

# Evolución de la respiración del suelo y su relación con aportes de hojarascas en un suelo boscoso de montaña

## Evolution of soil respiration and its relationship with litter contributions in a wooded mountain soil

B. Valdez-Prado<sup>a</sup>, J. Prieto-Méndez<sup>b</sup>, Y. Marmolejo-Santillán<sup>a</sup>, F. Prieto-García<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Área Académica de Química. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México

<sup>b</sup> Área Académica de Agronomía. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Rancho Universitario, Tulancingo, Hidalgo, México

### Resumen

La respiración del suelo (RS) en ecosistemas boscosos se considera como el segundo flujo de carbono más importante entre la biosfera y la atmósfera; cerca de la mitad de la RS se deriva de la actividad metabólica, soporte y crecimiento radicular y asociación con micorrizas. En bosques tropicales, el factor que mayor influencia tiene sobre la variación temporal de la RS, no es tanto la temperatura, sino el contenido de agua o la precipitación debido a que la temperatura del suelo es relativamente constante. El objetivo del trabajo ha sido establecer el comportamiento de la RS y tratar de estimar y modelar el proceso ecológico de la RS en la fase priseral arbustiva de un bosque de montaña en el Estado de Hidalgo, con el fin de fortalecer el marco teórico de la ecología de la restauración y de la biología de la conservación, así como analizar su relación con los parámetros meteorológicos para entender cuáles son los factores que regulan los flujos del CO<sub>2</sub> suelo-atmósfera en un ciclo anual. Por los resultados alcanzados, debe señalarse que será necesario realizar un número mayor de evaluaciones en un tiempo de 3 a 5 años y en épocas y períodos estacionales con vistas a reforzar estos resultados. Se pudo concluir tres aspectos importantes, en primer lugar, que la RS es parte del reservorio de carbono en ecosistemas forestales; la RS es una variable dependiente del tiempo y de la altitud, a mayores tiempos mayores valores de RS y a mayores altitudes también. Se encontró que la tasa de respiración diurna (TRSD) es ligeramente mayor que la nocturna (TRSN), al parecer dependiente de la temperatura ambiente. Se logró clasificar los ácidos húmicos (AH) de suelos de la zona boscosa de montaña del Parque Nacional del Chico. Ya se reportaba que eran suelos andisoles húmicos, pero en este trabajo se clasifican como AH de tipo A predominante.

*Palabras Clave:* Respiración del suelo, ácidos húmicos, bosque de montaña, suelos andisoles

### Abstract

Soil respiration (SR) in wooded ecosystems is considered to be the second most important carbon flux between the biosphere and the atmosphere; about half of the SR is derived from metabolic activity, root growth and support, and association with mycorrhizae. In tropical forests, the factor that has the greatest influence on the temporal variation of the SR is not so much the temperature, but rather the water content or the precipitation because the soil temperature is relatively constant. The objective of the work has been to establish the behavior of the SR and to try to estimate and model the ecological process of the SR in the shrubby pre-phase of a mountain forest in the State of Hidalgo, in order to strengthen the theoretical framework of the ecology of restoration and conservation biology, as well as analyzing their relationship with meteorological parameters to understand what are the factors that regulate CO<sub>2</sub>-soil-atmosphere flows in an annual cycle. Due to the results achieved, it should be pointed out that it will be necessary to carry out a greater number of evaluations in a period of 3 to 5 years and in seasonal periods and periods with a view to reinforcing these results. Three important aspects could be concluded, first that SR is part of the carbon reservoir in forest ecosystems; the SR is a variable dependent on time and altitude, at higher time's higher values of RS and at higher altitudes as well. The daytime breathing rate (TRSD) was found to be slightly higher than the nighttime rate (TRSN), apparently dependent on ambient temperature. It was possible to classify the humic acid (HA) of soils of the forested mountain area of the Chico National Park. It was already reported that they were humic andosol soils, but in this work HA are classified as predominant type A.

*Keywords:* Soil respiration, humic acids, mountain forest, andosol soils

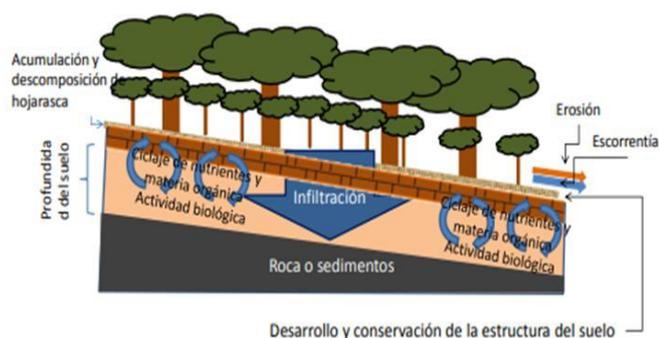
## 1. Introducción

\*Autor para la correspondencia: prietog@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: valpra\_13@hotmail.com (Beatriz Valdez-Prado), jud\_292003@yahoo.com.mx (Judith Prieto-Méndez), llola56@yahoo.com.mx (Yolanda Marmolejo-Santillán), prietog@uaeh.edu.mx (Francisco Prieto-García).

La respiración del suelo (RS) da la medida de emisiones de Carbono ( $C-CO_2$ ), procedentes principalmente de la descomposición de la materia orgánica (MO) vía respiración microbiana, la procedente de raíces de plantas y fauna del suelo, e incluso de la disolución de los carbonatos. Es una medida de la salud del suelo pues da el nivel de actividad microbiana, contenido de MO y su mineralización (Galicia et al., 2016).

La RS en ecosistemas boscosos se considera el segundo flujo de carbono más importante que se establece entre la biosfera y la atmósfera (Barba et al., 2016; Díaz et al. 2017). Juega un papel crítico en la dinámica del ciclo global del carbono; se dice que representa el 70% del metabolismo en bosques templados y alcanza un 37% del total del C terrestre en bosque tropical (figura 1).



**Figura 1. Esquemización de un bosque donde se produce caída y acumulación de hojarasca en el suelo que ayuda al ciclaje de nutriente y materia orgánica.**

Cerca de la mitad de la RS se deriva de la actividad metabólica para soporte y crecimiento radicular y asociación con micorrizas (Mendiara, 2012). La emisión anual de C, a través de la RS, es de 80,4 Pg  $CO_2-C$  (1 Petagramo =1 billón ton. métricas), representa aproximadamente un 10% del total del C atmosférico y es hasta 10 veces más grande que el obtenido por la combustión de compuestos fósiles y la deforestación combinadas (Ortiz et al., 2014). Por lo tanto, pequeños incrementos en la RS o cambios en los factores que controlan sus tasas, pueden resultar en cambios significativos en la concentración de  $CO_2$  atmosférico y en el balance calórico (Dias et al., 2010; Galicia et al., 2016; Li et al., 2018). La RS se ha convertido en el evento central de los cambios ecológicos globales debido a su papel controversial en los procesos de calentamiento global, ya que contribuye a determinar si un ecosistema dado se comporta como fuente de carbono o sumidero de carbono (Galicia et al., 2016; Li et al., 2018).

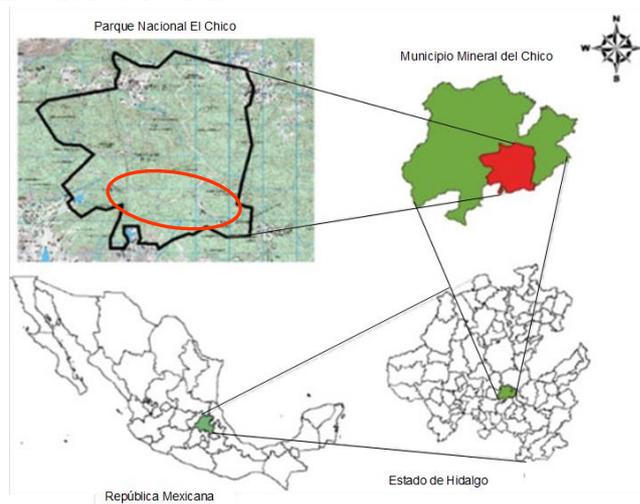
Existe una serie de variables de las que depende la RS, como son temperatura, humedad y aireación. Cada  $10^{\circ}C$  se duplica la tasa de respiración, hasta llegar a los  $35-40^{\circ}C$ , a partir de los cuales las temperaturas son limitantes; a su vez también queda limitada por debajo de  $5^{\circ}C$  (Li et al., 2018). La tasa de respiración (TRS) también aumenta conforme aumenta el contenido volumétrico de agua o humedad, que es a su vez, una medida numérica, porcentual, de la humedad del

suelo hasta niveles de saturación, donde esta tasa comienza a declinar y se comienza a producir anaerobiosis con desnitrificación y volatilización de azufre (Vieira et al., 2018).

Establecer el comportamiento de la RS, estimar y modelar el proceso ecológico en un bosque de montaña en el Estado, a fin de fortalecer el marco teórico de la ecología de restauración y conservación, han sido objetivos de este trabajo. Asimismo, analizar su relación con parámetros meteorológicos y factores que regulan los flujos del  $CO_2$  suelo-atmósfera en un ciclo anual.

## 2. Metodología

Se estudia zona boscosa del Parque Nacional El Chico, extremo occidental del sistema orográfico Sierra de Pachuca, en la porción austral del Eje Neovolcánico Transversal. Son bosques de coníferas (Díaz et al. 2017) y está ubicado en los  $20^{\circ}10'10''$  a  $20^{\circ}13'25''$  norte y  $98^{\circ}41'50''$  a  $98^{\circ}46'02''$  oeste; superficie total de 2739 ha (Cortés et al. 2019). La figura 2 muestra la ubicación.



**Figura 2. Ubicación geográfica del Parque Nacional “El Chico” Hidalgo, México. Línea roja indica área seleccionada para el estudio.**

La extensión total del parque (2739 ha), fue dividida en tres áreas. La figura 2 muestra dentro del círculo rojo (683 ha), donde se muestrearon diez puntos seleccionados de suelos y hojarasca. Los 10 puntos de muestreos de este trabajo se denominan e identifican como: Centro de visitantes (3025 msnm), Cruz del Muerto (3020 msnm), Campamento Los Cedros (2835 msnm), Peña La Redonda (2535 msnm), La Chamusquina (3080 msnm), Llano Grande (2320 msnm), Peña El Venado (3090 msnm), El Oyamel (2650 msnm), Peña La Muela (3080 msnm) y Peña La Fortaleza (2922 msnm).

Las canastas colectoras de hojarasca se ubicaron en los puntos de muestreos, fijadas al suelo y a los troncos de árboles. La caída de hojarasca (hojas, ramas, pequeños troncos, estructuras reproductivas, líquenes y detritus) se determinaron según lo propuesto por Ramírez et al. (2008), Murcia (2010), Fuentes & Rodríguez (2012), Quintero et al., (2014), Sánchez (2016) y Fuentes et al, (2018). Se ubicaron aleatoriamente a lo largo de un transecto de 100 m x 20 m. Estos fueron fabricados

en tela de malla plástica capaz de retener material vegetal de 0,1 mm y permitir drenar el agua lluvia. Las telas fueron cosidas y fijadas con un alambre a un rectángulo de 1.0 x 0.5 m trampa de 0.30 m de profundidad, de esta manera el área de colección será de 0,5 m<sup>2</sup> y un volumen de aproximadamente 0.15 m<sup>3</sup>.

Con ayuda de una pala pequeña, se tomaron muestras de suelos en sitios donde se colocaron las canastillas. Las muestras fueron esparcidas sobre plásticos y se acondicionaron manualmente para limpiarlos de piedras y restos que no aporten información propia del suelo. Una parte de la muestra se utilizó para determinar humedad inicial (NOM-021-SEMARNAT-2000). Se dejaron secar al aire a temperatura ambiente durante 72 horas. Posteriormente unos 200-250 g de muestras fueron llevados a un molino para triturar, homogenizar y tamizar. Con 100 g de suelo acondicionado se preparó una pasta saturada (PS) para obtener de la fase líquida el extracto de saturación (ES). El ES fue reservado para posteriores análisis de caracterización.

Otros 100g de suelo se colocaron en frascos boca ancha con tapa, llevados a capacidad de saturación de humedad; se colocó en el interior un vaso con 10 ml de KOH 1.000M; se prepararon frascos para 3, 10, 20 y 30 días, para la mañana, tomando el dato como respiración nocturna del suelo y para la tarde, como respiración diurna del suelo. Con el resto de las muestras de suelo se realizan otros análisis de caracterización (Delgado, 2017). Con el resto de las muestras de suelos acondicionados, se realizaron los análisis de caracterización físico-químicas (NOM-021-SEMARNAT-2000; NMX-FF-109-SCFI-2008; Negrete et al., 2010; MINAET, 2011; Tomás et al., 2013; López et al., 2014; Sánchez y Rubiano, 2015; Pérez et al., 2018 a), siendo a partir del ES: pH, Sólidos Totales Disueltos, Conductividad eléctrica, Cationes solubles (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y K<sup>+</sup>). A partir de muestras directas de suelos acondicionados (sólido), se determinó: Densidades aparentes (método de la probeta), Densidades reales (método del picnómetro), Porosidad (%), Arcillas (%), Limo (%) y Arena (%), Textura (método de Bouyoucus), ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF) (método gravimétrico y espectral), y espectroscopía FTIR para identificación de AH.

Los resultados se analizaron con base en un modelo lineal general univariante. La relación entre la RS media mensual y los parámetros meteorológicos se llevó a cabo a través de un análisis de correlación paramétrico (Pearson) y no paramétrico (Kendall y Spearman). Para establecer el efecto de las variables ambientales sobre la dinámica de la respiración diurna (RSD) y nocturna (RSN) se realizó un análisis de regresión lineal múltiple. La tasa anual de la RS se estableció, con un intervalo de confianza del 95%, a través de un análisis de regresión lineal donde la variable dependiente (Y) ha sido la RS acumulada y la variable independiente (X) ha sido el tiempo medido en días o en su caso la altitud de los sitios muestreados. La variable acumulada (Y) se creó con el fin de establecer si la tasa de cambio de la RS exhibe un crecimiento constante a lo largo del año (Buczko et al. 2015, Gomes et al. 2016).

### 3. Resultados y discusión

La información climatológica (10 años promedio, 2009-2019), arrojó meses de máximas temperaturas (marzo-junio), mínimas (noviembre-febrero) y meses de mayores precipitaciones (junio-septiembre).

La marcha anual de la precipitación y la evaporación mostraron un comportamiento bimodal altamente contrastante para las precipitaciones (en junio y septiembre) ( $r = -0,624$ ,  $p = 0,03$ ,  $n = 12$ , la relación entre precipitación y evaporación es lineal e inversamente proporcional, si aumenta la precipitación se espera que la evaporación disminuya).

En general, la dinámica de las variables meteorológicas configuró un periodo de marcada estacionalidad en lo referente a la precipitación y a la evaporación, lo cual podría conducir a un posible déficit hídrico entre la entrada por lluvia y la pérdida por evaporación.

Estos resultados son similares a los reportados por Murcia y Ochoa (2012) para un sistema de bosque altoandino (en la cuenca del río Pamplonita, Colombia). Estos autores reportaron un comportamiento para la marcha anual de la precipitación y de la evaporación, como bimodal y asimismo, altamente contrastante ( $r = -0,553$ ,  $p = 0,002$ ,  $n = 29$ ), también señalaron que la relación entre estas dos variables es lineal e inversamente proporcional, y que en la medida en que la precipitación aumenta en una unidad, entonces se espera que la evaporación disminuya en 0,2 mm.

La caracterización fisicoquímica de suelos se indica en tabla 1 y específicamente, los resultados de RS, AH y AF, en tabla 2. Se puede apreciar que no hay diferencias significativas en cuanto a características fisicoquímica (tabla 1). Se indica además, los contenidos metálicos de dos de los sitios evaluados y las relaciones Ca/Mg y Ca/K. Por criterios de clasificación una Ca/Mg >5 es indicativo de déficit de Mg<sup>2+</sup> en tanto una Ca/K >30 indica un déficit de K<sup>+</sup> (Sánchez y Rubiano, 2015). Londoño et al., (2007) aseguran que en bosques de encinos de Colombia se pierden cantidades de Mg<sup>2+</sup> entre 0,004-0,667 kg.ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> y de K<sup>+</sup> entre 0,08-7,092 kg.ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>. Los resultados obtenidos se corresponden con lo indicado por Rasal et al., (2012), al reportar niveles bajos para K<sup>+</sup> en bosques de montaña en Perú. Es más significativa la pérdida de K<sup>+</sup> que de Mg<sup>2+</sup>, debido a la mayor movilidad de la especie, aunque es común la ocurrencia de deficiencias de Mg<sup>2+</sup> en suelos ácidos en zonas boscosas y altas (Sadeghian, 2012).

En la RS, si existen diferencias significativas, dependientes de la altitud y el tiempo (tabla 2 y figura 3 a y b). En las figuras se observa, como en todos los sitios, se incrementa la RS (tanto diurna como nocturna), desde 3, 10, 20 y 30 días; destaca el sitio Los Cedros, que por ser el sitio que mayor humedad del suelo mostró, se asocia a éste, una mayor actividad microbiana (Barba et al., 2016) y con ello mayores valores de RS.

**Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de suelos en estudio. Entre paréntesis, desviación estándar**

Punto	Denominac.	D. aparente kg/m <sup>3</sup>	D. real	Porosidad %	Arcilla %	Textura	Humedad %	pH	CE mmhos/cm	TSD mg/L
3	Los Cedros	0.69 (0.06) <sup>a</sup>	1.79 (0.06) <sup>b</sup>	61.62 (1.04) <sup>c</sup>	15.8 (0.3) <sup>e</sup>	Fr-ar-ar <sup>f</sup>	7.42 (0.18) <sup>h</sup>	5.74 (0.03) <sup>i</sup>	1.06 (0.04) <sup>j</sup>	683.9 (1.1) <sup>k</sup>
5	C. Visitantes	0.69 (0.03) <sup>a</sup>	1.80 (0.04) <sup>b</sup>	61.78 (1.16) <sup>c</sup>	16.4 (0.2) <sup>e</sup>	Fr-ar-ar <sup>f</sup>	6.23 (0.11) <sup>h</sup>	5.62 (0.09) <sup>i</sup>	1.08 (0.04) <sup>j</sup>	743.7 (0.6) <sup>k</sup>
7	El Oyamel	0.69 (0.04) <sup>a</sup>	1.78 (0.04) <sup>b</sup>	61.43 (1.12) <sup>c</sup>	15.9 (0.3) <sup>e</sup>	Fr-ar-ar <sup>f</sup>	5.84 (0.12) <sup>g</sup>	5.65 (0.08) <sup>i</sup>	1.03 (0.04) <sup>j</sup>	694.4 (0.7) <sup>k</sup>
9	Llano Grande	0.69 (0.05) <sup>a</sup>	1.71 (0.05) <sup>b</sup>	59.88 (0.79) <sup>c</sup>	17.8 (0.3) <sup>f</sup>	Fr-ar-ar <sup>f</sup>	5.64 (0.23) <sup>g</sup>	5.68 (0.08) <sup>i</sup>	0.98 (0.03) <sup>j</sup>	650.7 (1.2) <sup>k</sup>
10	C. del Negro	0.69 (0.07) <sup>a</sup>	1.73 (0.06) <sup>b</sup>	61.21 (0.91) <sup>c</sup>	16.2 (0.3) <sup>e</sup>	Fr-ar-ar <sup>f</sup>	5.44 (0.31) <sup>g</sup>	5.61 (0.08) <sup>i</sup>	1.09 (0.05) <sup>j</sup>	708.7 (1.1) <sup>k</sup>
11	Chamusquina	0.70 (0.07) <sup>a</sup>	1.77 (0.08) <sup>b</sup>	62.29 (1.25) <sup>c</sup>	14.6 (0.4) <sup>d</sup>	Fr-ar-ar <sup>f</sup>	5.58 (0.22) <sup>g</sup>	5.55 (0.10) <sup>i</sup>	1.05 (0.03) <sup>j</sup>	644.1 (1.6) <sup>k</sup>
17	P. El Venado	0.69 (0.06) <sup>a</sup>	1.81 (0.07) <sup>b</sup>	61.71 (0.90) <sup>c</sup>	15.2 (0.4) <sup>e</sup>	Fr-ar-ar <sup>f</sup>	5.87 (0.30) <sup>g</sup>	5.56 (0.13) <sup>i</sup>	1.06 (0.05) <sup>j</sup>	687.9 (1.4) <sup>k</sup>
21	P. Fortaleza	0.69 (0.06) <sup>a</sup>	1.77 (0.05) <sup>b</sup>	61.55 (0.96) <sup>c</sup>	15.7 (0.4) <sup>e</sup>	Fr-ar-ar <sup>f</sup>	5.70 (0.28) <sup>g</sup>	5.71 (0.09) <sup>i</sup>	1.05 (0.05) <sup>j</sup>	688.8 (1.3) <sup>k</sup>
22	P. La Muela	0.69 (0.04) <sup>a</sup>	1.79 (0.06) <sup>b</sup>	61.44 (1.01) <sup>c</sup>	15.4 (0.3) <sup>e</sup>	Fr-ar-ar <sup>f</sup>	5.80 (0.25) <sup>g</sup>	5.66 (0.13) <sup>i</sup>	1.07 (0.05) <sup>j</sup>	687.7 (1.3) <sup>k</sup>
23	La Redonda	0.69 (0.06) <sup>a</sup>	1.85 (0.06) <sup>b</sup>	62.20 (1.30) <sup>c</sup>	17.2 (0.4) <sup>f</sup>	Fr-ar-ar <sup>f</sup>	6.33 (0.16) <sup>h</sup>	5.77 (0.05) <sup>i</sup>	1.04 (0.05) <sup>j</sup>	691.2 (1.2) <sup>k</sup>
<b>PROMEDIOS</b>		<b>0.69</b>	<b>1.78</b>	<b>61.62</b>	<b>15.83</b>	<b>Fr-ar-ar<sup>f</sup></b>	<b>6.03</b>	<b>5.65</b>	<b>5.65</b>	<b>686.5</b>
<b>Desv. Estan.</b>		<b>0.04</b>	<b>0.06</b>	<b>1.03</b>	<b>0.40</b>	<b>-</b>	<b>0.18</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>1.26</b>

Letras diferentes en columnas y filas, indican diferencias significativas (p<0.05)

**Tabla 1 (continuación). Resultados de análisis de cationes en ES de los suelos estudiados.**

Denomin.	Ca <sup>2+</sup> mg/kg	Mg <sup>2+</sup> mg/kg	K <sup>+</sup> mg/kg	Na <sup>+</sup> mg/kg	Al <sup>3+</sup> mg/kg	Fe <sup>3+</sup> mg/kg	Cu <sup>2+</sup> mg/kg	Zn <sup>2+</sup> mg/kg	Mn <sup>2+</sup> mg/kg	Rel Ca/Mg	Rel Ca/K
Los Cedros	398,13 <sup>b</sup>	105,44 <sup>b</sup>	10,18 <sup>b</sup>	11,34 <sup>a</sup>	0,112 <sup>a</sup>	0,76 <sup>b</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,00	3,78 <sup>a</sup>	39,11 <sup>b</sup>
C. Visitantes	235,60 <sup>a</sup>	36,24 <sup>a</sup>	6,99 <sup>a</sup>	11,38 <sup>a</sup>	0,104 <sup>a</sup>	0,54 <sup>a</sup>	0,07 <sup>a</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,00	6,50 <sup>b</sup>	33,71 <sup>a</sup>

Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas (p<0.05)

**Tabla 2. Resultados de RSDiurna y RSNocturna**

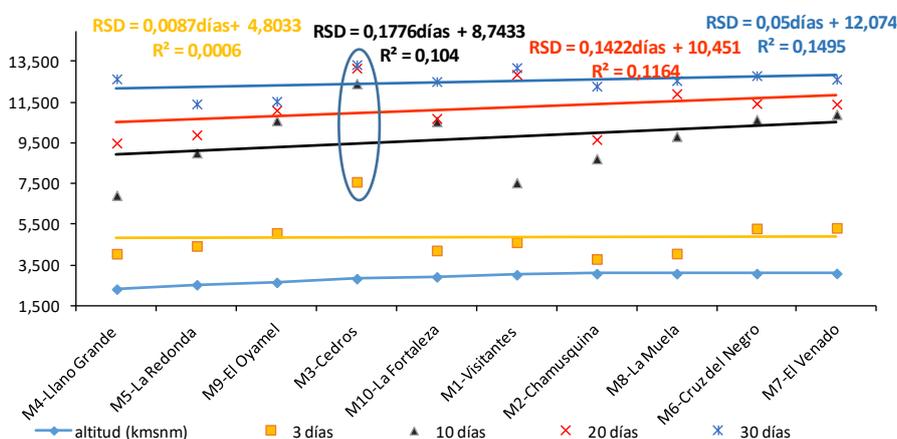
Sitios (altitud)/días	RSD (C-CO <sub>2</sub> ) período enero-febrero, (mg CO <sub>2</sub> /g suelo y tmCO <sub>2</sub> /ha)						RSN						
	RSD					SUMA (mg/g)	RSN					SUMA (mg/g)	tmCO <sub>2</sub> /ha
	3	10	20	30	SUMA (mg/g)		3	10	20	30	SUMA (mg/g)		
M4-Llano Grande (2320)	4,06 <sup>b</sup>	6,93 <sup>a</sup>	9,50 <sup>a</sup>	12,65 <sup>b</sup>	33,14 <sup>a</sup>	2,98 <sup>a</sup>	4,07 <sup>b</sup>	9,78 <sup>c</sup>	10,38 <sup>b</sup>	10,62 <sup>a</sup>	34,85 <sup>a</sup>	3,14 <sup>a</sup>	
M5-La Redonda (2535)	4,44 <sup>b</sup>	9,02 <sup>b</sup>	9,90 <sup>a</sup>	11,42 <sup>a</sup>	34,78 <sup>b</sup>	3,13 <sup>b</sup>	4,58 <sup>b</sup>	10,56 <sup>d</sup>	10,66 <sup>b</sup>	11,17 <sup>b</sup>	36,97 <sup>c</sup>	3,33 <sup>a</sup>	
M9-El Oyamel (2650)	5,08 <sup>c</sup>	10,60 <sup>d</sup>	11,11 <sup>c</sup>	11,55 <sup>a</sup>	38,34 <sup>c</sup>	3,45 <sup>b</sup>	4,29 <sup>b</sup>	9,24 <sup>c</sup>	10,29 <sup>b</sup>	11,56 <sup>b</sup>	35,38 <sup>b</sup>	3,18 <sup>a</sup>	
M3-Cedros (2835)	7,59 <sup>d</sup>	12,42 <sup>e</sup>	13,18 <sup>e</sup>	13,35 <sup>e</sup>	46,54 <sup>e</sup>	4,19 <sup>e</sup>	8,26 <sup>e</sup>	11,36 <sup>e</sup>	12,25 <sup>e</sup>	12,69 <sup>c</sup>	44,56 <sup>f</sup>	4,01 <sup>b</sup>	
M10-La Fortaleza (2922)	4,22 <sup>b</sup>	10,56 <sup>d</sup>	10,71 <sup>b</sup>	12,52 <sup>b</sup>	38,01 <sup>c</sup>	3,42 <sup>c</sup>	4,40 <sup>b</sup>	9,90 <sup>c</sup>	10,34 <sup>b</sup>	12,04 <sup>c</sup>	36,68 <sup>c</sup>	3,30 <sup>a</sup>	
M1-Visitantes (3025)	4,62 <sup>b</sup>	7,55 <sup>a</sup>	12,87 <sup>d</sup>	13,20 <sup>b</sup>	38,24 <sup>c</sup>	3,44 <sup>c</sup>	4,62 <sup>b</sup>	7,55 <sup>a</sup>	12,67 <sup>c</sup>	13,20 <sup>d</sup>	38,04 <sup>d</sup>	3,42 <sup>a</sup>	
M2-Chamusquina (3080)	3,80 <sup>a</sup>	8,73 <sup>b</sup>	9,67 <sup>a</sup>	12,29 <sup>b</sup>	34,49 <sup>b</sup>	3,10 <sup>c</sup>	5,36 <sup>c</sup>	9,62 <sup>c</sup>	10,73 <sup>b</sup>	11,89 <sup>b</sup>	37,60 <sup>d</sup>	3,38 <sup>a</sup>	
M8-La Muela (3080)	4,07 <sup>b</sup>	9,83 <sup>c</sup>	11,92 <sup>c</sup>	12,57 <sup>b</sup>	38,39 <sup>c</sup>	3,46 <sup>c</sup>	3,37 <sup>a</sup>	9,13 <sup>c</sup>	9,78 <sup>a</sup>	11,95 <sup>b</sup>	34,23 <sup>a</sup>	3,08 <sup>a</sup>	
M6-Cruz del Negro (3085)	5,30 <sup>c</sup>	10,65 <sup>d</sup>	11,44 <sup>c</sup>	12,81 <sup>b</sup>	40,20 <sup>d</sup>	3,62 <sup>c</sup>	6,05 <sup>d</sup>	9,62 <sup>c</sup>	10,82 <sup>b</sup>	12,85 <sup>c</sup>	39,34 <sup>e</sup>	3,54 <sup>a</sup>	
M7-El Venado (3090)	5,33 <sup>c</sup>	10,91 <sup>d</sup>	11,41 <sup>c</sup>	12,63 <sup>b</sup>	40,28 <sup>d</sup>	3,63 <sup>c</sup>	3,04 <sup>a</sup>	8,57 <sup>b</sup>	10,07 <sup>b</sup>	12,67 <sup>c</sup>	34,35 <sup>a</sup>	3,09 <sup>a</sup>	
<b>PROMEDIOS</b>	<b>4,85</b>	<b>9,75</b>	<b>11,97</b>	<b>12,50</b>	<b>38,24</b>	<b>3,44</b>	<b>4,80</b>	<b>9,53</b>	<b>10,80</b>	<b>12,06</b>	<b>37,20</b>	<b>3,35</b>	
<b>Desv. Estan.</b>	<b>1,132</b>	<b>1,510</b>	<b>2,786</b>	<b>5,083</b>	<b>3,592</b>	<b>0,323</b>	<b>0,274</b>	<b>0,985</b>	<b>0,886</b>	<b>0,765</b>	<b>2,928</b>	<b>2,928</b>	

Letras diferentes en columnas y filas, indican diferencias significativas (p<0.05)

**Tabla 2 (continuación). Resultados de AH y AF**

Sitios (altitud)/días	Abs 465 nm	Abs 665 nm	E4/E6	Alog Abs
M1-Visitantes (3025 msnm)	0,0153	0,0043	3,538 <sup>b</sup>	0,571 <sup>c</sup>
M2-Cedros (2835msnm)	0,0137	0,0037	3,727 <sup>c</sup>	0,613 <sup>d</sup>
M3-Chamusquina (3080 msnm)	0,0127	0,0040	3,167 <sup>b</sup>	0,501 <sup>b</sup>
M4-Llano Grande (2320 msnm)	0,0157	0,0043	3,615 <sup>c</sup>	0,558 <sup>c</sup>
M5-La Redonda (2535 msnm)	0,0137	0,0037	3,727 <sup>c</sup>	0,571 <sup>c</sup>
M6-Cruz del Negro (3085 msnm)	0,0173	0,0067	2,600 <sup>a</sup>	0,415 <sup>a</sup>
M7-El Venado(3090 msnm)	0,0140	0,0050	2,800 <sup>a</sup>	0,447 <sup>a</sup>
M8-La Muela (3080 msnm)	0,0137	0,0053	2,563 <sup>a</sup>	0,409 <sup>a</sup>
M9-La Fortaleza (2922 msnm)	0,0133	0,0047	2,857 <sup>a</sup>	0,456 <sup>a</sup>
M10-El Oyamel (2650 msnm)	0,0130	0,0037	3,545 <sup>b</sup>	0,550 <sup>b</sup>

Letras diferentes en columnas y filas, indican diferencias significativas (p<0.05)



**Figura 3 a. RS Diurna en el tiempo (días) y por altitudes (kmsnm)**

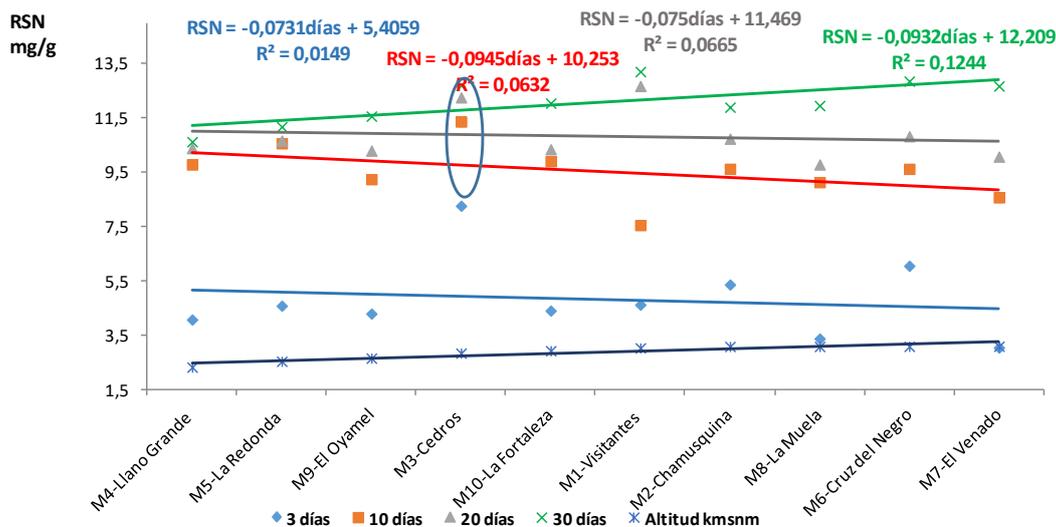


Figura 3 b. RS Nocturna en el tiempo (días) y por altitudes (kmsnm)

Por su parte, en la figura 4 se muestra la correlación de las tasas de respiración del suelo diurna (TRSD) y nocturna (TRSN). Se aprecian pendientes positivas que varían entre 0.29-0.31 mg/g.días. De igual forma, se incrementa la RS con el tiempo (días) y se hace notar que es mayor la TRSD que la TRSN lo que está asociado a mayores temperaturas en horas del día que en la noche, lo cual activa significativamente la actividad microbiana. Esto está en correspondencia con los que señalan otros autores (Murcia et Ochoa, 2012; Rodríguez, 2014).

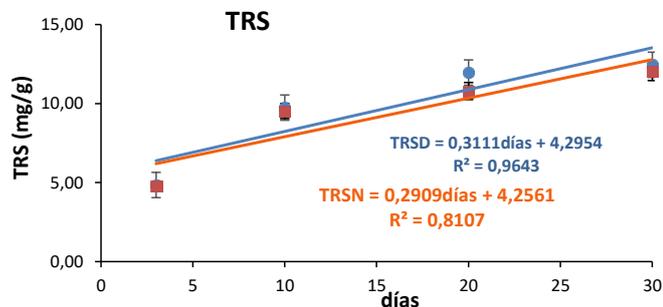


Figura 4. Tasas de respiración del suelo Diurna (TRSD) y nocturna (TRSN)

La relación de absorbancias a 465 y 665 nm (E4/E6), utilizada para caracterizar sustancias húmicas (SH) (Sánchez et Rubiano, 2015), indica que, a más elevados valores, se tiene prevalencia de AF. Una disminución indica un aumento de la condensación molecular de SH, por la mayor capacidad de absorción en la región del rojo del espectro Vis y aumento de aromaticidad, proporcional al grado de humificación (GH) y maduración de las SH. En esta relación, un valor <5 indica prevalencia en AH (3,0÷5,0) y >5 en AF (6,0÷8,5). En suelos Andisoles, los complejos más viejos, están presentes en agregados órgano-minerales, formados por AH mayoritariamente, mientras que los complejos más recientes, son AF más jóvenes y poco condensados (Sánchez et Rubiano, 2015).

Otra forma de expresarlo es la diferencia de  $\Delta \log \text{Abs}$ ; a menores valores de ésta diferencia, mayor GH; valores de  $\Delta \log \text{Abs} < 0.6$  son característicos de AH tipo A, que presentan alto contenido de carbono aromático y alto GH, siendo este el caso de estudio (ver figura 5, tabla 3) (Pérez et al., 2018).

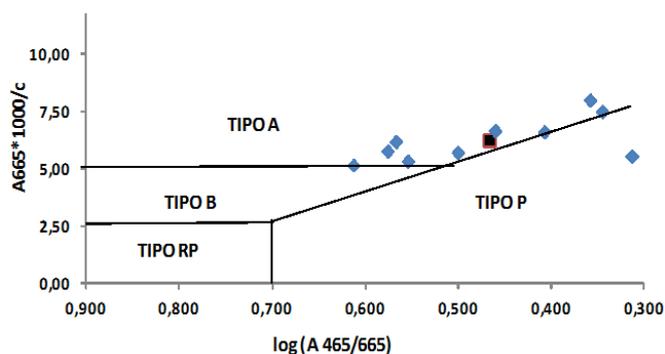


Figura 5. Clasificación de AH de los suelos en estudio, según espectro de absorción (de acuerdo con Pérez et al., 2018). Punto negro representa el promedio para todos los suelos evaluados

Tabla 3. Clasificación de los AH para las unidades de suelos analizadas

Punto	Sitio	c KMnO <sub>4</sub> (ml)		RF fórmula	Absorb. 465 nm	log 465/665	Ácid. Húmico Tipo
		Absorb. 665 nm	Vol. Perm 0.1 N				
3	Los Cedros	0.0033	0.65	5.13	0.0137	0.613	TA-TB
5	C. Visitantes	0.0043	0.70	6.19	0.0160	0.567	TA
7	El Oyamel	0.0043	0.65	6.62	0.0110	0.408	TA-TP
9	Llano Grande	0.0043	0.75	5.78	0.0163	0.576	TA
10	Cruz del Negro	0.0060	0.90	6.67	0.0173	0.461	TA
11	Chamusquina	0.0040	0.70	5.71	0.0127	0.501	TA
17	P. El Venado	0.0060	0.80	7.50	0.0133	0.346	TA-TP
21	P. La Fortaleza	0.0050	0.90	5.56	0.0103	0.314	TP
22	P. La Muela	0.006	0.75	8.00	0.0137	0.359	TA
23	P. La Redonda	0.0040	0.75	5.33	0.0143	0.554	TA-TB
	Promedios	0.0047	0.755	6.25	0.0139	0.467	TA

La caracterización por FTIR de los AH extraídos se muestra en la figura 6, con similares condiciones para todas las muestras, que corrobora que son AH de un mismo tipo prevaleciente (tipo A, tipo B→A, tipo P→A). La banda más importante se centra alrededor de 3400 cm<sup>-1</sup> y corresponde al estiramiento del enlace O-H de los grupos alcohol alifático, fenol o ácido carboxílico. Las bandas a 2970 y 2935 cm<sup>-1</sup> son características de estiramientos de los enlaces C-H. El pico a 1408 cm<sup>-1</sup> debido a la flexión del enlace C-H alifático y al estiramiento asimétrico del COO<sup>-</sup>. Las bandas en 1570÷1580 cm<sup>-1</sup> debidas al estiramiento del enlace C=C, incluida la posible presencia

adicional del ión carboxilato formando alguna sal y deformaciones del enlace N-H. Rangos más bajo de número de onda, se pueden atribuir a posible grupo aromático-N-R, esto puede representar una amina terciaria en las bandas 620÷670  $\text{cm}^{-1}$ . Bandas debajo de 600  $\text{cm}^{-1}$  pueden ser asignadas a silicatos y picos y vibraciones asociadas, a compuestos minerales desconocidos (silicatos u óxidos). Esto concuerda con los reportados de López et al. (2014) con respecto al uso del FTIR típico donde se demuestran interacciones y diferencias existentes en SH. Una estructura a proponer para los AH, sería como la que se muestra en la figura 7 (propuesta por: Ales, 2014; Louzada et Coelho, 2016).

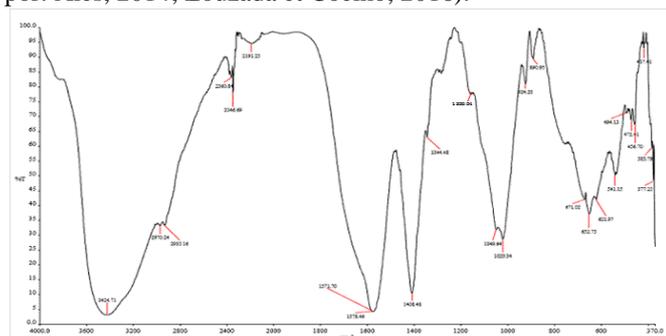


Figura 6. Espectro FTIR de las muestras de AH extraídos

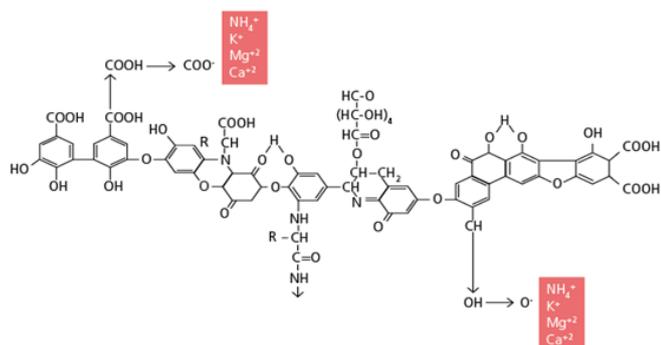


Figura 7. Estructura molecular propuesta para AH extraídos (tomada de Ales, 2014; Louzada et Coelho, 2016)

Buscando una correlación entre RS y las altitudes (figura 8), encontramos los aportes de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera en  $\text{tm CO}_2/\text{ha}$ , observando en esta figura una correlación polinómica de tercer grado y que muestra que la tasa de respiración de los suelos es mayor en la diurna que la nocturna y destaca el sitio Los Cedros como el punto de mayor actividad microbiana (Rodríguez, 2014; Galicia et al., 2016; Paolini, 2018).

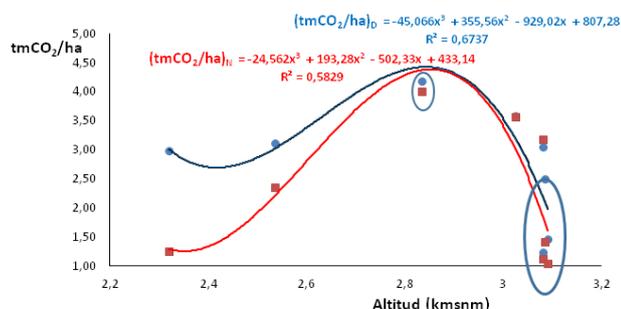


Figura 8. Correlación de aportes de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera con dependencia de la altitud y de ser una RS diurna o nocturna

Otra correlación que se evaluó en este estudio fue la de los cationes principales. En la figura 9 se muestra la tendencia a la

disminución de todos estos cationes con la altitud, lo que puede estar asociado con los criterios de lavados de suelos con las lluvias y los arrastres hacia menores altitudes y mantos acuíferos (Buczko et al., 2015).

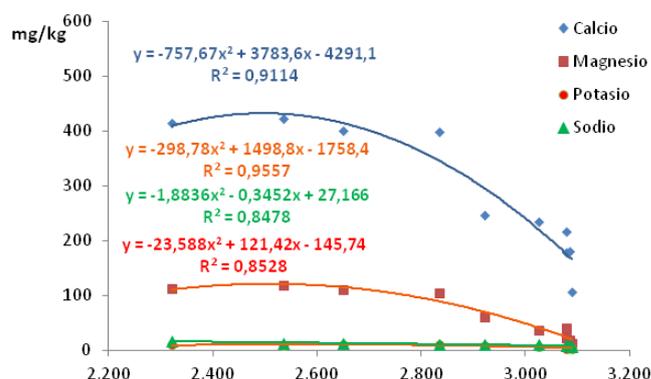


Figura 9. Correlación de contenidos de cationes principales con dependencia de la altitud

El sistema de la hojarasca es la parte del ecosistema en el que la hojarasca sobre el suelo se acumula y descompone. La hojarasca se caracteriza por ser residuos vegetales frescos, sin descomponer, y fácilmente reconocible. Esto puede ser cualquier cosa, desde hojas, conos, agujas, ramas, cortezas, semillas, frutos secos, troncos u órganos reproductivos. Los suelos reciben MO fresca a través de la entrada de hojarasca, así como del retorno microbiano y otros eventos como los incendios. La hojarasca y las SH resultantes son descompuestas, principalmente por la mayoría de los microorganismos que comprenden a las bacterias, hongos y la meso y macro-fauna del suelo, esa actividad microbiana da como resultado la respiración microbiana y posterior emanación de  $\text{CO}_2$  del suelo y cambios en la composición química de la MOS. Este estudio tiene una continuidad, que está relacionada con los aportes de carga orgánica por parte de las hojarascas de caída libre por cuanto no fueron cantidades suficientes las recolectadas que permitieran establecer algún tipo de correlación. Sería requerido un mayor tiempo del estudio; se sugiere dos a tres años de continuidad.

#### 4. Conclusiones

De manera preliminar debe señalarse que serían necesarios realizar un número mayor de evaluaciones en un tiempo de 3 a 5 años y en épocas y períodos estacionales con vistas a reforzar estos resultados. Se pueden concluir tres aspectos importantes, en primer lugar, que la RS es parte del reservorio de C en ecosistemas forestales; que la RS del suelo es una variable dependiente del tiempo y de la altitud, a mayores tiempos mayores valores de RS y a mayores altitudes también.

Se encontró que la TRSD es ligeramente mayor que la TRSN al parecer dependiente de la temperatura ambiente. Se logró clasificar los AH de suelos de la zona boscosa de montaña del Parque Nacional del Chico. Ya se reportaba que eran suelos andisoles húmicos, pero en este trabajo se clasifican como AH de tipo A predominante.

#### 5. Agradecimientos

A mi casa de estudio, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y a quienes han contribuido en mi formación.

## 6. Referencias bibliográficas

- Ales, R. (2014). Metodología para obtenção de imagens de ácido húmico por meio da técnica de microscopia de força atômica. Dissertação (Mestrado em Ciências). Setor de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa.
- Barba, J., Curiel, J., Poyatos, R., Janssens I. A. y Lloret, F. (2016) Strong resilience of soil respiration components to drought-induced die-off resulting in forest secondary succession. *Oecologia*. DOI: 10.1007/s00442-016-3567-8
- Buczko, U., S. Bachmann, M. Gropp, G. Jurasinski and S. Glatzel. (2015). Spatial variability at different scales and sampling requirements for in situ soil CO<sub>2</sub> efflux measurements on an arable soil. *Catena* 131: 46-55
- Cortés, H. J., Rodríguez, R., Otazo, E. M., Prieto, F., Fragoso, P. I. y Razo, R. (2019). Patrones culturales de uso de leña en la primera área protegida de Latinoamérica, El Chico, México. *Revista Iberoamericana de Ciencia*. Vol. 6(2): 15-26.
- Delgado, E. (2017). Uso de espectros de infrarrojo, UV-Vis y fluorescencia para caracterizar la materia orgánica en suelos afectados por incendios forestales. Tesis de grado. Universidad de La Coruña. Galicia, España.
- Dias, A.T.C., J. Ruijven & F. Berendse. (2010). Plant species richness regulates soil respiration through changes in productivity. *Oecologia* 163: 805-813
- Díaz, J. L., Fernández, E. and González, J. (2017). Organic and inorganic carbon in soils of semiarid regions: A case study from the Guadix-Baza basin (Southeast Spain). *Geoderma* 114: 65-80. DOI: 10.1016/S0016-7061(02)00342-7
- Fuentes N, Rodríguez B. (2012). Eficiencia en el retorno potencial de nutrientes vía hojarasca de un bosque tropical de ribera. Sierra Nevada de Santa Marta – Colombia. *Acta biol. Colomb.* 17(1):51-66.
- Fuentes N., Rodriguez J., Leon S.I. (2018). Leaf and decomposition of litter in the riparian forests manantial de Cañaverales, Guajira, Colombia. *Acta biol. Colomb.* 23(1):115-123. DOI: 10.15446/abc.v23n1.62342
- Galicia, L., Gamboa, A. M.; Cáceres, S. Cram, B.; Chávez, V., Peña, V. Saynes, E y Siebe, C. (2016). Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana* 34: 1-29.
- 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 CO<sub>2</sub> efflux in coffee agroforestry systems. *Agricultural and Forest Meteorology* 224: 30–39
- Li Xiaojun, Zhao Yang, Yang Haotian, Zhang Peng and Gao Yongping. (2018). Soil Respiration of Biologically-Crusted Soils in Response to Simulated Precipitation Pulses in the Tengger Desert, Northern China. *Pedosphere* 28(1): 103–113, doi:10.1016/S1002-0160(17)60307-2
- Londoño, A.; Montoya, D. C.; León, J. D. y González, M. I. (2007). Ciclaje y pérdida de nutrientes del suelo en bosques altoandinos de Antioquia, Colombia. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*.Vol.60, No.1.p.3717-3734.
- López, R.; González, G.; Vázquez, R. E.; Olivares, E.; Vidales, J. A.; Carranza, R.; Ortegá, M. (2014). Metodología para obtener ácidos húmicos y fúlvicos y su caracterización mediante espectrofotometría IR. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, núm. 8, pp. 1397-1407
- Louzada, T.; Coelho, L. W. (2016). Substâncias húmicas: um breve relato sobre sua importância e suas interações. *Revista Educação Pública*. Edição V. 16, Ed. 13.
- Mendiara, S. (2012). Efecto de los usos del suelo en la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera en un agroecosistema semiárido del Valle del Ebro. Tesis de grado. Universidad de VIC. Escola Politécnica Superior. Barcelona, España.
- Murcia-Rodríguez, M.A. (2010). Productividad primaria neta del bosque altoandino en la cuenca del río Pamplonita Norte de Santander - Colombia). Sucesión regenerativa del bosque altoandino. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales, Departamento de Biología, Bogotá D.C. 185 p.
- Murcia-Rodríguez, M. A., Ochoa-Reyes, M. P. (2012). Soil respiration related to litterfall in the high-Andean forest bush (Pamplonita river basin, Colombia). *Caldasia* 34(1):165-185
- NMX-FF-109-SCFI-2008. Humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba”, 10 de Junio, 2008, 24
- NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio muestreo y análisis”, 23 de abril de 2003, 2002, 85
- Ortiz C., Gutiérrez A., Díaz-Pinés E., Benito M., Rubio, A. (2014). Respuesta de la respiración del suelo a la temperatura y humedad del suelo en pinares mediterráneos. *Memorias en extenso, III Workshop de la Red REMEDIA, España.*
- Paolini, J. E. (2018). Microbial activity and microbial biomass in coffee soils of the Venezuelan Andes. *Terra Latinoamericana*. Volumen 36 Número 1
- Pérez, N.; Jaramillo, D; Ruiz, O. & Parra, L. (2018). Caracterización óptica de la materia orgánica de un Andisol del Oriente Antioqueño, Colombia. *Rev. Fac. Cienc.*, 7(1), 40–55. DOI: 10.15446/rev.fac.cienc.v7n1.68243
- Quintero J, Brochero H, Manrique P, Barrera M, Basso C, Romero S. (2014). Ecological, biological and social dimensions of dengue vector breeding in five urban settings of Latin America: a multi-country study. *BMC Infectious Diseases*. 14(1):38. DOI: 10.1186/1471-2334-14-38
- Ramírez, A.A. & Moreno F.H. (2008). Respiración microbiana y de raíces en suelos de bosques tropicales primarios y secundarios (Porce, Colombia). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 61(1):4381-4393
- Rodríguez, W.; García, P. A.; Fajardo, A. (2016). Applications of spectroscopy techniques for soil analysis. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. Volumen 12, Número 2, Páginas 228-251
- Sadeghian, S. (2012). Efecto de cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (*Coffea arabica* L.) en la etapa de almacigo. TESIS Doctoral. Universidad Nacional de Colombia
- Sánchez Torres, D. V. (2016). Dinámica del carbono orgánico en suelos de sistemas agroforestales y cafeteros en Tibacuy, Cundinamarca. Tesis de Maestría. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Facultad De Ingeniería. Colombia.
- Sánchez, J. A.; Rubiano, Y. (2015). Procesos específicos de formación en andisoles, alfisoles y ultisoles en Colombia. *Revista EIA*, vol. 12, núm. 2, pp. 85-97.
- Tomás, R., Cano, M., García-Barba, J., Santamarta, J.C., Hernández, L.E., Rodríguez, J.A., Zamora, R. (2013). Prácticas de Ingeniería del Terreno. Universidades de Alicante y de La Laguna. España. License: Creative Commons BY-NC-SA. <http://web.ua.es/es/ginter/>(consultado: 20/02/2020).
- Vieira Farhate, C. V., Menezes de Souza, Z., Robson de Medeiros Oliveira, S., Nunes Carvalho, J. L., La Scala Júnior, N., Guimaraes Santos, A. P. (2018). Classification of soil respiration in areas of sugarcane renewal using decision tree. *Sci. Agric.* v.75, n.3, p.216-224. DOI: 10.1590/1678-992X-2016-0473