



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-159

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Diagramas de espesura para la gestión de los alcornoques en Extremadura

CARDILLO AMO, E.¹ y LANZO PALACIOS, R.¹

¹ Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX)
Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón Vegetal
Polígono Industrial El Prado, C/Pamplona nº 64 - 06800 Mérida, Badajoz
enrique.cardillo@juntaex.es

Resumen

La espesura constituye una de las características básicas de las masas forestales con implicaciones ecológicas y productivas. En los alcornoques, en gran parte adehesados, la espesura afecta a la cantidad y viabilidad de la regeneración, la producción de pasto, de corcho, y el comportamiento ante el fuego. La espesura, y especialmente la fracción de cabida cubierta (FCC), ha sido propuesta por diversos autores como variable fundamental para la gestión de los alcornoques. El objetivo de este trabajo es la propuesta de una herramienta de gestión que permita la evaluación de la espesura y la conversión entre las formas más comunes de medirla: densidad, área basimétrica (G) y FCC. Para crear esta herramienta se siguió la metodología de Krajicek, et al., (1961). A partir de los datos del Inventario Forestal Nacional y mediante análisis de regresión lineal se ajustó un modelo lineal para relacionar el diámetro de copa y el diámetro normal. Siguiendo la citada metodología y empleando transformaciones algebraicas sencillas se obtuvo un modelo que relaciona G, FCC y densidad. A partir de este modelo se confeccionaron dos diagramas de espesura con las mismas variables. El modelo se sometió a una validación cruzada empleando parcelas del Plan de Calidad del Corcho de CICYTEX, obteniéndose en error cuadrático medio cercano al 7% de FCC. La herramienta puede tener utilidad en silvicultura, ya que a partir del área basimétrica relascópica y una estimación del diámetro medio puede calcularse la FCC, que es en muchos casos la variable de referencia. Mediante el modelo puede determinarse si un rodal está infrapoblado o proponer un régimen de claras en caso contrario. Ambas cuestiones son de indudable interés para unas poblaciones compuestas por masas adehesadas con espesuras muy defectivas o por repoblaciones con espesuras crecientes.

Palabras clave

Modelo algebraico, fracción de cabida cubierta, densidad, área basimétrica, subericultura

1. Introducción

El concepto de espesura las comunidades vegetales y especialmente en las masas forestales constituye uno de los factores esenciales de su dinámica y estructura debido al fenómeno de la competencia entre los individuos. Desde el punto de vista de la silvicultura, la espesura es el principal factor en la determinación de la productividad de un sitio después de la calidad de estación (DANIEL et al., 1979). Mediante la regulación de la espesura de una masa en crecimiento, el silvicultor puede influir en la dinámica de la regeneración, el crecimiento en diámetro, la calidad y la producción de madera y el comportamiento del fuego. Además, en el caso de los alcornoques, la espesura es un factor determinante en la producción de corcho, de bellota y de pasto. Por tanto, la regulación de la espesura constituye una herramienta fundamental para la gestión de estas masas forestales.

En la subericultura, además de la densidad o número de pies por hectárea (N) para un determinado diámetro (D), las principales formas de medir la espesura han sido la fracción de cabida cubierta (FCC) y el área basimétrica (G). Para ambos parámetros se han propuesto rangos o valores óptimos principalmente dirigidos a maximizar la producción de corcho en diferentes tipos de alcornoques. Por ejemplo, para sistemas silvopastorales NUNES DE MEXIA (1934) recomendó valores de FCC de 0.38, y VIEIRA (1950) propuso un objetivo para la FCC alrededor de 0.58, basándose en

critérios de máxima iluminación de las copas. Para el caso de los bosques del sur de España y utilizando datos de inventario, TORRES et al. (1997) encontraron que las mejores condiciones para producir corcho de calidad se hallaban en espesuras de 20 a 25 m² de área basimétrica por hectárea. MONTERO y CAÑELLAS (2003) recomiendan que para montes cuya producción principal sea el corcho G no debe ser inferior a los 9-10 m²/ha ni superior a 20-22 m²/ha; y para dehesas puede bajarse hasta 6-7 m²/ha. Otros como LAMEY (1893), en el caso de alcornoques franceses y del norte África, y CARO (1914), para los montes de Málaga, propusieron como objetivo de gestión una FCC cercana a 1.00.

Respecto a la producción de pasto, es bien conocido que la espesura, principalmente mediante la intercepción de la luz fotosintéticamente activa (PAR), limita la productividad de la biomasa herbácea (McCONNELL y SMITH, 1970; BLAIR, 1971; REICH et al., 2001). Recientemente, FELTRIN et al., (2016) han encontrado que con áreas basimétricas mayores de 10 m²/ha la producción de pasto se reducía incluso más allá de lo esperado por la simple reducción de la PAR. Otros factores como la intercepción de las precipitaciones, la competencia radicular o la deposición de hojarasca pueden actuar en este sentido (SCHOLEY y ARCHER, 1997). Sin embargo con espesuras bajas el efecto del arbolado en la producción de pasto puede llegar a ser positivo con respecto a zonas desarboladas (MORENO, 2008). La relación típica entre espesura y producción de pasto ha sido descrita como una exponencial negativa con una reducción muy significativa en las espesuras más bajas aunque la relación tiende a ser más lineal en los sitios más productivos (SCHOLEY y ARCHER, 1997). STANDIFORD y HOWITT (1993) encontraron que en los robledales californianos, muy similares a las dehesas ibéricas, la producción de pasto decreció monótonamente con la espesura del arbolado y que, inversamente, los ingresos por caza aumentaron al hacerlo la FCC. Estos autores concluyeron que el aprovechamiento simultáneo de ganado, caza y leña era el más productivo económicamente y que este modelo encontraba un óptimo cuando la FCC era de 0.55.

Este tipo de modelos y procedimientos, aunque fueron ideados a principios del siglo pasado, han sido ampliamente empleados para construir diagramas para determinar la espesura adecuada (*'stoking'*) en masas de robles y otras especies maderables de Norteamérica (KRAJICEK, et al., 1961; GINGRICH, 1967). Más tarde, empleando datos recogidos en las sabanas de robles americanas, LAW et al., (1994) propusieron un modelo similar para la estimación de la FCC de estos ecosistemas. Dada su utilidad, aquí se presenta una adaptación de esta metodología a los alcornoques del sudoeste peninsular.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es la propuesta de un modelo matemático y la creación de un juego de diagramas dirigidos a la estimación y conversión de diferentes variables de espesura para la gestión de masas de alcornoque adehesadas. Está basado en datos del Inventario Forestal Nacional (IFN), del Plan de Calas del CICYTEX-Iprocor y de mediciones realizadas en ortoimágenes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) en Extremadura.

3. Metodología

Para este estudio se emplearon los datos del II Inventario Forestal Nacional en Extremadura (VILLAESCUSA y DÍAZ, 1998). Entre otros muchos datos, el IFN-II contiene un conjunto de árboles tipo en los que se midieron dos diámetros en cruz, tanto de la copa como del fuste a 1,30 m. A partir de estos datos de los alcornoques tipo de la región, se ajustó un modelo lineal (ecuación [1]) para establecer una relación alométrica entre el diámetro normal y el diámetro de la copa. Esta relación es, en general, lineal o casi lineal si se excluyen los árboles de muy grandes dimensiones (más de 80 cm de diámetro) en los que el diámetro de la copa se estabiliza o incluso disminuye. Por tanto, siguiendo la metodología de KRAJICEK et al. (1961) se eligió este tipo de modelo que permite, a través de relaciones algebraicas sencillas, ligar las distintas variables descriptoras de la espesura.

Se asumió que las copas de los árboles pueden describirse mediante formas circulares y que la mayor parte de los pies inventariados se encuentran en dehesas y que por tanto han alcanzado, a igualdad de diámetro normal, el máximo desarrollo posible de sus copas. Siguiendo el método de KRAJICEK et al. (1961), las transformaciones algebraicas consideradas son las siguientes.

$$DC = a \cdot D + b \quad [1]$$

En donde DC es el diámetro de copa en metros, D el diámetro normal también en metros y a y b los parámetros del modelo lineal. Suponiendo que la forma de la copa se aproxima a la de un círculo, y elevando al cuadrado y multiplicando por $\pi/4$ a ambos lados de la ecuación [1] se obtiene una expresión (ec. [2]) para la superficie de copa (SC).

$$SC = \pi/4 (a^2 \cdot D^2 + 2 \cdot a \cdot b \cdot D + b^2) \quad [2]$$

De este modo es posible conocer aproximadamente el máximo número de pies de un determinado diámetro que ocuparán el total de una hectárea sin entrecruzar sus copas si se dividen los 10.000 m² de la hectárea por SC. Igualmente, si se suman todas las áreas de copa de los árboles que hay en una hectárea y se dividen por 10.000 se obtiene la fracción de cabida cubierta (FCC). Basta para ello hacer sumatorio y dividir por 10⁴ a ambos lados de la ecuación [2].

$$FCC = (\pi/4 \cdot a^2 \cdot \Sigma D^2 + \pi/4 \cdot 2 \cdot a \cdot b \cdot \Sigma D + \pi/4 \cdot b^2 \cdot N) / 10^4 \quad [3]$$

Donde FCC es la fracción de cabida cubierta en tanto por uno, N es el número de pies mayores de 10 cm en la parcela, ΣD es la suma de los diámetros normales y ΣD^2 es el sumatorio de estos diámetros al cuadrado. Al incluir ΣD y ΣD^2 , esta ecuación incorpora información indirecta acerca de la varianza (σ^2) de los diámetros de los árboles de la parcela, ya que $\sigma^2 = Dg^2 - Dm^2$ siendo Dg el diámetro cuadrático medio y Dm diámetro medio.

Además, ΣD^2 puede expresarse en función del área basimétrica: $\Sigma D^2 = (4/\pi) \cdot G$, y la definición de diámetro medio permite expresar: $\Sigma D = N \cdot Dm$. Haciendo uso de estas relaciones se obtiene la ec. [4] ya simplificada:

$$FCC = (a^2 \cdot G + \pi/2 \cdot a \cdot b \cdot N \cdot Dm + \pi/4 \cdot b^2 \cdot N) / 10^4 \quad [4]$$

De este modo se dispone de una expresión que relaciona las tres variables de espesura mencionadas y puede expresarse la FCC en función del área basimétrica, del diámetro medio y de la densidad o número de pies. Para masas regulares Dg correlaciona bien con D y puede estimarse uno en función del otro cometiendo errores muy pequeños. En este estudio se realizó un ajuste lineal con datos de 25 parcelas del Plan de Calidad del Corcho de CICYTEX-Iprocor (PCC-CI)

Para obtener los parámetros a y b de la ec. [1], los diámetros normales correspondientes a los alcornoques tipo de hasta 80 cm (IFN-II) fueron agrupados por clases diamétricas de 5 cm y se calculó el diámetro medio de copa para cada clase diamétrica. Con estos datos se realizó el ajuste de un modelo lineal por el método de mínimos cuadrados utilizando el programa de estadística R.

A partir del modelo ajustado, y mediante el uso del programa Excel, se construyó un gráfico con el número de pies en abcisas y el área basimétrica en ordenadas y se calcularon los valores de FCC para los diámetros medios tomados de 10 en 10. A partir de esta malla de puntos, el modelo se representó en dos dimensiones empleando dos diagramas separados para mayor claridad. Un gráfico presenta los diámetros menores, de 10 a 40 cm, y el otro los diámetros mayores, de entre 40 y 80 cm.

Para la validación del modelo se empleó una muestra de 28 parcelas que fueron inventariadas durante el desarrollo del PCC-CI en 2016. Estos datos incluyen el área basimétrica y diámetro normal de los 15 pies más próximos al centro de la parcela y sus posiciones GPS. A partir de los datos GPS, se replantearon las posiciones de las parcelas y de los alcornoques sobre ortoimágenes aéreas PNOA de alta resolución (0.25 m) que fueron tomadas en 2011 y 2012. Sobre estas imágenes se vectorizaron las copas de los árboles inventariados y las de aquellos pies que se encontraban en una parcela de una hectárea con el mismo centro que la del PCC-CI. Esta vectorización y el cálculo del número de pies y de la superficie cubierta por las copas fueron realizados con la ayuda un sistema de información geográfica ArcGis 9.3 de ESRI. Con estos dos conjuntos de datos se calculó la FCC mediante la aplicación del modelo propuesto y mediante las mediciones del SIG. Finalmente, se estimó el error cuadrático medio de la muestra.

4. Resultados

A partir de un modelo teórico lineal entre diámetro normal y diámetro de copa se obtuvo, mediante relaciones algebraicas sencillas, una expresión que relaciona la fracción de cabida cubierta de una parcela, o rodal, de alcornoque y su área basimétrica, diámetro medio y número de pies por hectárea. Utilizando 1.578 mediciones de árboles tipo menores de 80 cm de diámetro, procedentes del IFN-II Extremadura, se ajustó el modelo lineal propuesto (tabla 1) para valores de copa y diámetro por clases diamétricas de 5 cm.

El modelo lineal ajustado (tabla 1) permite una predicción bastante satisfactoria ($F_{1,3} = 374,6$; p -valor = $5,75e-11$, $R^2 = 96,7 \%$) de los valores medios del diámetro de copa. Sin embargo, como era previsible, el análisis de los residuales indica que el modelo lineal propuesto es mejorable utilizando una relación no lineal de tipo parabólico. Este modelo se descartó por generar transformaciones algébricas mucho más complicadas.

Para emplear en las gráficas el diámetro medio cuadrático (D_g) en lugar del diámetro medio (D), por se ajustó un segundo modelo lineal ($D = 0,9788 \cdot D_g - 0,5326$) cuyo coeficiente de determinación (R^2) fue 99,34 %. El análisis final de validación cruzada (figura 1) para el modelo principal se realizó empleando las 28 parcelas del PCC-CI, resultando que el error cuadrático medio de esta herramienta para la estimación de la fracción de cabida cubierta fue: $RMSE = 0.071$.

Tabla 1. Resultados del análisis de regresión lineal entre diámetros de copa y diámetro normal de alcornoques extremeños. Los datos proceden de 1.578 árboles tipo medidos en el Inventario Forestal Nacional II. Error residual Standard = 0,5591 (13 g.l.). Multiple $R^2 = 0,9665$, R^2 ajustada = 0,9639. $F_{1,3} = 374,6$, p -valor = $5,747e-11$

Parámetro	Estimación	Std. Error	t value	Pr(> t)
Intercepción	1,4232	0,3234	4,401	0,000717
Diámetro normal (m)	13,1079	0,6773	19,354	5,75e-11

Tabla ANOVA	g.l.	Sum. cuad.	Med. cuad.	F	Pr(>F)
Diámetro normal (m)	1	117,067	117,067	374,56	5,75e-11
Residuales	13	4,063	0,313		

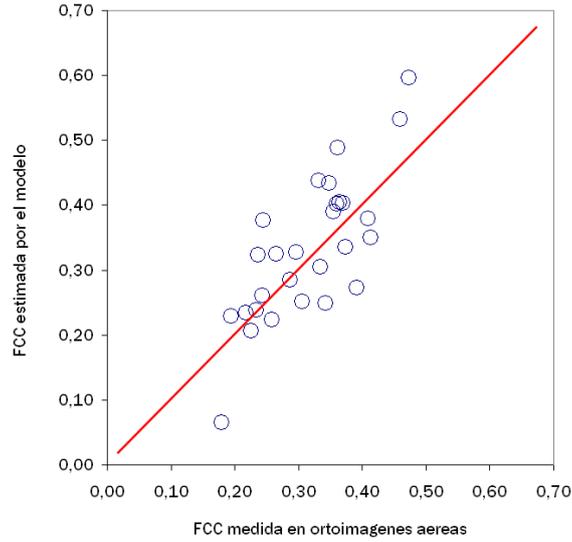


Figura 1. Estimación del error del modelo. En abscisas los valores de fracción de cabida cubierta (FCC) medidos sobre las ortoimágenes de alta resolución del Plan Nacional de ortofotografía Aérea 2011-2012, en ordenadas las estimaciones de FCC obtenidas con datos de número de pies, diámetro normal y área basimétrica en 28 parcelas del Plan de Calidad del Corcho CICYTEX-Iprocor. La línea roja muestra el ajuste ideal 1:1.

Con el modelo ajustado se obtuvieron dos gráficos de espesura (figura 2) que permiten estimar la FCC en función del área basimétrica y el número de pies o, inversamente, estimar ambas a partir de la FCC y el diámetro cuadrático medio de la parcela. Puede observarse que la relación entre área basimétrica y FCC no es constante ni lineal, especialmente en masas con diámetros menores de 40 cm.

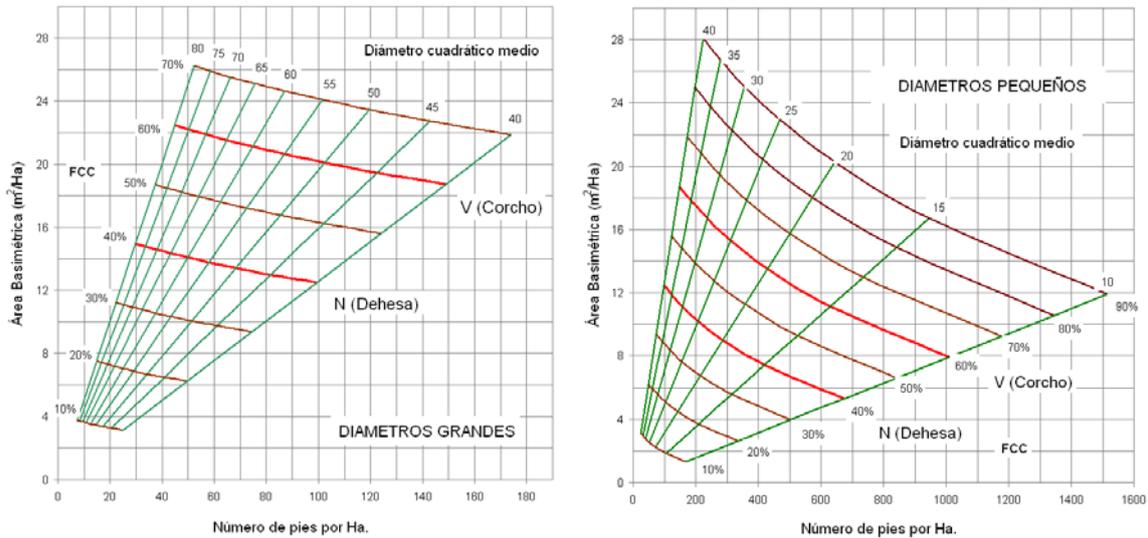


Figura 2. Gráficos de espesura para alcornoques. **Izda.** Gráfico para árboles con diámetro cuadrático medio (dg) entre 40 y 80 cm. **Dcha.** Gráfico para pies con dg entre 10 y 40 cm. Las líneas rojas muestran las FCC recomendadas para alcornoques con producción preferente de corcho (V) y para dehesas (N).

5. Discusión

Se creo un modelo para la estimación de la espesura en los alcornoques adheridos de Extremadura. Este modelo permite la conversión entre tres descriptores de espesura: densidad, área basimétrica, y fracción de cuba cubierta. Este modelo permite el intercambio de información y la gestión de estas masas para conseguir objetivos concretos de espesura que han sido propuestos por diferentes autores para cada tipo de masa. El modelo ha sido validado con un conjunto de datos separado obteniéndose un error aceptable para la estimación de la FCC.

A diferencia de otros modelos dasométricos, este modelo se basa en la relación del diámetro de copa y el diámetro normal de los árboles y un desarrollo de relaciones algebraicas básicas. Este tipo de modelos y procedimientos fueron ideados en el siglo pasado para construir diagramas 'stoking' empleados para determinar la espesura adecuada en masas de robles y otras especies maderables de Norteamérica (GINGRICH, 1967). En este caso se determinaron dos modelos, uno para el área que ocupan los árboles en espesuras defectivas (áreas máximas) y otro para situaciones de espesura completa (áreas de copa mínimas) y se trabaja con espesuras relativas a estos valores.

Los alcornoques del sudoeste peninsular constituyen en su mayoría formaciones de dehesa, cuyas espesuras son, en muchos casos, muy defectivas en relación con los óptimos propuestos para la producción de corcho, bellota y pasto. Esto es debido fundamentalmente a adheramientos excesivos, bajas provocadas por incendios, plagas y enfermedades y, especialmente, a dificultades con la regeneración. Por lo que un método que permita estimar la espesura y compararla con distintos estándares u objetivos, facilitaría la toma de decisiones dasocráticas relacionadas con la puesta en regeneración o densificación de rodales infrapoblados.

Por otro lado, los planes de claras cobran actualmente especial importancia para muchas de las plantaciones que se realizaron durante las tres últimas décadas. Estas masas están llegando ahora a espesuras muy por encima de las habituales en las dehesas y el gestor necesita herramientas y criterios objetivos para regular la masa y optimizar sus producciones. En este caso obtener el peso de la clara, tanto en términos de área basimétrica como en número de pies, es sencillo a partir de datos actuales de FCC y un objetivo preestablecido. Basta hallar la diferencia en ambos ejes entre los valores actuales y los deseados moviéndose por la línea de diámetro cuadrático medio actual.

Esta herramienta, además, puede ser útil para la estimación de la producción de corcho si se utilizan tarifas basadas en índices de espesura como el área basimétrica (TORRES et al., 1997; MONTERO y CAÑELLAS, 2003). Por otro lado, la administración, en su actividad reguladora de los aprovechamientos forestales, ha venido basándose en criterios de densidad para la gestión de las solicitudes de descorche o poda y el cálculo de las tasas correspondientes. El modelo propuesto puede ser utilizado para verificar estos cálculos de forma rápida basándose en otros datos de espesura disponibles.

El modelo podría ser mejorado empleando una relación no lineal y relaciones algebraicas más complejas. Por otra parte, suponemos que las podas, la proximidad de otros pies y los efectos de plagas como los cerambicidos pueden haber distorsionado en algunos casos las relaciones entre los diámetros de copa y fuste. Por otra parte debería tenerse en cuenta que una elevada presencia de encinas en el alcornoque puede también aumentar el error ya que el modelo ha sido ajustado solo para esta especie.

6. Conclusiones

En base a datos del IFN-II y del Plan de Estimación de la Calidad del Corcho para alcornoques extremeños, ha sido propuesto un modelo matemático para la estimación y conversión de tres índices de espesura, densidad, área basimétrica, y fracción de cabida cubierta. Este modelo y su expresión gráfica pueden ser empleados en la silvicultura y la gestión de alcornoques adhesados.

7. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Centro de Información Cartográfica y Territorial de Extremadura (CICTEX) las facilidades para el acceso a las ortoimágenes aéreas, y al Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura la financiación de los trabajos y al equipo de 'calas' del mismo centro por su trabajo desde 1984, año en que comenzó el plan.

8. Bibliografía

CARO, E., 1914. Resumen de 2ª Revisión de la Ordenación de los Montes La Saucedá y El Robledal. Dirección General de Montes. Imprenta Alemana. Madrid.

DANIEL, T. W.; HELMS, J. A.; BAKER, F. S.; 1979. Principles of silviculture. Second Ed. McGraw-Hill.

FELTRIN, R.P.; WILL, R.E.; MEEK, C.R.; MASTERS, R.E.; WAYMIRE, J.; WILSON, D.S.; 2016. Relationship between photosynthetically active radiation and understory productivity across a forest-savanna continuum. *Forest Ecology and Management*, 374, 51-60.

GINGRICH, S.F.; 1967. Measuring and evaluating stocking and stand density in upland hardwood forests in the Central States. *Forest Science* 13, 38-53.

KRAJICEK, J.E.; BRINKMAN, K.A.; GINGRICH, S.F.; 1961. Crown competition – a measure of density. *Forest Science* 7, 35-42.

LAMEY, A. ; 1893. Le chêne-liege. Sa culture et son exploitation. Berger-Levrault et cie., Edit, Paris

LAW, J.R.; JOHNSON, P.S.; HOUF, G.; 1994. A crown cover chart for oak savannas. Technical brief, USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Columbia, 6 pags.

NUMES DE MEXÍA, J.G., 1934. Aspectos da cultura do sobreiro em Portugal. *Bol. Ass. Cent. Agric. Port.* 27(5) : 153-161.

MCCONNELL, B.; SMITH, J.; 1970. Response of Understorey Vegetation to Ponderosa Pine Thinning in Eastern Washington. *Journal of Range Management*, 23(3), 208-212.

MORENO, G.; 2008. Response of understorey forage to multiple tree effects in Iberian dehesas. *Agriculture, ecosystems & environment*, 123(1), 239-244.

MONTERO, G.; CAÑELLAS, I.; 2003. Silvicultura de los alcornoques en España. *Silva Lusitana*, 11(1), 1-19.

REICH, P.B.; PETERSON, D.W.; WEDIN, D.A.; WRAGE, K.; 2001. Fire and vegetation effects on productivity and nitrogen cycling across a forest-grassland continuum. *Ecology* 82, 1703-1719.

SCHOLES, R.J.; ARCHER, S.R; 1997. Tree-grass interactions in savannas. *Annual review of Ecology and Systematics*, 517-544.

STANDIFORD, R.B.; HOWITT, R.E.; 1993. Multiple use management of California's hardwood rangelands. *Journal of Range Management*, 176-182.

TORRES ÁLVAREZ E.; MONTERO GONZÁLEZ G.; SUÁREZ DE LA CÁMARA M A; 1997. Relación entre la densidad de la masa y la producción de corcho en montes alcornoques del sur de España. *I Congreso Forestal Hispano-Luso*. Vol. 4: 529-534

VIEIRA NATIVIDADE, J. 1950. *Subericultura*. Edición en español del M.A.P.A., Madrid.

VILLAESCUSA, R.; DÍAZ, R.; 1998. Segundo Inventario Forestal Nacional (1986 - 1996). Ministerio de Medio Ambiente, ICONA, Madrid.