



Respiración del suelo en cuatro sistemas de uso de la tierra

María Inés Yáñez Díaz¹

Israel Cantú Silva¹

Humberto González Rodríguez¹

José G. Marmolejo Monsiváis¹

Enrique Jurado¹

Marco V. Gómez Meza²

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

²Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

*Autor por correspondencia, email: inesyd@gmail.com



Resumen:

La respiración del suelo (R_s) o emisión del dióxido de carbono (CO_2) es considerada como el segundo flujo de carbono más importante, por su magnitud en los ecosistemas terrestres. El cambio de uso de suelo ha modificado el ciclo global del carbono, lo que puede agudizar el calentamiento global. El objetivo del estudio fue evaluar las variaciones diurnas y estacionales en el flujo de CO_2 en Vertisoles bajo cuatro sistemas de uso de suelo en el noreste de México; matorral, pastizal, agrícola y plantación de *Eucalyptus* spp. Se realizaron mediciones semanales durante un año, en muestreos de mañana y tarde, con un analizador portátil EGM-4; además, y se midieron la temperatura del suelo y su humedad. La R_s por la mañana fue de $3.21 \mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (agrícola), $3.86 \mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (plantación), $4.61 \mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (pastizal) y $6.17 \mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (matorral), los valores se incrementaron con la misma tendencia para la R_s de la tarde. Se determinaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en los usos de suelo y hora de muestreo. La temperatura osciló de $12 \text{ }^\circ\text{C}$ a $35.4 \text{ }^\circ\text{C}$ y la humedad del suelo en valores de 6.9% a 47% . En Vertisoles, las emisiones de CO_2 varían según su uso, los más altos se presentan en la tarde y correlacionado con la humedad. Los sistemas de matorral y pastizal presentaron los valores más altos en la R_s , los cuales son más comunes en el noreste de México.

Palabras claves: Calentamiento global, flujo de CO_2 , Matorral Espinoso Tamaulipeco, respiración de suelo, sistemas de uso de suelo, Vertisol.

Fecha de recepción/Reception date: 16 de marzo de 2017

Fecha de aceptación/Acceptance date: 21 de julio de 2017.

Introducción

La respiración del suelo (R_s) o flujo del CO_2 , es un importante componente del ciclo del carbono y es considerado el segundo mayor flujo de carbono entre la tierra y la atmósfera (Cantú *et al.*, 2010; Srivastava *et al.*, 2012). La producción de CO_2 del suelo es resultado de procesos biológicos (Moitinho *et al.*, 2015), tales como la respiración de raíces y de los organismos edáficos, así como de, la descomposición de la materia orgánica (Millard *et al.*, 2008), y en menor medida, de la oxidación química de los compuestos de carbono (Lloyd y Taylor, 1994). La velocidad a la que el carbono del suelo es emitido en forma de CO_2 determina el flujo neto entre el suelo y la atmósfera (Schwendenmann *et al.*, 2007). Pequeños cambios en la respiración del suelo afectan la dinámica global de carbono (Wei *et al.*, 2014).

Los suelos son el mayor reservorio de carbono (1 500 PgC) (Lal, 2008), ya que almacenan 80 % del carbono terrestre global (Nielsen *et al.*, 2011) y pueden actuar como fuente o sumidero del CO_2 atmosférico e influir en los procesos del cambio climático global (Goudde *et al.*, 2016). Un componente importante es el almacenado en los suelos, ya que contiene más C que la atmósfera y biósfera (Mishra *et al.*, 2009). La tasa global de flujo de carbón de los ecosistemas a la atmósfera es, aproximadamente, de 75 a 100 PgC año⁻¹, el cual es 10 veces más que la cantidad emitida por combustibles fósiles (Buczko *et al.*, 2015).

Los principales factores que regulan la respiración del suelo son su temperatura y su humedad (Davidson *et al.*, 1998); la precipitación (Hussain *et al.*, 2011) y el tipo de vegetación (Scholze *et al.*, 2003), estos son de interés, debido a su efecto en los incrementos de la respiración del suelo por el incierto escenario de cambio climático global.

Las emisiones de carbono derivadas de los cambios de uso de suelo representan la segunda mayor fuente antrópica de carbono a la atmósfera, y es el componente con

mayor incertidumbre en el ciclo global del carbono (Scharlemann *et al.*, 2014), ya que conduce a una pérdida de carbono en los suelos (Smith *et al.*, 2016).

Los suelos ocupan 8.3 % del territorio nacional, se consideran los más productivos del país (Torres *et al.*, 2016). En el noreste de México, sostienen en su superficie actividades productivas agrícolas o pecuarias y sustentan la vegetación nativa de importancia económica regional (Llorente, 2004). Su nombre proviene del latín *vertere* (dar vuelta), que hace referencia al reciclado interno constante del material de suelo (IUSS, 2007); son arcillosos, que tienden a aglomerarse, fácilmente, al mojarse y se compactan fácilmente (Ghosh *et al.*, 2011).

Los objetivos del presente estudio fueron evaluar las variaciones diurna y estacional del flujo de CO₂ en un Vertisol bajo cuatro sistemas de uso de suelo en el noreste de México y su relación con las variables ambientales, con el fin de comparar la emisión de CO₂ del suelo en los diferentes sistemas de uso.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en el municipio Linares, Nuevo León, noreste de México, en el campus de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, la cual se localiza en las coordenadas geográficas 24°47'51.22" N y 99°32'29.71" O, a una altitud de 380 m (Figura 1). El clima es subtropical y semiárido con verano cálido, temperatura promedio mensual de 14.7 °C en enero, a 22.3°C en agosto. La precipitación promedio anual es de 805 mm, con una distribución bimodal (González *et al.*, 2010). El tipo de suelo predominante es Vertisol, que se caracteriza por ser profundo, de coloración gris-oscura, clase textural fina arcillo-limoso con alto contenido de montmorillonita que se contraen y,

expanden, notablemente en respuesta a los cambios en el contenido de humedad del suelo (Woerner, 1991). En el Cuadro 1, se presentan algunas características físicas y químicas del Vertisol, para la profundidad 0-30 cm en cada uno de los sistemas de uso de suelo.

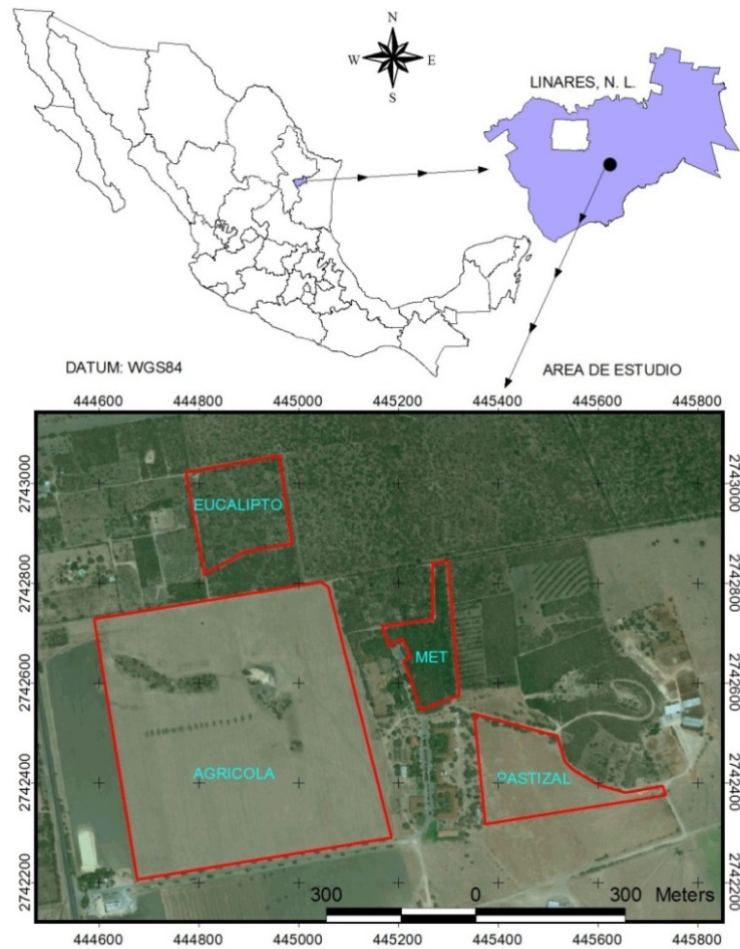


Figura 1. Ubicación del área de estudio.



Cuadro 1. Propiedades químicas y físicas de los Vertisoles (0-30 cm) para cada sistema de uso de suelo.

Propiedades del suelo	Sistemas de uso de suelo			
	Matorral	Pastizal	Plantación	Agrícola
pH	7.60	7.61	7.64	7.72
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0.9	1.3	1.1	1.1
Arena (%)	17.8	16.2	18.8	9.4
Limo (%)	41.2	38.9	40.2	40.9
Arcilla (%)	41.0	44.9	41.0	49.7
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0.14	0.14	0.10	0.09
Materia orgánica (%)	6.1	4.6	3.5	2.3
Cap. Intercambio catiónico (cmol Kg ⁻¹)	46.7	44.9	38.1	36.1

Parcelas experimentales

Se ubicaron cuatro sistemas de uso de suelo: 1) Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET), que corresponde a la vegetación arbórea nativa, constituida por la dominancia de especies espinosas, donde predominan *Celtis pallida* Torr., *Acacia rigidula* Benth., *Randia aculeata* L., *Condalia lycioides* (A.Gray) Weberb., *C. obovata* Hook., *Bernardia myricaefolia* Benth.& Hook.f., *Forestiera angustifolia* Torr., *Karwinskia humboldtiana* (Schult.)Zucc., entre otras (Inegi, 2009); 2) área de pastizal, integrada por un sistema de ganadería intensiva y rotación de potreros con *Dichanthium annulatum* (Forssk.) Stapf; 3) área agrícola, campo de rotación de cultivos, en las que se siembra *Sorghum bicolor* (L.) Moench. y *Triticum* spp., bajo un sistema de labranza cero con criterios de producción sostenible; y 4) plantación de eucaliptos, conformada por *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. microtheca*

F.Muell., la cual se estableció en 1983 con fines de investigación, plantada inicialmente bajo un sistema Taungya (Cantú *et al.*, 2010).

Mediciones del flujo del CO₂, temperatura y humedad del suelo

La respiración del suelo se determinó *in situ*, mediante el uso del método de la cámara dinámica cerrada *Parkinson* (1981), con un sistema portátil EGM-4. Este sistema está equipado con un gas infrarrojo no dispersivo (IRGA) y una cámara de suelo (SCR-1) para medir el flujo de CO₂ (EGM-4 PP Systems, Massachusetts, USA). Las mediciones se realizaron del 13 de marzo del 2015 al 07 de marzo del 2016, semanalmente, dos veces al día (8:00 y 14:00 h, denominadas mañana y tarde). Las lecturas se hicieron para cada sistema, con cuatro repeticiones al azar a una distancia mínima de 5 m entre ellas, esto para los sistemas de pastizal, matorral y plantación; mientras que, para el área agrícola se efectuaron entre filas de plantas, para un total de 32 mediciones por fecha. La cámara se colocó directamente sobre el suelo y el tiempo de las mediciones fue de aproximadamente 120 segundos, en función dependiendo de la tasa de incremento de las concentraciones de CO₂ en la cámara.

El flujo de CO₂ se estimó en micromoles de dióxido de carbono por metro cuadrado por segundo ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). La temperatura del suelo se midió en conjunto con la respiración, mediante un sensor (STP-1) instalado a la cámara de respiración del suelo. El contenido de humedad se determinó por gravimetría con el método AS-05 NOM-021 RECNAT-2000 (Semarnat, 2002), a una profundidad de 0-15 cm.



Condiciones ambientales

Se registró, diariamente, la precipitación (mm) y temperatura del aire (°C), para ello se utilizó una estación meteorológica portátil, EMP, *Precision Weather Station DAVIS VANTAGE PRO2 PLUS* ubicada a 100 m del área de estudio (Figura 2). Durante el periodo experimental se presentó una precipitación total de 695 mm y la temperatura fluctuó entre 6.6 °C (enero 2016) a 36.5 °C (agosto 2015).

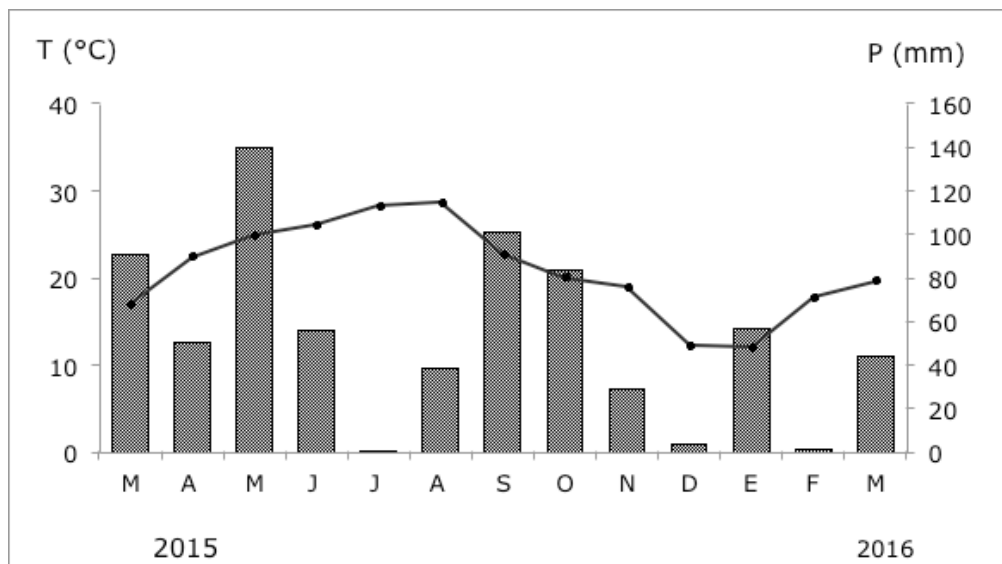


Figura 2. Diagrama climático con valores mensuales de temperatura ambiente del aire (°C) y precipitación (mm) para el sitio de estudio, de marzo 2015 a marzo 2016.

Análisis estadísticos

El análisis de varianza se empleó para evaluar el efecto en los flujos de CO₂ por uso de suelo (factor U) y hora de muestreo (factor H), así como su interacción (U*H) para cada fecha y para el total de las observaciones. Los datos de flujo de CO₂

fueron sometidos a transformación logarítmica para cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. Se aplicó una prueba de *Tukey*, para establecer las diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) de la respiración entre los sistemas de uso de suelo para mañana y tarde. El análisis de correlación *Spearman* se usó para relacionar la respiración del suelo con las variables ambientales, las cuales no cumplieron los supuestos de normalidad. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (por sus siglas en inglés, SPSS) versión estándar 13.0 para *Windows* (SPSS Inc., Chicago, IL.)

Resultados y Discusión

El intervalo del flujo de CO₂ total varió entre 0.06 y 48.7 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. De acuerdo al análisis de varianza se obtuvieron diferencias ($P \leq 0.05$) en la respiración de suelo, temperatura y humedad de suelo para el factor uso de suelo (FU); el factor hora de muestreo (FH) no mostró diferencias en la humedad del suelo, mientras que para la interacción FU*FH, tampoco hubo diferencias significativas en ninguna de las variables estudiadas (Cuadro 2). La R_s es mayor en el matorral (6.17 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y diferente a los demás usos de suelo, seguido por el pastizal (4.61 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y por último la plantación (3.86 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y el área agrícola (3.21 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) para los muestreos de mañana; los valores aumentaron en las mediciones de la tarde a 4.23, 4.33, 5.93 y 8.40 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Se observó un comportamiento para mañana y tarde de matorral > pastizal > plantación > agrícola.

La prueba de *Tukey* ($P \leq 0.05$) evidenció diferencias estadísticamente significativas en la R_s ($P \leq 0.05$) para los muestreos de mañana y tarde en los diferentes sistemas de uso de suelo (Figura 3). No se registraron diferencias entre matorral y plantación, en ambos horarios de muestreo; por lo que, si bien el sistema agrícola

es el de menor emisión de CO₂, no es diferente estadísticamente a las emisiones de la plantación de Eucalipto. Schwendenmann *et al.* (2007) tampoco citan diferencias en la Rs entre un bosque y pastizal cuyos valores fueron 5.7 y 5.2 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ respectivamente, y le atribuyen al pastizal la alta producción de biomasa subterránea.

Cuadro 2. Análisis de varianza para la respiración, humedad y temperatura del suelo para el modelo con dos criterios de clasificación (Uso de suelo y hora de muestreo) y el contraste de Levene.

Variable	Modelo F _(7, 1656)	FU ^(a) F _(3,1656)	FH ^(b) F _(1, 1656)	FU*FH F _(3, 1656)	Prueba	R ² _{ajustada}
					de Levene ^(c) F _(7, 1656)	
Respiración	19.381	38.716	19.257	0.086	1.178	0.072
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.968)	(0.312)	
Humedad	19.116	42.443	1.619	1.621	17.160	0.071
	(0.000)	(0.000)	(0.203)	(0.183)	(0.000)	
Temperatura	19.681	19.554	34.804	0.768	2.434	0.051
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.512)	(0.018)	

FU^(a) = Uso del suelo; FH^(b) = Hora de muestreo; ^(c) = Para contrastar la hipótesis nula de homogeneidad de varianzas.

Valores entre paréntesis muestran el valor p (P≤0.05).

Barras con letra diferentes en una misma hora de muestreo, difieren significativamente a $P \leq 0.05$.

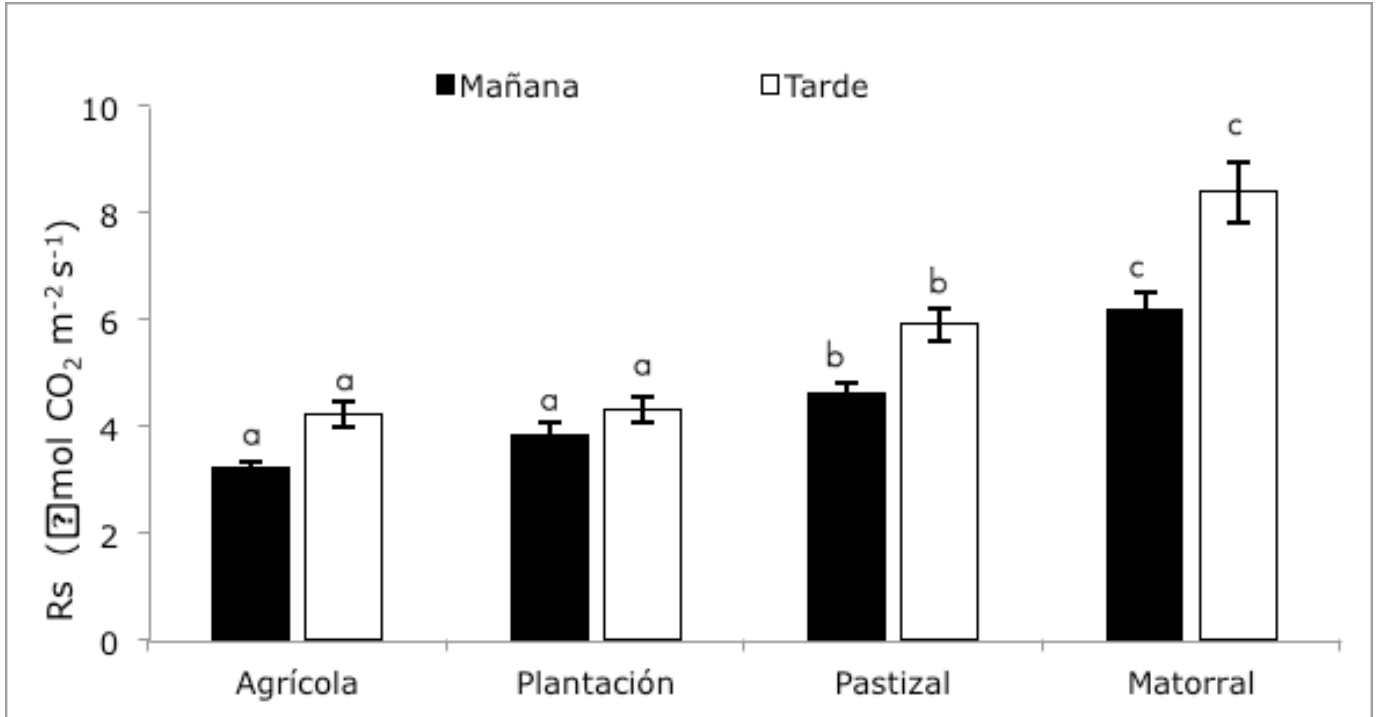


Figura 3. Valores medios (n=52) de respiración de suelo ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) para mañana y tarde en los cuatro usos de suelo con barras de error estándar.

Se observó que los valores de la Rs son mayores en las mediciones correspondientes a los meses de abril y mayo, así como de septiembre a octubre; en ellas, el matorral alcanza el máximo con $37 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, el 18 de mayo 2015, a diferencia de los meses de julio-agosto y diciembre-febrero, cuando la respiración fue menor a $10 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Estos resultados muestran la variabilidad de la Rs a lo largo de un año (figuras 4 y 5), lo cual indica, que en un mismo tipo de suelo, distintos usos del mismo reflejan diferencias en emisiones de CO_2 , y en ella influyen la interacción de la humedad del suelo. Vallejo *et al.* (2005) señalan que los cambios de uso de suelo y su manejo indican cambios en contenidos de carbono, lo que concuerda con los contenidos de materia orgánica registrados en el presente estudio. Se observa una misma tendencia en el aumento

de la materia orgánica y la respiración del suelo en los distintos usos. Vázquez *et al.* (2013) documentan que bajos contenidos de materia orgánica reflejan una actividad microbiana disminuida, lo que resulta en una menor emisión del CO₂. Por su parte, Scharlemann *et al.* (2014) demuestran pérdidas de carbono orgánico entre 25-50 %, debido a disturbios que alteran las características fisicoquímicas de los suelos, modificando las reservas de carbono (Weissert *et al.*, 2016).

Cantú *et al.* (2010) evaluaron los flujos en CO₂ en 2001 en condiciones similares en cinco sistemas de uso de suelo en Vertisol. La tasa de Rs en la mañana varió de 0.7 a 8.4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y en la tarde con un intervalo entre 0.6 a 14.4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Los resultados anteriores concuerdan en que el área agrícola es la que menor flujo de CO₂ presentó (1.9 y 2.5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para mañana y tarde, respectivamente). Aunque, difieren en que el área de pastizal fue la de mayor emisión (3.5 y 5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para mañana y tarde).

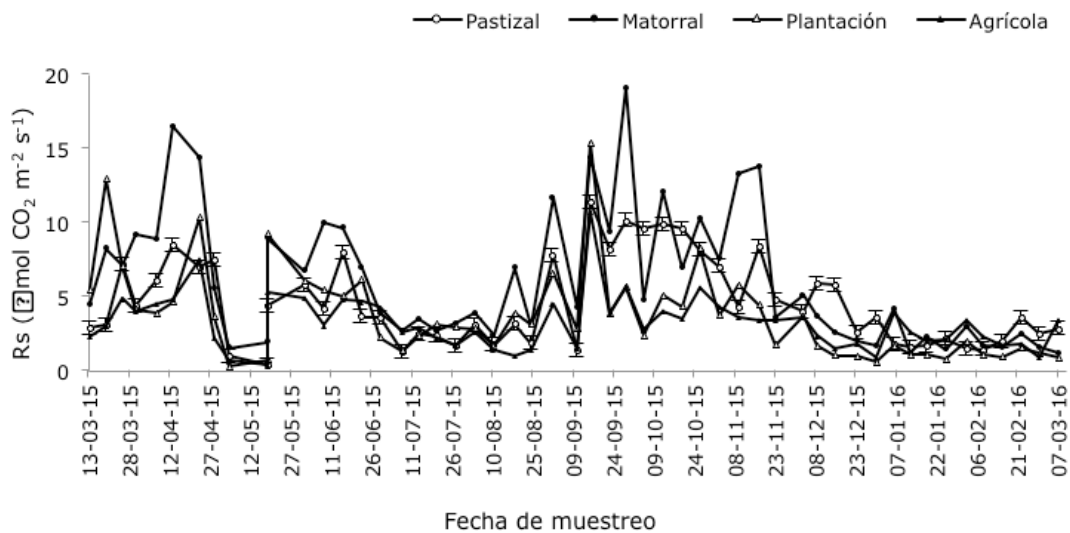


Figura 4. Flujo de CO₂ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) para muestreo de mañana durante el periodo de estudio para los cuatro usos de suelo.

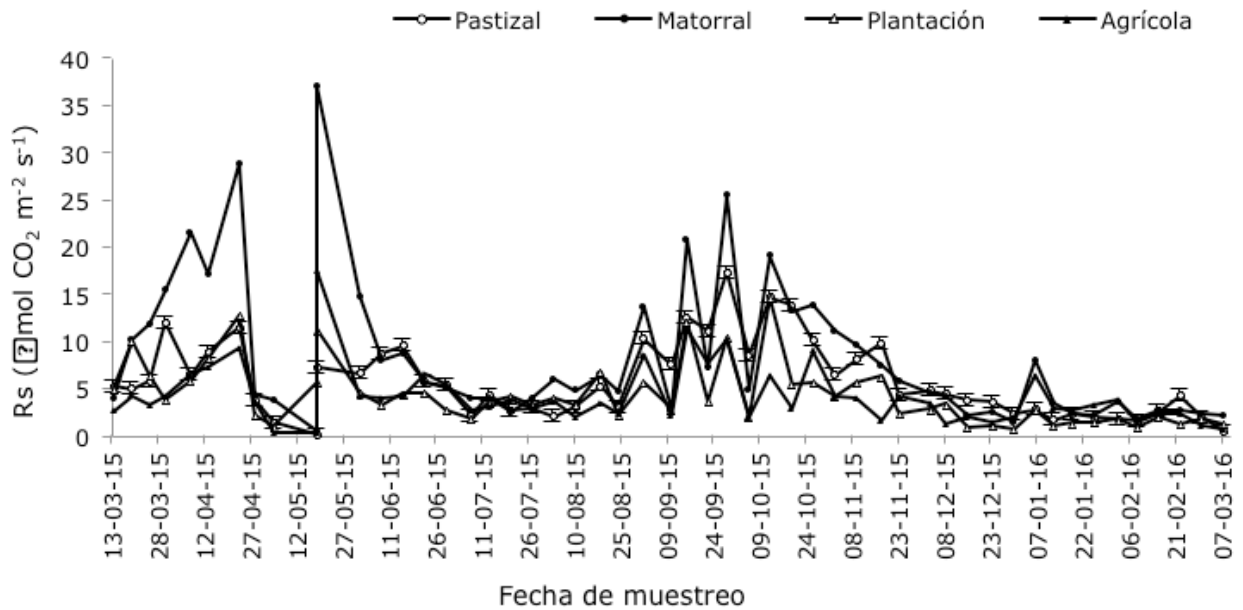


Figura 5. Flujo de CO₂ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) para muestreo de tarde, durante el periodo de estudio para los cuatro usos de suelo.

En el Cuadro 3 se resumen los resultados del análisis de varianza de dos vías para la Rs, por fecha de muestreo para los factores uso de suelo (FU), hora de muestreo (FH) y la interacción (FU*FH). De los 52 muestreos realizados, se determinaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la respiración del suelo en 41 fechas para uso de suelo, en 18 fechas se registraron diferencias ($P \leq 0.05$) entre Rs de mañana y tarde. Y en la interacción entre FU*FH se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en 13 de 52 muestreos.



Cuadro 3. ANOVA de la respiración del suelo por uso de suelo (U), hora de muestreo (H) y su interacción por fecha de muestreo.

Fecha de muestreo	Uso de suelo (FU)		Hora de muestreo (FH)		Interacción (FU*FH)		R ² Ajustada
	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P	
13-Mzo-15	6.53	0.002	0.69	0.412	2.31	0.101	0.395
19-Mzo-15	23.50	0.237	1.83	0.188	1.51	0.237	0.693
25-Mzo-15	9.59	< 0.001	0.03	0.844	3.30	0.037	0.506
30-Mzo-15	33.22	< 0.001	18.02	< 0.001	7.91	0.001	0.813
07-Abr-15	15.65	< 0.001	8.75	0.007	1.91	0.154	0.637
13-Abr-15	25.58	< 0.001	8.42	0.008	1.67	0.199	0.729
23-Abr-15	12.60	< 0.001	12.32	0.002	1.17	0.342	0.601
28-Abr-15	4.09	0.018	3.11	0.090	0.64	0.596	0.250
04-May-15	12.29	< 0.001	6.20	0.020	3.33	0.036	0.598
18-May-15	12.26	< 0.001	0.05	0.823	6.17	0.003	0.609
25-May-15	15.24	< 0.001	45.57	< 0.001	6.39	0.002	0.769
01-Jun-15	8.41	0.001	1.31	0.263	5.14	0.007	0.530
08-Jun-15	13.37	< 0.001	0.21	0.645	5.57	0.005	0.618
15-Jun-15	11.50	< 0.001	0.31	0.582	0.65	0.587	0.490
22-Jun-15	1.04	0.392	0.38	0.540	1.54	0.229	0.036
29-Jun-15	8.57	< 0.001	7.31	0.012	0.17	0.912	0.461
07-Jul-15	4.68	0.010	1.68	0.206	0.73	0.539	0.261
13-Jul-15	0.76	0.525	2.13	0.157	0.09	0.964	0.080
20-Jul-15	0.75	0.533	1.50	0.232	0.99	0.414	- 0.009
27-Jul-15	2.76	0.064	2.99	0.096	0.14	0.935	0.132
03-Ago-15	1.95	0.147	0.68	0.416	0.99	0.412	0.076

10-Ago-15	3.53	0.030	11.76	0.002	0.02	0.995	0.333
18-Ago-15	5.70	0.004	4.79	0.039	2.15	0.120	0.408
24-Ago-15	2.39	0.093	1.74	0.199	1.29	0.300	0.157
01-Sep-15	8.79	< 0.001	4.64	0.041	2.01	0.139	0.492
10-Sep-15	3.28	0.038	2.76	0.110	5.53	0.005	0.417
15-Sep-15	6.90	0.002	1.07	0.311	2.77	0.063	0.427
22-Sep-15	6.63	0.002	0.80	0.378	2.59	0.076	0.409
28-Sep-15	10.01	< 0.001	9.52	0.005	0.45	0.717	0.523
05-Oct-15	34.65	< 0.001	1.68	0.207	0.31	0.812	0.763
12-Oct-15	18.93	< 0.001	26.72	< 0.001	1.56	0.224	0.724
19-Oct-15	43.31	< 0.001	8.50	0.008	3.55	0.029	0.821
26-Oct-15	3.50	0.031	1.41	0.246	2.16	0.118	0.269
02-Nov-15	12.86	< 0.001	0.48	0.494	0.79	0.510	0.526
09-Nov-15	12.51	< 0.001	0.41	0.526	3.11	0.045	0.565
17-Nov-15	22.39	< 0.001	1.24	0.275	2.31	0.102	0.688
23-Nov-15	9.52	< 0.001	2.61	0.119	1.11	0.364	0.470
03-Dic-15	1.73	0.186	0.04	0.838	0.54	0.655	- 0.003
08-Dic-15	11.20	< 0.001	0.03	0.855	2.24	0.109	0.518
15-Dic-15	23.11	< 0.001	0.87	0.358	1.05	0.385	0.682
23-Dic-15	13.62	< 0.001	0.50	0.482	1.15	0.349	0.550
30-Dic-15	29.44	< 0.001	0.70	0.411	4.83	0.009	0.757
06-Ene-16	39.40	< 0.001	37.09	< 0.001	0.26	0.850	0.828
12-Ene-16	11.35	< 0.001	7.36	0.012	4.61	0.011	0.609
18-Ene-16	5.93	0.004	3.43	0.076	0.08	0.966	0.319
25-Ene-16	7.62	0.001	7.36	0.012	1.41	0.263	0.470
02-Feb-16	10.01	< 0.001	1.05	0.314	0.63	0.598	0.456

08-Feb-16	1.92	0.153	1.20	0.283	1.23	0.319	0.106
15-Feb-16	2.40	0.092	13.25	0.001	0.49	0.690	0.326
22-Feb-16	5.88	0.004	0.47	0.499	0.54	0.657	0.292
29-Feb-16	6.42	0.002	2.04	0.165	0.56	0.646	0.341
07-Mzo-16	1.77	0.178	4.89	0.037	6.43	0.002	0.421

Relaciones entre la Rs y variables ambientales

A partir de la correlación de *Spearman* ($P \leq 0.05$) se analizó la relación de la Rs de la mañana y tarde con las variables ambientales de temperatura del suelo, humedad del suelo, humedad relativa del aire, temperatura máxima y mínima del aire y la precipitación mensual para cada sistema de uso de suelo (Cuadro 4). Se observó que la temperatura del suelo no se correlacionó con la Rs en los sistemas de pastizal y agrícola para los muestreos de mañana, y en el sistema agrícola para las de la tarde. Estas observaciones pueden responder a que la cobertura vegetal modera las condiciones de microclima, manteniendo la humedad del suelo (Gomes *et al.*, 2016). El intervalo de temperatura del suelo osciló entre 12.3 °C (matorral) a 33.1 °C (plantación) para las mediciones de la mañana y de 13.7 °C (matorral) a 35.4 °C (plantación) para las de la tarde (Figura 6). Existe poca variación de temperatura entre los sistemas de uso que indique una tendencia clara sobre la Rs. Estudios demuestran que la temperatura es un factor importante, dado su efecto sobre la biota del suelo (Iglesias *et al.*, 2010).



Cuadro 4. Coeficiente de correlación *Spearman*, valores de Rho entre la respiración de suelo de los diferentes usos de suelo en muestreos de mañana y tarde en relación a las variables ambientales (n=52).

Variables ambientales	Uso de suelo			
	Pastizal	Matorral	Plantación	Agrícola
Respiración del suelo mañana				
Temperatura suelo	0.104	0.281*	0.297*	0.047
Contenido de humedad del suelo	0.344*	0.574**	0.606**	0.538**
Temperatura del aire	0.068	0.127	0.104	0.007
Humedad relativa	0.346*	0.293	0.363*	0.157
Temperatura máxima del aire	0.021	0.083	0.097	0.090
Temperatura mínima del aire	0.049	0.201	0.253	0.015
Precipitación mensual	0.282*	0.254	0.229	0.118
Respiración del suelo tarde				
Temperatura suelo	0.302*	0.273*	0.365**	0.171
Contenido de humedad del suelo	0.304*	0.588**	0.499**	0.414**
Temperatura del aire	0.080	0.025	0.057	0.116
Humedad relativa	0.468**	0.467**	0.635**	0.384*
Temperatura máxima del aire	0.158	0.132	0.207	0.089
Temperatura mínima del aire	0.169	0.212	0.363**	0.128
Precipitación mensual	0.254	0.163	0.226	0.184

* = Indican que hay diferencia significativa ($P \leq 0.05$) y que existe correlación entre las variables; ** = Indican que hay diferencia significativa ($P \leq 0.01$) y que existe correlación entre las variables.

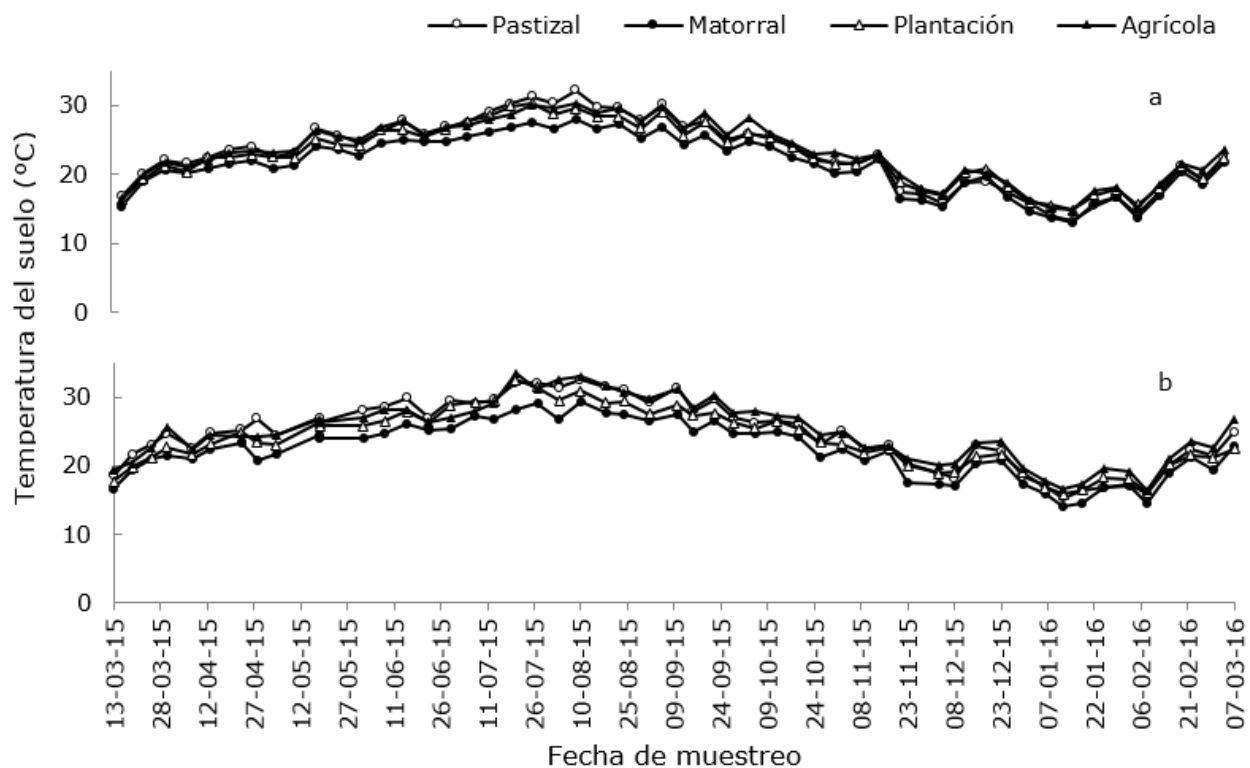


Figura 6. Temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) para muestreo de mañana (a) y tarde (b), durante el periodo de estudio para los cuatro usos de suelo.

En la variable humedad del suelo se estimó una correlación alta y positiva para todos los sistemas en las mediciones de mañana y tarde. El contenido de humedad del suelo presentó en promedio para los muestreos de mañana porcentajes de 18.9, 21.1, 21.5 y 23.7 % para plantación, pastizal, matorral y agrícola, respectivamente; mientras que para la tarde los valores medios fueron de 18.7, 20.9, 21.6 y 22.6 % para plantación, matorral, pastizal y agrícola, respectivamente (Figura 7). Al

respecto, Millard *et al.* (2008) registran que en sitios con contenidos de humedad de 5-12 %, se limita la tasa global de respiración; mientras que Rosík *et al.* (2013) consignan que el umbral de humedad de suelo, cuando el CO₂ empieza a disociarse de los cambios de temperatura, oscila entre 12 y 19 %. Asimismo, Cantú *et al.* (2010) señalan que es importante investigar el flujo de CO₂ para Vertisol con contenidos gravimétricos menores del 15 %, debido a las grietas que presenta la estructura de los Vertisoles, lo que causa errores en la medición. Sobre el particular, se observó como la Rs disminuye, notablemente, a valores menores de 5 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, si el contenido de humedad es menor a 15 %. Srivastava *et al.* (2012) ponen en evidencia que los factores que mayor influencia tienen en las emisiones de CO₂ son la humedad y temperatura del suelo.

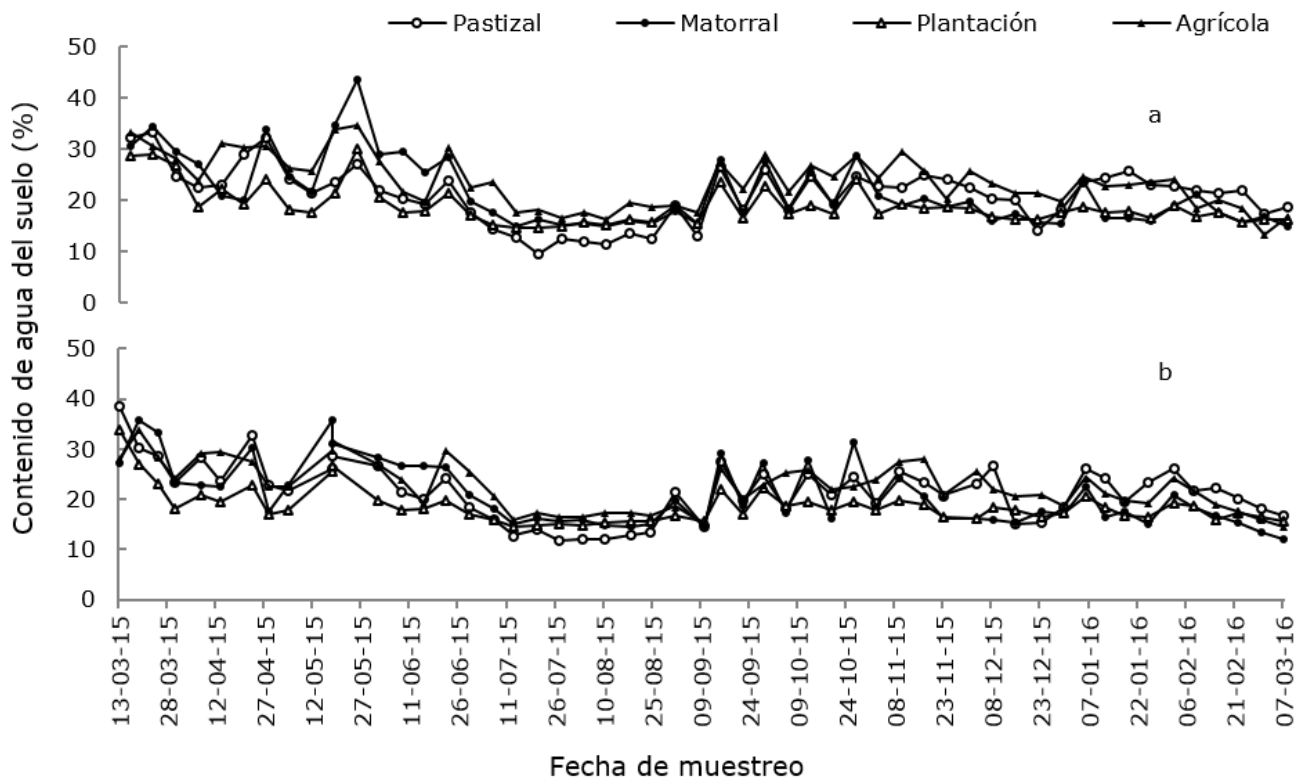


Figura 7. Contenido de agua del suelo (°C) para muestreo de mañana (a) y tarde (b), durante el periodo de estudio para los cuatro usos de suelo.

En este estudio, se observó que la humedad del suelo es la variable que tiene más correlación con los flujos de CO₂ tanto para los muestreos de mañana como de tarde, ya que a mayor contenido de humedad hay un aumento en la respiración del suelo, como una respuesta de la actividad microbiana del suelo (Davidson *et al.*, 2006). Asimismo, los cambios de cobertura en los diferentes sistemas de uso regulan la temperatura y humedad del suelo, cambios en la vegetación tienen un impacto en el intercambio de CO₂ (Scholze *et al.*, 2003). En especial, en regiones secas, donde la humedad es el factor más limitante para la actividad de los organismos desérticos (Bowling *et al.*, 2011). Riveros-Iregui *et al.* (2007) citan que el contenido de humedad es el factor que controla la respiración de suelo, dado que inhibe la difusión del CO₂.

En cuanto a la precipitación, se correlacionó con datos de lluvia al momento de las mediciones; por lo que solo se obtuvo correlación con la Rs de la mañana en pastizal; sin embargo, este factor es de importancia, dada la variación en las precipitaciones que se pronostican por las proyecciones del cambio climático (IPCC, 2007). Diversos estudios han demostrado que la dinámica de la precipitación y la disponibilidad de agua en los suelos afectará el balance global del carbono (Hussain *et al.*, 2011). Campos (2014) señala que el calentamiento global podría tener un efecto negativo sobre la disponibilidad de agua del suelo, lo que resulta en la disminución de la respiración del suelo. Esa tendencia de aumento de la Rs, con el incremento de la precipitación responde a que la cantidad de agua que ingresa al espacio poroso del suelo, elimina el CO₂ edáfico (Moitinho *et al.*, 2015), tal como se observa en la Figura 8, donde se muestra una tendencia de aumento de la respiración después de eventos de lluvias, para mañana y tarde, de los cuales se deben a un fenómeno conocido como efecto *Birch* (Johnson *et al.*, 2013).

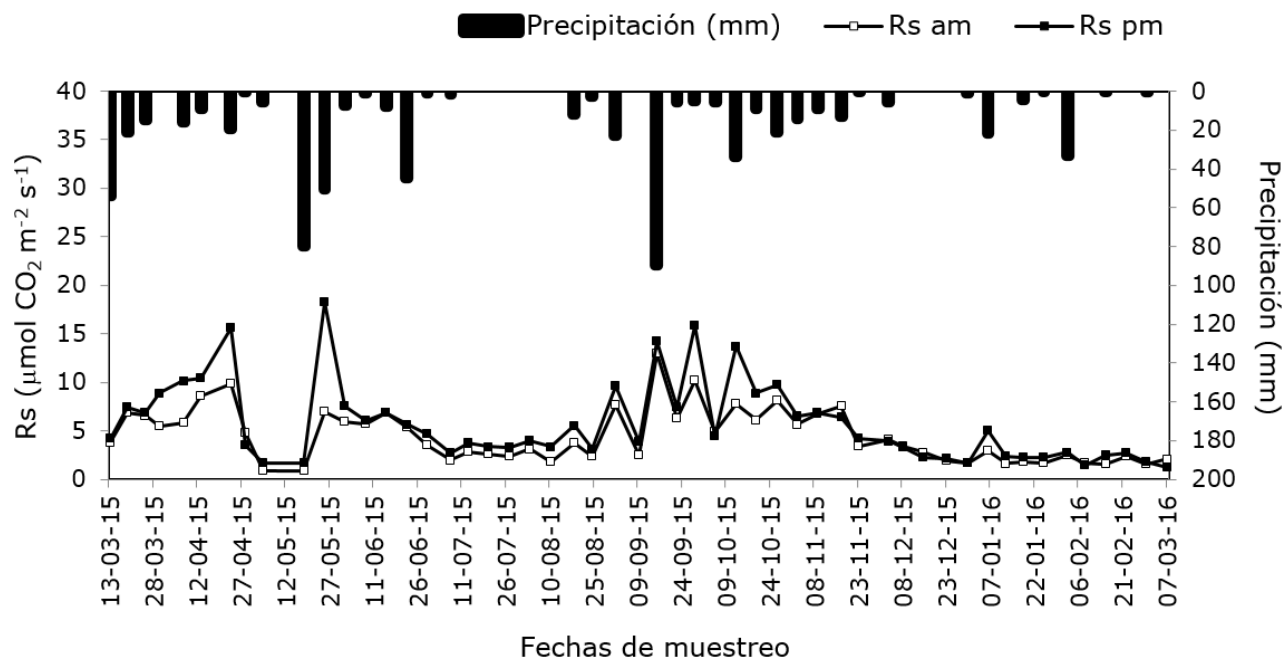


Figura 8. Distribución de la precipitación y flujos de CO₂ promedio de los cuatro usos de suelo durante el periodo de estudio.

Conclusiones

El Vertisol analizado bajo cuatro sistemas de uso de suelo presenta diferencias en la respiración del suelo. El matorral es el sistema que presenta una mayor emisión de CO₂, seguido por el pastizal, los cuales son los usos de suelo más comunes en el noreste de México. El área agrícola y la plantación de *Eucalyptus* son los sistemas con menor emisión de CO₂. Se registra una alta correlación positiva entre la Rs y la humedad del suelo en todos los sistemas de uso, mientras que la temperatura del suelo no se relaciona con la Rs en los sistemas agrícola y pastizal. Asimismo, la respiración del suelo varía, considerablemente, a escalas diarias y estacionales, la mayor corresponde a la tarde, durante el otoño y primavera, cuando se presenta la mayor cantidad de precipitación. Los flujos de CO₂ siguen el orden de

matorral>pastizal>plantación>agrícola. Las regiones semiáridas son sensibles a la variabilidad de la precipitación; así, un incremento en la emisión de CO₂ en suelos Vertisoles como respuesta a cambios ambientales, podría tener implicaciones en el balance global del carbono.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Facultad de Ciencias Forestales y el Centro de Investigación en Producción Agropecuaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León por las facilidades otorgadas para el desarrollo de esta investigación; al proyecto de investigación PAICYT CT263-15, al proyecto de Conacyt (Fondo Ciencia Básica SEP-CONACYT, 250732); así como al Ing. Joel Bravo por el apoyo en la toma de datos climáticos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

María Inés Yáñez Díaz: desarrollo de la investigación, estructura y diseño del manuscrito; Israel Cantú Silva: diseño del manuscrito e interpretación de los resultados y corrección del documento; Humberto González Rodríguez: selección de sitios, apoyo en resultados y revisión del manuscrito; José G. Marmolejo Monsiváis: datos climáticos, correlaciones ambientales, revisión del manuscrito; Enrique Jurado: aportación en lo relativo al *abstract*, discusión, conclusiones y revisión del

manuscrito; Marco V. Gómez Meza: análisis estadísticos y corrección del documento.

Referencias

Bowling, D. R., E. E. Grote and J. Belnap. 2011. Rain pulse response of soil CO₂ exchange by biological soil crusts and grasslands of the semiarid Colorado Plateau, United States. *Journal of Geophysical Research* 116 (3): 1–17.

Buczko, U., S. Bachmann, M. Gropp, G. Jurasinski and S. Glatzel. 2015. Spatial variability at different scales and sampling requirements for in situ soil CO₂ efflux measurements on an arable soil. *Catena* 131: 46-55.

Campos C., A. 2014. Trends in soil respiration on the eastern slope of the *Cofre de Perote* Volcano (Mexico). *Catena* 114: 59–66.

Cantú S., I., H. González R. and M. V. Gómez M. 2010 CO₂ efflux in Vertisol under different land use systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12: 389-403.

Davidson, E. A., E. Belk and R. D. Boone. 1998. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology* 4 (2): 217–227.

Davidson, E. A., I. A. Janssens and Y. Lou. 2006. On the variability of respiration in terrestrial ecosystems: Moving beyond Q₁₀. *Global Change Biology* 12 (2): 154–164.

Ghosh, S., P. Lockwood, H. Daniel, N. Hulugalle, K. King and P. Kristiansen. 2011. Changes in Vertisol properties as affected by organic amendments application rates. *Soil Use and Management* 27: 195-204.

Gomes, L. de C., I. M. Cardoso, E. de S. Mendonça, R. B. A. Fernandes, V. S. Lopes and T. S. Oliveira. 2016. Trees modify the dynamics of soil CO₂ efflux in coffee agroforestry systems. *Agricultural and Forest Meteorology* 224: 30–39.

González R., H., R. G. Ramírez L., I. Cantú S., M. V. Gómez M. y J. I. Uvalle Saucedo. Composición y estructura de la vegetación en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica* 29: 91-106.

Goudde, C. M., P. J. Thorburn, J. S. Biggs and E. A. Meier. 2016. Understanding the impacts of soil, climate, and farming practices on soil organic carbon sequestration: A simulation study on Australia. *Frontiers in Plant Science* 7(661): 1-15.

Hussain, M. Z., T. Grunwald, J. D. Tenhunen, Y. L. Li, H. Mirzae, C. Bernhofer, D. Otieno, N. Q. Dinh, M. Schmidt, M. Wartinger and K. Owen. 2011. Summer drought influence on CO₂ and water fluxes of extensively managed grassland in Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 141 (1-2): 67-76.

Iglesias, B., M. J., M. H. Garnett and P. Ineson. 2010. Soil biology and warming play a key role in the release of old C from organic soils. *Soil Biology and Biochemistry* 42: 960-967.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2009. Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación Escala 1:250000 Serie III. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, D.F., México. 74 p.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. Ginebra, Suiza. 104 p.

Unión Internacional de Ciencias del Suelo (IUSS). 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. IUSS, Grupo de Trabajo WRB. FAO. Roma, Italia. 117 p.

Johnson, M. S., E. G. Couto, O. B. Pinto, J. Milesi, R. S. Santos A., I. A. M. Messias and M. S. Biudes. 2013. Soil CO₂ dynamics in a tree island soil of the pantanal: The role of soil water potential. *PLoS ONE* 8 (6): 1-14.

Lal, R. 2008. Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 363 (1492): 815-830.

Llorente, M. 2004. Caracterización física y química de Vertisoles del noreste de México sometidos a distintas formas de manejo. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L., México. 98 p.

Lloyd, J. and J. A. Taylor. 1994. On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology* 8 (3): 315-323.

Millard, P., A. J. Midwood, J. E. Hunt, D. Whitehead and T. W. Boutton. 2008. Partitioning soil surface CO₂ efflux into autotrophic and heterotrophic components, using natural gradients in soil $\delta^{13}\text{C}$ in an undisturbed savannah soil. *Soil Biology & Biochemistry* 40 (7): 1575–1582.

Mishra, U., R. Lal, B. Slater, F. Calhoun, D. Liu, and V. M. Meirvenne. 2009. Predicting soil organic carbon stock using profile depth distribution functions and ordinary kriging. *Soil Science Society of America Journal* 73(2): 614-621.

Moitinho, M. R., M. P. Padovan, A. R. Panosso, D. de B. Teixeira, A. S. Ferraudo and N. La Scala J. 2015. On the spatial and temporal dependence of CO₂ emission on soil properties in sugarcane (*Saccharum* spp.) production. *Soil and Tillage Research* 148: 127–132.

Nielsen, U. N., E. Ayres, D. H. Wall and R. D. Bardgett. 2011. Soil biodiversity and carbon cycling: A review and synthesis of studies examining diversity-function relationships. *European Journal of Soil Science* 62 (1): 105–116.

Riveros-Iregui, D. A., R. E. Emanuel, D. J. Muth, B. L. McGlynn, H. E. Epstein, D. L. Welsch, V. J. Pacific and J. M. Wraith. 2007. Diurnal hysteresis between soil CO₂ and soil temperature is controlled by soil water content. *Geophysical Research Letters* 34 (17): 1–5.

Rosík, J., T. Fabiánek and I. Marková. 2013. Soil CO₂ efflux in Young norway spruce stands with different silviculture practices *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelanae Brunensis* 61 (6): 1845–1851.

Scharlemann, J. P., E. V. Tanner, R. Hiederer and V. Kapos 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management* 5 (1): 81-91.

Scholze, M., W. Knorr and M. M. Heimann. 2003. Modelling terrestrial vegetation dynamics and carbon cycling for an abrupt climatic change event. *The Holocene* 13 (3): 327-333.

Schwendenmann, L., E. Pendall and C. Potvin. 2007. Surface soil organic carbon pools, mineralization and CO₂ efflux rates under different land-use types in Central Panama. *In: Tscharrntke, T., C. Leuschner, M. Zeller, E. Guhardja and A. Bidin (eds.). The stability of tropical rainforest margins, linking ecological, economic and social constraints of land use and conservation. Springer. Verlag, Berlin, Germany. pp. 109-131.*

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2002. NOM-021-RECNAT-2000. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Segunda edición 2002. México, D.F., México. 85 p.

Smith, P., J. I. House, M. Bustamante, J. Sobocka, R. Harper, G. Pan, P. C. West, J. M. Clark, T. Adhya, C. Rumpel, K. Paustian, P. Kuikman, M. F. Cotrufo, J. A. Elliott, R. McDowell, R. I. Griffiths, S. Asakawa, A. Bondeau, A. K. Jain, J. Meersmans and T. A. Pugh. 2016. Global change pressures on soils from land use and management. *Global Change Biology* 22: 1008-1028.

Srivastava, M., S. D. Sharma and M. Kudrat. 2012. Effect of crop rotation, soil temperature and soil moisture on CO₂ emission rate in indo-gangetic plains of India. *International Journal of Agriculture and Forestry* 2 (3): 117-120.

Torres, G., C. A., M. C. Gutiérrez C., C. A. Ortiz S. y E. V. Gutiérrez C. 2016. Manejo agronómico de los Vertisoles en México. *Terra Latinoamericana* 34: 457-466.

Vallejo, V. R., F. Díaz F. y D. de la Rosa. 2005. 8. Impactos Sobre Los Recursos Edáficos. *In*: Moreno R., J. M. (coord.). Impactos del cambio climático en España. Ministerio de Medio Ambiente. Tarragona, España. pp. 355-398.

Vásquez, J. R., F. Macías y J. C. Menjivar. 2013. Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono en el departamento del Magdalena, Colombia. *Bioagro* 25 (3): 175-180.

Wei, S., X. Zhang, N. B. McLaughlin, A. Liang, S. Jia, X. Chen and X. Chen. 2014. Effect of soil temperature and soil moisture on CO₂ flux from eroded landscape positions on black soil in Northeast China. *Soil and Tillage Research* 144: 119–125.

Weissert, L. F., J. A. Salmond and L. Schwendenmann. 2016. Variability of soil organic carbon stocks and soil CO₂ efflux across urban land use and soil cover types. *Geoderma* 271: 80–90.

Woerner, M. 1991. Los suelos bajo vegetación de matorral del noreste de México, descritos a través de ejemplos en el campus universitario de la UANL, Linares, N.L. Reporte Científico No. 22. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L., México. 116 p.