



5º CONGRESO FORESTAL
ESPAÑOL

5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

REF.: 5CFE01-234

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009
ISBN: 978-84-936854-6-1
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

El sistema agroforestal dehesa como sumidero de carbono: hacia un modelo conjunto de la vegetación y el suelo.

ROIG, S.^{1,2}; RUBIO, A.²

¹ Depto. Sistemas y Recursos Forestales. Centro de Investigación Forestal. INIA.

² Depto. Silvopascicultura. Universidad Politécnica de Madrid.

Resumen

Las dehesas son sistemas silvopastorales de larga tradición de gestión sostenible, capaces de producir bienes y servicios de calidad de forma eficiente, que, sin embargo, en un entorno de cambio global pueden variar su dinámica y funcionamiento junto con las demandas que la sociedad pretende obtener de ellos. Entre estos nuevos objetivos está el de contribuir a reducir el efecto invernadero, uno de los causante del cambio global. Ante esta hipótesis, con el trabajo desarrollado en el proyecto de investigación SUM2006-00034 (Acción movilizadora de sumideros agroforestales de efecto invernadero), con dos subproyectos y veinte investigadores en el grupo de trabajo, pretendemos contestar a una serie de cuestiones urgentes sobre la multiproducción en la dehesa en futuros escenarios de cambio climático y sobre las condiciones en que el sistema responderá a dichos cambios, centrando nuestra atención sobre aquellos “puntos calientes” (*hot-spots*) en los que el sistema pueda variar de sumidero a emisor de gases de efecto invernadero. El objetivo general del proyecto es cuantificar los stocks de carbono almacenado en los distintos componentes del sistema dehesa y estudiar la capacidad que presenta para actuar como sumidero de gases de efecto invernadero el más extendido de los sistemas silvopastorales españoles: la dehesa de encina y alcornoque. Para ello se pretende: (a) estudiar de forma conjunta el papel de la vegetación y el suelo, (b) contemplar distintas escalas espaciales y temporales para tener una dimensión real de la dinámica del sistema dehesa y (c) analizar el efecto de la gestión humana sobre el sistema y su biodiversidad a través de actuaciones directas sobre el suelo, del aprovechamiento de varias producciones típicas de la dehesa y de las actuaciones selvícolas dirigidas a la regulación de la densidad del arbolado. Se presentan algunos de los principales resultados conseguidos en los dos primeros años de vida del proyecto.

Palabras clave: secuestro de carbono, multiproducción, silvopascicultura

1. Introducción

Las masas forestales desempeñan un papel central en el ciclo del carbono, capturándolo de la atmósfera y almacenando en los tejidos de los vegetales y constituyen una de las más grandes reservas y sumideros de carbono debido a la gran cantidad de biomasa que se acumula. Ante los compromisos adquiridos por España para la mitigación del cambio climático (Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), Protocolo de Kioto), la cuantificación del balance emisión-captura de carbono es uno de los principales retos si se quiere incorporar la fijación de carbono como un objetivo más de la gestión forestal (MONTERO et al., 2005). Esto conlleva la estimación del carbono acumulado (biomasa vegetal aérea y subterránea, materia orgánica y carbono en el suelo y emisiones por respiración de las plantas y por descomposición), los cambios en el tiempo de estos *stocks* así como el estudio de la evolución de los sistemas forestales en el marco de cambio global (MARACCHI et al., 2005) a diferentes escalas temporales y espaciales (LEMAY & KURZ, 2006).

Las dehesas son sistemas silvopastorales de larga tradición de gestión sostenible, capaces de producir bienes y servicios de calidad de forma eficiente, que, sin embargo, en un entorno de cambio global pueden variar su dinámica y funcionamiento junto con las demandas que la sociedad pretende obtener de ellos. Entre estos nuevos objetivos está el de contribuir a reducir el efecto invernadero, uno de los causante del cambio global. La dehesa es el sistema agroforestal más extenso de Europa (EICHORN et al., 2006), que ocupa actualmente unas 2.300.000 ha en el suroeste de España y 870.000 ha en Portugal.

Dentro de las líneas de investigación de Silvopascicultura y Productos Forestales no Maderables del CIFOR y de Edafología y Ecología del Depto. de Silvopascicultura de la UPM se solicitó en 2006 el proyecto de investigación SUM2006-00034, *El sistema agroforestal dehesa como sumidero de carbono: hacia un modelo conjunto de la vegetación y el suelo* (Acción movilizadora de sumideros agroforestales de efecto invernadero), del que presentamos en esta comunicación su planteamiento y primeros resultados en los objetivos planteados.

2. Objetivos

El proyecto SUM2006-00034 persigue conseguir los siguientes objetivos:

1. Cuantificar los stocks de carbono en la vegetación y suelo del sistema dehesa.
2. Analizar el papel de fuente-sumidero de gases de efecto invernadero en los suelos de la dehesa y mejorar los modelos para la predicción de emisiones de CO₂ y N_xO_y
3. Modelizar las distintas producciones de la dehesa en función de factores geoclimáticos y de la naturaleza, estado de desarrollo y espesura del arbolado. Estudiar la compatibilidad de las distintas producciones tradicionales con la captura y retención de carbono por parte del sistema.
4. Estimar los stocks de carbono en sistemas silvopastorales a través de sensores multiespectrales.
5. Establecer el espacio geoclimático en el que los sistemas de dehesa han sido dominantes en el paisaje rural durante la segunda mitad del siglo XX y evaluar su posible evolución en distintos escenarios de cambio climático.
6. Simulación conjunta (sintética) de la multiproducción en la dehesa y del papel emisor-sumidero en distintos escenarios climáticos y de gestión forestal, teniendo en cuenta su influencia en la biodiversidad del sistema.

Buscamos conseguir estos objetivos con los siguientes planteamientos: (a) estudiar de forma conjunta el papel de la vegetación y el suelo, (b) contemplar distintas escalas espaciales y temporales para tener una dimensión real de la dinámica del sistema dehesa y (c) analizar el efecto de la gestión humana sobre el sistema y su biodiversidad a través de actuaciones directas sobre el suelo, del aprovechamiento de varias producciones típicas de la dehesa y de las actuaciones selvícolas dirigidas a la regulación de la densidad del arbolado.

3. Metodología

En una primera fase inicial del proyecto, se recopiló toda la información publicada sobre la dehesa, así como la cartografía asociada. El área de distribución geográfica y climática de la dehesa se exploró a través del IFN y mapas de vegetación (ROIG et al., 2007; SÁNCHEZ DE RON et al., 2007) lo que permitió realizar una estratificación climática de la presencia de la dehesa en la península Ibérica. Los distintos objetivos se plantearon a varias

escalas espaciales y esta estratificación facilitó la selección de tres parcelas de muestreo intensivo (Figura 1) que, a lo largo de 2007 y 2008, se situaron en las siguientes localizaciones:

- CIA Dehesón del Encinar. Torralba de Oropesa (TO). Lat. 39°59'16''N, Long. 5°6'33''O.
- Finca Castroenríquez. Aldehuela de la Bóveda (SA). Lat. 40°51'40''N, Long. 6°3'7''O.
- Dehesa Mampolín. Olivenza (BA). Lat. 38°28'3''N, Long. 6°58'47''O.



Figura 1. Dehesas de encina y alcornoque donde se instaló el dispositivo experimental. CIA Dehesón del encinar TO (arriba), Mampolín-Olivenza BA (centro) y Castroenríquez-Aldehuela de la Bóveda SA (abajo)

El dispositivo experimental es similar en las tres parcelas. Se ha caracterizado dendrométricamente la parcela, georreferenciando todos los árboles e incluyendo toda la información en un SIG. Hay instalados dispositivos para la medición del crecimiento y producción en varios recursos. Sobre arbolado se cuenta con dendrómetros de banda de aluminio y dendrómetros electrónicos potenciómetros según lo detallado en (VÁZQUEZ-PIQUÉ et al., 2009). Se han instalado jaulas de exclusión al ganado para la estimación de la producción de pastos herbáceos cuando ha sido necesario y mallas para el cálculo de producción de bellota y desfronde en la parcela de Toledo. El dispositivo incluye la medición de temperatura de suelo y humedad de suelo y de variables climáticas a través de una estación meteorológica en cada parcela, con toma de datos cada 15 min de precipitación, temperatura del aire, velocidad y dirección de viento, radiación PAR y humedad relativa. Se han realizado dos calicatas completas por zona para su caracterización edáfica. En la parcela de Toledo se ha iniciado el seguimiento de la fenología floral y formación de fruto en encinas y alcornocques. En Toledo también se han realizado las actuaciones necesarias en el diseño del

experimento para evaluar el efecto del laboreo o cese del pastoreo sobre la capacidad de la dehesa para capturar carbono. Se ha iniciado la construcción de ecuaciones predictivas de biomasa en matorral asociado a la dehesa en 9 fincas en las cercanías de Plasencia.

A la escala de trabajo de paisaje, los muestreos se están realizando siguiendo una metodología ya contrastada en anteriores trabajos, utilizando una parcela multiescalar de 20 x 50 m y análisis en función de índices de diversidad (ORTEGA et al., 2004) donde se recogen datos tanto de presencia como de abundancia de plantas superiores en distintas submuestras de la parcela general.

Buscando incorporar la información procedente de sensores remotos, se han recopilado las imágenes MODIS e índices de vegetación asociadas para el análisis de su relación con la precipitación y temperatura a través de series temporales. Por otro lado, en colaboración con la Universidad de Valladolid se han adquirido dos equipos, uno para el espectro visible (USB4000-UV-VIS, 350-1000 nm., Optical Resolution -1.5 nm), y otro para el Infrarrojo (NIR256.2.5, 900 – 2550 nm, Optical Resolution - 3.0 nm). para, posteriormente, ensayar y analizar modelos físicos tipo SWAP (Soil – Water – Atmosphere – Plant) combinados con índices de vegetación derivados del análisis de imágenes proporcionadas por sensores remotos para la simulación de producciones de pastos herbáceos en la dehesa.

El proyecto cuenta con una página *web* donde se incluye la información sobre el planteamiento de los objetivos, grupo de trabajo, metodología y primeros resultados en las diferentes líneas (<http://dehesa.system.csink.googlepages.com>).

4. Resultados

Dada la cantidad y variedad de objetivos planteados y de componentes del equipo investigador, se están generando abundantes resultados en el marco del proyecto, siempre con la intención de mantener en todo momento una interacción entre grupos de trabajo y datos obtenidos en los diferentes dispositivos experimentales y en las distintas escalas de trabajo. A continuación mostramos algunos de estos resultados previos que se van presentando de forma preliminar en diversas reuniones técnicas y científicas.

Los primeros resultados sobre la cantidad de carbono en los suelos de dehesa son alentadores; algunos de los valores registrados en las parcelas de muestreo intensivo sugieren una gran capacidad de acumulación y su propiedad de sumideros en medios mediterráneos (Tabla 1). La influencia del arbolado sobre esta capacidad es también significativa; en las fincas muestreadas, la presencia de arbolado aumenta la cantidad de carbono en el suelo. En la experiencia de laboreo en la parcela de Toledo se detecta en este primer año una disminución del carbono orgánico en el suelo ocho meses después del tratamiento (DÍAZ-PINÉS et al., 2009)

Tabla 1. Valores de carbono orgánico en los primeros 10 cm en suelos de dehesa (aproximación volumen constante) en los tres sitios de muestreo intensivo, en zonas con y sin la influencia del arbolado.

	T. OROPESA (TO)		OLIVENZA (BA)		CASTROENRÍQUEZ (SA)	
	Bajo copas	Zonas abiertas	Bajo copas	Zonas abiertas	Bajo copas	Zonas abiertas
C %	2,9 ± 0,4	1,0 ± 0,1	3,6 ± 0,4	1,7 ± 0,2	13,6 ± 0,9	3,4 ± 0,4
Mg C ha⁻¹	12,9 ± 1,8	5,5 ± 0,6	16,7 ± 1,9	5,8 ± 0,7	24,7 ± 1,9	15,8 ± 1,8



Se ha construido un modelo de cuantificación y distribución espacial del carbono orgánico del horizonte superficial del suelo en relación al arbolado en la dehesa (Figura 2) que contribuirá a la síntesis de la información de suelo y vegetación en un modelo general.

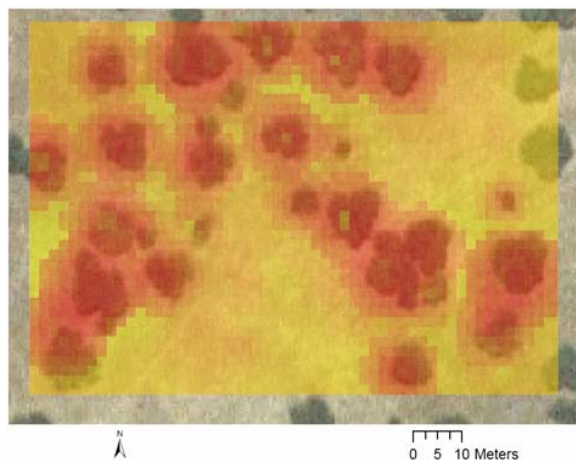


Figura 2. Contenido en carbono orgánico en el horizonte superficial del suelo en dehesas sobre la ortofoto de la parcela muestreada en el CIA Dehesón del Encinar.

La modelización de las distintas producciones en la dehesa y su biomasa se ha abordado por diferentes metodologías. El crecimiento del arbolado, en leño, se estudia a través de dendrómetros de banda y electrónicos y se relaciona con las características de la estación forestal según se detalla en VÁZQUEZ-PIQUÉ et al. (2009) en 60 árboles por parcela. Se ha encontrado una gran variabilidad de situaciones entre zonas de estudio, individuos y situaciones ecológicas (Figura 3) con un patrón común en la zona de estudio.

Se ha iniciado la cuantificación de la biomasa en matorral de retama y jara así como el análisis de series de datos sobre producción de pastos herbáceos y bellota o desfronde, incluyendo el análisis de la influencia del arbolado, sus características dendrométricas y su estado sobre estas producciones (ej. LÓPEZ-CARRASCO y ROIG, 2009). Otros estudios de caracterización de la dehesa, como la fenología de encinas y alcornoques también muestran los primeros resultados (RODRÍGUEZ-BARBERO et al., 2009).

El espectrorradiómetro de campo ya está diseñado y se han iniciado las primeras cosechas de biomasa en campo sobre pastos herbáceos para establecer los modelos SWAP. Se dispone de prácticamente toda la información generada en sensores remotos y se han empezado a analizar los patrones en series temporales de imágenes de satélite.

La idea de la potenciación de sinergias entre grupos de trabajo e información generada en distintos dispositivos experimentales y escalas de trabajo está siempre presente en el proyecto, por lo que durante el año 2009 se está realizando una primera aproximación al balance global del carbono con el modelo CO₂Fix (MOHREN et al., 1999) y que esperamos esté disponible a mediados de este año.

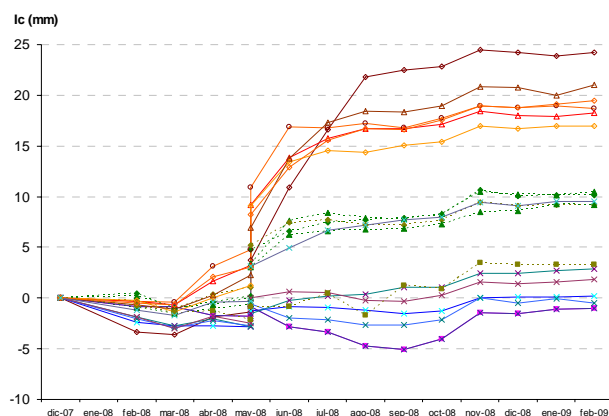
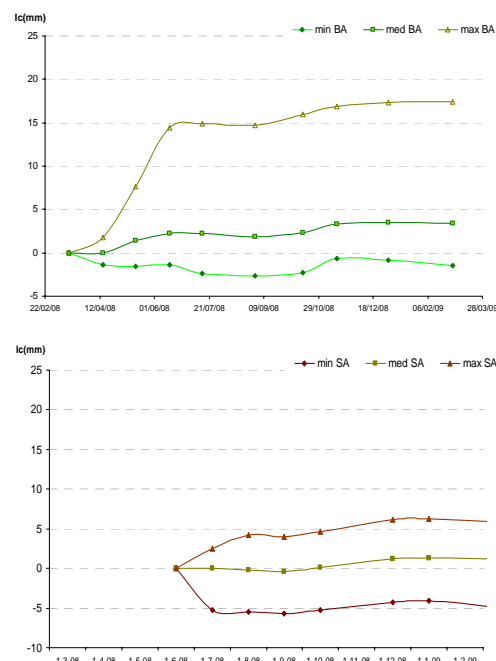


Figura 3. Crecimiento en circunferencia normal medido en dendrómetros de banda en los árboles de las parcelas de muestreo intensivo. Izda: Variabilidad en la parcela (árboles con máximo, mínimo y crecimiento mediano) de Toledo. Decha: evolución registrada del árbol con crecimiento máximo, medio o mediano en la parcela de Badajoz (arriba) y Salamanca (abajo).



5. Discusión

El proyecto SUM2006-00034 aborda de forma conjunta varios elementos clave del sistema dehesa, analizando la dinámica y funcionamiento de vegetación y suelo, su comportamiento en el proceso de captura-emisión de carbono y la influencia de ciertas prácticas culturales sobre esta dinámica. El corto plazo transcurrido desde la concesión de la ayuda al proyecto hasta el momento hace que los resultados presentados sean aún muy preliminares. El mantenimiento de los dispositivos experimentales y los diversos trabajos en curso, al menos a medio plazo, puede ser una buena oportunidad para mejorar nuestro conocimiento sobre la dinámica y funcionamiento del extenso y variado sistema dehesa en la península Ibérica, creando un excelente marco de trabajo para trabajos científicos de diversas orientaciones y con la participación de equipos multidisciplinares.

El planteamiento del trabajo ha tenido siempre una orientación sistémica, tratando de forma conjunta suelo y vegetación; no obstante, es necesario incluir en un futuro los diferentes aspectos de la gestión antrópica, y con gran importancia, el de la gestión ganadera.

El trabajo a varias escalas posibilita la generalización de resultados obtenidos a escalas de detalle a zonas más extensas del área de distribución de la dehesa u otras zonas potenciales para el sistema y la construcción de modelos de simulación que ayuden a la comprensión del comportamiento del sistema ante cambios en las condiciones ecológicas. Estas herramientas son imprescindibles para el análisis de los cambios y la adaptación de estos sistemas silvopastorales en el marco del cambio global en el que estamos inmersos.

6. Conclusiones

En los dos primeros años de vida del proyecto SUM2006-0034 se han iniciado múltiples estudios sobre ecología, dinámica, funcionamiento y producción de la dehesa de encina y alcornoque en España. El trabajo de análisis se estructura en distintas escalas

temporales y espaciales, a través de un dispositivo experimental a nivel de masa/rodal (en un sitio de ensayo en cada tipo de clima definido para la dehesa), análisis de fotografías aéreas y cartografía derivada, de la información procedente de sensores remotos y de series de datos de producción de cierta longitud. Si bien la información generada está proporcionando unos resultados muy interesantes para los diversos objetivos planteados, es necesario mantener estos dispositivos y análisis cierto tiempo y ampliar el periodo de estudio o considerar las parcelas instaladas como permanentes. En el futuro, será imprescindible incorporar a los modelos generados de suelo-vegetación la influencia de la distinta gestión ganadera, elemento crucial en el sistema dehesa.

7. Agradecimientos

El equipo investigador que participa en el proyecto incluye a más de veinte personas investigadores y personal auxiliar de investigación de diversas instituciones: CIFOR-INIA, UPM, CIEMAT, Universidad de Valladolid, CESEFOR-Junta de Castilla y León y CIA Dehesón del Encinar (Junta de Comunidades de Castilla La Mancha). Además, tenemos que agradecer la ayuda prestada en la instalación y diseño de las parcelas de F.J. Vazquez Piqué, A. González, D. Martín y R. Alejano de la Universidad de Huelva. Gracias a los alumnos de las escuelas de capataces, EUIT Forestal y ETSI Montes que con sus prácticas y proyectos han colaborado asimismo en la toma de datos y análisis previos. C. López-Carrasco facilita todo el trabajo en el CIA Dehesón del Encinar. L. Olea Márquez de Prado nos permitió instalar la parcela de Olivenza en su finca. La Diputación de Salamanca hizo lo propio en la finca de Castroenriquez.

8. Bibliografía

DÍAZ-PINÉS, E.; SIMONOT, E.; RUBIO, A. 2009. Dehesas and land use: implications for soil organic carbon. Mediterranean workshop COST 639. Florencia, 2-3 Marzo.

EICHHORN M.P.; PARIS P.; HERZOG F.; INCOLL L.D.; LIAGRE F.; MANTZANAS K.; MAYUS M.; MORENO G.; PAPANASTASIS V.P.; PILBEAM D.J.; PISANELLI A.; DUPRAZ C. 2006. Sylvoarable sistemas in Europe- past, present and future prospects. *Agroforest Syst* 67: 29-50.

LEMAY V.; KURZ W.A. 2006. Estimating carbon stocks and stock changes in forests: linking models and data across scales. Proceedings of the IUFRO Div. 4. 2006 International Meeting. Managing Forest Ecosystems: The challenges of climate change. Palencia, Spain.

LÓPEZ-CARRASCO, C.; ROIG, S., 2009. Efecto de la disposición espacial del arbolado sobre los pastos herbáceos en una dehesa toledana: producción de materia seca. Actas de la XLVIII Reunión Científica de la SEEP. En prensa.

MARACCHI G.; SIROTENKO O.; BINDI M. 2005. Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe. *Climatic Change* 70: 117-135

MOHREN, G.M.J.; GARZA CALIGARIS, F.J.; MASERA, O.; KANNINEN, M.; KARJALAINEN, T.; NABUURS, G.J., 1999. CO₂FIX for windows: a dynamic model of the CO₂ fixation in forest stands. Institute for Forestry and Nature Research, Report Instituto de Ecología de la UNAM, Centro Agronomico Tropical de Investigacio y Enseñanza (CATIE),

European Forest Institute. Wageningen The Netherlands, Patzcuaro Mexico, Turrialba Costa Rica, Joensuu Finland. 27 p.

MONTERO G.; RUIZ-PEINADO R.; MUÑOZ M. 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografías INIA: Serie Forestal, nº 13. Madrid.

ORTEGA, M.; ELENA-ROSSELLÓ, R.; GARCÍA DEL BARRIO, J.M., 2004. Plant diversity at landscape level: a methodological approach applied to three Spanish rural areas. *Environ Monit Assess* 95 97-116.

RODRÍGUEZ-BARBERO, C.; FERNÁNDEZ, S.; LÓPEZ-CARRASCO, C.; MUTKE, S.; ROIG, S., 2009. Crecimiento y fenología de encina y alcornoque en una dehesa toledana. Actas 5º Congreso Forestal Español. En evaluación.

ROIG, S.; ALONSO-PONCE, R.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.O.; GARCÍA DEL BARRIO, J.M.; CAÑELLAS, I. 2007. Caracterización de la dehesa española de encina y alcornoque a partir del Inventario Forestal Nacional. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.*, 22: 163-170.

SÁNCHEZ DE RON, D.; ELENA-ROSELLÓ, R.; ROIG, S.; GARCÍA DEL BARRIO, J.M. 2007. Los paisajes de dehesa en España y su relación con el ambiente geoclimático. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.*, 22: 171-176.

VÁZQUEZ-PIQUÉ, F.J. ROIG, S.; GONZÁLEZ- PÉREZ, A.; CAÑELLAS, I.; MARTÍN, D., ALEJANO, R., 2009. Variabilidad intra e interregional en el crecimiento diametral de encina (*Quercus ilex* subs. *ballota* (Desf.) Samp.): influencia de factores edafoclimáticos mediante combinación de mediciones continuas y mensuales. Actas 5º Congreso Forestal Español. En evaluación.