

LOS RESULTADOS DE LA EXPERIENCIA PERMITEN AFIRMAR QUE LA SIEMBRA DIRECTA ES UN SISTEMA EFICAZ PARA REDUCIRLAS

# Impacto de las operaciones agrícolas sobre las emisiones CO<sub>2</sub> a la atmósfera

R. Ordóñez<sup>1</sup>, R. Carbonell<sup>1</sup>, P. González<sup>1</sup> y O. Veroz<sup>2,3</sup>.

<sup>1</sup>Área de Producción Ecológica y Recursos Naturales. Centro Alameda del Obispo. IFAPA. Córdoba

<sup>2</sup>Asociación Española Agricultura de Conservación/Suelos Vivos. Centro Alameda del Obispo. IFAPA. www.aeac-sv.org

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Rural. Universidad de Córdoba.

**En este trabajo se presentan los datos relativos a las emisiones de dióxido de carbono en un suelo arcilloso de la Vega de Carmona (Sevilla) y de cómo han influido las operaciones de laboreo y siembra sobre el flujo de este gas en suelos cultivados en no laboreo y manejo convencional.**

Los últimos informes sobre el cambio climático que sufre nuestro planeta han dado la voz de alarma sobre las nefastas consecuencias que la actividad humana está teniendo en el calentamiento global, principalmente por la emisión de gases de efecto invernadero (EEA, 1998). El sector agrícola, como una de las tantas actividades realizadas por el hombre, genera impactos sobre el medio ambiente como la erosión del suelo, contaminación de suelos y aguas y liberación de gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y NO<sub>2</sub>) cuyas consecuencias, además de las ambientales, acarrearán problemas económicos y sociales. Respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, existe un intercambio entre la atmósfera y las superficies dedicadas a la agricultura que hace que el balance neto de emisión sea bajo (0,04 t año<sup>-1</sup>). En este balance no se tienen en cuenta las emisiones debidas al consumo de electricidad, de gasoil y al consumo energético que tienen lugar por la participación en el proceso productivo de la maquinaria y de los insumos agrarios.

En los sistemas de manejo tradicionales debido a la quema de rastrojo y el laboreo intensivo del suelo, se producen emisiones extras de dióxido de carbono a la atmósfera y se reduce la capacidad de almacenamiento en el suelo de carbono al reducirse el contenido en materia orgánica en el mismo.

Mediante la utilización de mejores prácticas agrícolas, en los próximos veinticinco años la agricultura podría contribuir a fijar alrededor del 10% del carbono producido por el hombre que se encuentra en la atmósfera, y a la vez mejorar el suelo, la calidad de los cultivos y del medio ambiente, contener la erosión y la desertificación y favorecer la biodiversidad.

La clave está en acumular materia vegetal en el suelo. Así se capta el dióxido de carbono del aire y se transforma en materia orgánica, cuyo principal componente es el carbono. Este proceso se denomina fijación o secuestro de carbono. Además, mejoraría la calidad del suelo, reduciría la erosión del mismo y la agricultura sería más productiva y sostenible.

Incrementar la materia orgánica en las tierras agrícolas además enriquece la estructura del suelo, permite al agua llegar a las raíces de los cultivos en vez de fluir por la superficie y llevarse la valiosa capa arable. Mediante la reducción o eliminación del arado se puede proteger la materia orgánica del suelo, así como dejando los restos de los cultivos en éste después de la cosecha. La llamada agricultura de conservación comprende una serie de técnicas que incorporan estas prácticas.

Por otra parte, la agricultura también produce emisiones de CO<sub>2</sub> más intensas cuando el arado, a menudo innecesario, expone la materia orgánica del suelo a la interperie. Esta materia orgánica –que está compuesta principalmente de carbono– se transforma en CO<sub>2</sub>.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> en la agricultura vienen dadas fundamentalmente por el laboreo intensivo de las tierras agrícolas, el cual causa pérdidas sustanciales (desde un 30% al 50%) del carbono del suelo (Davison y Ackerman, 1993). Estas pérdidas de carbono se deben a la fragmentación del suelo que ocasiona el laboreo y que facilita la activi-



Como puede observarse, el pico más alto de emisión de CO<sub>2</sub> para los diferentes muestreos, se aprecia entre la apertura del surco y 2 horas después de labrar y esta tendencia es común para ambos sistemas de manejo como consecuencia de la mayor temperatura ambiental registrada en este tiempo y del desplazamiento del gas a las parcelas no labradas, muy próximas a las del sistema convencional

dad biológica produciéndose el intercambio de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> del suelo con la atmósfera y viceversa (Reicosky et al., 1997). Las labores de la agricultura convencional (laboreo de inversión, con arado de volteo, grada de discos o rotavator) entierran los restos vegetales y dejan el suelo en condiciones óptimas para que se produzcan pérdidas de CO<sub>2</sub>, a la vez que se reduce el efecto sumidero del suelo. De forma similar, la intensificación de la agricultura favorece las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero.

## Localización de la zona de estudio

La experiencia se ha desarrollado en la Estación Experimental de Tomejil en la Campiña de Carmona (Sevilla), de coordenadas 37° 24' 07"N y 05° 35' 10"W.

El suelo es muy arcilloso, clasificado como montmorillonítico muy fino (calcáreo), Chromic Haploxeret (Soil Survey Staff, 1999). Es un suelo de buena fertilidad natural, con altas concentraciones de potasio y calcio, niveles medios de fósforo y bajo contenido en materia orgánica. El principal componente de su composición textural es la arcilla, con valores superiores al 60%, distribuidas en un 70% de arcilla expansible del tipo montmorillonita, un 20% de illita y un 10% de caolinita (Perea, 2000). La elevada proporción de arcillas expansibles en estos suelos determina que en periodos secos se formen grietas de retracción que favorecen el secado de los mismos, por lo que la disponibilidad de agua es el factor más limitante para la explotación.

El estudio se realizó en seis parcelas de 15 m de ancho y 150 m de longitud en las que, desde 1982, se están comparando dos sistemas de manejo de suelo: siembra directa y laboreo convencional. La rotación seguida en la finca es leguminosa-cereal-girasol. El apero utilizado en la labor ha sido una grada de discos. Las medidas se han realizado durante las campañas agrícolas 2006/07 y 2007/08, en las labores preparatorias del suelo y en la siembra. El tamaño de las parcelas y la disposición de los puntos de medida aparecen en la figura 1.

El clima de la zona de estudio es típico mediterráneo, que presenta una larga sequía estival con una gran irregularidad in-

teranual e intranual en la pluviometría. La precipitación media anual es de 515 mm y se produce fundamentalmente en los meses de otoño y principios de primavera con una menor cantidad en el invierno. Las temperaturas más altas son registradas durante los meses de julio y agosto, llegando a sobrepasar los 35°C de máxima diaria, y las mínimas se producen principalmente en el mes de enero, donde rara vez bajan de 0°C.

## Resultados y discusión

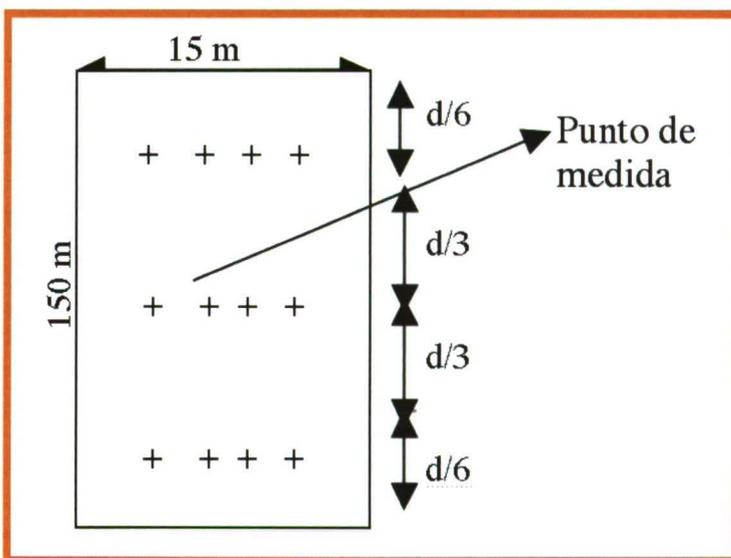
La emisión de CO<sub>2</sub> derivada de la acción mecánica sobre el perfil del suelo está directamente relacionada con la estabilidad de los agregados del mismo. En condiciones naturales, la materia orgánica se encuentra encapsulada en el interior de los agregados, no resultando accesible al ataque de microorganismos. Cuanto menos estable sea un agregado, menor será su resistencia ante procesos de alteración que puedan ocasionar su rotura y, por tanto, más fácilmente será accesible



Dispositivo de medida del flujo de gas.

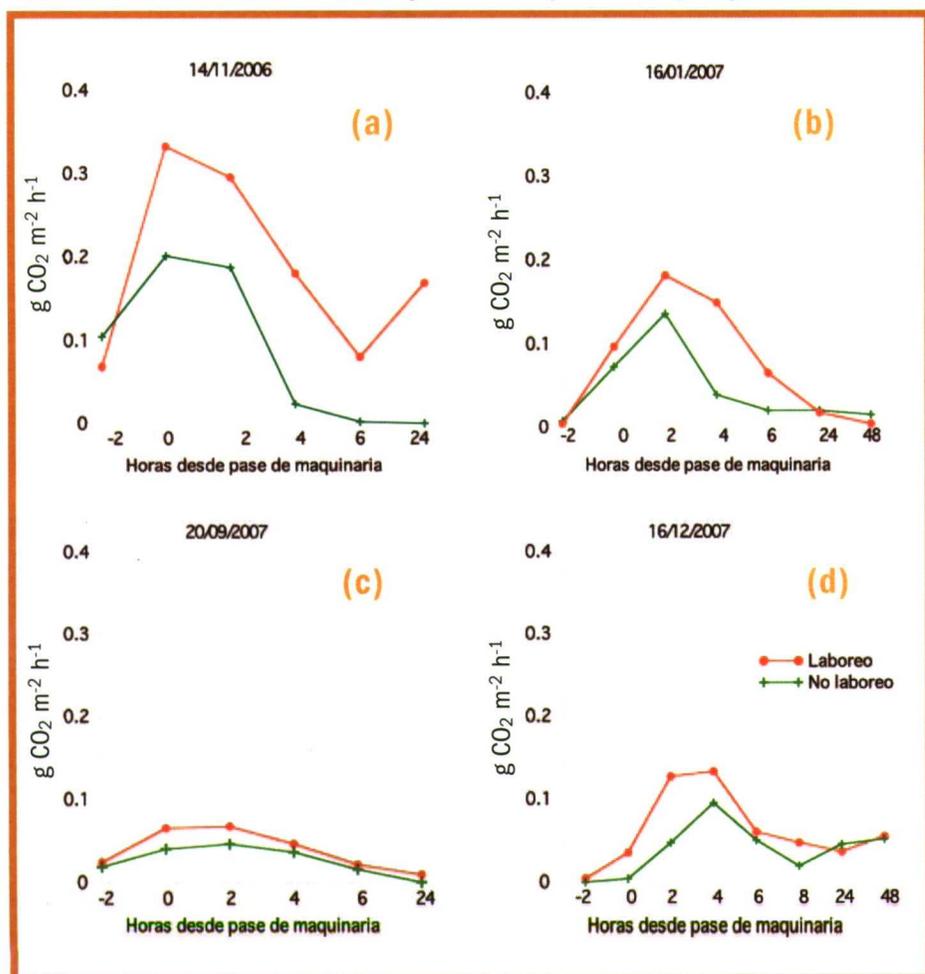
## Figura 1.

Esquema de la unidad experimental con los puntos de muestreo.



## Figura 2.

Evolución horaria de las emisiones de CO<sub>2</sub> durante las labores preparatorias del suelo en ambos sistemas de cultivo para las campañas 2006/07 y 2007/08.



la materia orgánica de su interior a los microorganismos, favoreciéndose los procesos de mineralización y de generación de CO<sub>2</sub> como subproducto que se emitirá a la atmósfera.

En las **figuras 2 a y b** se representa la evolución horaria de la emisión de CO<sub>2</sub> en sendas labores preparatorias del suelo para la campaña 2006/07, en la que se sembró guisante, y en las **figuras 2 c y d** las correspondientes a la campaña 2007/08, en la que se sembró trigo. En ellas se puede observar como no hay diferencias notables en el gas emitido entre los dos sistemas de manejo en la medida previa a la realización de la labor (-2 horas). No obstante, inmediatamente después de realizada la misma las emisiones de CO<sub>2</sub> experimentan un ascenso notable en los suelos labrados con respecto a las medidas estimadas en los suelos en no laboreo.

Como puede observarse, el pico más alto de emisión de CO<sub>2</sub> para los diferentes muestreos, se aprecia entre la apertura del surco y 2 horas después de labrar y esta tendencia es común para ambos sistemas de manejo como consecuencia de la mayor temperatura ambiental registrada en este tiempo y del desplazamiento del gas a las parcelas no labradas, muy próximas a las del sistema convencional. En el primer muestreo realizado el 14/11/06 apreciamos que a las 24 horas seguía existiendo una diferencia apreciable entre el gas medido en ambos sistemas de cultivo lo que llevó a que en muestreos sucesivos se ampliara el tiempo de medida hasta las 48 horas. No obstante, la visión conjunta del comportamiento del gas en los diferentes muestreos nos permite indicar que a partir del pico de máxima emisión el flujo del mismo va descendiendo hasta alcanzar valores similares en ambos tratamientos a las 24 horas. El significativo aumento en las emisiones

de CO<sub>2</sub>, que tiene lugar inmediatamente después de labrar o sembrar, responde a la liberación física de este gas atrapado en el espacio poroso del suelo.

En los puntos de máxima diferencia se han medido valores de dióxido de carbono entre un 39 y un 87% superiores en los suelos labrados con respecto a los que no se ha alterado el perfil (**cuadro I**). En concreto y considerando un cómputo de 24 horas, los suelos en el manejo convencional han emitido 30,1 y 11,8 kg ha<sup>-1</sup> más que los de agricultura de conservación para la primera y segunda labor realizada en la campaña 06/07 y 2,5 y 4,6 kg ha<sup>-1</sup> más para las labores efectuadas en la segunda campaña.

En nuestro estudio, los valores horarios de emisión son algo inferiores a los estimados por Álvaro-Fuentes *et al.* (2004) en un suelo franco de la provincia de Zaragoza bajo clima semiárido. La magnitud de la respuesta de los sistemas de agricultura de conservación al secuestro de carbono y a la reducción de las emisiones, varía considerablemente en función de la profundidad de la labor y las condiciones edafológicas y climáticas de la zona.

Independientemente del sistema de manejo utilizado, los valores más altos de emisión de CO<sub>2</sub> se aprecian en el muestreo realizado el 14/11/06 debido a la mayor humedad del perfil como consecuencia de la lluvia acumulada el mes anterior a la medida (**cuadro I**). Los valores más bajos se observan en el muestreo del 20/09/07 debido a las altas temperaturas registradas en esta época, las cuales condicionan la actividad de los microorganismos del suelo encargados de descomponer los restos orgánicos.

El clima modifica notablemente la índole y la rapidez de la descomposición de los restos vegetales y con ello del dióxido de carbono que se emite a la at-



En los suelos de la zona de estudio la mayoría de las emisiones contabilizadas se registran en el periodo primaveral, dado que la humedad y la temperatura favorecen la actividad de los microorganismos.

## Cuadro I.

Valores de emisiones diarias de CO<sub>2</sub> y diferencias máximas en las mismas entre los dos sistemas de manejo (LC: laboreo de conservación, NL: no laboreo).

Fecha de la labor	Emisión diaria de CO <sub>2</sub> kg ha <sup>-1</sup>		Máx. diferencia en emisiones LC-NL	T* máxima	Precipitación acumulada en el último mes (mm)
	LC	NL			
<b>Campaña 2006/07. Guisante</b>					
14/11/06	38,5	8,4	87% (4 horas)	21,2	127,8
16/01/06	20,3	8,5	74% (4 horas)	17,7	38,8
<b>Campaña 2007/08. Trigo</b>					
20/09/07	6,3	3,8	38,7% (apertura)	34,2	11
16/12/07	13,7	9,1	63% (2 horas)	16	66

mósfera. La humedad y la temperatura se encuentra entre las variables más determinantes (Brinson, 1977), porque influyen tanto en el desarrollo de la vegetación como en las actividades de los microorganismos, que son factores muy críticos de la formación del suelo. Kononova (1975), citando varias publicaciones, llega a la conclusión de que la intensidad máxima de la descomposición de la materia orgánica se observa en condiciones de temperatura moderada (alrededor de 20°C) y con un contenido de humedad de alrededor del 60-80% de su capacidad máxima de retención de agua. El aumento o disminución de la temperatura y de la humedad simultáneamente, más allá de los niveles óptimos, produce una disminución de la descomposición de la materia orgánica, lo que determina una reducción importante del CO<sub>2</sub> emitido.

Ordóñez et al. (2008), en suelos de la zona de estudio, han medido las emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo de una campaña agrícola y señalan que casi la totalidad de las emisiones contabilizadas en la campaña se registran en el periodo primaveral, durante el cual la mayor humedad del suelo, por las lluvias registradas en este periodo y sobre todo las temperaturas próximas a los 20°C favorecen la actividad de los microorganismos que degradan los restos orgánicos protegidos por los agregados del suelo.

En el caso de la siembra (figuras 3 a y b), la tendencia observada en el flujo de CO<sub>2</sub> es similar a la descrita para la labor, es decir se aprecia un pico máximo entre las 2 y 4 horas de iniciada la operación y los valores más altos se estiman en los suelos manejados en el sistema convencional. No obstante, y debido a la menor profundidad de alteración del perfil con la siembra, a las 6 horas los niveles de emisión son similares en ambos sistemas de manejo.

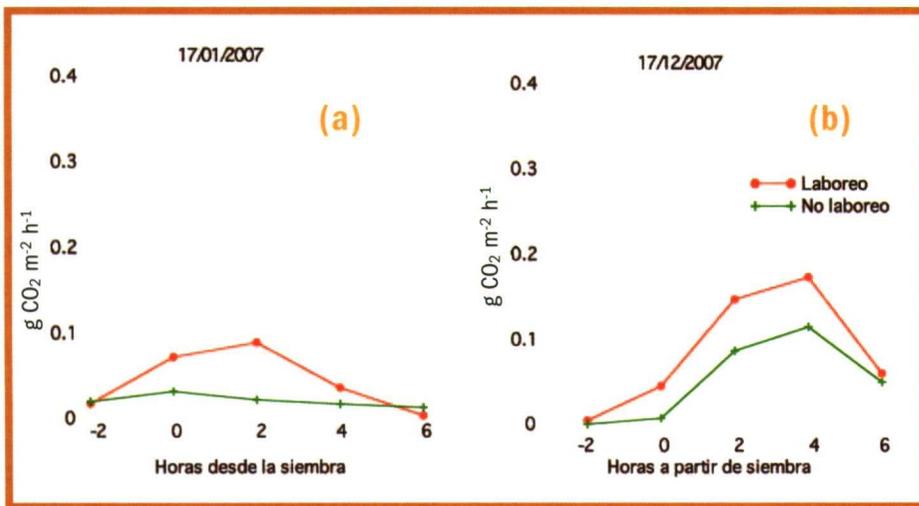
En trabajos de investigación llevados a cabo en Estados Unidos (Reicosky et al, 2007), se evaluaron los efectos a corto plazo que, sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>, tenían dos sistemas de manejo de suelo,

El significativo aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub>, que tiene lugar inmediatamente después de labrar o sembrar, responde a la liberación física de este gas atrapado en el espacio poroso del suelo



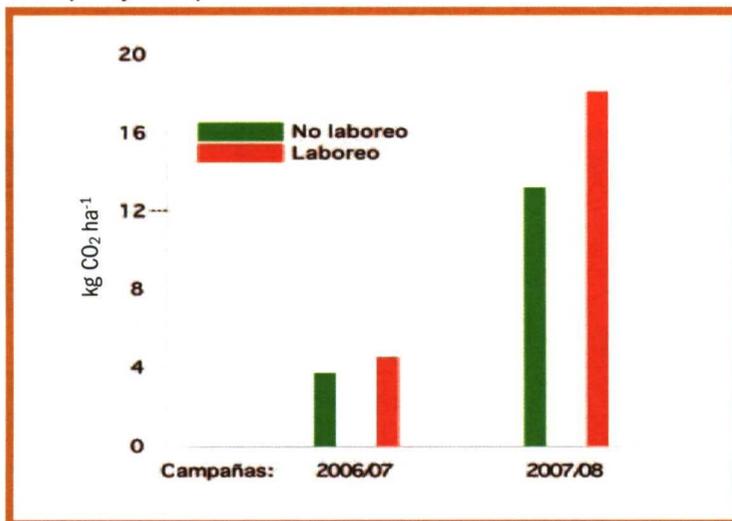
**Figura 3.**

**Evolución horaria de las emisiones de CO<sub>2</sub> durante las labores de siembra para las campañas 2006/07 y 2007/08 en ambos sistemas de cultivo.**



**Figura 4.**

**Emisión total acumulada durante las seis horas posteriores a la siembra en ambos sistemas de cultivo para las campañas 2006/07 y 2007/08.**



En los puntos de máxima diferencia se han observado reducciones del 87% para las labores preparatorias del suelo y del 75% para la siembra a favor de los suelos no labrados.

uno de ellos basado en la utilización del arado de veredera y otro bajo siembra directa. Las investigaciones dieron como resultado una mayor emisión tanto a corto como a medio plazo, de las parcelas labradas con respecto a las parcelas bajo siembra directa, con valores que fueron desde emisiones 3,8 veces superiores a las cuantificadas en no laboreo cuando la labor realizada fue más superficial (10 cm) hasta emisiones 10,3 veces mayores que las medidas en siembra directa en el caso de labores más profundas (28 cm). En nuestro caso, y considerando el acumulado de las 6 horas, el gas emitido al sembrar los suelos labrados fue 2,4 y 1,7 veces mayor que el emitido al sembrar los suelos en no laboreo para la primera y segunda campaña de toma de datos respectivamente (figura 4).

## Conclusiones

El estudio pone de manifiesto los beneficios medioambientales de las técnicas de agricultura de conservación. Los resultados de la experiencia permiten afirmar que la siembra directa o no laboreo es un sistema eficaz para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. El manejo de los suelos agrícolas bajo esta técnica puede contribuir a que España cumpla el compromiso adquirido como país firmante del Protocolo de Kyoto, que es el de limitar la media de las emisiones netas anuales de los GEI, medidas en CO<sub>2</sub> equivalente, durante el periodo 2008-2012, a las emisiones netas que se contabilizaron en el año base (1990), aumentadas en un 15%. En los puntos de máxima diferencia se han observado reducciones del 87% para las labores preparatorias del suelo y del 75% para la siembra a favor de los suelos no labrados.

La diferencia en la reducción del flujo de CO<sub>2</sub> observada entre las dos campañas de medida y la influencia de la humedad del suelo y la temperatura ambiente en la actividad microbiana y la emisión de gas, indica el interés de realizar más campañas de toma de datos en las que se puedan contemplar situaciones climáticas diferentes que nos permitan cuantificar con más precisión las diferencias observadas entre los dos sistemas de manejo estudiados. ■

## Agradecimientos

Los autores agradecen al INIA la financiación concedida en el proyecto RTA06-058-C03-01, gracias a la cual se ha podido obtener los datos recogidos en el texto.

## Bibliografía

- Álvarez, J.; López, M.V.; García, R.; Arrúe, J.L. (2004) Effect of tillage on short-term CO<sub>2</sub> emissions from a loam soil in semiarid Aragon (NE Spain). En Arrue, J.L.; Cantero-Martínez C. Third Mediterranean Meeting on No Tillage. Options Méditerranéennes. 60: 51-54.
- European Environment Agency. 1998. Soil Degradation, chapter 11, p.231-246.; chapter 2, climate change, p. 37-59. In: Europe's Environment: The Second Assessment, Elsevier Science Ltd., pp. 293.
- Brinson, M.M. 1977. Decomposition and nutrient exchange of litter in an alluvial swamp forest. *Ecol.*, 58: 601-609.
- Davidson, E.A. y I.L. Ackerman. 1993; Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry*, 20: 161-193.
- Kononova, M.M. 1975. Humus of virgin and cultivated soils. En *Soil components Vol. 1*, ed. J.E. Gieseking. Nueva York, Springer-Verlag. pp. 475-526.
- Ordóñez-Fernández, R., Carbonell-Bojollo, R., González-Fernández, P. y Perea-Torres F., 2008. Influencia de la climatología y el manejo del suelo en las emisiones de CO<sub>2</sub> en un suelo arcilloso de la Vega de Carmona. *CAREL*, Año VI, N° 6, Ed. S&C. pp. 2340-2354.
- Perea, F., 2000. Agronomía del laboreo de conservación en los vertisuelos de la campiña andaluza. Tesis Doctoral. Dept. de Agronomía, Univ. de Córdoba, España.
- Reicosky, D.C. (1997). Tillage-induced methods CO<sub>2</sub> emissions from soil. *Nutrient Cycl. Agrosyst.* 49: 273-285.
- Reicosky, D.C. and Archer, D.W. (2007). Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. *Soil and Tillage Research*. 94: 109-121.