

TABLAS DE CUBICACION DE TRES ENTRADAS PARA SU USO EN LA ORDENACION DE MONTES

F. J. MARTINEZ MILLAN

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes
Ciudad Universitaria, s/n. 28040 Madrid

P. ARA LAZARO

ICONA. Inventario Forestal Nacional
Gran Vía de San Francisco, 35. 28005 Madrid

I. GONZALEZ DONCEL

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal
Ciudad Universitaria, s/n. 28040 Madrid

RESUMEN

Se presentan una serie de ecuaciones de cubicación de tres entradas que proporcionan, para las especies maderables españolas más comunes en los montes ordenados, los volúmenes aprovechables de fuste con corteza.

El uso de estas ecuaciones, de ámbito general, permite sustituir el apeo y medición de árboles tipo en los proyectos de ordenación y otros inventarios por la medida de su diámetro normal, su altura total y el diámetro a cuatro metros sobre el tocón.

A partir de esta muestra de árboles se pueden calcular analíticamente las tarifas de ordenación a utilizar en una determinada superficie del monte.

PALABRAS CLAVE: Tablas Cubicación
Montes españoles ordenados

INTRODUCCION

La superficie de los montes españoles sometidos a un proyecto de ordenación es aproximadamente de 1.800.000 ha, que incluye la mayor parte de la superficie arbolada de los montes de Utilidad Pública (1.500.000 ha), los montes del Estado y unas 170.000 ha de montes de propiedad privada. Se estima que sólo para mantener actualizados los inventarios en las revisiones de los proyectos de ordenación se requeriría el estudio, como mínimo, de unas 150.000 ha anuales.

Las Instrucciones de Ordenación de Montes Arbolados de 1970, vigentes en la actualidad, marcan, a grandes rasgos, las características que debe reunir el cálculo de existencias en los inventarios para la ordenación.

Recibido: 2-4-91

Aceptado para su publicación: 22-10-91

Según las citadas Instrucciones, el apeo de árboles tipo sería necesario para el cálculo de existencias en montes que se ordenan por primera vez. En los casos de revisión de un Proyecto de Ordenación ya formulado, en los que la relación altura-diámetro haya cambiado en el tiempo transcurrido entre dos inventarios, sería necesario investigar de nuevo los valores unitarios, para lo cual habría que apeo árboles tipo o corregir las ecuaciones de cubicación.

En uno u otro caso, las existencias de ordenación se obtendrían como el producto del número de pies inventariable de cada clase diamétrica de 5 cm, por los valores unitarios proporcionados por las correspondientes tarifas de ordenación.

La obtención de estos valores unitarios se hace a partir del estudio de un conjunto de árboles, seleccionados objetivamente, dentro de cada uno de los estratos o series que se pueden formar en el monte, al agrupar las unidades superficiales mínimas de inventario que reúnan características homogéneas de calidad o tipo de arbolado (cantones).

Estos árboles son apeados y troceados, estudiándose cuidadosamente en sus secciones de corta los diámetros con y sin corteza, edades y crecimientos diametrales necesarios para la estimación de las variables que se necesita conocer en la redacción de los proyectos de ordenación, que suelen ser, principalmente, las siguientes:

- volumen aprovechable con corteza,
- volumen aprovechable sin corteza,
- crecimiento corriente anual en volumen.

A estos datos se añade el número de pies y el área basimétrica, clasificados por clases diamétricas y obtenidos directamente del inventario, generalmente por métodos de muestreo.

Hasta el presente, en España, la mayoría de las tablas de cubicación utilizadas en los proyectos de ordenación y otros inventarios han sido las clásicas, en función del diámetro normal con corteza d y la altura total h .

Sin embargo, está demostrado que la inclusión de una tercera variable expresiva de la forma del árbol en las ecuaciones de cubicación reduce de modo significativo los errores cometidos en las estimaciones además de ampliar el ámbito de aplicación de la tabla en el espacio y en el tiempo.

En la metodología que se presenta, se propone el uso de las ecuaciones de tres entradas junto con la medición de una muestra adicional de árboles en pie, de forma que se evite la medición de árboles tipo apeados cuando ya existen miles de éstos, utilizados en los proyectos de ordenación, que se pueden aprovechar.

MATERIAL Y METODOS

Para la construcción de las tablas volumétricas, se ha decidido utilizar la información disponible de árboles tipo apeados y medidos para el cálculo de existencias en proyectos de ordenación realizados hasta la fecha.

Esta información está constituida por unos 25.000 árboles de los Servicios Forestales provinciales que utilizaron en el IFIE, y posteriormente en ICONA, el proceso de datos normalizado.

Los datos se refieren a las especies que se citan a continuación, junto a las que figuran el número de árboles utilizados para la construcción de las tablas, así como las provincias representadas con más árboles de la muestra (escritas en abreviatura):

TABLAS DE CUBICACION EN LA ORDENACION DE MONTES

Especie	N.º árboles	Provincias más representadas
<i>P. sylvestris</i>	8.136	AV, BU, CU, H, L, LE, M, SG, SO, TE, Z
<i>P. uncinata</i>	416	HU, L, TE
<i>P. pinea</i>	1.668	AB, AV, CU, H, J, M, SG, VA
<i>P. halepensis</i>	1.629	AB, AL, PM, J, LE, TA, V
<i>P. laricio</i>	1.383	AB, CU, J, LE, M, NA, SO, TE
<i>P. pinaster</i>	5.423	AB, AV, BU, CA, CU, GU, L, M, SG, SO, TE, VA, Z
<i>P. pinaster</i> (res.)	1.687	AB, AV, GU, M, SG, SO, VA
<i>Abies alba</i>	1.582	H, LE, NA
<i>Q. robur/Q. petraea</i>	237	LE, NA, S
<i>Fagus sylvatica</i>	4.264	B, BU, GE, H, LE, NA, O, S, SO, Z

Dado que la muestra se distribuye por las áreas más representativas de las distintas especies, y que para cada una de ellas el rango de variación de las variables independientes es suficientemente extenso, se atribuye a las ecuaciones resultantes un ámbito de utilización general.

Definida una muestra representativa y sabiendo que el volumen de un árbol, v , se puede considerar como una función de su sección normal, g , de su altura total, h , y de su coeficiente mórfico, m :

$$v = g h m = \pi/4 d^2 h m$$

En el paso siguiente se ha tratado de buscar una tercera variable que no sea difícil de medir en árboles en pie y que, en presencia del diámetro y de la altura en una función de cubicación, permita estimar de un modo más preciso los volúmenes aprovechables de los árboles. Esta variable debe explicar una gran parte de la variación existente entre volúmenes de árboles con los mismos diámetros y altura.

Se sabe que los diámetros dx medidos a alturas fijas de x metros sobre el suelo cumplen estas condiciones, y son de más fácil medición que aquellos d_{kh} , situados a una altura kh , dada por un porcentaje fijo k de la altura del árbol. También se ha utilizado como variable independiente alternativa la altura de fuste hf .

Así pues, los parámetros del árbol utilizados fueron: d , h , hf , d_2 , d_3 , d_4 , d_5 , d_6 y d_7 .

Y las variables que se han considerado en esta fase de selección han sido las siguientes:

$$d, h, hf, d^2, d_2^2, d_3^2, d_4^2, d_5^2, d_6^2, d_7^2$$

y sus combinaciones:

$$d^2h, d_2^2h, d_3^2h, d_4^2h, d_5^2h, d_6^2h, d_7^2h$$

Con estas variables se ha planteado la selección, por mínimos cuadrados, de un modelo lineal de forma general:

$$v = a + b x_1 + c x_2 + \varepsilon$$

En donde x_1 y x_2 son cualquiera de las variables antes relacionadas, ε el error aleatorio, y a , b y c los coeficientes obtenidos por el método de mínimos cuadrados.

En la tabla siguiente, y para las diez especies, se presenta un resumen conteniendo las variables seleccionadas en primero y segundo lugar, por un programa de regresión paso a paso y los correspondientes valores de los coeficientes de determinación múltiple R_1^2 (con una sola variable) y R_2^2 (con dos variables independientes):

Especie	1.ª variable	R ²	2.ª variable	R ²
<i>P. sylvestris</i>	d ₂ ² h	0,9751	d ² h	0,9831
<i>P. uncinata</i>	d ₂ ² h	0,9748	hf	0,9788
<i>P. pinea</i>	d ₂ ² h	0,9644	hf	0,9667
<i>P. halepensis</i>	d ² h	0,9502	d ₂ ² h	0,9695
<i>P. laricio</i>	d ₂ ² h	0,9796	d ²	0,9846
<i>P. pinaster</i>	d ₂ ² h	0,9811	d ₂ ² h	0,9869
<i>P. pinaster</i> (res.)	d ₂ ² h	0,9675	d ² h	0,9744
<i>Abies alba</i>	d ₂ ² h	0,9824	hf	0,9849
<i>Q. robur/Q. petrea</i>	d ₆ ²	0,9633	d ² h	0,9814
<i>Fagus sylvatica</i>	d ₂ ² h	0,9413	hf	0,9556

Se puede observar que la variable d₂²h ha sido seleccionada en primer lugar cinco veces, siempre entre coníferas, y con valores muy altos del coeficiente R², entre 0,9644 y 0,9824; las variables d²h y d₂²h lo han sido dos veces, y la d₆², una vez. En el segundo paso se ha seleccionado la variable hf cuatro veces, la d²h, tres, y la d₂²h, d₂²h y d², una vez. La combinación d²h-d₂²h es la más veces seleccionada (3 veces).

A la vista de estos resultados, y con objeto de normalizar al máximo la toma de datos de campo y el uso de las tablas de cubicación, se decidió adoptar para todas las especies el modelo lineal:

$$v = a + b d^2h + c d_2^2h \quad (II)$$

También se han calculado las tablas clásicas de dos entradas:

$$v = m + n d^2h \quad (I)$$

con vistas a la comparación de la eficacia cuando se utilizan unas u otras.

En la tabla siguiente se presentan los coeficientes de variación del volumen Cv, en tanto por ciento, los valores R²(I) y R²(II) correspondientes a los dos modelos anteriores. También se presentan los coeficientes de variación residual Cv(I) y Cv(II) que se calculan como:

$$Cv(I) = Cv \sqrt{1 - R^2(I)} \quad \text{y} \quad Cv(II) = Cv \sqrt{1 - R^2(II)}$$

El valor q que figura en la última columna se puede considerar como un índice de eficacia, que expresa una relación aproximada entre los tamaños de la muestra de árboles en pie n(II) y n(I), necesarios para hacer estimaciones del volumen por regresión para una distribución de árboles, con el mismo error típico relativo, mediante las dos ecuaciones.

Especie	Cv %	R ² (I)	Cv(I) %	R ² (II)	Cv(II) %	q
<i>P. sylvestris</i>	105,3	0,9726	17,43	0,9831	13,69	0,617
<i>P. uncinata</i>	60,8	0,9539	13,05	0,9771	9,20	0,497
<i>P. pinea</i>	88,7	0,9458	20,65	0,9658	16,40	0,631
<i>P. halepensis</i>	83,9	0,9502	18,72	0,9695	14,65	0,612
<i>P. laricio</i>	83,8	0,9701	14,49	0,9836	10,73	0,548
<i>P. pinaster</i>	122,3	0,9811	16,81	0,9855	14,73	0,768
<i>P. pinaster</i> (res.)	60,4	0,9460	14,04	0,9744	9,66	0,473
<i>Abies alba</i>	80,9	0,9486	18,44	0,9826	10,67	0,338
<i>Q. robur/Q. petrea</i>	100,1	0,9158	29,05	0,9618	19,56	0,453
<i>Fagus sylvatica</i>	90,5	0,9378	22,57	0,9519	19,85	0,773

TABLAS DE CUBICACION EN LA ORDENACION DE MONTES

Del estudio de los datos de $R^2(II)$, se puede observar que los cuatro valores menores, todos ellos por debajo de 0,97, corresponden a las especies frondosas (haya y roble), y a los pinos piñoneros y carrasco, que son los más ramosos entre las coníferas.

Si observamos los valores de q , la ganancia en el tamaño de la muestra de árboles a medir en pie, de utilizar las ecuaciones de tres entradas en vez de las de dos, parece suficiente para compensar el coste de medición del diámetro a 4 metros de altura.

Finalmente, en la tabla adjunta se pueden observar, para cada una de las especies investigadas, tanto la distribución de la muestra como los valores medio, máximo y mínimo de las variables independientes.

VALORES MEDIO, MINIMO Y MAXIMO DE LAS VARIABLES d , h Y d_4

Especies	Diámetro normal			Altura total			Diámetro a 4 m		
	\bar{d}	d min	d máx	\bar{h}	h min	h máx	\bar{d}_4	d_4 min	d_4 máx
<i>P. sylvestris</i>	33,8	9,0	99,9	14,9	4,5	32,0	29,1	7,0	88,0
<i>P. uncinata</i>	31,1	11,5	55,5	14,2	5,5	24,3	25,8	10,8	54,8
<i>P. pinea</i>	34,5	19,0	78,0	11,0	4,0	22,7	32,0	5,8	69,0
<i>P. halepensis</i>	31,4	13,0	74,0	10,1	3,2	20,3	24,4	6,0	65,5
<i>P. laricio</i>	34,6	11,5	74,0	14,1	5,5	30,4	29,7	4,0	67,0
<i>P. pinaster</i>	34,0	10,0	86,0	12,9	4,0	29,6	29,6	5,0	82,5
<i>P. pinaster (res.)</i>	37,7	18,5	69,0	13,8	7,0	25,0	34,3	14,0	67,0
<i>Abies alba</i>	37,4	20,0	76,0	19,6	8,7	39,0	33,0	15,5	74,5
<i>Q. robur</i> y <i>Q. petrea</i>	46,1	21,0	99,0	16,9	9,0	30,0	39,3	5,0	90,0
<i>Fagus sylvatica</i>	36,8	19,0	94,0	17,4	7,0	33,9	33,0	5,5	89,5

RESULTADOS

A continuación se presentan los coeficientes a , b y c de las ecuaciones de cubicación investigadas (volumen de fuste aprovechable con corteza), con la formulación general:

$$v = a + b d^2 h + c d_4^2 h$$

en la que el diámetro normal d viene expresado en cm, el diámetro a 4 metros, d_4 en cm, la altura total h en metros y el volumen aprovechable v en dm^3 .

Coefficientes de la ecuación: $v = a + b d^2 h + c d_4^2 h$

Especie	a	b	c
<i>P. sylvestris</i>	12,04	0,0171227	0,0250106
<i>P. uncinata</i>	46,49	0,0132904	0,0281068
<i>P. pinea</i>	23,96	0,0076170	0,0331606
<i>P. halepensis</i>	51,17	0,0158613	0,0211371
<i>P. laricio</i>	36,27	0,0137170	0,0313819
<i>P. pinaster</i>	32,96	0,0215568	0,0188706
<i>P. pinaster (res.)</i>	67,40	0,0131290	0,0310621
<i>Abies alba</i>	96,68	0,0246930	0,0378568
<i>Q. robur/Q. petrea</i>	134,96	0,0070612	0,0303042
<i>Fagus sylvatica</i>	75,10	0,0146453	0,0188086

Se considera el volumen aprovechable hasta un diámetro mínimo en punta delgada de 7,5 cm con corteza. Debido a que este valor no siempre se pudo alcanzar en todas las especies relacionadas, en la tabla que sigue se pueden ver los valores medios de este diámetro mínimo y la desviación típica a partir de la muestra de árboles tipo.

Diámetro final de fuste aprovechable (cm)		
Especie	Media	Desv. típica
<i>P. sylvestris</i>	9,94	2,35
<i>P. uncinata</i>	10,61	1,85
<i>P. pinea</i>	18,22	7,71
<i>P. halepensis</i>	10,71	2,71
<i>P. laricio</i>	10,69	3,09
<i>P. pinaster</i>	10,49	2,63
<i>P. pinaster</i> (res.)	11,11	4,81
<i>Abies alba</i>	10,92	1,79
<i>Q. robur/Q. petrea</i>	18,98	4,39
<i>Fagus sylvatica</i>	15,56	4,38

APLICACION PRACTICA DE LAS ECUACIONES

Selección de la muestra de árboles en pie

La mayor parte de los inventarios se están realizando por muestreo sistemático con parcelas circulares de radio fijo. En estos casos se puede seleccionar una cantidad fija de pies por parcela, de modo que por cada tarifa a construir se cuente con un número aproximado de 60 árboles. Por ejemplo, en un cantón de 30 ha que se está inventariando con una intensidad de muestreo de 1 parcela cada 2 ha, equivalente a 15 parcelas de muestreo, se medirían 4 árboles por parcela.

Conviene diseñar un método objetivo de selección de los pies de muestreo dentro de cada parcela, por ejemplo, elegir los más próximos a las direcciones N, S, E y W con la brújula situada en el centro de la parcela.

En el caso de inventarios pie a pie, habría que hacer esta selección mediante recorridos por la unidad inventarial de modo sistemático (siguiendo una malla de 150×150 m, por ejemplo), de forma que se cubra toda la superficie. Se puede llevar cuenta de la progresión a pasos. En cada punto de parada se procede a la elección, como en los inventarios por muestreo antes citados.

Medidas a tomar en los árboles de muestreo

Una vez seleccionados los pies de la muestra, se puede proceder a su medición siguiendo las siguientes normas:

1. Diámetro normal: Se medirá con forcípula a 1,30 m del suelo, de modo que la regla de la forcípula señale al centro de la parcela o punto de parada. Se intentará estimar el diámetro al medio centímetro.

2. Altura total: Se medirá con hipsómetro desde el suelo hasta la punta o ápice del árbol, estimando como mínimo el medio metro.

3. Diámetro a 4 metros: Se medirá con forcípula finlandesa acoplada a una pértiga o con pentaprisma. Se aplicará sobre la sección del fuste que se encuentre a 4 m, sobre la sección probable de corta en el tocón. Si es posible, la medición se hará en la misma dirección en la que se hizo la del diámetro normal. Se apreciará al centímetro más próximo.

Esquema de cálculo de existencias

Se parte del conocimiento de la ecuación general de tres entradas:

$$v = F(d, h, d4)$$

donde:

- v = volumen unitario aprovechable con corteza
- d = diámetro normal con corteza
- h = altura total
- d4 = diámetro del fuste a 4 m sobre el tocón

Se selecciona y mide una muestra de árboles en pie en cada una de las unidades inventariables que se decida (estrato, cuartel, tramo, subtramo o cantón).

En cada árbol de muestreo se miden las tres variables (d, h y d4). Se entra con los valores de cada árbol en la ecuación, obteniéndose el valor del volumen v correspondiente.

Con los datos de los volúmenes v_i enfrentados a los diámetros normales d_i de todos los árboles muestra, se calculan por técnicas de regresión las tarifas de ordenación para cada una de las unidades inventariables definidas $v = G(d)$, que nos proporcionarán los volúmenes aprovechables con corteza en función del diámetro normal únicamente.

Con este método no es necesario investigar las relaciones altura-diámetro en cada unidad inventariable o dasocrática, ya que queda implícita al utilizar la muestra de árboles en pie.

Los modelos matemáticos recomendados para las tarifas de ordenación pueden ser del tipo general:

$$\begin{aligned} v &= a_0 + a_1 d^2 \\ v &= a_0 + a_1 d + a_2 d^2 \\ v &= b_0 d^{b_1} \end{aligned}$$

Este último se transforma, para el cálculo por mínimos cuadrados de los coeficientes de regresión, en:

$$\ln v = \ln b_0 + b_1 \ln d$$

El cálculo de las existencias se realiza multiplicando el número de pies de cada diámetro por los correspondientes valores unitarios del volumen, obtenidos de las tarifas. Este cálculo se puede hacer por clases diamétricas de 5 cm utilizando como valor unitario el correspondiente al centro de la clase, o mejor, a partir de la distribución diamétrica de cm en cm.

SUMMARY

Three Parametric Volume Tables for FOREST MANAGEMENT

A set of volume equations are presented, providing the merchantable timber volume for the principal tree species, present at the Spanish managed forests.

These equations allow to replace felled sample trees, for the mensuration, on standing trees of d.b.h., diameter at 4 m over stump and total height. From these data, local volume tables for management, can be obtained.

KEY WORDS: Volume tables
Spanish managed forests

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- KILKI P., 1983. Sample trees in timber volume estimation. Proceedings IUFRO. SA. 02 Meeting in Finland, Forest Inventory for improved management. 9 pp.
- MARTINEZ MILLAN F. J., 1978. Una normalización de los inventarios por muestreo para la ordenación de montes. Reproducida por ICONA y distribuida a los asistentes a la reunión sobre Ordenación de Montes en San Rafael.
- MARTINEZ MILLAN F. J., 1983. Volume and increment tables for forest management. Meeting in Finland, Forest inventory for improved management. Proceedings of the IUFRO. S4.02 University of Helsinki, pp. 119-128.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, 1971. Ordenación de Montes Arbolados. Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial. Publicaciones del Ministerio de Agricultura. Madrid. 118 pp.
- MORO J., 1969. Mecanización del cálculo de los inventarios forestales con enumeración completa de los árboles. Comunicación n.º 17. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid, 29 pp.
- PITA P. A., 1967. Tablas de cubicación por diámetros normales y alturas totales. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 73 pp.
- SCHMID-HAAS P., WINZELER K 1981. Efficient determination of volume and volumen growth. Proceedings of 17th IUFRO World Congress, pp.231-257.
- SCHMID-HAAS P., ROIKO-JOKELA P., MINGARD P, ZOBEIRY M., 1971. The optimal determination of the volume of standing trees. Mittl. Forst. Bundesversuchsanstalt. Wien, vol. 91, pp. 33-54.