

ECUACIONES DE CUBICACIÓN PARA *JUNIPERUS THURIFERA* L. EN EL MONTE “EL ENEBRAL” T.M. CABREJAS DEL PINAR (SORIA, ESPAÑA)

Fernández, A.¹, Lizarralde, I.² & Broto, M.²

¹ Agresta S. Coop. Mad. Delegación de Soria. C/ Numancia, 1 - 3º 42002 Soria

² Cesefor. Pol. Ind. Las Casas, calle C, parcela 4. 42005 Soria

Resumen La escasez de investigaciones relativas a la cubicación de la especie, junto con la posibilidad de realizar un extenso inventario, motivan el interés por desarrollar métodos de cubicación que permitan conocer con suficiente precisión las existencias de la especie. En este caso, el trabajo se realizó para el Monte El Enebral, perteneciente al municipio de Cabrejas del Pinar (Soria, España). Se apearon 135 pies de sabina, de los cuales 32 fueron cubicados por inmersión en cubeta. Los 135 pies se cubicaron por trozas aplicando diferentes métodos para conocer el más ajustado a la morfología de la sabina y a sus formas de crecimiento. Se han ajustado ecuaciones de cubicación para sabina, tanto con corteza como sin corteza, con los volúmenes estimados mediante la cubicación por trozas de los 135 pies y con diámetro normal y altura total como variables de entrada.

Plabras clave: sabina, volumen, corteza, regresión no lineal

VOLUME EQUATIONS FOR *JUNIPERUS THURIFERA* L. IN “EL ENEBRAL” FOREST (CABREJAS DEL PINAR, SORIA, SPAIN)

Abstract Both the few research efforts related to the species and the possibility of doing an extensive inventory, motivated the interest of developing volume equations in order to obtain realistic knowledge about the wood stock of spanish juniper. In this case, the work was developed for “El Enebral” forest, located in Cabrejas del Pinar (Soria, Spain). 135 trees were felled and the volume of 32 of them was obtained by water immersion. The volume of all the 135 trees was calculated through different methods in order to select the method that fits better the morphology and the growth attributes of the species. Both over and under bark volume equations were fitted using the volume calculated with the best method as dependent variable, while diameter at breast height and total height were used as independent variables.

Keywords : spanish juniper, volume, bark, non-linear regression

EQUATIONS DE CUBAGE POUR LE *JUNIPERUS THURIFERA* L. A LA FÔRET « EL ENEBRAL » T.M. CABREJAS DEL PINAR (SORIA, ESPAGNE)

Résumé L'absence de recherches relatives au cubage de l'espèce, avec la possibilité de réaliser un long inventaire, fait grandir l'intérêt pour le développement de méthodes de cubage qui permet de connaître avec une précision suffisante les existences de l'espèce. Dans ce cas, le travail a été effectué pour le mont « El Enebral », appartenant à la commune de Cabrejas del Pinar (Soria, l'Espagne). 135 pieds de genévrier thurifère ont été étayés, desquels 32 ont été mesurés par immersion dans une cuvette. Les 135 pieds ont été mesurés par grumes et on y a appliqué de diverses méthodes afin de connaître la réalité la plus proche à la morphologie du genévrier thurifère, avec ou sans écorce, avec ses volumes estimés grâce au cubage par grumes des 135 pieds à diamètre normal et à taille totale comme les variantes d'entrée.

Mots clés : genévrier thurifère, volume, écorce, regression non liniaire

INTRODUCCIÓN

La consideración de la sabina como especie secundaria en la mayoría de las ordenaciones de montes redactadas hasta el momento ha provocado que no existan herramientas dasométricas orientadas al cálculo de existencias de madera de esta especie.

El volumen de información recogida en el inventario del monte “*El Enebral*” nº 363 del Catálogo de Montes de Utilidad Pública de la provincia de Soria ha permitido obtener herramientas de gran utilidad para la gestión de masas de esta especie.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las fases que caracterizan la metodología de toma y procesado de datos se reflejan a continuación:

En primer lugar se tomó la muestra de pies apeados: se seleccionó una muestra de 135 árboles entre los 588 pies modelo medidos durante la realización del inventario forestal del monte “*El Enebral*”. Estos pies fueron apeados y medidos a posteriori de la realización del inventario. Los criterios a seguir para la elección de la muestra fueron la representatividad espacial, de calidades y clases diamétricas, y la rectitud y aspecto fusiforme de los portes (Tabla 1). De los árboles tipo se cubicaron 32 pies por inmersión en cubeta obteniendo su volumen real. Estos volúmenes permitieron comparar diferentes métodos de cubicación por trozas, observar cual de ellos se ajustaba mejor y estudiar los errores que obteníamos con la cubicación por trozas con respecto al volumen real (Tabla 2). Para la realización de las ecuaciones se trabajó con las formas de cubicación que respondían a una morfología uniforme de árboles con fuste recto y fusiforme.

A continuación se llevó a cabo la cubicación de los pies, con diferentes métodos de cubicación por trozas (Smalian, Huber, Newton e integración de la curva de perfil del árbol) utilizando secciones de troza calculadas de diferentes formas: i) sección de la troza circular de diámetro igual al diámetro π , ii) sección de la troza circular de diámetro igual a la media de los 2 diámetros cruzados, y iii) sección de la troza igual a una elipse con ejes los dos diámetros cruzados (Gráfico 1)

Tanto para estimar la sección de las trozas como para la elección del método de cubicación, se analizaron cada uno de los métodos utilizados estudiando la distribución de los errores generados con respecto al volumen real obtenido por inmersión en cubeta (Gráfico 2).

Por su parte, para el cálculo del volumen sin corteza se calcularon los diámetros restando dos mediciones de espesor de corteza (sobre el radio que apunta al norte y el opuesto) al diámetro con corteza.

Una vez decididos los métodos para el cálculo de las secciones y volúmenes, se pasó a ajustar ecuaciones de cubicación para los datos disponibles. El ajuste de las ecuaciones se realizó mediante técnicas de regresión lineal y no lineal con los procedimientos PROC REG y PROC NLIN de SAS/STAT (2000) respectivamente. La elección de la mejor ecuación se basó en técnicas de evaluación y validación de los modelos.

La evaluación de modelos es un paso esencial para dotar de funcionalidad y realismo a las ecuaciones creadas. Además, en muchas ocasiones, dentro del proceso de desarrollo de ecuaciones, se llega a un punto en el que debe decidirse entre una serie de ecuaciones.

La evaluación de estas ecuaciones facilita la comparación y futura decisión de la mejor ecuación. La evaluación engloba una serie de procedimientos, tanto cualitativos como cuantitativos. La parte cualitativa se basa en el análisis lógico del modelo, es decir, una evaluación del realismo teórico y biológico del modelo. Por otro lado, la parte cuantitativa se apoya en tests estadísticos y análisis gráficos de los residuos obtenidos en la ecuación.

Los parámetros estadísticos más comunes para la evaluación de los modelos son el sesgo (la media de los residuos), la precisión (la media absoluta de los residuos) y la eficiencia de modelización, que representa la bondad del ajuste de una ecuación a una base de datos concreta.

Dentro del análisis gráfico de residuos, existen dos gráficos que aportan información muy útil para la evaluación. Uno de ellos, denominado habitualmente gráfico de residuos-predichos, enfrenta los valores predichos por la ecuación con los residuos obtenidos para detectar posibles tendencias de heterocedasticidad o heterogeneidad de la varianza a lo largo de la ecuación. El otro gráfico interesante es el que muestra las posibles desviaciones de la

distribución normal de los residuos studentizados, lo que suele llamarse gráfico de normalidad.

Para realizar la validación de una ecuación ajustada, existen diferentes métodos. El método más preciso es disponer de una muestra independiente de datos pero perteneciente a la misma población. En los inventarios forestales habituales, es muy difícil disponer de este tipo de datos, por lo que se han ido estudiando otras formas de evaluación. Uno de los métodos más utilizados hasta hace unos años era el de separación de datos o “data-splitting”. En este método, se separa la base de datos en dos grupos aleatoriamente. Es habitual separar un 70% para el ajuste y un 30% para la validación. Sin embargo, es incorrecto asumir que estas dos muestras son independientes y además cada separación aleatoria de datos daría resultados diferentes. Este método podría evitar alguno de sus problemas si se estratifican los datos ante su separación, de manera que en las dos series de datos exista la misma estratificación por variables como la calidad, la edad, la densidad...etc.

Sin embargo, existe otro método muy utilizado en la actualidad que es la denominada validación cruzada o “cross-validation”. En este método, se separa cada dato, se ajusta la ecuación con el resto de los datos, después se aplica sobre ese dato y se valida con el resto de los datos. Al no ser una muestra independiente, puede que se sobreestimen las predicciones, pero actualmente está considerada como una metodología muy rigurosa y robusta. Por ello, para este trabajo se ha decidido llevar a cabo la validación cruzada.

Por otro lado, para la estimación del incremento en volumen sin corteza en 10 años se obtuvo una ecuación de cubicación de volumen sin corteza. Las variables utilizadas para la realización de esta ecuación son el diámetro equivalente a los dos diámetros cruzados sobre los que se ha medido el crecimiento, y la altura medida con el pie apeado.

Como se conoce el diámetro equivalente de las rodajas analizadas tanto en el momento actual como de 10 años atrás con la ecuación obtenida se pudo calcular el volumen sin corteza hace 10 años y así estimar el incremento en volumen en 10 años (Figura 1).

RESULTADOS

El volumen calculado asemejando la sección de la troza a una circular de diámetro igual a la media de los diámetros cruzados aproxima más al volumen real que asemejando la sección a una circular de diámetro igual al diámetro π o que a una elipse con ejes igual a los diámetros cruzados para cualquiera de los métodos de cubicación por trozas.

Por su parte, de los métodos probados de cubicación por trozas la integración de la curva de perfil resultó ser el método de cubicación que mejor ajustaba el volumen real. Este método de cubicación sobreestima el volumen real en un 4,4%.

Para la construcción de la ecuación de Volumen con corteza (VCC), las variables independientes utilizadas son el diámetro medio de los dos diámetros cruzados y la altura total del árbol. El modelo de esta ecuación es el que mejores resultados arrojó tras la evaluación, tanto cualitativa como cuantitativa.

Finalmente, para la ecuación de Volumen sin corteza (VSC), el procedimiento de cálculo fue exactamente el mismo que en el caso de la ecuación de VCC pero utilizando los datos de volumen sin corteza de los árboles tipo. La evaluación y validación de los modelos probados se realizó exactamente igual a la descrita en el apartado anterior de la ecuación de volumen con corteza. La ecuación obtenida así como los resultados arrojados en los test estadísticos y gráficos se pueden ver en las tablas 3 a 8.

CONCLUSIONES

Se ha conseguido describir el método más fiable para calcular la sección de las rodajas de sabina, y por lo tanto, se puede conocer con mayor exactitud el volumen, lo que se ha podido contrastar con la inmersión de ciertos pies.

Además, se han creado ecuaciones de predicción del volumen, tanto con corteza como sin corteza para las masas de sabina estudiadas, que más adelante podrían servir como base para la predicción en otras masas, lo que resultaría una gran ayuda para la gestión de este tipo de masas.

BIBLIOGRAFÍA

SAS INST. INC. Cary, NC.; 2000. *SAS/STAT User's guide versión 8*. 3884 pp.

TABLA 1. Caracterización de árboles apeados de sabina monte *El Enebral*

Especie	Número	Variables ¹	Ecuación/es resultantes
<i>Juniperus thurifera</i>	135	Dpin, Dn1, Dn2, Ht, Hfuste, Htc, fmc. - Para cubicar los árboles tipo se midieron dos diámetros cruzados, Dpi y espesores de corteza cada 0,5 metros a lo largo de todo el fuste. - Se midieron diámetros cruzados en la troza normal a diferentes edades. - Volumen real de 32 árboles estimados por inmersión en cubeta.	- Vcc. Vsc, Vsc2, Ccsc - Relación dpi-dm - Relación Vreal- Vestimado. - Relación sección real de la troza- sección estimada.
Total	135		

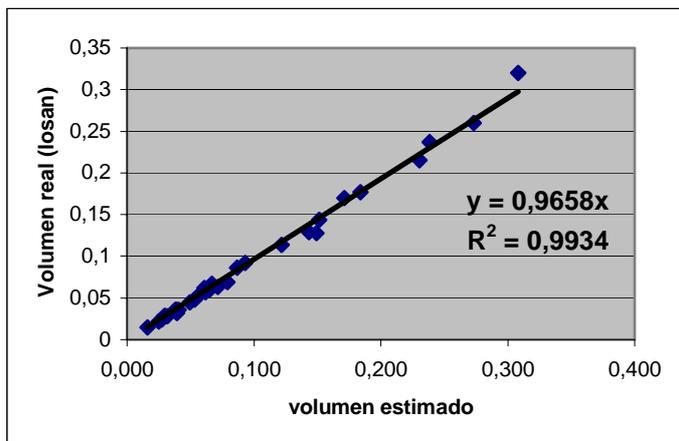
Fuente: Elaboración propia

TABLA 2. Parámetros utilizados en el cálculo de la ecuación de cubicación de volumen (Vcc) para sabinas tipo 1 y 2

Nº de árboles	Variables utilizadas
32 árboles fmc 1 y 2	Volumen con corteza en m ³ (inmersión en cubeta). Vcc Diámetro pi y media de los diámetros cruzados en cm. Dpi y Dm Altura total. Ht en m
131 árboles fmc 1 y 2	Volumen con corteza en m ³ (cubicación por trozas). Vcct Diámetro pi y media de los diámetros cruzados en cm. Dpi y Dm Altura total en m. Ht

¹ Siendo Dpin, diámetro pi normal; Dn1; diámetro normal 1 (medido en perpendicular a la dirección del centro de parcela); Dn2, Diámetro normal 2 (perpendicular al anterior); Ht, altura total del pie; Hf, altura del fuste; Htc, Altura del tocón; Fmc, forma de cubicación; e, edad; Hp altura de poda; dm, media de los diámetros cruzados;

GRÁFICO 2. Regresión simple entre el volumen real calculado en cubeta y el estimado por trozas



coeficiente de correlación 0,9934

Modelo lineal

Fuente: Elaboración propia

TABLA 3. Ecuación de cubicación de volumen con corteza para fmc 1 y 2 de sabina.

Parámetro	Fórmula
Volumen con corteza (V_{cc}) V_{cc} en m^3 , D en centímetros y H en metros.	$V_{cc} = 0,000146 \cdot D^{1,5207} \cdot H^{1,0217}$

TABLA 4. Evaluación de la ecuación de cubicación de volumen con corteza para fmc 1 y 2 de sabina.

Parámetro	Sesgo	Precisión	Eficiencia
Volumen con corteza (V_{cc})	-0,000243522	0,016055	0,92001

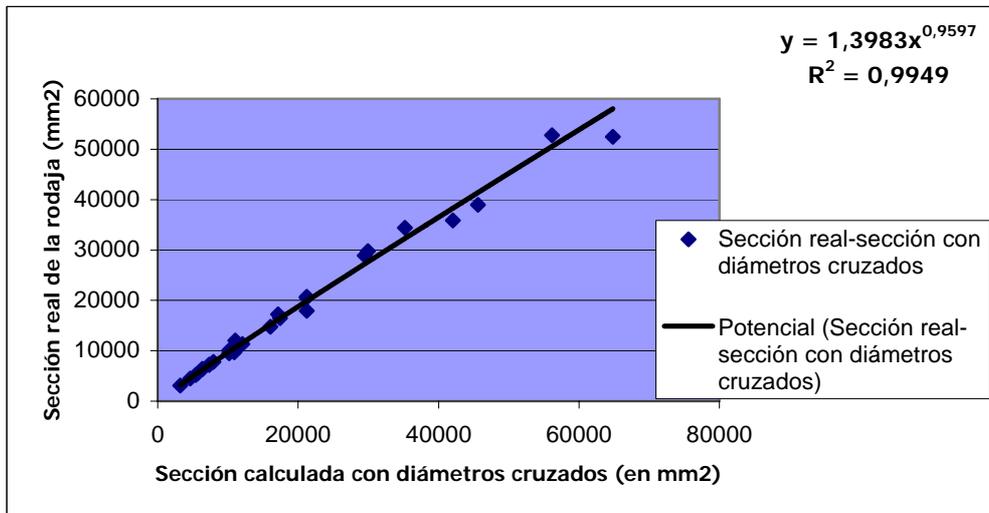
TABLA 5. Ecuación de cubicación de volumen sin corteza para fmc 1 y 2 de sabina.

Parámetro	Fórmula
Volumen sin corteza (V_{sc}) V_{cc} en m^3 , D en centímetros y H en metros.	$V_{sc} = 0,000177 \cdot D^{1,7104} \cdot H^{0,5555}$

TABLA 6. Evaluación de la ecuación de cubicación de volumen con corteza para fmc 1 y 2 de sabina.

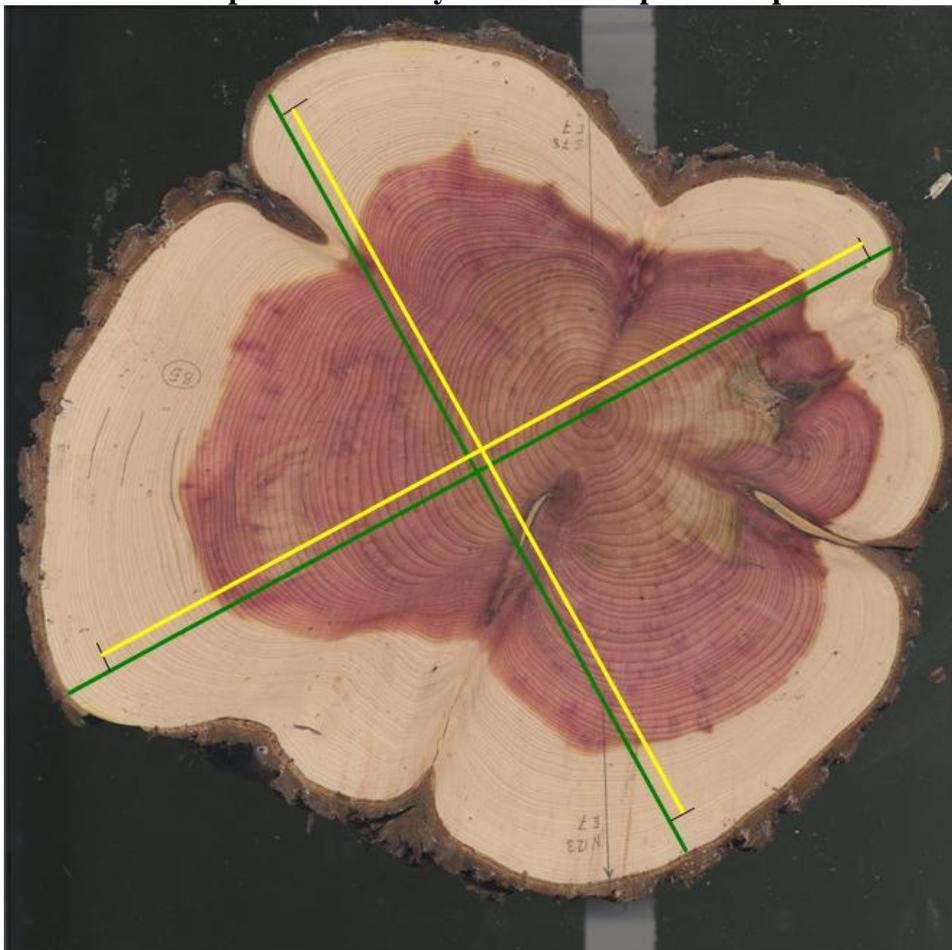
Parámetro	Sesgo	Precisión	Eficiencia
Volumen con corteza (V_{cc})	-0,000889175	0,013492	0,92407

GRÁFICO 1. Regresión simple entre la sección real-sección estimada con los diámetros cruzados



Fuente: elaboración propia

Figura 1. Representación gráfica de la metodología de medición de los dos diámetros cruzados en el periodo actual y hace 10 años para la especie sabina



Fuente: elaboración propia

TABLA 7. Ecuación de cubicación de volumen sin corteza para fmc 1 y 2 de sabina.

Parámetro	Fórmula
<i>Volumen sin corteza (Vsc)</i> <i>Vcc en m³, D equivalente en centímetros y H de apeo en metros.</i>	$V_{sc} = 0,000425 \cdot D^{1,4820} \cdot H^{0,5673}$

donde fmc = forma de cubicación

TABLA 8. Evaluación de la ecuación de cubicación de volumen con corteza para fmc 1 y 2 de sabina.

Parámetro	Sesgo	Precisión	Eficiencia
<i>Volumen con corteza (Vcc)</i>	-0,001644348	0,015552	0,84051