

Influencia de la temperatura, humedad y labranza en el Carbón Orgánico de Suelos Agrícolas Subtropicales Semiáridos

M. Á. Verduzco-Heredia^{1*}, M. T. Hernández-del Real², M. Sánchez-Heráldez¹, C. Morán-Rodríguez³

¹Estudiante Doctorado Cejus-Cide, ²Ciudad Sinaloa, Guasave, Sinaloa, Méx. ³Ciudad Durango, Dgo, Méx.
Ángel Flores 335, Guasave, Sinaloa, México. Tel-fax: 01(687)8722298.

Influence of temperature, humidity and tillage in the Coal Organic Soil Semi-Arid Agricultural Subtropical

Abstract

Soil is the major reservoir of terrestrial carbon and is fundamental in the maintenance of the global climate, contains two-thirds more carbon than the vegetal biomass and the double than the atmosphere. The carbon stored in soils diminishes greenhouses gases because it has persistence in them than in the biomass of the plants. The organic carbon content of the soils and its dynamics are the best indicator of their quality and agricultural productivity. In the subtropical is the greater number of ha agriculture's. The objective was to determine the effects of tillage, temperature and humidity on organic carbon and respiratory rate in semi-arid subtropical agricultural soils. Sampling were in two agricultural soils, one from non-tillage conditions (NT) and other with conventional tillage (CT), in three depths (0-15, 15-35 and 35-45cm). Samples were submitted to different states of moisture (with and without watering) and temperature (ambient, 25, 35 and 45°C) under a controlled laboratory experiment on undisturbed soil cores separating the effects of temperature, drying-rewetting and decomposition dynamics on soil respiration and the potential of mineralization of the carbon the 7, 14, 21 and 28 days, catching the efflux CO₂ with NaOH 1 N and titration with HCl 1N. CO₂ content was higher in surface samples from NT soils whereas in CT soils the inverse was true. CO₂ content from surface tended to decrease with the increase of temperature in humid soils whereas in deeper humidified soils the inverse was true. No trend in CO₂ content was observed in dry soils. Respiratory rate was higher in CT than in NT soils, and tended to be lower in humid than in dry soils. Also, respiratory rate tended to decrease with the increase of temperature. Results highlight the advantage of non-tillage as a mean to increase sequestration of carbon in soils.

Keywords: organic carbon, CO₂, potential of mineralization of the carbon .

Resumen

El suelo es el mayor reservorio de carbón terrestre y es primordial en el mantenimiento del clima global, contiene dos terceras partes más carbón que la biomasa vegetal y el doble que la atmósfera. El contenido de carbón orgánico del suelo (COS) y su dinámica son el mejor indicador de su calidad y productividad agrícola. En los subtropicales se encuentra el mayor número de hectáreas dedicadas a la agricultura. El objetivo fue determinar los efectos de la temperatura, humedad y labranza en el COS agrícolas subtropicales semiáridos. Se realizó en dos suelos agrícolas, uno con labranza cero (CL) y otro con labranza convencional (LC) a tres profundidades, en el laboratorio a condiciones de campo se sometieron a tratamientos condiciones de humedad (con y sin riego) y cuatro de temperatura (ambiental, 25, 35 y 45°C). El COS se midió al inicio y al final, y el potencial de mineralización del carbón (PMC) a los 7, 14, 21 y 28 días. El CO₂ se capturó con NaOH 1 N y se tituló con HCl 1N. En CL se encontró un mayor contenido de COS que LC en la superficie. La labranza, temperatura y la humedad impactó la emisión CO₂ a 0-15 y 15-30cm, por la activación de las reacciones de descomposición, pero no en capas inferiores por la ausencia de microorganismos y por MOS

* Autor de correspondencia

E-mail: mariverher@yahoo.com.mx; cmoranr@yahoo.com.mx

sensible a la descomposición. Por lo tanto estos efectos en los suelos subtropicales semiáridos se presentan en un menor rango que lo esperado por los incrementos que la temperatura y humedad producen en la descomposición de la MOS. Por esto implementación de la CL puede disminuir la pérdida del COS y contribuir al secuestro de C en estos suelos.

Palabras claves: Carbón orgánico en suelos, dióxido de carbono, potencial de mineralización del carbón, subtropicales, secuestro de carbón.

Introducción

Las concentraciones de CO₂ y otros gases efecto invernadero (GEIs) se incrementaron el 28% desde el inicio de la era industrial (Lal, 2004). Esto provocó el incremento de la temperatura global de 0.3 a 2.5°C en los últimos 50 años y se espera un aumento de 1.4 a 5.8°C al final de este siglo (IPCC, 2001). Este aumento de las concentraciones de CO₂ es por la quema de combustibles fósiles y la conversión de bosques, selvas y praderas a suelos agrícolas (Prior et al., 2005). El suelo es el mayor reservorio de carbón terrestre y es primordial en el mantenimiento del clima global (IPCC, 2001). En el ecosistema terrestre la concentración del carbón (C) global se calcula de 2,500 Gt, de estos 1,500 Gt son carbón orgánico en el suelo (COS), 950 Gt son carbón inorgánico del suelo (CIS) en forma de rocas y reservas geológicas, y 500 Gt son la biomasa de las plantas (Lal, 2005).

Una estrategia para mitigar el cambio climático global, es almacenar el C en los suelos (Vine, 2004). Para conseguir dicha mitigación, es necesario que este C permanezca como materia orgánica en el suelo (MOS) estabilizada (Bowman et al., 2002). La agricultura puede ser fuente, en el cambio de uso del suelo, la quema de combustibles en la actividad y la descomposición de MO del suelo o resumidero de C al implementar prácticas de conservación. Además el uso de residuos de rumiantes como fertilizantes, aguas residuales en la irrigación y el cultivo arroz son fuente del 50% de las emisiones de CH₄ y del 70% de N₂O global (Dumanski, 2003). Los suelos dedicados a la agricultura en el ecosistema terrestre se calculan en 1350 Mha, de los cuales 37 Mha están en regiones semiáridas y subhúmedas (Blanco-Canqui and Lal, 2004).

La permanencia del COS se logra, incorporando al suelo residuos agrícolas para la formación de complejos estables con las arcillas (VandenBygaart and Kay, 2004). Esta puede ser: *química* por asociación de partículas de limo-arcilla; *física* que

forma agregados que protegen la fracción orgánica y evitan la mineralización, y *bioquímica* controla la flora microbiana que mineralizan la MOS (Six et al., 2002). La mineralización y descomposición de la MOS produce emisión de CO₂ (CO₂-C) a la atmósfera y para medirla se utiliza la tasa de respiración, llamada Potencial de Mineralización del Carbón (PMC) (Al-Kaisi and Yin, 2005). Es indicador de la respiración de raíces, protozoarios, lombrices y otros organismos, otro es el Carbón de la Biomasa Microbiana (CBM) que mide la cantidad de ellos (Al-Kaisi and Yin, 2005; Russell et al., 2005).

En regiones templadas la respiración de la biomasa, de plantas, suelos y la flora microbiana es controlada por la humedad y la temperatura. En las zonas áridas y semiáridas se controla por el contenido de COS, humedad y el incremento de la temperatura; sin embargo se ha observado que esta última puede bajar la respiración del suelo (Martens et al., 2005). En EU el nivel de MOS interacciona inversamente con patrones climáticos; incrementa de sur a norte porque bajan temperaturas y tasas de descomposición y de oeste a este por aumento de humedad (Wright et al., 2005). Se han realizado muchas investigaciones en suelos agrícolas de climas templados y tropicales, por ejemplo, en el Oeste Medio de EU, el contenido y secuestro de carbón orgánico aumenta conforme disminuye la temperatura. Wright, et al. (2005), y Martens *et al.*, (2005) realizaron mediciones del CO₂-C en el suroeste (SO) de EU, considerado subtropical húmedo. Por lo tanto es importante conocer si en los sistemas subtropicales semiáridos, la respiración del suelo se incrementa con la cantidad de C que aporta algunas prácticas de labranza. Además, el comportamiento del COS ante los efectos de los cambios de la temperatura y la humedad que se originan por el cambio climático. Porque en estas regiones subtropicales se localizan gran parte de suelos dedicados a la agricultura y con mayor grado

de susceptibilidad a la degradación. El objetivo fue evaluar los efectos de la temperatura, humedad y la labranza en el contenido del carbón orgánico en suelos agrícolas subtropicales semiáridos.

Material y métodos

En el COS la evaluación de los efectos de la temperatura, humedad y la labranza fue en muestras que conservaron las condiciones de campo en el laboratorio. Para la labranza se comparó un suelo con prácticas de conservación, en la modalidad de la cero labranza (CL) y otro con labranza convencional (LC), tomadas a 0-15, 15-30 y 30-45cm de profundidad. Para los efectos de temperatura y humedad se sometieron juegos de muestras a condiciones ambientales, otros juegos a 25, 35 y 45°C en incubadoras sin humedad y otros con riego de goteo diario. A todas las muestras, en cámaras individuales durante los tratamientos se midió el CO₂-C cada siete días, capturado en cápsulas con hidróxido de sodio (NaOH). Se caracterizaron los suelos de los lotes y profundidades: tipo de suelo, textura, pH, conductividad eléctrica (CE), contenido de humedad, densidad real, textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el contenido de COS.

Descripción del sitio

Se recolectaron las muestras de dos parcelas ubicadas en el municipio de Guasave, Sinaloa, en los 25° 31' 11.63" N y 108° 29' 47.72" O y en los 25°31'23.23" N y 108°29'59.69" O. La zona tiene una precipitación media de 350mm, humedad relativa de 42% y evaporación de 1000mm anuales, temperatura media de 25°C, con máximas de 42°C y mínimas de 1°C, clima semidesértico según INEGI, tipo BSo (h') w (w) (e), de acuerdo a la clasificación Köppen, modificado por García (García, 1976). El suelo de la zona es tipo Vertisol (Vc), de horizonte profundo, de textura fina y forma masiva, con un desarrollo fuerte, muy escasamente drenado. Es color 7.5YR3.5/2, su textura de 56% arcillas, 16% limo y 28% arena, con clasificación tipo arcilloso, la CE es de 0.2 a 2.0 mmhos cm⁻¹, pH de 7.7 en agua relación 1:1. El contenido de MOS es de 1.3%, la CIC total de 26.3meq 100g⁻¹, con un 100% de saturación de sales, contiene el 0.6meq 100g⁻¹ de sodio. Con un 100% de saturación de Na, con un intercambio iónico de 1.1meq 100g⁻¹ con el potasio, 17.5meq 100g⁻¹ de calcio, 11.7meq 100g⁻¹

de magnesio. La topografía es plana, a 13.5 msnm, con una pendiente de 0.20%. Vientos dominantes WN y NW suaves, de 10km con temporada de ciclones de junio a noviembre.

Las muestras se tomaron en dos lotes colindantes, de 10 ha cada uno, con un historial de uso de 60 años de cultivos de riego por gravedad, con rotación de frijol (*Phaseolus vulgaris* (L)) en otoño-invierno y maíz (*Zea mays* (L.)) y frijol soya (*Glycine max* (L.)) en primavera-verano. En estos lotes se implementó el monocultivo de maíz en los últimos 8 años, uno tiene 6 años de labranza cero (CL) y otro de labranza conservación (LC).

Descripción del muestreo

Las muestras se recolectaron el 15 de octubre de 2006, antes del inicio del ciclo otoño-invierno, de dos tipos: puntuales y compuestas. Las puntuales se tomaron en los lotes, de CL y LC, a 0-15, 15-30 y 30-45cm de profundidad, en anillos de PVC, de 15cm de alto por 15cm de diámetro. Con cada anillo se tomó una columna de 12cm de suelo, se rotuló y se le colocó una malla de 250 hilos/cm² en el fondo, para las mediciones de los índices PMC. Se retiraron los residuos sólidos y rocas, se niveló sin producir disturbios y se insertaron 24 anillos por profundidad como lo recomienda la técnica el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (U.S.D.A, 1999). Cada anillo se separó del suelo con un cuchillo de hoja ancha, se limpió el exterior y se le colocó la malla sujeta con ligas de 10cm de diámetro y una bolsa de plástico transparente de 40x60cm. Después de que se retiraron los primeros anillos, se quitaron 3cm de suelo, se niveló y se insertaron los 24 anillos siguientes, a la profundidad de 15-30cm. Se repitió el procedimiento a la profundidad de 30-45cm. Se trasladaron al laboratorio en condiciones de amortiguación para evitar su alteración. Para determinar la densidad real y humedad contenida en campo, se tomaron muestras en 12 anillos de 9cm de alto por 9cm de diámetro, según las técnicas USDA, (1999).

En cada lote (CL y LC) se tomó una muestra compuesta, que se integró a partir de 5 sitios muestreados en forma de zigzag a 20m de distancia entre ellos, iniciando en el lindero NW, según la Norma Oficial Mexicana de Recursos Naturales 021 Que Establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos, Estudios, Muestreos y Análisis (2002) (NOm 021) (Nom-021-RecNat, 2002).

Métodos analíticos

En las muestras compuestas se caracterizó el tipo de suelo, textura, pH 1:5 en agua, CE 1:5 en agua y el COS con los métodos de la Nom 021. Además, se caracterizaron las muestras puntuales, dos lotes y tres profundidades el pH, CE, salinidad, textura y el COS con los mismos métodos, al inicio y final de los tratamientos con excepción de la textura. Además con los anillos de 9x9cm se realizó la densidad real y el contenido de humedad con los métodos USDA (1999), y el PMC con el método de Anderson, (1982).

Las muestras recolectadas en los anillos 15x15cm se distribuyeron en juegos. Por cada juego, uno por labranza (CL y LC) de cada profundidad (0-15, 15-30 y 30-45) y para ocho tratamientos (condiciones ambientales, 25, 35 y 45°C con humedad y otros sin humedad con tres repeticiones). Cada juego se sometió a un tratamiento diferente. El de condiciones ambientales consistió en dejarla en un sitio abierto como si estuvieran en el campo sin riego y otro juego con riego por goteo. En el mismo sitio se construyeron tres incubadoras a 25, 35 y 45°C con dos pisos, el superior para el tratamiento de temperatura y inferior para tratamientos de temperatura con humedad (riego por goteo). Las incubadoras se construyeron de 1.0 de alto x 1.0 de ancho x 2.0m de largo una de madera y dos capas de hule negro con material aislante con entrepiso de alambre. La temperatura se logró con focos, además se instaló un interruptor y termómetro, para 25° dos focos de 25 w., para 35° ocho de 40 w. y para 45° 16 de 100 w. y un calentador eléctrico. El riego por goteo en cada anillo se logró con mangueras de diferentes calibres, conectores y llaves reguladoras de intensidad en el piso inferior de cada incubadora y extensión para el juego de ambientales con humedad.

Para la captura del CO₂-C en cada anillo se implementó una cámara aislante con una bolsa invertida de 20x40cm de plástico negro de 250k, selladas al anillo con ligas, proporcionando una altura de cámara de 30cm. En cada cámara, en el receptáculo de 3cm ubicado entre la altura del suelo y el borde superior, se colocó una cápsula captadora con 10 ml de NaOH 1N rotuladas debidamente. Estas se retiraron a los 7, 14, 21 y 28d, tapándolas previamente se restauró la humedad al 30% con 100ml de agua y se colocó una nueva cápsula rotulada. En cada tratamiento se colocó

blancos, con anillos cubiertos el fondo y sin muestra de suelo para medir y restar el CO₂ contenido en el aire de la cámara. Todos los tratamientos se realizaron por triplicado.

A las cápsulas recolectadas se les agregó cuanto baste de BaCl₂ al 10%, con un gotero, para precipitar el CO₂ capturado como BaCO₃, y la NaOH no consumida se tituló con HCl 1N con fenolftaleína como indicador. La capsula de los blancos se titularon blancos para cada uno de los tratamientos. Las modificaciones a la técnica de Anderson, (1982) consistió en instalar cámaras en cada anillo y no introducir una alcuota en la jarra, como lo recomienda en su técnica.

Diseño estadístico

El COS inicial y 28 días y la tasa COS/COS inicial, fueron analizados con ANOVA para los efectos fijos de labranza, temperatura y humedad, y las interacciones de primer orden, con el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute Inc.) (SAS, 1986) con cada profundidad se realizó un análisis diferente. El PMC fue analizado por separado para cada categoría de humedad, labranza y profundidad, con el procedimiento de parcelas divididas (Gill, 1988) para los efectos fijos de temperatura y tiempo. También, la interacción temperatura X tiempo y repetición dentro de cada temperatura con el mismo procedimiento de SAS,

Resultados

Caracterización de suelo

Los suelos en sus diferentes profundidades fueron franco-arcillosos con textura moderadamente fina, con proporciones arena:arcilla:limo similares menos la profundidad de 30-45 de CL, que mostró un mayor contenido de arena y textura media (tabla 1). Los resultados del pH, la conductividad y la salinidad inicial y final de los tratamientos a los 28 días se encuentran en la tabla 2 para CL y tabla 3 para LC. En el lote CL, se observó que la CE y la salinidad se incrementaron con el aumento de la temperatura y por efecto de la humedad al final del experimento, particularmente en la profundidad de 0-15 (tabla 2). En el lote LC, (tabla 3), la conductividad y la salinidad fueron mayores en las profundidades 0-15 y 15-30cm, sobre todo a 25°, independientemente de la humedad. En el pH no hubo cambios importantes en ambas labranzas.

Tabla 1. Caracterización de la textura y contenidos de componentes de suelos CL y LC.

	% Arena	% Arcilla	% Limo	Tipo de Textura	
Lote CL					
0-15	20.94	32.5	46.57	Franco-Arcilloso	Moderadamente fina
15-30	30.93	27.78	41.29	Franco-Arcilloso	Moderadamente fina
30-45	49.64	17.78	32.58	Franco	Textura media
Lote LC					
0-15	21.64	33.78	44.58	Franco-Arcilloso	Moderadamente fina
15-30	27.64	36.5	35.86	Franco-Arcilloso	Moderadamente fina
30-45	33.64	36.5	34.58	Franco-Arcilloso	Moderadamente fina

Tabla 2. Efectos en conductividad, salinidad y pH, en profundidades y tratamientos a CL.

Tratamientos	Conductividad (mmhos cm ⁻¹)			Salinidad (mg l ⁻¹)			pH		
	0-15	15-30	30-45	0-15	15-30	30-45	0-15	15-30	30-45
Valor Inicial	0.25	0.21	0.20				7.46	7.97	8.31
Ambiental	0.25	0.21	0.21	235	112	108	7.7	7.8	7.8
Prec Amb	0.28	0.22	0.22	144	112	107	7.8	7.9	7.8
Temp 25	0.45	0.25	0.24	316	127	98	8.0	7.6	8.1
Temp 35	0.62	0.27	0.21	151	149	81	7.3	7.8	7.6
Temp 45	0.51	0.23	0.22	195	91	89	7.8	8.2	8.2
PTemp 25	0.45	0.25	0.24	222	110	105	8.1	7.8	7.6
PTemp 35	0.90	0.44	0.26	275	211	113	7.8	8.1	8.1
PTemp 45	0.96	0.22	0.23	102	98	91	7.5	8.1	8.2

Tabla 3. Efectos en conductividad, salinidad y pH, en profundidades y tratamientos a LC.

Tratamientos	Conductividad (mmhos cm ⁻¹)			Salinidad (mg l ⁻¹)			pH		
	0-15	15-30	30-45	0-15	15-30	30-45	0-15	15-30	30-45
Valor Inicial	0.47	0.33	0.24				7.88	7.98	8.10
Ambiental	0.48	0.33	0.24	759	318	146	8.1	7.8	8.1
Prec Amb	1.06	0.45	0.25	535	347	109	8.2	8.1	8.3
Temp 25	2.57	1.50	0.45	1894	1561	292	8.1	8.1	8.1
Temp 35	0.51	0.41	0.45	592	349	314	8.1	8.1	8.1
Temp 45	0.53	0.46	0.24	558	325	293	8.1	8.0	8.0
PTemp 25	1.62	2.23	0.46	1198	1733	324	7.4	8.1	8.0
PTemp 35	0.75	0.44	0.78	536	310	588	7.8	7.8	7.8
PTemp 45	0.54	0.45	0.25	693	308	106	8.1	8.4	7.8

Efecto en el COS

El efecto de la interacción Labranza X temperatura X humedad sobre el contenido de COS se encuentra en la fig. 1, en los valores obtenidos se encuentran mayores impactos en los tratamientos por temperatura. Los valores al final de los tratamientos fueron en general mas bajos que los iniciales, y los valores en el contenido del COS fueron menores en las capas mas profundas.

Evaluación del PMC

Los efectos de la temperatura, humedad y labranza en las emisiones de CO₂-C en distintos tiempos y profundidades se evaluaron a través del PMC. En las tres profundidades se presentó interacción (P<0.05) entre la humedad y la temperatura en la LC, pero no en la CL (P>0.05). En términos generales en la LC el PMC disminuyó (P<0.05) con

el incremento de la temperatura, pero los valores en humedad fueron menores (P<0.05) que sus correspondientes sin humedad (figs. 2, 3, y 4). También, los valores del PMC disminuyeron con el aumento de la profundidad.

Discusión

En este trabajo se demostró que el contenido de COS y PMC del suelo son afectados por la interacción entre la temperatura, la humedad y el tipo de labranza, particularmente en las capas superficiales.

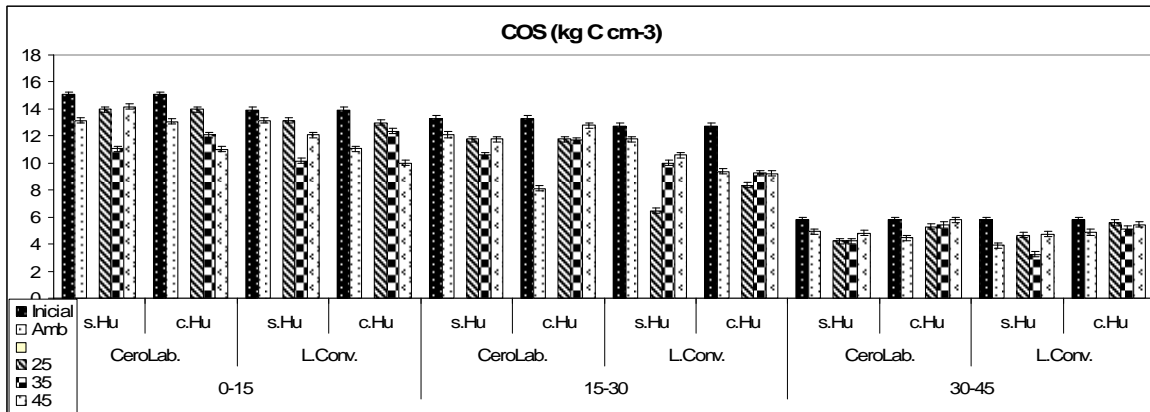


Figura 1. Carbón orgánico en suelos y la disminución por tratamientos y labranza.

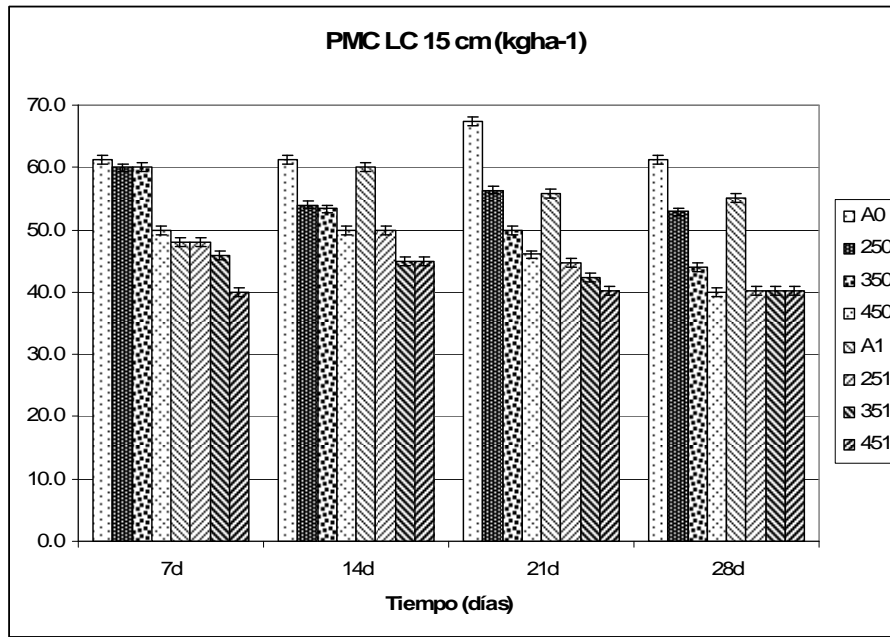


Figura 2. PMC en LC a 15 cm de profundidad.

Contenido de COS

En condiciones de ambiente natural, los valores estimados de contenido de C en los suelos en este estudio están dentro de los rangos de los esperados para un clima subtropical semiárido y tipo de textura. Como era de esperarse, en este estudio se encontró una mayor concentración en el contenido de COS en las capas superficiales que en las capas profundas. Estos valores se semejan a los reportados en otros estudios, para vertisoles de climas subtropicales (Batjes and Sombroek, 1997; Batjes, 1996; Mandal et al., 2007; Martens et al.,

2003; Wright et al., 2005). En estas condiciones, se encontró que COS inicial disminuyó en condiciones ambientales a los 28 días de tratamiento en el laboratorio de un 4 a un 33%. Estos valores concuerdan con los encontrados Conant (2000), cuyos datos de disminución del COS fueron de 20 a 22% en capas superficiales en condiciones ambientales en suelos de climas subtropicales semiáridos. En los datos obtenidos en este estudio se observa una mayor variación en la disminución de los contenidos del COS después de los tratamientos en comparación de los de Conant,

(2000). Esto probablemente se presentó debido a que se aglutinó en un agregado que impidió la restauración semanal de la humedad de campo ya que el agua penetró a escasos 1cm. Sin embargo, este problema de escaso drenaje se presentó en

todos los tratamientos sin humedad, por lo que sirve para interpretar las diferencias de valores entre los de humedad y sin ella.

Los suelos donde se implementó la CL ($15.1 \text{ kg C cm}^{-3}$) mostraron valores mayores que los suelos con

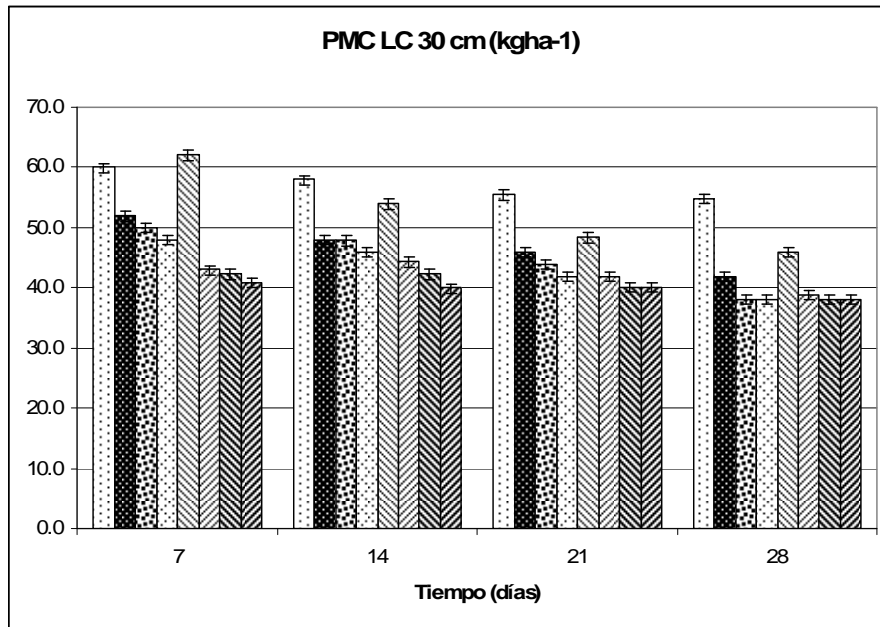


Figura 3. PMC en LC a 30 cm de profundidad.

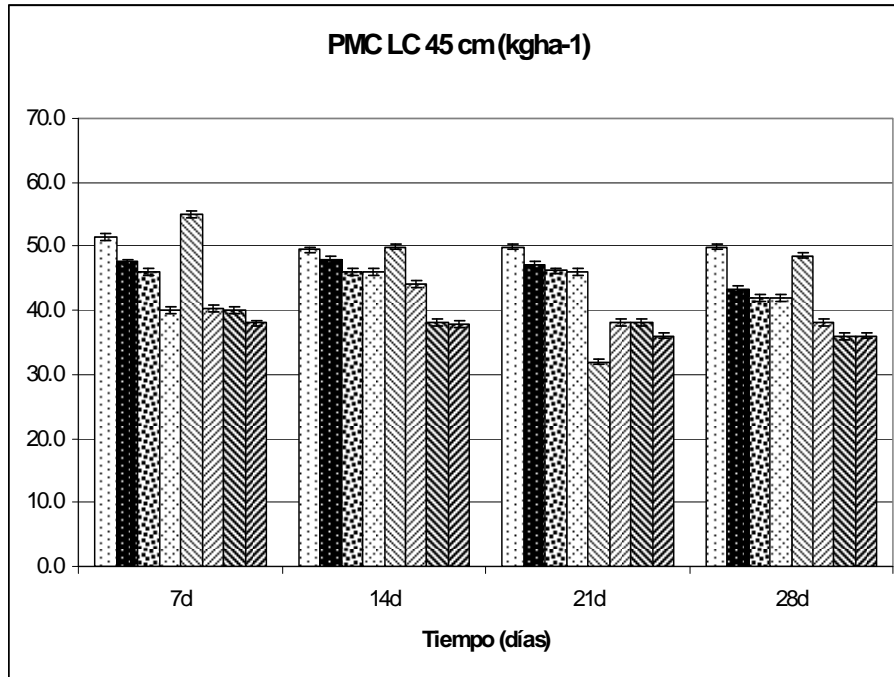


Figura 4. PMC en LC a 45 cm de profundidad

LC (13.7) en la capa superficial. Estos resultados concuerdan con los encontrados por otros autores en otro tipo de suelo aunque la diferencia fue menor a la reportada por los autores (Alvarez et al., 1998; Dersch and Böhm, 2001; Fabrizzi et al., 2002; Sa' et al., 2001; Sherrod et al., 2003; West and Marland, 2002; Wright et al., 2004). El lote de CL donde se muestreo tenía 6 años en este tipo de labranza, pero solo dedicado al monocultivo del maíz y en un clima subtropical. Estas condiciones climáticas y de cultivo causaron que los contenidos por la CL no muestren los beneficios observados en otras condiciones ambientales. Los cambios en concentración del COS por la implementación de la CL en 15-30cm aumentó de 4% y en la capa 30-45 no presentó variación en comparación con la LC. Wright, (2005) observó en un suelo subtropical con monocultivo de maíz con 4 años de implementarse la CL, un incremento del 11% en la capa superficial y disminución del 30 al 36% en otras profundidades. Esto se debe a que en la capa superficial se encuentran los residuos de los cultivos de maíz y el C de los microorganismos que viven en la superficial en ambas labranzas. Mientras que a otras profundidades en la LC es incorporados los residuos por las practicas de laboreo lo que aumenta el contenido de COS y en la CL.

En los tratamientos de temperatura en condiciones de humedad se observo que el contenido de COS disminuye con el incremento de la temperatura de 25 a 45°C en las muestras de suelo superficial (0-15cm). En cambio en las muestras donde no hubo humedad no se observa una tendencia explicable.

En las muestras de más de 15cm de profundidad la tendencia mencionada parece invertirse pues en varios casos se observa un incremento en los niveles de COS conforme aumenta la temperatura, en ambas condiciones de humedad. En los suelos de capas 15-30 y 30-45cm sometidos a tratamiento de temperatura los contenidos de COS disminuyeron del 6 al 33% como puede observarse en la fig. 1. Mientras que los de condiciones de temperatura y humedad los contenidos de COS que reportan a temperatura de 25° mayormente y menos a 35 y 45° o sea que se invierten los valores en rangos del 3 al 6% y esta tendencia se mantiene en ambas labranzas. Por lo tanto, en este estudio la influencia de la temperatura no muestra ninguna tendencia lineal excepto en las capas superficiales con humedad donde se observa la disminución del COS

conforme aumenta la temperatura.

En efecto, el incremento de la temperatura provoca una disminución del COS por aumento en la velocidad de descomposición de la MOS y en la respiración de microorganismos. Y las diferentes tasas de descomposición por profundidad a diferentes temperaturas se debe a las fracciones de la MOS tienen diferentes sensibilidades a la descomposición a diferentes temperaturas. Esto probablemente se debe a que la MOS que se encuentra en la superficie está formada de partículas más lábiles y que llegan las resistentes a mayores profundidades. Esto también lo observó Kirschbaum, (2004) que el sugirió que intervienen varios tipos de residuo con diferentes resistencias a la descomposición y que con el incremento se descomponen los lábiles mas fácil y después los mas resistentes. Davison, (2006) y Mandal, (2007), también lo han observado y sugieren clasificar el COS en tipo de resistencia a la descomposición y así poder predecir los cambios en su contenido por efecto del tiempo, temperatura y humedad en la descomposición con un factor llamado Q_{10} .

Efecto de respiración o PMC

Los resultados mostrados en la fig. 2, muestran que el PMC en la capa superficial es mayor en las muestras de CL que en la LC, este efecto se invierte en las capas más profundas particularmente en la 15-30cm donde las muestras de LC mostraron valores mayores. Estos datos concuerdan con los reportados por Álvarez, (2000) y pueden explicarse porque en el LC el contenido de residuos de los cultivos permanece y por tanto es mayor en la capa superficial mientras que en la LC el COS aumenta por la incorporación de los residuos en la profundidad de 15-30 a través de las labores.

En este trabajo se encontró que la reducción del contenido del COS concuerda con el aumento de la tasa de respiración, que se midió con el PMC debido a que se mineraliza y es emitido como CO_2 -C a la atmósfera. En estos datos la mineralización disminuyo por efecto de la humedad, debido al taponamiento con agua de los poros del suelo. De esta manera, el CO_2 que se encontraba en el suelo, se disuelve en ella y se forman carbonatos y bicarbonatos que contribuyen a la pérdida entre el C disminuido y el emitido como CO_2 -C (VandenBygaart et al., 2002).

En los resultados de la tasa de mineralización en este trabajo, los de CL presentaron interacción con

la humedad y temperatura en una menor proporción que los sometidos a LC, esto también lo observaron otros autores (Conant et al., 2000; Houghton, 2003; Mandal et al., 2007; Sa' et al., 2001; Sponseller, 2007). Estos resultados difieren de los que encontró Álvarez, (1998) donde el flujo $\text{CO}_2\text{-C}$ a la atmósfera fue similar en CL y LC, pero sí encontró incrementos lineales al aumento de la temperatura, pero no al contenido de humedad en el suelo. Sin embargo en la interacción de la temperatura y humedad se encontró incrementos hasta del 82% en la respiración. Pero observó un incremento importante con la humedad y la temperatura juntas independientemente de la labranza (Blanco-Canqui and Lal, 2004).

Conclusiones

Hay interacción entre el contenido de COS en suelos agrícolas subtropicales semiáridos con la humedad, la temperatura y a la labranza, pero se observó que la implementación de la CL puede disminuir la pérdida del COS.

Se esperaba una mayor pérdida del COS con el incremento del PMC, se asume que esta diferencia de los resultados y los esperados, se debe a su composición mineral y textura del suelo en la zona de estudio.

La implementación de la CL puede proteger el COS de los efectos del CC, por la puede contribuir a mitigar el CC por la reducción de las emisiones de CO_2 protección a los efectos de la humedad y de la temperatura ante los efectos de las precipitaciones abundantes, sequías prolongadas, erosión que provocan pérdidas de la MOS estabilizada y almacenada. Por lo tanto, la implementación de la CL contribuye a la permanencia y aumento del COS almacenado con la incorporación de los residuos de las cosechas.

Agradecimientos

Las determinaciones de materia orgánica y textura se realizaron en el CIIDIR-Sinaloa del IPN, con el apoyo de los químicos Carlos René Montoya Alvarado y Mónica Sánchez Verduzco de Laboratorios Verduzco. Se contó con el apoyo del análisis estadístico Dr. Fausto Sánchez Gacía-Figueroa.

Referencias

- Al-Kaisi M.M. y Yin X.H. 2005. Tillage y crop residue effects on soil carbon y carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. *Journal of Environmental Quality* 34:437-445.
- Alvarez R. y Alvarez C.R. 2000. Soil organic matter pools and their associations with carbon mineralization kinetics. *Soil Science Society of America Journal* 64:184-189.
- Alvarez R., Russo M.E., Prystupa P., Scheiner J.D., y Blotta L. 1998. Soil Carbon Pools under Conventional and No-Tillage Systems in the Argentine Rolling Pampa. *Agronomy Journal* 90:138-143.
- Anderson J.P.E. 1982. Soil respiration p. 837-871, *In* Keeney D. R. E., ed. *Methods of Soil Analysis*, second ed. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Batjes N.H. y Sombroek W.G. 1997. Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. *Global Change Biology* 3:161-173.
- Batjes N.H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* 47:151-163.
- Blanco-Canqui H. y Lal R. 2004. Mechanisms of carbon sequestration in soil aggregates. *Critical Reviews in Plant Sciences* 23:481-504.
- Bowman R.A., Reeder J.D. y Wienhold B.J. 2002. Quantifying laboratory and field variability to assess potential for carbon sequestration. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33:1629-1642.
- Conant R.T., Klopatek J.M. y Klopatek C.C. 2000. Environmental Factors Controlling Soil Respiration in Three Semiarid Ecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:383-390.
- Davison E.A. y Janssens I.A. 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440:165-173.
- Dumanski J. 2003. Carbon sequestration, soil conservation, and the Kyoto protocol: Summary of implications. *Climatic Change* 65:255-261.
- Estados Unidos Mexicanos. 2000. Norma Oficial Mexicana, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreos y análisis., pp. 1-73 NOM-021-RECNAT, Vol. NOM. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Fang C., Smith, P., Moncrieff, J. B. y Smith, J. U. 2005. Similar response of labile and resistant soil organic matter pools to changes in temperature. *Nature* 433:57-58.
- García E. 1976. Modificaciones a la Clasificación Climática de Köppen para adaptarla a la Republica Mexicana *In* I. d. G. d. I. U. N. A. M. México, (ed.).
- Gill J.L. 1988. Repeated measurement: Split-Plot trend analysis versus analysis of first differences. *Biometrics* 44:289-297.
- Houghton R.A. 2003. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? *Global Change Biology* 9:p.500-509.
- IPCC 2001. Cambio Climático 2001: La base científica — Contribución del Grupo de trabajo I al Tercer informe de evaluación del IPCC.
- Kirschbaum M.U.F. 2004. Soil respiration under prolonged soil warming: are rate reductions caused by acclimation or substrate loss? *Global Change Biology* 10:1870-1877.
- Lal R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123:1-22.
- Lal R. 2005. Soil carbon sequestration for sustaining agricultural production and improving the environment with particular

- reference to Brazil. *Journal of Sustainable Agriculture* 26:23-42.
- Mandal B., Majumder B. Bandyopadhyay P.K., Hazra G.C., Gangopadhyay A., Samantaray R.N., Mishra A.K., Chaudhury J., Saha M.N. y Kundu S. 2007. The potential of cropping systems and soil amendments for carbon sequestration in soils under long-term experiments in subtropical India. *Global Change Biology* 13:357-369.
- Martens D.A., Reedy T.E. y Lewi D.S. 2003. Soil organic carbon content and composition of 130-year crop, pasture and forest land-use managements. *Global Change Biology* 10:65-78.
- Martens D.A., Emmerich W., McLain J.E.T. y Johsen T.N. 2005. Atmospheric carbon mitigation potential of agricultural management in the southwstern USA. *Soil & Tillage Research* 83:95-119.
- Russell A.E., Laird D.A., Parkin T.B. y Mallarino A.P. 2005. Impact of nitrogen fertilization and cropping system on carbon sequestration in Midwestern Mollisols. *Soil Science Society of America Journal* 69:413-422.
- Sa' J.C., Cerri C.C., Dick W.A., Lal R., Filho S.P.V., Piccolo M.C. y. Feigl B.E. 2001. Organic Matter Dynamics and Carbon Sequestration Rates for a Tillage Chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1486-1499.
- SAS Institute. 1986. *STAT User's Guide Release Release 6.12*. Edition SAS Institute, Cary, NC. USA
- Six J., Conant R.T., Paul E.A. y Paustian K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241:155-176.
- Sponseller R.A. 2007. Precipitation pulses and soil CO₂ flux in a Sonoran Desert ecosystem. *Global Change Biology* 13:426-436.
- U.S.D.A. 1999. *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. Primera ed. Instituto de Suelos CRN-CNIA-INTA, Argentina.
- VandenBygaart A.J. y Kay B.D. 2004. Persistence of soil organic carbon after plowing a long-term no-till field in southern ontario, Canada. *Soil Science Society of America Journal* 68:1394-1402.
- VandenBygaart A.J., Yang X.M., Kay B.D. y Aspinall J.D. 2002. Variability in carbon sequestration potential in no-till soil landscapes of southern Ontario. *Soil & Tillage Research* 65:231-241.
- Vine E. 2004. Regulatory constraints to carbon sequestration terrestrial ecosystems and geologic formations: a California perspective. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 9:77-95.
- Wright A.L., Hons F.M. y Matocha J.E.J. 2005. Tillage impacts on microbial biomass and soil carbon and nitrogen dynamics of corn and cotton rotations. *Applied Soil Ecology* 29:85-92.