

VARIACIÓN DE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO EN UN TRANSECTO ALTITUDINAL DE LA SIERRA DE SAN LUÍS, ESTADO FALCÓN

VARIATION OF SOIL BIOLOGICAL ACTIVITY IN AN ALTITUDINAL TRANSECT OF LA SIERRA DE SAN LUIS, FALCON STATE

José Pastor Mogollón* y Alicia Martínez**

*Profesor. Universidad Experimental Francisco de Miranda (UNEFM). Departamento de Ciencias Ambientales.

**Profesora. Instituto Universitario de Tecnología Alfonso Gamero (IUTAG). Departamento de Química. Estado Falcón. E-mail: jmogollon15@gmail.com - aliciaemogollon@yahoo.com

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar la variación de la respiración basal (RB), el carbono de la biomasa microbiana (C-BM) y la actividad ureásica (AU) del suelo, como producto de cambios asociados a la vegetación, en un transecto altitudinal en la Sierra de San Luís, estado Falcón. Las áreas de muestreo fueron: La Chapa (LC) a 720 m.s.n.m.; San Diego (SD) a 1 000 m.s.n.m.; Santa Lucía (SL) a 1 100 m.s.n.m.; El Palenque (EP) a 1 200 m.s.n.m.; Macanillas (M) a 1 320 m.s.n.m., y Cerro Galicia (CG) a 1 400 m.s.n.m. En cada lugar se tomaron 6 muestras de suelos compuestas, a una profundidad de 0-10 cm. Los resultados indican diferencias entre los sitios, estadísticamente significativas ($P < 0,05$). La mayor RB se observó en CG y M, con valores de $23,8 \pm 5,0$ y $18,3 \pm 2,9$ $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ suelo h}^{-1}$, respectivamente. El C-BM del suelo tuvo un rango promedio de $739,1 \pm 81,3$ a $2 849,5 \pm 362,5$ $\mu\text{g Cmic g}^{-1} \text{ suelo}$, encontrándose los mayores valores, en los sitios de mayor altitud. Con respecto a la AU del suelo, ésta presentó la misma tendencia de los parámetros anteriores, observándose la mayor actividad enzimática en M ($160,3 \pm 20,6$ $\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ suelo } 2 \text{ h}^{-1}$) y los valores más bajos en LC ($14,7 \pm 1,9$ $\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ suelo } 2 \text{ h}^{-1}$). Se encontraron correlaciones positivas y significativas de la RB, el C-BM, y la AU con el carbono orgánico del suelo (CO). La actividad biológica del suelo está relacionada a la altitud, y su influencia en los parámetros climáticos, así como en el tipo de cobertura vegetal, en la cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo.

Palabras Clave: Actividad ureásica; respiración edáfica; biomasa microbiana; gradiente altitudinal.

SUMMARY

The objective of this paper is to study the variation that exists in the biological activity of the soil in an altitudinal transect, product of changes associated to the vegetation, and precipitation levels in each one of the points of the gradient. The soil biological activity was quantified through the soil basal respiration, the microbial biomass carbon, and the urease activity. Six sites of sampling were selected along the transect La Chapa-Curimagua, of "Sierra de San Luis", Falcon State. The sampling sites were the following ones: La Chapa to 720 m.a.s.l.; San Diego to 1 000 m.a.s.l.; Santa Lucia to 1 100 m.a.s.l.; El Palenque to 1 200 m.a.s.l.; Macanillas (M) to 1 320 m.a.s.l., and Cerro Galicia (CG) to 1 400 m.a.s.l. In each one of these sites, six composite soil samples were collected, to a depth of 0-10 cm. The greater soil basal respiration was observed in CG and M with values of 23.8 and 18.3 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ soil h}^{-1}$, respectively. The soil microbial biomass had a rank from 739 to 2 849 $\mu\text{g Cmic g}^{-1}$, being the greater values, in the sites of greater altitude. With respect to the soil urease activity, this displayed the same tendency of the previous parameters, being observed the greater enzyme activity in M (160.30 $\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ soil } 2\text{h}^{-1}$), and the lowest values in LC (14.71 $\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ soil } 2\text{h}^{-1}$). The content of organic carbon in soil studied, as well as the soil biological activity, is influenced by changes in the vegetation and changes in the precipitation patterns.

Key Words: Urease activity; edaphic respiration; microbial biomass; altitudinal gradient.

RECIBIDO: mayo 19, 2009

ACEPTADO: marzo 10, 2010

INTRODUCCIÓN

La actividad biológica es considerada como un índice de la fertilidad de los suelos, Alef, 1995. Varias son las metodologías desarrolladas para cuantificar la misma, resultando de gran interés práctico la determinación de la biomasa microbiana (BM), ya sea a través de medidas directas, así como la medición de parámetros fisiológicos, tales como la respiración inducida por sustrato (Sparling y West, 1990). También, la actividad enzimática en el suelo constituye otro método para evaluar tanto la fertilidad actual como potencial de este recurso natural (Parinkina *et al.*, 1994).

En el caso de la respiración edáfica, se considera que la oxidación biológica de carbono orgánico (CO) en el suelo ocupa una posición clave en el ciclo global del carbono (C) y representa la principal forma mediante la cual el C fijado retorna a la atmósfera. Así mismo, la medida del C-CO₂ permite evaluar la actividad total de un suelo o la transformación de un determinado sustrato (Cabrera y Crespo, 2001).

La influencia del relieve es un factor determinante en la variación de los niveles del CO del suelo, tanto en cantidad como en calidad (Stevenson, 1982), porque en muchos casos, con la altitud se manifiestan cambios en las características del mismo (pH, humedad, contenido de macro y microelementos, textura), en la precipitación, la temperatura y el tipo de vegetación, lo cual influye también en la BM y por ende en la actividad microbológica de éste.

Sanchez *et al.* (2005) encontraron una variación en el contenido de la MO de los suelos estudiados con respecto a la altitud. Los mayores valores de CO se

observaron en la zona más alta y los menores de éstos en la zona intermedia. Estos autores señalan, que el contenido y la composición del CO en los suelos estudiados, así como la actividad microbológica, están influenciados por la altitud, la cual está asociada a diferencias en la vegetación, temperatura, humedad, precipitaciones y características de los suelos.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la variación de la actividad biológica del suelo, estimada a través de la RE, el C-BM y la actividad ureásica (AU), en relación a la altitud, como producto de cambios asociados a la vegetación, a los niveles de precipitación y temperatura en cada uno de los espacios del gradiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características de los sitios de muestreo

Los suelos evaluados en este estudio, se encuentran ubicados en la Hoya de Curimagua, estado Falcón. Se seleccionaron 6 sitios a lo largo del eje carretero La Chapa-Curimagua (Cuadro 1).

Los sitios de muestreo fueron los siguientes: La Chapa (LC) ubicada a una altura de 720 m.s.n.m., una precipitación promedio anual de 780 mm año⁻¹, una temperatura promedio (TP) anual de 26 °C; San Diego (SD) a 1 000 m.s.n.m., una Pp de 900 mm año⁻¹ y una TP anual de 22 °C; Santa Lucía (SL) a 1 100 m.s.n.m., una Pp de 950 mm año⁻¹ y una TP anual de 22 °C; El Palenque (EP) a 1 200 m.s.n.m., una Pp de 1 100 mm año, y una TP anual de 20 °C; Macanillas (M) a 1 320 m.s.n.m., una Pp de 1 150 mm año⁻¹ y una TP anual de 18 °C y Cerro Galicia (CG) a 1 400 m.s.n.m., una Pp de 1 200 mm año⁻¹, y una TP anual de 18 °C.

CUADRO 1. Características edafoclimáticas y de vegetación de los sitios estudiados en el gradiente altitudinal.

Sitio	Altitud (m.s.n.m.)	Precipitación (mm/año)	Temperatura(°C) (Promedio/año)	Zonas de vida (Holdridge)	Clasificación taxonómica suelos
La Chapa	720	650	26	Bosque seco premontano	Ustic Torriorthens
San Diego	1 000	900	22	Bosque húmedo premontano	Oxic Distropepts
Santa Lucía	1 100	950	22	Bosque húmedo premontano	Typic Distropepts
El Palenque	1 200	1 100	20	Bosque muy húmedo premontano	Typic Distropepts
Macanillas	1 320	1 150	18	Bosque muy húmedo premontano	Typic Distropepts
Cerro Galicia	1 400	1 200	18	Bosque muy húmedo premontano	Typic Distropepts

Los diferentes sitios de muestreo corresponden a diferentes zonas de vida (Holdridge, 1967), las cuales son las siguientes: LC es un bosque seco; SD y SL son bosques húmedos premontanos; EP, M y CG pertenecen a la zona de vida bosque muy húmedo premontano.

Muestreo del suelo

Las muestras fueron colectadas en febrero de 2007, correspondiente a la época seca para la zona de estudio. En cada sitio del eje carretero se tomaron 6 muestras compuestas, las cuales se obtuvieron de un área experimental de 10 x 30 m demarcada en un bosque natural o poco intervenido. El área experimental se dividió en 6 subparcelas de 50 m² cada una. En cada subparcela se muestreó el suelo en 6 puntos seleccionados aleatoriamente, con igual volumen y a una profundidad de 0-10 cm y con estos 6 se conformó la muestra compuesta. La misma, se dividió en 2 porciones, una secada y otra tamizada (2 mm) para realizar las mediciones de parámetros químicos y físicos del suelo. La otra fracción fue tamizada (2 mm) y conservada en la nevera a 4°C para posteriormente realizar los análisis biológicos.

Análisis físico-químicas del suelo

El carbono total del suelo se determinó mediante oxidación húmeda con ácido sulfúrico concentrado-dicromato de potasio y posterior titulación con sulfato ferroso amoniacal (Walkley y Black, 1934). El nitrógeno total (Nt) por medio del método de Kjeldhal (Bremner, 1960). El pH se midió en agua en una relación 1:2. El fósforo disponible (P disp) se estimó por espectrofotometría, usando el método del complejo azul de molibdato (Murphy y Riley, 1962). El aluminio intercambiable (Al³⁺) se concretó mediante extracción con KCl 1N y posterior titulación con NaOH 0,1N (McLean, 1982). Las fracciones granulométricas se determinaron mediante el método del hidrómetro (Bouyoucos, 1962).

Análisis biológico del suelo

La actividad ureásica (AU) del suelo se midió a través del método de Kandeler y Gerber (1988), basado en la determinación del amonio liberado, cuando una muestra de suelo es incubada con urea como sustrato.

La respiración basal (RB), se midió de acuerdo al método descrito por Alef (1995), fundamentado en CO₂ liberado durante la incubación del suelo (al 60% de la capacidad de campo) en un sistema cerrado, en un tiempo específico. El CO₂ se capturó en una trampa de solución de

NaOH, la cual se tituló posteriormente con HCl. El carbono de la biomasa microbiana (C-BM) se obtuvo por el método de la respiración inducida por sustrato (Anderson y Domsch, 1978), el que se fundamenta al estimular la respiración de los microorganismos del suelo adicionando a este medio un sustrato fácilmente degradable, como la glucosa.

El CO₂ producido durante la incubación del suelo con el sustrato, en un sistema cerrado, se captura en un vial con solución de NaOH, la cual es titulada posteriormente con HCl. Adicional a estos parámetros, se estimaron 2 índices de la actividad biológica del suelo como es la relación de C-BM, el CO (C-BM/CO *100) y el cociente metabólico del suelo (qCO₂) que expresa el vínculo entre la respiración microbiana (µg C-CO₂) y la cantidad de biomasa microbiana (BM; µg C g⁻¹ suelo) por unidad de tiempo (hora).

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos, se utilizó un diseño completamente aleatorio, con el piso altitudinal como la variable de clasificación. Los datos estadísticos se realizaron basado en el programa InfoStat versión 1,1 (2002). La varianza, prueba de medias de Tukey y análisis de regresión lineal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físico-químicas del suelo

El Cuadro 2 presenta los valores medios de carbono orgánico (CO), nitrógeno total, pH, fósforo disponible, aluminio intercambiable, porcentaje de arcilla y arena en los 6 sitios estudiados.

Carbono total del suelo

Se observa que los valores de CO variaron entre 2,37% LC y 4,77% CG (Cuadro 2). Éstos son similares a los encontrados por Mogollón *et al.* (1997), en un trabajo realizado en la misma zona de estudio (Hoya de Curimagua, a 1 040 m.s.n.m.), donde se reportan valores de 3,26% en suelo de cafetales, bajo vegetación de un bosque húmedo premontano.

Comparando el CO entre los sitios, se encontró una correlación positiva y altamente significativa entre la altitud y el contenido de CO ($r = 0,96$; $P < 0,001$) en los suelos estudiados. Esto podría explicarse por el mayor

volumen de residuos orgánicos observados en la superficie de estas parcelas, en comparación a los otros sitios estudiados, ya que existe una cobertura vegetal más densa y abundante en M y CG.

En la literatura, la relación que existe entre la producción primaria neta de bosques húmedos tropicales y la tasa de producción de residuos, la cual aumenta con la altitud y las precipitaciones (Clark *et al.*, 2001; Hashimoto *et al.*, 2000). En este estudio, el CO también mostró una correlación positiva y significativa con los valores de precipitación ($r= 0,95$; $P<0,001$), y una correlación negativa y significativa con la temperatura ($r= -0,94$; $P<0,001$), al igual que lo reportado por Ochoa *et al.* (1981).

Nitrógeno total del suelo

Con respecto al Nt, los valores encontrados mostraron la tendencia siguiente: SD=SL>EP>M>LC=CG (Cuadro 2); esto indica que no hay una correlación entre el Nt y el CO ($Nt= 0,32 - 0,02 * CO$; $r= -0,28$; $P= 0,09$). Los mayores valores encontrados en SD y SL podrían estar relacionados a la calidad de los residuos aportado por la vegetación al suelo, hojarasca y raíces. Al respecto, Mogollón *et al.* (1997) señalan diferencias significativas en la cantidad de N disponible y el Nt del suelo, en cafetales bajo diversos árboles de sombra en San Diego,

estado Falcón, con igual porcentaje de CO, con mayores valores en cafetales bajo sombra de leguminosa que en las cítricas.

En el estudio, la variación en la composición de las especies en estos sitios experimentales se vinculan a la variabilidad del nitrógeno, más que a la influencia que pueda tener la altura. Al respecto, Tremont y Cuevas (2004) señalan que la presión antrópica sobre los bosques a través del madereo selectivo, causa cambios en la composición florística y estructura del bosque, lo cual se puede reflejar en las variaciones de los valores en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo en un mismo tipo de bosque.

pH del suelo

El pH está asociado inversamente proporcional con la altura; expresan relevancias muy representativas entre los sitios ($P<0,05$; Cuadro 2), los menores valores corresponden a las mayores alturas. Ésto se relaciona a los valores más altos de precipitación registrados en los sitios de mayor altura, ya que la mayoría de los suelos del gradiente estudiado son de tipo distróficos (Cuadro 1), implicando un lavado de las bases cambiables del suelo. Las precipitaciones que superan los valores de evaporación en más de la mitad del año, favorecen la lixiviación de las bases cambiables del suelo y por tanto la su acidificación (Sánchez *et al.*, 2005).

CUADRO 2. Características físico químicas de los suelos estudiados en el gradiente altitudinal.

Características	Sitios estudiados					
	La Chapa	San Diego	Santa Lucia	El Palenque	Macanillas	Cerro Galicia
CO (%)	2,37 d	3,10 c	3,33 c	3,93 b	4,48 a	4,77 a
Nt (%)	0,17 c	0,33 a	0,31 a	0,25 b	0,20 bc	0,17 c
pH	6,67 a	5,43 b	5,53 b	5,48 b	4,67 c	4,72 c
P disp. (mg kg ⁻¹)	23,33 a	19,83 a	5,92 c	12,38 b	7,47 bc	3,93 c
Al ³⁺ (Cmol.kg ⁻¹)	0,11 e	0,45 d	1,33 c	1,14 c	3,32 a	2,27 b
%A	44,67 a	33,33 c	25,50 d	33,33 c	38,67 b	26,17 d
%a	20,50 d	40,00 a	33,17 b	18,83 d	24,83 c	33,00 b
Textura	A	FA	F	FAL	A	FA

En cada fila, medias seguidas por letras diferentes, indican diferencias estadísticas a un nivel de significación del 5%, según la prueba de medias de Tukey (n=6).

Aluminio intercambiable

En este estudio se encontraron valores más altos de aluminio intercambiable (Cuadro 2) en los sitios de mayor altura M y CG, lo cual está relacionado con los mayores valores de precipitación, favoreciendo el proceso de lavado de los cationes básicos del suelo (García-Miragaya y Herrera, 1971). Al mismo tiempo, se ha señalado en la literatura que en suelos ácidos con pH menores de 5, el aluminio intercambiable aumenta considerablemente, lo que a su vez implica una saturación del complejo de cambio con este elemento (De Rojas y Comerma, 1985). Esto concuerda con los datos encontrados en este estudio, donde los suelos de M y CG presentaron valores de pH menores de 5, y los valores de Al^{3+} más altos en comparación al resto de los suelos estudiados (Cuadro 2).

Fósforo disponible

Los niveles de fósforo disponible fueron más bajos según aumentaron los niveles de Al^{3+} intercambiable en el suelo. Estas bajas concentraciones de P podrían estar asociadas a la condición de acidez de estos suelos, con porcentajes de saturación con aluminio mayores al 50% (López-Hernández, 1977) y posiblemente a la fijación del P por el Al del suelo, formando compuestos insolubles (Quirós y González, 1979). El análisis granulométrico indica que en 5 de las 6 zonas estudiadas, los suelos presentan un alto contenido de arcilla, en comparación con los porcentajes de arena.

Parámetros biológicos del suelo

Actividad ureásica

En este estudio los valores más altos de la actividad ureásica (AU) se encontraron en M y CG (Cuadro 3), con valores de 160,30 y 149,07 $\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ suelo } 2\text{h}^{-1}$, respectivamente; y los más bajos en LC y SD (14,71 y 28,77 $\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ suelo } 2\text{h}^{-1}$) existiendo una alta correspondencia con los valores de CO para cada uno de los sitios evaluados. La AU se correlaciona significativamente ($r = 0,90$; $P < 0,05$) con el CO del suelo (ver Figura). Similares resultados fueron señalados por Mogollón y Tremont (2002).

La mayor AU en ecosistemas boscosos, en comparación a otros, estaría dada por la mayor acumulación de material vegetal y contenido de MO y BM. Al respecto, Deng y Tabatabai (1996) señalan que la distribución de esta enzima en el suelo es reflejo de la MO y de una mayor actividad de la BM. La mayor humedad del suelo y acumulación de MO fresca en los suelos de bosque tiende a incrementar las actividades enzimáticas, ya que el producto de la degradación del material vegetal facilita la entrada de C y N al sistema, que sirve como fuente de energía, sobre todo para aquellas enzimas relacionadas con los ciclos del C y N (García-Gil *et al.*, 2004). La AU del suelo es considerada un agente importante para la mineralización de N en sistemas terrestres. La AU puede ser, en la mineralización de N, hasta 3 veces más eficaz que los procesos de amonificación (Nielsen *et al.*, 1998).

CUADRO 3. Propiedades biológicas de los suelos estudiados en el gradiente altitudinal.

Sitio	Ureasa $\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1}$ suelo 2h^{-1}	C-BM μg Cmic g^{-1} suelo	Respiración Basal $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ suelo h^{-1}	C-BM/CO (%)	qCO ₂ μg C-CO ₂ / μg Cmic. h x 10 ³
La Chapa	14,71 c	739,04 c	1,53 e	3,13 c	2,06 c
San Diego	28,77 c	1 008,18 c	2,07 e	3,24 c	2,13 d
Santa Lucia	90,97 b	1 887,10 b	6,97 d	5,68 b	3,77 cd
El Palenque	104,96 b	2 849,50 a	11,97 c	7,25 a	4,32 c
Macanillas	160,30 a	2 755,10 a	18,35 b	6,14 ab	6,81 b
Cerro Galicia	149,07 a	2 635,08 a	23,88 a	5,53 b	9,27 a

En cada columna, medias seguidas por letras diferentes, indican diferencias estadísticas a un nivel de significación del 5%, según la prueba de medias de Tukey (n=6).

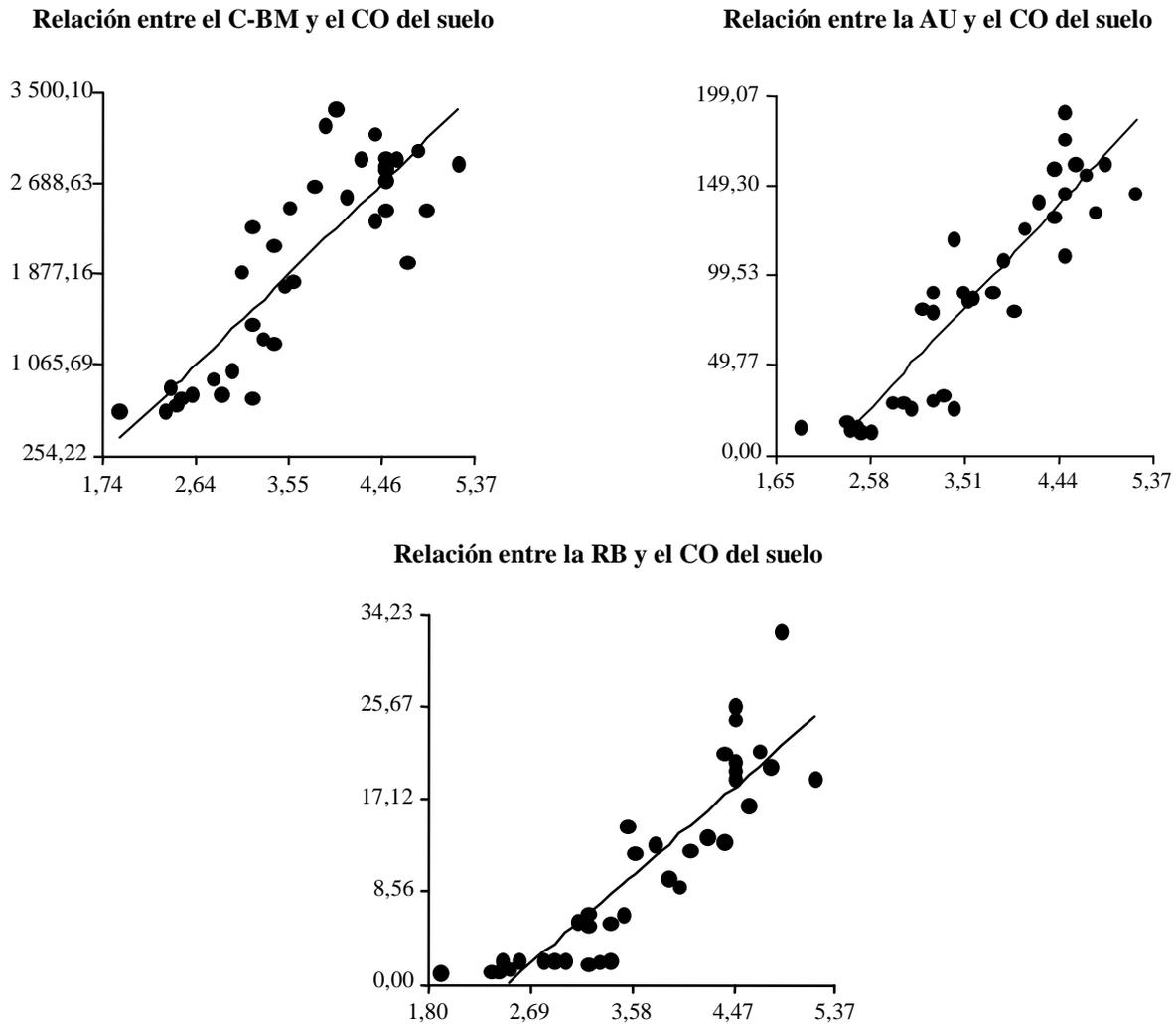


FIGURA. Relación entre las propiedades biológicas del suelo y el contenido de carbono orgánico en los suelos del gradiente altitudinal.

Respiración basal del suelo

En el Cuadro 3 se aprecian los valores referidos a la RB en los suelos estudiados. Estos valores oscilan entre $1,53 \pm 0,48 \mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ suelo h}^{-1}$ en LC y $23,88 \pm 5,0 \mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ suelo h}^{-1}$ en CG, existiendo diferencias significativas entre las tasas de RB en los diferentes pisos altitudinales estudiados ($r = 0,85$; $P < 0,001$). Los valores más altos de RB encontrados en CG y M, indican que existe en estas zonas una mayor actividad de los microorganismos del suelo.

Similares resultados fueron encontrados por Sánchez *et al.* (2005), quienes vinculan esta mayor actividad a

los mayores porcentajes de CO, en los sitios de mayor elevación, indicando que niveles más altos de CO se traduce en una mayor fuente de energía y de nutrientes para los microorganismos, lo cual contribuye a su desarrollo y a una actividad microbológica más alta, que se refleja en una mayor producción de CO_2 .

Se encontró una correlación positiva y significativa entre la RB y el contenido de CO (Figura 1; $r = 0,89$; $P < 0,001$), lo que apunta que mientras más alto es el contenido de CO, mayor es la actividad microbológica en la zona.

La RB se considera un parámetro útil en la medida de la actividad biológica del suelo. Se obtiene mediante el

cociente entre el C-CO₂ emitido durante el experimento de respiración, y el tiempo de duración del mismo. Con este parámetro se pretende conocer el estado biológico del suelo a partir del C-CO₂ desprendido en un tiempo determinado.

Carbono de la biomasa microbiana

Los valores del C-BM determinados en los suelos estudiados varían entre 739 y 2 635 $\mu\text{g C g}^{-1}$ de suelo (Cuadro 3). Estos valores son similares a los encontrados por Tremont y Cuevas (2004) quienes reportan minerales entre 500 y 3 300 $\mu\text{g C g}^{-1}$ de suelo, en un bosque húmedo premontano. Sin embargo, resultaron mucho más altos, a los valores señalados por Zamora *et al.* (2005) para suelos de una zona de bosque espinoso tropical, donde los valores oscilaron entre 600 y 1 300 $\mu\text{g C g}^{-1}$ de suelo.

En los suelos evaluados, se presentaron diferencias altamente significativas entre pisos altitudinales para esta variable (Cuadro 3). Los valores más bajos de C-BM se encontraron en LC (739,04 $\mu\text{g C g}^{-1}$ de suelo), coincidiendo con menores contenidos de CO (2,37%). Así mismo no hubo mayores cambios en los valores de C-BM para los sitios CG, M y EP, indicando los valores más altos de este parámetro en comparación al resto de los sitios evaluados.

Igualmente, esto se corresponde con los mayores valores de CO, por lo que podemos señalar que existe una correlación positiva y significativa entre el CBM y el CO del suelo (Figura 1; $r = 0,86$; $P < 0,05$). Diversas investigaciones comprobaron que existe una relación directa entre la reducción del contenido de CO y la disminución del C-BM. Haynes (2000), indica que mientras mayor es la pérdida de CO de un suelo, más pequeña resulta su BM. La explicación que se ha dado a este hecho se basa en que el C-BM es una de las fracciones lábiles y fácilmente degradables de la MO, y con mayor susceptibilidad de ser perdida (Hart *et al.*, 1988).

El carbono microbiano (CM) se refiere al carbono contenido en los microorganismos presentes en el suelo (Unigarro *et al.*, 2005). La medida de la BM es un procedimiento básico para los estudios ecológicos del suelo (Sánchez *et al.*, 2005). La cantidad de BM del suelo y los cambios estacionales sufridos por ella, van a estar influidos por la cantidad de MO del suelo, por factores climáticos, uso de la tierra y por las características físico-químicas del suelo (Dalal, 1998; Zoog *et al.*, 1997).

Carbono de la biomasa microbiana/carbono orgánico total

En el caso de los suelos estudiados, la relación C-BM * 100/CO varió entre 3,13 (LC) y 7,25% (EP; Cuadro 3), presentando diferencias significativas entre los sitios estudiados. Estos resultados coinciden con lo señalado por Tremont y Cuevas (2004), quienes reportaron valores en un suelo mineral de un bosque nublado tropical, entre 3,0 y 7,2%. Se ha señalado en la literatura que las medidas de la BM están entre el 1 y el 5% (Alef y Nannipieri, 1995), sin embargo, en este trabajo que evidencian valores mayores al 5%.

El cociente C-BM*100/CO, representa el carbono asociado a la fracción viva de la MO, expresado como porcentaje del CO total del suelo. Este cociente ha sido propuesto como un indicador sensible de los cambios en la MO del suelo (Hart *et al.*, 1989). En Venezuela, Ruiz y Paolini (2004) señalan valores de este índice entre 1,4 y 4,1% para suelos agrícolas lacustrinos. Así mismo, en un estudio realizado en un bosque nublado, Sánchez *et al.* (2005) determinan valores de este índice de 5,53%.

La relación C-BM*100/CO ha sido propuesta como un indicador del carbono potencialmente disponible, permitiendo comparar el estado y modificaciones de la MO del suelo (Bauhus *et al.* 1998). Esta fracción lábil de la MO del suelo es además la principal fuente de nutrientes tanto para los microorganismos como para las plantas (Cuevas y Medina, 1998). Las variaciones de esta relación entre especies, períodos del año y estrato de suelo indican diferentes vías y tasas de circulación de nutrientes en el ecosistema así como diferentes estrategias ecofisiológicas, lo cual en su conjunto pudieran delimitar el rango de tolerancia del ecosistema a eventos ambientales o manejos antrópicos.

Cociente metabólico

Los suelos estudiados presentaron valores del qCO₂ relativamente altos, en comparación a los reportados por Sánchez *et al.* (2005) quienes indican valores para suelos de bosques que oscilan entre 0,96 a 3,08 $\mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1}$ Cmic.h. En este estudio se encontraron valores altos en los sitios CG y M (9,27 y 6,81 $\mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1}$ Cmic.h, respectivamente), donde probablemente exista un estrés edáfico producto de la extrema acidez de estos suelos (Cuadro 3; pH de 4,72 y 4,65, en ambos), así como también el aluminio intercambiable del suelo que presenta valores de 2,27 y 3,32 Cmol kg suelo, para CG y M, consecutivamente. Al realizar un análisis de correlación

entre el cociente metabólico del suelo y el pH y Al^{3+} intercambiable se encontraron las siguientes ecuaciones de regresión:

$$qCO_2 = 21,60 - 3,11 (\text{pH}); r=-0,72; P<0,005$$

$$\text{y } qCO_2 = 1,24 - 2,68 (Al^{3+}); r=-0,85; P<0,005$$

Esto corrobora la hipótesis del estrés edáfico que debe estar existiendo en estos sitios, producto de la acidez del suelo sobre la actividad microbiana del suelo. Los valores más bajos de qCO_2 se encontraron en los sitios SD ($2,13 \mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{Cmic.h}$) y LC ($2,06 \mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{Cmic.h}$), los cuales presentaron valores de pH de ligeramente ácidos a neutros (5,73 y 6,63, respectivamente). Wardle y Ghani (1995) explican que los valores de qCO_2 tienden a incrementarse por efecto del estrés originado por limitaciones de nutrientes o bajo pH. Así mismo, existe una correlación positiva y significativa entre la temperatura y el relación qCO_2 , ($r=0,85; P<0,005$) lo cual refleja que también existe una menor eficiencia de la BM del suelo, en los sitios de menor temperatura.

El cociente metabólico (qCO_2), que relaciona la respiración ($C-CO_2$) y la cantidad de C-biomasa por unidad de tiempo, fue descrito por primera vez por Anderson y Domsch (1985) como un índice sencillo de la actividad biológica del suelo; está basado en la hipótesis de la optimización energética de los ecosistemas, derivada de la teoría ecológica de Odum (1985) sobre la sucesión de los ecosistemas y la eficiencia metabólica de la microflora edáfica. Así, en ecosistemas jóvenes (inmaduros) el valor de qCO_2 debe ser elevado, y es bajo al referirse a ecosistemas maduros; es decir, la relación entre la respiración total y la biomasa total de un ecosistema debe disminuir progresivamente a medida que el ecosistema alcanza el estado de equilibrio o de estabilidad (Doran y Parkin, 1994), salvo que las condiciones sean adversas para el buen funcionamiento del mismo.

Valores más altos de qCO_2 podrían indicar una menor calidad de los sustratos y una disminución en la eficiencia de los microorganismos. De modo que para mantener a la comunidad microbiana en un estado estable, debe descomponerse una fracción más recalcitrante del carbono y en consecuencia, más CO_2 por unidad de biomasa es liberado (Anderson y Domsch, 1990).

Los resultados encontrados en este trabajo son coincidentes a los reportados por Sánchez *et al.* (2005), quienes indican valores más altos del cociente metabólico del suelo, en zonas de mayor altitud correspondientes a un bosque nublado, en comparación a una

sabana y un bosque de galería, atribuyendo estas diferencias al pH del suelo, el cual resultó más ácido en los suelos del bosque nublado.

CONCLUSIONES

- La altitud, así como el contenido de CO del suelo, influyó decisivamente en la actividad biológica del suelo. El contenido de CO correlacionó positivamente con la actividad biológica global del suelo, en el gradiente estudiado.
- Los suelos estudiados presentaron valores relativamente altos del carbono de la BM en relación al carbono total ($C-BM/CO$), lo cual hace suponer que se trata de una materia orgánica lábil, siendo una fuente potencial de nutrientes para las plantas y microorganismos en los ecosistemas.
- Tratándose de suelos distróficos, la BM representa un compartimiento sumamente importante en el proceso de mineralización de nutrientes y su disponibilidad para las plantas.
- La estimación del cociente metabólico, y su estrecha relación con la acidez del suelo, hace suponer la existencia de un estrés edáfico, fundamentalmente por los bajos valores de pH, los altos valores de aluminio intercambiable, y las más bajas temperaturas, en los sitios de mayor altura.
- Todas las variables biológicas mostraron diferencias significativas con respecto a la altura, encontrándose los mayores valores en los sitios ubicados a mayor altitud, lo cual está asociado a diferencias en la vegetación, temperatura y precipitación, así como a algunas características de los suelos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alef, K. 1995. Dehidrogenase activity. **In:** Alef, K y P. Nannipieri (Eds.). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, Harcourt Brace & Company Publishers. London. England. pp. 228-231.
- Alef, K. 1995. Soil respiration. **In:** Alef, K., y P. Nannipieri. (Eds). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, Harcourt Brace & Company Publishers. London. England. pp. 214-217.

- Anderson, J. P. 1982. Soil respiration. **In:** Page, A.L, R.H. Miller (Eds.). *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties.* American Society of Agronomy, Madison, WI. p. 831-871.
- Anderson, T. H. and K. H. Domsch. 1990. Application of ecophysiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biol. Biochem.* 22:251-255.
- Anderson, T. H. and K. H. Domsch. 1985. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. *Biol. Fertil. Soils.* 1:81-89.
- Anderson, J. P. and K. H. Domsch. 1978. A physiological method for the Quantitative measurement of microbial biomass in soil. *Soil. Biol. Biochem.* 10:215-221.
- Aranguren, J., G. Escalante and R. Herrera. 1982. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. I. coffee. *Plant and Soil.* 67:247-258.
- Bauhus, J., D. Pare and L. Cote. 1998. Effects of tree species, stand age and soil type on soil microbial biomass and activity in a southern boreal forest. *Soil Biol. Biochem.* 30:1 077-1.089.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agron. J.* 54:464-465.
- Bremner, J. M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *J. Agr. Sci.* 55:1-23.
- Cabrera, G. y G. Crespo. 2001. Influencia de la biota edáfica en la fertilidad de los suelos en ecosistemas de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola.* 35:3-5.
- Chapman, H. P. 1965. Cation-exchange capacity. **In:** Black, C.A. et al (Ed). *Methods of soil analysis. II. Chemical and microbiological properties.* Amer. Agr. Madison, Wisconsin. E.U. PP: 891-901.
- Clark, D., S. Brown, D. Kicklighther, J. Chambers, J. Thomlinson, J. Ni and E. Holland. 2001. Net primary production in tropical forest: an evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological Applications.* 11:371-384.
- Contreras, F., C. Rivero y J. Paolini. 1995. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos y dos tipos de labranza sobre la actividad de la ureasa en un Alfisol. *Venesuelos.* 3:2-6.
- Cuevas, E. and E. Medina. 1998. The role of nutrient cycling in the conservation of soil fertility in tropical forested ecosystems. **In:** *Ecology Today: An anthology of contemporary Ecological Research.* Gopal B., Patahak P. S. Saxena K. G. (edi.). International Scientific Publications, New Delhi: 263-278.
- Dalal, R. C. 1998. Soil microbial biomass: what do the number really mean?. *Aust. J. Exp. Agric.* 38:649-665.
- Deng, S. and M. A. Tabatabai. 1996. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils. II Glycosidases. *Biol. Fertil. Soils.* 22:208-213.
- Doran, J.W. and T.B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. **In:** J. Doran, D. Coleman, D. Bezdicek, & B. Stewart. *SSA Sp. Pub.* 35, Madison.
- García-Gil, J; C. Plaza, N. Senesi, G. Brunetti, and A. Polo. 2004. Effects of sewage sludge amendment of humic acids and microbiological properties of a semiarid Mediterranean soil. *Biol. Fertil. Soils.* 39:320-328.
- García-Miragaya, J. y R. Herrera. 1971. Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de una clinosecuencia de suelos ácidos. *Agronomía Trop.* 21:411-420.
- Hart, P., J. August, and A. West. 1989. Long-term consequences of topsoil mining on select biological and physical characteristics of two New Zealand loessial soils under grazed pasture. *Land Degrad Rehabil* 1:77-88.
- Hart, P., J. August, C. Ross and J. Julian. 1988. Some biochemical and physical properties of Tokomaru silt loam under pasture and after 10 year of cereal cropping. *New Zealand J. Agric. Res.* 31:77-86.
- Hashimoto, T., K. Kajima, T. Tange, and S. Sasaki. 2000. Changes in carbon storage in fallow forest in tropical lowland of Borneo. *Forest Ecology and Management.* 126:231-237.
- Haynes, R. J. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biol. Biochem* 32:211-219.

- Holdridge, L. R. 1967. Life Zone Ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica.
- Infostat. 2002. Infostat versión 1.1 Manual del usuario. Grupo Infostat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición. Ed. Brujas. pp: 61-90.
- Kandeler, E and H. Gerber. 1988. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biol. Fertil. Soils* 6, 68-72.
- López-Hernández, D. 1977. La química del fósforo en suelos ácidos. Universidad Central de Venezuela, ediciones de la Biblioteca. Caracas, Venezuela. p. 123.
- Martínez-Cruz, A., M. Carcaño-Montiel, y L. López-Reyes, L. 2002. Actividad biológica en un transecto altitudinal de suelos de La Malinche, Tlaxcala. *Terra*. 20:141-146.
- Mc Lean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. **In:** Page AL, Miller RH, Keeney DR (eds). *Methods of Soil Analysis*, parte 2. Am Soc. Agron., Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, pp. 199-224.
- Mogollón, J. P. y O. Tremont. 2002. Efecto del cambio de uso de la tierra sobre la actividad ureásica en agroecosistemas cafetaleros del estado Falcón. *Croizatia*. 3:16-25.
- Mogollón, J. P., J. García-Miragaya, L. F. Sánchez, N. Chacón y J. Araujo. 1997. Nitrógeno potencialmente disponible en suelos de cafetales bajo diferentes árboles de sombra. *Agronomía Trop.* 47:87-102.
- Murphy, J. and J. P. Riley. 1962. A modified single extraction solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chimica Act.* 27:31-36.
- Nielsen, T., T. Bonde and J. Sorensen. 1998. Significance of microbial urea turnover in N cycling of three Danish agricultural soils, *FEMS Microbiology Ecology*. 25:147-157.
- Ochoa, G., J. Oballos, J. Sánchez, J. Sosa, J. Manrique y J. Velásquez. 1981. Variación del carbono orgánico en función de la altitud. Cuenca del río Santo Domingo. Mérida- Barinas, Venezuela. *Rev. Geog. Venez.* 41:79-87.
- Ochoa, G., D. Malagón y J. Pereyra. 1981. El contenido de materia orgánica, nitrógeno total y factores que los afectan en algunos suelos de Venezuela. CIDIAT, SC-44. 9 p.
- Odum, E. 1985. Trends expected in stressed ecosystems. *BioScience*. 35:419-422.
- Parinkina, O., N. Klyuyuba and L. Petroba. 1994. Biological activity and effective fertility of soil. *Eurasian Soil Sci.* 26:73-82.
- Parker, G. 1994. Soil fertility, nutrient acquisition, and nutrient cycling. En McDade L, Bawa KS, Hespenheide HA, Harshorn GS (Eds.). *La Selva: Ecology and Natural History of a Neotropical Rain Forest*. University of Chicago Press. Chicago, EEUU. pp. 53-63.
- Quirós, S. y M. González. 1979. Neutralización del aluminio intercambiable y aprovechamiento del fósforo en tres suelos de Costa Rica. *Agron. Costarr.* 3:137-149.
- Rojas, I. de y J. Comerma. 1985. Caracterización de los suelos ácidos de Venezuela basada en algunas propiedades físicas y químicas. *Agronomía Trop.* 35:83-110.
- Ruíz, M. y J. Paolini. 2004. El cultivo y el agua de riego sobre el carbono de la biomasa microbiana. *Agronomía Trop.* 54:161-178.
- Sánchez, B., M. Ruiz y M. Ríos. 2005. Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. *Agronomía Trop.* 55:507-534.
- Sardans, J. and J. Peñuelas. 2004. Drought decreases soil enzyme activity in a Mediterranean *Quercus ilex* L. forest. *Soil Biol. Biochem.* 37:455-461
- Tremont, O. y E. Cuevas. 2004. Carbono orgánico, nutrientes y cambios estacionales de la biomasa microbiana en las principales especies de dos tipos de bosques tropicales. *Multiciencias*. 4:96-103.
- Unigarro, A., H. Burbano y M. Sánchez. 2005. Evaluación de la calidad de suelos *Dystric Cryandep* en el Santuario de Flora y Fauna Galeras, Nariño. *Acta Agronómica*. 54:7-12.

- Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29.
- Wardle, D., and A. Ghani. 1995. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. *Soil Biol. Biochem.* 27:1 601-1 610.
- Zamora, F., J. P. Mogollón y N. Rodríguez. 2005. Cambios en la biomasa microbiana y la actividad enzimática inducidos por la rotación de cultivos en un suelo bajo producción de hortalizas en el estado Falcón, Venezuela. *Multiciencias.* 5:62-70.
- Zoog, G., D. R. Zack, D. Ringelberg, N. MacDonald, K. Pregitzer and D. White. 1997. Compositional and functional shifts in microbial communities due to soil warming. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:475-481.