

# ECUACIONES DE CUBICACION Y CRECIMIENTO PARA EL ROBLE ANDALUZ (*QUERCUS CANARIENSIS* WILD.)

**J.M. CUEVAS GOZALO**

Area de Conservación del Medio Natural  
Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria  
Apdo 8111. 28080 Madrid

## RESUMEN

Se presentan las ecuaciones de cubicación y crecimiento para el roble andaluz (*Quercus canariensis* Willd.) realizadas durante el inventario forestal de los montes de El Kala - Souk Ahras, situados en el este de Argelia. Estas ecuaciones de cubicación se construyeron a partir de la información obtenida en una muestra formada por 120 pies apeados, y son para el volumen de fuste sin corteza, el volumen de fuste con corteza, el volumen de ramas con corteza y el volumen de crecimiento de fuste en los últimos diez años. También se han obtenido las relaciones existentes entre el diámetro normal y la edad, y entre la altura total y la edad.

**PALABRAS CLAVE:** Ecuaciones de cubicación  
Roble andaluz  
*Quercus canariensis*

## INTRODUCCION

Las ecuaciones y tablas de cubicación de las especies forestales permiten estimar los volúmenes de los ejemplares de las especies en cuestión en función de un número reducido de parámetros obtenibles con facilidad y economía en los árboles en pie. Son, por ello, una herramienta imprescindible en las técnicas actuales de inventariación forestal (Pardé, Bouchon, 1988).

No obstante, no se dispone de ellas para muchas especies forestales mediterráneas, especialmente en el caso de las frondosas. En Bouchon (1974) se encuentra un análisis documental y bibliográfico sobre las ecuaciones de cubicación.

---

Recibido: 14-6-96

Aceptado para su publicación: 2-11-96

El *Quercus canariensis* Wild, ha sido considerado como una subespecie de *Quercus faginea* Lamk., y también se le ha conocido bajo el sinónimo *Quercus mirbecki* Dur. El nombre específico de esta especie es equívoco, dado que hace referencia a un área en la que no habita.

Esta especie forestal mediterránea, conocida como roble o quejigo andaluz, es endémica de la región mediterránea occidental, donde se extiende en un área de distribución dispersa. Habita de forma natural en el sur de Portugal, suroeste y noreste de España, y norte de Africa, donde aparece en el noroeste de Marruecos, norte de Argelia y noroeste de Túnez (Ruiz de la Torre, 1971).

Los límites geográficos de esta especie son 42° N en La Selva (Girona) y 32° N en el Gran Atlas (Marruecos) en latitud, y 9° O en el suroeste de Portugal y 9° E en Túnez en longitud (Ruiz de la Torre, 1971).

En España habita (Ruiz de la Torre, 1971; Rivas -Martínez, Sáenz- León, 1991; Blanco, Tejero, 1994) en el suroeste de Andalucía, en las provincias de Cádiz, Málaga, Sevilla y Huelva, en puntos aislados de Sierra Morena, y en Cataluña, en que aparecen en el Tibidabo, Montnegre, Maresme, La Selva y la Cordillera Litoral Catalana. También ha sido citada como dudosa en los Montes de Toledo.

Las masas más extensas de esta especie están situadas en Argelia, donde aparece en la parte nororiental del país, desde el este de Argel hasta la frontera con Túnez, formando masas de muy buenas características forestales. En Boudy (1948) se puede encontrar información sobre esta especie forestal en el norte de Africa.

El roble andaluz es un árbol que llega a sobrepasar los 30 m de altura en las buenas estaciones, y de porte robusto y regular en los montes bien tratados (Ruiz de la Torre, 1971).

El *Quercus canariensis* Willd. generalmente habita en umbrías y sobre suelos de relativamente buena calidad, casi exclusivamente sobre terrenos silíceos, aunque en ocasiones aparece sobre sustratos calizos descalcificados.

Es una especie más termófila e higrófila, y menos fugal, que los restantes quejidos, recibiendo una precipitación anual superior a los 600 mm (Ruiz de la Torre, 1971).

No existen publicadas ecuaciones de cubicación para esta especie, de la que la información disponible de carácter forestal es muy escasa. La superficie ocupada en España por el *Quercus canariensis* Willd. no es conocida, ya que en el Primer Inventario Forestal Nacional de España (IFN, 1980) no se diferenció de los demás quejidos. En el Segundo Inventario Nacional de España sí se ha diferenciado esta especie (IFN, 1990).

Los Proyectos de Ordenación a que están sometidas algunas de sus masas en España, normalmente como especie secundaria en alcornoques, han mostrado la evolución temporal progresiva de sus masas en este caso (Montero *et al.*, 1993).

Las ecuaciones de cubicación utilizadas en el Primer Inventario Nacional de España para el quejigo en las provincias de Cádiz y Málaga (IFN, 1980), donde muchos de los quejigares son de esta especie, fueron las siguientes:

$$V = 64,90 + 0,01971 D^2H$$

$$V = 11,14 + 0,02175 D^2H$$

Siendo V el volumen maderable en dm<sup>3</sup>, D el diámetro normal en cm y H la altura total en m. Estas ecuaciones fueron construidas respectivamente a partir de la información obtenida mediante relascopio en 126 y 213 árboles tipo medidos en pie y con poca precisión en los diámetros superiores al normal (Martínez - Millán *et al.*, 1994).

Las ecuaciones de cubicación y crecimiento para el *Quercus canariensis* Willd. presentadas fueron obtenidas en el Proyecto de Inventario y Ordenación de los montes de El Kala - Soukh Ahras (Argelia). Este proyecto fue encargado y coordinado por la ONTF (Office Nationale des Travaux Forestières) argelina. En Cuevas (1995) aparecen las ecuaciones de cubicación obtenidas en este mismo proyecto para el alcornoque.

## MATERIAL Y METODOS

### Características del área de procedencia de los árboles tipo

El área geográfica de este proyecto está situada (Fig. 1) en el este de Argelia, cerca de la ciudad de Annaba, y se extiende hasta la frontera con Túnez, en una franja de 300 km en sentido Norte-Sur que cubre una superficie forestal arbolada cercana a 200.000 ha.

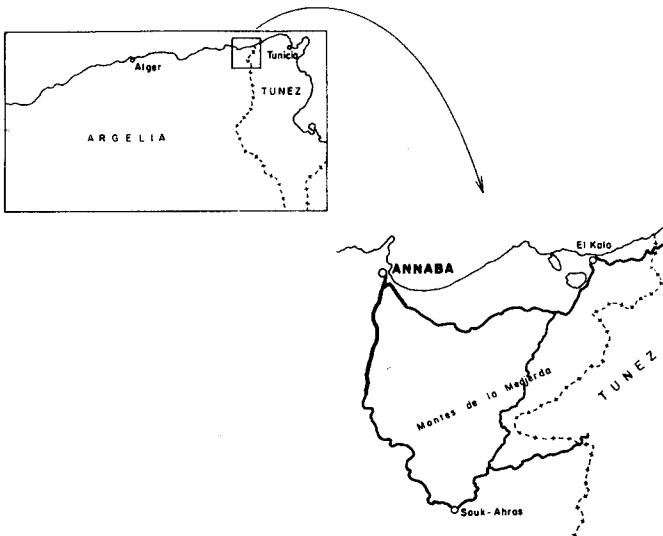


Fig. 1.- Situación del área en estudio  
Location of the study area

Este área consta de varios sectores de características naturales y masas forestales diferentes, de los que se realizó un inventario extensivo apoyado en fotointerpretación convencional. Como resultado de esta fase se obtuvo que los robledales de *Quercus canariensis* Willd. ocupaban 8.199 ha, los alcornoques 71.811 ha, los pinares de *Pinus halepensis* Mill. 100.043 ha, los eucaliptares 9.843 ha y los pinares de *Pinus pinaster* Ait. 670 ha.

Tras la realización del inventario extensivo se llevó a cabo un inventario de campo más intensivo en las zonas en que los alcornoques y robledales formaban masas con mejores características forestales mediante toma de datos de campo en dos sectores

Los sectores elegidos fueron el 2, o sector litoral, que se extiende desde la costa del Mediterráneo hacia el sur, hasta los contrafuertes de la cadena montañosa del Medjerda, y el 7, o sector telliano, más meridional, situado en el Atlas telliano y caracterizado por un relieve montañoso en el que se llegan a superar ligeramente los 900 m de altitud.

La superficie forestal total obtenida en estos dos sectores fue 9.510,6 ha en el sector litoral y 11.518,6 ha en el sector telliano.

En el sector litoral la especie forestal dominante es el alcornoque (*Quercus suber* L.), existiendo plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis* Delnh. y *Pinus Pinaster* Ait. El roble andaluz aparece salpicado en umbrías y vaguadas. En el sector telliano el roble andaluz adquiere mucha mayor presencia formando masas de una calidad muy notable.

Los árboles tipo de roble andaluz se eligieron en el sector telliano. En este sector predominan los terrenos de origen eruptivo del Terciario silíceo y areniscas con formaciones calcáreas en las cumbres más altas. Este sector tiene un relieve bastante accidentado, estando constituido por valles o cañones de altura media 900 m sobre el nivel del mar y orientación SO - NE que tienen gran influencia en las características climáticas del área, ya que captan los vientos húmedos del NO procedente del Mediterráneo contribuyendo a la formación de un área bastante húmeda.

La precipitación anual media es 715 mm en el sector telliano, lloviendo 90 días al año, según los datos procedentes de siete estaciones meteorológicas, y la temperatura media anual es de 14,6° C en Souk - Ahras (655 m sobre el nivel del mar).

### Información y metodología utilizadas

Para la obtención de las ecuaciones de cubicación del *Quercus canariensis* Wild. se utilizaron 120 árboles tipo. Estos árboles se eligieron distribuidos en seis montes pertenecientes al sector telliano: Boumezranne (30 árboles), Beni - Salah (22 árboles), Fedj - El Ahmed (10 árboles), Ouled Bachiah (3 árboles), Mecroha (10 árboles) y Djebel Dyr (45 árboles), de forma que todas las condiciones de las masas forestales de esta especie en el área en estudio estuvieran representadas.

El objetivo de esta distribución fue obtener ecuaciones de cubicación válidas para el sector oriental de esta especie en Argelia, y utilizables igualmente en las masas de esta especie en Túnez.

La selección de los árboles tipo se efectuó cuidadosamente dado que su número iba a ser reducido. Se siguieron las normas habituales en estos casos. Los árboles tipo se eligieron en el interior de masas con una espesura característica de estas masas de roble andaluz que presentan habitualmente una fracción de cubierta cubierta muy alta. En el inventario extensivo 7.533 ha de las 8.199 ha calificadas como ocupadas por el roble andaluz se clasificaron como teniendo un grado de cubierta superior al 70 p.100.

Se prestó especial atención a que los árboles seleccionados de las clases diométricas altas no estuvieran aislados, en masas de poca densidad o presentasen una ramificación excesivamente abundante, eligiéndose árboles de apariencia sana, sin mutilaciones o síntomas de pudriciones.

Para controlar la adecuada elección de los árboles tipo, la selección de éstos estuvo acompañada de la confección de gráficos con la distribución de los árboles tipo seleccionados según su situación geográfica, su diámetro normal y su altura total.

De cada uno de los árboles tipo seleccionados, una vez apeados a veinte cm del suelo, se obtuvo la siguiente información:

- Diámetro normal (cm), espesor normal de corteza (mm) y crecimiento radial normal en los últimos diez años (mm), efectuándose dos mediciones en cruz de cada valor.

- Altura total (m) y altura de fuste (m). Se consideró que el fuste finalizaba cuando había ramificación o se alcanzaba un diámetro inferior a cinco cm.

- Edad del árbol (años), obtenida mediante conteo de los anillos de crecimiento anual en el tocón del árbol.

En el fuste se obtuvo la siguiente información sobre trozas de una longitud máxima de dos metros:

- Dos diámetros en cruz (cm) en el centro de las trozas.
- Espesor de corteza (mm) y crecimiento radial en los últimos diez años (mm) en el centro de las trozas, efectuándose dos mediciones en cruz de cada valor.
- Número de anillos de crecimiento anual en el centro de las trozas.

En las ramas solamente se midió su longitud (dm) hasta donde el diámetro era inferior a 5 cm y el diámetro (cm) en el centro.

El rango de los diámetros normales de los árboles tipo apeados es 11-43 cm, el rango de las alturas totales 8,5-23 cm, y el rango de las edades 22-90 años. Solamente un árbol tipo supera estos rangos, teniendo 51 cm de diámetro normal y 102 años de edad. En la Tabla 1 aparece el reparto de los árboles tipo de acuerdo a su diámetro normal y su altura total.

TABLA 1

**ARBOLES TIPO UTILIZADOS DE ROBLE ANDALUZ**  
**(*Quercus canariensis* Willd.) SEGUN DIAMETRO NORMAL Y**  
**ALTURA TOTAL**

*Type trees of african oak (*Quercus canariensis* Willd.) according to breast height diameter and total height*

Diámetro normal (cm)	Altura total (m)								Total
	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	> 22	
10-14	5	1							6
15-19	4	8	5	3	4	1			25
20-24	1	6	10	9	6	1		1	34
25-29		2	3	7	13	1	1		27
30-34			1	4	6	1	2	1	15
35-39				1	1	6	1	1	10
40-44						1	1		2
>44			1						1
<b>Total</b>	10	17	20	24	30	11	5	3	120

A partir de los datos de campo de cada uno de los 120 árboles apeados se calcularon los volúmenes de cada árbol, y se procedió, mediante regresión lineal (Carbonell *et al.*, 1983), a obtener las ecuaciones de cubicación.

Se adoptó como modelo matemático una ecuación de cubicación de tipo australiano, utilizando como variables independientes el diámetro normal al cuadrado, la altura total y el producto de diámetro normal al cuadrado por la altura total.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Las ecuaciones de cubicación obtenidas fueron:

Volumen de madera de fuste sin corteza:

$$VFSC = -99,337 + 0,161 D^2 + 8,634 AT + 0,0166 D^2AT$$

$$R^2 = 0,934$$

Volumen de madera de fuste con corteza:

$$VFCC = 127,073 + 0,239 D^2 + 11,399 AT + 0,0172 D^2AT$$

$$R^2 = 0,931$$

Volumen total de madera con corteza:

$$\text{VTCC} = 123,275 + 0,242 D^2 + 10,952 \text{ AT} + 0,0236 D^2 \text{ AT}$$

$$R^2 = 0,951$$

Volumen de madera de ramas con corteza:

$$\text{VRCC} = 3,798 - 0,00261 D^2 - 0,446 \text{ AT} + 0,00638 D^2 \text{ AT}$$

$$R^2 = 0,585$$

Volumen de crecimiento anual de fuste:

$$\text{VCRF} = 3,5968 + 0,0594 D^2 + 0,5252 \text{ AT} + 0,000127 D^2 \text{ AT}$$

$$R^2 = 0,802$$

Las variables independientes y dependientes utilizadas son las siguientes:

- D = Diámetro normal con corteza (cm)
- AT = Altura total (dm)
- VFSC = Volumen de madera de fuste sin corteza (dm<sup>3</sup>)
- VFCC = Volumen de madera de fuste con corteza (dm<sup>3</sup>)
- VTCC = Volumen total de madera con corteza (dm<sup>3</sup>)
- VRCC = Volumen de madera de ramas con corteza (dm<sup>3</sup>)
- VCRF = Volumen de crecimiento anual de fuste (dm<sup>3</sup>)

Se utilizó la altura total, y no la altura de fuste, como variable independiente en todas estas ecuaciones, dado que en los árboles tipo en pie de las parcelas de inventario de estos montes, a partir de cuyos datos y de estas ecuaciones se construyeron las tarifas de cubicación con el diámetro normal como única variable independiente, se midió solamente su diámetro normal y su altura total. Por esta misma razón no se ha utilizado el crecimiento radial normal en las ecuaciones de cubicación del volumen de crecimiento de fuste.

Las ecuaciones de cubicación obtenidas son de buena calidad, teniendo unos coeficientes de determinación altos, pese al reducido tamaño de la muestra con que se construyeron, 120 árboles.

El número de árboles tipo utilizado es muy inferior al recomendado para la obtención de ecuaciones de cubicación en una región natural, en las que Pardé, Bouchon (1988) aconsejan la utilización de 800 árboles tipo. Si bien, hay que tener en cuenta que en este caso la superficie calificada como ocupada por el roble andaluz en el inventario extensivo era de solamente 8.199 ha.

La ecuación de cubicación del volumen de madera de ramas con corteza tiene un coeficiente de determinación muy bajo. Sería más lógico no haber realizado un ajuste por regresión lineal para el volumen de ramas con corteza, sino haberle estimado por diferencia entre el volumen total con corteza y el volumen de fuste con corteza.

La ecuación de cubicación del volumen de crecimiento de fuste tiene un coeficiente de determinación no tan alto como las demás, a excepción de la de volumen de ramas con corteza, poniendo de manifiesto la dificultad de conseguir una buena ecuación de cubicación para este concepto sin que intervenga el crecimiento radial o diametral normal como variable independiente.

Aunque sí se disponía del crecimiento radial normal en los árboles tipo apados, se decidió no utilizarle en la elaboración de la ecuación de cubicación del volumen de crecimiento de fuste puesto que no se efectuó su medición en los árboles tipo de las parcelas de inventario, a partir de cuyos datos, y haciendo uso de estas ecuaciones de cubicación, se construyeron las tarifas de cubicación para el roble andaluz utilizadas en la estimación de las existencias de estos montes.

Usando los datos del inventario forestal de los montes del Concejo de Oroquieta - Erviti (Navarra, España), Cuevas, Barrios (1992) han comprobado que la utilización del crecimiento radial normal de los árboles tipo en la elaboración de la ecuación de cubicación del volumen de crecimiento de fuste del haya no compensaba frente a los resultados que se obtenían no usándole, si se dispone, al igual que sucede en este caso, de una buena ecuación de cubicación del volumen de crecimiento de fuste no haciendo uso del crecimiento radial.

Esto es especialmente interesante en el caso de ciertas especies del género *Quercus* o del haya, en que por la dureza de su madera y la dificultad de distinguir los anillos de crecimiento anual, la obtención mediante barrena Pressler del crecimiento radial normal de los árboles tipo de las parcelas de inventario es una tarea difícil, cara y propensa a errores.

Si se comparan los valores estimados por la ecuación de cubicación del volumen de fuste con corteza con los estimados por las ecuaciones para el quejigo del Primer Inventario Forestal Nacional de España (IFN, 1980) en las provincias de Málaga y Cádiz, se obtiene que para una combinación frecuente de diámetro normal y altura total en los árboles tipo utilizados, como es 26 cm de diámetro normal y 17 m de altura total, el valor estimado con la ecuación obtenida es 425,936 dm<sup>3</sup>, en tanto que los estimados por las ecuaciones del Primer Inventario Forestal Nacional de España son 261,091 y 291,407 dm<sup>3</sup> respectivamente.

Si esta comparación se efectúa para otra combinación de diámetro normal y altura total frecuente en los árboles tipo utilizados como es 22 cm de diámetro normal y 13 m de altura total, el valor estimado con la ecuación obtenida es 245,012 dm<sup>3</sup>, en tanto que los estimados por las ecuaciones de cubicación para el quejigo del Primer Inventario Forestal Nacional de España en las provincias de Málaga y Cádiz son 147,991 dm<sup>3</sup> y 188,915 dm<sup>3</sup> respectivamente.

Es decir, los valores estimados con la ecuación de cubicación del volumen de fuste con corteza son muy superiores a los obtenidos con las ecuaciones de cubicación para el quejigo del Primer Inventario Forestal Nacional de España en las provincias de Cádiz y Málaga.

Lo anterior pone de manifiesto la buena calidad de las masas de *Quercus canariensis* Willd. sobre las que se obtuvieron estas ecuaciones de cubicación, y el que no es prudente la utilización de las ecuaciones de cubicación para el que-

jigo del Primer Inventario Forestal Nacional de España para cubicar ejemplares de *Quercus canariensis* Willd., al no estar realizadas exclusivamente con datos de árboles tipo de esta especie y, además, haberse medido los árboles tipo en pie.

En tanto no existan publicadas ecuaciones o tablas de cubicación construidas específicamente para el *Quercus canariensis* Willd. de España, se podría hacer uso de estas ecuaciones de cubicación, siendo recomendable el efectuar previamente una comprobación de su validez para su uso en las masas españolas.

A partir de los 120 árboles tipo apeados se obtuvieron también las siguientes relaciones dendrométricas, en que D es el diámetro normal en cm, AT la altura total en m y E la edad en años:

Diámetro normal/Edad:

$$D = 0,504 E - 0,001 E^2$$
$$R^2 = 0,982$$

Según esta ecuación se alcanza un diámetro normal de 9,7 cm a los veinte años, de 18,6 cm a los cuarenta años, de 26,6 cm a los sesenta años, de 33,9 cm a los ochenta años y de 37,3 cm a los noventa años.

Altura total/Edad, en que se adoptó un modelo de tipo sigmoide:

$$AT = E^2/(1,188 + 0,060 E)^2$$
$$R^2 = 0,850$$

De acuerdo a esta ecuación se alcanza una altura total de 7,0 m a los veinte años, de 12,4 m a los cuarenta años, de 15,7 m a los sesenta años, de 17,8 m a los ochenta años y de 18,7 m a lo noventa años.

## CONCLUSIONES

Las ecuaciones de cubicación obtenidas para el roble andaluz (*Quercus canariensis* Willd.) son de buena calidad, con unos coeficientes de determinación altos. Estas ecuaciones son aceptables para su utilización en las masas de esta especie forestal en el norte de Africa, en tanto no se disponga de otras obtenidas a partir de un número mayor de árboles tipo.

## SUMMARY

**Volume and growth equations for the african oak  
(*Quercus canariensis* Willd.)**

The volume and growth equations obtained for the african oak (*Quercus canariensis* Willd.) in the inventory of the forests of El Kala - Souk Arhas (East Algeria) are presented. Their interest lays on the fact that there are not published volume equations or tables for this mediterranean forest tree. These equations were built using the data of a sample of 120 felled type trees, and are for the stem volume inside bark, the stem volume outside bark, the total volume outside bark, the volume of branches outside bark and the stem growth volume in the last ten years. Also are presented the equations obtained for the breast height diameter and the total height in function of the age.

**KEY WORDS:** Volumen equations  
African oak  
*Quercus canariensis*

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BLANCO E., TEJERO M. I., 1994. Nosotros los *Quercus*, diez años después. *Quercus*, 100 pp. 48-55.
- BOUCHON J., 1974. Les tarifs de cubage. CNRF/ENGRED, París.
- BOUDY P., 1948. Economie forestière nord-africaine. Tomo I, Editions Larose, París.
- CARBONELL E., DENIS J.B., CALVO R., GONZALEZ F., PRUÑONOSA V., 1983. Regresión lineal. Un enfoque conceptual y práctico. Colección Monografías INIA, 43, Madrid.
- CUEVAS J. M., BARRIOS S., 1992. Estimación del crecimiento en volumen de fuste en el inventario de un hayedo navarro. *Invest. Agrar., Sist. Rec. For.*, Vol. 1, pp. 83-93.
- CUEVAS J. M., 1995. Ecuaciones de cubicación para el alcornoque del este de Argelia. *Invest. Agrar., Sist. Rec. For.*, Vol. 4, pp. 107-114.
- IFN, 1980. Las frondosas en el Primer Inventario Forestal Nacional. Sección de Inventario y Mapas, ICONA, Madrid.
- IFN, 1990. Segundo Inventario Forestal Nacional, 1986-1995. Explicaciones y métodos. ICONA, Madrid.
- MARTINEZ MILLAN J., ARA LAZARO P., GONZALEZ DONCEL I., 1994. Ecuaciones alométricas de tres variables: estimación de volumen, crecimiento y porcentaje con corteza de las principales especies maderables españolas. *Invest. Agrar., Sist. Rec. For.*, Vol. 2, pp. 211-228.
- MONTERO G., ROJO A., HERNANDEZ A., 1993. Teoría y práctica de la selvicultura. Primer Congreso Forestal Español, Lourizán, pp. 433-447.
- PARDE J., BOUCHON J., Dendrometrie. ENGREF, Nancy, 1988.
- RIVAS MARTINEZ S., SAENZ LEON C., 1991. Enumeración de los *Quercus* de la Península Ibérica. *Rivasgadaia*, 6, pp. 101-110.
- RUIZ DE LA TORRE J., 1971. Arboles y arbustos de la España peninsular. IFIE/ETSIM, Madrid.