

# EL SECUESTRO DE CARBONO EN LA AGRICULTURA Y SU IMPORTANCIA CON EL CALENTAMIENTO GLOBAL

## THE CARBON SEQUESTRATION IN AGRICULTURE AND ITS IMPORTANCE IN GLOBAL WARMING

MARCO SANDOVAL ESTRADA<sup>1</sup>, NEAL STOLPE LAU<sup>1</sup>, ERICK ZAGAL VENEGAS<sup>1</sup>,  
MARÍA MARDONES FLORES<sup>2</sup> Y JULIO JUNOD MONTANO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Avda. Vicente Méndez 595, Chillán, Chile, e-mail: masandov@udec.cl

<sup>2</sup>Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

<sup>3</sup>Departamento de Agroindustria, Facultad de Ciencias de la Salud y de los Alimentos (FACSA), Universidad del Bío-Bío, Chillán.

### RESUMEN

El futuro escenario productivo que enfrentará el sector agropecuario de acuerdos y tratados internacionales marca una clara tendencia que obliga a considerar, en forma seria, las normativas ambientales vigentes en estos tratados y acuerdos, además de su evolución en el tiempo. El sector agropecuario, como una actividad del hombre, genera impactos a los recursos suelo, agua y atmósfera. La actividad agropecuaria libera gases con efecto invernadero, cuyas consecuencias, además de las ambientales, incrementan los problemas económicos y sociales. Por esta razón el secuestro de carbono aparece como una propuesta que intenta disminuir las actuales tasas de liberación de CO<sub>2</sub>, derivado de los sistemas productivos agropecuarios dominantes a nivel mundial. El objetivo de este trabajo fue establecer la importancia que actualmente se otorga al secuestro de carbono, con relación al efecto invernadero; además de la influencia que la agricultura tiene en el secuestro y liberación del carbono orgánico del suelo y la relevancia del mismo en el pool global del ciclo del carbono. También, se entrega una visión de los distintos sistemas agrícolas propuestos (cero labranza o siembra directa y rotaciones de cultivos), que mejoran la retención del carbono orgánico en el suelo. Finalmente, se discute la cantidad de carbono que puede ser secuestrado mediante la aplicación de diferentes manejos agrónómicos.

PALABRAS CLAVES: Medioambiente, carbono, agricultura, labranza, rastrojos.

### ABSTRACT

The future scenario confronting the agricultural sector will include an increase in international trade agreements that will obligate serious consideration of environmental protection. Agriculture includes activities that can impact natural resources of soil, water and also the atmosphere through the liberation of gases that may contribute to global warming with subsequent socio-economic effects. For this reason, carbon sequestration appears to be a viable mechanism to decrease the actual rate of CO<sub>2</sub> that is released resulting from current agricultural practices. The purpose of this article is to establish the importance of carbon sequestration in relation to the greenhouse effect, and to indicate the influence that agricultural activities can have on global carbon balance and cycling within the soil. Additionally, different agricultural systems (no-till and crop rotations) are evaluated with respect to their efficiency in capturing carbon in the soil.

KEYWORDS: Environment, carbon, agriculture, tillage, stubble.

Recibido: 22/04/2003 Aceptado: 29/10/2003

## INTRODUCCION

El actual y futuro escenario productivo que enfrentará el sector agropecuario de acuerdos y tratados internacionales marca una tendencia clara y gravitante que obliga a considerar, en forma seria, las normativas ambientales vigentes en estos tratados, además de su evolución en el tiempo. El sector agropecuario, como una de las tantas actividades del hombre, genera impactos al medio ambiente como erosión del suelo, contaminación del suelo y aguas, liberación de gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_x$ ) cuyas consecuencias, además de las ambientales, traen problemas económicos y sociales. Por esta razón, el secuestro de carbono aparece como una propuesta que intenta disminuir las actuales tasas de liberación de  $\text{CO}_2$ , consecuencia de los actuales sistemas productivos que predominan a nivel mundial, de ahí que el objetivo central de este trabajo es entregar un revisión de los beneficios del secuestro del carbono, como una posibilidad de mejorar los sistemas agropecuarios y hacer de éstos más sustentables y amigables con el medio ambiente.

### CALENTAMIENTO GLOBAL POR EFECTO INVERNADERO

La teoría del cambio climático por efecto del  $\text{CO}_2$  fue sugerida por Callendar en el año 1938 (Gates, 1965). Hoy en día se incluyen otros gases como: metano, óxidos de N y los compuestos volátiles no metanos (COVNM). En general, el efecto invernadero se atribuye al aumento de las concentraciones de  $\text{CO}_2$  y de otros gases que atrapan la energía electromagnética emitida por la superficie de la tierra y esto tendría un impacto sobre el clima del planeta. Este hecho se sustenta en que la tierra mantiene su balance térmico emitiendo energía, día y noche, en forma de radiación electromagnética. Así, por este proceso, gran parte de la energía solar incidente

durante el día y absorbida por la superficie de la tierra es disipada. Esta emisión se produce principalmente en la banda de 4.000 a 15.000 nm. Algunos gases de la atmósfera, tales como el vapor de agua, el  $\text{CO}_2$ , el metano, el ozono, los óxidos de N y los clorofluorocarbonados (CFC), son capaces de atrapar estas radiaciones. Al hacerlo, se calientan y reemiten una parte de ella hacia la tierra (Gates, 1965; Novoa *et al.*, 2000). El efecto neto de estos procesos es el aumentar la temperatura de la atmósfera cerca de la superficie de la tierra, pero enfría su parte alta, la estratosfera. Como el efecto que se presenta es semejante a un invernadero, se habla de gases con efecto invernadero. La preocupación por este efecto no sólo es producto de las temperaturas, sino también consecuencia de las alteraciones de las precipitaciones y evaporaciones asociadas, lo que indudablemente producirá cambios en la distribución geográfica de los cultivos, en su producción y en los niveles de los mares (Novoa *et al.*, 2000; Shaw *et al.*, 2002).

Datos de los últimos 1000 años, muestran según (Amthor, 1998), que la concentración del  $\text{CO}_2$  ha aumentado de 280 a más de 360  $\text{mg kg}^{-1}$  en 200 años y que más del 50% del cambio se ha producido después de 1950, con una tasa de alrededor de 0,8  $\text{mg kg}^{-1}$  por año. Valores publicados por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1996) estiman un aumento de 1,5 °C entre el año 2000 al 2060. El IPCC dejó en claro que las actividades humanas tienen un efecto directo sobre las concentraciones, distribución y el ciclo de vida de estos gases. Al comparar las concentraciones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  en la atmósfera desde 1750 a 1998, se encontraron incrementos de 30, 145 y 13%, respectivamente (Follett, 2001). Sin embargo, no todos los gases con efecto invernadero poseen igual capacidad para calentar la atmósfera, tanto por su poder intrínseco para absorber radiación como por su vida media en la atmósfera. Así se ha desa-

rollado una escala relativa que compara los diferentes gases con el CO<sub>2</sub>. De acuerdo, si el CO<sub>2</sub> tiene un poder o potencial de calentamiento igual a 1, el metano tiene 11, los óxidos de N un 320 y los CFC entre 1.300 a 4.000 (Cisla, 1996). En Estados Unidos la actividad agrícola contribuye con las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera a través de la combustión del petróleo, fabricación de productos químicos, los procesos de erosión del suelo, y las pérdidas de la materia orgánica de suelos nativos. De ahí que las emisiones de CO<sub>2</sub> en la agricultura de los Estados Unidos es cercana a 42,9 MMTC año<sup>-1</sup> (millones de toneladas métricas de carbono equivalente por año), esto fue estimado por Lal *et al.* (1998).

En Chile se realizó una estimación de los gases con efecto invernadero emitidos por la agricultura, estos resultados fueron publicados por Novoa *et al.* (2000) e indican que el año 1994 la agricultura chilena emitió 321,92 Gg de metano; 21,8 Gg de N<sub>2</sub>O; 2,96 Gg de NO<sub>x</sub> y 51,97 Gg de CO (Gg = 10<sup>9</sup> gramos). Además, se estimó que las emisiones COVNM llegan a 2,59 Gg año<sup>-1</sup>. Estas cifras, expresadas como porcentaje de las emisiones del sector no energético chileno, llegan a un 74,3% para el metano; un 5,1% para CO; un 93,8% para el N<sub>2</sub>O; un 9,8% para los NO<sub>x</sub> y un 4,9% para los COVNM. Al sumar el potencial de calentamiento de las emisiones de metano y óxidos de N, resulta que la agricultura estaría emitiendo un total equivalente a 10.504 Gg de CO<sub>2</sub> al año<sup>-1</sup>. Por otro lado, la silvicultura, el cambio de uso del suelo y la gestión de residuos del país generan una captación neta de CO<sub>2</sub> de 29.709 Gg año<sup>-1</sup>, entregando un balance final de 19.205 Gg. En general, la agricultura, a nivel mundial, es responsable de sólo un 20% de las emisiones antropogénicas de gases con efecto invernadero, pero la importancia relativa de sus emisiones de metano y óxidos de N es más alta que la de otras fuentes. Por esto, las emisiones de CO<sub>2</sub>

emitidas por la agricultura no serían un problema, puesto que se compensarían con las captaciones. Esto podría contribuir a reducir las concentraciones atmosféricas mediante el secuestro de carbono.

## SECUESTRO DE CARBONO

El equilibrio del carbono en la tierra es función de tres reservorios, el océano con una cantidad estimada de carbono de 38.000 Pg (un Pg es igual a 10<sup>15</sup> g ó 1.000 millones de toneladas métricas), la atmósfera contendría 750 Pg, y el sistema terrestre aportaría 550 Pg como biomasa-vegetación y 1.550 Pg de carbono orgánico del suelo. Estos tres reservorios se encuentran en un equilibrio dinámico, cada uno interactuando e intercambiando carbono con el otro. Un cuarto reservorio, el reservorio geológico, se estima que tiene 65,5 x 10<sup>6</sup> Pg C; sólo una pequeña parte de éste (aprox. 4000 Pg) está presente como combustible fósil (Eswaran *et al.*, 1993). En el ecosistema terrestre, el pool de mayor tamaño corresponde al carbono orgánico del suelo 1.550 Pg C, seguido por el pool de carbono inorgánico del suelo 750 - 950 Pg C (Batjes, 1996; Eswaran *et al.*, 1993). Sin embargo, en estas estimaciones globales del contenido de carbono en el suelo se presentan ciertas dificultades como: i) alta variabilidad espacial del contenido de carbono en los suelos; ii) una estimación relativa de las áreas ocupadas por distintos tipos de suelos; iii) insuficientes datos como densidad aparente, utilizada para determinar la composición volumétrica y iv) los confusos efectos de la vegetación y cambios de usos del suelo.

Esto permite entender el porqué numerosos estudios muestran considerables variaciones en el rango de carbono orgánico en las distintas clases de suelos. Así, desde la Tabla 1 se desprenden importantes conclusiones, como que el total de carbono alma-

TABLA 1. Masa de carbono orgánico en diferentes suelos del mundo. (Eswaran et al., 1993).

Orden	Area (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )		C orgánico (Pg)	
	Global	Tropical	Global	Tropical
Histosols	1745	286	357	100
Andosols	2552	1683	78	47
Spodosols	4878	40	71	2
Oxisols	11772	11512	119	119
Vertisols	3287	2189	19	11
Aridisols	31743	9117	110	29
Ultisol	11330	9018	105	85
Mollisols	5480	234	72	2
Alfisols	18283	6411	127	30
Inceptisol	21580	4565	352	60
Entisols	14921	3256	148	19
Suelos misc.	7644	1358	18	2

cenado en los suelos del mundo alcanza 1.576 Pg, de los cuales aproximadamente el 32% (506 Pg) se encuentra en suelos tropicales. En el caso de Chile resulta de interés los órdenes Andisols, Alfisols e Inceptisols por su superficie e intensidad de uso. Sin embargo, no existen trabajos estimativos del carbono orgánico en estos suelos.

Cerca del 20% de los suelos de la tierra son usados para el cultivo de plantas (Allmaras *et al.*, 1999) y son las prácticas agrícolas las que tienen una gran influencia en el almacenaje del carbono en el suelo o su liberación a la atmósfera como CO<sub>2</sub> (Sampson and Sachols, 2000). La agricultura tradicional ha causado una importante disminución de la materia orgánica y de la calidad de suelo; en general, debido a que muchos sistemas agrícolas pierden el carbono a través de la oxidación y erosión, cuyas tasas son mayores que la fijación y estabilización (Campbell y Souster, 1982). La mayor oxidación se debe al incremento de la aireación del suelo y el mayor contacto de los residuos; en cuanto a la erosión, ésta aumenta al quedar la superficie de los suelos descubierta y expuesta a la

lluvia y viento (Reicosky *et al.*, 1995). Estos procesos pueden ser revertidos mediante una adopción de prácticas de labranza y manejos menos agresivos, como el uso de cero labranza con residuo u otros que permitan una mejor sustentabilidad del suelo (Lal *et al.*, 1997; Reeves, 1997). El carbono de las plantas entra al pool del carbono orgánico del suelo (COS) como plantas "litter", raíces, exudado de raíces o excretas de animales (Follett, 2001).

El COS es una fuente de alimento para la mayoría de la vida en el suelo, que a su vez sustenta a plantas superiores que existen como parte de sistemas ecológicos terrestres más complejos. También, el COS es emitido a la atmósfera como CO<sub>2</sub> producto de las transformaciones oxidativas que ocurren en el suelo. El incremento del COS depende de la cantidad y calidad de los residuos, pero también del tipo de suelo inserto en una condición de clima (temperatura y humedad, entre otros) que dará la capacidad potencial con que las tasas de entrada y salida se produzcan (Lal *et al.*, 1998; Follett y McConkey, 2000).

## PRACTICAS DE LABRANZA Y ROTACIONES DE CULTIVOS EN EL SECUESTRO DE CARBONO

El aumento del carbono orgánico del suelo (COS) está en función de la tasa de descomposición de los residuos de las cosechas, como raíces de las plantas y otros materiales orgánicos que retornan al suelo, de la cantidad y composición de los mismos (Follett, 2001). Sin embargo, en el incremento del COS también intervienen el manejo de éstos y las propiedades del suelo. Según algunos autores, el aumento de los residuos genera una respuesta lineal en el incremento de COS (Rasmussen *et al.*, 1980). Sin embargo, nuevos antecedentes aportados indican que la tasa neta de acumulación de COS depende de la cantidad de COS con que el suelo se encuentra (Hassink and Whitmore, 1997).

Los sistemas de labranza de conservación se han definido como aquellos que mantienen sobre 30% de residuos cubriendo la superficie del suelo (Conservation Tillage Information, 1990). El sistema de no labranza consiste en no arar el suelo después de la cosecha, las semillas son depositadas en un fino surco que abre un disco y las malezas son controladas con herbicidas. El sistema de labranza en camellones usa la no labranza después de cosechadas las plantas, la siembra se realiza en el camellón y los residuos quedan entre los camellones. Otro sistema utilizado es la siembra Mulch-labranza, en donde el suelo es alterado y en la superficie se deja más del 30% de de los residuos. Los sistemas de labranza en camellón y Mulch también se consideran como mínima labranza (Schertz, 1988).

El carbono del suelo tiende a incrementarse con las prácticas de labranza de conservación, porque menos materia orgánica es oxidada desde el suelo, y la temperatura del suelo tiende a bajar por efecto de la menor

descomposición (Tate, 1987). La labranza de conservación puede incrementar la cantidad de COS, mediante la promoción de un ambiente que favorezca la descomposición fungosa sobre la bacterial. La descomposición por hongos resulta más recalcitrante que la descomposición bacterial (Holland and Coleman, 1987). En los últimos años se ha reportado que el potencial de secuestro de carbono bajo no labranza y Mulch-labranza es de 300 a 500 kg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y de 600 kg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para labranza de conservación en camellón, dentro de los primeros 20 cm de profundidad (Lal *et al.*, 1998). Para Follett y McConkey (2000) este valor, en el caso de labranza de conservación, sería de 300 a 600 kg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Tristram y Wilfred (2002) analizaron la tasa de carbono secuestrado usando una base de datos de 67 experimentos en campo de larga duración, ellos encontraron que el cambio de labranza tradicional a no labranza puede secuestrar en promedio 57 a 14 g C m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> más; estos valores resultan mayores que los reportados por Lal *et al.* (1999) 24 a 40 g C m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> y 10 a 50 g C m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> (Lal *et al.*, 1998). Sin embargo, éstos estarían dentro del amplio rango (10 a 60 g C m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>) indicado por Follett (2001). En relación al aumento en la complejidad de las rotaciones, los mismos autores Tristram y Wilfred (2002) encontraron que al ampliar el manejo de las rotaciones se puede secuestrar un promedio de 20 a 12 g C m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>, estos valores resultan semejante (10 a 30 g C m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>) a los estimados por Lal *et al.* (1998, 1999).

Las rotaciones de cultivos producen más materia seca y de mejor calidad que los monocultivos (Copeland and Crookston, 1992). Algunos análisis de experimentos de larga duración en Canadá (Dumanski *et al.*, 1998) indican que COS puede ser secuestrado por 25 a 30 años a una tasa de 50 a 75 g C m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> dependiendo del tipo de suelo.

## CONCLUSIONES

En general las investigaciones consideradas en esta revisión coinciden en que la actividad agrícola genera gases con efecto invernadero favoreciendo el calentamiento global. Estos gases son el producto de insumos, fertilizantes, agroquímicos, uso de maquinaria, entre otros. También la oxidación de la materia orgánica del suelo, erosión del suelo y quema de los rastrojos son prácticas que contribuyen a la liberación de carbono al ambiente.

Sin embargo, en contraposición a lo anterior, se plantean nuevos modelos productivos que incluyen la rotación de cultivos y cero labranza conservando el rastrojo del cultivo anterior, permitiendo dar protección a la superficie del suelo y la incorporación del carbono al sistema.

Chile no tiene importancia mundial en relación a la liberación de gases con efecto invernadero, pero puede contribuir al secuestro de carbono, ayudando a mantener un balance a favor de una menor liberación de CO<sub>2</sub>, mediante la aplicación de prácticas agrícolas antes mencionadas. En consecuencia, los estudios de secuestro de carbono no se restringen sólo al ámbito productivo, sino que éstos alcanzan una dimensión ambiental y social que vienen a complementar y realzar la importancia de ellos.

## LITERATURA CITADA

ALLMARAS, R., SCHOMBERG, H., DOUGLAS JR., C.L. and DAO, T.H. (1999) Conservation tillage's unforeseen advantage. *Res. Eng Technol. Sustain World* 6: 7-8.

AMTHOR, J.S. (1998) Perspective on the relative insignificance of increasing atmospheric CO<sub>2</sub> concentration to crop yield. *Field Crop Research* 58:109-127.

BATJES, N.H. (1996) Total C y N in soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.* 47, 151-163.

CAMPBELL, C.A. and SOUSTER, W. (1982) Loss of organic matter and potentially mineralizable

nitrogen from saakatchewan soils due to cropping. *Can. J. Soil Sci.* 62: 651-656.

CISLA, W. N. (1996) Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. FAO. Estudio FAO Montes 126. Roma, Italia. 146 p.

COPELAND, P.J., and CROOKSTON, R.K. (1992) Cropsequence affects nutrient composition of corn and soybean grow under high fertility. *Agron. J.* 84:503-509.

CONSERVATION TILLAGE INFORMATION CENTER (1990) National survey of conservation tillage practics. *Conserv. Tillage Inf. Center.* Fort Wayne, In.

DUMANSKI, J., DESJARDINS, R.L., TARNOCAI, C. MONREAL, D., GREGORICH, E.G., KIRKWOOD, V., and CAMPBELL, C.A. (1998) Possibilitis for future carbon sequestration in Canadian agriculture in relation to land use changes. *Clim. Change* 40:81-103.

ESWARAN, H., VAN DEN BERG, E. and REICH, P. (1993) Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci. Soc.Am. J.* 57: 192-194.

FOLLETT, R.F. and McCONKEY, B. (2000) The role of cropland agriculture for sequestration in the Greta Plain. In: *Proceeding of the Conference on Gray Plains Soil Fertility*, Vol 8, pp.1-15.

FOLLETT, R.F. (2001) Soil management concepts and carbon sequestration cropland soils. *Soil & Tillage Research* 61: 77-92.

GATES, D. M. (1965) *Energy exchange in the biosphere.* New York, USA. Harper & Row, 151p.

HASSINK, J. and WHITMORE P.A. (1997) A model of the physical protection of organic matter in soils. *Sci. Soc. Am. J.* 61 : 131-139.

HOLLAND E.A. and COLEMAN, D.C. (1987) Litter placement effects on microbial and organic matter dynamics in an agroecosystem. *Ecology* 68: 425-433.

IPCC. (1996). Intergovernmental panel for climatic Change. *Climate Change 1995. The science of climate change.* Contribution of working group I to the second assement report of the Intergovernmental Panel for Climate Change. Houghton, J.T. (Ed.). Cambridge, United Kingdom. Cambridge.

LAL, R., FOLLETT, R.F., KIMBLE, J.M. and COLE, C.V. (1999) Management of US cropland to sequester carbon in soil. *J. Soil Water Cons.* 54, 374-381.

LAL, R., KIMBLE, J., FOLLETT, R. and COLE, C.V. (1998) The potencial of U.S. crop land to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Sleeping Bear Press, Chelsea. MI.*

LAL, R., KIMBLE, J. and FOLLETT, R. (1997) *Soil*

- quality management for carbon sequestration. p. 1-8. In R. Lal. *et al.* (ed) Soil properties and their management for carbon sequestration. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln , NE.
- NOVOA, R.; GONZÁLES, S. y ROJAS, R. (2000) Inventario de gases con efecto invernadero emitidos por la actividad agropecuaria chilena. *Agricultura Técnica (Chile)* 60 (2): 154-165.
- RASMUSSEN. P.E., ALLMARAS, R.R., RHODE, C.R, and ROAGER Jr., N.C. (1980) Crop residue influences on soil carbon and nitrogen in a wheat-fallow system. *Soil Sci. Soc. Am J.* 44: 596-600.
- REICOSKY, D.C., KEMPER, W.D., LANGDALE, G.W., DOUGLAS Jr., C.L. and RASMUSSEN, P.E. (1995) Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *J. Soil Water Cons.* 50:253-261.
- REEVES, D.W. (1997) The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Tillage Res.* 43:131-167.
- SAMPSON, R.N. and SACHOLES, R.J. (2000) Additional human-induced activities Article 3.4. pp. 181-281. IN WATSON, R.T. *et al.* (ed) Land use, land –use change, and forestry: A specialreport of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. New York.
- SCHERTZ, D.L. (1988) Conservation tillage: An análisis of acreage projections in the United States. *J. Soil Water Conserv:* 43:256-258.
- SHAW, R.M., ZAVALETA, E., CHIARIELLO, N., CLELAND, E., MOONNEY, H. and FIELD, C. (2002) Grassland responses to global environmental change suppressed by elevated CO<sub>2</sub>. *Science* 298:1987-1990.
- TATE, R.L. (1987) Soil organic matter: Biological and ecological effects. John Wiley & Sons, New York.
- TRISTRAM, O.W. and WILFRED, M. P. (2002) Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1930-1946.