Agronomía Trop. 55(4): 507-534. 2005

MATERIA ORGÁNICA Y ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO EN RELACIÓN CON LA ALTITUD, EN LA CUENCA DEL RÍO MARACAY, ESTADO ARAGUA[1]

Belkys Sánchez*, Magaly Ruiz y María Magdalena Ríos***

RESUMEN

Se estudió la variación del contenido y composición de la materia orgánica (MO) con respecto a la altitud y su influencia sobre la actividad y la biomasa microbiana en suelos de la Cuenca del Río Maracay. Las zonas seleccionadas están localizadas a: 480 m.s.n.m (sabana arbolada); 720 m.s.n.m (bosque de galería) y 1 000 m.s.n.m (selva nublada). En cada una de ellas se seleccionó una parcela que se dividió en 3 subparcelas, en las que se recogieron muestras en 10 puntos diferentes, entre 0 y 10 cm de profundidad. Se determinó el carbono orgánico total (COT), el carbono en las sustancias húmicas (extraído con álcali), el carbono en la biomasa microbiana (Cmic; por el método de la respiración inducida por sustrato), la respiración basal (producción de CO_2) y el cociente metabólico. El COT varió entre 0,88% y 2,52%. La fracción del carbono extraíble con álcali presentó valores entre 20 y 43% del COT, asociada mayormente a los ácidos húmicos. Los valores de la respiración basal variaron entre 0,57 y 4,11 µg C-CO_2 g^{-1} h^{-1}. El Cmic arrojó valores entre 576 y 1 395 µg Cmic g^{-1}. Los mayores valores de carbono orgánico (CO), Cmic y respiración basal se observaron en la zona más elevada y los menores, en la zona intermedia ($P<0,05$). El contenido y composición de la MO, así como la actividad microbiológica, están influenciados por la altitud, la cual está asociada a diferencias en la vegetación, temperatura, humedad, precipitaciones y características de estos suelos.

Palabras Clave: Sustancias húmicas; carbono orgánico; biomasa microbiana; respiración edáfica; suelos de sabana; bosque de galería; selva nublada.

---

1 Trabajo financiado por Fonacit bajo proyecto PEM 2001001622.

* Profesoras. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico "Rafael Alberto Escobar Lara". Núcleo de Investigación Ambiental con Fines Educativos (NIEFA). Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

** Profesora. Universidad Rómulo Gallegos. Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas (CIESA). San Juan de Los Morros 2301.Vía El Castrero, estado Guárico. Venezuela.

RECIBIDO: junio 22, 2005.

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MO) se ha definido como una mezcla heterogénea de residuos de plantas y animales en varios estados de descomposición, de sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente a partir de los productos de degradación, de los cuerpos de microorganismos vivos y muertos, pequeños animales y sus restos en descomposición (Schnitzer, 1991).

En tal sentido, la degradación de los residuos de plantas y animales en el suelo, constituye un proceso básicamente biológico, en el cual, el carbono es reciclado a la atmósfera como dióxido de carbono, el nitrógeno es transformado en una forma aprovechable por las plantas como amonio y nitrato; otros elementos asociados (fósforo, azufre y varios microelementos) son liberados en forma disponible para las plantas superiores. En ese proceso, parte del carbono es asimilado en los tejidos microbianos (biomasa microbiana), y otra parte es convertido en sustancias húmicas estables (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas), así lo expresa Stevenson (1982). En consecuencia, la MO ejerce una serie de efectos beneficiosos sobre la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas, no sólo a través de la suplencia de nutrimentos, sino además por sus efectos favorables sobre las propiedades físicas (tiende a mejorar la estructura del suelo, aumenta la capacidad de retención de agua), químicas (aumenta la capacidad de intercambio catiónico, mejora la capacidad amortiguadora de pH) y biológicas del suelo (por ser fuente de nutrimentos y energía para los microorganismos).

La variación del contenido de MO en los suelos ha sido evaluada en diversas investigaciones, y su mayor o menor proporción ha sido atribuida a diferentes factores: clima, vegetación, material parental, relieve, tiempo, (Stevenson, 1982). La influencia de algunos de estos factores sobre el contenido de MO en suelos venezolanos ha sido investigada por Ochoa *et al*. (1981), a través de un estudio en el que se seleccionaron 354 calicatas representativas de la mayor parte de la geología y de las zonas de vida del país. Los autores encontraron una correlación cuadrática altamente significativa entre la precipitación y el contenido de carbono orgánico (CO) de los suelos. Además demostraron que las condiciones de precipitación, temperatura y evapotranspiración en las que está basada la clasificación de las Zonas de Vida de Holdridge (Ewel y Madriz, 1968) tienen influencia sobre el contenido de MO de los suelos venezolanos, observando por ejemplo, que el bosque tropical húmedo posee mayor contenido de MO que los suelos que se encuentran en

el bosque muy seco tropical y monte espinoso tropical. Adicionalmente, observaron una correlación positiva y significativa entre el contenido de MO y el porcentaje de arcilla de los suelos (r = 0,760).

La influencia del relieve es determinante tanto en la cantidad como en la calidad de la MO, porque en muchos casos, con la altitud se manifiestan cambios en las características del suelo (pH, humedad, contenido de macro y microelementos, textura), en la precipitación, la temperatura y el tipo de vegetación, lo cual influye también en la biomasa microbiana y por ende en la actividad microbiológica del suelo. Ochoa *et al*. (1981) encontraron una correlación positiva y altamente significativa entre la altitud de muestreo y el contenido de carbono en suelos venezolanos (r = 0,768). Ese incremento de la MO con la altitud fue asociado a una disminución de la temperatura, fundamentalmente para las regiones altas superiores a 3 000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), mientras que para los suelos ubicados a 1 500-2 000 m.s.n.m, los factores determinantes se relacionaron con la disminución gradual de la temperatura y el aumento de la precipitación. De igual manera, Jaimes y Elizalde (1990) ratifican la relación altura/COT para 200 epipedones de suelos venezolanos.

Diversas investigaciones encontradas en la literatura, muestran diferentes resultados en cuanto a la relación del contenido de MO con la altitud. En suelos de Norte América se ha comprobado que factores como el tipo de erosión que predomine a lo largo de la toposecuencia definen la tendencia en el contenido del CO con la posición topográfica, así se ha observado que si predomina la erosión hídrica, se acumularán mayores proporciones de CO en la posición más baja de la pendiente (Woods y Schuman, 1988).

Un cambio en la textura con la pendiente del terreno también puede definir variaciones en el tenor de CO y en la actividad microbiológica y enzimática del suelo, tal como lo demuestran estudios realizados en suelos canadienses en los que se encontró un mayor contenido de CO y una mayor actividad de las enzimas relacionadas con el ciclo de carbono, fósforo y azufre en la posición más baja de la pendiente, asociada a suelos de textura gruesa en comparación con los suelos de textura fina ubicados en la posición más alta de la pendiente (Bergstrom *et al*., 2000).

En un estudio en el que se seleccionó una transecta a través de la cual, el material parental, la vegetación y la textura eran similares sobre una elevación de 500 m (de modo que las diferencias en las propiedades

químicas y biológicas del suelo a través del gradiente de elevación estuviesen relacionadas potencialmente con los cambios en el clima) se encontraron diferencias significativas en el contenido de CO con la pendiente. El contenido de MO se incrementó en la zona de mayor altitud (con menor temperatura y mayor precipitación), sin embargo, no se observaron diferencias significativas asociadas con la altitud, ni en el carbono de la biomasa microbiana (Cmic), ni en la tasa de respiración basal (Smith *et al*., 2002).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la variación en el contenido y características de la MO con respecto a la altitud y su influencia sobre la actividad microbiológica y la biomasa microbiana, en suelos de la Cuenca del Río Maracay. Se estudiaron los siguientes parámetros: carbono orgánico total (COT), carbono extraído con álcali (Cext), carbono en ácidos húmicos (CAH), carbono en ácidos fúlvicos y en compuestos no húmicos (CAF + NH), carbono de la biomasa microbiana (Cmic), cociente Cmic/COT, respiración basal (Rb) y cociente metabólico (qCO_2).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los suelos seleccionados para este estudio están localizados en la cuenca del Río Maracay, delimitada por la Fila de Güey al noroeste, la Fila de Choroní al norte, la Fila Cola de Caballo al sureste y el Lago de Valencia al sur. Se encuentra ubicada geográficamente en el tramo Central del Ramal del Litoral de la Cordillera de la Costa, en el municipio Girardot del estado Aragua. Su posición astronómica es aproximadamente: al norte 10º22' y al sur 10º12' de latitud norte; este 67º31' y oeste 67º37' de longitud oeste. En la Figura 1 se muestran las diferentes alturas en las cuales están ubicadas las áreas de muestreo.

Las zonas seleccionadas para este estudio se muestran en el Cuadro 1. En cada una de las zonas se seleccionó un lote o parcela (5 x 15 m), que se dividió a su vez en 3 subparcelas de 25 m^2 cada una. En todas las subparcelas se recogieron submuestras de igual volumen en 10 puntos diferentes, en forma aleatoria y las mismas, se mezclaron a los fines de obtener una muestra compuesta.

De esta manera, se recolectaron tres muestras compuestas para cada zona. Las submuestras se tomaron a una profundidad comprendida entre 0 y 10 cm. Las muestras compuestas se dividieron en dos porciones.

Una de las porciones se secó al aire, luego se trituró y se pasó a través de un tamiz de 2 mm, para ser utilizada en los análisis físicos y químicos del suelo, en la determinación del CO y el fraccionamiento de la MO. La otra porción, no se secó ni se tamizó, se conservó con la humedad del campo y se guardó en bolsas plásticas bajo refrigeración a 4 ºC, para ser posteriormente utilizadas en un lapso no mayor de 2 semanas en la determinación de la Rb y del Cmic, previamente tamizadas a un tamaño menor de 2 mm.

FIGURA 1. Mapa a escala 1:25 000 (reducido) de la cuenca del río Maracay en el que se indican los puntos de toma de muestras de suelos y sus alturas: Punto 1:490 m.s.n.m. (detrás del Hotel Maracay), Punto 2:700 m.s.n.m. (área recreacional Las Cocuizas) y Punto 3:1 000 m.s.n.m. (km 20, carretera Maracay-Choroní).

CUADRO 1. Zonas seleccionadas para este estudio.

Zona	Ubicación	Altitud (m.s.n.m.)	Bioma
1	Cerro "Los Maceros" (frente al Hotel Maracay)	480	Sabana arbolada
2	Área Recreacional "Las Cocuizas"	720	Bosque de galería
3	km 20 Carretera Maracay-Choroní	1 000	Selva nublada

El pH se midió en una suspensión suelo: agua 1:2,5; la conductividad eléctrica en una suspensión 1:5. La clasificación textural se realizó mediante el método de Bouyoucos modificado (López y López, 1978).

Para la estimación de fósforo y potasio se utilizó el método de Olsen (Olsen y Sommers, 1982), basado en la extracción de los elementos con una solución de bicarbonato de sodio 0,5 M a pH 8,5. El fósforo se determinó por espectrofotometría a una longitud de onda de 882 nm. Para conocer el contenido de potasio se utilizó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica.

El calcio y el magnesio se extrajeron con una solución de acetato de sodio 0,125 N, siguiendo el método de Morgan (López de Rojas, 1982). El Ca se determinó por fotometría de llama, mientras que el Mg se obtuvo por espectrofotometría de absorción atómica.

La determinación de los microelementos Cu, Fe, Mn y Zn se realizó mediante lectura directa en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica, a partir del extracto de suelo obtenido con solución extractora ácida Carolina del Norte (HCl 0,05 M y H2SO4 0,0125 M) según Page (1982). El color de los suelos se estimó a través del uso de la Carta Munsell.

El COT se evaluó por el método de Anderson e Ingram (1993), basado en la oxidación del CO por una mezcla oxidante de dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado. El CO reduce los iones Cr^{+6} amarillo-naranja del dicromato inicial a iones Cr^{+3} de color verde. La cantidad de agente oxidante consumido en esta reacción se determinó midiendo la

intensidad del color verde de los iones Cr^{+3} producidos, en un espectrofotómetro Spectronic 20D Milton Roy Company, a una longitud de onda de 600 nm, y comparando con lecturas de una curva de calibración preparada previamente con soluciones patrones de glucosa, sometidas al mismo tratamiento que las muestras.

El fraccionamiento de la MO se realizó según Ciavatta *et al*. (1990), con ligeras modificaciones (Ruiz, 2002). A continuación se resume brevemente el procedimiento: se mezclaron 10 gramos de suelo con 100 ml de una solución 0,1 M en NaOH y 0,1 M en $Na_4P_2O_7$. Se hizo pasar nitrógeno a través de la solución y se sometió a agitación por 2 horas. Luego se centrifugó y filtró. Se transfirió una alícuota de 25 ml del extracto a un tubo de centrífuga y se acidificó a pH menor de 2 mediante la adición de H_2SO_4 al 50%. Se centrifugó y el precipitado (que contenía los ácidos húmicos) se separó del sobrenadante (que contenía los ácidos fúlvicos más los compuestos no húmicos) por filtración, se redisolvió con NaOH 0,5 M, se traspasó a un balón volumétrico de 50 ml y se aforó con la misma solución de NaOH 0,5 M. El sobrenadante también se llevó a volumen en un balón aforado de 50 ml con NaOH 0,5 M.

La Rb se efectúo de acuerdo al método descrito por Alef (1995), fundamentado en la determinación del CO_2 liberado durante la incubación del suelo (al 50% de la capacidad de campo) en un sistema cerrado. El CO_2 se capturó en una trampa de solución de NaOH, la cual se tituló posteriormente con HCl.

El Cmic se determinó por el método de la respiración inducida por sustrato (Anderson y Domsch, 1978), en el que se siguió un procedimiento similar al utilizado en la estimación de la Rb, pero al suelo se le añadió 400 mg de glucosa, disuelta en el agua necesaria para llevar el suelo al 50% de la capacidad de campo y luego se sometió a incubación por 6 h. Todas las determinaciones se hicieron por triplicado. Los resultados se indican basados en el peso seco del suelo, por lo cual se efectuaron determinaciones de humedad de los suelos simultáneamente con los análisis mencionados. El contenido de humedad se determinó por la diferencia de peso que experimentaron las muestras después de ser sometidas a calentamiento a 105 ºC por 24 h. El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa STATISTIX para Windows versión 1,0, 1996. Se realizaron análisis de varianza, prueba de medias de Tukey y análisis de regresión lineal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas y químicas de los suelos. Las propiedades físicas y químicas del suelo tienen una influencia notable sobre la cantidad de microorganismos, las concentraciones de sustratos, enzimas y nutrimentos inorgánicos en el suelo, y en consecuencia sobre las actividades microbiológicas y bioquímicas (Stotzky y Burns 1982). Por ello es importante conocer previamente las condiciones de los suelos a estudiar, en lo que se refiere a dichas propiedades, cuando se desea evaluar las características de la MO y la actividad biológica y bioquímica de los suelos, tal como se plantea en el presente estudio.

En el Cuadro 2 se exponen algunas características de los suelos estudiados. En cuanto al color de los suelos, reflejado por su ubicación en la carta Munsell, se observa que los suelos presentan un color que varía desde el marrón grisáceo, en la sabana arbolada, hasta marrón muy oscuro (en seco) o negro (en húmedo) en la selva nublada. Se evidencia, entonces una variación del color del suelo con la altitud. A mayor altura, más oscuros son los suelos.

CUADRO 2. Características de los suelos estudiados.

Bioma	Altitud (m.s.n.m.)	Color seco	Color húmedo	pH (1:2,5)	C.E. (1:5)	%a	%L	%A	Textura
Sabana arbolada	480	10YR 5/2	10YR 2/1	6,9	1,11	62,96	14,32	22,22	FAa
Bosque galería	720	10YR 3/3	10YR 3/2	6,4	0,39	86,96	6,32	6,72	aF
Selva nublada	1 000	10YR 2/2	10YR 2/1	5,3	0,84	80,96	7,32	11,72	Fa

Los valores de pH variaron entre 5,3 y 6,9. De acuerdo a Casanova (1991), el suelo de la sabana arbolada clasifica como un suelo neutro (pH = 6,9), el suelo del bosque de galería como un suelo ligeramente ácido (pH = 6,4) y el suelo de la selva nublada como moderada-

mente ácido (pH = 5,3). El valor más bajo de pH que se presenta en el suelo de la selva nublada, podría explicarse por el hecho de estar sometida esta zona a intensas precipitaciones durante todo el año, que según los datos señalados por MARN (2000) las mismas alcanzan valores de 1 880 mm en Portachuelo a una altura de 1 136 m.s.n.m., y pueden llegar a los 4 000 mm en las zonas más altas. Estos valores también son corroborados en otras investigaciones realizadas en la zona (Huber, 1986; Montaldo, 1966).

La ocurrencia de altas precipitaciones en esta zona ha sido atribuida a un fenómeno muy particular de ascenso orográfico de las masas de aire cálido y húmedo, provenientes del noreste (vientos alisios) que al ascender forzados por las montañas, se enfrían produciendo la condensación de la humedad (NIAFE, 2002).

El mayor volumen de precipitaciones en este sitio, conduce a una lixiviación más significativa de las bases cambiables en los suelos. El valor de pH más alto se observó en el suelo de Sabana, ubicado en la zona de menor altitud. Estos resultados coinciden con los señalados por Ríos (2002) para una toposecuencia ubicada en la cuenca del Río Maracay, estado Aragua. Asimismo, Zinck (1986) señala que en términos generales en la selva nublada, se observa una clara distribución espacial de los valores, donde los suelos más ácidos se ubican en las zonas de relieve más alto, mientras en los tramos medios y bajos aumentan progresivamente los valores encontrados.

De igual manera Romero *et al*. (2004) encontraron tendencias similares en el comportamiento del pH respecto a la altitud en la cuenca del Río Maracay, agregando además la relación de este parámetro con las características mineralógicas de los materiales geológicos que originaron los suelos estudiados.

Al parecer existe una relación inversa entre el pH y la altitud en la zona bajo estudio. Ochoa *et al*. (1981), encontraron una relación similar entre el pH y la altitud en un estudio realizado con muestras de suelos representativas de la mayor parte de la geología y de las zonas de vida de Venezuela, tomadas entre 0 - 30 cm de profundidad. En esa investigación se observó una disminución de los valores de pH con la altitud, la cual estaba relacionada inversamente con la magnitud de las precipitaciones efectivas en el área y además el pH tendía a decrecer al disminuir la temperatura.

Resultados parecidos se han indicado en trabajos realizados con suelos de los Estados Unidos en los que se ha observado una disminución del pH con la altitud a lo largo de un gradiente de elevación de 500 m (Smith *et al*., 2002).

Los resultados de las determinaciones de conductividad eléctrica sugieren que en estos suelos no existen problemas relacionados con el contenido de sales. El análisis granulométrico indica que en las tres zonas los suelos presentan un alto contenido de arena en comparación con los porcentajes de limo y arcilla (Primera, 2004), lo cual coincide con los datos encontrados en otras investigaciones realizadas con suelos de la cuenca del Río Maracay (Ríos, 2002).

En relación a los macro elementos: fósforo, potasio, calcio y magnesio se evidencia que las cantidades de los mismos en la sabana arbolada representan aproximadamente el doble de los contenidos en la selva nublada (Primera, 2004), tal como se observa en al Cuadro 3. Probablemente esto se explica por el constante lavado al que se encuentran sometidos los suelos de la zona de mayor altitud a consecuencia de las abundantes precipitaciones en esa área.

CUADRO 3. Contenido de macro y micro elementos en los suelos estudiados.

Bioma	Fósforo mg kg^{-1}	Potasio mg kg^{-1}	Calcio mg kg^{-1}	Magnesio mg kg^{-1}	Cobre mg kg^{-1}	Hierro mg kg^{-1}	Manganeso mg kg^{-1}	Zinc mg kg^{-1}
Sabana arbolada	24	337	2 150	1967	1,23	32	19,8	14,4
Bosque galería	4	94	370	343	3,41	463	14,8	11,9
Selva nublada	11	174	930	682	1,76	268	25,7	19,2

De acuerdo a Elizalde y Viloria, (1995) en la selva nublada se establece una íntima e importante relación entre la cobertura vegetal y los suelos. Los suelos en este ambiente, debido a la fácil penetración de agua gracias

a la vegetación, evolucionan hacia una pedogénesis acelerada y por consiguiente su empobrecimiento estructural, de nutrimentos y de MO. Así mismo, Elizalde *et al*. (1987) refiriéndose a la selva nublada, señalan que los procesos erosivos conducen a la remoción de detritos, mediante diferentes formas de movimientos. Estos procesos erosivos ocurren por efecto de la interacción de varios factores como el relieve, las condiciones geológicas y condiciones meteorológicas en este paisaje.

En la zona de menor altitud se depositan los materiales finos que son arrastrados por las lluvias desde las zonas altas, y a esos materiales se encuentran asociados las bases cambiables (Ca, K, Mg), según Ríos (2002). En este sentido, Zinck (1986) explica que existen las condiciones favorables para que un flujo lateral de agua pueda moverse a través del suelo en la selva nublada y que la transferencia de sustancias de la parte alta a la parte baja de la vertiente sea factible.

El autor señala que no hay obstáculos topográficos o geológicos susceptibles de interrumpir la continuidad del flujo, a lo que se suma el hecho que el sustrato de esquisto es relativamente impermeable y favorece el escurrimiento lateral en detrimento de la percolación vertical. La existencia permanente de grandes cantidades de agua de gravedad en los suelos, suplida por las lluvias y susceptible de alimentar la componente lateral del flujo de agua, favorece las condiciones para un activo transporte oblicuo de materiales, tanto en disolución como en suspensión.

En el bosque de galería, ubicado en una posición intermedia entre las otras dos zonas, se presentan los valores más bajos de los macro elementos determinados. Una posible explicación de este hecho podría relacionarse con el menor contenido de arcilla y MO en esa zona, que implicaría una menor retención de las bases intercambiables.

Con respecto al contenido de micro elementos en las zonas de mayor y menor altitud, se observa una tendencia contraria a la señalada para los macro elementos, esto es, en la selva nublada los contenidos de Cu, Fe, Mn y Zn son mayores que en la sabana arbolada (Primera, 2004). Esta tendencia concuerda con las observaciones reseñadas por Zunino (1983), según las cuales, los microelementos metálicos (Cu, Mn, Zn, Fe,) que son requeridos por los organismos, se movilizan preferentemente a través del sistema orgánico en los suelos, mientras que los macro elementos (K, Ca, Mg) lo hacen a través del sistema inorgánico.

Carbono Orgánico Total. Los valores encontrados para el COT variaron entre 0,88% en el bosque de galería y 2,52% en la selva nublada (Figura 2). Estos valores son similares a los encontrados en otros suelos de la cuenca del Lago de Valencia (tomando en consideración que la cuenca del río Maracay es una subcuenca de la misma). Por ejemplo, Viloria *et al*. (1996), indican valores comprendidos entre 1,75 y 3,53% en suelos de origen aluvial localizados entre Guacara y el Lago de Valencia. Sin embargo, se han señalado contenidos más altos de COT en otras zonas de la cuenca. En este sentido, Ruiz (2002), encontró valores comprendidos entre 4,75% (en suelos de origen aluvial) y 8,14% (en suelos de origen lacustrino) en áreas bajo vegetación natural.

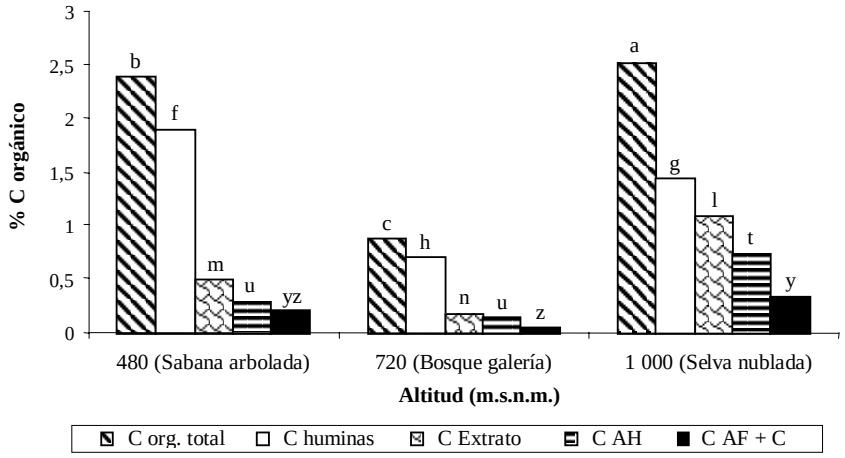

FIGURA 2. Distribución del carbono orgánico en los suelos estudiados. Las barras que presentan la misma letra corresponden a medias que no son estadísticamente diferentes, a un nivel de significación del 5%, según la prueba de medias de Tukey.

Existen diferencias significativas ($P<0,05$) entre los contenidos de COT en las tres áreas bajo estudio. El mayor valor encontrado para la selva nublada podría explicarse por el elevado volumen de residuos orgáni-

cos que ingresa al suelo en esa zona, en comparación con los otros dos sitios estudiados, ya que la vegetación en la selva nublada es más abundante, favorecida por las frecuentes precipitaciones y menor evapotranspiración (Huber, 1986), caracterizada por árboles frondosos de gran altura, helechos y presencia de líquenes; se observa además, hojarasca húmeda abundante sobre la superficie del suelo, lombrices, miriápodos, insectos y hongos. Este hecho concuerda con la expresado por Smith *et al*. (2002), quienes encontraron resultados similares en una toposecuencia estudiada en suelos de los Estados Unidos. En las otras dos zonas la vegetación es más dispersa, no es tan frondosa ni tan abundante.

En el bosque de galería la vegetación presenta mayor variación que en la sabana arbolada, está conformada por árboles de gran altura, hierbas y arbustos. En la sabana se observaron arbustos dispersos y hierbas; cabe destacar que este lugar es expuesto a la quema en la época más seca del año. Probablemente, el contenido de carbono en esta última zona, más elevado que en el bosque de galería, pudiese explicarse por el hecho de ser un espacio de depósito de materiales que son transportados desde los sitios de mayor altitud. Mientras que en la zona ubicada a una altitud intermedia, el contenido de CO es significativamente menor, posiblemente por tratarse de un área en la que los primeros centímetros del horizonte superficial del suelo están sometidos a remoción frecuente bien sea por el arrastre debido a las lluvias o por efectos antrópicos.

Fraccionamiento de la materia orgánica

a) Carbono orgánico en el extracto alcalino. El Cextr representa el carbono asociado a la fracción más estable de la MO. En esta fracción están contenidos los ácidos húmicos, los ácidos fúlvicos y parte de las sustancias no húmicas (polisacáridos, aminoácidos, aminoazúcares).

Los ácidos húmicos y fúlvicos promueven la formación de agregados estables en el suelo, contribuyendo de este modo a mejorar la estructura de este medio (Waters y Oades, 1991; Swift, 1991). En los suelos estudiados, el Cextr varió entre 0,18% en el bosque de galería, y 1,08% en la selva nublada (Figura 2). El análisis de varianza revela diferencias significativas ($P<0,05$) en las tres zonas. Los valores del cociente Cextr*100/COT se ubican entre 19,98 y 42,88% (Figura 3), y no existen diferencias significativas entre las zonas baja y media. En la zona alta el valor de ese cociente es aproximadamente el doble del encontrado en las otras 2 zonas. Este cociente representa la proporción del COT

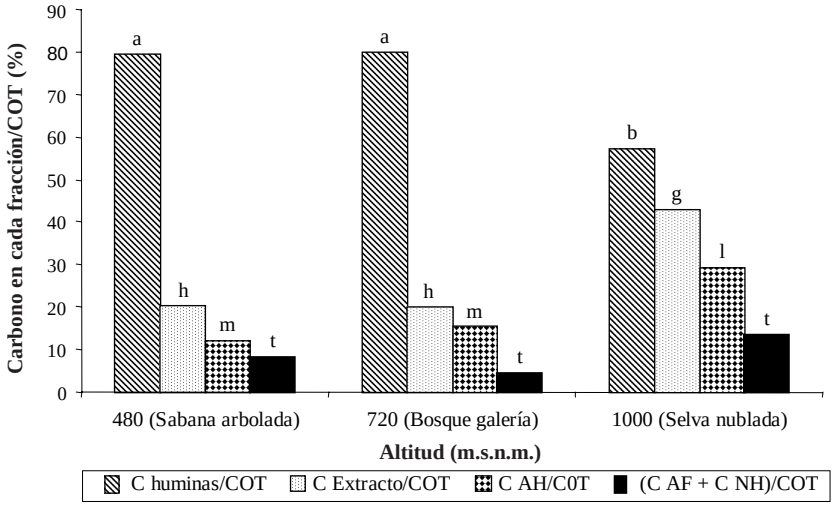

FIGURA 3. Cantidades relativas de carbono en huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos + compuestos no húmicos, calculados como porcentajes del carbono orgánico total. Las barras que presentan la misma letra corresponden a medias que no son estadísticamente diferentes, a un nivel de significación del 5%, según la prueba de medias de Tukey.

que puede estar implicado en los procesos de mineralización (Pascual, 1996).

El porcentaje de carbono asociado a las huminas, que es 100 - (Cextr*100/COT), muestra un valor cercano al 80% del COT en las zonas 1 y 2, a diferencia de la zona 3 en la que representa un 57% del COT (Figura 3). En otros suelos de la Cuenca del Lago de Valencia (localizados en Santa Cruz, Palo Negro y Guacara) se han hallado datos similares a los de las zonas 1 y 2 con respecto a la relación C-huminas/ COT (Ruiz, 2002). Puede apreciarse que la proporción de huminas en el suelo correspondiente a la selva nublada es menor que en las otras dos zonas, lo que significa que una mayor proporción del carbono asociado a las sustancias húmicas se encuentra en forma de huminas en las

zonas de menor altitud (Figura 2 y 3). Resultados similares se encontraron en estudios realizados en suelos de bosque en Chile (Aguilera *et al*., 1999).

Por otra parte, en estudios realizados por Ruiz *et al*. (1997) en suelos ubicados al sureste del estado Guárico se encontró que el porcentaje de carbono asociado a los ácidos húmicos y fúlvicos representaba aproximadamente un 50% del COT, tal como ocurre en la zona 3 del presente estudio.

b) Carbono en ácidos húmicos. Los valores correspondientes al carbono asociado a los ácidos húmicos (CAH) variaron entre 0,14 en el bosque de galería y 0,74% en la selva nublada (Figura 2). No se observaron diferencias significativas entre los valores exhibidos por la sabana arbolada (zona más baja) y el bosque de galería (zona intermedia), a diferencia de la selva nublada (zona más alta) que si muestra diferencias significativa respecto a las otras dos zonas. En la Figura 2 y en el Cuadro 4 puede observarse que la mayor proporción del carbono extraído con álcali se encuentra asociado a los ácidos húmicos, ya que los

CUADRO 4. Fracciones de carbono orgánico expresadas como porcentaje del carbono en el extracto alcalino en los suelos estudiados.

Carbono en el extracto	Biomas		
	Sabana arbolada	Bosque galería	Selva nublada
CAH/Cextr (%)	59,21 a	72,15 a	68,41 a
(CAF+NH)/Cextr (%)	40,11 a	28,08 a	31,59 a

En cada fila, medias seguidas por la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de significación del 5%, según la prueba de medias de Tukey.

Cextr = carbono orgánico extraído con una solución alcalina; CAH = carbono orgánico asociado a los ácidos húmicos; CAF+NH = carbono orgánico asociado a los ácidos fúlvicos y a los compuestos no húmicos.

valores del cociente CAH*100/Cextr se ubican entre 59,21 y 72,15 %. Estos resultados sugieren que la distribución de las fracciones del Cextr es similar en las 3 zonas de estudio.

Cuando se analizan los valores del cociente CAH *100/COT se observa que los datos de la sabana arbolada y el bosque de galería no revelan diferencias significativas entre sí (Figura 3). En cambio, el valor obtenido para la selva nublada, es aproximadamente el doble de los valores encontrados en las zonas baja y media. De ello se infiere, que en la zona más alta, una mayor porción del COT está asociada a los ácidos húmicos.

c) Carbono en ácidos fúlvicos y en compuestos no húmicos. La fracción que engloba el carbono unido a los ácidos fúlvicos y a los compuestos no húmicos (CAF+NH) arrojó valores comprendidos entre 0,04% en el bosque de galería, y 0,34% en la selva nublada (Figura 2). Existen diferencias ($P<0,05$) entre los valores de CAF+NH en la selva nublada y el bosque de galería; sin embargo, la sabana arbolada no mostró diferencias significativas en relación con ninguna de las otras dos zonas mencionadas. Al analizar la proporción de esta fracción en el extracto alcalino se aprecia que la misma varía entre 28,08% y 40,11%, siendo menor que la fracción correspondiente al carbono unido a los ácidos húmicos. En cuanto al cociente (CAF + NH)*100/COT, se observan valores entre 4,54% y 13,54%, lo que refleja que el carbono asociado a los ácidos fúlvicos y compuestos NH representan una fracción muy pequeña en estos suelos.

Actividad microbiológica

Respiración Basal

La Rb se define como la respiración del suelo sin la adición de sustratos orgánicos al mismo. Es un parámetro ampliamente utilizado para determinar la actividad microbiana y el status de la MO del suelo (Anderson, 1982). Se calcula dividiendo el $C\text{-}CO_2$ liberado durante un experimento de respiración entre la duración del experimento (Pascual *et al*., 1999).

En el Cuadro 5 se aprecian los valores referidos a la Rb en los suelos estudiados. Estos valores variaron entre 0,57 µg $C\text{-}CO_2$ g^{-1} suelo h^{-1} en el bosque de galería y 4,11 µg $C\text{-}CO_2$ g^{-1} suelo h^{-1} en la selva nublada. No existen diferencias significativas entre las tasas de respiración basal en la sabana arbolada y en el bosque de galería, a diferencia de la selva

nublada, cuya tasa de respiración resultó más elevada, lo que sugiere que en esta zona existe mayor actividad microbiana. Resultados similares se encontraron en estudios realizados en suelos de la cuenca del Lago de Valencia, tanto de origen Lacustrino como de origen aluvial, en los cuales los valores de Rb se enmarcan entre 0,75 y 6,61 µg $C\text{-}CO_2$ g^{-1} suelo h^{-1} (Ruiz, 2002). Igualmente en estudios realizados en distintas regiones de Canadá se han encontrado valores comprendidos entre 2,47 y 4,70 µg $C\text{-}CO_2$ g^{-1} suelo h^{-1} en suelos de bosque (Chang y Trofymow, 1996) y entre 0,07 a 4,38 µg $C\text{-}CO_2$ g^{-1} suelo h^{-1} en suelos naturales e intervenidos (Insam *et al*., 1996).

CUADRO 5. Propiedades biológicas de los suelos estudiados.

BIOMA	Respiración Basalµg $C\text{-}CO_2$ g^{-1} suelo h^{-1}	RIS* mg CO_2/100 g suelo seco.h	C-Biomasa microbiana µg Cmic g^{-1}	q CO_2 µg $C\text{-}CO_2$/µg Cmic .hx 10^3	C-Biomasa/ COT (%)
Sabana arbolada	1,86 b	5,95 a	1 224,9 a	1,52 b	5,14 a
Bosque galería	0,57 b	2,80 b	575,75 b	0,96 b	6,56 a
Selva nublada	4,11 a	6,77 a	1 395,5 a	3,08 a	5,53 a

En cada columna, medias seguidas por la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de significación del 5%, según la prueba de medias de Tukey. * RIS = respiración inducida por sustrato.

Se encontró una correlación positiva y significativa entre la Rb y el contenido de COT en estos suelos ($r = 0,7694$; $P<0,05$), lo que indica que mientras más alto es el contenido de CO, mayor es la actividad microbiológica en la zona.

Un porcentaje de MO más elevado se traduce en una mayor fuente de energía y de nutrimentos para los microorganismos, lo cual contribuye a su desarrollo y a una actividad microbiológica más alta, que se refleja en una mayor producción de CO_2. Correlaciones similares han sido encontradas por Anderson y Domsch (1978), Suttner y Alef (1988) y Ruiz (2002).

Carbono de la Biomasa microbiana

El Cmic cuantifica la cantidad global de microorganismos presentes en un suelo; es el carbono aportado por la microflora. La medida de la biomasa microbiana es un procedimiento básico para los estudios ecológicos del suelo.

un suelo; es el carbono aportado por la microflora. La medida de la biomasa microbiana es un procedimiento básico para los estudios ecológicos del suelo.

En el presente estudio, los valores del Cmic variaron entre 575,75 y 1 395,5µg Cmic g^{-1} (Cuadro 5). Resultados similares se encontraron en otros suelos de la cuenca del Lago de Valencia, con valores comprendidos entre 205,85 y 1 552,70 µg Cmic g^{-1} (Ruiz y Paolini, 2004); y en suelos de Turén (estado Portuguesa) cuyos valores se ubicaron entre 393,6 y 1586,6 µg Cmic g^{-1} (Hernández, 1998). No se observaron diferencias significativas ($P<0,05$) entre los valores del Cmic correspondientes a las zonas 1 y 3, a diferencia de la zona 2, ubicada en posición intermedia, que presenta los valores más bajos de este parámetro (Cuadro 5).

En algunas investigaciones realizadas en Norte América, no se ha encontrado variación del Cmic, ni de la Rb, con la posición topográfica, ni relación de este parámetro con el contenido de COT del suelo (Woods y Schuman, 1988; Smith *et al*., 2002), hecho que se ha atribuido a la alta variabilidad espacial que mostrara el Cmic y la tasa de Rb a lo largo de la pendiente.

En el estudio es posible apreciar que el comportamiento del Cmic es similar al del COT, en efecto, se encontró una correlación positiva y significativa entre el Cmic y el COT ($r = 0,8579$; $P<0,01$). Correlaciones similares han sido señaladas en estudios efectuados en suelos de la Cuenca del Lago de Valencia (Ruiz y Paolini, 2004) y en suelos de bosques de Galicia (España), de acuerdo con Díaz-Raviña *et al*. (1993); Trasar-Cepeda *et al*. (1998).

En la zona de mayor altitud (selva nublada) se observó una apreciable actividad biológica, por la abundancia de lombrices, insectos, miriápodos, entre otros, lo que se debe posiblemente a las condiciones favorables para el desarrollo de estos organismos y de igual modo para los microorganismos, como la conservación de la humedad del suelo, la temperatura moderada y la abundancia de residuos orgánicos. Los resultados correspondientes al Cmic están de acuerdo con los obtenidos para la Rb, en tal sentido, existe una correlación positiva y significativa entre el Cmic y la tasa respiratoria ($r = 0,9066$; $P<0,01$), la cual se ilustra en la Figura 4, que revela una mayor actividad microbiana en las zonas donde se evidencia una biomasa microbiana más alta.

C-Biomasa/C total

La relación Cmic/COT representa el carbono asociado a la fracción viva de la MO, expresado como porcentaje del COT del suelo. Este cociente ha sido propuesto como un indicador sensible de los cambios en la MO del suelo (Hart *et al*., 1989).

Pascual *et al*. (1997) sugieren que este parámetro (al menos en el laboratorio bajo condiciones controladas de humedad y temperatura) sea considerado más bien como un reflejo del potencial de mineralización de la MO; a menor valor del cociente, menor será la tendencia de la MO a mineralizarse.

Los valores obtenidos para el cociente Cmic/COT variaron entre 5,14 y 6,56% (Cuadro 5). De acuerdo a algunos autores (Alef y Nannipieri, 1995), el Cmic representa sólo del 1 al 5% del COT, sin embargo, para los suelos estudiados los valores encontrados para el Cmic representan un porcentaje ligeramente mayor, siendo el valor promedio de 5,75%. En otras investigaciones se han encontrado resultados semejantes, por ejemplo, en suelos de la región de Murcia (España) se observaron valores comprendidos entre 0,5 y 7,6% (Pascual, 1996; Pascual *et al*., 1999); en suelos de Norte América, se han indicado valores entre 2 y 8% (Smith

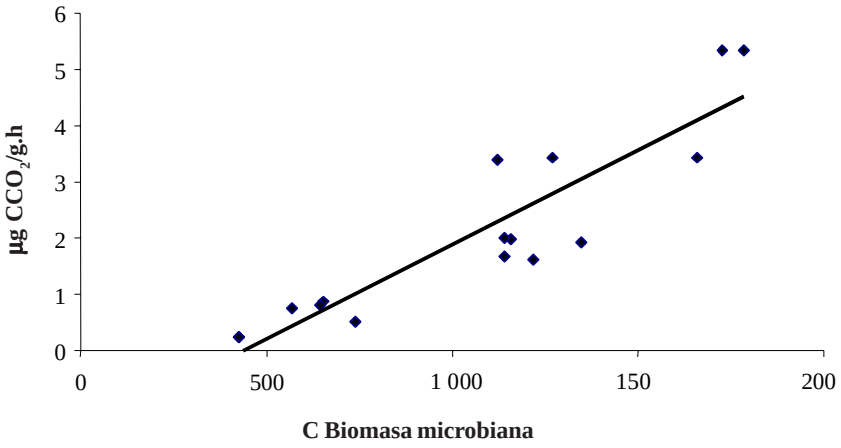

FIGURA 4. Correlación entre la respiración basal y el carbono de la biomasa microbiana en los suelos estudiados.

El cociente Cmic/COT no mostró diferencias significativas con respecto a la posición topográfica, lo que parece indicar que aunque el COT varía con la pendiente, la proporción del mismo que correspondiente a la fracción viva de la MO tiende a permanecer constante.

Cociente metabólico

El qCO_2 representa la cantidad de C-CO_2 respirado por unidad de Cmic y unidad de tiempo. Mientras más eficiente sea la actividad de los microorganismos del suelo, menor será la cantidad de C perdido por vía de la respiración (Insam, 1990). El qCO_2 puede ser calculado mediante la siguiente expresión:

$$q\,CO_2 = \frac{\text{C-}CO_2 \text{ producido}}{\text{C-biomasa microbiana}}$$

La Rb y el qCO_2 han sido definidos como buenos bioindicadores de la actividad microbiana del suelo (Pascual *et al*. 1997). Por otra parte, el qCO_2 ha sido utilizado como una medida de la eficiencia del ecosistema que representa el suelo (Anderson y Domsch, 1990).

Los valores correspondientes al qCO_2 variaron entre $0{,}96 \cdot 10^{-3}$ y $3{,}08 \cdot 10^{-3}$ µg C- CO_2/µg Cmic .h (Cuadro 5). Estos resultados concuerdan con los señalados en investigaciones realizadas en otros suelos de la cuenca del Lago de Valencia, comprendidos entre $1{,}8 \cdot 10^{-3}$ y $4{,}8 \cdot 10^{-3}$ µg C- CO_2/µg Cmic .h (Ruiz, 2002).

Se ha demostrado que el qCO_2 es afectado por diversos factores, entre ellos, el pH del suelo (Anderson y Domsch, 1993), el contenido de agua en el suelo (Santruckova y Straskrava, 1991) y por cambios en la composición de la población microbiana (Wardle y Ghani, 1995).

Entre los valores del qCO_2 correspondientes a las zonas 1 y 2 no se observaron diferencias significativas ($P<0{,}05$), y a su vez, ellos difieren significativamente de los valores encontrados en la zona 3, que es la de mayor altitud. El valor del qCO_2 en la selva nublada representa aproximadamente el triple del valor de este parámetro en la zona intermedia, y el doble del de la zona de menor altitud. Esto puede ser atribuido posible-

mayor altitud. El valor del qCO_2 en la selva nublada representa aproximadamente el triple del valor de este parámetro en la zona intermedia, y el doble del de la zona de menor altitud. Esto puede ser atribuido posiblemente, al efecto del pH de los suelos, si se considera que el pH en la selva nublada es menor que el de las otras 2 zonas, y que se cataloga como pH moderadamente ácido, en contraste con los de las zonas 1 y 2, que clasifican como ligeramente ácido y neutro respectivamente.

En investigaciones en las que se han evaluado distintos parámetros microbiológicos, en 137 sitios ubicados en ecosistemas de bosques de Alemania, también se han encontrado valores más altos de qCO_2 en los suelos ácidos que en los suelos de pH cercano a la neutralidad (Anderson y Domsch, 1993). Wardle y Ghani (1995) explican que los valores de qCO_2 tienden a incrementarse por efecto del estrés originado por limitaciones de nutrimentos o bajo pH.

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). En estudios realizados en Norte América, en los que no se han observado variaciones en la Rb, ni en la biomasa microbiana, con la posición de la pendiente, tampoco se han encontrado diferencias en los valores de qCO_2, aún cuando resultara significativa la disminución del pH del suelo con la altitud (Smith *et al*., 2002).

CONCLUSIONES

- Se encontró una variación en el contenido y composición de la MO de los suelos estudiados con respecto a la altitud. Los mayores valores de COT se observaron en la zona más alta y los menores valores en la zona intermedia. El carbono extraído con álcali (asociado a la fracción más estable de la MO), en la zona más elevada, resultó aproximadamente el doble que el encontrado en las otras dos zonas.

- El Cmic no mostró diferencias significativas entre la zona alta y la zona baja, mientras que la zona intermedia reflejó los valores más bajos. Sin embargo, la actividad microbiana, evaluada a través de la Rb, fue significativamente mayor en la zona alta en comparación

con las zonas de menor altitud.

- Se encontraron correlaciones positivas y significativas entre la Rb y el COT, el Cmic y el COT y el Cmic y la Rb.

- El contenido y la composición de la MO en los suelos estudiados, así como la actividad microbiológica, están influenciados por la altitud, la cual está asociada a diferencias en la vegetación, temperatura, humedad, precipitaciones y características de los suelos.

AGRADECIMIENTO

Las autoras agradecen al Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas (CIESA) de la Universidad Rómulo Gallegos y al Núcleo de Investigación Ambiental con Fines Educativos (NIAFE) de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (Maracay) por el apoyo logístico. Así mismo, expresamos nuestro reconocimiento al Dr. Graciano Elizalde de la Facultad de Agronomía de la UCV, por las oportunas observaciones realizadas y por el material cartográfico facilitado. También queremos dejar constancia de la valiosa asesoría que brindó la Ing. Isis Vivas de la Facultad de Veterinaria de la UCV en el análisis estadístico de los datos. De igual forma, agradecemos al Prof. José Guillermo Sierra por su colaboración desinteresada en el tratamiento de las imágenes satelitales, mapas topográficos y ortofotomapas.

SUMMARY

The objective of this research was to study variations in soil organic matter content and composition at different altitudes and their influence on microbial activity and biomass in soils from Maracay River basin (Venezuela). The selected zones are located at: 480 meters above sea level (masl) (savanna with trees); 720 masl (gallery forest) and 1 000 masl (cloud forest). In each zone, a plot was selected, which was divided into three subplots. Ten soil samples were taken from different points in all subplots, at a depth of 0-10 cm. Total organic carbon (TOC), carbon of the humic substances (extracted with alkali), microbial biomass carbon (Cmic, measured by the substrate-induced respiration method), basal respiration (evolution of CO_2), and metabolic quotient were determined. TOC varied between 0.88% and 2.52%. The alkali extracted fraction

ranged from 20 to 43% of TOC and was primarily associated with humic acids. Basal respiration values varied between 0.57 and 4.11 µg $C\text{-}CO_2$ g^{-1} h^{-1}. Cmic ranged from 576 to 1 395 µg Cmic g^{-1}. The highest values of organic carbon, Cmic and basal respiration were observed in the highest zone, whereas the lowest values were observed in the middle zone ($P<0.05$). Soil organic matter content and composition as well as microbiological activity are influenced by altitude, which is associated with differences in vegetation, temperature, precipitations and soil characteristics.

Key Words: humic substances, organic carbon, microbial biomass, soil respiration, savanna soils, gallery forest, cloud forest.

BIBLIOGRAFIA

AGUILERA, S., G. BORIE y P. PEIRANO. 1999. Dinámica del carbono en suelos con distintos sistemas de labranza. Frontera Agrícola (Chile) 5(1-2):33-38.

ALEF, K. 1995. Soil respiration. **In:** Alef, K., P. Nannipieri. (Eds). Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press. Harcourt Brace y company, Publishers. p. 214-217.

ALEF, K. and P. NANNIPIERI. 1995. Microbial biomass. **In:** Alef, K. and P. Nannipieri. (Eds). Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press. Arcourt Brace y Company, Publishers. p. 375.

ANDERSON, J. M. and J. S. I. INGRAM. 1993. Tropical soil Biology and fertility: A Handbook of methods. CAB International. Wallingford, UK. 62 p.

ANDERSON, J. P. E. 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, Wl. p. 831-871.

ANDERSON, J. P. E. and K. H. DOMSCH. 1978. A physiological method for the Quantitative measurement of microbial biomass in soil. Soil. Biol. Biochem. 10:215-221.

ANDERSON, T. H. and K. H. DOMSCH. 1993. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biol. Biochem. 25:393-395.

ANDERSON, T. H. and K. H. DOMSCH. 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. Soil Biol. Biochem. 22:251-255.

BERGSTROM, D. W., C. M. MONREAL, A. D. TOMLIN and J. J. MILLER. 2000. Interpretation of soil enzyme activities in a comparison of tillage practices along a topographic and textural gradient. Can J. Soil. Sci. 80:71-79.

CASANOVA, E. 1991. Introducción a la Ciencia del Suelo. Caracas, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. 393 p.

CHANG, S. and J. TROFYMOW. 1996. Microbial respiration and biomass (substrate-induced respiration) in soils of old-growth and regenerating forests on northern Vancouver Island, British Colombia. Biol. Fertl. Soils. 23:145-152.

CIAVATTA, C., M. GOVI, L. VITTORI ANTISARI and P. SEQUI. 1990. Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone. J. Chromatogr. 509:141-146.

DIAZ-RAVIÑA, M., M. J. ACEA and T. CARBALLAS. 1993. Microbial biomass and its contribution to nutrient concentrations in forest soils. Soil Biol. Biochem. 25(1):25-31.

ELIZALDE, G. y J. VILORIA. 1995. Descripción del perfil de Rancho Grande. **In:** XIII Congreso Venezolano de Ciencia del suelo (Guía de gira de campo) Maracay. 66 p.

ELIZALDE, G., A. ROSALES y L. BASCONES. 1987. Aprender a convivir con la montaña. Catástrofe en la cuenca del río El Limón. Carta Ecológica. Revista bimensual. Departamento de Relaciones Ecológica. Relaciones Públicas de Lagoven. S.A. Filial de Petróleos de Venezuela. Nº 39:1-4.

EWEL, J. y J. MADRIZ. 1968. Zonas de Vida en Venezuela. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas. 265 p.

HART, P. B. S., J. A. AUGUST and A. W. 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.

HERNÁNDEZ, W. 1998. Efecto de tres sistemas de labranza sobre la dinámica poblacional y la actividad microbiológica de un suelo cultivado con maíz. Trabajo de Grado para optar al título de Magister Scientiarum en Ciencia del Suelo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 134 p.

HUBER, O. 1986. El clima. **In:** La selva nublada de Rancho Grande, Parque Nacional "Henri Pittier". El ambiente físico, ecología vegetal y anatomía vegetal. Otto Huber editor. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana y Seguros Anauco. pp. 17-28.

INSAM, H. 1990. Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime?. Soil Biol Biochem. 22:525-532.

INSAM, H., T. HUTCHINSON and H. REBER. 1996. Effects of heavy metal stress on the metabolic quotient of the soil microflora. Soil Biol. Biochem. 28:691-694.

JAIMES, E. y G. ELIZALDE. 1990. Contenido de materia orgánica de epipedones de suelos venezolanos de acuerdo a gradientes alto térmicos. Agricultura Andina. 5:25-38.

LÓPEZ de ROJAS., I. 1982. Requerimientos de cal en suelos de Venezuela. I. Correlaciones entre métodos químicos y de incubación. Agronomía Trop. 32(1-6):125-145.

LÓPEZ, R. y M. LÓPEZ. 1978. El diagnóstico de Suelos y Plantas. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 287 p.

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES RENOVABLES. (MARNR). 2000. Primer informe de Venezuela sobre Diversidad Biológica. Dirección de Cartografía Nacional.

MONTALDO, P. 1966. Principios ecológicos en la determinación de unidades básicas y su aplicación para el estado Aragua, Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Alcance Nº 10. FAGRO- UCV Maracay. 91 p.

NÚCLEO DE INVESTIGACIÓN AMBIENTAL CON FINES EDUCATIVOS (NIAFE). 2002. Descripción Multidisciplinaria de la cuenca del Río Maracay. [Pág. WEB en línea] disponible: http/www. niafe.ipmar .8m.net [consulta 2003, enero 8].

OCHOA, G. R., C. 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.

OLSEN, S. and L. SUMMER. 1982. Phosphorous. **In:** Methods of Soil análisis. Part 2. A. L. Page (eds) ASA-SSSA. Madison, WI. USA.

PASCUAL, J. A., C. GARCÍA and T. HERNÁNDEZ. 1999. Lasting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil. Biol. Fert. Soils. 30:1-6.

PASCUAL, J. A., C. GARCÍA, T. HERNÁNDEZ and M. AYUSO. 1997. Changes in the Microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes. Biol. Fert. Soils. 24:429-434.

PASCUAL, J. A. 1996. Efectividad de los residuos orgánicos en la mejora de la calidad de suelos áridos: aspectos biológicos y bioquímicos. Tesis Doctoral. Murcia (España). Universidad de Murcia. 428 p.

PRIMERA, Y. 2004. Variaciones de la materia orgánica con respecto a la altitud y su influencia sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, presentes en la cuenca del río Maracay. **In:** X Muestra de Estudios en Sistemas Ambientales y III Festival de Microambientes. Memorias. 12-14 de mayo 2004. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico Rafael Alberto Escobar Lara. Maracay.

RIOS, M. 2002. Descripción de una toposecuencia de suelos en la cuenca del río Maracay con fines didácticos. Trabajo de Ascenso a la categoría de profesor Titular. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico Rafael Alberto Escobar Lara. Maracay. 178 p.

ROMERO, N., M. RÍOS y L. BARRIOS. 2004. Caracterización química de los suelos en los tramos alto y medio de la cuenca del río Maracay, estado Aragua, con fines didácticos. Revista Paradigma. UPEL-IPMar. Volumen XXV, Nº 1, Junio 2004. Maracay-Aragua.

RUIZ, M. 2002. Caracterización de la materia orgánica y la actividad

biológica de suelos de la Depresión del Lago de Valencia sometidos a diversas formas de manejo. Tesis Doctoral. Postgrado en Ciencia del Suelo. Maracay, Venezuela. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 257 p.

RUIZ, M., G. ELIZALDE y J. PAOLINI. 1997. Distribución de la materia orgánica asociada a microagregados de suelo de los dos toposecuencias. Agronomía Trop. 47(4):489-506.

RUIZ, M. y J. PAOLINI. 2004. El cultivo y el agua de riego sobre el carbono de la biomasa microbiana. Agronomía Trop. 54(2):161-178.

ŠANTRUÈKOVÁ, H. and M. STRAŠKRABA. 1991. On the relationship between respiration activity and microbial biomass in soils. Soil Biol. Biochem. 23:525-532.

SCHNITZER, M. 1991. Soil organic matter - the next 75 years. Soil Sci. 151:41-58.

SMITH, J., J. HALVORSON and H. BOLTON. 2002. Soil properties and microbial activity across a 500 m elevation gradient in a semi-arid environment. Soil Biol. Biochem. 34:1.749-1.757.

STATISTIX FOR WINDOUS. 1996. User ‘s Manual. Analytical Software. Tallahassee. FL. USA. 333 p.

STEVENSON, F. J. 1982. Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions. John Wiley and Sons. New York. 443 p.

STOTZKY, G. and R. G. BURNS. 1982. The soil environment: clay-humus-microbe interactions. **In:** Burns, R.G.; J.H. Slayter (Eds.). Experimental microbial ecology. Oxford. p. 105-133.

SUTTNER, T. and K. ALEF. 1988. Correlation between the Arginine Ammonification, enzyme activities, microbial biomass, physical and chemical properties of different soils. Zentralbl. Mikrobiol. 143:569-573.

SWIFT, R. S. 1991. Effects of humic substances and polysaccharides on soil aggregation. **In:** Advances in Soil organic matter research: The impact on agriculture and the environment (Wilson, W. S., editor). The Royal Society of Chemistry. Thomas Graham House, Cambridge. 206 p.

TRASAR-CEPEDA, C., M. C. LEIRÓS, F. GIL-SOTRES and S. SEOANE. 1998. Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. Biol. Fertil. Soils 26:100-106.

VILORIA, J., C. ALVARADO, C. PINEDA y O. MIQUILENA. 1996. Los suelos de la Finca Torumo, Guacara, estado Carabobo. Estudio con Fines de Diseño y Monitoreo de Riego con Aguas Servidas. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 48 p.

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.

WATERS, A. G. and J. M. OADES. 1991. Organic matter in water-stable aggregates. **In:** Advances in Soil organic matter research: The impact on agriculture and the environment (Wilson, W. S., editor). The Royal Society of Chemistry. Thomas Graham House, Cambridge. 206 p.

WOODS, L. E. and G. E. SCHUMAN. 1988. Cultivation and slope position effect on soil organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:1 371-1 376.

ZINCK, A. 1986. Una Toposecuencia de suelos en el área de Rancho grande: Dinámica actual e implicaciones paleogeográficas. **In:** La selva nublada de Rancho Grande Parque Nacional "Henri Pittier". El ambiente físico, ecología vegetal y anatomía vegetal. Otto Huber editor. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana y Seguros Anauco. pp. 67-90.

ZUNINO, H. 1983. Ecología microbiana, acumulación de humus y fertilidad en suelos alofánicos. Suelos ecuatoriales. 13(1):23-35.