

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN LEÑOSA DEL ACEBO (*ILEX AQUIFOLIUM* L.) EN LAS ACEBEDAS DEL SISTEMA IBÉRICO NORTE

M.D. García González ¹, R. San Martín Fernández ² y J.A. Pardos Carrión ³

¹ Departamento de Investigación Forestal de Valonsadero. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León. Apdo. 175. 42080-SORIA (España). Correo electrónico: gargondo@jcy.l.es

² Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia. Universidad de Valladolid. Avda. de Madrid 57. 34071-PALENCIA (España). Correo electrónico: rsmartin@eio.uva.es

³ Unidad de Anatomía, Fisiología y genética forestal. ETS Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria. 28040-MADRID (España)

Resumen

Las Acebedas del Sistema Ibérico Norte ocupan unas 1600 ha y suponen la principal representación de las escasas masas puras de acebo (*Ilex aquifolium* L.) en la Península Ibérica. Son “hábitats de interés comunitario” (Directiva 92/43/CEE), se cree que su origen es natural aunque su evolución y estado actual son claramente antrópicos. La desaparición de sus aprovechamientos tradicionales hace imprescindible disponer de un mayor conocimiento de ellas que permita desarrollar herramientas de gestión para asegurar su conservación. En ellas se ha estudiado la cantidad y composición de la biomasa leñosa del acebo. Se han utilizado 353 chirpiales, 241 de la zona adhesionada y 112 de la zona densa. Se han ajustado a la biomasa total y a sus componentes leñosas modelos lineales o linealizables por regresión lineal. Las variables independientes utilizadas fueron la altura total y el diámetro normal. Se han seleccionado modelos sencillos que permitan al gestor la estimación de la producción de madera y leñas de estas masas. Los modelos seleccionados para todas las fracciones de la biomasa leñosa son exponenciales con polinomios del diámetro normal y la altura total del árbol en el exponente.

Palabras clave: Monte bajo, Biomasa, Leña, Modelo exponencial, Regresión lineal, Estadísticos de predicción

INTRODUCCIÓN

En el Sistema Ibérico Norte se encuentran algunas de las más importantes acebedas de la Península Ibérica. Ocupan unas 1600 ha y su núcleo principal está situado al norte de la provincia de Soria, entre el puerto de Piqueras y la Sierra del Rodadero (al este del puerto de Oncala), en las Sierras de Cebollera, Montes Claros, Rodadero, Tabanera, y el Valle del Alto Tera.

Son “hábitats de interés comunitario” (Anexo I de la Directiva Hábitats 92/43/CEE) y el acebo es desde hace unos años una especie protegida en casi la totalidad del territorio español. Desde 1984 está protegido en Castilla y León, en el decreto 341/1991, de 28 de Noviembre se establece el régimen de protección del acebo (*Ilex aquifolium*) en el territorio de la Comunidad Autónoma de Castilla y León, y se manifiesta la necesidad de realizar los estu-

dios y trabajos oportunos para la conservación y mejora de las acebedas.

Se cree que el origen de estas acebedas es natural aunque su evolución y estado actual son claramente antrópicos. En estos ecosistemas silvopastorales tradicionalmente desde hace siglos, se ha venido cortando y podando el acebo para su aprovechamiento, bien para leña, o bien para alimentar al ganado. A partir de los años 50 se comienza a cortar ramillas de acebo para su venta con fines ornamentales en Navidad y hacia la década de los años 70 desaparece el aprovechamiento de leñas.

La desaparición de gran parte de sus aprovechamientos tradicionales hace imprescindible disponer de un mayor conocimiento de estos ecosistemas antrópicos que permita desarrollar herramientas de gestión para asegurar su conservación.

Por todo ello, y ante el deterioro progresivo de estas masas forestales, la Junta de Castilla y León, a través del Departamento de Investigación Forestal de Valonsadero, abordó la realización de una serie de estudios con el objetivo primordial de conservar estas masas, de origen claramente antropozoogeno, aprovechándolas.

La ordenación de las principales acebedas de esta región fue aprobada en febrero de 1996 regulándose en ella sus aprovechamientos. Los primeros resultados de las investigaciones realizadas se presentaron en el año 2001 (GARCÍA, 2001a; GARCÍA, 2001b; GARCÍA, 2001c; GARCÍA et al., 2001a; GARCÍA et al., 2001b) y en 2003 se comenzó la revisión de las ordenaciones para adaptarlas a los criterios de gestión derivados de las investigaciones realizadas y corregir los problemas encontrados al aplicar las ordenaciones vigentes, ampliándose además la superficie ordenada con otros acebales del Sistema Ibérico Norte.

Con este trabajo se trata de realizar un modelo sencillo y práctico que permita cuantificar el aprovechamiento de leñas en estos montes. Aunque actualmente este aprovechamiento haya desaparecido será imprescindible volver a realizarlo, o bien sustituirlo por tratamientos selvícolas, para garantizar la persistencia de los acebales (GARCÍA, 2001a; GARCÍA et al., 2001b).

Además, se ha estudiado la adecuación de los modelos desarrollados por GARCÍA (2001a) a su uso en gestión y se ha comparando la utilización de modelos específicos para cada zona de la masa y cada fracción de las leñas con una general, y la utilización de modelos con una o varias variables. En los acebales del Sistema Ibérico Norte se pueden diferenciar claramente tres zonas de vegetación: una zona de pastos, sin vegetación arbórea y con algo de matorral, principalmente de rosáceas y leguminosas en las vaguadas y zonas más húmedas; otra zona que podríamos definir como una dehesa de acebo con abundante matorral entre ellos (zona adhesionada); y finalmente una masa pura de acebo con espesura completa, más o menos extensa y continua, según la superficie de la acebeda (zona densa).

Dada la amplitud de este trabajo en este artículo solo se presentarán los modelos seleccionados, su precisión, su ámbito de aplicación (Tabla 1), se compararán con los seleccionados en GARCÍA et al. (2001a) (Tabla 2) y se discutirán brevemente sus implicaciones biológicas y prácticas más importantes.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para el ajuste de los modelos se han utilizado un total de 353 chirpiales de acebo seleccionados

Modelos Leñas					
Fracción de biomasa	Zona de Aplicación	Ecuaación del modelo	R ²	MAE	Factor de corrección
Leñas	Toda la Acebeda	$\ln(pv) = -0.782292 + 0.633576 d - 0.0185228 d^2$	93.4	0.27	1,1856
	Zona Densa.	$\ln(pv) = -1.23355 + 0.788918 d - 0.030502 d^2$	91.2	0.26	1,19141
	Zona Adhesionada	$\ln(pv) = -0.676553 + 0.61156 d - 0.0175257 d^2$	93.5	0.26	1,19089

Tabla 1. Modelos ajustados a la biomasa de leñas de los chirpiales. Se incluye su coeficiente de determinación ajustado (R²), su error medio absoluto (MAE) y su factor de corrección para pasar de unidades logarítmicas a aritméticas. Donde: Ln(pv), es el logaritmo neperiano del peso verde, con el peso verde en kg y d, es el diámetro normal (cm)

Fracción de biomasa	Zona de Aplicación	Modelos Biomasa Chirpiales			
		Ecuación del modelo	R ²	MAE	Factor de corrección
Leña Fina	Zona Densa. Estrato 1	$Ln(pv) = 0,0976084 + 0,272112 h + 0,348147 d^2 - 0,0298226 d^3 - 0,857334 d$	81.3	0.22	1,172049
	Zona Densa. Estratos 2, 3 y 4	$Ln(pv) = -2,8324 - 1,08007 h + 2,62873 d - 0,347858 d^2 + 0,0142123 d^3 - 0,013344 h^2 + 0,226793 h^2$	84.1	0.22	1,163037
	Zona Adehesada	$Ln(pv) = 0,454204 + 0,32677 d - 0,01702 d^2 + 0,000308733 d^3 + 0,00000833174 h^2 - 7054167E-9 h^3$	81.4	0.33	1,225418
Leña Gruesa	Zona Densa. Estratos 2, 3 y 4	$Ln(pv) = -7,88849 - 0,159324 d + 0,190947 h + 0,00407869 d^2 + 2,18332 d$	95.1	0.13	1,086274
	Zona Adehesada	$Ln(pv) = -0,783627 + 0,401644 d + 0,00114315 h - 0,0082942 d^2$	92.4	0.18	1,129871

Tabla 2. Modelos ajustados a las fracciones de biomasa de los chirpiales para las zonas definidas. Se incluye su coeficiente de determinación ajustado (R²), su error medio absoluto (MAE) y su factor de corrección para pasar de unidades logarítmicas a aritméticas. Donde: Ln(pv), es el logaritmo neperiano del peso verde, con el peso verde en kg; d, es el diámetro normal (cm); y h, es la altura total (cm) (GARCÍA et al, 2001a)

a lo largo de toda la acebeda de Garagüeta, de los cuales 241 pertenecían a la zona adehesada y 112 a la zona densa. La selección de la muestra y la descripción de estructura de la masa puede consultarse en GARCÍA (2001a).

De los árboles una vez medidos y apeados, se separaron las distintas fracciones de la biomasa que fueron pesadas en fresco y se obtuvieron secciones transversales cada metro desde la base, a 1,3 m y a 2/3 de su altura, y las muestras de biomasa para su posterior secado.

El fraccionamiento del árbol realizado según las distintas componentes de la biomasa fue el siguiente:

- Leña gruesa: Fuste y ramas gruesas de diámetro con corteza mayor de 7 cm.
- Leña fina: Toda la leña con diámetro entre 7 y 2,5 cm (incluido el raberón del fuste entre los 7 y los 2,5 cm de diámetro).
- Chasca: Toda la leña de diámetro inferior a 2,5 cm (incluidas las hojas y el extremo superior del fuste, con menos de 2,5 cm de diámetro).

Para este trabajo se ha realizado el ajuste de una función para la estimación de la biomasa de leñas (suma de las fracciones de leña fina y leña gruesa) de los chirpiales de acebo en cualquier zona de la acebeda, otra para la zona adehesada y otra para la zona densa. La metodología seguida fue similar a la de GARCÍA (2001a) y se describe a continuación.

En GARCÍA et al. (2001a) se modelizó la biomasa total, la leña fina, la leña gruesa, la chasca

y las hojas para tres zonas diferentes de la masa: la zona adehesada, los estratos 2, 3 y 4 de la zona densa conjuntamente, al no encontrarse diferencias significativas en la cantidad y composición de la biomasa entre ellos (GARCÍA et al., 2001b), y el estrato 1 de la zona densa. Las características de cada uno de los estratos de la zona densa pueden consultarse en GARCÍA (2001a).

Las variables utilizadas en los modelos han sido la altura total y el diámetro normal de los chirpiales de acebo. Se han ensayado modelos con ecuaciones alométricas, polinómicas y exponenciales de estas variables, sus productos y potencias, todos ellos lineales o linealizables. El ajuste de las funciones se ha realizado por regresión lineal. Para el ajuste de estas funciones ha sido necesario realizar una transformación logarítmica para cumplir las hipótesis de normalidad, independencia, media cero y varianza constante de los residuos.

La selección de los mejores modelos en GARCÍA (2001a) se efectuó siguiendo los criterios de los mínimos cuadrados medios residuales y la adecuada distribución de los residuos. A igualdad de ambos, se aceptaron los modelos con menor número de parámetros, las expresiones más sencillas y las de mayor significado biológico.

Se ha utilizado la metodología desarrollada por CUNIA (1979) para retransformar a unidades aritméticas las variables logarítmicas de las ecuaciones seleccionadas que se elaboran con fines productivos.

Finalmente, en este trabajo se han calculado además estadísticos que miden la bondad de las predicciones para todos los modelos: el error medio absoluto (MAE) y el R^2 de Predicción (R^2_{pred}) (MYERS, 1990). Estos estadísticos nos permitirán comparar el error que se comete con las predicciones de cada uno de los modelos y seleccionar el modelo o los modelos más adecuados para su utilización en la estimación de las leñas para la ordenación de estas masas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los modelos seleccionados para las distintas fracciones de biomasa leñosa de los chirpiales de acebo, sea cual sea su ámbito de aplicación, responden a modelos exponenciales y no a modelos alométricos como suele ser en casi la generalidad de los modelos de biomasa (CAMPBELL et al., 1985; CANADELL et al., 1988; GONZÁLEZ, 1988; GROTE, 2002; OLA-ADAMS, 1997). Este hecho probablemente sea debido al rápido crecimiento inicial de los chirpiales de acebo en monte bajo y con fuertes densidades de la masa.

En la tabla 3 se recogen los estadísticos de bondad de ajuste utilizados tradicionalmente para la selección de los modelos y los estadísticos de bondad de las predicciones para todos los modelos seleccionados en este trabajo y en GARCÍA et al. (2001a).

En ella se puede observar la existencia de divergencias a la hora de seleccionar el mejor modelo según el estadístico considerado. Se aprecia que no existe una relación biunívoca, ni

tampoco unívoca, entre los estadísticos de bondad de predicción y los de bondad de ajuste y que los modelos que presentan mejores ajustes no son los que presentan menores errores en las predicciones.

El estadístico de bondad de predicción que mejor funciona en este caso es el R^2 de Predicción que permite una comparación directa de la bondad de la predicción de cada uno de los modelos. El modelo que mejores predicciones proporciona es el que aparece en primer lugar en la tabla 1, es el más general de todos, el de ámbito de aplicación más amplio y en el que se ha utilizado la mayor cantidad de datos para su elaboración.

El MAE al verse muy influenciado por el número de datos que se utilizan para el ajuste de cada modelo (MYERS, 1990) no ofrece unos resultados claros y además sería necesaria su comparación respecto a los valores de biomasa predichos por cada modelo. Este estadístico mantiene las mismas unidades que la variable predicha y resulta más adecuado para la comparación entre distintos modelos elaborados con los mismos datos puesto que permitiría una comparación directa.

Se observa también en los resultados (Tabla 3) que la desaparición de la altura en los modelos seleccionados no empeora la bondad de las predicciones y simplifica enormemente su utilización práctica en gestión dada la dificultad y el coste que supone la medición de esta variable.

También resulta muy interesante en este tipo de modelos observar la estructura de los datos. Se observa en los resultados (Tabla 3) que, en general, los modelos seleccionados para la leña

Comparación Modelos Biomasa						
Fracción de biomasa	Zona de Aplicación	n	R^2_{adj}	MSE	MAE	R^2_{Pred}
Leñas	Toda la Acebeda	276	93.4	0.34	0.27	0.93
	Zona Densa	173	91.2	0.35	0.26	0.87
	Zona Adehesada	34	93.5	0.35	0.26	0.91
Leña Fina	Zona Densa. Estrato 1	16	81.3	0.35	0.22	-0.65
	Zona Densa. Estratos 2, 3 y 4	89	84.1	0.34	0.22	-0.03
	Zona Adehesada	195	81.4	0.43	0.33	0.25
Leña Gruesa	Zona Densa. Estratos 2, 3 y 4	38	95.1	0.37	0.13	0.23
	Zona Adehesada	85	92.4	0.29	0.18	0.29

Tabla 3. Resumen de los estadísticos de bondad de ajuste y de predicción calculados para cada uno de los modelos seleccionados. Donde: n, es el número de datos utilizados para el ajuste del modelo; R^2_{adj} es el coeficiente de determinación ajustado del modelo; MSE, es el error cuadrático medio; MAE, es el error medio absoluto; y R^2_{Pred} es el Residual Press

fina son los que peores ajustes y predicciones proporcionan, esto se puede explicar observando la estructura de los datos, la cantidad de biomasa de leña fina de los chirpiales de acebo decrece al alcanzar estos diámetros normales entre 7,5 y 10 cm, este efecto se produce al pasar la parte inferior del fuste del árbol a formar parte de la biomasa de leñas gruesa.

Este efecto resulta destacable y tiene importancia en las especies, generalmente de monte bajo (BENGOA, 1999; CAÑELLAS, 1993), que no llegan a alcanzar grandes diámetros y que suelen tener como principal aprovechamiento las leñas, ya que dificulta en gran medida la predicción de la biomasa de leña fina y la elaboración de modelos que estimen las diferentes fracciones de la biomasa.

CONCLUSIONES

Los modelos seleccionados para la estimación de la producción de biomasa leñosa del acebo son todos exponenciales con polinomios del diámetro normal y la altura total del árbol en el exponente.

El modelo que mejor predice la biomasa leñosa del acebo es uno de los más sencillos y el de mayor rango de aplicación, aunque no es el que presenta el mejor ajuste. Su ecuación es la siguiente: $Ln(pv) = -0.782292 + 0.633576 d - 0.0185228 d^2$.

En la selección de ecuaciones de biomasa además de realizar un buen ajuste del modelo se deben tener siempre en cuenta la estructura de los datos de partida y estadísticos que midan la bondad de las predicciones.

Para el uso práctico en gestión de modelos de biomasa, es preferible el uso de modelos sencillos de fácil medición y uso por parte de los gestores a pesar de que, en algunos casos se pueda perder algo de precisión en las predicciones.

Agradecimientos

La autora desea agradecer al Dr. Gregorio Montero del CIFOR-INIA su continuo apoyo, su tutela y su inapreciable ayuda para realizar este trabajo. Este estudio ha sido financiado por la Junta de Castilla y León.

BIBLIOGRAFÍA

- BENGOA, J.L.; 1999. *Análisis de un modelo de crecimiento en altura de las masas forestales. Aplicación a las masas de Quercus pyrenaica de la Rioja*. Tesis Doctoral (inédita). ETSI de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- CAMPBELL, J.S.; LIEFFERS, V.J. & PIELOU, E.C.; 1985. Regression equations for estimating single tree biomass of trembling aspens: assessing their applicability to more than one population. *For. Ecol. Manage.* 11(4): 283-295.
- CANADELL, J.; RIBA, M. & ANDRÉS, P. 1988. Biomass equations for *Quercus ilex* L. in the Montseny Massif, Northeastern Spain. *Forestry* 61(2): 137-147.
- CAÑELLAS, I.; 1993. *Ecología, características y usos de coscojares (Quercus coccifera L.) en España*. Tesis Doctoral (Inédita). E.T.S. Ingenieros de Montes. Univ. Politécnica de Madrid.. Madrid
- CUNIA, T.; 1979. On sampling trees for biomass tables construction: some statistical comments. *For. Res. Inven. Workshop Proceedings*. Colorado.
- GARCÍA, M.D.; 2001a *Aprovechamiento sostenible de las acebedas del Sistema Ibérico Norte: caracterización, crecimiento, propagación, conservación, tratamientos selvícolas y producción de ramilla con fines ornamentales*. Tesis doctoral (inédita). E.T.S. Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- GARCÍA, M. D.; 2001b *Las acebedas del sistema ibérico norte: sus aprovechamientos tradicionales y actuales*. En: Junta de Andalucía-S.E.C.F. (eds.), *Actas del III Congreso Forestal Español-Sierra Nevada 2001*, IV: 558-564. Coria Gráficas S.L. Sevilla.
- GARCÍA, M.D.; 2001c *Estructura de las masas puras de acebo en el Sistema Ibérico Norte*. En: Junta de Andalucía-S.E.C.F. (eds.), *Actas del III Congreso Forestal Español-Sierra Nevada 2001*, I: 69-75. Coria Gráficas S.L. Sevilla.
- GARCÍA, M.D. Y SAN MARTÍN, R. 2001a. *Modelización de la producción del acebo (Ilex aquifolium L.) en las acebedas del*

- Sistema Ibérico Norte: crecimiento y biomasa. En: Junta de Andalucía-S.E.C.F. (eds.), *Actas del III Congreso Forestal Español-Sierra Nevada 2001*, IV: 565-571. Coria Gráficas S.L. Sevilla.
- GARCÍA, M.D. Y SAN MARTÍN, R. 2001b. Estudio del crecimiento del acebo en las masas de espesura trabada en la Acebeda de Garagüeta (Soria). En: Junta de Andalucía-S.E.C.F. (eds.), *Actas del III Congreso Forestal Español-Sierra Nevada 2001*, IV: 505-511. Coria Gráficas S.L. Sevilla.
- GONZÁLEZ, I.; 1988. *Tablas Ponderales para la estimación de la biomasa de rebollo (Quercus pyrenaica Wild.) en la Provincia de León*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid.
- GROTE, R. 2002.; Foliage and branch biomass estimation of coniferous and deciduous tree species. *Silva Fennica* 36(4): 779-787.
- MYERS, R.H. 1990. *Classical and modern regression with applications*. Ed. Pws-Kent Publishing Company. Boston.
- OLA-ADAMS, B.A.; 1997. Assessment of three allometric regression techniques of biomass determination in two hardwood species. *J. Trop. For. Sci.* 9(3): 321-328.