % de la variabilidad total de los datos. Además, esta relación lineal ha sido la más empleada en el estudio de la dependencia entre las dos variables

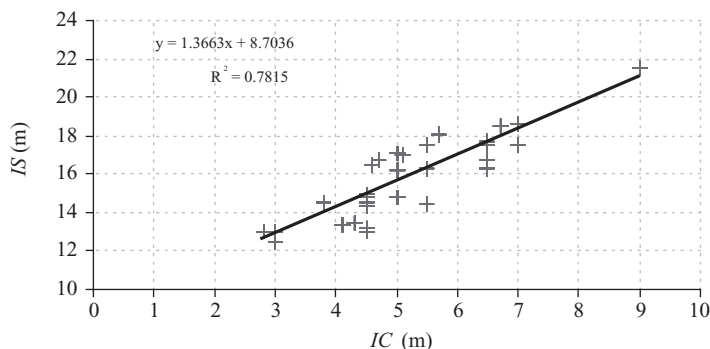


Figura 1. Representación gráfica de los pares de datos IS-IC y modelo lineal ajustado a los mismos

Modelo	Parám.	Estim.	Error estándar	Estadísticos de ajuste		
				R^2_{adj}	\bar{E}	EMC
HOSSFELD	b_0	4,7706	0,4615	0,98034	0,1125	1,1762
	b_1	0,1964	0,0646			
	b_2	0,0288	0,00211			
BAILEY & CLUTTER (1974)	b_0	149,9	18,9414	0,98209	0,0976	0,8676
	b_1	-0,4309	0,0225			
BURKHART & TENNENT (1977)	b_2	0,00417	0,000185	0,98347	0,0894	0,8009
	b_3	1,6929	0,0410			
PAYANDEH & WANG (1994)	b_0	11,0607	1,2226	0,98359	0,0628	0,7964
	b_1	0,4281	0,0420			
	b_2	0,0626	0,00273			

Tabla 3. Resultados del ajuste de los modelos de curvas de calidad de estación

consideradas (ORTEGA Y MONTERO, 1988; CHAUCHARD, 2001).

Por otra parte, del ajuste de las curvas de crecimiento en altura dominante expuestas en la tabla 2 se han obtenido los valores de las estimaciones de los parámetros y de los estadísticos de comparación que se exponen en la tabla 3.

Si bien a la vista de la tabla 3 se aprecia que todos los modelos consiguen explicar más de un 98 % de la variabilidad existente (tal y como muestra el coeficiente de determinación ajustado), el que ha mostrado una mejor adecuación gráfica ha sido el de PAYANDEH & WANG (1994), por lo que ha sido el escogido finalmente para describir el crecimiento de la altura dominante con la edad.

En la figura 2, donde se han superpuesto las curvas correspondientes a los índices de sitio 12, 16 y 20 m a los gráficos de perfil del tronco de

los árboles de la muestra se aprecia que el modelo escogido capta bien la tendencia general de los datos reales. Asimismo, analizando la dispersión de los residuos frente a la variable respuesta (altura dominante y las variables independientes que intervienen en el modelo –edad e índice de sitio– no se aprecian tendencias que puedan dar lugar a subestimaciones o sobrestimaciones importantes. En esta misma figura también es observable una gran amplitud en los valores del índice de sitio de los árboles de la muestra, a pesar de la relativa homogeneidad climática y geológica de la zona de estudio.

Por último, se ha estimado el índice de sitio de cada uno de los pies apeados a través de la resolución numérica de la ecuación de crecimiento en altura dominante de PAYANDEH & WANG (1994) para el índice de sitio. En la figura

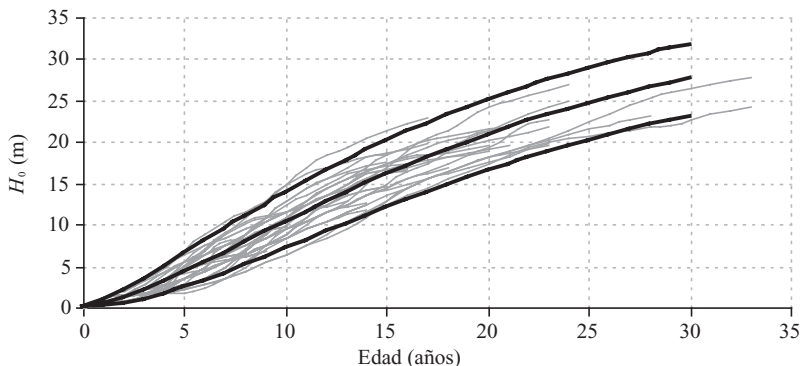


Figura 2. Superposición de las curvas de calidad de estación correspondientes a los índices de sitio 12, 16 y 20 m a los gráficos de perfil del tronco analizados

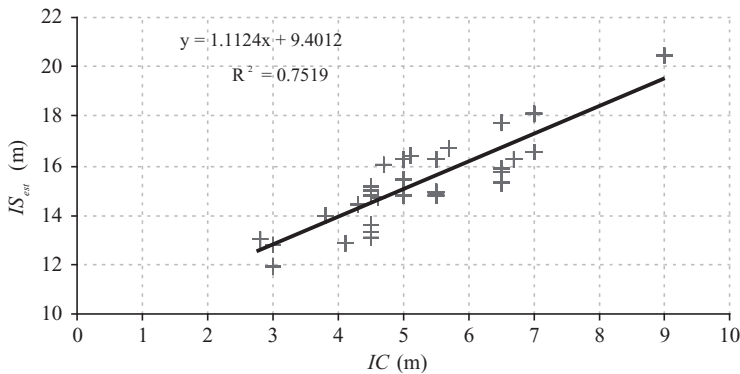


Figura 3. Representación gráfica de los pares de datos IS_{est} -IC y modelo lineal ajustado a los mismos

3 se representan los valores correspondientes al índice de sitio estimado (IS_{est}) y el intercepto de crecimiento, así como la recta ajustada a los mismos. Como se aprecia, la variabilidad total explicada por el modelo lineal disminuye ligeramente con respecto al ajuste anterior, si bien se puede seguir considerando aceptable teniendo en cuenta los objetivos planteados.

En definitiva, en vista de los análisis realizados, la metodología del intercepto de crecimiento se ha mostrado como una alternativa adecuada para la estimación de la calidad de estación de las masas de *P. radiata* en la comarca de El Bierzo.

CONCLUSIONES

La relación entre el índice de sitio y el intercepto de crecimiento se explica adecuadamente

IC (m)	IS (m)
2	11,44
3	12,80
4	14,17
5	15,54
6	16,90
7	18,27
8	19,63
9	21,00
10	22,37

Tabla 4. Estimación de IS para diferentes valores de IC según el modelo lineal seleccionado

a través de un modelo lineal sencillo, sin necesidad de modelos más complejos, obteniéndose una estimación fiable del índice de sitio a partir de dicha relación. El modelo seleccionado (Figura 1) ha servido para la elaboración de unas tablas de sencilla aplicación por el propietario o el gestor forestal (Tabla 4).

La ventaja principal que presenta esta metodología de determinación de la calidad de estación es que sólo precisa medir el intercepto de crecimiento, no siendo necesario conocer la edad de la masa ni su altura dominante. Además, con esta alternativa se evitan los errores en la determinación del índice de sitio mediante las curvas de calidad de estación tradicionales cuando no se conoce exactamente la edad de la masa.

Por último se deben de tener en cuenta ciertas limitaciones de la función ajustada, como su sensibilidad a factores climáticos anormales en los 5 años correspondientes a la medición del intercepto o la identificación correcta de los ciclos anuales de crecimiento en altura, que en determinadas ocasiones puede ser complicada.

BIBLIOGRAFÍA

- BAILEY, R.L. & CLUTTER, J.L.; 1974. Base-age invariant polymorphic site curves. *For. Sci.* 20(2): 155-159.
- BURKHART, H.E. & TENNENT, R.B.; 1977. Site index equations for radiata pine in New Zealand. *N. Z. J. For. Sci.* 7: 408-416.

- CARMEAN, W.H.; 1972. Site index curves for upland oaks in the Central States. *For. Sci.* 18: 109-120.
- CHAUCHARD, L.M.; 2001. *Crecimiento y producción de repoblaciones de Pinus radiata D. Don en el Territorio Histórico de Guipúzcoa (País Vasco)*. Tesis doctorales nº 40, Departamento de Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco. Bilbao.
- CLUTTER, J.L.; FORTSON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H. & BAILEY, R.L. (1983). *Timber management: a quantitative approach*. Krieger Publishing Company. New York.
- ESPINEL, S.; CANTERO, A. Y SÁENZ, D.; 1997. Un modelo de simulación para rodales de *Pinus radiata* D. Don en el País Vasco. *En: F. Puertas y M. Rivas (eds.), Actas del II Congreso Forestal Español-Irati 97*, III: 201-206. Gráficas Pamplona. Pamplona.
- FERNÁNDEZ MANSO, A.; GONZÁLEZ, J.M. Y RAMÍREZ, J.; 2001. El pino radiata en la comarca de El Bierzo: situación actual y propuestas de gestión. *En: Junta de Andalucía-S.E.C.F. (eds.), Actas del III Congreso Forestal Español-Sierra Nevada 2001*, III: 766-771. Coria Gráficas. Sevilla.
- HUANG, S.; 2002. Validating and localizing growth and yield models: procedures, problems and prospects. *In: Proceedings of IUFRO Workshop Reality, models and parameter estimation - the forestry scenario*. Sesimbra (Portugal).
- MADRIGAL, A. Y TOVAL, G.; 1975. *Tablas de producción, cubicación y tarifas de Pinus radiata D. Don en las Provincias Vascongadas*. Dirección General de Producción Agraria, Ministerio de Agricultura. Madrid.
- MADRIGAL, A.; PUERTAS, F. Y MARTÍNEZ-MILLÁN, F.J.; 1992. *Tablas de producción para Fagus sylvatica L. en Navarra*. Serie Agraria nº 3. Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes. Gobierno de Navarra. Pamplona.
- ORTEGA, A Y MONTERO, G.; 1988. Evaluación de la calidad de las estaciones forestales. Revisión bibliográfica. *Ecología* 2: 155-184.
- PAYANDEH, B. & WANG, Y.; 1994. Modified site index equations for major Canadian timber species. *For. Ecol. Manage.* 64: 97-101.
- PESCHEL, W.; 1938. Die mathematischen Methoden zur Herteitung der Wachstums-gesetze von Baum und Bestand und die Ergebnisse ihrer Anwendung. *Tharandter Forstliches Jarbuch* 89: 169-274.
- RICHARDS, F.J.; 1959. A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.* 10(29): 290-300.
- SÁNCHEZ, F.; 2001. *Estudio de la calidad de estación, crecimiento, producción y selvicultura de Pinus radiata D. Don en Galicia*. Tesis Doctoral. (inédito). Escola Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. Lugo