

Cuantificación de la cantidad de dióxido de carbono que captura la agricultura de secano

Un balance de carbono en el sistema agrícola de secano de la campiña andaluza

Existen muy pocos datos relativos al balance de carbono en los sistemas agrícolas y la contribución que pueden hacer estos en la reducción de los niveles de CO₂ atmosférico. El presente artículo analiza, a partir de un experimento de campo de veintidós años de duración, la cantidad de CO₂ atmosférico que pueden capturar los principales cultivos herbáceos sembrados en las campiñas andaluzas (trigo, habas, girasol y garbanzos) en función de distintos sistemas de laboreo y de diferentes rotaciones de cultivo.

José María Fontán del Junco, Rafael J. López-Bellido, Jorge Benítez y Luís López Bellido.

Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas y Forestales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes. Universidad de Córdoba.

El exceso de gases de efecto invernadero en la atmósfera es la principal causa del calentamiento de la Tierra, el cual podría ser la antesala de un potencial cambio climático a escala global. En 1997 la comunidad internacional firmó el Protocolo de Kyoto con el fin de reducir la concentración de gases de efecto invernadero en nuestra atmósfera. Uno de los objetivos centrales de este acuerdo consiste en reducir las emisiones de estos gases en un 5%, respecto a los niveles de 1990, en el período 2008-2012. La Unión Europea se comprometió a reducir sus emisiones un 8%. No obstante, a cada país comunitario se le otorgó un margen distinto según sus circunstancias económicas y medioambientales, fijándose unos niveles de emisiones máximos o bien unos objetivos de reducción de éstas, según el caso. España en este reparto

tiene licencia para emitir un 15% más respecto al año de referencia de 1990. Los datos españoles para el año 2006 registran unas emisiones del 49,5% más respecto a los niveles de 1990 (Ministerio de Medio Ambiente, 2008a). Estos datos preocupantes obligan a tomar medidas con urgencia, que permitan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para cumplir el objetivo al que España se había comprometido.

El dióxido de carbono (CO₂) es el principal gas de efecto invernadero. A escala mundial, las causas más importantes del incremento de su concentración en la atmósfera han sido, hasta 1970, la práctica de una agricultura intensiva y los cambios en el uso de la tierra (Lal, 2002). Sin em-

bargo, hoy día la principal fuente de emisión de CO₂ a la atmósfera es el consumo de combustibles fósiles por parte de la industria y el transporte (IPCC, 2007). Aunque actualmente las emisiones de CO₂ por la agricultura sean de menor cuantía que las del sector industrial o del transporte, su actividad libera cantidades significativas de este gas a la atmósfera. Una prueba que muestra la liberación de CO₂ a la atmósfera por la agricultura es el descenso de materia orgánica en las tierras a ella dedicadas (Lal y Kimble, 1997). Tal descenso es fruto de la práctica de una agricultura intensiva y poco sostenible (Post y Mann, 1990). Sin duda, la mejor forma de que los suelos agrícolas contribuyan al secuestro de CO₂ atmosférico es a través de la for-



Vista aérea de las parcelas del experimento Malagón.

mación de materia orgánica en los mismos (Christopher y Lal, 2007). Además de este beneficio, el aumento de la materia orgánica del suelo mejora su fertilidad, razón por la cual debe ser un indicador fundamental en cualquier política ambiental, pues se trata de uno de los factores más importantes que afectan a la productividad de los cultivos (López Bellido, 1998).

El papel del CO₂ en un agrosistema

Comprender cómo los suelos agrícolas capturan CO₂ de la atmósfera requiere conocer qué papel desempeña este gas en un agrosistema. El CO₂ ingresa en dicho sistema cuando las plantas lo toman de la atmósfera para realizar la fotosíntesis, proceso que permite fijar carbono en sus raíces y en la parte aérea. Por otro lado, el CO₂ sale del agrosistema a través de la respiración del sistema radicular y la de los microorganismos del suelo, de la descomposición de raíces muertas y restos de cultivo

LOS CULTIVOS DE TRIGO, GIRASOL, GARBANZOS Y HABAS en la campiña andaluza capturan anualmente 4,8 millones de toneladas de CO₂ de la atmósfera. Esta cantidad representaría el 16% de las emisiones de CO₂ en Andalucía y un 3% de las emisiones en España

y de la mineralización de la materia orgánica. El carbono de los residuos vegetales, que no es emitido como CO₂ durante la descomposición ni la mineralización de la materia orgánica, se integra en sustancias orgánicas más estables y se denomina carbono humificado. En condiciones aeróbicas, gran parte de ese carbono es lábil y sólo una pequeña porción se acumula en la fracción húmica estable. El carbono que ingresa al suelo y se acumula en la fracción húmica estable queda secuestrado de la atmósfera, formando parte de la materia orgánica del mismo (Álvarez, 2005).

Para incrementar el nivel de materia orgánica en el suelo es

necesario implantar una serie de prácticas agrícolas sostenibles, tales como: reducir la intensidad del laboreo del suelo, establecer unas rotaciones de cultivos adecuadas y racionalizar el uso de fertilizantes. Bajo este tipo de agricultura es posible llegar a afirmar lo que se menciona en el Protocolo de Kyoto: «los suelos agrícolas pueden cesar de emitir CO₂ a la atmósfera y convertirse incluso en sumideros del exceso que existe de dicho gas en ella».

Hay que señalar, finalmente, que la verificación del gran potencial de los suelos agrícolas para capturar CO₂ atmosférico requiere de ensayos de campo de larga duración que permitan analizar la

evolución de la materia orgánica del suelo (Rasmussen y Collins, 1991). Contar con experimentos de este tipo resulta de especial interés en los ambientes semiáridos como el mediterráneo, dado el escaso contenido de materia orgánica de sus suelos y las bajas tasas de incremento en los mismos (López Bellido, 1992).

El presente artículo está basado en la información suministrada por el experimento de campo de larga duración Malagón, ubicado en la campiña de Córdoba, y que se inició en el año 1986, es decir, hace veintidós años. Dicho experimento constituye un observatorio privilegiado para cuantificar la cantidad de CO₂ que captura la agricultura de las campiñas andaluzas. En él se está estudiando la evolución de la materia orgánica del suelo, el carbono capturado por distintos cultivos (habas, garbanzos, girasol y trigo), las emisiones de CO₂ a la atmósfera y el balance de carbono correspondiente. Todo ello en función de distintos sistemas de laboreo y rotaciones de cultivo.



Incrementando el nivel de materia orgánica con prácticas agrícolas sostenibles como la reducción de la intensidad del laboreo del suelo, éste puede convertirse en sumidero del exceso de CO₂ que existe en la atmósfera.



Las habas capturaron más carbono en no laboreo que en laboreo convencional, aunque el potencial de captura de carbono es bajo respecto al trigo y al girasol.

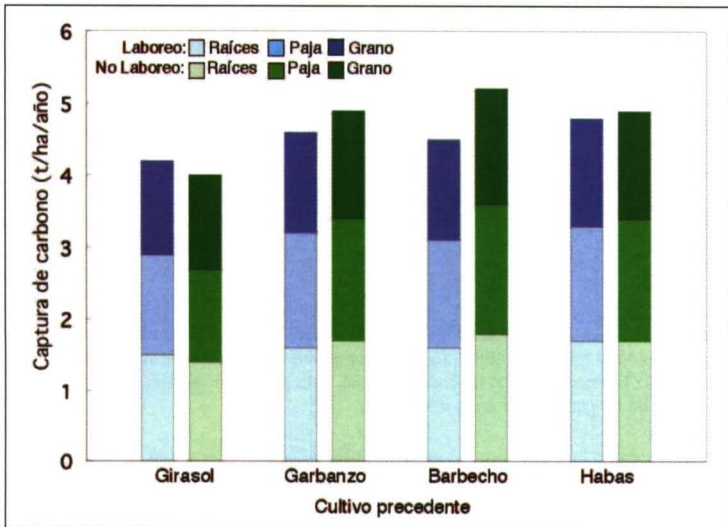
Captura de carbono en las campiñas andaluzas

El experimento de larga duración Malagón surgió con el objetivo de investigar los beneficios de las prácticas agrícolas sostenibles. Establecido en un suelo Vertisol de secano (bujeo) repre-

sentativo de la campiña, en él se estudia el efecto de dos sistemas de laboreo (no laboreo y laboreo convencional), de cuatro rotaciones bianuales de cultivos (trigo-habas, trigo-garbanzos, trigo-girasol y trigo-barbecho) y de la dosis de nitrógeno fertilizante aplicada al trigo (0, 50, 100 y 150 kg/ha). La producción de

Figura 1.

CANTIDADES MEDIAS DE CARBONO CAPTURADO POR LA RAÍZ, LA PAJA Y EL GRANO DEL TRIGO, SEGÚN LAS DISTINTAS ROTACIONES ESTUDIADAS (TRIGO-GIRASOL, TRIGO-GARBANZO, TRIGO-BARBECHO Y TRIGO-HABAS) Y SEGÚN EL MÉTODO DE LABOREO (LABOREO CONVENCIONAL Y NO LABOREO). EXPERIMENTO MALAGÓN. CÓRDOBA.



biomasa (grano y paja) de cada cultivo y para cada tratamiento estudiado, fue cuantificada todos los años del período 1988-2008. También se ha medido la biomasa radicular producida por cada cultivo en el perfil 0-100 cm y analizado el contenido en carbono de la biomasa total (raíces, paja y grano). Cada tres años fue determinada la materia orgánica del suelo en el perfil 0-90 cm (horizontes 0-15, 15-30, 30-60 y 60-90 cm). Más recientemente se han realizado estudios preliminares de las emisiones de CO₂ del suelo en cada uno de los cultivos, rotaciones y sistemas de laboreo.

El conjunto de datos recopilados nos ha permitido estimar con precisión la captura de CO₂ de la atmósfera por los cultivos referenciados. El CO₂ atmosférico capturado por un cultivo se traduce en la cantidad de carbono que ha fijado en sus estructuras (grano, paja y raíces). Los datos medios de rendimiento y captura de carbono por los diferentes cultivos se muestran en el **cuadro I**. El contenido medio de carbono en el grano, la paja y la raíz fue de 0,4% para todos los cultivos, excepto en la pipa de girasol que fue 0,59%. En la raíz, el contenido de carbono varió algo más entre cultivos, aunque dentro de un estrecho rango (0,34 - 0,40%).

La capacidad del trigo para fijar carbono varió en función del cultivo precedente (**figura 1**). Excepto en el caso de la rotación con girasol, el trigo captura más carbono en el no laboreo que en el laboreo convencional, independientemente del cultivo precedente. La mayor cantidad de carbono capturado por el trigo se obtuvo en la rotación con barbecho y bajo sistema de no laboreo (5,2 t/ha/año). La rotación del trigo con leguminosas (habas y garbanzo) con el método de no laboreo resultan muy favorables, registrando altas cantidades de carbono fijado (4,9 t/ha/año en ambos casos). Con el sistema de laboreo convencional, las le-

guminosas mostraron ser los mejores cultivos precedentes en la captura de carbono (4,8 t/ha/año para las habas y 4,6 t/ha/año para garbanzos). El girasol, al ser un cultivo más esquilmante, hace que el trigo fije menos cantidad de carbono (4,2 y 4 t/ha/año para el laboreo y para el no laboreo, respectivamente). La captura media global de carbono por el trigo fue de 4,5 y 4,8 t/ha/año en el no laboreo y laboreo convencional, respectivamente (**cuadro I**).

El carbono capturado por las raíces de trigo, en todos los casos, es algo más de un tercio del total del carbono fijado por el cultivo. Con excepción de la rotación con girasol, el trigo fijó más carbono en sus raíces en el no laboreo que en el laboreo convencional, obteniéndose valores de carbono en torno a 1,6 t/ha/año, (**cuadro I**).

El girasol tuvo una captura media de carbono muy similar al trigo y superior a las leguminosas (5,3 t/ha/año bajo laboreo convencional y 4,7 t/ha/año bajo no laboreo) (**cuadro I**). El garbanzo

no mostró diferencias en la fijación de carbono según el método de laboreo empleado, registrando un valor medio muy bajo (1,9 t/ha/año). Por el contrario, las habas sí capturaron más carbono en no laboreo que en laboreo convencional (2,2 y 1,9 t/ha/año, respectivamente) (**cuadro I**); aunque el potencial de captura de carbono también es bajo respecto al trigo y al girasol. En ambas leguminosas se ha observado una mayor proporción de carbono fijado por las raíces respecto al fijado en la parte aérea (paja y grano), con valores de 0,8 y 1,1 t/ha/año en las habas para laboreo y no laboreo respectivamente, y de 0,9 t/ha/año en ambos sistemas de laboreo en los garbanzos.

LA ROTACIÓN TRIGO-BARBECHO FUE LA ÚNICA ROTACIÓN que tuvo un balance de carbono negativo, produciendo en consecuencia una emisión neta de CO₂ a la atmósfera. Una vez más, se pone de manifiesto el impacto negativo que tiene el barbecho desnudo sobre el medio ambiente en la agricultura de secano mediterránea

► Aproximación al balance de carbono

Para valorar el papel que juegan los cultivos agrícolas en la reducción de CO₂ de la atmósfera es necesario no sólo cuantificar el carbono fijado por los mismos, sino también conocer las emisiones de CO₂ del suelo donde se siembran. De esta manera es posible establecer un balance simplificado que nos muestre la captura o emisión de CO₂ que se produce. En tal sentido hemos realizado estudios preliminares que nos han permitido representar la evolución en el tiempo de las emisiones de carbono del suelo según los dos sistemas de laboreo estudiados (**figura 2**). En las condiciones del secano andaluz, los tres meses de verano, julio, agosto y septiembre, tienen emisiones de CO₂ nulas, debido a la baja humedad existente en la capa superficial del suelo. La mayor cantidad de emisiones se pro-

Cuadro I.

Rendimiento de grano, paja y raíz y captura de carbono de los cultivos de trigo, habas, girasol y garbanzos, según el sistema de laboreo. Experimento Malagón, Córdoba.

Cultivo	Rendimiento (t/ha/año)			Captura de carbono (t/ha/año)			
	grano	paja	raíz	grano	paja	raíz	Total
Trigo:							
Laboreo	3,22	3,64	4,01	1,38	1,53	1,60	4,51
No Laboreo	3,44	3,92	4,27	1,48	1,65	1,66	4,79
Habas:							
Laboreo	1,56	1,24	2,30	0,67	0,51	0,78	1,96
No Laboreo	1,75	0,96	2,79	0,74	0,38	1,06	2,18
Girasol:							
Laboreo	2,00	4,43	6,96	1,18	1,77	2,37	5,32
No Laboreo	1,75	4,14	5,60	1,02	1,61	2,07	4,70
Garbanzos:							
Laboreo	1,31	1,17	2,50	0,57	0,50	0,90	1,97
No Laboreo	1,09	1,31	2,69	0,47	0,56	0,94	1,97



Figura 2.

EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES MEDIAS DE CO₂ DEL SUELO A LO LARGO DEL AÑO SEGÚN EL SISTEMA DE LABOREO. EXPERIMENTO MALAGÓN, CÓRDOBA.

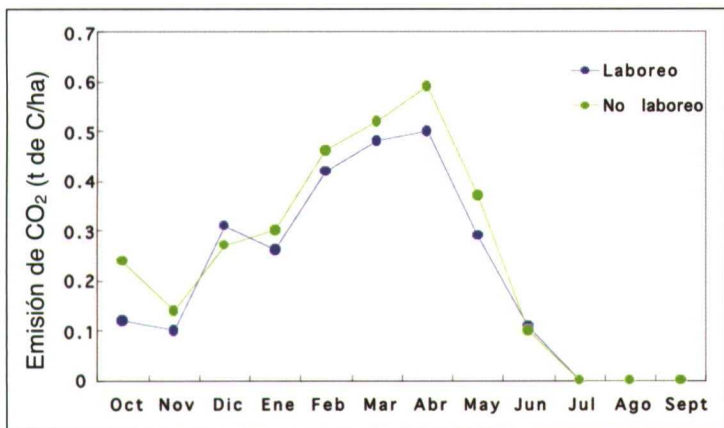
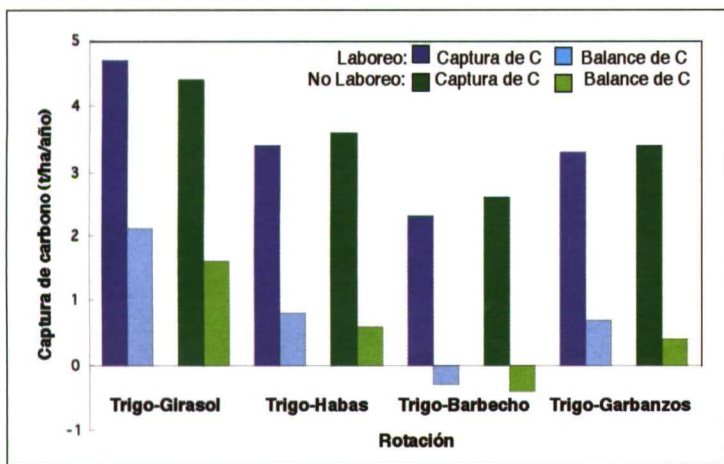


Figura 3.

CAPTURA Y BALANCE DE CARBONO (TONELADAS DE CARBONO HA/AÑO) PARA CADA ROTACIÓN BIANUAL (TRIGO-GIRASOL, TRIGO-HABAS, TRIGO-BARBECHO Y TRIGO-GARBANZO) EN FUNCIÓN DEL SISTEMA DE LABOREO (LABOREO Y NO LABOREO). EXPERIMENTO MALAGÓN, CÓRDOBA.



ducen a finales de invierno y principios de primavera (febrero-abril), época en la que los cultivos están en pleno desarrollo y existe más humedad en el perfil del suelo. En este período es cuando parecen existir mayores diferencias entre ambos sistemas de laboreo. Con estos datos preliminares, hemos obtenido un promedio de emisiones de CO₂, expresado en carbono anual, de 2,59 t/ha en el laboreo convencional y de 3 t/ha en el no laboreo.

Considerando la partida de carbono fijado por los cultivos y la de emisiones de CO₂ del suelo, hemos estimado el balance según las distintas rotaciones del experimento y de los sistemas de laboreo estudiados (figura 3). En el mismo, también fueron tenidas

en cuenta las emisiones de CO₂ derivadas de los inputs aplicados a los cultivos (laboreo, siembra, tratamientos, fertilizantes, fitosanitarios y recolección), que en total se han cifrado en 185 kg C/ha en laboreo y 155 kg C/ha en no laboreo. La rotación trigo-girasol bajo laboreo convencional fue la que tuvo un balance más positivo, 2,1 t/ha/año de carbono, reduciéndose bajo no laboreo a 1.4 t/ha/año. La rotación con leguminosas (habas y garbanzos) también registró un balance positivo para ambos sistemas de laboreo (trigo-habas con 0,8 y 0,6 t/ha/año y trigo-garbanzo con 0,7 y 0,4 t/ha/año, para laboreo y no laboreo, respectivamente). La rotación trigo-barbecho fue la única que tuvo un balance negati-

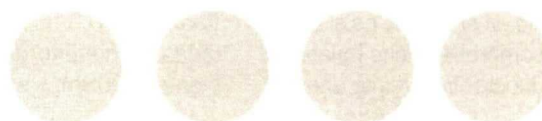
No sólo de NITRÓGENO vive tu Cereal...

Cerealista, ha llegado el momento de la siembra. Tradicionalmente el Cereal se fertilizaba en Sementera con un fertilizante complejo y una segunda aportación en cobertura. Ahora, en base al conocimiento de Yara y sus experiencias contrastadas con éxito durante los últimos 9 años en España, nos permitimos recomendarle YaraMila™ Actyva. Se aporta cuando la planta realmente necesita los nutrientes para su desarrollo; en el momento del ahijado.

De esta manera evitará pérdidas de Nitrógeno por lixiviación y volatilización, y de Fósforo por retrogradación. YaraMila™ Actyva cuenta con Fósforo en forma de Polifosfatos (patente de Yara), aportando mayor movilidad y penetración en el perfil del suelo.



YaraMila™ Actyva



info.iberian@yara.com

vo en ambos sistemas de laboreo (-0,3 y -0,4 t/ha/año para laboreo y no laboreo, respectivamente) produciendo en consecuencia una emisión neta de CO₂ a la atmósfera. Una vez más, se pone de manifiesto el impacto negativo que tiene sobre el medio ambiente el barbecho desnudo en la agricultura de secano mediterránea.

El no laboreo tuvo, en todos los casos, un balance de carbono menos favorable, aunque indujo una mayor captura de carbono en casi todos los cultivos respecto al laboreo convencional (**cuadro I**). Ello supone un mayor ingreso de carbono en el suelo susceptible de convertirse en materia orgánica estable. En consecuencia, un suelo sometido a no laboreo estaría en condiciones de acumular mayor carbono –mayor materia orgánica– procedente en última instancia del CO₂ de la atmósfera. También, en contrapartida, un mayor contenido en materia orgánica propicia mayores emisiones de CO₂ por el suelo. La

contenido de carbono orgánico del suelo (0-90 cm) en el experimento Malagón difirió significativamente entre el no laboreo (54 t/ha) y el laboreo convencional (46 t/ha). El contenido de carbono orgánico del suelo al inicio del experimento (1986) era de 30 t/ha. Esto supone un incremento anual de carbono orgánico en el suelo de 0,8 y 1,2 t/ha en el laboreo y en el no laboreo, respectivamente. En ambos casos, siempre sin quemar el rastrojo ni retirar la paja. Esto equivale a decir que el suelo está secuestrando cada año 3 t/ha en laboreo y 4,4 t/ha en no laboreo de dióxido de carbono (CO₂).

Con los datos obtenidos en el presente estudio, puede realizarse un cálculo aproximado de la cantidad de CO₂ que los principales cultivos sembrados en la campiña andaluza pueden capturar de la atmósfera. Incluyendo los cultivos de trigo, girasol, habas y garbanzos sembrados en secano en Andalucía, el carbono fijado por cada uno de los mis-

de las emisiones de CO₂ en España, que para el mismo año se estimaron en un total de 146 millones de toneladas de CO₂ (Ministerio de Medio Ambiente, 2008b). Si se considera sólo el carbono orgánico estable secuestrado por el suelo (promedio de los dos sistemas de laboreo), estimado en el párrafo anterior, la captura anual de CO₂ por los suelos de secano de la campiña andaluza supondrían alrededor de un 9% del total de las emisiones de dicho gas en Andalucía y el 2% de las emisiones en España.

Conclusiones

La agricultura es siempre un sector estratégico para la economía de un país, cualquiera que sea su nivel de desarrollo. Además, a diferencia de otros sectores como la industria o el transporte, la agricultura es capaz, bajo un manejo apropiado, no sólo de reducir a cero las emisiones de CO₂ a la atmósfera, sino de capturar éste y almacenarlo

como carbono en el suelo. Para conseguir este objetivo son necesarias adecuadas prácticas de manejo, tales como el laboreo de conservación y, sobre todo, reducir las superficies dedicadas al barbecho y sometidas a un laboreo convencional. También se requiere implantar rotaciones idóneas que maximicen la captura de CO₂ atmosférico, mejoren la fertilidad del suelo y reduzcan las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

En este sentido deberían promoverse estudios más amplios y detallados, por los sectores implicados en la actividad agrícola, encaminados a poner en valor las numerosas externalidades de la agricultura, entre ellas, como en este caso, su contribución a los balances reales de emisiones de carbono que son de suma importancia para el medio ambiente y para satisfacer las exigencias del Protocolo de Kyoto. ■



Instrumento de medida de las emisiones de CO₂ del suelo.

clave está en maximizar el balance mediante prácticas adecuadas de manejo de los cultivos que incrementen la captura de carbono y reduzcan las emisiones del suelo.

El estudio de la evolución del contenido de materia orgánica del suelo en el tiempo es el método de comprobar dicho balance y su tendencia. Tras veinte años, el

mos, las emisiones medias del suelo estimadas y las derivadas de los inputs utilizados, el carbono total neto anual secuestrado sería 4,8 millones toneladas de CO₂. Esta cantidad representa el 16% de las emisiones de CO₂ en Andalucía para 2006, que se cifraron en 30,3 millones de toneladas (Ministerio de Medio Ambiente, 2008b); y supone un 3%

Agradecimientos

El experimento Malagón ha sido financiado por distintos proyectos del Plan Nacional de I+ D+ i (proyectos AGF95-0553, AGF97-0498, AGL2000-0460, AGL2003-03581 y AGL2006-02127/AGR).

Nuestro agradecimiento al Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias por los recursos aportados para el mantenimiento del experimento de larga duración, y a la empresa ABECERA por permitirnos realizar el experimento en su finca Malagón. Por último, especiales gracias a los miembros del grupo de investigación, Verónica Muñoz, Purificación Fernández, María Auxiliadora López-Bellido, Joaquín Muñoz y José Muñoz, por su valiosa colaboración en el experimento Malagón.

Bibliografía

- Álvarez, R. 2005. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use Manage.* 21: 38-52.
- Christopher, S.F. y Lal, R. 2007. Nitrogen management affects carbon sequestration in North American cropland soils. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 26:45-64.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Lal, R. 2002. Why carbon sequestration in Agricultural soils. En: *Agricultural Policies and Practices for Carbon Sequestration in Soils*, pp: 21-30. Kimble, J., Lal, R. y Follett, R.F. (eds). CRC Press, Boca Raton, FL.
- Lal, R., y Kimble, J.M. 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49, 243-253.
- López Bellido, L. 1998. Agricultura y medio ambiente. En: *Agricultura Sostenible*, pp 15-38. Ed. Mundi Prensa. Madrid.
- López-Bellido, L. 1992. Mediterranean cropping systems. En: *Ecosystems of the world. Field Crop Ecosystems*, pp: 311-356. Pearson. C.J. (Ed.) Elsevier, Amsterdam- London-New York-Tokyo.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2008a. *Inventario de Gases de Efecto Invernadero de España 1990-2006: Sumario*. Secretaría General para la prevención de la contaminación y el cambio climático. Dirección general de calidad y evaluación ambiental; Subdirección General de la calidad del aire y prevención de riesgos.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2008b. *Registro de emisiones y fuentes contaminantes. Información pública Registro EPER-España*. Web: <http://www.eper.es/Consultas/pollutant.asp>
- Post, W.M. y Mann, L.K. 1990. Changes in soil organic carbon and nitrogen as a result of cultivation. A.E. Bouwman (ed) "Soils and The Greenhouse Effect." J. Wiley, Chichester, U.K.
- Rasmussen, P.E. y Collins, H.P. 1991. Long term impacts of tillage, fertilizer and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. *Adv. Agron.* 45, 93-134.