

MODELIZACIÓN DE LA EVOLUCIÓN ANUAL DEL DESFRONDE EN UNA MASA ADEHESADA DE ALCORNOQUE EN EL SO DE ESPAÑA (HINOJOS, HUELVA): INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS, PODA, DESCORCHE Y COMPETENCIA INTRAESPECÍFICA

Enrique Andivia Muñoz, Javier Vázquez Piqué, Raúl Tapias Martín, Aranzazu González Pérez y Manuel Fernández Martínez

Departamento de Ciencias Agroforestales. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Huelva. Ctra. Huelva-Palos de la Frontera s/n. 21071-LA RÁBIDA (Palos de la Frontera, Huelva). Correo electrónico: enrique.andivia@dcaf.uhu.es

Resumen

El conocimiento en el alcornoque (*Quercus suber* L.) del ciclo de biomasa y nutrientes a través del desfronde es uno de los aspectos fundamentales para la gestión adecuada de estas masas. Los principales aprovechamientos tradicionales de esta especie han sido el corcho y la bellota, por lo que la realización del descorche y las podas son operaciones culturales muy frecuentes en este tipo de formaciones. Pese a ello, hay escasos estudios que analicen la posible repercusión de este tipo de prácticas sobre el desfronde o el ciclo de nutrientes. El estudio se realizó en Hinojos (Huelva) en un conjunto de 12 alcornoques en los que se recogió el desfronde mensualmente durante un periodo de dos años. Se ha realizado un modelo que analiza la influencia de las condiciones climáticas (con datos proporcionados por una estación meteorológica situada en la parcela), la poda, la intensidad de descorche y la competencia intraespecífica sobre el desfronde. Los resultados indican que tienen un menor desfronde de hojas aquellos individuos sometidos a mayor competencia y que un mayor contenido de humedad de suelo en capas altas favorece la renovación de la cobertura foliar. La dimensión de los individuos, la poda realizada y la intensidad de descorche no tienen influencia sobre los valores de desfronde de hojas. La parte fija del modelo absorbe un 21,5% de la varianza total observada.

Palabras claves: *Desfronde, Quercus suber, Competencia, Variables climáticas*

INTRODUCCIÓN

El alcornoque (*Quercus suber*), es una de las pocas especies forestales naturales que solo con sus aspectos puramente económicos y contables justifica plenamente su conservación (MONTROYA, 1988).

El conocimiento del ciclo de biomasa y nutrientes entre el suelo y los árboles, a través del

desfronde, es uno de los aspectos fundamentales para una adecuada gestión de los bosques (ARIANOUTSOU, 1989). La producción de las especies forestales mediterráneas depende frecuentemente de las fluctuaciones en las condiciones climáticas (CARITAT et al., 1996), aunque sólo CARITAT et al. (2006) ha relacionado las condiciones climáticas con la estacionalidad del desfronde. Tampoco se

ha evaluado el efecto sobre el desfronde de tratamientos selvícolas tan importantes en estas masas forestales como las podas o el descorche o el posible efecto que la competencia por los recursos puede jugar en la caída de restos vegetales.

Por todo ello el objetivo final del estudio es la realización de un modelo que explique la estacionalidad y producción de desfronde a partir de variables climáticas, de competencia intraespecífica y variables relacionadas con la gestión tradicional de estas masas forestales.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en el municipio de Hinojos, localizado en el cuadrante sur-occidental de la provincia de Huelva (suroeste de la península ibérica). La parcela tiene una superficie de 1,9 ha donde la especie predominante es *Quercus suber* y donde *Quercus ilex* ssp. *ballota* aparece como especie secundaria. La densidad de la parcela es de 99,6 pies.ha⁻¹ y 8,1 m².ha⁻¹ de área basimétrica. La pendiente es escasa y la altitud de 100 m.s.n.m.

Datos climáticos

Los datos fueron recogidos mediante una estación meteorológica propia situada en la parcela la cual nos proporciona la medida de las siguientes variables cada 15 minutos: temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, precipitación, radiación solar, humedad de la hoja, humedad del suelo a 10, 30, 60, 90 y 120 cm de profundidad y temperatura del suelo a 30 cm de profundidad. Con todo ello se calcularon los valores medios, mínimos absolutos, máximos absolutos, media de las máximas y media de las mínimas diarias de las distintas variables entre las fechas de recogida de desfronde.

Toma de datos dendrométricos, podas y competencia intraespecífica

La parcela donde se ha realizado el estudio, está formada por un total de 107 árboles, a todos ellos se le ha medido la circunferencia normal, altura total, altura de la primera rama viva, cuatro radios de copa y la superficie de descorche a partir de cual se calculó la intensidad de descorche y el coeficiente de descorche.

Se formaron tríos de individuos de similares características en cuanto a diámetro y coeficiente de descorche, a los que posteriormente les fue realizado un tratamiento de poda. Este tratamiento realizado en marzo del 2003 consistió en:

- Poda fuerte: consistente en eliminar todas las ramas centrales dejando sólo las principales (más del 30% de parte aérea del alcornoque).
- Poda débil: consistente sólo en eliminar las ramas centrales más jóvenes. (menos del 30% de la parte aérea del alcornoque).
- Sin poda.

Cada uno de los tratamientos fue aplicado a un tercio de los alcornokes componentes de la zona de estudio. Para la obtención de una variable de poda continua, se calcularon tres Índices de Poda mediante el cociente entre (1) biomasa seca extraída de hojas, (2) biomasa seca extraída de hojas y ramillos y (3) la biomasa seca extraída de todos los productos de copa (1, 2 y 3 en kg), y la sección normal de cada árbol (m²).

Mediante el programa informático INCO 1.0 (VÁZQUEZ *et al.*, 2001), se calcularon distintos índices de competencia dependientes de la distancia: Superposición de Áreas de Proyección de Copas, Superposición de Áreas de Influencia, Distancia Ponderada por Dimensiones, Densidad Puntual y Área Potencialmente Disponible. Para cada índice se probaron distintas variantes hasta un total de 760 índices distintos calculados. Los índices calculados se pueden consultar en VÁZQUEZ Y PEREIRA (2005).

Toma de datos del desfronde

Finalmente, se seleccionaron 4 árboles, se tomaron 2 de la zona baja de la parcela por ser una zona con un alto índice de competencia y 2 árboles de la parte alta de la parcela donde existe un índice de competencia mucho más bajo. Estos 4 árboles junto con los correspondientes a su trío fueron los 12 árboles elegidos para analizar el desfronde.

Para recoger el desfronde se colocaron cuatro capachas por árbol de forma circular y superficie de 0,16 m², en los cuatro puntos cardinales y a una distancia correspondiente a las tres cuartas partes del radio de copa medido desde el tronco. La recogida de muestras se realizó con periodicidad mensual, desde Marzo de 2004 hasta Febrero de 2006. En el laboratorio se separaron las distintas fracciones (hojas, ramillos, amentos, frutos y

otros) y tras secado en estufa a 105° C durante dos días, se procedió al pesado de las muestras.

Análisis estadístico.

La estructura del modelo analizado es la siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + \sum_{s=1}^t \beta_s (x_{si} - \bar{x}_{s\bullet}) + u_i + \sum_{r=1}^m \beta_r (x_{rjk} - \bar{x}_{r\bullet\bullet}) + v_{jk} + e_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} : Logaritmo del peso de desfronde de hojas por día en g.m⁻² en el mes j del año k del árbol i .

μ : Valor medio de la variable dependiente.

β_s : s -ésimo coeficiente de las t covariables seleccionadas a nivel árbol

x_{si} : Valor de la s -ésima covariable a nivel árbol en el árbol i .

$\bar{x}_{s\bullet}$: Valor medio de la s -ésima covariable a nivel árbol.

u_i : Factor aleatorio a nivel árbol con $u_i \sim N(0, \sigma_a^2)$.

β_r : r -ésimo coeficiente de las m covariables seleccionadas a nivel año x mes

x_{rjk} : Valor de la r -ésima covariable a nivel año x mes en el mes k del año j .

$\bar{x}_{r\bullet\bullet}$: Valor medio de la r -ésima covariable a nivel año x mes.

v_{jk} : Factor aleatorio a nivel año x mes con $v_{jk} \sim N(0, \sigma_m^2)$

e_{ijk} : Error residual con $e_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^2)$

La estructura del modelo es la de un modelo mixto que incluye factores fijos (las covariables, que representan las dimensiones del individuo, competencia intraespecífica, intensidad de poda, intensidad de descorche o las variables edafoclimáticas) y factores aleatorios a nivel árbol, año x mes y el error residual. En la estructura inicial del modelo se consideró la correlación espacial entre árboles y la autocorrelación temporal en las mediciones tomadas en cada individuo a través de una estructura autoregresiva de orden 1.

La selección de covariables que integran el modelo se ha realizado ajustando primeramente todas las regresiones posibles en el modelo reducido:

$$y_{ijk} = \mu + \sum_{s=1}^t \beta_s (x_{si} - \bar{x}_{s\bullet}) + \sum_{r=1}^m \beta_r (x_{rjk} - \bar{x}_{r\bullet\bullet}) + e_{ijk}$$

Por tanto, para la preselección de covariables no se ha tenido en cuenta el efecto aleatorio a nivel árbol o a nivel año x mes. Las covariables que se han probado son las combinaciones posibles de las relacionadas con las dimensiones del individuo, competencia intraespecífica, intensidad de poda, intensidad de descorche y variables edafoclimáticas. Dada la correlación existente entre las covariables dentro de cada grupo se ha permitido únicamente la presencia de, como mucho, una variable de cada grupo simultáneamente en el ajuste del modelo. También se consideró un máximo de 5 variables edafoclimáticas conjuntamente en el modelo.

El ajuste en el modelo reducido se ha realizado por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) bajo las hipótesis habituales de normalidad y residuos independientes de igual varianza. Se ha utilizado para la selección de las mejores regresiones distintos criterios de ajuste (R^2 ajustado -AdjR²-, Error medio cuadrático -EMC-, Criterio de información de Akaike -AIC-, Criterio Bayesiano de Schwarz -SBC-, predictivos (Suma de cuadrados de residuos de predicción -PRESS-, suma de valor absoluto de residuos de predicción -APRES-) y de multicolinealidad (Factores inflatores de la varianza -VIF-, Número de condición -NCOND-) combinados en tres algoritmos de puntuación. El primero (PUNT1) corresponde a la expresión:

$$PUNT1 = \frac{3}{10} \left[\frac{1}{4} \left(\frac{\max(\text{MSE}) - \text{MSE}}{\text{rango}(\text{MSE})} + \right. \right.$$

$$\left. \frac{\text{AdjR}^2 - \min(\text{AdjR}^2)}{\text{rango}(\text{AdjR}^2)} + \frac{\text{abs}(\text{AIC} - \max(\text{AIC}))}{\text{rango}(\text{AIC})} + \frac{\text{abs}(\text{SBC} - \max(\text{SBC}))}{\text{rango}(\text{SBC})} \right] +$$

$$\frac{5}{10} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\max(\text{PRESS}) - \text{PRESS}}{\text{rango}(\text{PRESS})} + \right. \right.$$

$$\left. \frac{\max(\text{APRES}) - \text{APRES}}{\text{rango}(\text{APRES})} \right] + \frac{2}{10} \left[\frac{1}{2} \right.$$

$$\left. \left(\frac{\max(\text{VIF}) - \text{VIF}}{\text{rango}(\text{VIF})} + \frac{\max(\text{NCOND}) - \text{NCOND}}{\text{rango}(\text{NCOND})} \right) \right]$$

Este algoritmo toma valor 0 si la regresión evaluada es la peor en todos los criterios considerados y 1 en el caso de que sea la mejor en todos los criterios, ponderando en un 30% los criterios de ajuste, en un 50% los criterios predictivos y 20% los criterios de multicolinealidad. Los algoritmos PUNT2 y PUNT3 tienen similar expresión pero con diferente ponderación entre criterios (30%, 60% y 10% en el caso de PUNT2 y 20%, 70%, 10% en el caso de PUNT 3). Se consideró igualmente el valor medio de los 3 algoritmos de puntuación. Las regresiones con $VIF > 5$ fueron eliminadas. Se preseleccionaron las 10 mejores regresiones en cualquiera de las 4 puntuaciones. Todo el proceso se implementó en IML/SAS

Una vez preseleccionadas las covariables más influyentes, la estimación de los parámetros se realiza mediante la resolución de las ecuaciones del modelo mixto, calculándose los componentes de la varianza a nivel árbol, año x mes y error residual por máxima verosimilitud y los coeficientes de las covariables por mínimos cuadrados generalizados.

Los criterios utilizados para comparar los modelos entre sí y seleccionar las covariables definitivas más significativas han sido: Valor de -2 veces el logaritmo de la función de verosimilitud conjunta de la muestra y el Criterio de información de Akaike (AIC).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evolución del desfronde

En la figura 1 se muestra la evolución temporal de todas las fracciones del desfronde estudia-

das, excepto para los frutos. Analizando la figura 1 observamos como los máximos valores de desfronde se dan en primavera (marzo-junio) siendo mayor el valor en 2004 ($259,48 \text{ g.m}^{-2}$) que en 2005 ($199,88 \text{ g.m}^{-2}$). El máximo desfronde de hojas en primavera se debe a la renovación de la cobertura foliar, la diferencia entre un año y otro puede ser debido a que el año 2005 fue muy seco por lo que no hubo agua suficiente como para renovar la cobertura. También se produce un pico de desfronde durante los meses comprendidos entre octubre y diciembre siendo también mayor en el año 2004. Este hecho ha sido descrito por otros autores (LEONARDI *et al.*, 1992; BUSSOTTI *et al.*, 2003; CARITAT *et al.*, 2006) quienes exponen que debido a unas buenas condiciones de temperatura y precipitación en otoño se produce un segundo rebrote después de la sequía estival y antes de las bajas temperaturas invernales.

Modelización del desfronde de hojas.

Las covariables seleccionadas finalmente, mediante el análisis del modelo mixto han sido: el Área Potencialmente disponible con exponente 1 de ponderación (APA1), a nivel árbol, y Humedad media del suelo a 30 cm (mCP30) a nivel año x mes. La consideración de la correlación espacial entre individuos y la autocorrelación temporal de orden 1 entre observaciones dentro de un mismo individuo no da lugar a una mejora significativa en las características del modelo.

En la tabla 1 se indica la variación que experimentan los criterios de selección cuando se introducen estas covariables y cómo varían los componentes de la varianza a nivel árbol y a

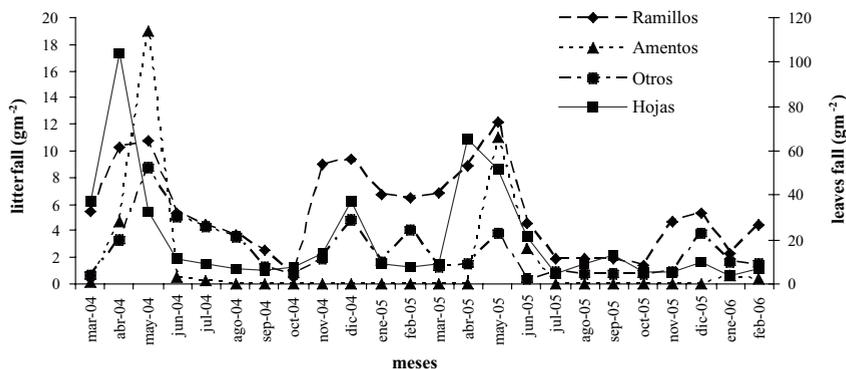


Figura 1. Evolución del desfronde para las distintas fracciones

Pasos	1	2	3
T.independiente	μ	μ	μ
Covariables árbol		APA1	APA1
Covariables año x mes			mCP30
σ^2 árbol	0.1219	0.0270	0.0262
σ^2 año x mes	0.9413	0.9343	0.6945
σ^2 residuo	0.5280	0.5279	0.5279
σ^2 total	1.5912	1.4892	1.2486
-2LL	632.1	620.4	614.5
AIC	640.1	630.4	626.5

Tabla 1. Componentes de la varianza y criterios de ajuste en el modelo de desfronde de hojas

nivel año x mes. Se aprecia que la introducción del índice de competencia reduce la varianza a nivel árbol de 0,1219 a 0,0270 mientras que la introducción de la humedad media del suelo a 30 cm de profundidad reduce la componente de la varianza a nivel año x mes de 0,9343 a 0.6945. En el modelo final seleccionado la varianza a nivel árbol representa un 2,1% de la variabilidad total, la correspondiente al nivel año x mes un 55,6% y el error residual el 42,3% restante.

La estimación de los coeficientes y significación de las covariables seleccionadas se indican en la tabla 2. Los coeficientes indican que tienen un menor desfronde aquellos individuos sometidos a mayor competencia, debido a que el efecto de fenómenos puntuales que provocan la caída de hojas como ráfagas de viento o precipitaciones intensas puede afectar más a los individuos que se encuentran más aislados (menor índice de competencia), y que un mayor contenido de humedad de suelo favorece la renovación de la cobertura foliar siendo pues mayor el desfronde en individuos con unos valores elevados de humedad en las capas altas del suelo.

Cabe destacar que la dimensión de los individuos, la poda realizada y la intensidad de descorche no parecen influir en los valores de desfronde de hojas, no apreciándose la presencia de correlación espacial en este proceso. La parte

fija del modelo absorbe un 21,5 % de la varianza en parte debido a la gran influencia que tiene en estas especies la variabilidad genética entre los individuos. Para análisis futuros se considerará una serie de datos más larga y se tendrá en cuenta la posible mejora que puede experimentar el modelo al considerar las variables edafoclimáticas retardadas en el tiempo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los Proyectos de Investigación: SUBERWOOD Strategy and technology development for a cork+wood forestry chain (V Programa Marco de la UE, QLK5-CT-2001-007001) (2002-2005) y MEDCRE *Influencia de factores ambientales en el crecimiento de especies mediterráneas (Quercus ilex, Quercus suber, Pinus pinea)*. Plan Nacional de I+D+I, 2005, AGL2005-04971 (2006). Agradecemos la colaboración prestada para la realización de este trabajo al Excmo. Ayuntamiento de Hinojos y a la Delegación de Medio Ambiente de Huelva de la Junta de Andalucía y a todas las personas que han ayudado en la realización de los trabajos de campo y laboratorio y muy especialmente a Celia, Raúl, Nico y Dani.

Variable	Estimación	Pr > t
T Indep.	-1.4338	0.0020
APA1	-0.0063	0.0008
mCP30	0.5225	0.0163

Tabla 2. Valores estimados y probabilidad asociada de las covariables seleccionadas en el modelo de desfronde de hojas

BIBLIOGRAFÍA

- ARIANOUTSOU, M.; 1989. Timing of litter production in a maquis ecosystem of North-Eastern Greece. *Oecologiae Plantarum* 10(4): 371-378.
- BUSSOTTI, F.; BORGHINI, F.; CELESTI, C.; LEONZIO, C.; COZZI, A.; BETTINI, D. & FERRETTI, M.; 2003. Leaf shedding, crown condition and element return in two mixed holm oak forests in Tuscany, central Italy. *Forest Ecol. Manage.* 176: 273-285.
- CARITAT, A.; BERTONI, G.; MOLINAS, M.; OLIVA, M. & DOMÍNGUEZ-PLANELLA, A.; 1996. Litterfall and mineral return in two cork oak forests in Northeast Spain. *Ann. For. Sci.* 53: 1049-1058.
- CARITAT, A.; GARCÍA-BERTHOU, E.; LAPEÑA, R. & VILAR, L.; 2006. Litter production in a *Quercus suber* forest of Montseny (NE Spain) and its relationship to meteorological conditions. *Ann. For. Sci.* 63(7): 791-800.
- LEONARDI, S.; RAPP, M.; FAILLA, M. & KOMAROMY, E.; 1992. Biomasse, minéralomasse, productivité et gestion de certains éléments biogènes dans une forêt de *Quercus suber* L. en Sicile (Italie). *Ecologia Mediterranea* 18: 89-98.
- MONTOYA, J.M.; 1988. *Los alcornocales: revisión del estado de conocimientos en 1987*. Ministerio Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- VÁZQUEZ, J.; LAGO, J. Y GONZÁLEZ, A.; 2001. INCO: Programa para el cálculo de índices de competencia de especies forestales. En: S.E.C.F.-Junta de Andalucía. (eds.), *Actas del III Congreso Forestal Español V*: 517-524. Coria Gráficas. Sevilla.
- VÁZQUEZ, J. Y PEREIRA, H. ; 2005. Modelos de crecimiento en diámetro para alcornocales del centro y sur de Portugal. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 18: 219-226.