

RESPUESTA DE LOS FLUJOS DE CO₂ DEL SUELO A LA GESTIÓN DE PINARES DEL SISTEMA CENTRAL (ESPAÑA)

Carlos Ortiz Oñate¹, Eugenio Díaz-Pinés López de los Mozos¹, Carlos Arrabal Miguel² y Agustín Rubio Sánchez¹

¹ Dpto. Silvopascicultura. E.T.S.Ingenieros de Montes. U.P.M. Ciudad Universitaria s/n. 28040-MADRID (España). Correo electrónico: carlos.ortiz.onate@alumnos.upm.es

² Dpto. Ingeniería Forestal. E.T.S.Ingenieros de Montes. U.P.M. Ciudad Universitaria s/n. 28040-MADRID (España)

Resumen

A fin de profundizar en el conocimiento de la respiración de los suelos a lo largo de un turno de corta de pinares de silvestre bajo diferentes métodos de gestión se instalaron una serie de cámaras de respiración con las que medir emisiones de CO₂ del suelo en cada clase artificial de edad (6 en Valsaín y 5 en Navafría) cubriendo el turno completo de corta. Entre junio de 2009 y diciembre de 2010 se tomaron en intervalos aproximados de 15-20 días medidas de la tasa de emisión de CO₂ del suelo, la temperatura del suelo y la humedad del suelo en cada uno de los puntos de muestreo. Se observó un patrón estacional en las emisiones de CO₂, con mayores valores en primavera y otoño, y menores en verano. Ambos montes mostraron diferencias significativas entre tasas de emisión de sus clases de edad, a excepción del periodo de verano en el monte de Valsaín. Los flujos acumulados fueron mayores en el periodo vegetativo de 2010 que en el 2009. El modelo obtenido teniendo en cuenta como covariables temperatura y humedad del suelo permite entender y predecir la respiración del suelo de estos pinares mediterráneos en respuesta a su gestión.

Palabras clave: *Respiración suelo, Tasa de emisión de CO₂, Humedad edáfica, Temperatura del suelo*

INTRODUCCIÓN

Los bosques en Europa se consideran sumideros netos de carbono (C) capaces de absorber entre un 7 y un 12% de las emisiones europeas (JANSSENS *et al.*, 2003). A escala global, en el primer metro de profundidad de los suelos hay más de 1500 PgC (LAL, 2004), aproximadamente el doble del C presente en la atmósfera o en la vegetación terrestre. En España los stocks de C orgánico del suelo (COS) se cifran en 3,7 Pg C (RODRÍGUEZ MURILLO, 2001) con cifras que varían entre 74 Mg C·ha⁻¹ en clima medite-

rráneo y 150 Mg C·ha⁻¹ en clima atlántico (ROVIRA *et al.*, 2007). El flujo de salida de C más importante de los ecosistemas terrestres es la respiración (TRUMBORE, 1996), con valores alrededor de 75-80 Pg·año⁻¹ a escala global (RAICHETAL, 2002), aproximadamente diez veces el flujo anual que supone la quema de combustibles fósiles (CIAIS *et al.*, 2010).

Muchos son los factores naturales que afectan a la cantidad y a la concentración del COS de los sistemas forestales: la precipitación, la evapotranspiración potencial (ETP) y la relación entre ésta y la precipitación anual (POST *et*

al., 1982), la pendiente, la posición fisiográfica, el régimen hídrico del suelo o la textura del suelo (PRICHARD et al., 2000; HOBBIIE et al., 2000; GULLEDGE & SCHIMEL, 2000; BANFIELD et al., 2002). Las operaciones selvícolas modelan las condiciones ambientales de las masas forestales, influyendo en los stocks de C del suelo (JOHNSON & CURTIS, 2001). Los tratamientos selvícolas, al cambiar el microclima, pueden favorecer temporalmente la descomposición del C del suelo por un calentamiento del suelo y por un posible aumento de la humedad debido a la reducción de la ETP, haciendo que el stock disminuya (PIENE & VAN CLEVE, 1978). Por lo tanto, la gestión forestal puede añadir a los múltiples criterios que ha de considerar, la posibilidad de incrementar la capacidad de almacenamiento de C, tanto en la biomasa como en el suelo, en un determinado tipo de bosque.

Sin embargo, muchos son los aspectos que todavía han de aclararse sobre los mecanismos y procesos implicados en la capacidad de secuestro de C de los suelos forestales (JANDL et al., 2007). Así, las estimaciones cuantitativas que los efectos de las especies arbóreas tienen sobre el stock de C del suelo o sobre la estabilidad de la materia orgánica del suelo (MOS) son escasas (DÍAZ-PINÉS et al., 2011). Todo ello hace que sea de vital importancia para el gestor forestal tratar de comprender los efectos reales que la gestión causa sobre los stocks de C y predecir las consecuencias de la misma. Para ello, hay que aportar a los gestores forestales herramientas para la toma de decisiones y diseños de políticas de gestión forestal sostenible en un marco de cambio global. En este contexto hemos planteado el estudio de las emisiones de CO₂ en pinares *Pinus sylvestris* L. de la Sierra de Guadarrama bajo la siguiente hipótesis de partida: las distintas formas de gestión selvícola de la masa influyen en las emisiones de CO₂ de los suelos de estos pinares mediterráneos, como consecuencia de los diferentes aportes de C al suelo (procedentes de la hojarasca y productos de la rizosfera) y a las diferentes condiciones de temperatura y humedad en el suelo, tal y como se ha observado en otros ambientes (JOHNSON & CURTIS, 2001; KOWALSKI et al., 2004; JANDL et al., 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de trabajo

El trabajo se ha llevado a cabo en dos masas forestales de *Pinus sylvestris* L. de la Sierra de Guadarrama (centro de España): el “Pinar de Valsaín” (40° 81’ N, 4° 2’ W) y el “Pinar de Navafría” (41° 3’ N, 3° 85’ W). Los materiales geológicos son predominantemente granitos y gneises. Los suelos son fundamentalmente Cambisoles dístricos (WRB, 2006). El entorno se caracteriza por presentar un típico clima mediterráneo, con sequía estival de duración aproximada de dos meses y altas fluctuaciones de temperatura a lo largo del año, combinado con aspectos de clima de montaña. Navafría tiene una temperatura media de 6,7°C, una temperatura media de las máximas del mes más cálido (julio) de 23,6°C y una temperatura media de mínimas del mes más frío (enero) de -3,7°C. Valsaín tiene una temperatura media de 9,1°C, una media de las máximas del mes más cálido (julio) de 26,7°C y una media de mínimas del mes más frío (enero) de -1,2°C.

El turno del “Pinar de Valsaín” es de 120 años y de 100 años en el “Pinar de Navafría”. El “Pinar de Valsaín” presenta una ordenación por “tramo móvil” con división en tres tramos (de mejora, de preparación y de regeneración) y cortas por aclareo sucesivo por bosquetes (DONÉS, 2009). El “Pinar de Navafría” presenta una ordenación por “tramos periódicos o permanentes” con una gestión selvícola con cortas de mejora con una intensidad de 5-7 años y cortas por aclareo sucesivo y uniforme. Además, se lleva a cabo una preparación del suelo para favorecer la regeneración.

El estudio se realizó en 11 parcelas, seis ubicadas en Valsaín y otras cinco en Navafría con las que se cubría todo el turno de corta.

Medición del CO₂ del suelo

En el estudio se instalaron aleatoriamente 4 marcos en cada una de las parcelas. Para la medición de la respiración del suelo se utilizaron cámaras (volumen de 39 l) manuales estáticas con circuito cerrado de material acrílico blanco recubiertas con papel aluminizado para detener la fotosíntesis y evitar además un sobrecalentamiento del interior durante la medición. La estanqueidad de la cámara se aseguró con una banda de

EPDM. La parte superior de la campana se conectó a un analizador de CO₂ WMA-4 (PP Systems, Herfordshire, Reino Unido). El analizador se unió a la cámara a través de una tubería de teflón de 3 mm. La temperatura de los 10 primeros cm del suelo y del aire en el interior de la cámara se midió con una sonda de temperatura, Termistor Vertex 5989M (Herter Instruments, Barcelona). El contenido volumétrico de agua del suelo se obtuvo con un TDR (Time Domain Reflectometer) ML2x (Delta-T, Cambridge, UK) en cuatro puntos alrededor del marco. El período de estudio comprende del 8 de julio de 2009 al 20 de diciembre de 2010, con mediciones de campo realizadas cada 3 semanas aproximadamente, salvo en periodos de presencia de nieve.

Tratamiento de los datos

A partir de las mediciones de CO₂ se calculó una tasa de respiración del suelo (mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹) y los flujos acumulados (Mg C·ha⁻¹·año⁻¹) de distintos períodos en función de los objetivos: cuando se compararon distintos años se consideraron los datos de julio a octubre; cuando se compararon montes se utilizó el mayor número posible de datos dentro del período vegetativo (julio a octubre en 2009 y abril a octubre en 2010).

Las tasas de emisión medias de CO₂ en las clases de edad de cada monte fueron analizadas por medio de un análisis de la varianza con la temperatura y la humedad del suelo como covariables (ANCOVA). Los flujos acumulados de CO₂ fueron analizados por medio de ANOVAs factoriales, considerando como factores el monte de estudio

(con dos niveles: Navafría y Valsain) y la edad de la masa (con 5 niveles para ambos montes, dado que no se consideró la edad comprendida entre 80 y 100 años del monte de Valsain).

RESULTADOS

Tasa instantánea de emisión de CO₂

Las tasas medias de emisión de CO₂ para todo el periodo de estudio en el monte de Valsain fueron de 40,6 ± 17,50 mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹ (Figura 1). En base al ANCOVA realizado, la tasa media de emisión de CO₂ a lo largo del periodo de estudio presentó diferencias significativas entre edades (p=0,0029), presentes éstas entre la parcela de mayor edad (45,6 ± 22,76 mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹) y las de edades entre 20-40 (38,4±15,14 mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹) y 40-60 años (37,4±13,33 mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹). Tanto la temperatura (p<0,0001) como la humedad del suelo (p<0,0001) influyeron significativamente sobre la tasa de emisión de CO₂. Durante el periodo estival las tasas fueron de 39,5±19,97 mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹, sin diferencias significativas en función de la edad de la masa. Durante el periodo otoño-primavera se obtuvieron unas tasas medias de 41,3±15,63 mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹, habiendo diferencias significativas entre edades (p=0,0005), debidas a la parcela de edad 100-120 años, que fue la que mayor tasa presentó (49,9±18,67 mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹). En este periodo, la temperatura del suelo (p<0,0001) y la humedad del suelo (p<0,0001) influyeron significativamente sobre la tasa de emisión de CO₂

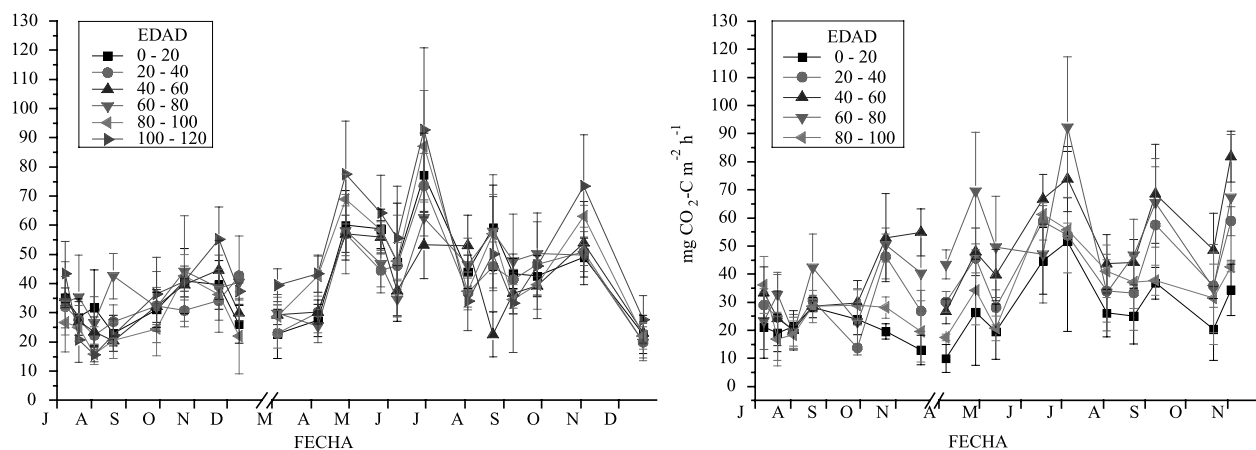


Figura 1. Evolución de la tasa de emisión (mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹) a lo largo del periodo de estudio en Valsain (izquierda) y Navafria (derecha)

En Navafría, las tasas de emisión de CO₂ en el periodo de estudio fueron de $37,8 \pm 19,10$ mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹ (Figura 1), habiendo diferencias significativas entre edades (Tabla 1). Asimismo, hubo efectos significativos de la temperatura del suelo ($p < 0,0001$) y la humedad del suelo ($p < 0,0001$) sobre la tasa de emisión de CO₂ durante todo el período. En el periodo estival, con un flujo de $37,0 \pm 19,27$ mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹ la temperatura del suelo no produjo efecto significativo sobre las tasas de emisión, pero sí la humedad ($p < 0,0001$). Hubo diferencias significativas entre las tasas de emisión de las distintas edades ($p = 0,0001$) dándose éstas entre la edad comprendida entre los 20 y 40 años ($44,4 \pm 26,00$ mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹) y las de 80 a 100 años ($28,4 \pm 12,24$ mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹) y la de 0 a 20 años ($33,9 \pm 13,93$ mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹), también hubo diferencias significativas entre la edad comprendida entre 40 y 60 años ($42,2 \pm 21,00$ mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹) y la última edad. En el periodo otoño-primavera, con unas tasas medias de $38,6 \pm 18,96$ mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹, temperatura del suelo ($p < 0,0001$) y humedad del suelo ($p = 0,0002$) influyeron de forma significativa en la respiración del suelo. Se encontraron diferencias significativas entre flujos ($p < 0,0001$), estando estas principalmente entre las parcelas de edad intermedia 20-40 años ($47,9 \pm 19,47$ mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹) y 40-60 años ($49,8 \pm 18,49$ mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹) y las parcelas de

menor edad (0-20 años) ($32,3 \pm 15,00$ mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹) y mayor edad (80-100 años) ($24,6 \pm 12,86$ mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹).

Flujos acumulados

Los flujos acumulados fueron mayores en 2010 que en 2009 (ANOVA, $p < 0,0001$), por lo que ambos periodos se analizaron de forma separada, y con intervalos de tiempo diferentes. Es decir, “flujo acumulado 2009 (julio-octubre)” y “flujo acumulado del periodo vegetativo 2010” (abril-octubre).

Los flujos acumulados de 2009 (julio-octubre) fueron significativamente mayores en Navafría ($1,09 \pm 0,25$ Mg CO₂-C·ha⁻¹) que en Valsaín ($0,93 \pm 0,17$ Mg CO₂-C·ha⁻¹) ($p = 0,0043$). En 2009, no se observaron diferencias significativas entre clases de edad en el monte de Valsaín (Tabla 1), pero sí en el monte de Navafría ($p = 0,0261$). También se obtuvieron diferencias significativas entre los flujos acumulados de clases coetáneas entre los diferentes montes ($p = 0,0015$, Tabla 1). En 2010 (abril-octubre) los flujos acumulados fueron significativamente mayores en Valsaín ($2,6 \pm 0,44$ Mg CO₂-C·ha⁻¹) que en Navafría ($2,2 \pm 0,56$ Mg CO₂-C·ha⁻¹) ($P = 0,0054$), sin diferencias significativas entre clases de edad en 2010 en el monte de Valsaín, pero sí en el monte de Navafría ($p = 0,0010$) y entre clases coetáneas de cada monte ($p = 0,0010$) (Tabla 1).

MONTE	CLASE DE EDAD (Años)	TASA MEDIA DE CO ₂	FLUJO ACUMULADO 2009	FLUJO ACUMULADO 2010
Valsaín	0-20	40,6±16,83 (a)	0,9±0,06 (a)(A)	2,7±0,33 (a)(A)
Valsaín	20-40	38,4±15,14 (a)	0,9±0,11 (a) (B)	2,5±0,26 (a) (A)
Valsaín	40-60	37,4±13,32 (a)	0,9±0,09 (a) (B)	2,3±0,24 (a) (A)
Valsaín	60-80	41,3±14,68 (a)	1,1±0,30 (a) (A)	2,5±0,35 (a) (A)
Valsaín	80-100	41,2±19,78 (a)	0,8±0,09 (a)	2,8±0,31 (a)
Valsaín	100-120	45,6±22,76 (a)	0,9±0,17 (a) (A)	3,0±0,75 (a) (A)
Navafría	0-20	33,0±14,42 (b-c-d)	0,8±0,16 (a-b) (A)	2,0±0,27 (a-b) (A)
Navafría	20-40	46,3±22,66 (a)	1,0±0,18 (a) (A)	2,7±0,61 (a) (A)
Navafría	40-60	46,2±19,91 (a)	1,0±0,05 (a) (A)	2,6±0,35 (a) (A)
Navafría	60-80	37,2±16,35 (b-c)	0,8±0,11 (a) (A)	2,2±0,33 (a-b) (A)
Navafría	80-100	26,4±12,62 (d)	0,7±0,08 (a) (A)	1,5±0,28 (b) (B)

Tabla 1. Tasas medias de CO₂ (mg CO₂-C·m⁻²·h⁻¹) y flujos acumulados de CO₂ (Mg CO₂-C·ha⁻¹) a lo largo de todo el periodo de estudio. Letras minúsculas diferentes muestran diferencias significativas entre clases de edad del mismo monte ($p < 0,050$). Letras mayúsculas diferentes muestran diferencias significativas entre clases de edad coetáneas de distintos montes. Valores acompañados de su desviación estándar de la media

DISCUSIÓN

Las tasas de emisión de CO₂ de los suelos de los pinares estudiados experimentaron patrones estacionales que, durante los períodos húmedos (otoño, invierno y primavera), evolucionaron conforme lo hacía la temperatura del suelo. Las tasas de emisión en épocas húmedas, cuando no hay escasez de agua, indican que la actividad microbiana está limitada por bajas temperaturas. Quizás por ello, las mayores tasas de respiración en Valsaín se registraron en la parcela de mayor edad de la masa, puesto que la menor densidad de árboles por hectárea favorece una mayor iluminación del suelo y por ende un mayor calentamiento del mismo (DAVIDSON *et al.*, 1998). En Navafría, la parcela de mayor edad se encuentra a una mayor altitud, debido a esto fueron las parcelas intermedias las que registraron mayores temperaturas y, por tanto, mayores tasas de emisión de CO₂. En los períodos secos (verano), dichas emisiones fluctuaron en función de la humedad del suelo, y no en función de la temperatura. En éstos, las diferencias de temperatura que pueda haber en las distintas parcelas de edad no consiguen que los flujos medios de CO₂ sean significativamente diferentes. Estos resultados muestran patrones semejantes a los de bosques de quercíneas (REY *et al.*, 2002) o de pinares (ALMAGRO *et al.*, 2009) de ambientes mediterráneos, aunque en los pinares estudiados las condiciones meteorológicas no posean los rasgos mediterráneos más extremos (temperaturas estivales más altas y período de sequía superior a dos meses). Sin embargo, se pone de manifiesto que frente a un cambio global, la alteración estival de los regímenes hídricos de los ecosistemas mediterráneos puede suponer una mayor influencia que meros cambios en temperaturas.

La diferente magnitud de los flujos correspondientes a 2009 y 2010 pone de manifiesto que la humedad y temperatura del suelo son factores de primer orden en relación a la respiración del suelo en estos pinares mediterráneos. Asimismo, su heterogeneidad inter-anual hace más difícil la modelización y predicción de las tasas de respiración que en otros ambientes de climatología más homogénea.

Ambos montes presentaron diferencias significativas en las tasas medias de emisión de

CO₂, debidas a la diferente temperatura y humedad del suelo. Es importante destacar que en Valsaín dichas diferencias a lo largo del turno de corta se debieron, tanto para todo el periodo de estudio como para el periodo otoño-primavera, a la parcela más madura, coincidiendo con otros estudios en pinares (WISEMAN *et al.*, 2004). En Valsaín, ordenado mediante tramo móvil y cortas mediante aclareo sucesivo por bosquetes, existen pocas diferencias significativas entre parcelas para las tasas medias de emisión de CO₂ y, considerando periodos temporales más amplios (flujos acumulados), no existen diferencias a lo largo del turno de aprovechamiento. Cabe pensar que la estructura forestal relativamente homogénea permite que las temperaturas del suelo no sean demasiado diferentes entre edades de la masa cuando la humedad del suelo no es limitante. Por tanto, las emisiones de CO₂ se mantienen más o menos regulares a lo largo de todo el turno de aprovechamiento. En Navafría, ordenado por tramos periódicos permanentes y cortas mediante aclareo sucesivo uniforme, se genera una estructura forestal mucho más abierta en la parcela de mayor edad que determina menores temperaturas del suelo durante la mayor parte del año y también menores tasas de emisión. La estructura forestal de la parcela de menor edad de la masa también permite apreciar un resultado semejante al mostrar bajas temperaturas del suelo junto con tasas de emisión también bajas.

Otro hecho no cuantificado en este trabajo es la cantidad de raíces presente en el suelo, que puede hacer que su contribución a la respiración del suelo sea diferente en función de las edades del arbolado; dicha contribución puede variar del 10 al 90% del total de respiración del suelo (HANSON *et al.*, 2000).

Los mayores flujos de CO₂ en las edades intermedias del monte de Navafría respecto al de Valsaín señalan un distinto comportamiento en ambos montes que, dada la gran semejanza que hay entre ellos (fisiográfica-, edafológica-, geológica- y climáticamente), hace pensar en que las diferentes formas de gestión influyen en la respiración de los suelos. Sin embargo, las características climáticas y su gran heterogeneidad, juegan un papel fundamental, produciéndose mayores tasas de emisión en años más

húmedos. En años de menores precipitaciones durante el periodo vegetativo los flujos acumulados son significativamente mayores en Navafría; en cambio, si las precipitaciones son mayores Valsain genera los mayores flujos acumulados. En conclusión, la distinta selvicultura influye de una manera u otra en las emisiones según los años sean más o menos húmedos. Parece pues interesante prolongar trabajos como el presente para comprobar a lo largo de diferentes años el modo en el que los suelos de las masas forestales gestionadas activamente contribuirán a las emisiones de gases de efecto invernadero, de cara a intentar integrar entre los criterios de gestión de dichas masas forestales nuevos criterios que tengan en cuenta el papel mitigador del cambio climático.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a dos proyectos del Plan Nacional I+D+I (AGL2007-64707/FOR y AGL2010-16862/FOR). Los autores agradecen la colaboración de Javier Donés y Marisol Redondo, del Centro Montes y Aserradero de Valsain (OAPN del MARM), y del Servicio Territorial de Medio Ambiente de Segovia.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMAGRO, M.; LÓPEZ, J.; QUEREJETA, J.I. & MARTÍNEZ-MENA, M.; 2009. Temperature dependence of soil CO₂ efflux is strongly modulated by seasonal patterns of moisture availability in a Mediterranean ecosystem. *Soil Biol. Biochem.* 41: 1-12
- BANFIELD, G.E.; BHATTI, J.S.; JIANG, H.; APPS, M.J. & KARJALAINEN, T.; 2002. Variability in regional scale estimates of carbon stocks in boreal forest ecosystems: results from west-central Alberta. *Forest Ecol. Manage.* 169: 15-27.
- CAIS, P.; A.J.D.; DARGAVILLE, R.; BARRIE, L.; BOMBELLI, A.; BUTLER, L.; CANADELL, J.G. & MORIYAMA, T.; 2010. *Geo Carbon Strategy*. Geo Secretary Geneva/FAO. Rome.
- DAVIDSON, E.A.; BELK, E. & BOONE, R.D.; 1998. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperature mixed hardwood forest. *Glob. Change Biol.* 4: 217-227
- DÍAZ-PINÉS, E.; RUBIO A.; VAN MIEGROET, H.; MONTES, F. & BENITO, M.; 2011. Does tree species composition control soil organic carbon pools in Mediterranean mountain forests? *Forest Ecol. Manage.* 262: 1895-1904
- GULLEDGE, J. & SCHIMEL, J.P.; 2000. Controls on soil carbon dioxide and methane fluxes in a variety of taiga for stands in interior Alaska. *Ecosystems* 3: 269-282.
- HOBBIE, S.E.; SCHIMEL, J.P.; TRUMBORE, S.E. & RANDERSON, J.R.; 2000. Controls over carbon storage and turnover in high latitude soils. *Glob. Change Biol.* 6: 196-210.
- JANDL, R.; LINDNER, M.; VESTERDAL, L.; BAUWENS, B.; BARITZ, R.; HAGEDORN, F.; JOHNSON, D.W.; MINKKINEN, K. & BYRNE, K.A.; 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma* 137: 253-268.
- JANSSENS, I.A.; FREIBAUER, A.; CIAIS, P.; SMITH, P.; NABUURS, G.-J.; FOLBERTH, G.; SCHLAMADINGER, B.; HUTJES, R.W.A.; CEULEMANS, R.; SCHULZE, E.-D.; VALENTINI, R. & DOLMAN, A.J.; 2003. Europe's terrestrial biosphere absorbs 7 to 12% of European anthropogenic CO₂ emissions. *Science* 300: 1538-1542.
- JOHNSON, D.W. & CURTIS, P.S.; 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecol. Manage.* 140: 227-238.
- KOWALSKI, A.S., LOUSTAU, D.; BERBIGIER, P.; MANCAZ, G.; TEDESCHIZ, V.; BORGHETTI, M.; VALENTINIS, R.; KOLARI, P.; BERNIGER, F.; RANNIK, Ü.; HARI, P.; RAYMENT, M.; MENCUCCINI, M.; MONCRIEFF J. & GRACE, J.; 2004. Paired comparisons of carbon exchange between undisturbed and regenerating stands in four managed forests in Europe. *Glob. Change Biol.* 10: 1707-1723.
- LAL, R.; 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science* 304: 1623-1627.
- PIENE, H. & VAN CLEVE, K.; 1978. Weight loss of litter and cellulose bags in a thinned white spruce forest in interior Alaska. *Can. J. Forest Res.* 8: 42-46.

- POST, W.M.; EMANUEL, W.R.; ZINKE, P.J. & STANGENBERGER, A.G.; 1982. Soil carbon pool and world life zones. *Nature* 298: 156–159.
- PRICHARD, S.J.; PETERSON, D.L. & HAMMER, R.D.; 2000. Carbon distribution in sub-alpine forests and meadows of the Olympic Mountain, Washington. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1834 – 1845.
- RAICH, J.W.; POTTER, C.S. & BHAGAWATI, D.; 2002. Interannual variability in global soil respiration, 1980–94. *Glob. Change Biol.* 8: 800-812.
- REY, A.; PEGORARO, E.; TEDESCHI, V.; DE PARRI, I.; JARVIS, P.G. & VALENTINI, R.; 2002. Annual variation in soil respiration and its components in a coppice oak forest in Central Italy. *Glob. Change Biol.* 8: 851–866.
- ROVIRA, P.; ROMANYÀ, J.; RUBIO, A.; ROCA, N.; ALLOZA, J.A. & VALLEJO, R.; 2007. Estimación del carbono orgánico en los suelos peninsulares españoles. En: F. Bravo Oviedo (ed.), *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*: 197-222. Fundación Gas Natural. Barcelona.
- RODRÍGUEZ-MURILLO, J.C.; 2001. Organic carbon content under different types of land use and soil in peninsular Spain. *Biol. Fertil. Soils* 33: 53-61.
- WISEMAN, P. & SEILER, J.R.; 2004. Soil CO₂ efflux across four age classes of plantation loblolly pine (*Pinus taeda* L.) on the Virginia Piedmont. *Forest Ecol. Manage.* 192: 297-311.
- WRB.; 2006. *World Reference Base for Soil Resources 2006*. first update 2007. FAO. Roma.