

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS Y LAS CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS Y SELVÍCOLAS EN EL DESFRONDE DEL ALCORNOQUE

Enrique Andivia Muñoz, Javier Vázquez-Piqué, Reyes Alejano Monge y Manuel Fernández Martínez

Departamento de Ciencias Agroforestales. Universidad de Huelva. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Campus Universitario de La Rábida. 21819-PALOS DE LA FRONTERA (Huelva, España). Correo electrónico: enrique.andivia@dcaf.uhu.es

Resumen

El desfronde representa un aspecto importante de la ecología del alcornoque al transferir biomasa y nutrientes al suelo forestal y estando principalmente influenciado por las condiciones climáticas, aunque otros aspectos como las prácticas selvícolas pueden también modificarlo. Por ello, desde el punto de vista de la gestión, es importante analizar de forma integral todos los factores que puedan alterar los patrones de desfronde y por tanto alterar el aporte de carbono y nutrientes al suelo. Se ha analizado el desfronde en una parcela de alcornocal de la provincia de Huelva durante un periodo de 3 años (2004-2006), recogiendo mensualmente el desfronde en 12 árboles. A partir de estos datos se ha construido un modelo donde se ha analizado la influencia de variables climáticas, edáficas, tamaño de los individuos, poda, intensidad de descorche y competencia intraespecífica sobre el desfronde. Los resultados muestran la gran estacionalidad intraanual del desfronde, con picos durante la primavera y con otro menor en otoño. Estas son las épocas del año más favorable como consecuencia de las precipitaciones, por lo que los árboles renuevan su cobertura foliar retranslocando recursos a los brotes nuevos, más eficientes desde el punto de vista fisiológico.

Palabras claves: *Modelización, Estacionalidad, Competencia, Poda, Quercus suber*

INTRODUCCIÓN

El desfronde es el principal aporte de biomasa aérea al suelo del bosque, jugando un papel principal en el ciclo de nutrientes en un ecosistema forestal (GRAY & SCHLESINGER, 1981), especialmente en alcornocales donde los individuos renuevan anualmente la mayor parte de su cobertura foliar (ANDIVIA et al., 2010). El desfronde está principalmente influenciado por las condiciones climáticas, aunque a una escala menor la topografía así como la disponibilidad de agua y nutrientes pueden modificarlo

(BLANCO et al., 2008). No obstante, los escenarios climáticos para el área mediterránea predicen un cambio en los patrones de las precipitaciones y un aumento de las sequías (CHRISTENSEN et al., 2007), estos cambios afectarán a la fenología de las especies y en consecuencia a su desfronde. Es por tanto necesario disponer de un correcto conocimiento de la influencia de las condiciones climáticas en el desfronde para una correcta gestión de las masas, pero además los alcornocales han sido tradicionalmente sometidos a prácticas selvícolas, como las podas y el descorche que podrían

tener un efecto en el desfronde que no ha sido verificado. Todo ello hace necesario realizar estudios sobre desfronde donde no solo se consideren variables climáticas, sino también se evalúe el efecto de estas prácticas. En este sentido no existen estudios previos que consideren simultáneamente el efecto de condiciones climáticas, características ecológicas y de prácticas selvícolas tradicionales en la producción del desfronde, centrándose estos estudios en los patrones de desfronde y el retorno de nutrientes (ANDIVIA *et al.*, 2010) o bien considerando solo el efecto de las variables climáticas (CARITAT *et al.*, 2006). Los objetivos del estudio son: (i) identificar cuáles son las principales variables climáticas y en que medida afectan a la producción y estacionalidad del desfronde; (ii) evaluar que efecto tiene la competencia intraespecífica en la producción de desfronde; (iii) comprobar el efecto de prácticas selvícolas, como las podas o el descorche en la producción del desfronde.

MATERIAL Y MÉTODOS

Caracterización del área de estudio

La parcela de estudio se encuentra en el municipio de Hinojos, situado en la provincia de Huelva, en el suroeste de la península ibérica (UTM: zona 29: X, 0728082; Y, 4133575). La parcela se sitúa 100 m sobre el nivel del mar, cuenta con una superficie de 1,9 ha y está situada en un alcornocal donde *Quercus suber* L. es la especie predominante, *Quercus ilex* L. subs. *ballota* (Desf) Samp. aparece como especie secundaria y el estrato arbustivo es típicamente mediterráneo. La parcela tiene una densidad de 99,6 árboles por hectárea y su área basimétrica es de 8,1 m²·ha⁻¹.

El clima es típico mediterráneo con una precipitación anual media de 579 mm, una temperatura media de 18,9°C y un periodo de sequía estival de unos 4 meses. El suelo es un perfil complejo franco-arenoso-arcilloso con una capa superior de arena de 25 a 40 cm de espesor sobre un horizonte arcilloso, clasificándose como Thapto Alfisol Xerorthent (USDA 2003). En la parcela de estudio se instaló una estación meteorológica que recoge cada 15 minutos datos de temperatura del aire, temperatura del suelo,

humedad del aire, precipitación, evapotranspiración, humedad del suelo a distintas profundidades y dirección y velocidad del viento. Además se estableció la posición topográfica de todos los pies mediante una estación total.

Recogida y análisis del desfronde

La parcela cuenta con un total de 107 árboles, los cuales fueron clasificados en función a la circunferencia del tronco a la altura del pecho (CAP) y el coeficiente de descorche, formándose tríos de árboles con similares características de estos parámetros y en los que cada árbol pertenecía a un tipo de poda (Testigo, Débil y Fuerte). Posteriormente se seleccionaron al azar 4 árboles con índices de competencia distintos, estos 4 árboles junto a los correspondientes a su trío formaron los 12 árboles en los que se muestreó el desfronde.

Para la recogida del desfronde se instalaron en cada árbol cuatro contenedores circulares (0,16 m² cada uno), situados en los cuatro puntos cardinales y a una distancia igual a tres cuartas partes del radio de copa medido desde el tronco. La recogida del desfronde se realizó de manera mensual comenzando en enero de 2004 y finalizando en diciembre de 2006. Las muestras fueron llevadas al laboratorio donde se secaron durante 48 h en un horno a 65°C. Una vez secadas las muestras se separaron en distintas fracciones (hojas, ramillos, flores masculinas y otros) y se pesaron. Las bellotas no se tuvieron en cuenta debido a que se usó una metodología distinta a la del desfronde para su recogida con el objetivo de ser utilizadas en otro estudio complementario sobre producción de bellota.

Análisis de datos

Para el análisis de los datos del desfronde se ha elaborado un modelo lineal mixto con el objetivo de analizar la influencia del individuo, el año, el mes y el tratamiento de poda, así como sus interacciones, en la evolución del desfronde de la especie, considerando las fracciones de hojas, ramillos y total. Dado que la recogida del desfronde en la parcela no se ha realizado siempre el mismo día del mes ni siempre al final del mismo, se ha realizado una extrapolación lineal entre fechas de medición para el cálculo del desfronde mensual en sus distintas fracciones entre el pri-

mer y último día de cada mes. La variable dependiente utilizada ha sido el peso de la fracción de desfronde correspondiente (hojas, ramillos, total). El modelo tiene la siguiente estructura inicial:

$$y_{ijkm} = \mu + \alpha_i + b_j + \tau_k + \gamma_m + (\alpha | \tau | \gamma)_{ikm} + e_{ijkm}$$

Con:

- y_{ijkm} : Peso de la fracción de desfronde considerada en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ de proyección de copa del árbol j sometido a la poda i en el mes k del año m .
- μ : media general.
- α_i : Efecto fijo de la poda ($i=1,2,3$).
- b_j : Efecto aleatorio árbol con $j=1,2,\dots,12$ bajo las hipótesis $b_{j(i)} \sim N(0, \sigma_b^2)$.
- τ_k : Efecto fijo del mes con $k=1,2,\dots,12$.
- γ_m : Efecto fijo del año con $m=1,2,3$.
- $(\alpha|\tau|\gamma)_{ik}$: Conjunto de interacciones dobles y triples entre efectos fijos.
- e_{ijkl} : Error residual con hipótesis de distribución normal.

El modelo inicial es un modelo lineal mixto con efecto aleatorio árbol y efectos fijos poda, mes y año y conjunto de interacciones entre estos tres efectos fijos. Debido a la posible presencia de correlación espacial entre individuos de la parcela y correlación entre observaciones tomadas en distintos meses en un mismo individuo, se han experimentado distintas estructuras de la matriz de varianzas-covarianzas para el conjunto de los datos, incluyendo hipótesis de no independencia entre observaciones tomadas en los distintos meses de un año en un individuo y varianzas heterogéneas en los distintos meses. Se han considerado matrices de tipo autorregresivo de orden 1, Toeplitz con varias bandas, simétrica compuesta heterogénea, antedependiente de orden 1, no estructurada y no estructurada diagonal. Una vez seleccionada la matriz se comprobó la existencia de correlación espacial entre los árboles estudiados.

Los componentes de la varianza para cada una de las estructuras de la matriz de varianzas-covarianzas se han estimado por máxima verosimilitud restringida o residual. Para analizar la mejor estructura de modelo se han comparado los valores del criterio de información de Akaike (AIC) (AKAIKE, 1974) de modo que aquellas con menores valores indican un mejor ajuste. Tras la selección de la mejor estructura de la matriz de

varianzas-covarianzas y la estimación de los componentes de la varianza se ha realizado la estimación de los coeficientes de los efectos fijos por mínimos cuadrados generalizados y analizado su nivel de significación mediante un test F.

En los efectos que han resultado significativos se han introducido covariables. Las covariables introducidas a los distintos niveles son las siguientes:

- Nivel árbol: CAP bajo corcho, superficie de copa, altura, coeficiente de descorche e índices de competencia. Los índices de competencia se han calculado mediante el software INCO (VÁZQUEZ-PIQUÉ et al., 2001), pudiéndose consultar su formulación en VÁZQUEZ Y PEREIRA (2004).
- Nivel año, mes y año x mes: Se calcularon los valores para cada nivel de las siguientes variables climáticas: temperatura, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad del aire, precipitación, evapotranspiración, humedad del suelo a distintas profundidades (10; 30; 60; 90 y 120 cm) y temperatura del suelo.

El nivel de significación de las covariables consideradas se ha analizado a través de un test F y mediante un test de verosimilitud con el valor de reducción de $-2LL$. En este caso la comparación se ha realizado tras realizar el ajuste del modelo por máxima verosimilitud. El análisis estadístico se ha realizado con SAS v9.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el periodo de estudio el desfronde medio fue de $314 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ siendo este dato similar al desfronde registrado en otros estudios con esta misma especie (ANDIVIA et al., 2010; CARITAT et al., 2006). La fracción mayoritaria fueron las hojas, las cuales suponen un 68% del total del desfronde recogido, seguido de los ramillos con un 18% del total mientras que el resto fueron principalmente flores masculinas y otros restos. El desfronde anual varió en el rango $260\text{-}386 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, presentando un coeficiente de variación (CV) en torno al 21%. Dicha variabilidad interanual estuvo principalmente influenciada por la variabilidad en el desfronde foliar, al ser esta su fracción mayoritaria (BELLOT et al., 1992). El desfronde foliar presentó un CV del 23% siendo

su variabilidad debida a la variabilidad interanual de las precipitaciones, obteniéndose los menores valores de desfronde en el año más seco (2005). Los ramillos fueron los que presentaron una menor variabilidad interanual (CV = 12%) mientras que las flores masculinas fueron las más variables entre años de estudio (CV = 40%).

En la Tabla 1 podemos observar las estructuras seleccionadas para los modelos mixtos de cada una de las variables estudiadas, así como los resultados derivados de los mismos. Como podemos observar el efecto año resultó significativo para hojas y para el total, debido a la variabilidad

interanual del desfronde foliar. Tanto el efecto mes como el efecto año x mes resultaron significativos para todas las fracciones estudiadas, mostrando la existencia de un patrón estacional en la caída del desfronde (Figura 1). Nuestros resultados muestran que el 60% del desfronde cae entre los meses de marzo y junio, coincidiendo con la primavera, y que el 30% lo hace en otoño (entre octubre y diciembre). En el clima mediterráneo los periodos más favorables de temperaturas y lluvias para la fotosíntesis y la actividad metabólica son la primavera y el verano (BUSSOTI *et al.*, 2003), produciéndose durante esta época la reno-

VARIABLE Estructura seleccionada (AIC; -2LL)		HOJAS No estructurada de 3 bandas (2226,6; 2294,6)		RAMILLOS No estructurada de 2 bandas (1682,4; 1735,4)		TOTAL No estructurada de 3 bandas (2639,8; 2707,8)	
Efecto	GL	F	p	F	p	F	P
poda	2	1,07	0,3428	1,56	0,2121	1,31	0,2722
año	2	6,94	0,0011	1,41	0,2468	12,10	<0,0001
mes	11	28,88	<0,0001	13,48	<0,0001	27,21	<0,0001
poda x año	4	1,43	0,2222	1,36	0,2482	1,36	0,2468
poda x mes	22	1,15	0,2897	2,23	0,0015	1,33	0,1496
año x mes	22	14,09	<0,0001	3,89	<0,0001	15,78	<0,0001
poda x año x mes	44	1,45	0,0388	1,41	0,0514	1,06	0,3688

Tabla 1. Valores de F, p y grados de libertad (GL) derivados de los modelos mixtos que analiza el efecto de los factores fijos y sus interacciones sobre cada fracción del desfronde. También se muestra la estructura de varianzas-covarianzas seleccionadas para cada variable dependiente y los valores del criterio de información de Akaike (AIC) y del estadístico $-2 \times$ logaritmo de verosimilitud (-2LL)

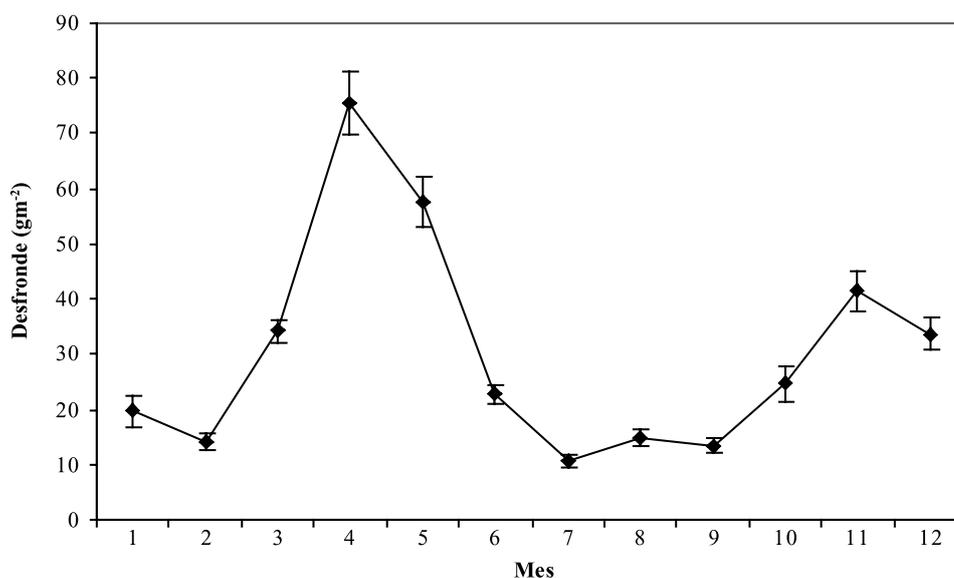


Figura 1. Desfronde total estimado (g·m⁻² de peso seco) en función del mes para 3 años de estudios (2004-2006) en un alcornocal de la provincia de Huelva

vacación de la cobertura foliar (ESCUADERO & DEL ARCO, 1987). Dicha renovación se produce mayoritariamente en primavera al ser ésta la época más favorable desde el punto de vista fisiológico antes de la llegada del periodo estival, donde la sequía es el mayor factor estresante para la vegetación. Por esta razón los árboles tiran las hojas senescentes, con un mayor coste de mantenimiento, retranslocando nutrientes y recursos hídricos a las nuevas hojas (CARITAT et al., 2006), más eficientes desde el punto de vista fisiológico.

Como observamos en la Tabla 1 el efecto poda x año x mes resultó significativo para el desfronde foliar, dicha significación es debida fundamentalmente a la primavera de 2005. En este periodo los árboles no podados (testigos) tuvieron mayor desfronde foliar que los sometidos a poda fuerte, manteniéndose los sometidos a la poda débil en valores intermedios. También resultó significativo el efecto poda x mes para los ramillos, los tres tratamientos de poda presentaron la misma tendencia con valores máximos en primavera y otoño y mínimos en verano. Sin embargo existieron diferencias entre los tres tratamientos en primavera y otoño. En primavera los árboles testigos presentaron los mayores valores de desfronde de ramillos, mientras que los árboles sometidos a la poda fuerte presentaron los más bajos. En otoño los árboles testigos y los sometidos a la poda fuerte mostraron valores similares siendo los valores más elevados los de los árboles sujetos a la poda débil, siendo este valor incluso mayor al registrado por los árboles de este tratamiento durante la época de máximo desfronde (primavera). En vista de los resultados es necesario llevar a cabo futuros estudios teniendo en cuenta una serie temporal más larga y con podas realizadas en distintos momentos para entender el efecto de la poda sobre el desfronde, así como sobre la asignación de recursos dentro del árbol, lo cual puede afectar tanto al crecimiento como a la producción de fruto. Sin embargo los resultados obtenidos muestran un efecto negativo de la poda fuerte en la producción de desfronde y por tanto en el retorno de nutrientes al suelo, lo cual podría tener un efecto negativo sobre la productividad a largo plazo, desaconsejándose la realización de podas agresivas en el alcornoque.

Respecto a las covariables introducidas en el modelo, a nivel árbol resultaron significativas el

CAP bajo corcho para el desfronde foliar ($p=0,016$) y el total ($p=0,008$), y los índices de competencia para todas las fracciones consideradas ($p<0,001$). Los árboles más grandes (mayor CAP) presentaron valores mayores de desfronde, debido al mayor espesor de copa. La relación fue inversa para los índices de competencia siendo mayor el desfronde en los árboles con menor competencia, debido principalmente al mayor tamaño de estos y a la mayor disponibilidad de nutrientes y recursos hídricos. De las covariables edafoclimáticas, la mayoría de ellas resultaron significativas al nivel año x mes debido a la estacionalidad del desfronde y a la propia estacionalidad de las covariables relacionadas con la temperatura, la humedad y la precipitación y evapotranspiración. Sin embargo es interesante señalar el alto grado de significación de la humedad de suelo, especialmente a 30 y 60 cm de profundidad. Como hemos comentado anteriormente la renovación de la cobertura foliar se produce principalmente en primavera, siendo necesario valores adecuados de humedad en el suelo para dicha renovación. En caso contrario la formación de nuevas hojas se verá afectada aumentándose el tiempo de retención de las hojas, tal como ha sido demostrado en diversos estudios con otras especies mediterráneas de *Quercus* (MISSON et al., 2011; SABATÉ et al., 1999).

CONCLUSIONES

El desfronde de alcornoque presenta una elevada variabilidad interanual y está principalmente influenciado por la variabilidad de su fracción mayoritaria, el desfronde foliar, por lo que la estacionalidad del mismo depende principalmente de la renovación de la cobertura foliar. Dicha renovación se produce mayoritariamente en primavera, con un segundo pico en otoño aunque inferior al anterior. La renovación de la cobertura foliar en primavera es debida a las condiciones óptimas de temperatura y precipitación, por lo que el alcornoque toma ventaja antes del periodo de estrés hídrico a consecuencia de la sequía estival.

El desfronde también está influenciado por características a nivel árbol, como el tamaño y la competencia, además de por variables edafocli-

máticas, principalmente las relacionadas con la humedad de suelo. Los tratamientos selvícolas, como las podas, también influyen en el desfronde del alcornoque aunque será necesario llevar a cabo futuros estudios para comprender el efecto de esta técnica de manejo en el desfronde así como en la asignación de recursos internos del árbol y su relación con el crecimiento y la producción de bellota. Sin embargo en base a los resultados se desaconseja la realización de las podas tradicionales al influir negativamente en la producción de desfronde y por tanto en el aporte de nutrientes al suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- AKAIKE, H.; 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Autom. Control* 19(6): 716-723.
- ANDIVIA, E.; FERNÁNDEZ, M.; VÁZQUEZ-PIQUÉ, J.; GONZÁLEZ-PÉREZ, A. & TAPIAS, R.; 2010. Nutrients return from leaves and litterfall in a mediterranean cork oak (*Quercus suber* L.) forest in southwestern Spain. *Eur. J. For. Res.* 129(1): 5-12.
- BELLOT, J.; SÁNCHEZ, J.R.; LLEDÓ, M.J.; MARTÍNEZ, P. & ESCARRÉ, A.; 1992. Litterfall as a measure of primary production in mediterranean holm oak forest. *Vegetatio* 99-100: 69-76.
- BLANCO, J.A.; BOSCO-IMBERT, J. & CASTILLO, F.J.; 2008. Nutrient return via litterfall in two contrasting *Pinus sylvestris* forests in the Pyrenees under different thinning intensities. *Forest Ecol. Manage.* 256: 1840-1852.
- 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.; 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.
- CHRISTENSEN, J.H.; HEWITSON, B.; BUSUIOC, A. *et al.*; 2007. Contribution of working group I to fourth assessment report of the intergovernmental panel of climate change. *In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt & M.Y.H.L. Miller (eds.), Climate Change 2007: The Physical Science.* Cambridge University Press. Cambridge.
- ESCUADERO, A. & DEL ARCO, J.M.; 1987. Ecological significance of the phenology of leaf abscission. *Oikos.* 49: 11-14.
- GRAY, J.T. & SCHLESINGER, W.H.; 1981. Nutrient cycling in Mediterranean type ecosystems. *In: P.C. Miller (ed.), Resource use by chaparral and matorral. A comparison of vegetation function in two Mediterranean type ecosystems:* 259-286. Ecological Studies 39. Springer-Verlag. New York.
- MISSON, L.; DEGUELDRE, D.; COLLIN, C.; RODRIGUEZ, R.; ROCHETEAU, A.; OURCIVAL, J.M. & RAMBAL, S.; 2011. Phenological responses to extreme droughts in a Mediterranean forest. *Glob. Change Biol.* 17: 1036-1048.
- SABATÉ, S.; SALA, A. & GRACIA, C.A.; 1999. Leaf traits and canopy organization. *In: F. Rodà, J. Retana, C.A. Gracia & J. Bellot. (Eds), Ecology of Mediterranean evergreen Oak Forests:* 183-194. Ecological studies 137. Springer. Berlin.
- USDA; 2003. *Keys to soil taxonomy.* 9th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service. Washington.
- VÁZQUEZ-PIQUÉ, J.; LAGO, J. Y GONZÁLEZ-PÉREZ, 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 Gráfica. Sevilla.
- VÁZQUEZ, J. Y PEREIRA, H.; 2004. Modelos de crecimiento en diámetro para alcornoques del centro y sur de Portugal. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 18: 219-226.