

# ES CONSTANTE EL PATRÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA INTERACCIÓN ÁRBOL-PASTO EN DEHESAS

Guillermo Gea Izquierdo\*, Isabel Cañellas Rey de Viñas y Gregorio Montero González

CIFOR-INIA. Crta. La Coruña km 7,5. 28040-MADRID (España). \*Correo electrónico: guigeiz@inia.es

## Resumen

La dehesa es un sistema agrosilvopastoral ibérico que lleva siendo objeto de estudio varias décadas. Existen interrogantes en su origen y muchos de los procesos ecológicos que lo integran aún distan mucho de ser comprendidos. Se suele considerar que el incremento en la fertilidad edáfica y mejora microclimática originadas por la presencia del árbol producen un aumento en la producción de biomasa herbácea bajo la copa respecto al exterior. Sin embargo, cuando se analiza la bibliografía en otros sistemas, se aprecia que esta interacción varía según tipos de clima y densidades del arbolado, entre otros. En las dehesas, las comunidades herbáceas se distribuyen según los patrones topográficos, la distribución del estrato arbóreo y la influencia del ganado, presentándose grupos de especies con diferentes características ecológicas (comunidades de anuales y de anuales-vivaces). En este trabajo preliminar se muestra la variación espacial y temporal en la interacción árbol-pasto sobre la producción de una comunidad anual durante tres años. La influencia de la copa es asimétrica como consecuencia de la órbita solar. A su vez, la irregularidad de la precipitación en climas mediterráneos y la propia dinámica climática a lo largo del ciclo fenológico anual, pueden hacer variar el sentido de la influencia de la copa sobre el pasto dentro del mismo año fenológico y entre años de diferente climatología bajo un mismo árbol. En dehesas, la producción de biomasa herbácea en comunidades terofíticas situados bajo la copa es de media superior sobre suelos pobres mientras que, como se muestra en la bibliografía, en suelos más ricos, ya por fertilización humana o por topografía (vallizares), la producción es mayor en el exterior.

Palabras clave: *Dehesa, Quercus ilex, Pastizal de especies anuales, Facilitación, Competencia*

## INTRODUCCIÓN

En la Península Ibérica, como consecuencia de sus características naturales e históricas, existe una amplia variedad de sistemas agroforestales, principalmente silvopastorales. Entre ellos, el sistema más extendido y posiblemente complejo es la dehesa. Este sistema agroforestal está situado sobre suelos no aptos para el uso agrícola, siendo generalmente ácidos y arenosos en superficie, originados generalmente a partir de

granitos, cuarcitas o pizarras. Las precipitaciones son escasas (media alrededor 500 mm), irregulares y estacionales, centradas en primavera y otoño, correspondientes a un régimen climático mediterráneo. El período seco estival es muy marcado, teniendo que soportar la vegetación largas temporadas de déficit hídrico (JOFFRE & RAMBAL, 1993; SAN MIGUEL, 1994). Debido a estas características de suelo y clima, resulta de vital importancia la redistribución de agua y nutrientes (factores limitantes en estos ecosiste-

mas) realizado por la topografía (PUERTO Y RICO, 1992) y por la presencia del estrato arbóreo disperso (MORENO et al., 2007). La presencia del árbol modifica las condiciones microclimáticas bajo la copa: insolación, humedad y nutrientes, principalmente (FROST & McDUGALD, 1989; VETAAS, 1992; GALLARDO, 2003), variando, entre otros, según la densidad de arbolado. La disponibilidad de luz no suele ser el factor limitante para las plantas en climas áridos y semiáridos de latitudes bajas como los mediterráneos. A diferencia de climas más húmedos, la disponibilidad de agua suele ser el factor más importante en estos ecosistemas (BELSKY, 1994). En las dehesas el árbol es considerado como un precursor de la fertilidad al bombear nutrientes desde estratos profundos y ponerlos a disposición de la vegetación herbácea. De este modo, su presencia añade a la heterogeneidad edáfica vertical una heterogeneidad espacial horizontal y temporal. Ello es debido a que el árbol adulto mejora las condiciones del suelo a partir de los aportes procedentes de su biomasa aérea y a los nutrientes lavados de sus tejidos por la lluvia. Por tanto, las modificaciones en el balance hídrico reseñadas están íntimamente relacionadas con las mejoras edáficas que se explicarán a continuación. Y por supuesto, el árbol necesita unos años para que su influencia se vea reflejada del modo previamente explicado, siendo su interacción con el sistema (suelo, comunidad herbácea, etc.) variable a lo largo de su vida.

Las comunidades vegetales responden a la heterogeneidad edáfica dentro de un mismo clima. Las comunidades pascícolas, a diferencia del estrato arbóreo presentan una gran diversidad y especialización, al adaptarse a los diferentes nichos ecológicos presentes. Por ello, al modificar la presencia del árbol los factores de suelo y clima, la composición del estrato herbáceo varía según su situación respecto a la copa, aumentando la presencia del árbol la diversidad a nivel de sistema (MARañÓN, 1986; PUERTO & RICO, 1992; LUDWIG et al., 2004). Los pastos resultantes son complejos y están formados por una variedad de comunidades con diferente producción, calidad, composición y fenología dependiendo de la topografía, el sustrato, el pastoreo y el manejo del hombre (PUERTO & RICO, 1992; VÁZQUEZ DE ALDANA et al., 2000). Las

especies terófitas y las comunidades que forman son las más extendidas (FERNÁNDEZ ALÉS et al., 1993).

La variación en las condiciones microambientales y la composición florística bajo la copa conlleva además una variación en la producción de biomasa herbácea. Así, dependiendo de la interacción de los factores anteriormente citados (luz, humedad, fertilidad) en la bibliografía en diferentes ecosistemas bajo climas no mediterráneos se puede encontrar un efecto negativo sobre la producción (SOMARRIBA, 1988), nulo (LUDWIG et al., 2004) y positivo (BELSKY, 1994; RHOADES, 1997).

Motivada por esta variabilidad en el efecto del árbol sobre la comunidad herbácea subyacente, en este estudio preliminar se discute la hipótesis de que la interacción árbol-biomasa herbácea no es constante ni espacial ni temporalmente, pudiendo variar no sólo entre ecosistemas como muestra la bibliografía, si no dentro del mismo ecosistema e incluso de la misma comunidad herbácea, particularmente si algún factor ambiental (luz, humedad, nutrientes) se ve modificado como puede ser la humedad en años de sequía.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se ha desarrollado en el Dehesón del Encinar (Torralba de Oropesa, Toledo). La finca posee una extensión de 725 ha, y está situada a 330 m de altitud. El clima es continental mediterráneo con una temperatura media de 15,2 °C y una precipitación media los últimos 30 años de 572 mm (Tabla 1). El estrato superficial es arenoso con pH ácido y bajo contenido en materia orgánica. Se muestrearon las primeras quincenas de abril y de mayo en los años 2004 a 2006. La precipitación anual fue superior a la media en 2004, muy inferior en 2005 y similar a la media en 2006. La precipitación primaveral (marzo a mayo) fue superior a la media en 2004 y 2006, aunque en este segundo año casi toda la precipitación se concentró en abril (Tabla 1).

Se seleccionaron diez encinas situadas en una zona de topografía llana en una masa mixta encina-alcornoque sobre un pasto de especies

anuales. El diámetro medio (media±desviación estándar) de los árboles fue de 63,5±26,0 cm, la altura 8,8±1,6 m y el radio de copa medio 4,9±1,8m. Todos los árboles fueron seleccionados procurando que en primavera la sombra de los árboles circundantes no influyera sobre los puntos de muestreo. Para aislar el efecto del árbol sobre el pasto herbáceo se evitaron árboles bajo los cuales crecían especies leñosas. En cada árbol se acotaron al pastoreo 16 puntos de muestreo divididos según dos factores:

- 1) Orientación: 8 puntos en dirección NE y 8 en dirección SO, según las orientaciones de mínima y máxima insolación respectivamente.
- 2) Distancia al tronco: en cada orientación, los 8 puntos de muestreo se situaron según distancias proporcionales al radio de copa medido en esa orientación para cada árbol, por tanto, a 1/4R (siendo R el radio de copa correspondiente al rumbo), 2/4R, 3/4R, R, 5/4R, 6/4R, 7/4R y 2R.

El tercer año (2006) estos puntos fueron extendidos hasta 2,25R y 2,5R en ambas orientaciones. El pasto fue cortado a ras de suelo en cuadrículas de 20x50 cm en 2004 y 50x50 en 2005-06, secándose en estufa a 60°C durante 48 horas para ser posteriormente pesados.

Debido a la correlación espacial y temporal en las observaciones y con objeto de analizar de modo eficiente el efecto del año, el rumbo y la distancia al tronco sobre la producción de pasto (variable dependiente) se utilizó un modelo mixto lineal. El efecto año se estudió dividido en dos: por un lado como un efecto fijo (para poder analizar la interacción de las distintas precipitaciones sobre los tratamientos) y por otro como un efecto aleatorio para tener en cuenta la correlación temporal entre observaciones. Por tanto, la expresión del modelo correspondiente sería:  $Y_u = X_u \cdot \beta + Z_u \cdot b_u + \epsilon_u$ ; donde,  $X_u$  es la matriz de diseño de los efectos

fijos asociada a esa observación;  $\beta$  es el vector que contiene los efectos fijos;  $Z_u$  es la matriz de diseño de los efectos aleatorios asociada a esa observación;  $b_u$  es el vector que contiene los efectos aleatorios asociados y que se distribuye de acuerdo a una normal de media cero y matriz de varianza G;  $\epsilon_u$  es un término aleatorio del error intra-árbol, distribuido según una normal de media 0 y matriz de varianza R. Esto implica que la variable Y se distribuye según una normal de media  $X\beta$  y varianza  $V = ZGZ' + R$  (VERBEKE & MOLENBERGHS, 2000). Salvo donde se indica, en todos los test se utiliza un nivel de significación  $\alpha = 0,05$ . En el proceso de análisis se utilizó el procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS 9.1. Para analizar la significación de los parámetros de varianza-covarianza estimados se usa el test de Wald.

RESULTADOS

El modelo ajustado finalmente fue:  
 $y_{hijk} = \beta_0 + b_h + \alpha_i OR + \gamma_j DT + \delta_k Año + \theta_{ij} OR * DT + \phi_{ik} Año * OR + \rho_{jk} Año * DT + \epsilon_{hijk}$

Siendo OR = orientación, DT = distancia al tronco y Año, factores fijos;  $y_{hijk}$  la observación de la variable y correspondiente a la orientación  $i$  ( $i = [1,2]$ ); distancia al tronco  $j$  ( $j = [1,8]$ ); año  $k$  ( $k = [1,2, 3]$ ), punto de muestreo  $h$  ( $h = [1, 200]$ );  $\beta_0$  es el efecto fijo correspondiente al término independiente mientras  $b_h$  es un efecto aleatorio año para el término independiente correspondiente a la muestra  $h$ ;  $\epsilon_{hijk} \sim N(0, \sigma^2)$ , es el error aleatorio asociado a la observación  $hijk$ . La matriz R ajustada poseía una estructura autoregresiva de orden 1 [AR(1)] por bloques pertenecientes a cada árbol ( $Z = 25,27$ ;  $p < 0,001$ ), siendo significativo también el efecto aleatorio correspondiente al término independiente ( $Z = 2,92$ ;  $p = 0,018$ ). Los efectos fijos fueron todos

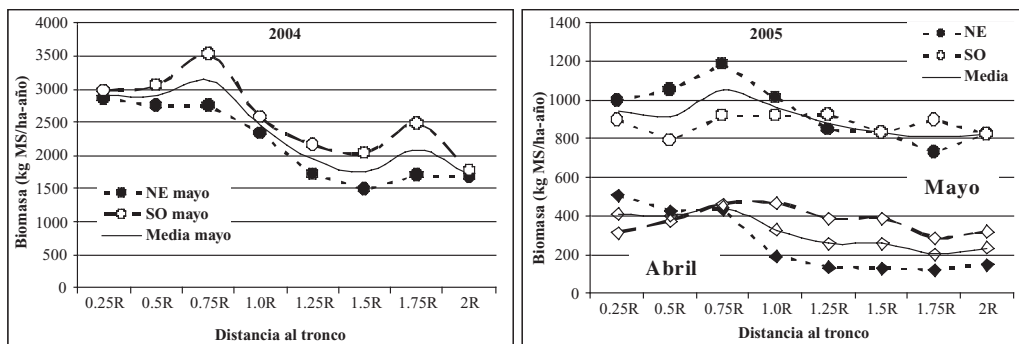
| Precipitación/Año   | 2003/2004 | 2004/2005 | 2005/2006 | Media 3 años | Media 30 años |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|---------------|
| marzo-abril         | 96,0      | 62,0      | 162,1     | 106,7±50,9   | -             |
| mayo                | 118,1     | 34,5      | 43,2      | 65,3 ±46,0   | -             |
| marzo-mayo          | 214,1     | 96,5      | 205,3     | 172,0± 65,5  | 150,0         |
| anual (sept-agosto) | 782,3     | 343,9     | 583,0     | 569,7±219,5  | 573,0         |

Tabla 1. Datos precipitación 2004-2006

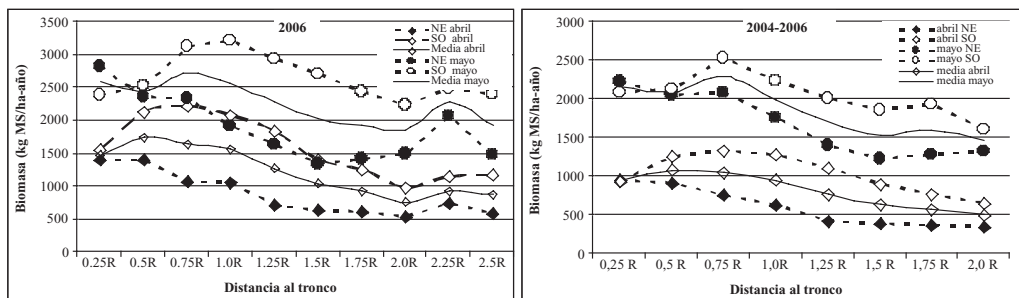
significativos (DT:  $F = 9,81$ ;  $p < 0,001$ . OR:  $F = 16,03$ ;  $p < 0,001$ . Año:  $F = 82,13$ ;  $p < 0,001$ ), aunque el hecho de que las interacciones entre año y los dos tratamientos (orientación y distancia) fueran significativas (Año\*OR:  $F = 3,77$ ;  $p = 0,0247$ . Año\*DT:  $F = 3,30$ ;  $p < 0,001$ ) hace que sea necesario analizar el efecto de la orientación y distancia por año, esto es, según el año sea seco o no. La interacción entre DT\*OR no fue significativa ( $F = 1,45$ ;  $p = 0,166$ ). Estos efectos diferenciales para el año más seco de la producción en las distintas distancias y orientaciones se aprecian en las Figuras 1 y 2. La orientación más soleada (SO) produjo más en todas las distancias excepto en la más cercana al tronco en los años que no hubo sequía (2004 y 2006), no siendo apreciable la influencia de la copa sobre la orientación SO en el año seco (2005) y situándose el máximo de producción en los puntos bajo la copa en el NE en ese año (Figuras 1 y 2).

## DISCUSIÓN

Sólo en determinadas condiciones, las mejoras edáficas y microclimáticas descritas se traducen en un incremento de la producción en la biomasa herbácea. El efecto del árbol sobre la producción del pasto se muestra variable en distintos ecosistemas y bajo diversas especies arbóreas y comunidades pascícolas. En general podría decirse que la producción se incrementará bajo el árbol siempre que la disminución de la radiación no sea excesiva y sobre suelos en los que los nutrientes sean limitantes (VETAAS, 1992). Según nuestros resultados en pastos de anuales en dehesas, esta variación parece poder apreciarse también no sólo entre ecosistemas sino dentro de un mismo ecosistema, siendo la influencia asimétrica en el tiempo y el espacio. Así, existe una diferencia en estas interacciones según la orientación respecto del sol, aunque



**Figura 1.** Resultados biomasa herbácea mayo 2004 y abril-mayo de 2005. En abscisas se muestran las distancias proporcionales al radio de copa (R) en la orientación objeto de estudio. MS=materia seca



**Figura 2.** Resultados biomasa herbácea abril y mayo 2006 y media 2004-2006. En abscisas se muestran las distancias proporcionales al radio de copa (R) en la orientación objeto de estudio. MS=materia seca

esta interacción es compleja. Parece ser que la orientación más soleada produce más en la época de crecimiento del pasto (abril-mayo) cuando la precipitación es abundante, igualándose con la producción del NE e incluso reduciéndose en años muy secos. Además, mientras en promedio, en nuestra comunidad de anuales el efecto del árbol fue positivo, aumentándose la producción de biomasa bajo la copa tanto en el NE como en el SO, MONTALVO *et al.* (1980) muestra cómo en vallicares, situados sobre suelos más húmedos y fértiles ocupados por especies anuales y vivaces, el efecto del árbol sobre la producción de la comunidad herbácea es negativo.

Según Frost & McDougald (1989) la reducción de la radiación influye de manera distinta según el período del año y la influencia del árbol es dependiente de la precipitación, teniendo que llover un mínimo para que se note su influencia, sobre todo la temprana. Esto es lo que parecen señalar nuestros resultados: la influencia es positiva generalmente, pero en el año más seco la diferencia casi no se aprecia, y en el caso de la orientación más soleada (SO) es inexistente. Además, esta orientación se aprecia que es la más productiva los otros dos años, cuando las precipitaciones fueron abundantes. El balance hídrico bajo la copa podrá ser positivo, negativo o nulo, dependiendo de diversos factores (BELSKY, 1994; MORENO *et al.*, 2007). Por tanto, la influencia del árbol es dinámica en tiempo y espacio, lo que habrá que tener en cuenta en futuros modelos de silvicultura sobre estas masas adehesadas, especialmente si incluyen diferentes escenarios climáticos. Los estudios discutidos son sobre árboles aislados, si se aumenta la cubierta las relaciones descritas podrían cambiar (VETAAS, 1992). El efecto del manejo del ganado ha sido ignorado en este trabajo pero puede resultar más influyente que el árbol, por ejemplo en majadales (MONTAÑA *et al.*, 1988). Según lo expuesto, el factor limitante sobre la producción del pasto no es algo absoluto, si no al contrario variable y relativo a la dinámica del ecosistema, el régimen de precipitaciones o el manejo. Estos resultados podrían ser particularmente importantes en condiciones de aumento de la aridez.

## Agradecimientos

Agradecemos a Ángel Bachiller, Estrella Viscosillas M. Mario Sánchez y los estudiantes que ayudaron a procesar las muestras. Al Dehesón del Encinar y Celia López-Carrasco por facilitarnos el trabajo de campo y cedernos los datos climáticos. A Rafael Calama por la discusión estadística.

## BIBLIOGRAFÍA

- BELSKY, A.J.; 1994. Influences of trees on savanna productivity: tests of shade, nutrients, and tree-grass competition. *Ecology* 75: 922-932.
- FERNÁNDEZ-ALÉS, R.; LAFFARGA, J.M. & ORTEGA, F.; 1993. Strategies in Mediterranean grassland annuals in relation to stress and disturbance. *J. Veg. Sci.* 4: 313-322.
- FROST, W.E. & MCDUGALD, N.K.; 1989. Tree canopy effects on herbaceous production of annual rangeland during drought. *J. Range Manage.* 42(4): 281-283.
- GALLARDO, A.; 2003. Effect of tree canopy on the spatial distribution of soil nutrients in a Mediterranean Dehesa. *Pedobiologia* 47: 117-125.
- JOFFRE, R. & RAMBAL, S.; 1993. How tree cover influences the water balance of mediterranean rangelands. *Ecology* 74(2): 570-582.
- LUDWIG, F.; DE KROON, H.; BERENDSE, F. & PRINS, H.H.T.; 2004. The influence of savanna trees on nutrient, water and light availability and the understorey vegetation. *Plant Ecology* 170: 93-105.
- MARAÑÓN, T.; 1986. Plant species richness and canopy effect in the savanna-like "dehesa" of SW-Spain. *Ecologia Mediterranea* 12: 131-141.
- MONTALVO, M.I., GARCÍA, B.; LUIS, E. & GÓMEZ, J.M.; 1980. Influencia del arbolado sobre la composición química de la hierba. *Anales de Edafología y Agrobiología* 39(7-8): 1287-1305.
- MONTAÑA, J.M.; MESÓN, M.L.; Y RUIZ DEL CASTILLO, J.; 1988. *Una dehesa testigo. La dehesa de Moncalvillo*. 1ª ed. Ministerio de

- Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA. Madrid.
- MORENO, G.; OBRADOR, J.J. & GARCÍA, A.; 2007. Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas. *Agriculture Ecosystems & Environment* 119: 270-280.
- MORENO, G.; OBRADOR, J.J. & GARCÍA, A.; 2007. Impact of evergreen oaks on the fertility and oat production in intercropped dehesas. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 119: 270-280
- PUERTO, A. & RICO, M.; 1992. Spatial variability on slopes of Mediterranean grasslands: structural discontinuities in strongly contrasting topographic gradients. *Vegetatio* 98: 23-31
- RHOADES, C.C.; 1997. Single-tree influences on soil properties in agroforestry: lessons from natural forest and savanna ecosystems. *Agroforestry Systems* 35: 71-94
- SAN MIGUEL, A.; 1994. *La dehesa española: origen, tipología, características y gestión*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.
- SOMARRIBA, E.; 1988. Pasture growth and floristic composition under the shade of guava (*Psidium guajava* L.) trees in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 6: 153-162
- VÁZQUEZ DE ALDANA, B.R.; GARCÍA CIUDAD, A.; PÉREZ CORONA, M.E. & GARCÍA CRIADO, B.; 2000. Nutritional quality of semi-arid grassland in western Spain over a 10 year period: changes in chemical composition of grasses, legumes and forbs. *Grass and Forage Science* 55: 209-220
- VERBEKE, G. & MOLENBERGHS, G.; 2000. *Linear mixed models for longitudinal data*. Editorial Springer-Verlag. Nueva York.
- VETAAS, O.R. 1992. Micro-site effects of trees and shrubs in dry savannas. *J. Veg. Sci.* 3: 337-344