

TARIFA DE CUBICACIÓN CON CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS PARA CHOPOS I-214 DEL VALLE MEDIO DEL CINCA (HUESCA).

F. RODRÍGUEZ, R. BLANCO.

Universitat de Lleida. (Udl-ETSEA) Dep. Producción Vegetal y Ciencia Forestal.
Área de Selvicultura. Av. Alcalde Rovira Roure 177, 25198 Lleida.

Francisco.Rodríguez@pvcf.udl.es

RESUMEN

La obtención de tarifas de cubicación resulta muy costosa en número de árboles y observaciones realizadas ya que no tiene en cuenta las características invariantes asociadas a cada especie analizada (rasgos morfológicos comunes en la especie), al resumir toda la información del árbol en un escalar (volumen del árbol). Las técnicas de modelización en el ámbito forestal surgen de la necesidad de reducir las unidades muestrales (árboles) pero sin que esto conlleve una pérdida en la precisión obtenida. Como resultado del uso de estas técnicas para el cálculo de existencias sobre *Populus x euramericana* (Dode) Guinier I-214 del valle del Cinca (Huesca), se ha elaborado una aplicación informática (*Cubica*) capaz de calcular las existencias y posterior clasificación de la madera en rollo a partir de los datos de un inventario forestal, basándose en un modelo del perfil del árbol de tipo integrado de exponente variable.

Palabras clave: perfil del árbol, chopo, modelización, existencias, tarifa.

SUMMARY

The obtaining of merchantable volume is very expensive in number of trees and observations made since it does not consider the invariant characteristics associated to each analysed species (morphologic characteristics common in the species), when summarizing all the information of the tree in a number (volume of the tree). The modelling techniques in the forestry arise from the necessity to reduce to the units samples (trees) but without this entails a loss in the obtained precision. As result of the use of these techniques for the calculation of merchantable volume on *Populus x euramericana* (Dode) Guinier I-214 of the valley of the Cinca (Huesca), has processed a software (*Cubica*) to calculate the total and merchantable volume and log qualities from the data of a forest inventory, using a taper function of variable exponent.

Key words: Taper functions, poplar, modelling, merchantable volume

INTRODUCCIÓN

La estimación del volumen de las existencias maderables con la mayor precisión es una de las tareas que se le presentan al gestor forestal. En los últimos años, viene cobrando un interés creciente, no sólo la estimación del volumen total, sino de las fracciones del mismo destinadas a los distintos usos industriales como su volumen comercial, de madera de sierra, de trituración, libre de nudos, etc. (Prieto et al. 1991).

Con el empleo de tarifas de una o dos entradas que suministran volúmenes comerciales, resulta difícil su adaptación a los cambios en los límites debidos a causas tecnológicas o comerciales.

Dos son las metodologías más comunes para la obtención de las tarifas de cubicación con clasificación de productos (Castedo et al. 2000): una se basa en el ajuste de ecuaciones de volumen porcentual y la otra consiste en ajustar una ecuación que caracterice el perfil del tronco del árbol. Esta función es una expresión matemática que relaciona los diámetros o secciones del tronco en cualquier punto del mismo a la altura a la que se encuentren (Prieto et al. 1991).

Siendo $f(h)$ la función que define el perfil del árbol, $S = \pi/4(f(x))^2$ es la función que describe su superficie, e integrando dicha función entre dos alturas dadas obtenemos el volumen de tramo de fuste analizado.

Según Kozak (1988), las funciones del perfil del árbol pueden dividirse en: (i) **modelos simples**, donde la evolución del diámetro en altura se describe a partir de una única función, siendo ésta fácil de ajustar e integrable analíticamente, y (ii) **modelos complejos**, en los que se utilizan distintos modelos en función de la zona del fuste donde nos situemos, siendo éstos difíciles de ajustar y pocas veces integrables analíticamente, teniendo que recurrir a algoritmos de iteración para su

resolución.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos utilizados en este trabajo provienen de una muestra de 20 árboles apeados en plantaciones comerciales propiedad de la Comunidad Autónoma de Aragón en el valle medio del río Cinca (Huesca) sobre *Populus x euramericana* Dode (Guinier) I-214, a la edad del turno y plantados a marco real 6 x 6 m (278 chopos/ha).

Para cada uno de los árboles muestra se midió el diámetro a la altura del pecho (*DAP*), la altura total (*HT*), la altura del tocón (*Htoc*), el diámetro del tocón (*Dtoc*) y diámetros a los largo del fuste (cada 50 cm por debajo del *DAP* y cada metro por encima del *DAP*), y se estimaron los volúmenes de los árboles cubicando cada troza de 1 metro por la fórmula de Smalian. En total se obtuvieron 543 pares de datos diámetro con corteza (*d*) a una cierta altura (*h*).

En la tabla 1 se presentan los estadísticos descriptivos de los 20 árboles empleados en el estudio.

Tabla 1: Estadístico descriptivos para los árboles de la muestra.

Estadísticos Descriptivos	DAP (cm)	HT (cm)	Esbeltez
Mínimo	31.6	3135	55.5
Máximo	66.8	3725	100.2
Media	46.2	3299	73.8
Desv. Estand.	9.4	181.16	12.7
CV (%)	20.4	5.49	17.2

Se han utilizado tres modelos diferentes para la evaluación del perfil del árbol, un modelo simple y dos modelos complejos:

- **Kozak** et. al (1969). Este es el único modelo simple evaluado, donde el diámetro se estima a partir de la altura relativa (cociente entre la altura *h* y la *HT*), corregido por su *DAP*, mediante una única función polinómica válida para todo el tronco del árbol.
- **STUD** (Leban et al. 1999). Este es un modelo de exponente variable, donde el diámetro es función del *DAP*, la esbeltez y la altura relativa elevada a un exponente que varía a medida que cambia la altura del tronco analizada.
- **Huiquan** (2000). Finalmente se ha elegido un modelo trigonométrico, donde a partir de funciones trigonométricas se define el perfil, presentando el inconveniente que la función no esta definida en la base.

En la Tabla 2 se presenta la formulación de los modelos analizados, donde *h* es la altura analizada, *Hr*, su altura relativa (*h/HT*), *b*, la altura relativa del diámetro normal (*130/HT*), *d*, el diámetro a la altura analizada y $\alpha_0 \dots \alpha_7$, los parámetros del modelo a estimar. No se ha elegido la formulación clásica en la que se expresa el diámetro relativo (cociente entre el diámetro y el *DAP*) respecto a la altura relativa, al presentar este tipo de modelos un problema de errores multiplicativos según su *DAP*. Así mientras que si el error medio es de 0,02 cm, respecto a su diámetro relativo, al convertirlo en diámetro absoluto habrá que multiplicarlo por su *DAP*, por lo que a mayor *DAP* mayor error de predicción.

Tabla 2: Funciones de perfil analizadas.

Modelo	Expresión
Kozak	$d = DAP \cdot (\alpha_0 + \alpha_1 Hr + \alpha_2 Hr^2)$
Stud	$d = \left(1 + \alpha_4 e^{-\alpha_5 Hr}\right) \cdot \alpha_6 DAP (1 - Hr)^{\alpha_1 + \alpha_2 \left(\frac{HT}{DAP}\right) + \alpha_3 (1-h)}$

Huiquan

$$d = \alpha_0 \text{DAP} \cdot \left(\frac{\ln \sin\left(\frac{\pi}{2} \text{Hr}\right)}{\ln \sin\left(\frac{\pi}{2} b\right)} \right)^{\alpha_1 + \alpha_2 \sin\left(\frac{\pi}{2} \text{Hr}\right) + \alpha_3 \cos\left(\frac{3\pi}{2} \text{Hr}\right) + \alpha_4 \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} \text{Hr}\right)}{\text{Hr}} \right) + \alpha_5 \text{Hr} \sqrt{\text{DAP}} + \alpha_6 \text{Hr} \sqrt{\text{HT}}}$$

El ajuste de las funciones se realizó con el programa estadístico SAS/STAT™ (SAS, 1990). En el caso del modelo Kozak, al ser lineal, se realizó con el procedimiento REG del mismo programa, sin embargo en los dos modelos complejos se utilizó el procedimiento NLIN, al no ser modelos lineales.

La comparación de las estimaciones de los modelos se ha basado en el análisis gráfico de los residuos (E_i), y en el estudio de 4 estadísticos obtenidos a partir de ellos; el sesgo (S), el error cuadrático medio (ECM), la desviación estándar de los residuos (DER) y el error absoluto medio (EAM). Finalmente, para evaluar el comportamiento de cada modelo a lo largo del tronco, se ha calculado el sesgo y el error absoluto medio en intervalos de altura relativa de un 10 por ciento.

Las expresiones de los estadísticos comentados anteriormente son las siguientes: donde, N representa el número de observaciones, q el número de parámetros del modelo y E_i los residuos de los modelos.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N E_i}{N} \quad ECM = \frac{\sum_{i=1}^N (E_i)^2}{N - q - 1} \quad DER = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (E_i - \bar{E})^2}{N - 1}} \quad EAM = \frac{\sum_{i=1}^N |E_i|}{N}$$

Finalmente se comprueban los resultados obtenidos mediante la cubicación por trozas de los árboles abatidos respecto a la cubicación con el modelo del perfil seleccionado. Se realiza a su vez una comparación entre los resultados obtenidos por el modelo y la tarifa de cubicación de una entrada realizada por Padró (1984) para el mismo clon en la misma zona, cuya formulación es la siguiente:

$$V_{10} = -191,745 + 0,950 \cdot \text{DAP}^2$$

donde V_{10} representa el volumen hasta 10 cm en punta delgada en dm^3 .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 3 presenta los valores de los parámetros estimados por regresión para los tres modelos ajustados. La Tabla 4 muestra los valores de los estadísticos de comparación obtenidos para cada una de las funciones del perfil analizadas y el valor del su coeficiente de determinación.

Tabla 3: Parámetros estimados mediante el análisis de regresión.

	α_0	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6
STUD	-	1.83915	-	-	0.31771	117.799	1.06
Huiquan	1.02694	1.92525	-	-	-	0.09129	-
Kozak	1.12978	-	0.44315	-	-	-	-

Tabla 4: Estadísticos de comparación entre modelos.

	R^2	S	EAM	DER	ECM
STUD	98.51	0.0781	1.5299	2.1835	4.8043
Huiquan	98.46	-0.0032	1.5142	2.2132	4.9443
Kozak	97.53	0.0988	1.9042	2.8173	7.9539

Finalmente en la Figura 1 se muestra la tendencia del sesgo (S) y de la media absoluta del error (EAM) de estos tres modelos a lo largo del tronco en intervalos de altura relativa de un 10 por ciento.

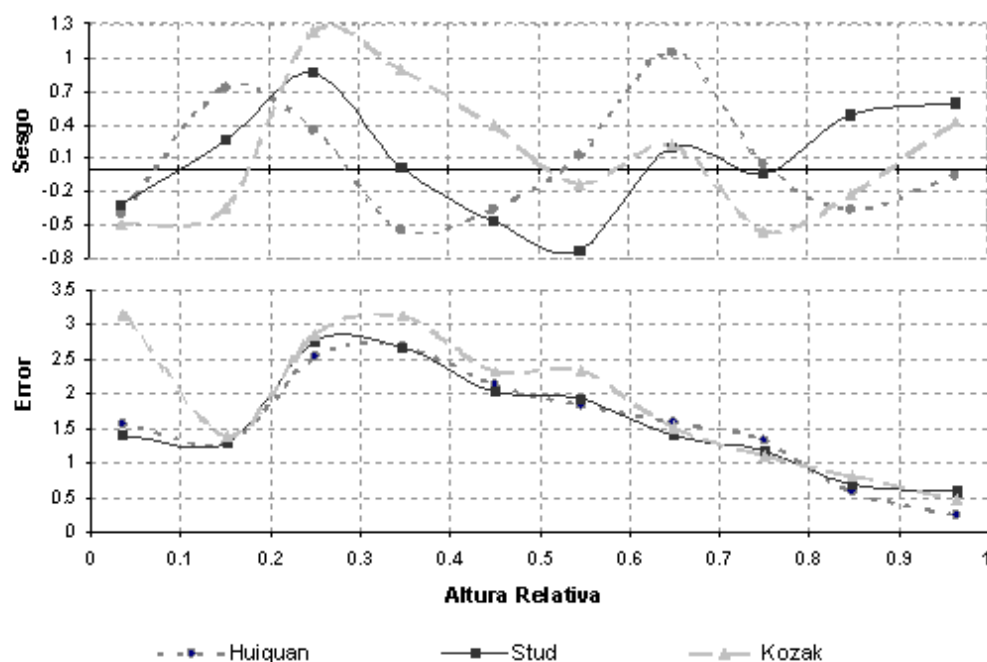


Figura 1: Tendencia del sesgo (S) y del error absoluto medio (EAM) a lo largo del tronco.

El modelo Kozak, es el más sencillo, pero el que peor resultados proporciona, tanto a nivel de bondad de ajuste (R^2) como de precisión de la estimaciones (1,9 cm es su error medio). Respecto a la evolución del error medio en función de la altura relativa del árbol, vemos como el mayor error lo encontramos en la parte más baja del árbol, donde se concentra su mayor volumen.

Los dos modelos complejos, se comportan marcadamente mejor que el modelo Kozak, no encontrándose apenas diferencias entre ellos en cuanto a su capacidad estimadora. El error medio de estos dos modelos es del orden de 1,5 cm, siendo la predicción de la parte baja del árbol mucho más precisa que en el modelo Kozak.

La elección entre los dos modelos complejos se ha decantado por el modelo STUD, al presentar cada uno de los parámetros un significado morfológico, así los tres primeros parámetros hacen referencia al perfil por encima del diámetro normal, y los otros tres hacen referencia a la zona del raigal del árbol, su altura, anchura y diámetro de su inicio.

En la Tabla 5 se presenta la comparación entre los resultados obtenidos por la cubicación de las trozas por Smalian de los datos medidos en monte y de los simulados con el modelo STUD, diferenciando tres tipos de volúmenes; a 7,5 cm en punta delgada, a 20 cm en punta delgada y madera podada. Los resultados se refieren a la hectárea y al porcentaje de diferencia entre los reales y los simulados. Los resultados obtenidos por el modelo cubican los árboles con un error mínimo ($<0,03\%$), pero estos errores aumentan ligeramente según clasificamos los distintos productos hasta un máximo de 1,14% para la madera podada.

Tabla 5: Comparación de volúmenes obtenidos en monte y con el modelo STUD.

	Volúmenes (m^3/ha)		
	Reales	Simuladas	Error Medio
7'5 en p.delgada	588.09	587.92	-0.03%
20 en p.delgada	503.01	500.10	-0.58%
Madera podada	346.53	342.58	-1.14%

La comparación entre los resultados que se obtienen con el modelo STUD y con la tarifa de Padró, se exponen en la Tabla 6, así como el porcentaje de error de cada uno respecto a los datos de

campo. Vemos como la tarifa de una entrada realizada por Padró cubica también por defecto, entorno al 2,2% no permitiendo la posterior clasificación en distintos productos.

Tabla 6: Comparación entre el modelo STUD y la tarifa de Padró.

	Real	STUD	Padró
V_{10}	585.74	585.48	572.74
Error medio	--	-0.04%	-2.22%

En la actualidad se esta trabajando en la validación del modelo sobre una muestra independiente de árboles del mismo clon y la misma región.

CONCLUSIONES

El modelo polinómico Kozak, presenta la gran ventaja de ser lineal e integrable analíticamente, pero por el contrario posee una menor precisión en la estimación de los distintos volúmenes y particularmente en la zona baja del árbol donde se concentra su mayor proporción.

Se elige el modelo STUD respecto al modelo Huiquan por poseer sus parámetros significado daso-dendrométrico puesto que la precisión en ambos modelos resulta del mismo orden.

Los resultados de cubicación de los distintos productos sobre la muestra inicial con el modelo STUD y la tarifa de Padró son muy satisfactorios, presentando un error de 0,04% y 2,2% respectivamente, permitiendo el modelo STUD clasificar la madera de desenrollo sin nudos, la madera de desenrollo con nudos y/o sierra, y la madera de trituración.

Se elabora una aplicación, *Cubica*, que permite evaluar las existencia y clasificar los productos, a partir de la integración numérica por el método de Minle. Esta aplicación ha sido desarrollada tanto en hoja de cálculo como implementada en lenguaje de programación. La aplicación es de libre distribución, bajo petición por correo electrónico o descargándola en la página: <http://www.udl.es/usuaris/s4372483/>.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro especial agradecimiento al Gobierno de Aragón, por su ayuda e interés prestado. Este trabajo ha sido financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT), a través del proyecto AGF97-0844.

BIBLIOGRAFÍA

- CASTEDO F., ÁLVAREZ J.G., (2000): *Construcción de una tarifa de cubicación con clasificación de productos para Pinus radiata D.Don en Galicia basada en una función del perfil del tronco*. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol.9(2):253-268
- HUIQUAN B., (2000): *Trigonometric Variable-Form Taper Equations for Australian Eucalypts*. Forest Science 46(3): 397-409
- KOZAK A., (1988): *A variable-exponent taper equation*. Can. J. For. Res., 18: 1363-1398
- KOZAK A., MUNRO D., SMITH J., (1969): *Taper functions and their applications in forest inventory*. For. Chro., 45(4): 278-283
- LEBAN J.M., HERVÉ J.C.,(1999): *Product properties prediction-improved simulation in the forestry-wood chain applied on spruce sawnwood*. Final Report sub-task A2.1:Project STUD. Documento interno INRA-UMR. 67pp
- PADRÓ A., (1984): *Tarifas de cubicación para volúmenes de corta final del Populus x Euramericana (Dode) Guinier Cv. "I-214" en el marco territorial del valle medio del Ebro*. Comunicaciones I.N.I.A.. Serie Recursos Naturales 35. 19pp
- PRIETO A., TOLOSANA E., (1991): *Funciones de perfil para la cubicación de árboles en pie con clasificación de productos*. Comunicaciones I.N.I.A.. Serie Recursos Naturales

58. 45pp