
POTENCIALIDAD DE SUELOS AGRÍCOLAS VENEZOLANOS PARA SECUESTRAR CARBONO

Espinoza Yusmary, Malpica Lesly y Mujica Manuel de Jesús
Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas
yespinoza@inia.gob.ve

Resumen

El secuestro de carbono (C) en el suelo es esencialmente el proceso de transformación del carbono del aire a carbono almacenado en el suelo. Con el fin de evaluar la potencialidad que tienen los suelos agrícolas venezolanos para secuestrar carbono, se establecieron seis experimentos de campo, donde se incluyó la aplicación de residuos verdes en un suelo arenoso (Ultisol), tres sistemas de labranza sobre un suelo franco limoso (Inceptisol), un suelo franco arcilloso (Vertisol) y otro arcilloso (Vertisol), aplicación de estiércol bovino y gallinaza en un suelo franco (Molisol) y un sistema silvopastoril sobre un suelo franco arcilloso (Alfisol). En general, la siembra directa (SD) incrementó el C mineralizable y representó el 3% del C orgánico total. La fertilidad del suelo fue diferente entre los sistemas de manejo evaluados, observándose mayores reservas y disponibilidad de nutrientes en los sistemas silvopastoriles, comparado con los otros sistemas de manejo. El tratamiento de SD proveyó mayor proporción (30%) de C secuestrado, comparado con la labranza convencional (LC), después de varios años de SD. Las tasas de C secuestrado estuvieron en un rango de 0,98 a 1,18 Mg C/ ha/año. Las mayores tasas fueron alcanzadas en suelo bajo sistema silvopastoril con una tasa alta de entrada de biomasa vegetal. Las altas tasas de secuestro de C estuvieron correlacionadas ($P < 0,05$) a las prácticas de manejo, pero no al orden de suelo.

Palabras clave: dinámica del carbono en el suelo, sistemas silvopastoriles, siembra directa, labranza convencional.

Introducción

El incremento de dióxido de carbono (CO_2) en nuestra atmósfera influye directamente sobre la productividad de los cultivos, el mejoramiento del suelo, del agua y de la calidad del aire. El secuestro de carbono en el suelo es el proceso de transformación del carbono del aire al carbono orgánico (CO) almacenado en el suelo.

A partir del secuestro de carbono, los niveles de CO_2 atmosférico pueden reducirse en la medida que los niveles de CO del suelo aumentan. Los cambios en el uso de la tierra que alteran la estructura del suelo inducen cambios en la cantidad y características del CO del suelo almacenado o secuestrado. El CO del suelo se deriva de las entradas de material vegetal. Una vez que el carbono entra al suelo, es estabilizado como un resultado de la actividad microbiana o por efecto de procesos físicos y químicos. El control de estos mecanismos proporciona un entendimiento de cómo el manejo del suelo y el clima impactan en la estabilización de la materia orgánica del suelo (MOS). La labranza continua causa una disminución del CO del suelo, debido a un efecto de aceleración en la descomposición de residuos de cultivos incorporados dentro del suelo [Spedding *et al.*, (2003)]. No obstante, varios estudios han reportado que la reducción de la intensidad de la labranza puede incrementar la macro agregación y disminuir o prevenir la pérdida del CO del suelo.

Por otra parte, estudios donde se ha

incluido la rotación de cultivos, han mostrado efectos positivos sobre el mantenimiento de los niveles de la MOS, especialmente en aquellos suelos donde se incluyen leguminosas en la rotación, ya que estas juegan un papel importante en la mineralización de la MOS, debido a su efecto sobre la relación C/N. La fracción de carbono representada por la masa microbiana y la del carbono, potencialmente mineralizable, parece ser la más sensitiva al cambio [Omay *et al.*, (1997)].

El objetivo de esta investigación es evaluar prácticas agronómicas que incrementen la productividad de cultivos, al mismo tiempo que almacenan C en el suelo.

Materiales y Métodos

Los sitios experimentales donde se tomaron las diferentes muestras de suelo son mostrados en la (Tabla 1). Los tratamientos comprendieron: un suelo arenoso (Ultisol) donde se incluyó labranza mínima con incorporación de residuos vegetales con sorgo continuo; un suelo franco arcillo limoso (Inceptisol) con dos tipos de labranza con rotación de cultivo maíz-frijol y maíz-algodón; un suelo franco arcilloso (Vertisol); otro arcilloso (Vertisol) con tres sistemas de labranza (siembra directa, labranza reducida y convencional) con maíz continuo; un suelo franco (Molisol) con aplicación de estiércoles de vacuno (EV) y gallinaza (G) con *Brachiaria humidicola*; y un suelo franco limoso con sistema silvopastoril con tres densidades de sombra (35, 30, 22 %).

Tabla 1. Tipos de suelo de los sitios experimentales, clasificación y tiempo de los tratamientos.

Tipo de suelo	Clasificación	Tiempo (años)
1- Arenoso	Typic Paleustults	5
2- Arcilloso	Typic Haplusterts	8
3- Franco limoso	Fluventic Haplusteps	12
4- Franco arcilloso	Aeric Tropaquepts	30
5- Franco arcillo limoso	Aquic Haplustalfs	20
6- Franco	Fluventic Haplustolls	10

En los sitios 1, 2, 3, 4 y 6 el diseño de experimentos fue de bloques completamente aleatorizados con 4 repeticiones. En el sitio 5 el área fue dividida en 4 potreros, y el diseño

de experimento fue completamente aleatorizado (Figura 1). Los datos fueron analizados usando proc Mixed (SAS) para análisis de varianza y separación de diferencias entre las medias.

**Figura 1.** Diseño del Sistema Silvopastoril [(Potrero I con 35% sombra, potrero II con 30% sombra y potrero IV con 22% de sombra); Ovalles *et al.*, (2007)]

Las muestras de suelo fueron tomadas a 0-30 cm de profundidad de cada una de las parcelas o potreros. En cada una de las muestras de suelo se determinó el carbono de la masa microbiana por

la técnica de fumigación-incubación [Jenkinson y Powlson, (1976)], el carbono potencialmente mineralizable por incubaciones largas de laboratorio (200 días), según el método de lavado

propuesto por [Cabrera y Kissel (1988)], y el contenido de carbono total fue determinado por combustión directa. El material verde cosechado, después de pesado, fue llevado al laboratorio y colocado en estufa hasta peso constante, obteniéndose el contenido de materia seca para obtener una estimación del rendimiento de biomasa, considerando la superficie de muestreo.

Resultados y Discusión

En general, el C mineralizable [C-microbiano (CMM) más el C lábil no-microbiano (CLNM)] representó aproximadamente el 3% del C orgánico total (Tablas 2 a 7). El CLNM se incrementó significativamente con los sistemas de manejo de cultivo conservacionista, tales como siembra directa con rotación maíz-frijol (Tabla 2), siembra directa con maíz continuo (Tabla 3 y 4), aplicación de residuos (Tabla 5) y estiércoles (Tabla 6). Estos cambios observados en el C mineralizable debido a prácticas de manejo, puede ser indicativo de futuros cambios en la materia orgánica del suelo (Álvarez y Álvarez, 2000).

Tabla 2. Distribución de las diferentes fracciones de carbono, rendimiento de maíz y tasa de secuestro de carbono en un suelo franco limoso, bajo diferentes sistemas de labranza y rotación de cultivo.

Medida†	Tratamiento*			
	SDMA	LCMA	SDMF	LCMF
	----- kg/ha -----			
CMM	224,4a	136,14b	219,3b	141,3a
CLNM	325,6a	129,8b	328,8a	366,6a
Rendimiento biomasa	8002	8238	7899	8135
Tasa de secuestro de C (Mg/ha/año)	1,18	1,07	0,98	-0,55

* SDMA= Siembra directa+maíz-algodón; LCMA= Labranza convencional+ maíz-algodón; SDMF= Siembra directa+maíz-frijol; LCMF= Labranza convencional+ maíz-frijol.

† CMM= Carbono de la masa microbiana
CLNM= Carbono lábil no microbiano

Tabla 3. Distribución de las diferentes fracciones de C, rendimiento de maíz y tasa de secuestro de carbono en un suelo franco arcilloso, bajo diferentes sistemas de labranza y maíz continuo

Medida†	Tratamientos		
	SDM*	LCM	MLM
	-----kg/ha-----		
CMM	357,4	275,2	242,2
CLNM	434,3	291,0	354,7
Rendimiento biomasa	6195	5317	6116
Tasa de secuestro carbono (Mg/ha/año)	1,07	0,89	0,97

*SDM= siembra directa+maíz; LCM= Labranza convencional+maíz; MLM= Mínima labranza+ maíz.

† CMM= Carbono de la masa microbiana

CLNM= Carbono lábil no microbiano

Tabla 4. Distribución de las diferentes fracciones de C, rendimiento de maíz y tasa de secuestro de carbono en un suelo arcilloso, bajo diferentes sistemas de labranza

Medida†			
	SDM*	LCM	MLM
	-----kg/ha-----		
CMM	126	105	120
CLNM	520	360	480
Rendimiento biomasa	5892	5209	6200
Tasa de secuestro de C (Mg/ha/año)	1,01	-0,20	0,49

* SDM= siembra directa+maíz; LCM= Labranza convencional+maíz; MLM= Mínima labranza+ maíz.

† CMM= Carbono de la masa microbiana

CLNM= Carbono lábil no microbiano

Tabla 5. Distribución de las diferentes fracciones de C, rendimiento de sorgo y tasa de secuestro de carbono en un suelo arenoso, bajo un sistema de mínima labranza y aplicación de residuos vegetales

Medida†			
	MLRLS*	MLRGS	MLRVNS
	----- kg/ha -----		
CMM	6,0a	3,5b	5,4ab
CLNM	158,2	125,6	134,2
Rendimiento biomasa	1259	856	954
Tasa de secuestro de C (Mg/ha/año)	-0,22	-0,07	-0,17

*MLRLS= Mínima labranza+incorporación residuos de leguminosa+sorgo; MLRGS = Mínima labranza+incorporación residuos de gramínea+sorgo ; MLRVNS = Mínima labranza+incorporación residuos de vegetación nativa+sorgo.

† CMM= Carbono de la masa microbiana

CLNM= Carbono lábil no microbiano

Tabla 6. Distribución de las diferentes fracciones de C, rendimiento de *Brachiaria humidicola* y tasa de secuestro de carbono en un suelo franco, fertilizado con diferentes fuentes de nitrógeno

Medida†	SDEVP*	SDGP	SDFQP
	----- kg/h-----		
CMM	345,3b	586,5a	642,8a
CLNM	681,5	663,8	483,4
Rendimiento biomasa	4900,42a	5877,77a	3989,9b
Tasa de secuestro de C (Mg/ha/año)	0,86	0,79	0,15

*SDEVP= siembra directa+estiércol vacuno+pasto; SDGP= siembra directa+gallinaza+pasto; SDFQP= siembra directa+fertilizante químico+pasto.

† CMM= Carbono de la masa microbiana

CLNM= Carbono lábil no microbiano

Con respecto al sistema silvopastoril (Tabla 7), el CLNM fue mayor comparado a los agroecosistemas. De acuerdo con [Ladd *et al.*, (1994)], aquellos sistemas que mantienen una

buena cobertura, como el caso de los sistemas silvopastoriles, mantienen una humedad estable del suelo, y por ende tienen valores de biomasa microbiana altas.

Tabla 7. Distribución de las diferentes fracciones de C, rendimiento de *Brachiaria humidicola* y tasa de secuestro de carbono en un suelo franco arcillo limoso, bajo sistema silvopastoril

Medida†	Sombra%		
	35(I) *	30(II)	22(IV)
	----- kg/ha -----		
CMM	363,2b	827, a	457,6b
CLNM	1789,5	2150,6	1670,3
Rendimiento biomasa	8854c	9997b	14040a
Tasa de secuestro de C (Mg/ha/año)	2,01	1,73	1,49

* 35(I) Potrero I con 35% sombra, 30(II) potrero II con 30% sombra y 22(IV) potrero IV con 22% de sombra

† CMM= Carbono de la masa microbiana

CLNM= Carbono lábil no microbiano

Con respecto a la productividad de los cultivos, esta fue relacionada a los sistemas de manejo aplicados en cada uno de los sitios experimentales. En general, la mayor productividad de los cultivos se relacionó con la SD y la mínima labranza; sin embargo, se observó que cuando la LC se combina

con la rotación de cultivo que incluye una leguminosa, los valores de rendimiento del cultivo son similares al observado en la SD (Tabla 2). La aplicación de EV y G incrementaron significativamente ($P<0,05$) el rendimiento de *Bracharia humidicola*, después de 6 años de su aplicación continua, comparado con la fertilización química. A decir de

[Espinoza *et al.*, (2012)], la G es más eficiente en suplir N al pasto, debido a que los estiércoles de aves tienen una mayor fracción activa en su material orgánico. En el sistema silvopastoril evaluado, la productividad del pasto guinea estuvo significativamente correlacionada al nivel de sombra. El efecto de la sombra se reflejó en una reducción ($P < 0,05$) de la cantidad de pasto producida; sin embargo, este efecto se tradujo en un cambio significativo en la calidad del mismo [Obispo *et al.*, (2012)]. Los sistemas de manejo conservacionistas no sólo incrementan la productividad de los cultivos, también pueden mantener una diversidad biológica y sostenibilidad del sistema agrícola [Martínez- Castillo, (2009)].

En general, las prácticas de manejo ejercieron un efecto significativo ($P < 0,05$) sobre la cantidad de C almacenada en los suelos. La mayor proporción (30%) de secuestro de C se observó en el tratamiento de SD, comparado con la labranza convencional (LC) después de varios años. El promedio anual de secuestro de C para suelo bajo SD estuvo en el rango de 0,98 a 1,18 Mg C/ ha/año. Los suelos bajo sistema de LC, en general, son emisores netos de C (Tablas 2, 4). Al igual que el suelo arenoso independientemente que sea manejado con residuos orgánicos (Tabla 5).

Las mayores tasas de secuestro de C fueron alcanzadas en suelo bajo sistema silvopastoril, los cuales tuvieron una alta entrada de biomasa vegetal (Tabla 7). Estas tasas estuvieron en el rango de 1,49 a 2,01 Mg C /ha/año. Este carbono fijado en el suelo parece estar relacionado

con la dinámica de nutrientes (N y P), nivel de sombreado y carga animal [Obispo *et al.*, (2012)].

Estos resultados demuestran que los suelos tropicales pueden funcionar como fuentes o sumideros de C, y que la tendencia evolutiva de esta dinámica está determinada por el uso de la tierra.

Conclusiones

Bajo los sistemas silvopastoriles existe un gran potencial para secuestrar carbono en los suelos. El carbono lábil no microbiano representa una pequeña fracción del carbono en el suelo, pero es de gran importancia. El tipo de suelo no influyó en la potencialidad del suelo para secuestrar carbono. Altas tasas de secuestro de carbono en el suelo se relacionan con las prácticas de manejo, pero no con el orden de suelo.

Agradecimiento

Esta investigación fue financiada parcialmente por FONACIT, proyecto S1-2001000991, Venezuela.

Referencias Bibliográficas

- Álvarez, R.; Álvarez, C. (2000). Soil organic matter pools and their associations with carbon mineralization kinetics. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 184-189.
- Cabrera, M.; Kissel, D. (1988). Potentially mineralizable nitrogen in disturbed and undisturbed soil samples. *Soil Science Society of America Journal*, 52, 1010-1015.
- Espinoza, Y; Gil, J.; Obispo, N.; Malpica, L.; De Jesús, M. (En imprenta). Efecto de la fuente de nitrógeno sobre la capacidad

suplidora de N del suelo y productividad de *Brachiaria Humidicola*. Revista de la Facultad de Agronomía - UCV.

Jenkinson, D.; Powlson, D. (1976). The effect of biocidal treatment on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 8, 209-213.

Ladd, J.; Amato, M.; Li-Kai Zhou, Shultz, J. (1994). Differential effects of rotation, plant residue and nitrogen fertilizer on microbial biomass and organic matter in an Australian alfisol. *Soil Biology and Biochemistry*, 26 (7), 821-831.

Martínez, R. (2009). Sistemas de producción agrícola sostenible. *Tecnología en Marcha*, 22 (2), 23-39.

Obispo, N.; Espinoza, Y.; Gil, J.; Ovalles, F.; Rodríguez, M.; Cabrera, E.; Pérez, M. (En imprenta). Relación de la proporción de sombra en el potrero con el rendimiento y calidad del forraje y

la ganancia diaria de peso en novillos. *Revista de la Facultad de Agronomía - UCV*.

Omay, A.; Rice, C.; Maddux, L.; Gordon, W. (1997). Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. *Soil Science Society of America Journal*, 61:1672-1678.

Ovalles, F.; Rodríguez, M.; Espinoza, Y.; Cortéz, A.; Pérez, M.; Bisbal, E.; Gil, J.; Obispo, N. (2007). Uso de imágenes de satélite de alta resolución para evaluar parcelas experimentales en ensayos silvopastoriles. *Zootécnia Tropical*, 25 (4):269-277.

Spedding, T.; Hamel, C.; Mehuys, G.; Madramootoo, C. (2004). Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 36 (3):499-512.