

R. ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ
R. CARBONELL BOJOLLO
P. GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ
F. PEREA TORRES

INFLUENCIA DE LA CLIMATOLOGÍA Y EL MANEJO DEL SUELO EN LAS EMISIONES DE CO₂ EN UN SUELO ARCILLOSO DE LA VEGA DE CARMONA

Resumen. 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”. El sector agrícola, genera impactos al medio ambiente como erosión del suelo, contaminación de suelos y aguas y liberación de gases (CO₂, CH₄ y NO₂) cuyas consecuencias, además de las ambientales, traen problemas económicos y sociales. 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. La adopción de técnicas de cultivo de conservación en los sistemas agrícolas pueden reducir las emisiones de CO₂ por parte del suelo a la atmósfera minimizándose así las pérdidas del carbono orgánicas y mitigando el efecto del invernadero. En este trabajo se presentan los resultados de un estudio realizado en la finca Tomejil sobre un suelo arcilloso de la Vega de Carmona (Sevilla), en el que se ha evaluado el efecto la climatología y la adopción de prácticas de Agricultura de Conservación frente a la utilización del laboreo tradicional, sobre el flujo del gas y la fijación de carbono en el suelo.

Palabras clave. Agricultura de conservación / cambio climático / emisiones de dióxido de carbono / secuestro de carbono.

Abstract. The latest reports on climate change suffered our planet have sounded the alarm about the dire consequences that human

activity is having on global warming, mainly by the emission of gases “greenhouse effect”. The agricultural sector, which generates environmental impacts as soil erosion, soil and water pollution and release of gases (CO_2 , CH_4 and NO^2), the consequences of which, in addition to the environmental, bring economic problems social. Traditional management systems due to the burning of stubble and intensive tilling soil occur extra emissions of carbon dioxide to the atmosphere and reduces the storage capacity in the soil by reducing the carbon content. Organic matter in the adoption of conservation farming techniques in farming systems can reduce CO_2 emissions from the soil into the atmosphere and minimizing losses of organic carbon and mitigating the effect of greenhouse. In this paper we present the results of a study conducted at the farm Tomejil on a clay soil Vega Carmona (Sevilla), which has assessed the climatic effect and practices of Agriculture Conservation front of the use of traditional tillage on the gas flow and carbon fixation in the soil.

Keyword. Carbon dioxide emission / carbon sequestration / climatic change / conservation agriculture.

INTRODUCCIÓN

El clima mundial ha evolucionado siempre de forma natural. Los científicos creen, no obstante, que ahora estamos asistiendo a un nuevo tipo de cambio climático. Los niveles de dióxido de carbono y de otros “gases de efecto invernadero” en la atmósfera han subido vertiginosamente desde la revolución industrial. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) confirmó, en su tercer informe de evaluación, (GECC, 2001) que “existen pruebas nuevas y más convincentes de que la mayor parte del calentamiento observado durante los últimos 50 años se puede atribuir a actividades humanas”. Aunque las incertidumbres que rodean a la proyección de las tendencias futuras crean amplios márgenes de error en las estimaciones, el IPCC preveía un aumento de 1,4 a 5,8 °C en las temperaturas superficiales medias de nuestro planeta durante los próximos 100 años. Los efectos del calentamiento, incluso en los extremos inferiores de esa banda, serán probablemente dramáticos. Como demostración de esta realidad, la temperatura media anual de Europa ha aumentado entre 0,3 y 0,6 °C desde 1990, y se espera que siga aumentando (EEA, 1998).

Si sigue esta tendencia, el incremento en la concentración de CO₂ atmosférico y en la temperatura superficial llevará también a una modificación en la distribución y frecuencia de las lluvias.

El efecto invernadero consiste en la absorción por parte de algunos de los gases presentes en la atmósfera terrestre de la radiación que el suelo emite al ser calentado por la radiación solar. De mayor a menor concentración en la atmósfera, estos gases de efecto invernadero (GEI) son: el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y los clorofluorocarburos (CFCs). Excepto estos últimos, todos los demás son gases naturales que, en mayor o menor proporción, siempre se han encontrado en la atmósfera, permitiendo la presencia de una óptima temperatura en la superficie terrestre para el desarrollo de la vida. Sin embargo, en los últimos 150 años, la industrialización y la conversión de tierras forestales a tierras agrícolas han llevado a un importante incremento de la concentración de GEI en la atmósfera. Así, por ejemplo, la concentración de CO₂ en la atmósfera ha pasado de 280 ppm en 1750 a 367 ppm en 1999 (IPCC, 2001).

Las elevadas emisiones de CO₂ a la atmósfera debido al uso de combustibles fósiles es la principal causa del referido calentamiento global. Se estima que el CO₂ explica el 50% del efecto global de calentamiento derivado de actividades humanas.

Como respuesta a este problema global, en 1992 se firmó la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* que entró en vigor en 1994, al que ya se han adherido 188 países. Obliga a todos sus signatarios a establecer programas nacionales de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y a presentar informes periódicos, además de exigir a los países signatarios industrializados, aunque no a los países en vías de desarrollo, que establezcan sus emisiones de gases de efecto invernadero en los niveles de 1990 para el año 2000. Sin embargo, este objetivo no es vinculante.

Ya se reconoció en 1994 que los compromisos iniciales de la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* no bastarían para atajar el aumento mundial de las emisiones de gases de efecto invernadero. El 11 de diciembre de 1997, los Gobiernos dieron un paso más y adoptaron un protocolo

anejo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en la ciudad japonesa de Kioto.

España, como todos los países de la UE-15, aparece como parte firmante en el Anexo I del citado Protocolo. En el centro mismo del Protocolo se encuentran sus objetivos sobre emisiones, jurídicamente vinculantes para las Partes anexo I. Equivalen a una reducción agregada y compartida entre dichas Partes de al menos el 5% con respecto a los niveles de 1990 no más tarde de 2008-2012. Todas las Partes anexo I tienen objetivos individuales de emisión, que se enumeran en el anexo B del Protocolo y que se decidieron en Kioto después de intensas negociaciones. Los 15 Estados Miembros de la Comunidad Europea acordaron recurrir a un sistema de cálculo previsto en el Protocolo -la “burbuja comunitaria”- para distribuir proporcionalmente entre ellos sus objetivos globales de reducción. La UE tiene la obligación de reducir sus emisiones globalmente en un 8% (336 millones de toneladas equivalentes de CO₂). Muchos de los aspectos que quedaron abiertos en el Protocolo fueron definidos en los Acuerdos de Marrakech en 2001, entre ellos la inclusión de los sumideros en los suelos agrícolas.

España tiene como límite aumentar sus emisiones de GEI un máximo del 15% respecto a las emitidas en 1990, para el periodo 2008-2012, según el acuerdo adquirido en el Protocolo de Kioto. En el periodo 1990-2004, las emisiones totales de gases de efecto invernadero han aumentado en España cerca del 50% (figura 1), lo que nos aleja un 35% del compromiso de Kioto (MMA, 2006). En 2003 estas emisiones alcanzaron la cifra de 402 millones de toneladas de CO₂ equivalente. En lo que se refiere a las emisiones totales, España se sitúa en la media de los países europeos, con una emisión de GEI por habitante baja comparada con la mayoría de los países europeos.

En el año 2003, (último año para el que se dispone de cifras oficiales), cerca del 77,8% de las emisiones de GEI se deben a las actividades relativas al procesado de la energía (correspondiendo en un 99% a actividades de combustión y el 1% restante a emisiones de los combustibles por fugas). Dentro de éstas, destacan las emisiones de las industrias del sector energético (que emiten el 26,4% de las emisiones totales), el sector del transporte (que

emite el 24,4% del total), y las industrias manufactureras y de la construcción (que aportan casi el 17% del total). Por otro lado, la agricultura es responsable de un 11-15% de las emisiones de GEI, mientras que los procesos industriales sin combustión emiten cerca del 8% y el tratamiento y eliminación de residuos casi el 3%.



El sector agrícola, como una de las tantas actividades del hombre, genera impactos al medio ambiente como erosión del suelo, contaminación de suelos y aguas y liberación de gases (CO₂, CH₄ y NO₂) cuyas consecuencias, además de las ambientales, traen problemas económicos y sociales. Estos gases son el producto de insumos, fertilizantes y agroquímicos y del uso de maquinaria entre otros.

A escala mundial, el sector agrícola produce sólo una quinta parte de los gases de invernadero (CHG) que provocan dicho calentamiento global, siendo el causante del 50 al 70% de las emisiones de metano y de óxido nítrico, y de un 5% de las de CO₂ (Cole, 1996). La deforestación, los incendios forestales y otros cambios de uso del territorio causan otro 14% de emisión adicional. La agricultura tradicional es uno de los factores causantes del incremento de la emisión de CO₂ (Lal, 1997).

Históricamente, el laboreo intensivo de las tierras agrícolas ha causado pérdidas sustanciales (desde un 30 a un 50%) del carbono

▲ Figura 1 Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en Europa y España para el periodo 1990-2004 (MMA, 2006).

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 actividad biológica produciéndose el intercambio de CO_2 y O_2 del suelo con la atmósfera y viceversa. Las labores de la agricultura tradicional (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_2 , 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.

El secuestro de carbono es esencialmente el proceso de transformación del carbono del aire en carbono almacenado en el suelo. El dióxido de carbono es absorbido por las plantas a través del proceso de fotosíntesis e incorporado a la planta como tejido vegetal. Cuando las plantas mueren, el carbono de las hojas, tallos y raíces se descompone en el suelo y se convierte en materia orgánica, incrementando los niveles de este parámetro en el suelo. La Agricultura de Conservación introduce cambios importantes en la dinámica del C del suelo y favorece el secuestro del mismo. Los restos de cosecha sobre la superficie y el no mover el suelo, trae como consecuencia directa una reducción en la tasa de descomposición de los rastrojos; una disminución de la mineralización de la materia orgánica del suelo, debido a una menor aireación y menor accesibilidad de los microorganismos a la misma; y un incremento del carbono del suelo. Con la Agricultura de Conservación también se consigue mejorar la conservación del aire, disminuyendo la contaminación atmosférica al eliminar la quema de rastrojos y restos de poda, y al reducir las emisiones de CO_2 .

La estimación de la respiración del suelo, medida a través de sus emisiones de CO_2 , da una idea de la dinámica de su biota y, por lo tanto, de los procesos metabólicos que en él se desarrollan; tales procesos varían en función de factores biofísicos y climáticos del suelo y del uso de la tierra, por lo cual su medición es un indicador de la biomasa microbiana presente. La actividad microbiana se desarrolla en función de factores intrínsecos y extrínsecos al sistema suelo, por lo cual constituye un indicador de la dinámica del suelo y de la salud del recurso, pues una buena actividad microbiana puede ser el reflejo de óptimas condiciones físicas y químicas que permitan el desarrollo de los procesos metabólicos

de bacterias, hongos, algas y actinomicetos y de su acción sobre los substratos orgánicos.

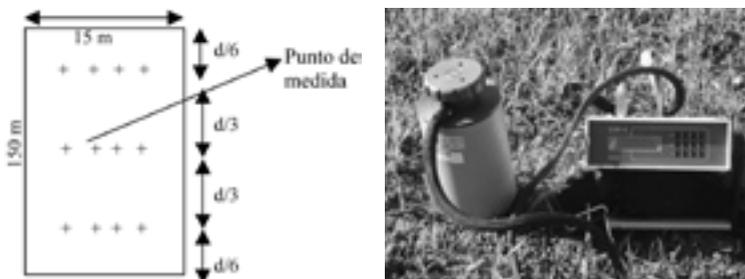
En este trabajo se presentan los datos relativos a las emisiones de dióxido de carbono en un suelo arcilloso de la Vega de Carmona (Sevilla) y de cómo ha influido la climatología y la adopción de prácticas de Agricultura de Conservación frente a la utilización del laboreo tradicional, sobre el flujo del gas y la fijación de carbono en el suelo.

LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

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

El suelo es arcilloso pesado, clasificado como montmorillonítico muy fino, Chromic Haploxeret (Soil Survey Staff, 1999). Es un suelo de buena fertilidad natural, con altas concentraciones de potasio y calcio, niveles medios de fósforo, bajo contenido en materia orgánica y un pH que tiende a la neutralidad. 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 desecado de los mismos, por lo que la disponibilidad de agua es el factor más limitante para la explotación.

El estudio se realizó en 6 parcelas de 15 m de ancho y 150 m de largo en las que, desde 1982, se están siguiendo dos sistemas



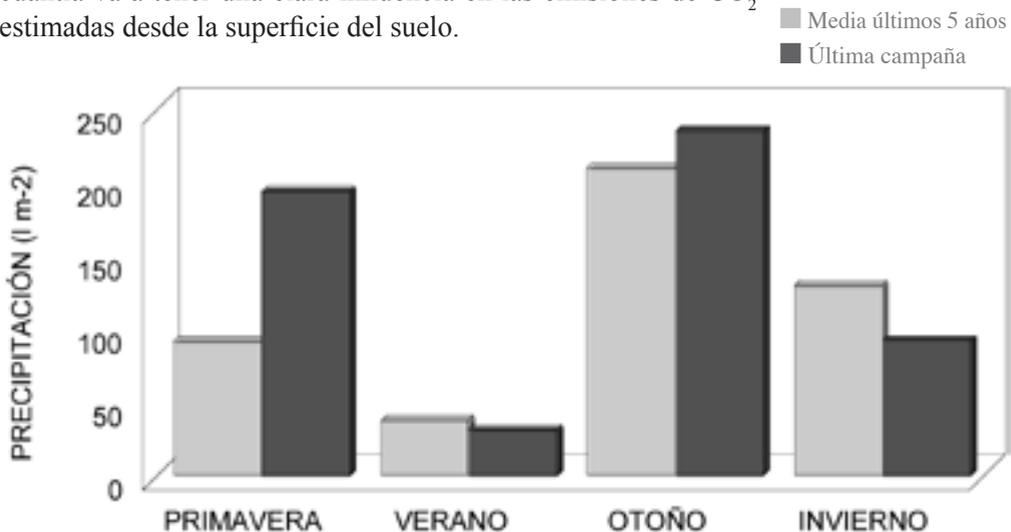
◀ Figura 2. Esquema de la unidad experimental con los puntos de muestreo y fotografía del dispositivo de medida del flujo de gas.

de manejo de suelo: siembra directa y laboreo tradicional. La rotación seguida en la finca es leguminosa-cereal-girasol. Las medidas se han realizado durante la campaña agrícola 2006/07. El tamaño de las parcelas y la disposición de los puntos de medida aparecen en la figura 2.

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

La figura 3 muestra la evolución estacional de la pluviometría en la campaña de estudio en comparación con la registrada en el periodo 2001-2006. En ella se puede apreciar cómo la precipitación registrada en primavera y otoño ha estado por encima de la media. Concretamente se han registrado 102,2 y 25,6 l/m² más respectivamente que los valores medios estimados para los últimos 5 años. La lluvia estimada para el periodo estival es similar a la media y en invierno se han contabilizado 36,9 l/m² menos que la media quinquenal. La distribución de las precipitaciones y su cuantía va a tener una clara influencia en las emisiones de CO₂ estimadas desde la superficie del suelo.

▼
Figura 3. Comparación de la distribución estacional de la lluvia de la campaña 2006/07 con la estimada en los últimos 5 años.



INFLUENCIA DE LA CLIMATOLOGÍA SOBRE LAS EMISIONES DE CO₂

Según Jenkinson (1992), los factores involucrados en la actividad microbiana (temperatura, pH, humedad, disponibilidad de O₂, nutrientes inorgánicos, accesibilidad al sustrato, etc.) influyen en la descomposición de ambas clases de materiales orgánicos: residuos frescos añadidos al suelo y compuestos orgánicos humificados.

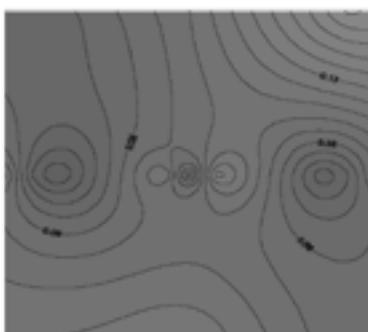
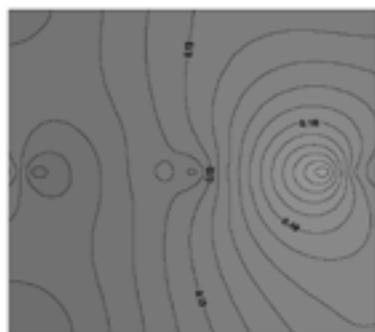
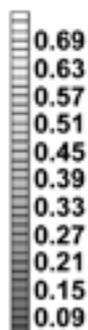
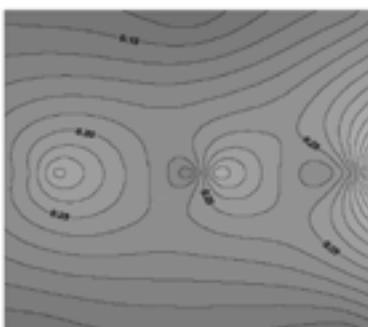
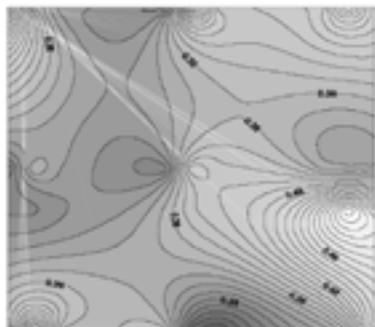
La actividad microbiana, medida por el CO₂ desprendido, está fuertemente influida por el potencial hídrico. Suelos desecados hasta un potencial hídrico de -10 Mpa liberan CO₂ con una velocidad del orden del 50% de la observada si los suelos son incubados con un contenido óptimo de humedad, normalmente con un potencial hídrico comprendido entre -20 y -50 Kpa. Cuando el potencial hídrico alcanza valores muy negativos, la actividad microbiana cesa (Jenkinson, 1992). Este efecto negativo de las condiciones de sequía puede ser contrarrestado por el papel amortiguador de las fluctuaciones de potencial de agua que realizan los polisacaridos extracelulares.

El clima modifica notablemente la índole y la rapidez de la descomposición de los restos vegetales en la superficie del suelo y con ello del dióxido de carbono que se emite a la atmósfera. La humedad y la temperatura se cuentan 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 otras 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 30°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 CO₂ emitido.

La figura 4 muestra la distribución espacial y estacional de las emisiones medias de CO₂ para las distintas parcelas experimentales consideradas en el estudio. Los flujos de gas sobre la superficie del suelo variaron entre 0,74 y 0,03 g m⁻² h⁻¹ para los distintos periodos de tiempo considerados.

PRIMAVERA

VERANO



OTOÑO

INVIERNO

◀ Figura 4. Mapas de la variación estacional de las emisiones de CO₂ en la finca Tomejil durante la campaña agrícola 2006/07.

De la observación de la figura 4 se desprenden varias consideraciones. En primer lugar el irregular comportamiento de los distintos puntos evaluados, en cuanto a la cantidad de gas emitido. Dentro de una misma parcela podemos apreciar puntos donde se ha registrado el máximo de emisión y otros con valores mucho más bajos. La explicación podría estar en las características del suelo y su facilidad para formar grietas en los periodos secos, por las que se escaparía el gas contenido en el suelo. En segundo lugar, que casi la totalidad de las emisiones contabilizadas en la campaña se registran en el periodo primaveral en el que 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 descomponedores de los restos orgánicos, lo que trae como consecuencia un aumento del flujo de CO₂ a la atmósfera.

La mayoría de las mediciones que relacionan la actividad microbiana con la temperatura muestran que el crecimiento en

la actividad es nulo a 0 °C, sólo algunas bacterias psicófilas son capaces de crecer a temperatura de congelamiento. A los 10 °C de temperatura la actividad microbiana se dispara hasta llegar a un tope entre los 25-35 °C donde se encuentra el óptimo de temperatura para el crecimiento de la mayoría de microorganismos (Paul y Clarck, 1989).

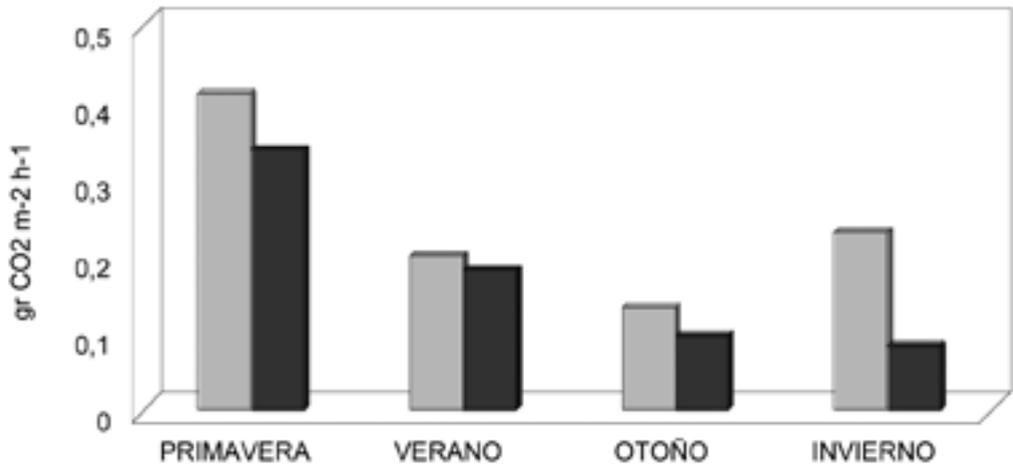
Reiners (1968) establece la correlación entre los factores ambientales y la tasa de evolución del dióxido de carbono y observa que a 5 y 15 cm de profundidad en el suelo las temperaturas medias tienen una correlación muy grande con la producción de dióxido de carbono. Por cada 10 °C de aumento de la temperatura, entre 20 y 40 °C, la producción de CO₂ aumenta al doble. No se registra la presencia de dióxido de carbono a 10 °C, que disminuye notablemente a 50 °C o más. La humedad también influye mucho en la evolución del dióxido de carbono. En materia orgánica no incorporada, en la cual la humedad ha disminuido a menos de 20%, o en suelo mineral donde ha disminuido a sólo 5%, no se puede detectar la producción de dióxido de carbono (Wiant, Jr., 1967).

INFLUENCIA DEL MANEJO DEL SUELO SOBRE LAS EMISIONES DE CO₂

Las prácticas de cultivos ejercen numerosos efectos biológicos directos e indirectos sobre las poblaciones microbiales del suelo. La influencia del arado es muy intensa sobre las poblaciones de bacterias inmediatamente después de la ruptura del suelo, el número de microorganismos aumenta 20 o 30 veces. Esto debido a la modificación de las condiciones de porosidad y por lo tanto del flujo de gases y agua a través de los espacios vacíos.

La agricultura también produce emisiones de CO₂ cuando el arado, a menudo innecesario, expone la materia orgánica del suelo. Esta materia orgánica -que está compuesta de carbono principalmente- se transforma en CO₂. En un experimento realizado en Rothamsted Highfield, en el Reino Unido -parte del experimento agronómico más antiguo del mundo, iniciado en 1843- al convertir pastizales a la agricultura se redujo el carbono del suelo un 55% en un plazo de 20 años, debido a la utilización del arado. Ese carbono se había liberado en la atmósfera en forma de CO₂. El viento y la erosión producida por el agua pueden tener el mismo efecto, pero a menudo es posible revertirlo.

La figura 5 refleja la variación estacional de las emisiones de CO_2 para los distintos sistemas de manejo de suelo considerados. A lo largo de toda la campaña agrícola, los suelos en siembra directa han emitido un menor flujo de gas en comparación con los suelos labrados. Estos últimos han incrementado sus emisiones en un 21,3% en primavera, un 9,9% en verano, un 38,5% en otoño y un 178,1% en invierno con respecto a las parcelas en agricultura de conservación.



La importante diferencia observada en el periodo invernal en cuanto a las emisiones contabilizadas en ambos sistemas de manejo, se debe a la apertura del surco para las labores preparatorias del suelo y para la siembra en los suelos en laboreo tradicional. El significativo aumento en las emisiones de CO_2 , que tiene lugar inmediatamente después de labrar o sembrar, responde a la liberación física de este gas atrapado en el espacio poroso del suelo.

INFLUENCIA DEL MANEJO DEL SUELO SOBRE LA FIJACIÓN DE CARBONO

Está ampliamente comprobado que cuando se cambia de la agricultura tradicional (laboreo intenso) a la de conservación el contenido en materia orgánica del suelo aumenta con el tiempo, con todas las consecuencias positivas que ello conlleva (Giráldez y col., 1995; Bravo y col., 2007). Ordóñez y col. (2007) han observado, tras más de 19 años de siembra directa en un vertisol de la provincia de Sevilla, una fijación de 18 t/ha de carbono en un perfil de suelo de 52 cm, lo que ha supuesto un incremento de

▲
Figura 5. Variación estacional de las emisiones CO_2 en suelos en siembra directa y laboreo tradicional de la finca Tomejil para la campaña 2006/07.

■ LC
■ NL

la materia orgánica de este suelo próximo al 40%. El secuestro anual de carbono según los datos proporcionados por estos autores a estado próximo a 1 t/ha, valores análogos a los aportados por Arrue (1997).

La tabla que sigue muestra la variación estacional del contenido de carbono orgánico en el horizonte superficial de los suelos en los diferentes sistemas de manejo considerados en el estudio. En ella se puede apreciar cómo el contenido de carbono orgánico es siempre mayor en los suelos en siembra directa, en los que la no alteración del perfil y la permanencia de los rastrojos descomponiéndose en la superficie del suelo, son los factores que determinan el incremento de este parámetro, que en algunos periodos llega a ser próximo a los 2 t/ha sobre el valor estimado en los suelos labrados y con una ganancia media para la campaña de 1,41 t/ha.

	Contenido en carbono orgánico (t C/ha)		Ganancia en carbono orgánico en el suelo de las parcelas en siembra directa sobre las de laboreo (t C /ha)
	laboreo	no laboreo	
Primavera	4,84	6,17	1,33
Verano	3,20	3,63	0,43
Otoño	5,18	7,11	1,93
Invierno	5,10	7,06	1,96

Conforme menos se labra el suelo, absorbe y almacena más carbono y por consiguiente sintetiza más materia orgánica, lo que a largo plazo aumenta su capacidad productiva, y al mismo tiempo disminuye el CO₂ que se libera a la atmósfera. Sin embargo, la magnitud de la respuesta de estos sistemas de AC varía considerablemente en función de las condiciones edafológicas y climáticas (Álvaro y col., 2003).

Los resultados observados en el estudio confirman a la siembra directa como una de las técnicas más favorables para prevenir las pérdidas del carbono del suelo, las emisiones extra de CO₂ a la atmósfera y a la vez para aumentar el contenido de carbono del suelo. De hecho el nuevo plan de emisiones para el periodo 2008-2012 recientemente publicado, indica textualmente que se realizarán esfuerzos para:

- Aumentar la superficie agrícola en la que se practiquen la agricultura de conservación en algunas de sus diversas

▲ Tabla. Evolución del contenido de carbono en los 6 primeros centímetros de suelos en siembra directa y laboreo tradicional de la finca Tomejil para la campaña agrícola 2006/07.

formas, siembra directa, cubiertas vegetales en cultivos arbóreos o mínimo laboreo.

- Aumentar la cantidad de carbono en los suelos

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

ÁLVARO, J.; LÓPEZ, M.V.; GRACIA R.; y ARRÚE, J.L. 2003: Effect of tillage on short-term CO₂ emissions from a loam soil in semiarid Aragon (NE Spain). *Mediterranean Rainfed Agriculture. Strategies for sustainability*. IAMZ. Zaragoza, Junio 2003.

ARRUE, J.L. 1997: Effect of conservation tillage in the CO₂ sink effect of the soil, pp 189-200. En: L. García-Torres y P. González-Fernández (eds.), *Agricultura de Conservación: Fundamentos Agronómicos, Medioambientales y Económicos*, Asociación Española Agricultura de Conservación (AEAC/ SV), Córdoba, España, pp. 372.

BRAVO, C.; GIRÁLDEZ, J.V.; GONZÁLEZ, P.; ORDÓÑEZ, R.; y PEREA, F. 2007: Long term influence of conservation tillage on chemical properties of surface horizon and legume crops yield in a Vertisol of southern Spain. *Soil Science*, Vol 172, N° 2, 141-148.

BRINSON, M.M. 1977 : Decomposition and nutrient exchange of litter in an alluvial swamp forest. *Ecol.*, 58: 601-609.

COLE, C.V. 1996 : Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emissions. Chapter 23. p. 745-771. In "Climate Change 1995: Impacts, Adaptation and Mitigation of Climate Change: Scientific Technical Analyses", IPCC Working Group II, Cambridge University Press, UK.

DAVIDSON, E.A.; y ACKERMAN, I.L. 1993: Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry*, 20: 161-193.

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.

GIRÁLDEZ, J.V.; GONZÁLEZ, P.; ORDÓÑEZ, R.; HARO, J.M. de; y LAGUNA, A. 1995: Nutrient enrichment and straw evolution under reduced tillage in heavy clay soils of southern Spain. En: *Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries*. F. Tebrügge y A. Böhrnsen (Ed.) Actas de la II Reunión 15-17 Mayo Silsoe. Giessen. ISBN 3-930600-46-3: págs.69-80.

GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (2001). Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge University Press para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Cambridge (Reino Unido) y Nueva York. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

JENKINSON, D.S. 1992: La materia orgánica del suelo: evolución. En: WILD, A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Madrid : Mundi-Prensa.

KONONOVA, M.M. 1975: Humus of virgin and cultivated soils. En *Soil components* Vol. I, ed. J.E. Gieseking. Nueva York, Springer-Verlag. pp. 475-526.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2001: Climate Change: The Scientific Basis. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.

LAL R. 1997: Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil & Tillage Research*. 43(1-2):81-107, 1997.

MAPA. 2006: Banco público de indicadores ambientales del Ministerio de Medio Ambiente.

ORDÓÑEZ, R.; GONZÁLEZ, P.; GIRÁLDEZ, J.V.; y PEREA, F. 2007: Soil properties and crop yields after 21 years of direct drilling trials in Southern Spain. *Soil and Tillage Research*. Nº 94, 47-54. On line: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2006.07.003>.

PAUL, E.A. y CLARK, F.E. 1989: Soil microbiology and biochemistry. San Diego : Academic press Inc., 273 p.

- PEREA, F. 2000: Agronomía del laboreo de conservación en los vertisuelos de la campiña andaluza. Tesis Doctoral, Dept. de Agromonia, Univ. de Córdoba, España.
- REINERS, W.A. 1968: Carbon dioxide evolution from the floor of three Minnesota forests. *Ecol.*, 49: 471-483.
- Wiant, JR., H.V. 1967: Influence of moisture content on soil respiration. *J. For.*, 63: 902-903.