

¿Qué hay que tener en cuenta para elaborar modelos de producción de corcho?: revisión bibliográfica y consideraciones estadísticas

J. Vázquez-Piqué¹ y H. Pereira²

¹ *Departamento de Ciencias Agroforestales, Universidad de Huelva. Crta. Palos-La Rábida s/n. 21819 Palos de la Frontera (Huelva, España). Tel: 959217531. Fax: 959217560.*

² *Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. Tapada da Ajuda, P-1349-017 Lisboa (Portugal).*

Resumen

En este artículo se realiza una revisión crítica de los modelos de producción de corcho que se encuentran publicados, tanto de árbol individual como de masa, con el objetivo de remarcar los aspectos que hay que considerar para elaborar este tipo de modelos. Tras encuadrar la importancia que tiene el desarrollo de este tipo de modelos dentro de la gestión del monte alcornoque, la revisión incide en los aspectos estadísticos que presentan los modelos, desde las variables utilizadas, formas funcionales, métodos de ajuste y selección de variables hasta el análisis de las hipótesis iniciales y formas de validación.

Palabras clave: *Quercus suber*, alcornoque, modelos de árbol individual, modelos de masa.

Abstract

What to take into account to develop cork weight models?: review and statistical considerations

In this paper we present a critical revision of the published cork yield models at tree and stand level with the aim of underlying the different issues that need to be taken into account in such models. After stressing the importance of this kind of models in the management of cork oak forests, the review focuses in their statistical aspects, from the variables that are used, functional forms, fitting methods and variable selection to the analysis of the initial hypothesis and validation.

Key words: *Quercus suber*, cork oak, tree level models, stand level models.

1. Abreviaturas y unidades utilizadas en texto y tablas

AB: Área basimétrica ($m^2 ha^{-1}$)

ABD: Área basimétrica de pies descorchados ($m^2 ha^{-1}$)

ABDP: Área basimétrica de pies descorchados de la masa principal ($m^2 ha^{-1}$)

APRESS: Suma de cuadrados de residuos de predicción en valor absoluto

CALC: Calibre de corcho tras cocido (mm)

CALV: Calibre de corcho en verde (mm)

CB: Calibre de corcho calculado con los datos de CBC y CSC (mm)

CBC: Circunferencia bajo corcho (m)

CD: Coeficiente de descorche

CDM: Coeficiente de descorche medio de la masa

CDMED: Coeficiente de descorche medio del árbol

CDTOT: Coeficiente de descorche total

CSC: Circunferencia sobre corcho (m)

CV: Coeficiente de variación (%)

DC: Diámetro de copa (m)

FCC: Fracción de cabida cubierta

H: Humedad de corcho (%)

HD: Longitud máxima de descorche (m)

HDF: Longitud de descorche en fuste (m)

HDMED: Longitud media de descorche (m)

* Corresponding author: javier.vazquez@dcaf.uhu.es

Received: 06-11-08. Accepted: 24-11-08.

HDP: Longitud de descorche de ramas (m)
 HDTOT: Longitud de descorche total (m)
 HF: Longitud de fuste (m)
 ID: Intensidad de descorche
 IDM: Intensidad de descorche media de la masa
 MAPRESS: Valor medio de la suma de cuadrados de residuos de predicción en valor absoluto
 MCO: Mínimos cuadrados ordinarios
 MSE: Error medio cuadrático
 N: Número de pies por ha
 ND: Número de pies descorchados por ha
 NRD: Número de ramas principales descorchadas
 NTD: Número total de ramas descorchadas
 PCM2: Peso de corcho por metro cuadrado (kg m^{-2})
 PCM3: Densidad de corcho (kg m^{-3})
 PCS: Peso de corcho seco en estufa (kg)
 PCSA: Peso de corcho seco al aire (kg)
 PCSM2: Peso de corcho seco en estufa por metro cuadrado (kg m^{-2})
 PCV: Peso de corcho en verde (kg)
 PCHAV: Peso de corcho en verde por ha (kg ha^{-1})
 PRESS: Suma de cuadrados de residuos de predicción
 RM: Radio medio de copa (m)
 SC: Superficie de copa (m^2)
 SD: Superficie de descorche (m^2)
 SDF: Superficie descorchada en fuste (m^2)
 SDHA: Superficie de descorche por ha ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)
 SPC: Superficie de proyección de copa por ha ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)
 VIF: Factores Inflatores de la Varianza

2. Introducción

Las masas densas y adhesadas de alcornoque (*Quercus suber* L.) constituyen uno de los paisajes más característicos de la península ibérica. Las 736.700 ha de alcornocal portugués (MADRP, 2008) y las 409.025 ha de España (MAPA, 1998) representan conjuntamente un 50% de la superficie mundial de la especie. Junto con los encinares conforman los bosques más característicos de la Iberia seca, constituyendo, cuando están bien conservados, uno de los ecosistemas naturales más complejos y maduros del territorio (Blanco *et al.*, 1997). La gran extensión de este tipo de masas les confieren de por sí una importancia crucial desde el punto de vista ambiental, con los beneficios característicos de la ocupación del terreno por especies arbóreas.

Junto con la importancia determinada por su elevada representación territorial e interés ambiental, las masas

de alcornoque presentan un gran interés económico basado fundamentalmente en la producción de corcho. Portugal, con un promedio de producción de 147.000 T en el periodo 1991-2000 (INE, 2008b) es responsable del 50% de la producción mundial y España, con producción media de 76.021 T en el mismo periodo (MMA, 2006), del 25%. Las exportaciones de productos derivados del corcho supusieron unos ingresos en el año 2007 de 841 millones de euros en Portugal (INE, 2008b) mientras que el valor de la producción de corcho del año 2003 en España ascendió a 208 millones de euros (MAPA, 2004). El tejido industrial que se estructura alrededor del sector del corcho, en sus fases de extracción, preparación y transformación, permiten también la generación de unos 22.400 puestos de trabajo en Portugal (Mendes, 2002) y unos 3.000 en España (INE, 2008a), con el beneficio social que ello conlleva.

Bajo estas circunstancias, el desarrollo de modelos de estimación de la producción de corcho es importante en dos diferentes facetas:

- Motivos económicos: dado el gran peso económico y social que posee el producto es necesaria la realización de previsiones ajustadas de producción de corcho, a nivel comarcal y regional, para conocer si se pueden atender en cada momento las necesidades de la industria y el consumo interno, analizar la necesidad de importación de materia prima o la posibilidad y cuantificación de las exportaciones. El desarrollo de modelos de estimación de peso de corcho y su implementación en los inventarios forestales a nivel regional y nacional ayudan a cumplir estos objetivos. A nivel de finca también tiene gran importancia ya que permite al propietario programar su gestión económica de forma más adecuada.

- Desarrollo de modelos de gestión: dada la importancia territorial y ambiental de la especie, es necesario el desarrollo de modelos selvícolas de gestión en los que se establezcan las principales actuaciones que se deben producir a lo largo de la vida de la masa (densidad de plantación, régimen de claras, forma principal de masa, turno o edad de madurez, etc.). Para el diseño y aplicación de este tipo de actuaciones se debe tener conocimiento previo de cuál es la influencia de la estación, la competencia y las características genéticas del individuo sobre aspectos como el crecimiento diametral, la producción, el crecimiento del corcho y la calidad del mismo. Estos conocimientos deben concretarse en el desarrollo de modelos predictivos para cada una de estas características.

El conocimiento de la influencia de la competencia intra e interespecífica sobre los aspectos comentados (crecimiento diametral, producción de corcho, creci-

miento de corcho y calidad), junto con la existencia de otro tipo de aprovechamientos, como el ganadero, o funciones protectoras, recreativas, etc, permite establecer el régimen de claras más adecuado. El efecto de la competencia sobre el desarrollo del repoblado también puede ayudar, en su caso, al establecimiento de unas densidades iniciales de plantación adecuadas. Todo ello debe desembocar en el desarrollo de un modelo de simulación selvícola que integre los aspectos anteriormente mencionados.

De particular importancia es la planificación y realización de cortas de regeneración, que posibiliten la perpetuación de la masa, cuya forma y distribución dependerán de la forma principal de masa que mejor responda a los objetivos fijados, la autoecología de la especie y las características de la estación.

Todas estas actuaciones selvícolas deben articularse en el tiempo y en el espacio a través de la aplicación de métodos de ordenación adecuados (ver de Benito, 1998). Un esquema básico de cómo se integrarían todos los procesos mencionados, resaltando los más directamente relacionados con la estimación de la producción de corcho, se presenta en la Figura 1.

La falta de conocimientos necesarios para la construcción de los modelos que se presentan en la Figura 1 dificulta el desarrollo de modelos de gestión. En los últimos años se están estructurando modelos de simulación selvícola mediante la integración de modelos de crecimiento diametral y modelos de producción, crecimiento y evolución del calibre de corcho, junto con la fijación de criterios de realización de claras (e.g. Sánchez-González, 2006, Sánchez-González *et al.* 2007, Tomé *et al.*, 1998, 2001). Sin embargo, los propios autores inciden en la carencia de conocimientos básicos, ya comentada, para la construcción de los diferentes submodelos y en la necesidad de realizar investigación básica para dotarlos de base experimental.

El desarrollo e investigación de modelos predictivos de la producción de corcho es, por tanto, un eslabón necesario en el desarrollo de modelos de gestión para las masas de alcornoque. A lo largo de los años se han venido desarrollando distintos modelos para estimar el peso de corcho producido tanto a nivel de árbol individual como a nivel de masa.

3. Modelos de árbol individual

La práctica totalidad de los modelos realizados a nivel individual se basan en la definición, mediante

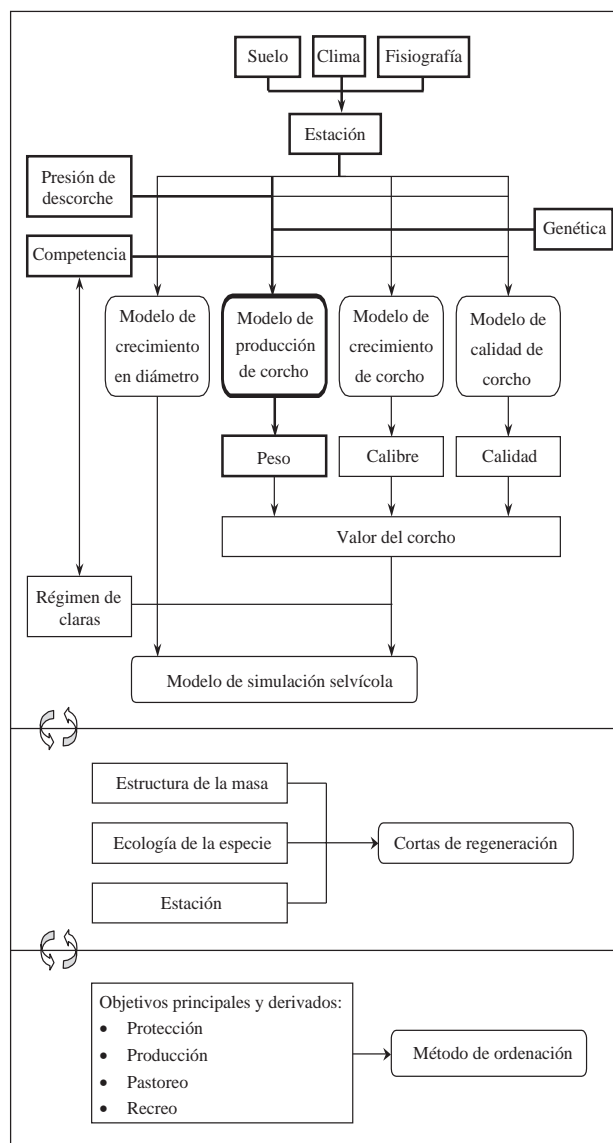


Figura 1. Esquema básico de desarrollo de un modelo de gestión para las masas de alcornoque. Se destacan aquellas partes más directamente relacionadas con los modelos de estimación de peso de corcho. Las flechas curvas indican la interrelación existente entre los diferentes niveles del modelo de gestión.

métodos estadísticos, de relaciones matemáticas entre variables dendrométricas del árbol y el peso de corcho. Una revisión de los modelos de estimación de producción de corcho por árbol individual publicados se presenta en la Tabla 1. Las características más destacadas de los modelos indicados son las siguientes:

Tabla 1. Revisión de modelos de predicción de peso de corcho por árbol individual

Referencia	Región geográfica	Nº de árboles	Variables medidas y calculadas	Modelo seleccionado y restricciones	Forma de validación
Natividade (1950)	Portugal (sin especificar)	200	CSC, HF, DC	PCV = 72,5 CSC + 3,2 HF + 0,7 DC - 54,9 PCV = 70,5 CSC + 2,7 CSC ² - 43,7 PCV = 76,9 CSC - 47,2 (Sólo para pies con dos ramas descorchadas y CD < 2,5)	No existe
Guerreiro (1951)	Chamusca	400	CSC, CBC, HD, NRD, DC, CB, CD	PCV = 36,76 CSC + 7,4 HD + 0,09 CB - 32,2 (Descorche sólo en fuste, n = 230) PCV = 46,06 CSC + 12,2 HD + 0,46 CB - 65,6	No existe
Alves (1958)	Serra de Grândola Santiago-Cercal Odemira	100	CSC, HD, HF, NRD, DC, CB, CD	PCV = 50,89 CSC + 9,7 HD + 0,07 CB - 46,47 PCV = 49,52 CSC + 9,9 HD - 47,91 (En ambos casos sólo pies con CD < 3)	No existe
Alves y Macedo (1961)	Alcácer do Sal	100	CSC, HD, HF, NRD, DC, CB, CD	PCV = 47,28 CSC + 6,5 HD + 4,49 CB - 43,23 PCV = 64,34 CSC + 7,7 HD - 58,7	No existe
Ferreira et al. (1986)	Alcácer do Sal Grândola Mora Montemor o Novo	240	CSC, CBC, CB, NRD, HDP, RM, HF, HD, HDMED, CD, CDMED, CSC · HD	PCV = -29,6 - 9,8 CSC + 0,5 CB + 8,9 RM + 4,3 NRD - 9,8 CD + 12,6 CSC × HD PCV = 1,2 + 1,16 ln(CSC) + 0,44 ln(RM) + 0,85 ln(HD) + 0,2 ln(CB)	Submuestras de ajuste y validación Cálculo de: - Suma de cuadrados de residuos de predicción - Suma de valores absolutos de residuos de predicción
Montero (1987), Montero et al. (1996)	España, dividida en 6 zonas de producción corchera	5183	CSC, CBC, CB, SPCC, HD, CD, SD, ID, PCM2, CSC × HD, CSC ² , HD ² , CSC × HD ² , CSC ² × HD	PCV = a + b (CSC × HD) PCV = a + b (CBC × HD) Diferentes coeficientes según región. Regresiones con y sin término independiente No utiliza SD al ser difícil de medir, a pesar de ser la mejor correlacionada con PCV	No existe
Gomes et al. (1990)	Mata Nacional de Valverde (Grândola) con estratificación por 3 clases de suelo	205	CSC, HD	ln(PCV) = 2,586 + 1,812 ln(CSC) + 0,625 ln(HD) para el conjunto de las unidades-suelo ln(PCV) = 2,580 + 1,782 ln(CSC) + 0,649 ln(HD) - 0,117 × U3 × ln(HD) U3 es variable indicadora con valor 1 en el caso de que el suelo sea un Gleysol	No existe
Ribeiro (1990)	Chamusca	743	CSC, HD, HF, DC, CD, CSC × HD PCV calculado según el 1º modelo en Natividade (1950)	PCV = 11,7 + 26,3 ln(CSC × HD)	No existe
Ferreira y Oliveira (1991)	Portugal, según una división en 11 zonas de estudio: Alcácer do Sal, Mora, Montemor-o-Novo, Escoural e I e II, Idanha-a-Nova, Grândola, Azaruja, Porto Alto, S. Brás de Alportel y Macedo de Cavaleiros	498	CSC, CBC, CB, NRD, HDP, RM, HF, HD, HDMED, CD, CDMED, CSC · HD	PCV = -7,7 + 13,0 CSC × HD para todo el país PCV = -6,2 + 13,0 CSC × HD para las regiones de Alcácer do Sal, Mora, Montemor-o-Novo, Escoural e Idanha-a-Nova PCV = -7,7 + 10,2 CSC × HD para las regiones de Grândola, Azaruja, Porto Alto y S. Brás de Alportel PCV = -16,9 + 15,0 CSC × HD para la región de Macedo de Cavaleiros No se utilizan CDMED y HDMED en la selección al ser más difíciles de medir	Submuestras de ajuste y validación Cálculo de residuos PRESS y APRESS en el ajuste Cálculo en la submuestra de validación de: - Media de los residuos de predicción - Suma de cuadrados de residuos de predicción - Suma de valores absolutos de residuos de predicción
Costa (1992)	Companhia das Lezírias	2573	CSC, CBC, DC, CB, NRD, NTD, HD, SC, CD, CSC × HD	PCV = -2,3 + 11,2 CSC × HD para descorche sólo en fuste PCV = -6,9 + 13,8 CSC × HD para descorche en fuste y ramas principales PCV = -15,9 + 18,0 CSC × HD para descorche en fuste, ramas principales y ramas secundarias	No existe

Tabla 1. (Cont.)

Referencia	Región geográfica	Nº de árboles	VARIABLES medidas y calculadas	Modelo seleccionado y restricciones	Forma de validación
Ribeiro (1992)	Coruche	264	CSC, CBC, CB, NRD, HDP, DC, SC, HF, HD, HDMED, HDTOT, CD, CDMED, CDTOT, SD, ID, PCM2, CSC×HD	PCV= -3,3 + 11,1 CSC×HD PCV= -1,2 + 12,2 CBC×HD PCV= 5,7 + 6,3 CSC×HDTOT PCV= -1,2 + 12,2 CBC×HDTOT La selección de la estructura de los modelos deriva de los modelos de Montero (1987) y Ferreira y Oliveira (1991)	Submuestras de ajuste y validación Cálculo en la submuestra de validación de: - Suma de cuadrados de residuos de predicción - Suma de valores absolutos de residuos de predicción
Costa (1997)	Companhia das Lezirias (Folha de Barba Esteio)	193	Mismas que Costa (1992) más PCM2	PVC= -0,87 - 0,87 CSC +19,9 CSC ² Válido para 1,5<CD< 2,0 No hay proceso de selección de variables	No existe
Costa y Oliveira (1998)	Alcácer do Sal, Grândola, Benavente, Mora	159	Mismas que Costa (1997) más H	PCS= -98,0 + 112,2 CBC para Alcácer do Sal PCS= -31,0 + 63,7 CBC para Grândola PCS= -98,0 + 43,7 CBC para Benavente PCS= -98,0 + 83,1 CBC para Mora No hay proceso de selección de variables	No existe
Fonseca y Parresol (2001)	Norte de Portugal	205	CSC, CBC, CB, HF, HDTOT, DC, CSC ² , CBC ² , CSC×HDTOT, CBC×HDTOT	PVC= 0,6183 exp(CSC×HDTOT) ^{0,2183}	No existe
Ribeiro y Tomé (2002)	Coruche (Machoeira do Grou, Pocilgais, Vale Mouro)	184	CSC, CBC, NRD, HDF, HD, HDMED, CD, CDMED, SDF, SD, CBC×HD, PCM2, CALC	Utilización antes del descorche, de menor a mayor dificultad de medición: ln(PCSA)= 2,37+2,27 ln (CSC)+0,44 ln (HDF) ln(PCSA)= 2,16+1,58 ln (CSC)+0,51 ln (NRD+1)+0,67 ln (HDF) ln(PCSA)= 2,01+0,75 ln (CSC ² ×HD)+0,08 (NRD+1) ln(PCSA)= 2,01+0,75 ln (CSC ² ×HDTOT)+0,15 HDF Utilización después del descorche, de menor a mayor dificultad de medición: ln(PCSA)= 3,01+2,00 ln (CBC) ln(PCSA)= 2,75+1,92 ln (CBC)+0,47 ln (HDF) ln(PCSA)= 2,21+0,96 ln (CBC×HDF)+0,65 ln (NRD+1) ln(PCSA)= 2,33+0,66ln (CBC ² ×HD)+0,09 (NRD+1) ln(PCSA)= 1,83+0,83 ln (SD)+0,31 ln (CBC)+0,45 ln (CALC) ln(PCSA)=1,85+0,60 ln (CBC ² ×HD)+0,44 ln(CALC)+0,25ln (HDF)	Submuestras de ajuste y validación. Asignación aleatoria a las submuestras con dos repeticiones. Cálculo en la submuestra de validación de: - Media de los residuos de predicción. - Suma de valores absolutos de residuos de predicción. - Porcentaje de variación explicada por el modelo. - Percentiles - Gráficos valores predichos vs. valores estimados
Vázquez (2002)	Portugal, en 5 regiones de las utilizadas en Ferreira y Oliveira (1991): Escoural I y II, Azaruja, Porto Alto, São Bras de Alportel	251	- Variables dendrométricas y en muestras de corcho: CSC, CBC, HF, NRD, HF, HDF, CB, HD, HDMED, HDTOT, CD, CDMED, CDTOT, SD, ID, SC, CALV, CALC, PCM2, PCSM2, PCM3, H - Coordenadas de los árboles - Variables climáticas: 24 variables climáticas obtenidas a partir de datos mensuales de precipitación y temperatura. - Variables edáficas: 17 parámetros físico-químicos - Variables edafo-climáticas: 4 parámetros obtenidos de fichas hídricas - Variables de competencia: 720 índices dependientes e independientes de la distancia	- Uso de PCS como variable dependiente - Selección de variables mediante cálculo de 10 criterios de ajuste, multicolinealidad y predictivos combinados en un algoritmo de puntuación - Modelos mixtos con efectos aleatorios a nivel región, parcela y árbol. - Lineales por transformación logarítmica - Clasificación de los modelos según dificultad de medición de las variables con selección de 13 modelos: - 7 incluyen variables medidas en muestra de corcho - 2 requieren la medición de todas las longitudes de descorche - 4 requieren la medición de la altura de descorche	Submuestras de ajuste y validación. Asignación aleatoria a las submuestras con cien repeticiones. Cálculo de 20 estadísticos de validación. Combinación de los estadísticos en un algoritmo de puntuación.

Tabla 1. (Cont.)

Referencia	Región geográfica	Nº de árboles	VARIABLES medidas y calculadas	Modelo seleccionado y restricciones	Forma de validación
Vázquez y Pereira (2005)	Misma que Vázquez (2002)	251	- Sólo variables dendrométricas y de muestras de corcho de Vázquez (2002)	Igual que Vázquez (2002)	No presentado

3.1. Variable dependiente

La gran mayoría de los modelos utilizan Peso de corcho verde (PCV), que se obtiene directamente por pesada de la totalidad de corcho producido por árbol, inmediatamente después de realizado el descorche. Ribeiro y Tomé (2002) utilizan Peso de corcho seco al aire (PCSA) tras un período de 10-15 días de reposo en la zona de extracción y únicamente Costa y Oliveira (1998) y Vázquez (2002) utilizan PCS (Peso de corcho seco en estufa), tras el cálculo de la humedad de una muestra de corcho mediante secado en estufa a 100 ± 5°C durante 6 días.

La humedad del corcho recién extraído es extraordinariamente variable y depende de características como las condiciones climáticas en el momento de la extracción y en días previos, la actividad vegetativa, características genéticas y características propias del corcho, etc. González-Adrados *et al.* (1993) indican coeficientes de variación (CV) en la humedad de corcho recién extraído de un 27,8 % y valores medios de humedad de 34,2% en 50 muestras de corcho de Cataluña. Costa (1997) indica valores del CV para muestras en Alcácer do Sal, Grândola y Mora de 36,3, 42,2 y 21,2% para valores medios de humedad de 31,1, 21,1 y 24,1% respectivamente, mientras que Vázquez (2002) indica valores del CV de hasta un 42% en muestras con contenido medio de humedad del 32% en masas situadas en S. Brás de Alportel (Portugal).

En los primeros días tras el descorche las panas de corcho disminuyen su contenido en humedad muy rápidamente, aunque dicho descenso está muy influenciado por las condiciones de temperatura y humedad existentes: Claudot *et al.* (1970) refieren un descenso de valores de humedad de corcho desde 33,7% hasta 10,1% en tan solo 5 días del mes de Julio en la Mamora occidental, y el mantenimiento de estos valores en los meses posteriores. González-Adrados *et al.* (1993) indican descensos desde valores medios 34,2% a 29,0% en un día y a 16,8% en ocho días en Cataluña,

con condiciones menos extremas que en el caso marroquí. Torres y Montero (2000) ofrecen datos de la humedad de distintos lotes de corcho después de períodos de 6 a 24 días tras el descorche, en alcornocales de Cortes de la Frontera (Málaga, España). La humedad disminuye desde el 26,8 % a los 6 días del descorche hasta un 13% a los 24 días. La importancia de conocer cómo varía la humedad del corcho en función de la temperatura y la humedad atmosférica ha llevado a la investigación de ecuaciones de equilibrio que relacionen estas tres variables (Gil y Cortiço, 1998; González-Adrados y Calvo, 1994).

El contenido en humedad del corcho tiene mucha importancia en las transacciones comerciales, que toman como referencia el corcho comercialmente seco (con una humedad máxima del 14% en Portugal (NP-1044, 1994) y del 15% en España (UNE 56915, 1988). Por tanto, el cálculo de las producciones de corcho se debe realizar para valores homogéneos de humedad. Como se ha indicado, estas condiciones no se verifican en absoluto cuando se emplea la variable PCV. El uso de PCSA es más adecuado que el anterior y el contenido de humedad presentará una menor variabilidad entre muestras, pero será un valor desconocido que dependerá de las condiciones ambientales y tiempo transcurrido desde el descorche. La única solución que permite homogeneizar el peso de corcho producido es el cálculo de la humedad del mismo por secado de muestras en estufa, que permite la reducción a PCS. Conocido el peso seco en estufa se puede calcular el peso de corcho a cualquier otra humedad de referencia, aunque existe el inconveniente de que es necesario realizar un muestreo del corcho producido para su obtención.

3.2. Variables independientes

Todos los modelos se basan en la elección y medición de variables dendrométricas que definen al árbol como productor de corcho, aunque Vázquez (2002)

incluye también variables edafoclimáticas y de competencia.

La producción de corcho a nivel individual depende fuertemente de dos fuentes de variación: el tamaño del árbol y la gestión aplicada al descorche. En el alcornoque, los criterios de gestión tienen una extraordinaria importancia ya que variando únicamente la superficie de descorche del árbol se varía la cantidad de corcho que éste produce. Así, el impacto de las decisiones de gestión a nivel árbol con relación a la producción de corcho es mucho más directa e importante que el impacto que puede tener la gestión sobre la producción de madera de una determinada especie maderable. Los modelos deben reflejar, por tanto, la gestión del descorche incluyendo alguna variable independiente que lo exprese, como la superficie de descorche o variables más simples que aproximen ésta.

Las variables empleadas por los autores se pueden agrupar según su complejidad de medición en los siguientes grupos:

- Las variables circunferencia sobre corcho (CSC), circunferencia bajo corcho (CBC), calibre (CB), calculado con los datos anteriores y número de ramas descorchadas (NRD) son las más sencillas y entran dentro de las variables medidas o calculadas en todos los modelos. Por razones de simplicidad algunos modelos se basan exclusivamente en ellas (Costa, 1997; Costa y Oliveira, 1998; Natividade, 1950; Ribeiro y Tomé, 2002).

- La medición de la longitud descorchada en fuste (HDF) y la longitud de fuste (HF) supone un grado más de complejidad y, junto a las variables anteriores, permite definir varios modelos (un modelo de Guerreiro, 1951 y dos modelos de Ribeiro y Tomé, 2002).

- Medición de la longitud máxima de descorche (HD), denominada normalmente altura de descorche, que coincide con HDF en el caso de descorche sólo en fuste. Permite el cálculo del coeficiente de descorche (CD). A partir del trabajo de Ferreira *et al.* (1986) y Montero (1987) las combinaciones de la variable HD con CSC o CBC mediante simple producto o producto de potencias son de las más utilizadas como compromiso entre simplicidad y aproximación a la superficie de descorche real. A este nivel de complejidad se definen la mayoría de los modelos de producción de corcho desarrollados: un modelo de Guerreiro (1951), uno de Alves (1958) y de Alves y Macedo (1961), los modelos de Costa (1992), Ferreira y Oliveira (1991), Gomes *et al.* (1990), Ribeiro (1990), Ribeiro (1992) y la mayoría de los presentados por Ribeiro y Tomé (2002).

- Medición de variables referentes a las dimensiones de copa, que permiten el cálculo de superficies de copa. Aparecen como variable de menor importancia en un modelo de Natividade (1950), en Ferreira *et al.* (1986) y en un modelo de Vázquez (2002).

- Medición de las longitudes de descorche de todas las ramas descorchadas, que posibilita el cálculo de la altura de descorche total (HDTOT), como suma de la de fuste y todas las ramas, de la altura de descorche media (HDMED), como suma de la de fuste y valor medio en ramas y los respectivos coeficiente de descorche “total” (CDTOT) y coeficiente de descorche “medio” (CDMED). Los modelos que utilizan estas variables son mucho más reducidos y aparecen en Fonseca y Parresol (2001), Ribeiro (1992) y Vázquez (2002).

- Medición de parámetros que permiten el cálculo de la superficie de descorche (SD) y de la intensidad de descorche (ID). Estas mediciones son mucho menos comunes por su mayor complejidad apareciendo sólo en Montero (1987), Ribeiro (1992), Ribeiro y Tomé (2002) y Vázquez (2002). En los dos primeros casos son descartadas para el proceso de selección de variables por la dificultad de medición.

- En escasas ocasiones se realiza también la extracción de una muestra de corcho, normalmente a la altura de 1,3 m, para la medición de algunas variables. Costa y Oliveira (1998) y Vázquez (2002) calculan la humedad de corcho tras secado en estufa (H) que permite el cálculo del peso total de corcho seco en estufa. Ribeiro y Tomé (2002) y Vázquez (2002) miden el calibre tras el proceso de cocido (CALC). Vázquez (2002) mide además el peso de corcho por metro cuadrado (PCM2) y la densidad (PCM3).

3.3. Naturaleza y estructura del muestreo

La unidad de muestreo, dadas las características de los modelos, es el árbol. No se realiza normalmente muestreo aleatorio simple ni sistemático debido a que la medición de la variable dependiente (peso de corcho) y alguna de las variables independientes únicamente se pueden obtener en el año y momento del descorche. Este tipo de muestreo podría realizarse restringiéndolo al área en la que se va a producir el descorche en ese año. Sin embargo, la existencia de áreas de descorche anuales, que es predominante en España, se da con muy poca frecuencia en Portugal, donde continúa predominando la entresaca corchera. En la mayoría de los casos se recurre a muestreos no probabilísticos, denominados

intencionales o de selección orientada, en el que la elección de la localización de la muestra depende de criterios propios, que normalmente no aparecen especificados. Ribeiro (1992), en cambio, toma una submuestra dentro de un muestreo sistemático estratificado en el que mide las variables necesarias para la elaboración de los modelos predictivos.

La mayoría de los modelos presentados tienen una estructura de muestreo anidada según el esquema: árboles dentro de parcelas (o cantones o localidades) dentro de regiones. En algunos casos las estimaciones se restringen a áreas geográficas bastante limitadas por lo que la estructura se reduce a árboles dentro de parcelas (Costa, 1992, Costa, 1997, Ribeiro, 1990, Ribeiro, 1992). En ocasiones la estructura de parcela desaparece o, al menos, no se especifica agrupándose los árboles-muestra por cantones (Ribeiro y Tomé, 2002), o por localidades (Alves, 1958, Alves y Macedo, 1961, Fonseca y Parresol, 2001), sin indicar su homogeneidad o superficie. Las parcelas en las que se basan los modelos de Costa (1997), Costa y Oliveira (1998), Ferreira *et al.* (1986) y Ferreira y Oliveira (1991) no tienen entidad como tal, consistiendo en un número cercano a 20 pies descorchados en un mismo año, sobre una superficie no especificada. Gomes *et al.* (1990) realizan una estratificación según las características edáficas, agrupando los pies según tres unidades de suelo, mientras que Ribeiro (1990), en su estudio comparativo sobre métodos de muestreo, agrupa las parcelas según su densidad (medida en pies \times ha $^{-1}$).

3.4. Naturaleza funcional de los modelos

La mayor parte de los modelos utilizados son lineales, entrando las variables independientes de forma simple o, como mucho, combinadas mediante producto de potencias. Como se ha indicado, la combinación más frecuente es el producto CBC o CSC con HD y, en ocasiones, HDTOT. En algunas ocasiones se procede a la transformación logarítmica de las variables independientes (Ferreira *et al.*, 1986; Ribeiro, 1990; Vázquez, 2002) o a la doble transformación logarítmica de variables dependientes e independientes (Gomes *et al.*, 1990, Ribeiro y Tomé, 2002) con objeto de reducir la heteroscedasticidad apreciable en los residuos o porque se aprecia la existencia de relaciones alométricas entre variables dependientes e independientes. Ferreira *et al.* (1986) indican un mejor comportamiento de los modelos con transformación logarítmica en el proceso de

validación pero posteriormente Ferreira y Oliveira (1991) no aprecian ventajas sobre los modelos sin transformar pese a utilizar en parte los mismos datos.

Ribeiro y Tomé (2002) tienen en consideración en el período de preselección modelos con variables sin transformar, con transformación doble logarítmica y modelos no lineales de naturaleza alométrica, quedando seleccionados los segundos en la fase de validación. El único modelo no lineal seleccionado para estimar la producción de corcho, de naturaleza exponencial, corresponde a Fonseca y Parresol (2001).

El peso de corcho de un determinado árbol se puede calcular considerando las siguientes identidades (modificado de Montero (1987)):

$$\begin{aligned} PC &= SDE \cdot CAL \cdot DENS = \frac{CBCE^2}{4} \cdot IDE \cdot CAL \cdot DENS = \\ &= SDE \cdot PCSD = \frac{CBCE^2}{4} \cdot IDE \cdot PCSD \end{aligned} \quad (1)$$

siendo PC el peso de corcho (magnitud física fundamental: M), SDE la superficie exacta de descorche (L²), CAL el calibre del corcho (L), DENS la densidad del corcho (ML⁻³), PCSD el peso de corcho por superficie descorchada (ML⁻²), CBCE la circunferencia normal bajo corcho exacta (L), e IDE la intensidad de descorche exacta (adimensional).

El conocimiento exacto de todas las variables que conforman cada una de las identidades permitiría conocer con toda exactitud la producción de corcho del individuo. Sin embargo, debido a la existencia de errores de medición, la estimación del peso de corcho de un determinado árbol *j* sería, en el caso de la segunda igualdad de la expresión 1:

$$PC_j = aCBC^b \cdot ID^c \cdot CAL^d \cdot PCM3^f \cdot e_j \quad (2)$$

con *a, b, c, d* y *f* coeficientes y *e* término de error.

La expresión 2 indica claramente la relación alométrica existente entre las variables independientes utilizadas habitualmente y la variable peso de corcho. Pese a ello la utilización de esta forma funcional ha sido, como se ha indicado, muy escasa y tradicionalmente se ha prestado mucha más atención a los modelos lineales “puros”. En este caso, los modelos lineales estrictos van a presentar una clara heteroscedasticidad: cuando el tamaño del individuo aumenta el error en la estimación de la superficie de descorche también va a aumentar, especialmente si la superficie de descorche es estimada a través de variables más simples ya que la variabilidad en la intensidad de descorche practicada y el número de ramas descorchadas es mayor en árboles grandes.

3.5. Ajuste de modelos y estadísticos

Todos los modelos lineales o linealizados a partir de expresiones alométricas, excepto en Vázquez (2002), se ajustan por mínimos cuadrados ordinarios (MCO).

Los estadísticos de ajuste más comúnmente presentados son el coeficiente de determinación (R^2) y la suma del cuadrado de los residuos o su valor medio (MSE), que aparecen en todos los modelos analizados. También es frecuente la aparición del valor de F de Snedecor en el análisis de varianza de la regresión. El valor de R^2 ajustado por grados de libertad (R^2 -Adj) es menos referido, apareciendo únicamente en Ferreira *et al.* (1986), Ferreira y Oliveira (1991), Montero (1987), Ribeiro y Tomé (2002), Ribeiro (1992), aunque en todas las regresiones con una única variable independiente su valor es igual a R^2 . El estadístico Cp de Mallows (Kutner *et al.*, 2005, p. 357) es utilizado como criterio de ajuste en Ferreira *et al.* (1986), Ferreira y Oliveira (1991), Montero (1987) y Ribeiro y Tomé (2002).

Utilizados también como criterio en la fase de ajuste, aunque también tiene carácter de estadístico de validación, son la suma de cuadrados de residuos de predicción (PRESS) y el valor absoluto de residuos de predicción (APRESS), que aparecen en Ferreira *et al.* (1986) y Ferreira y Oliveira (1991), o el valor medio del valor absoluto de los residuos de predicción (MAPRESS), que se indica en Ribeiro y Tomé (2002).

Los modelos no lineales construidos son ajustados por mínimos cuadrados no lineales. Ribeiro y Tomé (2002) utilizan el método de Gauss-Newton mientras que Fonseca y Parresol (2001) no lo indican. Como índices de ajuste, Fonseca y Parresol (2001) indican el valor de R^2 para regresiones no lineales recomendado por Kvålseth (1985) y el valor de MSE, mientras que Ribeiro y Tomé (2002) indican el valor de MAPRESS y un valor no especificado de R^2 .

Vázquez (2002), que utiliza modelos mixtos lineales con efectos aleatorios anidados a nivel región y parcela y con efectos fijos medidos a nivel árbol (covariables dendrométricas, variables medidas en muestra de corcho y de competencia) y parcela o región (covariables edáficas y climáticas) estima los componentes de la varianza por Máxima verosimilitud restringida o Residual y los coeficientes de los efectos fijos por mínimos cuadrados generalizados utilizando como criterio de selección entre modelos el valor de -2 veces el logaritmo de verosimilitud de la muestra.

Como se ha indicado, la práctica totalidad de los modelos lineales de producción de corcho se han ajus-

tado por MCO. Sin embargo, para que los estimadores de los coeficientes de regresión lineal obtenidos por MCO alcancen la categoría de estimadores insesgados de varianza mínima, se deben verificar las hipótesis de independencia de los residuos de las observaciones y de distribución de los mismos según una $N(0, \sigma^2)$ –Myers (1986)–.

Sobre la hipótesis de homogeneidad de la varianza u homoscedasticidad ninguno de los modelos analizados ofrece información cuantitativa de la verificación de la misma a través de la realización de algún test estadístico y únicamente Ribeiro y Tomé (2002) ofrecen información gráfica de la relación entre los residuos estimados de predicción y el valor estimado del peso de corcho, apreciándose cierta tendencia a la heteroscedasticidad. Fonseca y Parresol (2001) indican una “débil tendencia heteroscedástica”, que no cuantifican ni expresan mediante relaciones gráficas, aunque indican que se experimentó el ajuste de un modelo de error multiplicativo a los residuos que no resultó significativo, por lo que no se realizó regresión ponderada. Ferreira *et al.* (1986) indican que los gráficos entre variable dependiente e independientes sugieren la existencia de relaciones alométricas, que experimentan mediante la transformación logarítmica de las variables independientes, aunque no explican el comportamiento de los residuos en las regresiones logarítmicas resultantes. Vázquez (2002) aplica igualmente transformación logarítmica de las variables independientes y comprueba la homoscedasticidad de los modelos resultantes mediante el test de White y análisis gráfico. Gomes *et al.* (1990) y Ferreira y Oliveira (1991) únicamente indican un comportamiento “satisfactorio” de los residuos. Como se ha indicado antes, todos los modelos lineales “puros” van a mostrar heteroscedasticidad debido a la relación alométrica existente entre variables independientes y la variable dependiente y el ajuste por MCO no va a ser correcto.

Ningún modelo analizado, excepto Vázquez (2002), realiza comentarios sobre si se considera adecuada la hipótesis de independencia de los residuos, ignorando la posible presencia de correlación espacial. Su existencia conduce a una estimación sesgada de la varianza residual y una estimación ineficiente de los parámetros de la regresión si se utiliza el método de MCO (Cliff y Ord, 1981).

Este fenómeno puede estar presente a diferentes escalas espaciales (Gilbert y Lowell, 1997): a pequeña escala (escala árbol) se puede esperar la presencia de correlación negativa debido al efecto depresor sobre la producción de corcho que puede tener efecto de la com-

petencia intraespecífica. A escala de parcela, rodal o escala regional se puede esperar la existencia de correlación positiva, debido a la presencia de características homogéneas de la estación (climáticas, edáficas, fisiográficas) que afectan por igual al conjunto de individuos. Dada la estructura normalmente anidada de los muestreos, ya comentada, se producirá dentro de cada parcela una superposición de correlaciones positivas debidas a la incidencia común de la estación y negativas, por efecto de la competencia. De esta forma, cualquier modelo estimado por MCO que proporcione estimaciones insesgadas del valor medio de peso de corcho pero presente correlación entre los residuos proporcionará estimaciones menos precisas que en el caso de residuos independientes. Así, en general, el tener en cuenta la dependencia entre residuos sirve para reducir la varianza residual y la correlación entre residuos, sin que por ello las estimaciones de los parámetros cambien mucho. Sin embargo, las estimaciones de los parámetros son mejores, porque tienen menores errores estándar y porque el método de mínimos cuadrados ha sido aplicado correctamente, ya que las hipótesis de regresión han sido satisfechas (Bates y Watts, 1988). Vázquez (2002) considera la correlación espacial en la estructura de muestreo considerando factores aleatorios anidados a nivel región y parcela. Sin embargo, no analiza la posible correlación espacial existente entre individuos que se encuentran dentro de la misma parcela.

3.6. Selección de variables independientes

Algunos modelos analizados (Costa, 1997; Costa y Oliveira, 1998; Natividade, 1950) no realizan ningún proceso de selección de variables independientes, utilizando únicamente variables de muy sencilla medición (CBC o CSC), con objetivos eminentemente prácticos. Otros autores (Costa, 1992; Fonseca y Parresol, 2001; Gomes *et al.*, 1990; Ribeiro, 1990; Ribeiro, 1992) utilizan estructuras y variables estudiadas en modelos anteriores –fundamentalmente en Ferreira *et al.* (1986) y Montero (1987)–. En algunos de los modelos antiguos (Alves, 1958; Alves y Macedo, 1961; Guerreiro, 1951) se comparan distintos subconjuntos de regresores seleccionando aquel o aquellos que dan lugar a un mejor ajuste, según los criterios ya comentados.

En el resto de modelos es común una fase inicial de preselección de variables mediante análisis de correlación del peso de corcho con las variables independientes (Ferreira *et al.*, 1986; Ferreira y Oliveira, 1991,

Montero, 1987, Ribeiro y Tomé, 2002). Algunos autores eliminan en esta fase no sólo las variables que presentan una menor correlación con la variable dependiente sino algunas de medición más compleja: Montero (1987) elimina SD, Ferreira *et al.* (1986) y Ferreira y Oliveira (1991) eliminan CDMED y HDMED. Las variables que entran finalmente en el modelo se incluyen por regresión paso a paso (Montero, 1987) o utilizando todas las regresiones posibles (Ferreira *et al.*, 1986, Ferreira y Oliveira, 1991, Ribeiro y Tomé, 2002, Vázquez, 2002).

3.7. Análisis de multicolinealidad

La existencia de correlación entre variables independientes que formen parte del modelo, si bien no afecta a las propiedades de ajuste ni forma parte de las hipótesis iniciales en el ajuste por MCO, sí afectan gravemente a sus propiedades predictivas debido al impacto que causan en la matriz de varianzas-covarianzas de los coeficientes estimados (Myers, 1986).

Gran parte de los modelos revisados, que tienen un objetivo eminentemente práctico, únicamente presentan una variable independiente por lo que es innecesario prestar atención a este aspecto. Sin embargo, cuando ha existido un proceso de selección de variables y es necesario disponer de criterios de selección se debe tener en cuenta este hecho. Únicamente aparecen referencias al tratamiento de este aspecto en Ferreira y Oliveira (1991), Ribeiro y Tomé (2002) y Vázquez (2002). En el primer caso se calculan los factores inflatores de la varianza (VIF) sobre una preselección de modelos aunque no se indican sus valores ni se establecen valores de corte. En el segundo se decide no incluir regresiones con más de cinco variables independientes, pero no se indica ni se cuantifica si entre las regresiones seleccionadas alguna presenta problemas de multicolinealidad. Vázquez (2002) descarta las regresiones con $VIF > 5$.

3.8. Proceso de validación

Pese a que todos los modelos analizados tienen una función eminentemente predictiva, únicamente Ferreira *et al.* (1986), Ferreira y Oliveira (1991), Ribeiro y Tomé (2002), Ribeiro (1992) y Vázquez (2002) realizan algún proceso de validación. En los cuatro casos se efectúa una validación cruzada dividiendo la muestra en submuestras de ajuste y validación y ajustando posteriormente el modelo seleccionado con la totalidad de los

datos. El proceso de validación cruzada es repetido una (Ferreira *et al.*, 1986; Ribeiro, 1992), dos (Ribeiro y Tomé, 2002) tres (Ferreira y Oliveira, 1991) y cien veces (Vázquez, 2002) utilizando distintos criterios de validación. Vázquez (2002) comprueba la calidad de la estimación en divisiones de los grupos de ajuste y validación por clases diamétricas o por diferentes intensidades de descorche para indicar posibles deficiencias de los modelos en grupos específicos de datos.

3.9. Influencia de las características de la estación

La influencia de las características de la estación sobre la producción de corcho se reconoce explícitamente en los modelos construidos para regiones extensas o heterogéneas mediante el cálculo de distintas ecuaciones para distintas regiones. Sin embargo, en algunos casos no se suele indicar si las expresiones regionales obtenidas son significativamente distintas entre sí (Costa y Oliveira, 1998; Montero, 1987). Ferreira y Oliveira (1991) agrupan las once expresiones obtenidas para distintas regiones de Portugal en tres mediante la utilización de variables indicadoras, pero no se indica a qué factores pueden deberse las diferencias encontradas entre estas tres regiones.

Una aproximación más cercana, aunque también cualitativa, a la relación entre la producción de corcho y las características edáficas de la estación se encuentra en Gomes *et al.* (1990), donde se indica la disminución significativa de producción de corcho que se produce en suelos hidromórficos tipo Gleysol. Vázquez (2002) sí que realiza una aproximación cuantitativa de la influencia de variables edáficas, climáticas y edafoclimáticas en la producción de corcho.

3.10. Influencia de la competencia

Pese a la importancia que tiene la competencia entre individuos en el crecimiento de las especies forestales y en el crecimiento y producción de corcho sólo Vázquez (2002) analiza este hecho a través del cálculo e inclusión en los modelos analizados de índices de competencia dependientes e independientes de la distancia. El conocimiento de esta influencia es básica tanto para fijar los programas de claras como para establecer, en su caso, las densidades iniciales de plantación más adecuadas.

Una revisión de las distintas propuestas de regulación de la densidad de las masas de alcornoque a lo largo de

su evolución puede encontrarse en Torres (1995). Este autor indica, sin embargo, que las densidades propuestas por los distintos autores carecen de base experimental sólida y se basan fundamentalmente en planteamientos teóricos o apreciaciones personales.

3.11. Objetivos de los modelos

La gran mayoría de los modelos tienen un objetivo eminentemente práctico y se centran únicamente en la obtención de expresiones que incluyan variables de fácil medición. Algunos autores, aunque realizan la medición de variables más complejas como SD (Montero, 1987), CDMED, HDMED (Ferreira *et al.*, 1986; Ferreira y Oliveira, 1991) las descartan antes de iniciar el proceso de selección. Únicamente Ribeiro (1992), Ribeiro y Tomé (2002) y Vázquez (2002) incluyen modelos con variables más complejas (HDTOT en el primer caso; HDTOT y SD en el segundo; HDTOT, SD y variables medidas en muestra de corcho en el tercero) que dan lugar a estimaciones más precisas y que pueden ser muy útiles cuando el objetivo principal sea la obtención del peso de corcho en parcelas de investigación. En este sentido resulta muy útil la obtención simultánea de varios modelos, clasificados según la dificultad de medición de las variables independientes, que permita elegir el más adecuado según el objetivo principal (inventario o investigación), tal como los presentados por Ribeiro y Tomé (2002) o Vázquez (2002).

4. Modelos de masa

Los modelos de estimación de peso de corcho basados en la medición de variables de masa están menos extendidos que el desarrollo de modelos de árbol individual. Los modelos desarrollados se indican en la Tabla 2. Sus principales características, siguiendo el mismo esquema que en el caso anterior, se indican a continuación.

4.1. Variable dependiente

En todas las ecuaciones ajustadas se utiliza peso de corcho inmediatamente después de la extracción (PCHAV), con los problemas que ello conlleva, ya indicados al comentar los modelos de árbol individual. Torres (1995) realiza el pesaje el día del descorche y

Tabla 2. Revisión de modelos de predicción de peso de corcho con variables de masa

Referencia	Región geográfica	Nº de parcelas	Variables de masa medidas y calculadas	Modelo seleccionado y restricciones	Forma de validación
Madureira (1981)	Companhia das Lezírias (Porto Alto, Portugal)	203	N, SPC	PCHAV = -4,81 + 0,93 SPC Aplicación principalmente para SPC < 2000 m ² ha ⁻¹	No existe
Montero y Grau (1988)	Santa Coloma de Farnés (Girona, España)	18	N, AB, SDHA, IDM, PCM2, SPC	PCHAV = -150,2 + 298,8 AB Aplicación sólo en el intervalo de AB = (8,5-14,6 m ² ha ⁻¹) PCHAV = -85,1 + 142,8 SPC Aplicación sólo en el intervalo de SPC=(3485-5960 m ² ha ⁻¹)	No existe
Montero <i>et al.</i> (1991)	Cortes de la Frontera (Málaga, España)	21	N, AB, SDHA, IDM, PCM2, SPC	PCHAV = 124,25 + 433,53 AB Aplicación sólo en el intervalo de AB = (4,6-25,4 m ² ha ⁻¹)	No existe
Costa (1992)	Companhia das Lezírias (Porto Alto, Portugal)	451	N, AB, CSCxHD, PCM2, SPC	PCHAV = -98,177 + 315,87 AB PCHAV = -47,37 + 12,93 CSCxHD	No existe
Torres (1995)	Cortes de la Frontera (Málaga, España)	75	N, ND, AB, ABD, ABDP, SDHA, IDM, CDM, CB, PCM2, FCC	PCHAV = 1057,41 + 137,09 AB para IDM < 25 PCHAV = 1825,23 + 195,36 AB para IDM > 25 PCHAV = 685,14 + 173,88 ABD para IDM < 25 PCHAV = 643,49 + 277,78 ABD para IDM > 25 PCHAV = 688,61 + 171,42 ABDP para IDM < 25 PCHAV = -949,70 + 393,93 ABDP para IDM > 25	No existe

quince días después, que sería un valor aproximado del peso de corcho seco al aire, aunque utiliza PCHAV en el ajuste de los modelos.

La mejor solución radicaría en pesar el corcho pasados al menos quince días, cuando la humedad del corcho se ha reducido y homogeneizado considerablemente y obtener simultáneamente por muestreo algunas piezas de corcho de la parcela para el cálculo de la humedad, deduciéndose posteriormente el peso de corcho seco en estufa de la totalidad de la parcela.

4.2. Variables independientes

Las variables de masa que influyen más directamente en la producción de corcho por hectárea se pueden extraer de la identidad definida por Montero y Grau (1988):

$$PC = SD \cdot PCM2 = AB \cdot IDM \cdot PCM2$$

con PC: Peso de corcho (kg ha⁻¹); IDM: Intensidad de descorte media de la masa = SD (Superficie de descorte (m² ha⁻¹)/AB (Área basimétrica (m² ha⁻¹)); PCM2: Peso de corcho por metro cuadrado de superficie descorchada (kg m⁻²).

En la que:

- El área basimétrica (AB) refleja la densidad de la masa, fundamentalmente determinada por los tratamientos selvícolas. En aquellas masas muy poco inter-

venidas sería un indicador de la calidad de estación, pero este tipo de rodales son en general poco frecuentes.

- La intensidad de descorte media (IDM=SD/AB) refleja la presión de descorte a la que se somete la masa, característica de la gestión que se realiza, pero normalmente desconocida. Su cálculo es muy sencillo en el caso de que todos los pies de la masa se sometieran a la misma intensidad de descorte (ID):

$$IDM = \frac{SD}{AB} = \frac{\sum_{i=1}^n SD_i}{\sum_{i=1}^n SN_i} = \frac{\sum_{i=1}^n SN_i \cdot ID_i}{\sum_{i=1}^n SN_i} = \frac{ID \cdot \sum_{i=1}^n SN_i}{\sum_{i=1}^n SN_i} = ID$$

con SN: Sección normal bajo corcho (m²)

Este hecho se va a dar con mayor frecuencia en masas con estructura regular y distribución superficial homogénea. A medida que aumenta la irregularidad de la masa y debido a que los árboles jóvenes suelen soportar una mayor intensidad de descorte que los adultos (Montero, 1987, Montero *et al.*, 1991, Montero y Grau, 1988) el cálculo de IDM se complica:

$$IDM = \frac{SD}{AB} = \frac{\sum_{i=1}^n SD_i}{\sum_{i=1}^n SN_i} = \frac{\sum_{i=1}^n SN_i \cdot ID_i}{\sum_{i=1}^n SN_i}$$

En este caso la expresión no admite mayor simplificación y el cálculo exacto exigiría la medición de SD en todos los pies. Como aproximaciones a IDM cuando se

da esta circunstancia Montero y Grau (1988) proponen el cálculo de expresiones que relacionen IDM con variables de medición sencilla como la altura de descorche (HD). Obteniendo estas expresiones por clases diamétricas, dentro de las cuales IDM permanece más constante, el peso de corcho para la clase diamétrica i se calcularía:

$$PC_i = AB_i \cdot IDM_i \cdot PCM2$$

Montero y Grau (1988) indican expresiones para la relación entre HD con IDM para 5 regiones españolas, aunque utilizando los datos de todas las clases diamétricas conjuntamente y obteniendo, por tanto, un IDM hipotético que podría utilizarse únicamente en el caso de que todos los pies recibiesen la misma intensidad de descorche.

- El peso de corcho por metro cuadrado de superficie descorchada (PCM2) se considera una variable influenciada básicamente por las características de la estación (Montoya, 1985).

Las variables finalmente utilizadas en los distintos modelos se basan en la simplificación de esta identidad o en la utilización de alguna variable correlacionada con alguno de los factores de esa ecuación. La más utilizada por su simplicidad y su sentido biológico es el área basimétrica (AB) (Costa, 1992; Montero *et al.*, 1991; Montero y Grau, 1988; Torres, 1995). Torres (1995) utiliza también como variable independiente el área basimétrica de los pies descorchados (ABD) y el área basimétrica de lo que denomina masa principal (ABP), obtenida sin contabilizar los pies añosos de grandes dimensiones que poseen una escasa producción de corcho en relación a su tamaño. Teniendo en cuenta la identidad de Montero y Grau (1988) el AB va a ser un mejor reflejo de la producción de corcho por hectárea si:

- Las características de la estación son homogéneas en el ámbito geográfico donde se implanta la red de parcelas de toma de datos. En este caso la variabilidad de PCM2 será, en principio, pequeña.

- La presión de descorche es similar en toda el área de toma de datos, con lo que IDM se mantiene aproximadamente constante. Como se indicó, este hecho tiene más probabilidades de ocurrir si la masa tiene estructura regular.

Cuanto menor sea el grado de cumplimiento con relación a los dos puntos anteriores menor será la calidad del ajuste de la regresión. Torres (1995), debido a la variabilidad que experimenta IDM en las parcelas de muestreo que utiliza, realiza el ajuste dividiendo la muestra de parcelas en dos grupos según IDM sea mayor o menor de 25. Igualmente, la ecuación construida sólo será aplica-

ble como ecuación predictiva en regiones con similares características de la estación e igual presión de descorche que la zona de toma de datos.

Costa (1992) utiliza como variable independiente los valores por hectárea del producto $CSC \times HD$, como aproximación a la superficie de descorche por hectárea. Esta variable es una solución de compromiso entre SD, que refleja con exactitud la gestión aplicada a la masa ($SD=AB \times IDM$) pero tiene un alto coste de medición, y AB, que únicamente refleja la gestión aplicada para regular la densidad (medido por AB) pero no la realizada para regular el aprovechamiento del corcho (medida por IDM). En el caso de utilización de esta variable la calidad del ajuste de la regresión mejorará cuanto más homogénea, en relación a las características de la estación, sea el área de toma de datos (PCM2, en este caso, no variará excesivamente). La aplicación de la expresión obtenida tendrá sentido únicamente en regiones con similares características de estación a las de la zona donde se realizó el ajuste ya que la pendiente de la recta va a reflejar el valor de PCM2.

Madureira (1981) y Montero y Grau (1988) utilizan como variable independiente la suma de proyecciones de copa por hectárea (SPC), debido a la relación que existe entre esta variable y AB en masas que no se vean sometidas a podas abusivas que deformen la copa. Por tanto, las puntualizaciones que se pueden hacer al uso de SPC son, aparte de las relacionadas con las podas, idénticas al caso de la variable AB.

4.3. Naturaleza y estructura del muestreo

A excepción de Madureira (1981) y Costa (1992), que utilizan muestreo sistemático para la repartición de las parcelas, el resto de los autores realizan muestreos de selección orientada, de las mismas características de los indicados al comentar los modelos de árbol individual. En este caso la unidad de muestreo es la parcela y la estructura es de la de parcelas dentro de una región natural. La dependencia que tienen los coeficientes de estos modelos de las características de la estación y de la gestión realizada hace que su uso se restrinja a áreas poco extensas.

4.4. Naturaleza funcional y fase de ajuste de los modelos

Todos los modelos de masa referidos son modelos lineales en los parámetros y coeficientes, ajustados por

MCO. Los estadísticos utilizados en el ajuste son el valor del coeficiente de determinación (R^2) y el valor de F de Snedecor en el análisis de la varianza de la regresión.

Únicamente Madureira (1981) y Torres (1995) presentan gráficos de dispersión entre la variable independiente y dependiente. En ambos casos se aprecia una marcada heteroscedasticidad. En Torres (1995) se reduce considerablemente cuando se agrupan los datos por intensidad de descorche media de parcela (IDM) y se construyen dos regresiones separadas.

Ninguno de los modelos discute el problema de la posible existencia de autocorrelación espacial. La hipótesis de independencia de los residuos será tanto más probable si existe una gran homogeneidad de gestión (traducida en una IDM común para todas parcelas) y de estación. La existencia de núcleos con características distintas tanto de estación como intensidad de descorche puede dar lugar a la existencia de correlación espacial positiva entre parcelas próximas. La hipótesis de normalidad de los residuos tampoco es contrastada y en ninguno de los modelos analizados se realiza el proceso de validación.

4.5. Selección de variables independientes y multicolinealidad

Costa (1992) y Montero *et al.* (1991) realizan un análisis previo de correlación entre las distintas variables de masa relacionadas con la producción de corcho y adicionalmente Torres (1995) realiza un análisis de componentes principales. La variable Superficie de Descorche por ha (SDHA) es la más correlacionada con la producción de corcho pero la dificultad de su medición hace que el área basimétrica (AB) y la superficie de proyección de copas (SPC) sean las variables normalmente seleccionadas. Costa (1992) indica el problema de multicolinealidad que se presentaría si en los modelos se introdujesen conjuntamente las variables CSCxHD y AB. Todos los modelos tienen una única variable independiente debido a que las variables más correlacionadas con la producción de corcho, de entre las de fácil medición, tienen una elevada correlación interna.

4.6. Influencia de las características de la estación

La propia naturaleza de los modelos analizados, que tienen en cuenta únicamente variables de fácil medición

(como AB o SPC) y no consideran la variable más relacionada con las características de la estación (como es PCM2), hace que su aplicabilidad se reduzca a zonas homogéneas similares a la de toma de datos.

Los coeficientes de las regresiones en las que interviene como variable independiente AB o SPC van a reflejar conjuntamente el efecto de la estación y el de la gestión realizada, siendo imposible distinguir ambas contribuciones. En el caso de utilizar mediciones más complejas como CSCxHD o incluso SD el coeficiente reflejaría más específicamente las condiciones de la estación. Sin embargo incluso en este último caso se sigue desconociendo qué características edáficas, climáticas o fisiográficas son las más importantes en la explicación de las variaciones que experimenta PCM2.

4.7. Influencia de la competencia

La estructura de los modelos más simples que utilizan AB y SPC como variable independiente es marcadamente ineficiente para reflejar la posible influencia que ejerce la competencia en la producción de corcho. Las razones son varias:

- El posible efecto reductor que va a ejercer la competencia en la producción de corcho va a ser manifiesto cuando las densidades son medias o altas. Sin embargo, con frecuencia es muy difícil encontrar parcelas de elevada densidad en las zonas de estudio y conseguir por tanto una distribución homogénea de la muestra entre distintas densidades. Torres (1995) únicamente consigue realizar 14 parcelas con más de 20 m² ha⁻¹ de las 75 que utiliza para el ajuste de los modelos. Madureira (1981) sólo tiene 10 de sus 203 parcelas con superficie de proyección de copa con valores superiores a 2000 m² ha⁻¹. Las densidades de las parcelas utilizadas para la elaboración de los modelos de Montero y Grau (1988) y Montero *et al.* (1991) no exceden de 14,6 y 25,4 m² ha⁻¹ respectivamente.

En estas condiciones los datos se ajustan mucho mejor a una recta de pendiente ascendente que no puede reflejar el posible efecto de la competencia en densidades muy altas. Montero *et al.* (1991) previene de los errores que se pueden cometer cuando la estimación se realiza fuera del intervalo de la variable independiente utilizado para el ajuste. Es necesario tener en cuenta no sólo el aspecto anterior sino que la precisión disminuye considerablemente cuando nos alejamos del valor medio de la variable independiente utilizado en el ajuste, lo que hace que la precisión en las predicciones de

parcelas con elevada densidad sea pequeña por encontrarse muy alejadas del valor medio del ajuste.

- El AB y la SPC no son valores independientes de la intensidad de descorche aplicada (IDM). Normalmente en densidades elevadas la intensidades de descorche que se practican suelen ser menores –ver datos de Torres y Montero (2000)– por lo que la reducción que se pueda apreciar en la producción de parcelas densas puede deberse a este efecto únicamente o a una combinación de este efecto y el de la competencia pero en ningún caso es posible discernir uno del otro.

- La tendencia a la semirregularidad e irregularidad de muchas masas de alcornocal y a una distribución no uniforme de los pies hace que un mismo valor de AB o SPC pueda estar reflejando situaciones internas muy diversas de competencia, que resulta imposible conocer utilizando únicamente variables de masa.

4.8. Utilidad y objetivos de los modelos

La utilidad básica de los modelos de masa presentados es la estimación del peso de corcho por unidad de superficie en inventarios forestales. Por los aspectos ya comentados las estimaciones serán más precisas si:

- Se realizan en una zona homogénea en cuanto a las características de la estación.

- La zona geográfica donde se realizan las predicciones es la misma o muy similar a la utilizada para la toma de los datos empleados en el ajuste del modelo.

- Se realiza una gestión homogénea en toda la zona, traducida en la aplicación de una intensidad de descorche muy similar para todos los pies. Como se indicó, este hecho se puede aproximar más a la realidad en el caso de que la masa tenga una estructura regular.

- Los valores de las variable independiente están próximos al valor medio de la variable independiente utilizado en el ajuste.

De Benito (1989) indica la utilidad que tendría el desarrollo de modelos que relacionen la fracción de cabida cubierta (FCC) con la producción de corcho para realizar inventarios mediante fotogramas aéreos. Este tipo de modelos tendría las limitaciones ya comentadas de los modelos que utilizan como variables independientes AB o SPC.

5. Consideraciones finales

En este artículo se han presentado los modelos de producción de corcho publicados tanto a nivel de árbol

individual como a nivel de masa, reflejando los aspectos más importantes, restricciones y carencias tanto desde el punto de vista estadístico como en el de la utilización de variables dependientes e independientes.

Con relación a los modelos de árbol individual es recomendable la utilización del peso de corcho seco en estufa como variable dependiente, al depender la humedad de corcho de características ambientales en general poco controladas. Debido a la relación alométrica existente entre las dimensiones del árbol y la producción de corcho se recomienda igualmente la utilización de formas funcionales no lineales en la definición de los modelos.

En los modelos a nivel de masa, en los que la variable dependiente es el peso de corcho por unidad de superficie, sería necesario igualmente el cálculo de la humedad de corcho en una muestra, al ser el contenido de humedad muy variable en función de las condiciones ambientales de la zona y del tiempo transcurrido desde la extracción, con el objetivo de obtener el peso de corcho a humedad conocida. Igualmente las relaciones funcionales encontradas entre las variables independientes utilizadas, normalmente el área basimétrica u otras correlacionadas con ésta, como la fracción de cabida cubierta, sólo tendrán validez en áreas con similar gestión del descorche y calidad de estación. Ello hace necesario una estratificación adecuada del territorio teniendo en cuenta estos dos aspectos si se quieren obtener modelos con mayor precisión.

Los modelos desarrollados en cualquiera de los niveles (árbol o masa) deben cumplir además unos requerimientos básicos, al igual que cualquier otro modelo estadístico: hipótesis iniciales razonables (que incluyan en este caso la correlación espacial entre los datos), indicación de los errores cometidos en la estimación tanto de parámetros como de valores estimados, comprobación de las hipótesis iniciales, estructura y distribución de los datos utilizados en el ajuste, región geográfica de aplicación y validación del modelo, aspecto este último particularmente carente en los modelos analizados.

Todos los modelos analizados son modelos estrictamente empíricos, a excepción de Vázquez (2002), que analiza la influencia de algunos parámetros edáficos y climáticos en la producción de corcho. Algunos autores utilizan variaciones regionales de los modelos pero no se indican ni se analizan cuáles son las condiciones ambientales que originan esas diferencias. El aumento de precisión de los modelos de producción de corcho pasa por aumentar el conocimiento de cómo influyen las

características de la estación (suelo y clima) y la competencia en la producción de corcho, mediante el desarrollo de modelos de árbol individual con adquisición de datos climáticos, edáficos y fisiográficos. Los resultados obtenidos pueden ser implementados a una mayor escala gracias a la información ambiental espacial de detalle disponible a través de satélites o fotografías aéreas. Igualmente los resultados podrían aplicarse en el desarrollo de modelos de masa al poder obtenerse una estratificación objetiva del territorio para la producción de corcho.

6. Referencias bibliográficas

- ALVES A.M., 1958. Tabelas de previsão de peso de cortiça para o sobreiro nos xistos do carbónico. Boletim da Junta Nacional da Cortiça 237, 233-243.
- ALVES A.M., MACEDO A.A.M., 1961. Sobre tabelas de peso de cortiça. Boletim da Junta Nacional da Cortiça. Vol. XXIII (275), 165-168.
- BATES D.M., WATTS D.G., 1988. Nonlinear regression analysis and its applications. Wiley, New York.
- BLANCO E., CASADO M.A., COSTA M., ESCRIBANO R., GARCÍA M., GÉNOVA M., GÓMEZ A., GÓMEZ F., MORENO J. C., MORLA C., REGATO P., SAINZ H., 1997. Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica. Planeta, Barcelona, España, 572 pp.
- CLAUDOT J., MRASSLIA., RIEDACKER A., 1970. Quelques donnees recueillies concernant l'évolution du taux d'humidité de lieges bruts. Ann. Rech. For. Maroc. 11, 203-235.
- CLIFF A.D., ORD J.K., 1981. Spatial processes: Models & applications. Pion Limited, London.
- COSTA A., 1992. Modelos de previsão de produção de cortiça. 2º Encontro dos montados de sobreiro e azinho. Evora, Portugal. pp. 150-159
- COSTA A., 1997. Sobreiro. Caracterização do crescimento e avaliação da produção de cortiça. Tese de Mestrado. Instituto Superior de Agronomia. Univ. Técnica de Lisboa.
- COSTA A.; OLIVEIRA A.M.C., 1998. Estudo da variação da produção de cortiça por árvore individual entre duas tiragens consecutivas em parcelas permanentes. En: Cork oak and cork (Sobreiro e cortiça). (Pereira H., ed). Centro de Estudos Florestais, Lisboa, Portugal. pp. 54-59.
- DE BENITO N., 1989. Ordenación de los alcornocales del macizo del Aljibe (Cádiz-Málaga). Sci. Ger. 15, 103-109.
- DE BENITO N., 1994. Ordenación de alcornocales. En: Ordenación de montes arbolados (Madrigal A., ed). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España. pp. 267-285.
- FERREIRA M.C., OLIVEIRA A.M.C., 1991. Modelling cork oak production in Portugal. Agroforestry systems 16, 41-54.
- FERREIRA M.C., TOMÉ M., OLIVEIRA A.M.C., ALVES A.M., 1986. Seleccção de modelos de previsão de peso de cortiça. 1º Encontro sobre os montados de sobreiro e azinho, Evora, Portugal. pp. 65-83.
- FONSECA T., PARRESOL B.R., 2001. A new model for cork weight estimation in Northern Portugal with methodology for construction of confidence intervals. For. Ecol. Manage. 152, 131-139.
- GIL L., CORTIÇO P., 1998. Cork hygroscopic equilibrium moisture content. Holz als Roh- und Werkstoff 56, 355-358.
- GILBERT B. LOWELL K., 1997. Forest attributes and spatial autocorrelation and interpolation: effects of alternative sampling schemata in the boreal forest. Landscape and Urban Planning 37, 235-244.
- GOMES A.A.; AMORIN I.E., BERNARDO A., 1990. Análise comparativa da produção em peso de cortiça em três unidades-solo na mata de Valverde-Grândola. II Congresso Florestal Nacional, Porto. pp. 350-359.
- GONZÁLEZ-ADRADOS J.R., CALVO R.M., 1994. Variación de la humedad de equilibrio del corcho en plancha con la humedad relativa. Modelos de regresión no lineal para las isotermas de adsorción. Invest Agrar: Sist Recur For. Vol. 3 (2), 199-209.
- GONZÁLEZ-ADRADOS J.R., MONTERO G., ORTEGA C., 1993. Caracterización productiva de los alcornocales catalanes. Invest Agrar: Sist Recur For. Vol. 2 (1), 55-69.
- GUERREIRO M.G., 1951. Previsão do peso da cortiça explorável de um montado. Publicações da Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas. Vol. XVIII (1), 57-83.
- INE, 2008a. Estadística Industrial de Empresas. Instituto Nacional de Estadística. Disponible en : http://www.ine.es/inebmenu/mnu_industria.htm [Consulta 4 octubre 2008].
- INE, 2008b. Instituto Nacional de Estadística. Estadísticas Agrícolas 2007. Instituto Nacional de Estadística. Lisboa, Portugal. 115 pp.
- KUTNER M.H., NACHTSHEIM C.J., NETER, J., LI W., 2005. Applied linear statistical models. 5th edition. McGraw-Hill.
- KVÅLSETH T.O., 1985. Cautionary note about R². American Statistician 39, 279-285.
- MADUREIRA M.A.B.B.V., 1981. Produção de cortiça em montados. Companhia das Lezírias E.P. Ensaio preliminar. Relatório de Actividade do curso de Eng. Silvicultor. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa.
- MYERS R., 1986. Classical and modern regression with applications. Duxbury Press. Boston, USA.
- MENDES A.C., 2002. A economia do sector da cortiça em Portugal. Evolução das actividades de produção e de transformação ao longo dos séculos. Documento de trabalho.
- MADRP, 2008. Resultados do IFN 2005/2006. Direcção Geral dos Recursos Florestais, Ministerio da Agricultura,

- do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Lisboa, Portugal. 70pp.
- MAPA, 1998. II Inventario Forestal Nacional. Dirección General para la Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España.
- MAPA, 2004. Anuario de Estadística Agraria 2003. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España.
- MMA, 2006. Anuario de Estadística Forestal 2005. Dirección General para la Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España.
- MONTERO G., 1987. Modelos para cuantificar la producción de corcho en alcornoques (*Quercus suber* L.) en función de la calidad de estación y los tratamientos selvícolas. Tesis Doctoral. Univ. Politécnica de Madrid.
- MONTERO G., GRAU J.M., 1988. Cálculo da produção de cortiça em função do tratamento silvícola e da qualidade da estação. Boletim do Instituto dos Produtos Florestais. Cortiça 598, 223-228.
- MONTERO G., SAN MIGUEL A., ALÍA R., 1991. Estructura y producción de los alcornoques del sur de España. Inves Agrar: Sis Recur For. Vol 0, 69-74.
- MONTERO G., TORRES E.; CAÑELLAS I., ORTEGA C., 1996. Modelos para la estimación de la producción de corcho en alcornoques. Inves Agrar: Sis Recur For. Vol. 5 (1), 97-127.
- MONTOYA J.M., 1985. Aproximación al conocimiento del crecimiento y producción de *Quercus suber* L. según distintas calidades estacionales (densidad de repoblación, coeficiente de descorche, inventario de ordenación y puesta en fábrica de macheros). Boletim do Instituto dos Produtos Florestais. Cortiça. 557, 479-484.
- NATIVIDADE J.V., 1950. Subercultura. Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas. Lisboa, Portugal.
- NP-1044, 1994. Cortiça em prancha, cortiça virgem, refugo, rebusco, traçamento e aparas. Determinação da humidade. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.
- RIBEIRO F.; TOMÉ M., 2002. Cork weight prediction at tree level. For. Ecol. Manage. Vol. 171 (3), 231-241.
- RIBEIRO N.A., 1990. Comparação de métodos de amostragem para a avaliação do potencial produtivo dos montados de sobro da Celbi. Relatório final de Estágio de licenciatura em engenharia florestal. Universidade Técnica do Alto Douro.
- RIBEIRO N.A., 1992. Caracterização do potencial produtivo de uma área de sobro na região de Coruche. 2º Encontro dos montados de sobro e azinho. Evora, Portugal. pp. 134-149.
- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ M., 2006. Modelo de crecimiento y producción para monte alcornocal. Tesis Doctoral. Univ. Politécnica de Madrid.
- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ M., CALAMA R., CAÑELLAS I., MONTERO G., 2007. Management oriented growth models for multifunctional mediterranean forests: the case of the cork oak (*Quercus suber* L.) In: Marc Palahí, Yves Birot and Mercedes Rois (eds.) Scientific Tools And Research Needs For Multifunctional Mediterranean Forest Ecosystem Management. EFI proceedings 56, 71-84.
- TOMÉ M., COELHO M.B., LOPES F., PEREIRA H., 1998. Modelo de produção para o montado de sobro em Portugal. En: Cork oak and cork (Sobreiro e cortiça) (Pereira H., ed). Centro de Estudos Florestais, Lisboa, Portugal. pp. 22-46.
- TOMÉ M., COELHO M.B., ALMEIDA A., LOPES F., 2001. O modelo SUBER Estructura e equações utilizadas. Relatórios técnico-científicos do GIMREF nº 2/2001. Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- TORRES E., 1995. Estudio de los principales problemas selvícolas de los alcornoques del macizo del Aljibe (Cádiz y Málaga). Tesis Doctoral. Univ. Politécnica de Madrid.
- TORRES E., MONTERO G., 2000. Los alcornoques del macizo del Aljibe y sierras del campo de Gibraltar. Clasificación ecológica y caracterización selvícola y productiva. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 228 pp.
- UNE 56915, 1988. Corcho en planchas comercialmente seco. Definiciones, calibrado, clasificación y embalaje. AENOR.
- VÁZQUEZ J., 2002. Modelos predictivos de produção de cortiça e detecção precoce da qualidade. Tesis Doctoral. Univ. Técnica de Lisboa.
- VÁZQUEZ J., PEREIRA H., 2005. Mixed models to estimate tree oven-dried cork weight in Central and Southern Portugal. For. Ecol. Manage. 213, 117-132.