

## Capítulo 2

---

# Importancia del suelo en el secuestro de carbono

### **Marcelo Panichini P.**

Ingeniero Agrónomo, Dr.  
INIA Quilamapu

La necesidad de disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera ha estimulado a varios investigadores a utilizar el suelo como un reservorio de carbono (Lal, 2004). Si se piensa que aproximadamente el 81 % del carbono orgánico (CO) está involucrado activamente en el ciclo del carbono orgánico del suelo (COS) (Wattel-Koekkoek *et al.*, 2001), esta fracción constituye un reservorio importante para contrarrestar el calentamiento global (Mahieu *et al.*, 1999).

La conversión de ecosistemas naturales, tales como bosque nativo a sistemas agrícolas con labranza de inversión, disminuyen los contenidos de materia orgánica del suelo (MOS), provocando un incremento rápido de la descomposición en una primera etapa y lento después de varios años de cultivo (Lal, 2004). Los experimentos de largo plazo indican que las prácticas de quema no alteran la cantidad y composición de la MOS, ya que influyen otros factores tales como las pérdidas potenciales de C por transporte horizontal y vertical (Rumpel *et al.*, 2006). Por lo tanto, la aplicación de medidas no solo se debe centrar en mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino que también en entender la rápida disminución de la MOS por efecto del cambio de uso y manejo del suelo.

### **2.1. El suelo como reservorio de carbono**

La necesidad de disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera ha promovido diversas medidas tendientes a utilizar el suelo como un reservorio de carbono. Si se piensa que aproximadamente 81% del C involucrado activamente en el ciclo esta almacenado en el suelo, (Wattel-Koekkoek *et al.*, 2001) este reservorio toma gran importancia en relación a otros de menor tamaño (Mahieu *et al.*, 1999). El suelo puede ser visualizado como un reservorio, que desde la perspectiva del secuestro de C se presenta como uno de los más importantes. Es considerado el mayor reservorio

de C terrestre del planeta, ya que corresponde a 3,3 veces el C almacenado en la atmósfera (760 Gt) y 4,5 veces el tamaño del reservorio biótico (560 Gt). Sin embargo, la conversión de ecosistemas naturales a sistemas agrícolas y la labranza de inversión, han disminuido el COS, aumentando las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Lal, 2004). Por lo tanto, la aplicación de medidas para disminuir las emisiones deben ir dirigidas a mantener las prácticas que promuevan la protección física del C y aumenten los niveles de MOS.

**Tabla 1.**  
Reservorios de C de los principales órdenes de suelos (Lal, 2004).

Orden	Area (Millones de ha)	Reservorio SOC (Mg ha <sup>-1</sup> )	Reservorio SOC (Pg)
Alfisolos	1.262	69	158
Andisolos	91	306	20
Aridisolos	1.570	35	59
Entisolos	2.114	99	90
Gelisolos	1.126		316
Histosol	153	2.045	179
Inceptisolos	1.286	163	190
Mollisolos	900	131	121
Oxisol	981	101	126
Spodosol	335	146	64
Ultisol	1.105	93	137
Vertisol	316	58	42
<b>Total</b>	<b>13.080</b>		<b>1.526</b>

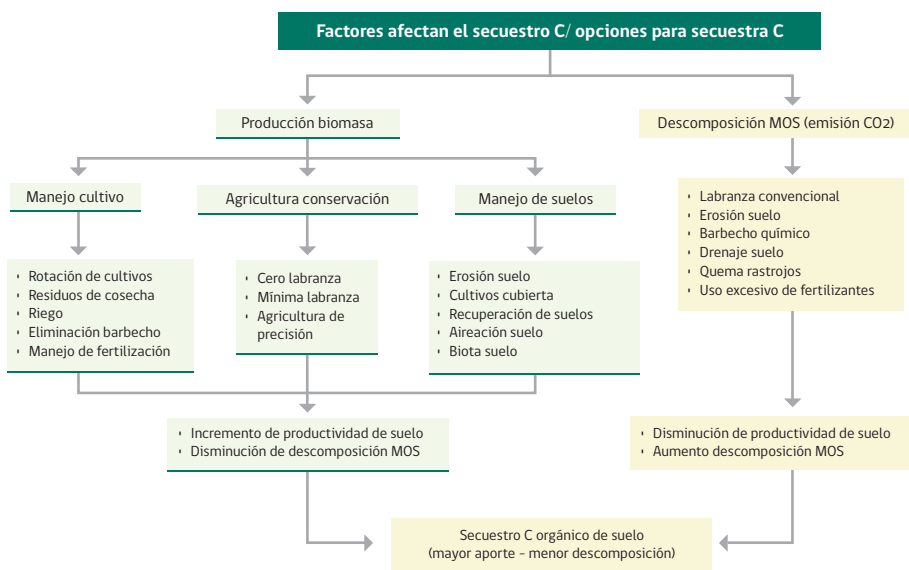
## Secuestro de carbono en el suelo

El secuestro de C se define como la remoción de CO<sub>2</sub> de la atmósfera hacia las fracciones más estables de la MOS, cuyo ingreso es dependiente de los residuos de las plantas y transformado por la acción de los microorganismos. El C que permanece inmovilizado en el suelo en las fracciones estables, es considerado de alta relevancia ya que contribuye a mitigar el impacto del calentamiento global, frenando la acumulación de gases de efecto invernadero. Las estimaciones de secuestro de COS varían en rangos bajos de 0,4 -0,6 Gt año<sup>-1</sup> y en rangos altos de 0,6 - 1,2 Gt año<sup>-1</sup>. Esta variación se asocia a la textura del suelo, condiciones climáticas y manejo (Lal, 2004).

## Protección de la materia orgánica del suelo

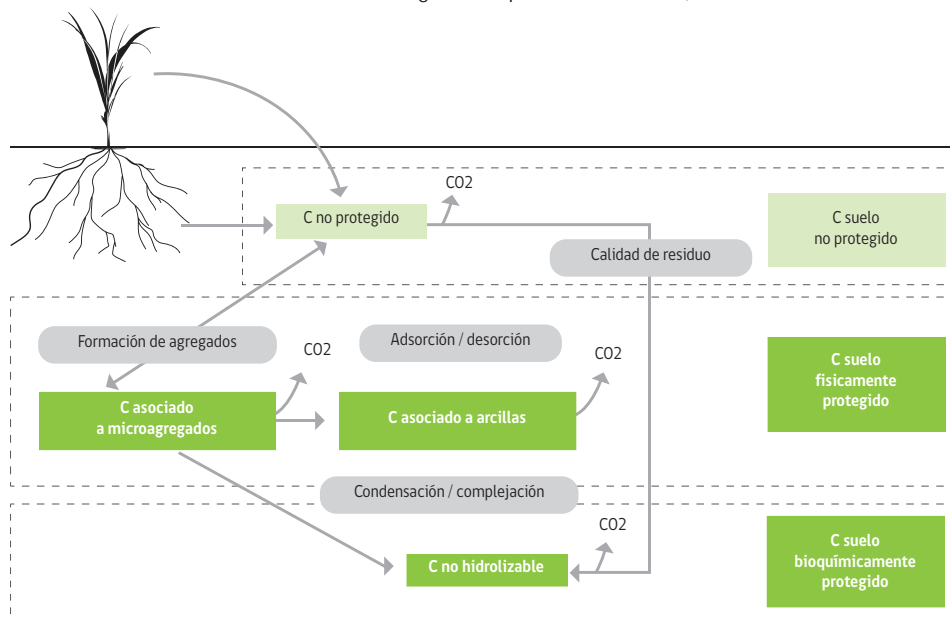
La protección y acumulación de la MOS depende de una variedad de factores entre los que se incluyen la calidad y tasa de incorporación de materia orgánica, la textura del suelo, humedad y temperatura, así como las pérdidas por erosión (Sparling *et al.*, 2003). Al respecto Baldock y Skjemstad (2000) señala que cada suelo tiene minerales propios, con una única capacidad de proteger el carbono, que no solo depende de los minerales presentes, sino también de su naturaleza, la presencia de cationes (Ca, Mg, Na, K) y la arquitectura de la matriz del suelo.

**Figura 1.**  
Efecto del manejo del suelo sobre el balance de carbono (West y Six., 2007).



En este sentido, la protección de la MOS se produciría a través de tres mecanismos principales: La protección química, que es el resultado de uniones químicas entre partículas de suelo (principalmente limo y arcillas) y la materia orgánica (González y Laird, 2003); protección bioquímica, por uniones entre el sustrato y las partículas de suelo, (Leinweber y Reuter, 1992) y la protección física, en la cual los agregados forman barreras físicas entre los microorganismos y los sustratos orgánicos (Six *et al.*, 2002). Otro reservorio no menos importante, está compuesto por la materia orgánica particulada (MOP) que corresponde al carbono del suelo no protegido. Este incluye restos de plantas y productos de descomposición microbianos (Six *et al.*, 2001).

**Figura 2.**  
Pools de COS con distintos grados de protección (Six *et al.*, 2002)



## 2.2. Mecanismos de protección de la materia orgánica del suelo

El secuestro de C en el suelo es una importante estrategia para contrarrestar el incremento en las concentraciones de CO<sub>2</sub>, ya que implica la transferencia de CO<sub>2</sub> atmosférico a las fracciones más estables del suelo (Schimel *et al.*, 1997). La permanencia del C depende en gran medida del balance entre los aportes y las pérdidas por descomposición, sin embargo, hay factores que desempeñan un rol fundamental en la estabilización como, por ejemplo, los minerales del suelo, los factores climáticos y la labranza. Uno de los mecanismos más importantes en la protección, es la interacción de la materia orgánica con los minerales del suelo (Rumpel *et al.*, 2006), sin embargo, se debe tener presente que existen otras fracciones como la materia orgánica particulada (MOP) y la protegida en los agregados del suelo que pueden llegar a ser importantes al momento de realizar un balance general.

Six *et al.*, (2002) describieron un mecanismo de protección química del C, el que se basa en distintos reservorios, señalando como estabilización química, al proceso originado por una asociación de la COS con la fracción de arcilla y limo.

Sin embargo, es necesario precisar que las experiencias que llevan a formular estos planteamientos se han realizado mayoritariamente en suelos no volcánicos. Los suelos derivados de cenizas volcánicas, exhiben un comportamiento distinto, no existiendo la misma respuesta entre el contenido de COS y la fracción de arcilla y limo. Es así como suelos trumaos (Andisoles chilenos) que poseen entre un 12-20 % de MOS, no contienen más de un 27-28 % de arcilla en su fracción fina, y suelos rojo arcillosos (Ultisoles chilenos) con un 55 % de arcilla, presentan valores de MOS que fluctúan entre el 3.5 - 7 %.

## **2.3. Capacidad máxima de almacenamiento de carbono en el suelo**

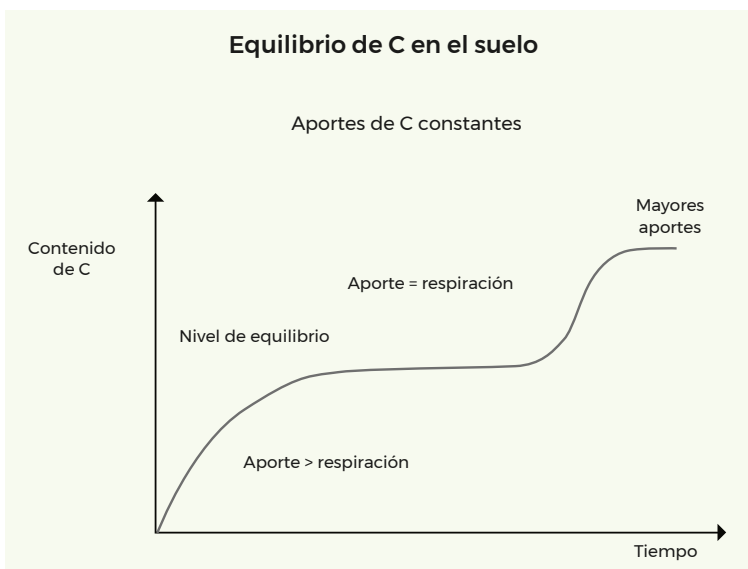
El tema de la máxima capacidad de almacenamiento o saturación de los suelos con C toma relevancia en la actualidad, cuando se buscan soluciones para evitar la emisión de gases que provocan el calentamiento del planeta. Conocer la capacidad de secuestrar C de los suelos se ha convertido en un importante objetivo. De esta forma, a través de estudios empíricos se ha determinado que la capacidad del suelo para almacenar o contener MOS no es ilimitada, difiriendo según tipo de suelo e historial de manejo. Se ha sugerido la existencia de un nivel de saturación de C basado en procesos físicos y químicos que protegen los compuestos orgánicos en el suelo (Six *et al.*, 2002). De esta forma, la acumulación de la MOS no solo depende del tipo de arcilla y de la naturaleza del material vegetal que se incorpora (Matus *et al.*, 1998), sino también de la frecuencia de los aportes. Hassink y Whitmore (1997) postularon que la textura influencia en gran medida la acumulación de C en el suelo, sosteniendo que la capacidad protectiva del suelo se basa primariamente en la fracción fina del suelo (limo y arcilla). Para ratificar esta aseveración llevaron a cabo ensayos a nivel de campo, donde determinaron que la fracción de limo y arcilla de una pradera, contenía la misma cantidad de carbono que un suelo arable, concluyendo que los suelos alcanzaron una cantidad máxima de almacenamiento de C asociado a la fracción fina del suelo. Una vez que se excede la capacidad de almacenamiento (máxima capacidad protectiva), adiciones sucesivas no son estabilizadas por esta fracción y el C es acumulado en otras fracciones (materia orgánica lábil o descomponible), como una función del tipo de suelo y los aportes de C.

Es preciso aclarar dos conceptos que son de suma importancia durante la acumulación de la MOS. El primero se refiere a un estado de equilibrio que se alcanzaría cuando

la tasa de incorporación de MOS se iguala a la tasa de descomposición, y estaría en función del tiempo (Figura 3). En cambio, la saturación señala la capacidad máxima de acumulación de C, la que estaría en función de los aportes de materia orgánica, lo que daría cuenta que cualquier cambio en la tasa de incorporación se refleja en la saturación total del suelo (Stewart *et al.*, 2007). Distintos aportes de la MOS pueden tener distintos equilibrios, de esta manera al incrementar los niveles de materia orgánica se podría alcanzar un nuevo equilibrio. Cuando los nuevos aportes alcanzan el nivel de saturación, nuevas adiciones de materia orgánica no son almacenadas y son mineralizadas aumentando el aporte de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Stewart *et al.*, 2008). Por lo tanto, conocer el umbral de saturación de un suelo es de importancia para no realizar aplicaciones excesivas, las que podrían provocar un daño al ambiente, transformando un suelo desde reservorio de C a un emisor de CO<sub>2</sub>.

**Figura 3.**

Niveles de equilibrio de carbono en un suelo vs aportes de carbono. (Six *et al.*, 2002).



## 2.4. Manejo del suelo y acumulación de materia orgánica

### Uso del suelo

Los suelos tienen distintas capacidades para acumular C. Estas capacidades se basan en características bien definidas, entre las que destacan las tasas de incorporación

de materia orgánica (Matus y Maire, 2000), la que es afectada directamente por el uso y manejo del suelo. La capacidad y potencialidad de incrementar o disminuir el COS depende del balance entre los aportes y pérdidas de materia orgánica (descomposición). Por lo tanto, cambios en el manejo del suelo pueden alterar este balance, afectando la capacidad de almacenamiento de C (West y Six, 2007). La permanencia del C en el suelo no solo depende de mecanismos físicos y químicos, sino que también de prácticas tan habituales como la labranza. Por ejemplo, la cero labranza promueve la mantención y acumulación de la MOS disminuyendo la tasa de descomposición (Acevedo y Martínez, 2003). Por lo tanto, medidas como la adopción de prácticas de manejo conservacionista pueden incrementar la sostenibilidad y por consiguiente la fertilidad del suelo. No obstante, se debe tener presente que los resultados dependen del tipo de suelo y clima imperante.

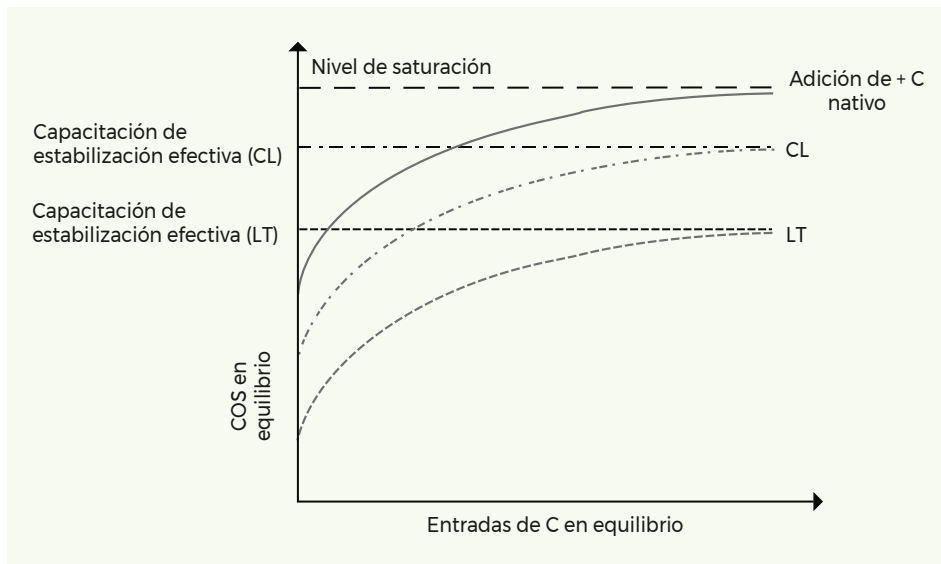
## **Sistemas de manejo**

La adopción de prácticas de manejo como la cero labranza, promueven la mantención y acumulación del COS (Acevedo y Martínez, 2003). Esto se sustenta en la menor tasa de descomposición de la MOS que se obtiene con cero labranza en relación a la labranza tradicional, ya que existe una mínima perturbación del suelo (Figura 4). De esta forma se puede maximizar la acumulación de C y minimizar las pérdidas por mantención de los agregados del suelo. Sin embargo, los resultados varían de acuerdo a la zona agroecológica, tipo de suelo, sistema de cultivo, manejo de residuo y clima imperante (Wright y Hons, 2005).

Entre las labores agrícolas que se desarrollan con mayor frecuencia se incluye la labranza tradicional, sin embargo, la introducción de la cero labranza ha irrumpido en la última década. Sumado a lo anterior, las prácticas conservacionistas han incluido la incorporación de los residuos de cosecha (Acevedo y Martínez, 2003), en desmedro de la quema. Este punto es importante de destacar, puesto que hoy en día se utiliza de forma recurrente la quema, en desmedro de la incorporación de los rastrojos. Otras alternativas de utilización de los rastrojos incluyen la alimentación animal; utilización como sustrato para el crecimiento de hongos comestibles; materia prima para la generación de electricidad, y finalmente la producción de compost. Sin embargo, dada los bajos niveles de materia orgánica y la gran cantidad de suelos erosionados, la incorporación al suelo surge como una alternativa viable para aumentar los niveles de materia orgánica, mejorar la estructura y los niveles de fertilidad, así como para aumentar la actividad microbiológica.

**Figura 4.**

Capacidad de estabilización efectiva del carbono orgánico del suelo bajo dos sistemas de labranza (CL: cero labranza; LT: labranza tradicional) (Stewart *et al.*, 2007).





---

## Referencias Bibliográficas

- Acevedo E. y Martínez, E. 2003. Sistema de labranza y productividad de los suelos. En sustentabilidad en cultivos anuales; cero labranza y manejo de rastrojos, (Ed.) Edmundo Acevedo, Serie de Ciencias Agronómicas (8), Universidad de Chile. pp 13-27.
- Baldock JA, Skjemstad JO 2000. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Org Geochem* 31:697-710.
- Gonzalez, J.M., and D.A. Laird. 2003. Carbon sequestration in clay mineral fractions from C-14-labeled plant residues. *Soil Science Society of America Journal*. 67:1715-1720.
- Hassink J. and Whitmore, A. P. 1997. A model of the physical protection of organic matter in soils. *Soil Science Society of America Journal*. 61: 131-1997.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623-1626.
- Leinweber, P. and Reuter G. 1992. The influence of different fertilization practices on concentrations of organic carbon and soil nitrogen in particle-size fractions during 34 years of soil formation experiment in loamy marl. *Biology and Fertility of Soils*. 13: 119-124.
- Mahieu, N., Powlson, D.S. and Randall, E.W. 1999 Statistical analysis of published carbon-13 CPNMA NMR spectra of soil organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 307-319.
- Matus, F. J.; Maire, C. and Villalobos, M. P. 1998. Interaction between soil texture and organic matter of clay and silt particles from arable and non-arable soils. 16<sup>o</sup> World Congress of Soil Science. Montpellier, France. 1-24 agost. Symposia N<sup>o</sup> 4. p. 1-10.
- Matus, F.J. and Maire, C. 2000. Relación entre la materia orgánica del suelo y textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agricultura Técnica*. 60: 112-126.
- Rumpel, C., Alexis, M., Chabbi, A., Chaplot, V., Rasse, D.P., Valentin, C., Mariotti, A., 2006: Black carbon contribution to soil organic matter composition in tropical sloping land under slash and burn agriculture. *Geoderma*, 130, 35-46.
- Schimel, D.S., Bracewell, B.H., Parton, W.J. 1997. *Proceeding of the national academy of Sciences of the USA*, 94: 8280-8283.
- Six, J., G. Guggenberger, K. Paustian, L. Haumaier, E.T. Elliott, and W. Zech. 2001. Sources and composition of soil organic matter fractions between and within soil aggregates. *European Journal of Soil Science*. 52: 607-618.
- Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A. and Paustian, K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*: 241, 155-176.
- Sparling, G.P., Parfitt, R.L., Hewitt, A.E. and Schipper, L.A. 2003. Three possible approaches to define target limits for soil organic matter. *Journal of Environmental Quality*. 32: 760-766.

Stewart, C.E., K. Paustian, R.T. Conant, A.F. Plante, and J. Six. 2007. Soil C saturation: Concept, evidence, and evaluation. *Biogeochemistry* 86:19-31.

Stewart, C.E., Plante, A.F., Paustian, K., Conant, R., Six, J. 2008. Soil Carbon Saturation: Linking Concept and Measurable Carbon Pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:379-392.

Wright, A.L., and Hons, F.M. 2005. Tillage impacts on soil aggregation and carbon and nitrogen sequestration under wheat cropping sequences. *Soil and Tillage Research* 84 67-75.

Wattel-Koekkoek, E.J.W., van Genuchten, P.P.L., Buurman, P., van Lagen, B. 2001. Amount and composition of clay-associated soil organic matter in a range of kaolinitic and smectitic soils. *Geoderma* 99: 27-49.

West, T., Six, J. 2007. Considering the influence of sequestration duration and carbon saturation on estimates of soil carbon capacity. *Climatic Change* (2007) 80:25-41.