



M.R. Mosquera-Losada*, N. Ferreiro-Domínguez, J.J. Santiago-Freijanes, E. Fernández-Núñez, A. Rigueiro-Rodríguez

Departamento de Producción Vegetal. Universidad de Santiago de Compostela. Campus de Lugo. 27002 - Lugo

**Correo electrónico: mrosa.mosquera.losada@usc.es*

Los sistemas agroforestales como forma de gestión en la adaptación al cambio climático

Resultados clave

- Los Sistemas Agroforestales (SAF) pueden ser formas de gestión sostenible del territorio.
- Los SAF contribuyen a la conservación y mantenimiento del carbono acumulado en los ecosistemas maduros, fomentando además el incremento del secuestro del carbono cuando se establecen.
- Los SAF permiten obtener productos para la sustitución de combustibles fósiles como es el caso de la biomasa.

Introducción

El cambio climático es una realidad que está afectando a Europa y que tendrá fuertes impactos en la península Ibérica. Estos impactos van a afectar tanto a los sistemas forestales como a los sistemas agrícolas. En general, el aumento de las temperaturas en España se acompañará de períodos de sequía prolongados o la aparición de otros (primavera) en zonas en donde previamente no existían. Además la probabilidad de aparición eventos extremos será más elevada. El aumento de las temperaturas y los períodos de sequía provocará que tanto los sistemas agrícolas como los forestales sean más vulnerables y menos resilientes. En el caso de los sistemas forestales se prevé que sufrirán impactos relacionados con el mayor ataque de plagas y enfermedades o los incendios y en el segundo podrá modificar los cultivos a emplear o la distribución en su uso como recurso (pastos). Todo ello hará que por una parte se eleven los costes de mantenimiento de estos sistemas (reposición de mallas, riego, etc.) y por otro su productividad será menor ya que temperatura y agua son dos factores clave para determinar la misma.

Los sistemas agroforestales (SAF) son formas de gestión sostenible del territorio que integran al menos dos componentes, uno leñoso (árbol o arbusto) y otro herbáceo (pasto (SEEP 2014) o cultivo) aunque también pueden incluir el ganado como tercer componente en el caso de las prácticas silvopastorales. Las prácticas silvopastorales son sin lugar a duda el tipo de SAF más empleado en Europa (Rigueiro-Rodríguez et al. 2009). Son formas de gestión sostenible ya que su empleo conduce a una optimización del uso de los recursos, resultando por tanto más eficientes en este sentido en comparación con los sistemas más simples. El hombre forma parte de los SAF a través de la gestión que realiza y debe procurar favorecer las sinergias entre los diferentes componentes, para así lograr una optimización en el uso de los recursos como la luz, el agua y los nutrientes, lo que conduce a una mayor producción global, una menor vulnerabilidad de la producción agrícola y forestal y una mayor resiliencia de los ecosistemas. Es más al ser los SAF un tipo de sistemas en los que se fomenta el uso múltiple del territorio y se diversifica la producción se reduce la vulnerabilidad de los sistemas de producción agrícola como consecuencia de los cambios de mercado (Schoeneberger 2012). A la hora de establecer un SAF, y en comparación con sistemas agrícolas, el principal factor a considerar es la cantidad de luz o radiación incidente que puede alcanzar el estrato inferior del SAF, sea éste arbustivo o herbáceo. Es por ello, que para el establecimiento de un SAF en zonas sin cubierta leñosa inicial debemos considerar aspectos como la densidad y la distribución del arbolado. Si el SAF se establece en sistemas que ya poseen un componente leñoso, hemos de centrarnos en optimizar la densidad de este componente leñoso para potenciar la productividad global a través de la optimización de los recursos que van a utilizar sus diferentes componentes (Mosquera-Losada et al. 2009).

El empleo de SAF y su relación con la reducción de los efectos del cambio climático es clara. El protocolo de Kioto establece que las actividades relacionadas con el cambio de uso (reforestación/deforestación (artículo 3.3) y la gestión de las tierras forestales, agrícolas, ganaderas y la revegetación (artículo 3.4), pueden ser empleadas para mitigar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (UN 1998). Burley et al. (2007) indica que los terrenos forestales pueden reducir el efecto de la emisión de gases de efecto invernadero a través del secuestro de carbono realizado por la vegetación y por la disminución de las emisiones por la vegetación existente (reducción de riesgos de incendios, deforestación...). Los países europeos emplearán estos dos mecanismos (artículos 3.3. y 3.4) con el objeto de cumplir los objetivos de Kioto (EEA 2009). Los estudios desarrollados en los que se compara el uso de SAF y los terrenos exclusivamente agrícolas bajo una perspectiva del secuestro de carbono reflejan una clara ventaja de los primeros con respecto a los segundos (Holwett et al. 2011, Nair et al. 2009, Mosquera et al. 2011). Los SAF pueden contribuir de forma clara como forma de gestión del territorio en la lucha contra el cambio climático, a través de la conservación o mantenimiento e incremento del secuestro de carbono, compensando por tanto las emisiones en los sistemas agrarios, reducción de las emisiones con base en el aumento de biodiversidad muy vinculada a la adaptación al cambio climático. También contribuyen aportando biomasa en sustitución de los combustibles fósiles, tal y como veremos a continuación.

■ Conservación y mantenimiento del carbono acumulado

La conservación y mantenimiento del carbono acumulado en los ecosistemas terrestres, y por tanto en sistemas agrarios, es un aspecto muy importante a considerar en el marco de las estrategias de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático al que los sistemas agroforestales pueden contribuir, centrándose sobre todo en aspectos relacionados con la merma de los efectos de la deforestación total. En la gestión de los montes mediante el empleo de SAF se establecen estrategias de deforestación parcial y selectiva de la masa arbolada y de gestión del sotobosque, las cuales permiten a su vez una disminución del riesgo de incendios forestales y preservación de la biodiversidad contribuyendo a un balance positivo de carbono de los SAF en comparación con otras estrategias de uso del territorio. La deforestación total de tierras es considerada una de las vías más importantes que pueden contribuir de forma negativa a la emisión neta de carbono a la atmósfera, debido fundamentalmente a dos aspectos: en primer lugar porque supone la liberación del carbono almacenado en el propio árbol y en el suelo del sistema y en segundo lugar porque la superficie deforestada deja de realizar el proceso de fotosíntesis en los diferentes estratos aéreos verticales de los sistemas forestales y por tanto de fijar carbono ya sea de forma creciente si hablamos de masas jóvenes o de forma más o menos estable si nos referimos a masas adultas (Post & Kwon 2000). Si bien la disminución de la densidad forestal puede ocasionar los mismos efectos, estos tienden a reducirse con el tiempo ya que los árboles no cosechados y que permanecen en el monte al crecer sin competencia lateral incrementan su tamaño y exploran un elevado volumen de suelo en el que fijan carbono. Por ejemplo, se sabe que los árboles de la zona de dehesa española con densidades inferiores a los

50-75 pies por hectárea pueden tener raíces que superen los quince metros de distancia desde el tronco del árbol (Howlett et al. 2012, Mosquera-Losada et al. 2012). Este aspecto es muy importante ya que son las raíces una de las principales fuentes de carbono en el suelo, medio que contiene más del 65% del carbono secuestrado en los ecosistemas terrestres. Así, se ha visto que en la zona de dehesa el carbono almacenado en el suelo a profundidades de un metro es de 50, 37,0 y 56 Mg ha⁻¹ a 2, 5 y 15 m de distancia del árbol (Howlett et al. 2012). La deforestación parcial con el objeto de incrementar la superficie agrícola realizada a través de la disminución de densidad y/o una redistribución del arbolado puede contribuir a la conservación y mantenimiento de parte del carbono acumulado en comparación con sistemas que promuevan la deforestación total, sin que ello suponga una merma importante de la producción del cultivo. Se sabe por ejemplo, que coberturas forestales próximas al 55% provocan una merma de la producción del cultivo en torno al 50% (Mosquera-Losada et al. 2009) en condiciones de clima templado. Si la cobertura arbolada es menor, la merma de la producción del componente aéreo inferior del SAF se reduce. La mecanización de los SAF se puede facilitar por empleo de densidades reducidas o la distribución del arbolado en golpes, grupos de árboles o en los bordes de la parcela como es el caso de los setos vivos. Desde una perspectiva de la adaptación al cambio climático, el mantenimiento de los SAF, sobre todo cuando la distribución del arbolado y/o su densidad es reducida genera diferentes microambientes (zonas con diferente temperatura y velocidad del viento que afecta a la evapotranspiración) que permite que a pesar de que se incremente la temperatura en eventos más o menos extremos existan zonas en las que este aumento sea menor permitiendo la persistencia de las especies más sensibles a la sequía. Además las raíces de los árboles son capaces de disminuir el impacto del agua en el suelo o de reducir más rápidamente los efectos de las inundaciones por tanto mejora la persistencia de las especies en comparación con áreas sin arbolado. La presencia del arbolado favorece la adaptación en el sentido de que da cobertura a determinadas especies en eventos más o menos extremos que son capaces de recolonizar su área previa cuando estos eventos pasan. Por tanto, los SAF aumentan la resiliencia de los sistemas con base en la preservación de la biodiversidad.

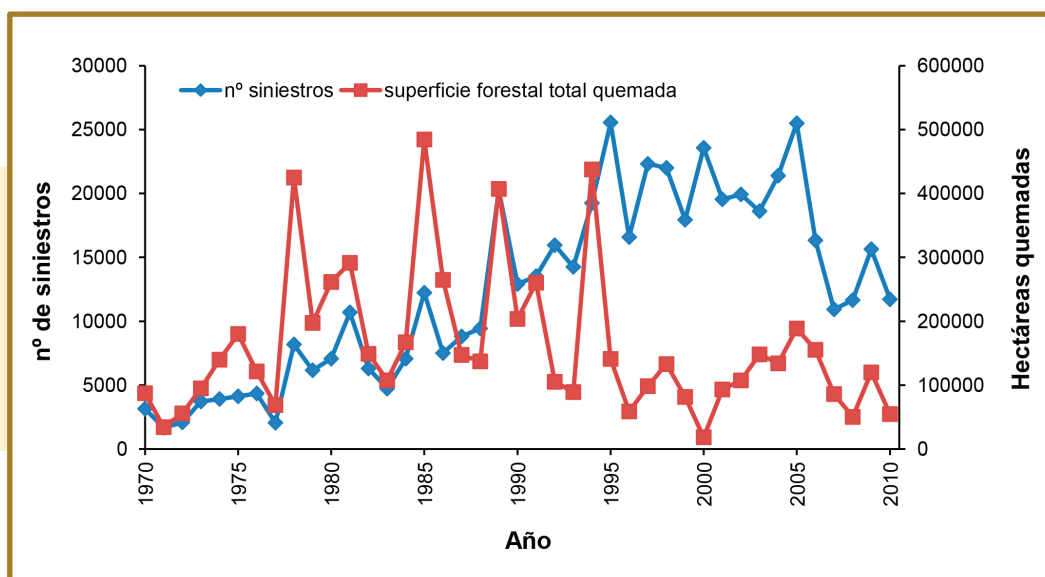
La gestión del sotobosque promovida por los SAF contribuye a la conservación y mantenimiento del carbono almacenado por la disminución del riesgo de incendios e incremento de la biodiversidad entendida como biodiversidad alfa o número total de especies. Los incendios forestales son uno de los grandes problemas que presentan los montes del ámbito mediterráneo y de la transición mediterráneo-atlántica en Europa, problema del que no es una excepción el estado español. Si bien las causas de incendio son múltiples, variadas y generalmente vinculadas al elevado número de focos incendiarios provocados por pirómanos, no es menos cierto que el monte no gestionado acumula una elevada carga de combustible vegetal que hace que con el paso de los años sin que se produzca el fuego, una vez iniciado el incendio, la capacidad de control del mismo esté muy mermada, sobre todo cuando las condiciones meteorológicas son adversas (reducida humedad y fuertes vientos). La extinción de los incendios forestales ha avanzado notablemente en los últimos años, lo que provoca una reducción clara de la superficie quemada por año tras los grandes incendios, pero también provoca un aumento de

la tasa de combustible vegetal que se acumula año tras año precisamente porque se evitó el incendio en años anteriores (Figura 1). Esto se puede constatar en la región Gallega en la que cada diez años aproximadamente se producen incendios de grandes dimensiones que afectan a miles de hectáreas con una gran alarma social como los acaecidos en los años 1989 (más de doscientas mil hectáreas) o 2006 (cerca de cien mil hectáreas en menos de una semana), cuando la gestión del sotobosque, a la postre combustible, es prácticamente inexistente o nula. El control de este combustible vegetal a través del pastoreo o la práctica agroforestal AF denominada silvopastoral se hace imprescindible para reducir el riesgo de incendios en general y el de grandes extensiones en particular y por tanto limita la cantidad de carbono emitida a la atmósfera como consecuencia del incendio, contribuyendo a conservar y mantener el carbono acumulado en el monte. La implementación de sistemas silvopastorales reduce el riesgo de incendios a través de dos mecanismos, en primer lugar por el consumo directo del sotobosque, que reduce la biomasa existente, y en segundo lugar por el consumo reiterado de las hojas jóvenes de los arbustos que debilita la planta y disminuye su tasa de crecimiento por consumir tejido foliar, lo que provoca que el efecto de disminución del combustible vegetal sea más prolongado en el tiempo en comparación con los desbroces mecanizados. Una buena demostración son los resultados obtenidos en la comunidad valenciana tras la implementación de políticas de desarrollo rural que favorecían la implementación de los SAF (Ruiz-Mirazo & Mosquera-Losada 2015).

■ Incremento del secuestro de carbono

El incremento del secuestro de carbono por parte de los SAF se vincula al cambio del uso del territorio y a la gestión diferenciada del mismo.

■ **Figura 1.**



▲ **Figura 1.** Evolución del número de siniestros y de la superficie afectada por incendios forestales a lo largo de los últimos 50 años ((Ministerio de Medio Ambiente 2007) y posteriores informes anuales).

Fuente: Elaborado a partir de MAGRAMA (2011).

Cambio de uso

El aumento de secuestro de carbono provocado por la introducción de una especie forestal en un terreno desarbolado se asocia a la tasa de crecimiento forestal y al efecto sobre el sotobosque. Las especies arbóreas con elevadas tasas de crecimiento (eucalipto) secuestran más carbono por unidad de tiempo que las que poseen tasas reducidas en una misma unidad territorial, si bien la cosecha forestal es más temprana en el primer caso y por tanto la durabilidad del carbono secuestrado en la superficie es menor en el caso de las especies forestales de crecimiento rápido, en comparación con las de crecimiento lento. Es por ello, que en países como Australia, se subvenciona la reforestación de tierras agrícolas con especies de crecimiento rápido siempre y cuando el compromiso de mantenimiento del suelo forestal sea de varias décadas. La tasa de secuestro de carbono por unidad de superficie también depende de la especie forestal, así en la Figura 2 se puede observar que las especies de crecimiento rápido (coníferas) tienden a acumular más carbono por hectárea y año que las frondosas tanto a nivel aéreo como edáfico. Sin embargo, son las frondosas las que tienden a acumular más carbono edáfico vinculado a las partículas más pequeñas del suelo (Howlett et al. 2011) y por lo tanto de mayor dificultad de ser liberadas a la atmósfera tras la cosecha forestal (Parton et al. 1987, Six et al. 2002). Este hecho se debe a que las hojas de las frondosas se incorporan más fácilmente en el suelo que las de las coníferas por su composición (menor contenido en ligninas en el caso de las frondosas) y las condiciones de mineralización (hoja caduca vs hoja perenne). Las diferentes especies también afectan de forma clara a la biodiversidad del sotobosque, siendo ésta mucho mayor en el caso del abedul que en el del pino por las condiciones diferenciadas de radiación, humedad, y temperatura que genera una cubierta frente a otra (Rigueiro-Rodríguez et al. 2012). Esto implica que la capacidad de adaptación de las áreas colonizadas por frondosas es mayor que las de las coníferas ya que la biodiversidad de las primeras es mayor que la de las

Figura 2.

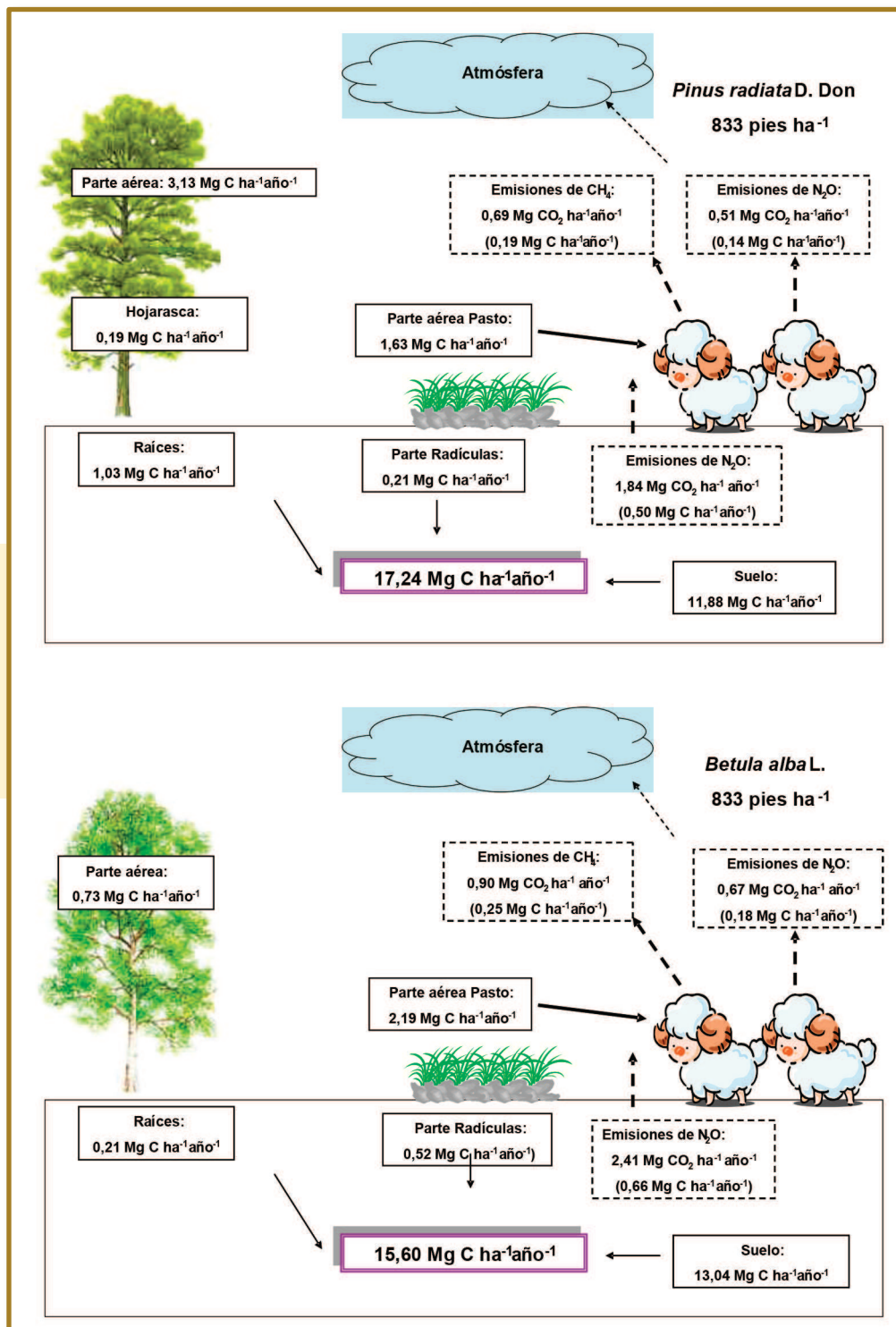


Figura 2. Balance de carbono (Mg C ha⁻¹ año⁻¹) en sistemas establecidos bajo *Pinus radiata* D. Don y *Betula alba* L a una densidad de plantación de 833 pies ha⁻¹ tras 10 años de establecimiento (adaptado de Fernández-Núñez 2010).

Fuente: Elaboración propia.

segundas, son por tanto en este sentido sistemas más resilientes.

El incremento del secuestro de carbono de una superficie agrícola está vinculado generalmente a su cambio de uso y se centra en la reforestación de tierras agrarias, ya que el arbolado explora una mayor profundidad de suelo y aprovecha mejor, de manera conjunta con el sotobosque, los recursos de la parte aérea (radiación) incrementando por tanto la tasa fotosintética y el carbono incorporado al sistema por

unidad de superficie. Es éste último aspecto clave para entender cómo se puede mejorar este incremento del secuestro de carbono en una superficie destinada a un uso agroforestal. El aumento del número de especies en una superficie permite incrementar el uso de los recursos disponibles como la luz, el agua y los nutrientes. El uso combinado de especies con diferentes patrones de aprovechamiento de los recursos abióticos optimizan el aprovechamiento debido a que éste es complementario, especializándose unas especies en zonas de la superficie que no son tan bien aprovechadas por otras. Por tanto

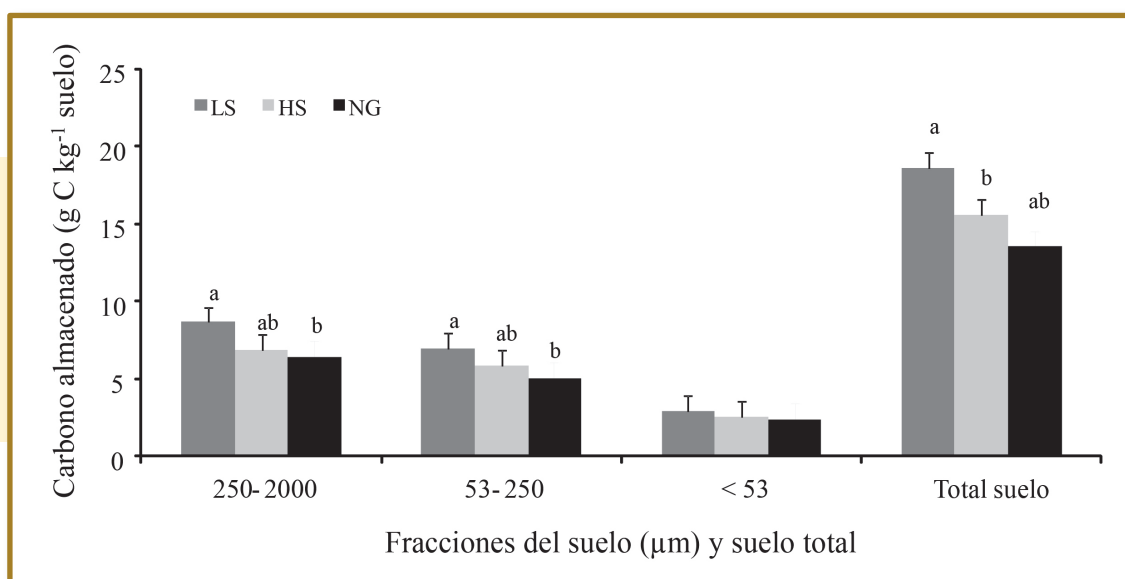
podemos señalar que la biodiversidad está muy vinculada a la mejora de la productividad por unidad de superficie y por tanto al secuestro de carbono. Estudios desarrollados en Francia (Borrel 2005), demuestran que una hectárea destinada al cultivo en combinación con nogal, presenta una productividad conjunta de los componentes arbóreo y herbáceo igual a la obtenida por un área comprendida entre 1,2 y 1,6 hectáreas en la que la producción de sus componentes (árbol y cultivo agrícola) se realiza por separado. La implementación de los SAF resulta por tanto una intensificación de los sistemas a través de la optimización del uso de los recursos, y no del aporte de los mismos de forma exógena (Borrel 2005, Dupraz & Liagre 2008). Los SAF mejoran la biodiversidad por la generación de heterogeneidad en el espacio que provocan al basarse en la combinación de más de dos especies (Schoeneberger 2012). La generación de sombra provoca un cambio de microclima originado por el árbol (temperatura, humedad) que hace que se modifique la distribución de la composición de las especies herbáceas bajo y lejos de la copa del árbol. El laboreo en SAF reduce el impacto sobre la biodiversidad al existir un componente leñoso capaz de absorber los nutrientes que por descomposición se liberan al medio edáfico. Además, si hablamos de los sistemas silvopastorales, tipo de SAF que incluye animales como tercer componente, la biodiversidad se ve favorecida por: la selección preferencial de unas plantas en vez de otras, las deyecciones que generan heterogeneidad horizontal de nutrientes en el suelo y el pisoteo que genera huecos que colonizan otras especies, generalmente estrategias de la r. Pero, además, los sistemas silvopastorales aumentan la heterogeneidad espacial a escala de paisaje y actúan sobre la biodiversidad beta (entendida como la biodiversidad existente entre ecosistemas o el recambio espacial en la composición específica de las comunidades (Thompson et al. 2009) o entre áreas de diferentes usos, ya que los animales con su capacidad de movimiento, dirigida por el hombre, ponen en contacto zonas que de otro modo no lo estarían, como resultado de actividades como el desplazamiento de los animales en busca de

pastos de largo (trashumancia) o corto (transterminancia) recorrido. La biodiversidad se ve favorecida por tanto a diferentes escalas y afecta desde microbios y hasta a la flora y la fauna por modificar los ciclos de biomasa y energía de los sistemas tróficos. Permite además la conservación de razas y cultivares autóctonos que encajan mejor en un determinado sistema con unas condiciones edafoclimáticas concretas (Mosquera-Losada et al. 2010) Es destacable que el fomento y la preservación de la biodiversidad de las especies son clave para favorecer la adaptación de los ecosistemas a los efectos del cambio climático.

Gestión

La gestión del sotobosque fundamentalmente constituido por especies perennes se debe realizar a través del aprovechamiento de sus productos. Las prácticas silvopastorales han demostrado ser capaces de reducir de forma clara el combustible vegetal del sotobosque en áreas con alto riesgo de incendio. En esta gestión hay dos aspectos clave a considerar, en primer lugar el tipo de manejo relacionado con la forma de acceso del ganado a las parcelas y en segundo lugar mediante la carga ganadera o el número de animales que se introducen por unidad de superficie. En general, se considera que para una misma carga ganadera, no existen diferencias en relación a la producción del sotobosque (Rigueiro-Rodríguez et al. 2012a) pero sí un claro efecto sobre la biodiversidad ya que el pastoreo rotacional con cargas puntuales más intensas no permite al ganado seleccionar las fracciones más tiernas. Por el contrario, fuerza al animal a consumir sin capacidad de seleccionar las especies del pasto, lo que provoca un sobreconsumo del sotobosque que a medio y largo plazo se hace insostenible para la mayoría de las especies palatables, reduciendo por tanto su dominancia. Esto genera huecos, que permite que tras el cese del pastoreo, la capacidad de recuperación de la biodiversidad es mucho mayor en el caso del manejo con pastoreo rotacional que con pastoreo continuo en sistemas en los que se emplean cargas

■ **Figura 3.**



▲ **Figura 3.** C almacenado expresado como gramos de carbono por kilogramo de suelo (g C kg^{-1}) en el suelo total (0-100 cm) y en las tres fracciones de suelo (250–2000 μm , 53–250 μm , < 53 μm) estimado para un metro de profundidad para tres tratamientos (LS: carga baja, HS: carga alta NG: no pastoreo). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos en el suelo total y en cada una de las fracciones. Líneas verticales indican el error estándar de la media

Fuente: Elaboración propia.

elevadas (Rigueiro-Rodríguez et al. 2012b), reduciendo por tanto en el caso del pastoreo continuo, su capacidad de adaptación a los efectos del cambio climático, en estas condiciones. En sistemas forestales modernos planteados con el objetivo de producir madera de calidad con especies de Juglans a bajas densidades adquiere una gran importancia la gestión adecuada del sotobosque que se hace con un laboreo mecanizado en las calles con el objeto de reducir la competencia nogal/sotobosque. El reemplazo de este laboreo (por tanto de disminución de la materia orgánica) por un desbroce biológico con ovejas provoca dos años después del empleo del pastoreo un claro aumento de la biodiversidad del sotobosque que podría explicar, al menos en parte, la mejora de la cantidad de carbono secuestrado en el suelo en las fracciones intermedias y gruesas del componente edáfico (Figura 3). Por tanto, el reemplazo de prácticas de laboreo por pastoreo para regular la competencia entre el árbol y el sotobosque contribuye al aumento del secuestro de carbono total en el componente edáfico. La disminución del C secuestrado debido al laboreo se debe por un lado a la ausencia de vegetación y por otro al aumento de la tasa de mineralización del C edáfico como consecuencia de la ausencia de cobertura vegetal, que además realiza menos insumos de C al suelo.

■ Sustitución combustibles fósiles

Uno de los principales motivos del aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera es el empleo de energías fósiles, ya que todo el carbono almacenado durante millones de años en las capas profundas del planeta se ha liberado con el fin de obtener energía en los últimos años, sobre todo tras la revolución industrial. Es por ello, que la disminución del empleo de este tipo de fuente energética y su reemplazo por energías renovables está siendo muy promovido a nivel científico y político. El empleo de biomasa como fuente de energía renovable implica un uso de la energía recientemente almacenada durante el proceso de fotosíntesis que supone un balance equilibrado entre el carbono que se almacena y el que se libera a la atmósfera, a diferencia de los combustibles fósiles que suponen un incremento neto de C en la atmósfera, fijado hace muchos años. Es por ello que se potencia el uso de biomasa procedente de diferentes actividades agroforestales como puede ser la poda o el aprovechamiento de despojos procedentes de restos de desbroces, clareos, claras o de talas con un fin energético. Este tipo de usos pueden ser también realizados en el marco de los sistemas agroforestales, y de hecho tienen una gran tradición en la dehesa española, en la que con el objeto de incrementar la producción de fruto y dar forma al árbol se realizan podas que generaban renta a los propietarios al emplearse para las ramas extraídas en el carboneo. Hoy en día, la existencia de herramientas de poda con accionamiento hidráulico y el empleo de plataformas elevadoras podrían facilitar este tipo de aprovechamiento ya que reducen los costes de mano de obra, principal limitante del uso de biomasa en los países desarrollados.

Por otra parte, en los últimos años se está fomentando el uso de cultivos leñosos para la producción de biomasa con fines energéticos en diferentes países del entorno europeo. En estos sistemas se emplean cultivos leñosos a elevadas densidades como aliso, eucalipto, chopo y robinia que tras 3-6 años de desarrollo dependiendo de

la calidad de estación, se cortan de forma mecanizada y se permite su rebrote para una nueva cosecha sin levantar el cultivo. En Alemania, se ha combinado este tipo de cultivos con el cultivo de especies herbáceas con objeto o no de realizar restauraciones de zonas de minas. Son los denominados “cultivos en callejones” en los que se introducen franjas de 10 m de ancho de cultivo leñoso en combinación con otras de 15-20 m de cultivo herbáceo. Las zonas de cultivo herbáceo incrementan su capacidad para secuestrar carbono al ser colonizadas por las raíces laterales del cultivo leñoso en las profundidades a donde las raíces del cultivo herbáceo no llegan. La presencia de especies leñosas intercaladas con los cultivos en callejones han demostrado que contribuyen de forma significativa al aumento del secuestro de carbono en el suelo en comparación con zonas en las que los cultivos no se combinan con especies leñosas (Matos et al. 2011, Quinkenstein et al. 2009). Favorecen también el aumento de la biodiversidad de artrópodos, por lo que podrían incrementar la capacidad de adaptación de este tipo de ecosistemas al cambio climático en comparación en áreas en las que los cultivos no se producen intercalados entre franjas de especies leñosas con uso para biomasa (Mosquera et al. 2011), derivada de la mayor presencia de especies de artrópodos, mecanismo globalmente reconocido.

■ Conclusión

Podemos señalar que los SAF han demostrado ser una estrategia de gestión del territorio, que, en comparación con otras en las que la presencia del arbolado sea escasa permiten mejorar la capacidad de adaptación de los ecosistemas agrarios a los efectos del cambio climático. Esta mejora de la respuesta al cambio climático se basa en la capacidad que tienen para conservar y mantener el C acumulado, incrementar el C secuestrado, proporcionar combustibles vegetales que sustituyan a los fósiles. Esta mayor capacidad de adaptación al cambio climático se fundamenta sobre todo en el incremento y mejora de la biodiversidad y el uso más eficiente de recursos (nutrientes, luz y agua) en comparación con otras formas de gestión del territorio más simples como las de monocultivos agrícolas.

■ Referencias bibliográficas

- Borrel T, Dupraz C, Liagre F (2005) *Economics of silvoarable systems using*. Disponible en: http://www.agrooof.net/agrooof_dev/documents/safe/Economics_silvoarable_systems_LER_approach.pdf Último acceso 20 de julio de 2014
- Burley J, Ebeling J, Costa PM (2007) C sequestration as a forestry opportunity in a changing climate. En: Freer-Smith PH, Boradmeadow MSJ, Lynch JM, editores. *Forestry and climate change*. CAB International, Wellington. pp. 31-37
- EEA (2009) *Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2009. Tracking progress towards Kyoto targets*. Disponible en http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2009_9 Último acceso 12 de enero de 2011
- Fernández-Núñez E, Mosquera-Losada MR, Rigueiro-Rodríguez A (2010) Carbon allocation dynamics one decade after afforestation with *Pinus radiata* D. Don and *Betula alba* L. under two stand densities in NW Spain. *Ecological Engineering* 36:876-890
- Howlett D, Moreno G, Mosquera-Losada MR, Nair PKR, Nair VD (2012) Soil carbon storage as influenced by tree cover in the Dehesa cork oak silvopasture of central-western Spain. *Journal of Environmental Monitoring* 13:1897-1904
- Howlett D, Mosquera-Losada MR, Nair PKR, Nair VD, Rigueiro-Rodríguez A (2011) Soil carbon storage in silvopastoral systems and treeless pasture in northwestern Spain. *Journal Environment Quality* 40:1-8
- Liagre F, Dupraz C (2008) *Agroforesterie: Des arbres et des cultures Broché*. France Agricole editions, Paris
- MAGRAMA (2011) *Los incendios forestales en España. Año 2010*. Ministerio de agricultura y medio ambiente. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/estadisticas/Publicacion2010_def_tcm7-174379.pdf Último acceso 20 de julio de 2014
- Mosquera-Losada MR, Moreno G, Pardini A, McAdam JH, Papanastasis V, Burgess PJ, Lamersdorf N, Castro M, Liagre F, Rigueiro-Rodríguez A (2012) Past, Present and Future of Agroforestry Systems in Europe. En: Nair PKR, Garrity D, editores. *Agroforestry - The Future of Global Land Use*. Springer, Dordrecht. pp. 285-312
- Matos ES, Freese D, Mendonca ES, Slazak A, Hüttl RF (2011) C, nitrogen and organic C fractions in topsoil affected by conversion from silvopastoral to different land use systems. *Agroforestry Systems* 81:203-211
- Mosquera-Losada MR, Freese D, Rigueiro-Rodríguez A (2011) Carbon sequestration in European agroforestry systems En: Kumar BM, Nair PKR, editores, *Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems: Opportunities and Challenges*, Springer, Dordrecht. pp. 43-60
- Mosquera-Losada MR, McAdam J, Romero-Franco R, Santiago-Freijanes JJ, Rigueiro-Rodríguez A (2009) Definitions and components of agroforestry practices in Europe. En: Rigueiro-Rodríguez A, McAdam J, Mosquera-Losada MR, editores. *Agroforestry in Europe. Current status and future prospects*. Springer, Dordrecht. pp. 3-20
- Nair PKR, Kumar BM, Nair VD (2009) Agroforestry as a strategy for C sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172:10-23
- Parton WJ, Schimel DS, Cole CV, Ojima DS (1987) Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Science Society American Journal* 51:1173-1179
- Post WM, Known KC (2000) Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potencial. *Global Change Biology* 6:317-328
- Quinkenstein Q, Wöllecke J, Böhm C, Grünwald H, Freese D, Schneider BU, Hüttl RF (2009) Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environment Science Policy* 12:1112-1121
- Rigueiro-Rodríguez A, McAdam J, Mosquera-Losada MR (2009) *Agroforestry in Europe. Current status and future prospects*. Springer, Dordrecht
- Rigueiro-Rodríguez A, Mosquera-Losada MR, Fernández-Núñez E (2012a). Afforestation of agricultural land with *Pinus radiata* D. Don and *Betula Alba* L. in NW Spain: effects on soil pH, understorey production and floristic diversity eleven years after establishment. *Land Degradation and Development* 23:227-241
- Rigueiro-Rodríguez A, Mouhbi R, Santiago-Freijanes JJ, González-Hernández MP, Mosquera-Losada MR (2012b) Horse grazing systems: understory biomass and plant biodiversity of a *Pinus radiata* stand. *Scientia agricola* 69:38-46
- Ruiz-Mirazo J, Mosquera-Losada MR (2015) Pastoreo y prevención de incendios forestales. En: Mosquera-Losada MR, Rigueiro-Rodríguez A, Moreno-Marcos G, editores. *Los sistemas agroforestales en la península ibérica*. Mundi Prensa, Madrid (en prensa)
- SEEP (2014) *Nomenclator de la sociedad española para el estudio de los pastos*. Disponible en: <http://seepastos.es/docs%20auxiliares/nomenclator.pdf> Último acceso 20 de julio 2014
- Six J, Callewaert P, Lenders S, De Gryze S, Morris SJ, Gregorich EG, Paul EA, Paustian K (2002) Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Science Society American Journal* 66:1981-1987
- Schoeneberger M, Bentrup G, de Gooijer H, Soolanayakanahally R, Sauer T, Brandle J, Current D (2012) Branching out: Agroforestry as a climate change mitigation and adaptation tool for agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation* 67:128-136

Thompson I, Brendan M, McNulty S, Mosseler A (2009) *Forest resilience, biodiversity and climate change. A synthesis of the biodiversity/resilienc/stability relationship in forest ecosystems*. Disponible en: <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-43-en.pdf> Último acceso 20 de Julio de 2014

UN (1998) *Kyoto protocol to the United Nations. Framework convention on climate change*. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> Último acceso 12 de Julio de 2014