

Respiración de un Andosol bajo diferentes usos de suelo

Respiration of an Andosol under different land uses

Recepción del artículo: 16/01/2024 • Aceptación para publicación: 08/03/2024 • Publicación: 01/05/2024

● <https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi22.346>

Silvia Janeth Bejar Pulido*

Instituto Tecnológico de El Salto, Mesa del Tecnológico SN, Forestal. El Salto, Durango, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5163-704X>

Israel Cantú Silva

Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares. Nuevo León. México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8996-0881>

Erik Orlando Luna Robles

Instituto Tecnológico de El Salto, Mesa del Tecnológico SN, Forestal. El Salto, Durango, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5133-0403>

*Autor por correspondencia:

siljan2411@gmail.com

Resumen

La respiración del suelo es una de las principales fuentes de emisión del CO₂ en el suelo, haciéndolo vulnerable a cualquier cambio. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto del cambio de uso de suelo de forestal a agrícola en la respiración, humedad y temperatura del suelo. La respiración del suelo se determinó utilizando el método de cámara dinámica cerrada la temperatura del suelo se determinó con un sensor (STP-1) y el contenido de humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico. La prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas para las variables respiración del suelo y temperatura entre los usos del suelo, mientras que la humedad del suelo no mostró diferencias significativas ($p>0.05$). En general, los valores de flujo de CO₂ en la mañana (3.42 a 10.66 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) fueron más bajos para todas las fechas de muestreo y usos del suelo en comparación con los valores observados en la tarde (3.84 a 19.97 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$). La evaluación de la actividad biológica del Andosol puede establecer criterios diagnósticos para evaluar los impactos debidos al cambio de uso de suelo.

Palabras clave: Forestal, agrícola, fertilización, humedad, temperatura.

Abstract

Soil respiration is one of the main sources of CO₂ emissions in the soil, making it vulnerable to any change. The objective of this research was to evaluate the effect of the change in land use from forestry to agriculture on soil respiration, moisture and temperature. Soil respiration was determined using the closed dynamic chamber method, soil temperature was determined with a sensor (STP-1) and soil moisture content was determined by the gravimetric method. The Kruskal-Wallis test showed significant differences for the variables soil respiration and temperature between land uses, while soil moisture did not show significant differences ($p>0.05$). In general, CO₂ flux values in the morning (3.42 to 10.66 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) were lower for all sampling dates and land uses compared to values observed in the afternoon (3.84 to 10.66 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 19.97 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$). The evaluation of the biological activity of Andosol can establish diagnostic criteria to evaluate the impacts due to land use change.

Keywords: Forestry, agricultural, fertilization, humidity, temperature

Introducción

El suelo juega un papel importante dentro del ciclo del Carbono, actúa como fuente o sumidero del CO₂ atmosférico, siendo el factor principal detonante del cambio climático (Lopez-Teloxa y Monterroso-Rivas, 2020). Así mismo, la respiración del suelo es una de las principales fuentes de emisión del CO₂ en el suelo, haciéndolo vulnerable a cualquier cambio (Francioni *et al.*, 2019). El cambio de cobertura vegetal y las prácticas de manejo están relacionadas con el balance del C, el cual genera o disminuye la respiración del suelo (Burbano, 2018). Por tanto, pequeños cambios en las tasas de respiración del suelo podrían afectar las concentraciones de CO₂ en la atmósfera (Song *et al.*, 2018; Francioni *et al.*, 2019; Leija *et al.*, 2020).

La respiración del suelo (Rs) es considerada como un indicador de la actividad microbiana del suelo; anualmente son liberados 220 mil millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) a la atmosfera (Mátyás *et al.*, 2020).

De acuerdo con Guillén-Cruz y Flores-Rentería (2020) el cambio de uso de suelo se encuentra relacionado al cambio climático por la liberación del CO₂ a la atmosfera proveniente del suelo. Dicho cambio se encuentra asociado al crecimiento demográfico y demanda alimentaria, haciendo necesario la conversión de áreas naturales a zonas urbanas y agrícolas (AEMA, 2019).

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del cambio de uso de suelo en el flujo de CO₂ y analizar el comportamiento de las variables ambientales del suelo y efecto en la respiración.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Ejido "Toreo El Alto", ubicado al este del municipio de Uruapan, Michoacán, a una altitud de 1890 m en las coordenadas 19° 28' 22.2" N y 102° 00' 19.7" W, presentando un clima templado húmedo con lluvias en verano (Cw) (García, 2004) y una temperatura entre 10 y 27 °C, con una precipitación media anual de 1500 mm. El suelo predominante es Andosol de origen volcánico (Figura 1) (Alcalá, Ortiz & Gutiérrez, 2001).

Características edafológicas del área de estudio

En Cuadro 1 se muestra una recopilación de las características físicas, químicas e hidrológicas de los mismos usos de suelos evaluados.

Cuadro 1. Características edafológicas de los usos de suelo (Bejar-Pulido *et al.*, 2021a; Bejar-Pulido *et al.*, 2021b).

Variable	Unidad	Uso de suelo			
		Forestal	M. orgánica	A. orgánico	A. convencional
pH		5.59	5.92	6.36	7.09
CE	µS cm ⁻¹	171.69	366.38	223.15	364.25
MO	%	13.01	12.29	8.80	15.91
Na	Cmol Kg ⁻¹	0.25	0.46	0.49	0.94
Ca	Cmol Kg ⁻¹	7.97	18.45	23.12	33.69
K	Cmol Kg ⁻¹	1.95	1.77	1.69	6.38
Mg	Cmol Kg ⁻¹	3.28	4.12	2.73	5.91
Cu	mg L ⁻¹	0.57	0.63	1.70	2.16
Zn	mg L ⁻¹	1.24	2.48	2.57	6.16
Mn	mg L ⁻¹	1.18	1.87	1.68	2.63
Fe	mg L ⁻¹	1.97	3.66	3.79	5.76
infiltración	mm h ⁻¹	2320	1560	1470	600
Ks	cm s ⁻¹	0.020	0.060	0.002	0.009
Humedad	%	67.45	52.47	66.86	57.54
RMP	Kg cm ⁻³	2.05	3.87	4.37	4.62
DA	g cm ⁻³	0.55	0.69	0.81	0.57

CE= conductividad eléctrica, MO = materia orgánica, Ks = permeabilidad, RMP = resistencia mecánica a la penetración y DA = densidad aparente.

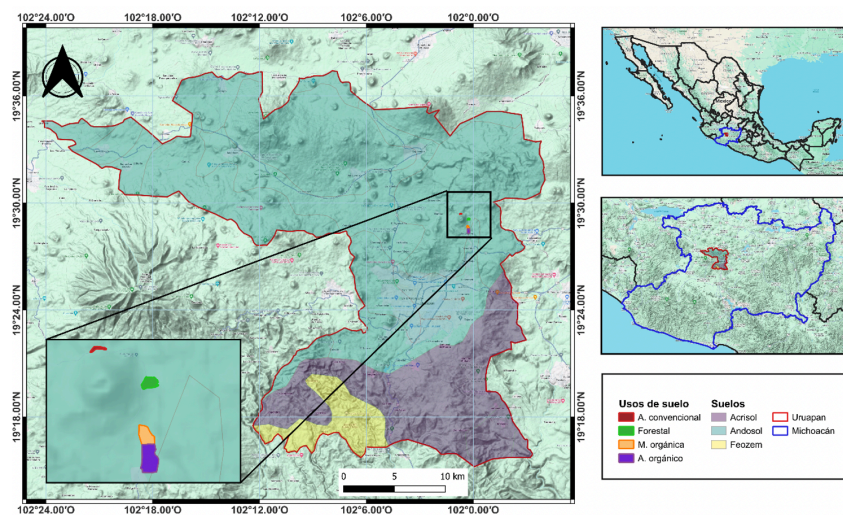


Figura 1. Localización del área de estudio y suelos presentes en el municipio de Uruapan, Michoacán.

Sistemas de uso del suelo

Se evaluaron cuatro sistemas de uso de suelo; un bosque y tres agrícolas con diferente manejo, los cuales se describen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características del manejo en cada uno de los usos de suelo evaluados.

Uso de suelo	Especie/comunidad	Manejo	Antigüedad	Superficie (ha)
Forestal	Bosque de Pino-Encino	Sin manejo forestal	60 años	3.588
Macadamia orgánica	<i>Macadamia integrifolia</i> Maiden & Betche	Fertilización a base Compost ganadero (N-P2O5-K2O [39-37-29] + S [18.4%] + Mg [13.6] + Ca [74%] y micronutrientes) en dosis de 50 Mg ha ⁻¹	8 años	5.286
Aguacate orgánico	<i>Persea americana</i> Mill var. Hass	Fertilización a base Compost ganadero (N-P2O5-K2O [39-37-29] + S [18.4%] + Mg [13.6] + Ca [74%] y micronutrientes) en dosis de 50 Mg ha ⁻¹	8 años	9.910
Aguacate convencional	<i>Persea americana</i> Mill var. Hass	Fertilización a base de Sulfato de Cobre pentahidratado (CuSO ₄ ·5H ₂ O) 600 ml ha ⁻¹ , como fungicida y bactericida preventivo y un fertilizante foliar CO(NH ₂) ₂ (20-30-10) en una dosis de 3 kg ha ⁻¹ cada dos meses y un fertilizante granular de liberación prolongada (15-00-00 + 26.6 [CaO] + 0.3 [B]).	60 años	0.860

Determinación de las emisiones de CO₂ (Rs)

La respiración del suelo se determinó utilizando el método de cámara dinámica cerrada con un sistema portátil EGM-4 marca PP SYSTEMS (Yáñez *et al.*, 2017). Las mediciones se realizaron semanalmente del 19 de junio al 23 de julio de 2018, dos veces al día por la mañana y por la tarde (8:00 y 14:00 hrs). Se realizaron seis mediciones, tomando cuatro lecturas aleatorias a una distancia mínima de 10 m en cada una de las parcelas seleccionadas. La respiración se calculó mediante la asimilación de la tasa de intercambio de CO₂ (flujo de CO₂/unidad de área/unidad de tiempo).

$$R_s = \frac{cn - c_0 * V}{Tn - A}$$

Dónde:

Rs es la tasa de asimilación, c₀ es la concentración de CO₂ en T = 0, cn es la concentración después del tiempo Tn, A = área del suelo expuesto, V = Volumen del sistema total, el flujo de CO₂ se estimó en micro moles de dióxido de carbono por metro cuadrado por segundo (μmol CO₂ m⁻²s⁻¹) (Yáñez *et al.*, 2017).

Temperatura y humedad del suelo

La temperatura del suelo (Ts) se determinó junto con la respiración utilizando un sensor (STP-1) instalado en el analizador EGM-4. El contenido de humedad del suelo (H) se determinó por el método gravimétrico aplicando la AS-05 NOM-021 RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), por medio de la siguiente ecuación:

$$\theta_g = \frac{(PB + Psh) - (PB + Pss)}{(PB + Pss) - (PB)} * 100$$

Dónde:

θg = contenido de humedad (%), PB= peso del bote con tapa (g), Psh= peso húmedo del suelo, Pss= peso seco del suelo (g), PB + Psh= peso del bote más peso del suelo húmedo (g) y PB + Pss= peso del bote más peso del suelo seco (g).

Análisis estadístico

Las variables Rs, Ts yH no presentaron una distribución normal, por lo que se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para analizar las variables para encontrar diferencias significativas entre el uso del suelo y las fechas, complementada con la corrección de Bonferroni (p≤0.05) para detectar diferencias por pares. Asimismo, se realizó la prueba de Wilcoxon sobre las variables anteriores para indicar la diferencia significativa entre los intervalos de medición (mañana y tarde) (Quispe *et al.*, 2019).

Se realizaron análisis de correlación de Spearman (Siegel y Castellan, 1972) para las variables Rs, Ts y H. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando la versión 22.0 del paquete estadístico SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL), con un nivel de confianza de p≤0.05 (International Business Machines [IBM, 2013]).

Resultados y discusión

Emisiones de CO₂ (Rs), temperatura y humedad del suelo

La prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas para las variables respiración del suelo (Rs) y temperatura (Ts) entre los usos del suelo, mientras que la humedad del suelo no mostró diferencias significativas (p>0.05). De acuerdo con la prueba post hoc de Kruskal-Wallis con corrección de Bonferroni, todas las comparaciones por pares presentaron diferencias significativas (p≤0.05) para Rs, con la excepción de la pareja forestal-aguacate orgánico. Para la temperatura del suelo, solo tres comparaciones por pares mostraron diferencias significativas (p≤0.05): aguacate convencional-aguacate orgánico, macadamia orgánica-aguacate orgánico y forestal-aguacate orgánico (Cuadro 3).

Cuadro 3. Prueba post hoc de Kruskal-Wallis con corrección de Bonferroni (p≤0.05) para las variables Rs y Ts entre usos del suelo.

Comparación por pares de usos de suelo		Rs χ ₃ ^{2,12*}	Ts χ ₃ ^{8,54*}
Aguacate convencional	- Macadamia orgánica	0.006	1.000
Aguacate convencional	- Forestal	0.000	1.000
Aguacate convencional	- Aguacate orgánico	0.000	0.001
Macadamia orgánica	- Forestal	0.000	1.000
Macadamia orgánica	- Aguacate orgánico	0.000	0.004
Forestal	- Aguacate orgánico	1.000	0.009

*χ² = Estadístico de Kruskal-Wallis (Chi-cuadrada), * = diferencias significativas (p≤0.05), Rs = Flujo de CO₂, Ts = Temperatura del suelo.

Variación diurna y de fechas de muestreo de Rs, Ts y H

De acuerdo con la prueba de Wilcoxon, las variables Rs y Ts presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los intervalos de tiempo (mañana y tarde), mientras que la variable humedad del suelo no mostró diferencias entre intervalos diurnos ($p > 0.05$) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Prueba de Wilcoxon para Rs, Ts y H entre intervalos de tiempo (mañana y tarde).

Estadísticos	Rs	Ts	H
Z	-5.169	-3.142	-1.093
Significancia	0.000*	0.002*	0.275 ^{NS}
Total por pares	96.000	96.000	96.000

Z = estadística de Wilcoxon, * = diferencias significativas ($p \leq 0.05$), NS = no significativo ($p > 0.05$), Rs = flujo de CO₂, Ts = temperatura del suelo y H = humedad del suelo.

La prueba de Kruskal-Wallis presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para el flujo de CO₂ (Rs) para todas las fechas de muestreo analizadas. La temperatura del suelo presentó diferencias significativas sólo en las fechas de muestreo 1, 4, 5 y 6, mientras que la humedad del suelo mostró diferencias sólo en la segunda fecha de muestreo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Prueba de Kruskal-Wallis para las diferentes fechas de muestreo de las variables Rs, Ts y H entre usos del suelo.

Fecha de muestreo	Flujo de CO ₂		Temperatura (°C)		Humedad (%)	
	X ²	Valor p	X ²	Valor p	X ²	Valor p
1. 19/06/2018	25.645	0.000	9.505	0.023	3.259	0.353
2. 26/06/2018	14.980	0.002	4.545	0.208	10.406	0.015
3. 04/07/2018	10.638	0.014	0.291	0.962	3.974	0.264
4. 11/07/2018	15.787	0.001	8.927	0.030	1.980	0.577
5. 17/07/2018	22.260	0.000	21.867	0.000	2.395	0.495
6. 23/07/2018	17.082	0.001	9.332	0.025	2.980	0.395

Los valores en negrita representan diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

La prueba post hoc de Kruskal-Wallis con corrección de Bonferroni mostró diferencias significativas para Rs entre las fechas de las muestras, donde en cada fecha de muestreo hubo al menos dos comparaciones por pares con diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Prueba post hoc de Kruskal-Wallis con corrección de Bonferroni para fechas de muestreo de respiración del suelo por uso de suelo.

Comparación por pares de usos de suelo	Fecha de muestreo					
	19/06/2018	26/06/2018	04/07/2018	11/07/2018	17/07/2018	23/07/2018
A. convencional – M. Orgánica	0.000	0.003	0.179	0.028	1.000	1.000
A. Convencional – Forestal	0.772	0.033	0.035	0.006	0.031	0.002
A. convencional – A. orgánico	1.000	0.002	0.026	0.003	0.061	0.282
M. orgánica – Forestal	0.396	1.000	1.000	1.000	0.001	0.004
M. Orgánica – A. orgánico	0.008	1.000	1.000	1.000	0.001	0.373
Forestal – A. orgánico	0.005	1.000	1.000	1.000	1.000	0.714

Los valores en negrita representan diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

En general, los valores de flujo de CO₂ en la mañana (3.42 a 10.66 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) fueron más bajos para todas las fechas de muestreo y usos del suelo en comparación con los valores observados en la tarde (3.84 a 19.97 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), coincidiendo con Yáñez *et al.* (2017) quienes encontraron las mismas variaciones entre las horas muestreadas. Por la mañana, el sistema de A. orgánico presentó el valor más alto (17 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), tendiendo a disminuir 82% en la sexta fecha de muestreo, mientras que el uso del suelo forestal fue más constante y en la sexta fecha de muestreo disminuyó solo 10% con respecto a la primera fecha. Por otro lado, A. convencional no mostró variación entre muestreos y se mantuvo con los valores de respiración más bajos (4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), marcando una limitada actividad biológica en este sistema (Ugas *et al.*, 2022). Por la tarde, A. orgánico también registró valores máximos de 27 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, contrastando significativamente con lo observado en A. convencional, que presentó la misma tendencia con valores mínimos tanto en la tarde como en la mañana para todos los muestreos (Figura 2). Dichas variaciones podrían estar asociadas a otros factores como la biomasa aérea y subterráneas que son cambiantes de acuerdo con el tipo de vegetación (Rosero *et al.*, 2019). Así mismo, Serran *et al.* (2017) y López-Teloxa *et al.* (2020) señalan que la temperatura y humedad del suelo explican en mayor proporción el comportamiento de la respiración del suelo debido a su influencia sobre la degradación de la materia orgánica. Respecto a los registros de respiración bajos del A. convencional podría estar asociado a la constante aplicación de agroquímicos los cuales reducen significativamente el metabolismo microbiano (Bejar-Pulido *et al.*, 2021a).

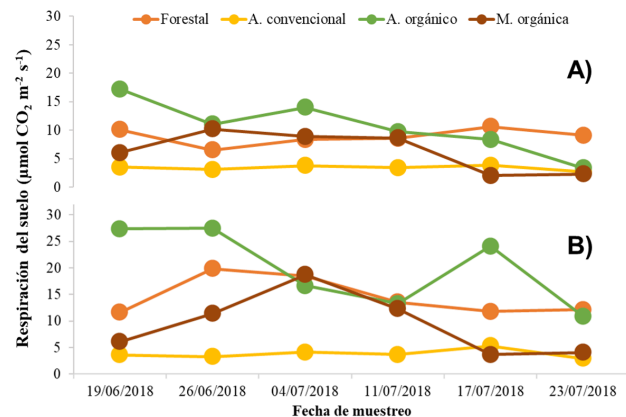


Figura 2. Respiración del suelo en los dos intervalos de tiempo: A) Mañana (8:00 hrs) y B) Tarde (14:00 hrs) en los diferentes usos del suelo.

La temperatura del suelo por la mañana osciló entre 15 y 18.5 °C. Particularmente, en la fecha cinco, se registró la temperatura más alta en los usos de suelo de A. orgánico

y convencional. Por la tarde, las temperaturas oscilaron entre 16.5 y 21 °C. Lo anterior ha sido reportado en otros estudios donde el horario diurno es considerado como el de mayor actividad de flujo de CO₂ (Yáñez *et al.*, 2017; López-Teloxae *et al.*, 2020).

El uso del suelo forestal presentó la menor temperatura promedio del suelo en comparación con los demás usos de suelo, que podría estar atribuido a la presencia de cobertura aérea (>100%) que disminuye la intensidad de radiación solar que llega al suelo, además de disminuir la pérdida de humedad del suelo (Wang *et al.*, 2018). Caso contrario se presentó en los usos de suelo agrícolas, donde debido al arreglo espacial de los cultivos se reduce la densidad arbórea y cobertura del suelo aumentando la temperatura del mismo (Figura 3) (Luna *et al.*, 2023).

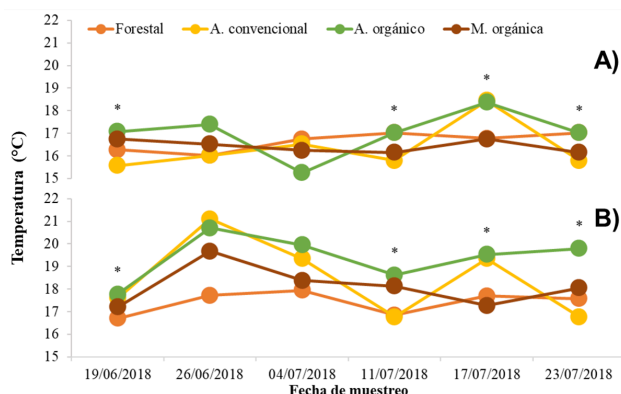


Figura 3. Temperatura del suelo en los dos intervalos de tiempo: A) Mañana (8:00 hrs) y B) Tarde (14:00 hrs) en los diferentes usos del suelo.

Los contenidos de humedad del suelo en la mañana variaron de 30 a 80%, donde todos los usos del suelo presentaron una tendencia similar en los seis muestreos, en la tarde los contenidos de humedad variaron de 28 a 72%, el uso de suelo forestal presentó los mayores contenidos de humedad que puede ser explicado por la densidad del arbolado y la capa orgánica del suelo conservando la humedad del suelo

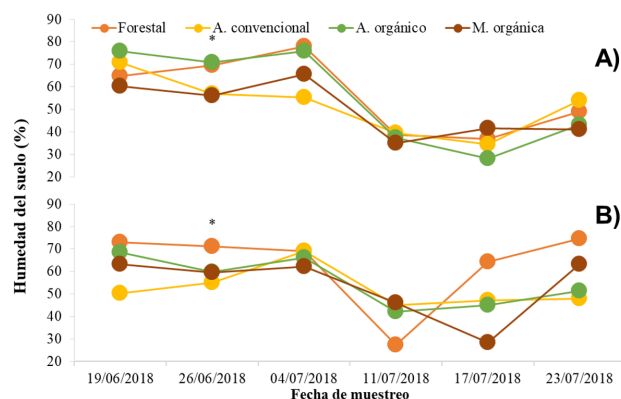


Figura 4. Humedad del suelo en los dos intervalos de tiempo: A) Mañana (8:00 hrs) y B) Tarde (14:00 hrs) en las diferentes fechas de muestreo para todos los usos del suelo.

aumentando la actividad biológica de los microorganismo (Yan *et al.*, 2019), y A. convencional los más bajos, en la fecha de muestreo cuatro hubo una marcada disminución en la humedad del suelo, siguiendo la misma tendencia por la mañana. Además, el flujo de CO₂ mostró un comportamiento similar revelando la relación que existe entre la humedad del suelo y la respiración del suelo (Figura 4). Coincidiendo con Luna *et al.* (2023) señalando que la una baja humedad se relaciona con flujos de CO₂ bajos.

En la presente investigación la respiración del suelo se correlacionó positivamente con la temperatura y humedad (Cuadro 7), lo anterior concuerda con Luna *et al.* (2023) quienes encontraron la misma tendencia. Por otra parte Han *et al.* (2018) señala que la variación de la temperatura y humedad se encuentra en función de las características de la cubierta vegetal y del sitio (densidad de arbolado, exposición, tipo de cobertura, acumulación de materia orgánica y condiciones ambientales).

Cuadro 7. Correlación de Spearman para las variables Rs, H y Ts.

Variables	Rs	H	Ts
Rs	1.000		
H	0.304**	1.000	
Ts	0.192**	-0.48	1.000

** Correlación altamente significativa ($p \leq 0.01$)

Conclusiones

El cambio de uso de suelo de bosque a agrícola provocó un efecto significativo en la respiración del suelo tipo Andosol, lo que puede estar relacionado con las diferentes prácticas agrícolas utilizadas tanto por los regímenes orgánicos como convencionales (poda, plaguicidas, fertilización, entre otros). Particularmente el uso agrícola convencional presentó una disminución en la respiración del suelo con respecto al uso forestal y agricultura orgánica, esto se atribuye principalmente al uso de productos agroquímicos que causan impactos significativos en la biomasa microbiana y consecuentemente alteraciones de los ciclos del carbono.

La respiración del suelo promedio vario entre usos de suelo y presentó el comportamiento de mayor a menor siguiente: Forestal > A. orgánico > M. orgánica > A. convencional.

Por otra parte es evidente la influencia de la temperatura y humedad en la respiración del suelo, encontrando mayores emisiones por la tarde que por la

mañana, así como, mayor temperatura y menor humedad.

La evaluación de la actividad biológica del Andosol puede establecer criterios diagnósticos para evaluar los impactos debidos al cambio de uso de suelo de bosque a plantaciones de aguacate y macadamia, el manejo orgánico o convencional de los cultivos, así como la vegetación de pino-encino.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ejido de "Toreo el Alto" por las facilidades para obtener información de campo y a la Facultad de Ciencias Forestales por el apoyo instrumental para desarrollar la presente investigación.

Literatura citada

- Agencia Europea Medio Ambiental (AEMA). (2019). *El suelo, la tierra y el cambio climático*. <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2019/articulos/el-suelo-la-tierra-y>
- Bejar-Pulido, S., I. Cantú-Silva y E.O. Luna-Robles. (2021a). Effect of different land use on chemical properties of an andosol in Michoacan, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(3), 1-14 <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3629>
- Bejar-Pulido, S. J., Cantú-Silva, I., González-Rodríguez, H., Marmolejo-Moncivais, J. G., Yáñez-Díaz, M. I. y Luna-Robles, E. O. (2021b). Effect of land use change and agricultural management on physical and hydrological properties of an Andosol in Uruapan, Michoacán. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 27(2), 323-335. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.04.032>
- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 34(1), 82–96. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Francioni, M., P. D'Ottavio, R. Lai, L. Trozzo, K. Budimir, L. Foresi, A.W. Kishimoto-Mo, N. Baldoni, M. Allegrezza, G. Tesel y M. Toderi. (2019). Seasonal Soil Respiration Dynamics and Carbon-Stock Variations in Mountain Permanent Grasslands Compared to Arable Lands. *Agriculture*, 9(8): 165. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture9080165>
- Han, M., B. Shi. y G. Jin. (2018). Conversion of primary mixed forest into secondary broadleaved forest and coniferous plantations: Effects on temporal dynamics of soil CO2 efflux. *Catena*, 162, 1573165. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.12.004>
- Leija, E.G., Valenzuela-Ceballos, S.I., Valencia-Castro, M., Jiménez-González, G., Castañeda-Gaytán, G., Reyes-Hernández, H. y Mendoza. M.E. 2020. Análisis de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo en la región centro-norte de México. El caso de la cuenca baja del río Nazas. *Ecosistemas*, 29(1), 1826. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1826>
- López-Teloxa, L.C. y Monterroso-Rivas, A.I. (2020). Estrategias de mitigación de CO2 a partir de la respiración del suelo. La granja. *Revista de Ciencias de la Vida*, 32(2), 30-41. <https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.03>
- Luna Robles, E.O., Cantú, I.S., Hernández, F.J. y Bejar, P.S.J. (2023). Efectos del manejo forestal en la emisión de CO2 de un suelo Umbrisol en bosques de Durango, México. *Polibotánica*, 56, 101-114. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.56.6>
- Mátyás, B., Lowy, D.A., Singla, A., Meléndez, J.R. y Sándor, Z. (2020). Comparación de los efectos ejercidos por los biofertilizantes, los fertilizantes NPK y los métodos de cultivo sobre la respiración del suelo en el suelo de chernozem. La granja. *Revista de Ciencias de la Vida*, 32(2), 8-18. <https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.01>
- McNicol, I.M., Ryan, C.M. y Mitchard, E.T.A. (2018). Carbon losses from deforestation and widespread degradation offset by extensive growth in African woodlands. *Nat Commun*, 9, 3045 <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05386-z>
- Quispe, A., Calla, K., Yangali, J., Rodríguez, J., y Pumacayo, I. I. (2019). *Estadística no paramétrica aplicada a la investigación científica con software SPSS, MINITAB Y EXCEL. Enfoque práctico*. <https://www.editorialeidec.com/wp-content/uploads/2020/01/Estad%C3%A9stica-no-param%C3%A9trica-aplicada.pdf>
- SEMARNAT. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Secretaría De Medio Ambiente Y Recursos Naturales. Diario Oficial, (Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis).
- <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3335/1/nom-021-semarnat2000.pdf>
- Rosero, J., Vélez, J., Burbano, H. y Ordóñez, H. (2019). Cuantificación de la respiración y biomasa microbiana en Andisoles del sur de Colombia. *Agro sur*, 47(3), 15-25. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2019.v47n3-03>
- Serrano, E.Z., Nuñez, M. y Valleter, E. (2017). Respiración de dióxido de carbono de suelo, en bosque tropical húmedo–Gamboa Panamá Carbon. *I+ D Tecnológico*, 13(2), 49-54.
- Siegel, S. y Castellan, N. J. (1972). *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta* (Vol. 4). Trillas. Distrito Federal. México.
- Song, X.P., Hansen, M.C., Stehman, S.V., Potapov, P.V., Tyukavina, A., Vermote, E.F. y Townshend, J.R. (2018). Global land change from 1982 to 2016. *Nature*, 560(7720), 639-643. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0411-9>
- Ugas, P.M., Calderón, R.C., Rivas, F.M. y Núñez, F.R. (2022). Cuantificación del flujo de CO2 en el suelo colonizado por *Avicennia germinans*, emplazado en el humedal Laguna Grande, sector Los Totumos, estado Miranda, Venezuela. La Granja. *Revista de Ciencias de la Vida*, 35(1), 85-97. <https://doi.org/10.17163/lgr.n35.2022.07>

- Wang, Y., Zhu, X., Bai, S., Zhu, T., Qiu, W., You, Y., Wu, M., Berninger, F., Sun, Z., Zhang, H. y Zhang, X. (2018). Effects of forest regeneration practices on the flux of soil CO₂ after clear-cutting in subtropical China. *Journal of Environmental Management*, 212, 332-339. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.038>
- Yan, T., Song, H., Wang, Z., Teramoto, M., Wang, J., Liang, N., Ma, C., Sun, Z., Xi, Y., Li, L. y Peng, S. (2019). Temperature sensitivity of soil respiration across multiple time scales in a temperate plantation forest. *Science of the Total Environment*, 688, 479-485. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.318>
- Yáñez, D.M.I., Cantú Silva, I.S., González, H.R., Marmolejo, J.G.M., Jurado, E. y Gómez, M.M.V. (2017). Respiración del suelo en cuatro sistemas de uso de la tierra. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 8(42), 123-149.