

Asimilabilidad y estado del carbono del suelo inducidos por pérdidas de materia orgánica en un bosque siempreverde de Sierra del Rosario, Cuba*

Guillermina HERNÁNDEZ** y María E. RODRÍGUEZ**

ABSTRACT. Carbon availability and soil carbon content were tested under a simulation experiment of the amount of organic matter losses in an evergreen forest at the Reserve of Biosphere Sierra del Rosario, Cuba. The changes on microbial biomass, respiration, metabolic quotient for CO₂ (qCO₂), the ratio of microbial C / total organic C ($C_{mic} C_{org}^{-1}$), and C content of top soil (0 – 10 cm) were estimated. The assessment was done 18 and 24 months from the beginning of the experiment in wet (October 1997) and dry (April 1998) seasons, involving three variants: V1 (Control); V2 (without roots) and V3 (without O horizon). Maximum microbial biomass was found in V1 on dry season (average of 2.1 mg CO₂ g⁻¹). Availability of soil C was generally higher (P<0.05) in dry season but the enhancement of biological activity (respiration and qCO₂) was obtained when roots were removed in wet season. In comparison with $C_{mic} C_{org}^{-1}$, qCO₂ was more sensitive as indicator of perturbations produced by removal of organic matter and seasonality. C content of soil (average from wet and dry seasons) was 66.0 Mg ha⁻¹. Removal of roots reduced soil carbon content approximately in 6 Mg C ha⁻¹. Relative to Control, respiration of soil increased about 41% of sequestered C losses when roots were removed while the exclusion of O horizon was responsible of 40% losses of native carbon. The latter was equivalent to the conversion of forest into agroecosystems in a relatively short - term. The evaluation of losses of sequestered C showed how different managements like deforestation, removal of roots and soil may alter the stability and status of carbon in a forest.

KEY WORDS. Carbon content, microbial biomass, respiration, qCO₂, $C_{omic} C_{org}^{-1}$

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica y sus transformaciones juegan un papel esencial en la calidad y fertilidad del suelo. La deforestación y la eliminación de la vegetación arbustiva para uso del suelo en la agricultura, son causantes de grandes pérdidas de la materia orgánica del mismo. Esta conversión de ecosistemas puede provocar pérdidas del 20 al 50% del carbono (C) del suelo en el horizonte superficial en los trópicos (Sombroek *et al.*, 1993).

Una proporción significativa del C contenido en el suelo es relativamente lábil (sujeta a retornar a la atmósfera) como resultado de la descomposición y otros procesos que ocurren en el mismo. El flujo global anual de CO₂ a la atmósfera, conocido como respiración del suelo, es de alrededor de 68 Pg (Raich y Schlesinger, 1992). De esto se deriva que las pérdidas de materia orgánica por oxidación pueden exacerbar el calentamiento global (Schlesinger, 1995).

La asimilabilidad del C del suelo es el principal regulador del crecimiento, funcionamiento y renovación microbiana (Holmes y Zak, 1994); por tanto cualquier variación en las entradas o salidas del carbono en el ecosistema se verán reflejadas en la producción de biomasa microbiana y en su actividad.

El cociente metabólico y la relación "C microbiano / C orgánico", son relaciones que muestran el flujo del C a través del compartimiento de la biomasa microbiana. El cociente metabólico para CO₂ (qCO₂) o tasa de respiración específica (Pirt, 1975) ha sido utilizado como un índice ecofisiológico ligado al estrés medioambiental (Anderson y Domch, 1990; Anderson y Gray, 1991), a variables del suelo (Santruckova y Straskraba, 1991), a estados sucesionales de los ecosistemas y a la fertilidad del suelo (Insam y Haslwander, 1989).

La relación C microbiano / C orgánico ($C_{mic} C_{org}^{-1}$) es considerada además, un indicador muy sensible de la calidad de la materia orgánica del suelo (MOS), debido a que el compartimiento del C microbiano es dos órdenes de magnitud inferior al del C orgánico total del suelo (Anderson y Domch, 1993).

El presente trabajo pretende conocer la influencia de perturbaciones simuladas de la materia orgánica (sustracción de raíces y del horizonte O) y la estacionalidad, sobre la asimilabilidad y el estado del carbono edáfico en un bosque siempreverde perteneciente a la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario en Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área. El área seleccionada (Vallecito), está ubicada en la loma El Salón perteneciente a la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario, en la provincia de Pinar del Río, Cuba, con coordenadas 82° 58' 17" N y 22° 49' 54" W, a una altura de 400 m (Hernández *et al.*, 1988).

Vallecito (Va), según Menéndez *et al.* (1988), es un bosque de siempreverde medio con exposición NE que se encuentra en una fase madura y poco alterada donde predomina la comunidad *Pseudolmedia spuria* – *Matayba apetala* representada por las especies: *Pseudolmedia spuria*, *Matayba apetala*, *Alchornea latifolia*, *Oxandra lanceolata*, *Trophis racemosa*, *Hibiscus elatus*, *Dendropanax arboreus*, *Cedrela mexicana*, *Calophyllum antillanum* y *Prunus occidentalis* (Capote *et al.*, 1988).

La temperatura media multianual de este bosque, es de 24.4°C y el promedio anual de precipitaciones de 2014 mm. La mayor variabilidad de las precipitaciones se registra en los meses más lluviosos desde mayo a octubre; mientras los de menor pluviosidad están entre

*Manuscrito aprobado en Noviembre del 2000.

**Instituto de Ecología y Sistemática, A.P. 8029, C.P. 10800, La Habana, Cuba.

Noviembre - Diciembre y Abril - Mayo (Vilamajó *et al.*, 1988).

Suelo. El perfil es del tipo A₁-B-BC, de poco espesor, completamente lavado de carbonatos con un horizonte orgánico en el cual se distinguen las capas Oe/Oh (Oe y Oh) y corresponde a un Fersialítico Pardo Amarillento mullido lítico lavado según Hernández *et al.* (1999), lo que equivale a un Cambisol Mólico Calcárico Epiléptico de acuerdo a la clasificación de la World Reference Base (Driessen *et al.*, 2001). Presenta además, una estera radical de alrededor de 3 cm, un humus del tipo mull y las capas Oe y Oh del horizonte orgánico están perfectamente definidas.

Según Hernández y Herrera (1988), sus características químicas (0 - 20 cm) se encuentran en el siguiente intervalo: pH (H₂O) de 6.03 - 6.33; MOS (Walkey-Black; Jackson, 1982) de 3.2 - 10.9 % ; N_{total} edáfico (Kjeldahl) desde 2.0 - 11.2 mg g⁻¹; P_{asim} (Bray) desde 6 - 36 µg g⁻¹ y un contenido de bases cambiables (K+ Ca + Mg) de 25 cmol_c kg⁻¹ (extracción con acetato amónico seguida por determinación con fotometría de llama).

Tratamientos. Las variantes empleadas fueron: variante 1 (V1): control; variante 2 (V2): donde fueron extraídas todas las raíces visibles en el volumen de suelo correspondiente; variante 3 (V3): fue eliminado el horizonte O que era de 3 a 5 cm de espesor. Para todas las variantes, el suelo fue seccionado en bloques de 30 cm de largo x 50 cm de ancho x 30 cm de profundidad para ser colocados en cajas plásticas perforadas de iguales dimensiones.

Las cajas permitieron el drenaje natural del suelo y la interacción con el medio circundante a través de perforaciones realizadas en los laterales y en el fondo de las mismas. En las variantes, V2 fue evitada la entrada de nuevas raicillas y en V3 eliminada la entrada del material vegetal capturado por mallas colocadas para este fin. Cada variante (V1, V2 y V3) fue repetida tres veces. El experimento fue evaluado en los meses de Octubre (1997) y Abril (1998), correspondientes al período lluvioso y seco a los 18 y 24 meses respectivamente, después de su inicio.

Recolección y preparación de muestras. Las muestras fueron tomadas con una barrena cilíndrica de 5 cm de diámetro y 10 cm de altura, mantenidas a temperaturas entre 4 - 5°C durante una semana y posteriormente tamizadas (2 mm) para las determinaciones de la respiración del suelo y la biomasa microbiana.

Carbono del suelo. Se determinó mediante un analizador elemental (Carlo Erba, Milán) después de secar al aire las muestras de suelo y tamizarlas por malla de 250 µm.

Biomasa microbiana. Fue evaluada de acuerdo a Jenkinson y Powlson (1976), utilizando intervalos de 0 - 7 y 7 - 14 días para medir las diferencias entre el suelo fumigado y no fumigado y con un factor de corrección de 0.41.

Respiración del suelo. Las muestras fueron colocadas en frascos herméticos que contenían 2 mL de NaOH 0.1 M, la reacción fue detenida con BaCl₂ al 5% y el CO₂ absorbido estimado de forma indirecta por valoración con HCl 0.1 M previamente normalizado (Witkamp, 1966).

El cociente metabólico se estimó a través de la relación entre la respiración del suelo y la biomasa microbiana (qCO₂: µg CO₂ - C respirado h⁻¹/µg⁻¹ C_{mic}). A partir del C total (C_{elemental}) y el C_{mic} fue calculada la relación C_{mic} C_{org}⁻¹ (Anderson y Domsch, 1986).

Análisis estadístico. El experimento se procesó mediante el análisis de varianza de clasificación simple que contiene dos factores (MOS y Mes) y como comparación de medias se utilizó la prueba de Duncan (P<0,05). Se aplicaron pruebas de correlación entre los siguientes pares de variables: biomasa microbiana y C del suelo; respiración del suelo y cociente metabólico (qCO₂).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un descenso del 11% y el 4% del C edáfico se registró en Octubre y Abril, respectivamente con la eliminación de raíces finas (Tabla 1). Es decir, que un 7%, relativo a este descenso, correspondió a diferencias estacionales en el contenido de C en la capa superficial del suelo (0 -10 cm).

Es conocido que a través de las raíces, especialmente finas, se transfieren cantidades considerables de C al suelo. Según Lynch (1991), los exudados solubles son las formas más lábiles de C liberado por las raíces. Además, el C liberado en la masa del suelo debido a la rápida renovación de las raíces finas de árboles podría ser dos o más veces mayor que el aportado por la hojarasca (Carlyle, 1986).

El estimado promedio de C en el suelo sin alterar (V1), fue de 64.0 y 67.7 Mg C ha⁻¹ para Octubre y Abril, respectivamente, suponiendo una densidad aparente de 1 Mg m⁻³ (Tabla 1); mientras la extracción de raíces (V2), con relación a V1, produjo una disminución del contenido de C equivalente a 7.0 y 5.5 Mg C ha⁻¹ en esos mismos meses.

El patrón de descomposición de la hojarasca en Vallecito, se caracteriza por un inicio rápido, seguido de una transformación lenta de los restos de hojarasca, en comparación con otros ecosistemas boscosos de la Reserva. Lo mismo ocurre con la descomposición de raicillas, que presentaron un tiempo medio de descomposición de once meses (Rodríguez *et al.*, 1988).

La eliminación del horizonte O (V3) trajo como consecuencia una disminución del contenido de C, equivalentes al 36.6 y 42.8% del encontrado en V1, lo que representó 23.4 y 29 Mg C ha⁻¹ eliminados con el horizonte orgánico en los respectivos meses.

Estas pérdidas de MOS equivaldrían a 12.0 y 9.5 Mg C ha⁻¹ correspondientes a la extracción de raíces y 40.3 y 49.9 Mg C ha⁻¹ debidas a la eliminación del horizonte O en Octubre y Abril respectivamente. Basu y Behera (1993) encontraron que la conversión de un bosque en sabana y agroecosistema trajo como consecuencia una reducción del 40 al 46% del C orgánico del suelo.

Esto significaría que la eliminación del horizonte O produjo pérdidas de carbono equivalentes a las mencionadas anteriormente en un plazo relativamente corto, como fue determinado a los 18 y 24 meses de realizada las intervenciones.

Biomasa microbiana. La biomasa microbiana fue significativamente mayor ($P < 0.05$) para V1 en Abril, mientras que en Octubre, fue similar entre las variantes V1 y V2 y sólo significativamente menor ($P > 0.05$) en V3 (Fig. 1). En cambio, en Abril el patrón de distribución de la biomasa siguió al de la sustracción de MOS con valores superiores a los encontrados para V1 y V2 en Octubre (Fig. 1). Usualmente se ha encontrado que la biomasa microbiana muestra una correlación directa con la MOS, de forma que decrece con la profundidad del perfil, siguiendo los cambios de la misma (Paul y Clark, 1989).

En el presente trabajo existió una correlación directa y significativa ($P < 0.05$) entre la biomasa microbiana y el C del suelo (Fig. 2). Una correlación altamente significativa ($r = 0.90$; $P < 0.01$) fue también encontrada en un estudio comparativo de una asociación Pino-café de diferentes edades en Pinares de Mayarí (Cuba), donde se observó además, el efecto beneficioso de la asociación sobre la biomasa microbiana y la actividad biológica del suelo (Hernández y Díaz, 1990).

Los resultados obtenidos para el suelo sin alterar (V1), fueron superiores a los encontrados por Hernández y Tesárová (1988) en el mismo bosque, con valores de $0.87 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de suelo para Vallecito en Septiembre y de $0.49 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de suelo en el mes de Diciembre del siguiente año, correspondientes al período húmedo y seco respectivamente. Las variaciones estacionales que se encontraron en ambos estudios y las apreciadas entre las áreas, como se observó de la interacción significativa entre la simulación de pérdidas de MOS y las variaciones estacionales (Tabla 2), corroboran la fuerte dependencia de esta variable de los factores abióticos y la labilidad de este componente de la biota edáfica.

Los incrementos producidos en la biomasa microbiana y en su actividad por adición de glucosa, han sido ampliamente estudiados en diferentes condiciones (Scheu y Parkinson, 1995; Bradley y Files, 1996). Asimismo, al determinar la influencia de la actividad de las lombrices sobre la biomasa microbiana se encontró que la sustitución del suelo en la inoculación por excretas de *Oligochaeta elegans*, posterior a la fumigación, incrementó la biomasa microbiana por un factor de 1.4 y la actividad biológica en un 41% con relación al suelo circundante (Hernández *et al.*, 1989). La magnitud de los incrementos de la actividad biológica está asociada a la mayor disponibilidad y calidad de la MOS bajo la influencia de las variaciones estacionales que determinan sus tasas de descomposición en el ecosistema.

Respiración del suelo. La respiración del suelo fue significativamente superior ($P < 0.05$; Fig. 3) cuando fueron extraídas las raíces (V2) en el mes de Octubre. Este

resultado puede explicarse por la interacción de dos factores. Por un lado, la extracción de raíces provocó una alteración de la estructura del suelo y la mezcla de horizontes edáficos que favoreció la oxigenación del medio y de otro, la humedad del suelo encontrada en Octubre (45.5%) con relación a Abril (28.6%), incrementaron la actividad biológica en este período.

El hecho de que para V3, no existieron diferencias entre los meses de Octubre y Abril, en cuanto a la respiración del suelo reafirma la importancia del componente orgánico en estos procesos en las capas superficiales del suelo; ya se mencionó que V3 presentó también cantidades significativamente inferiores ($P < 0.05$) de biomasa microbiana (Figs. 1 y 3). Al eliminarse el horizonte orgánico se sustrae la fuente potencialmente más mineralizable de la que se nutren los microorganismos así como la propia microbiota que habita en él y, por consiguiente, la respuesta de las variables que reflejen la actividad biológica como es el caso de la respiración y la biomasa microbiana, se hace más homogénea para esta variante.

Las cantidades de Carbono desprendidos a través de la respiración del suelo, fueron de 0.051 , 0.132 , y $0.022 \text{ mg C g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ y 0.109 , 0.077 y $0.049 \text{ mg C g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ para V1, V2 y V3 en Octubre y Abril respectivamente. La cantidad de carbono edáfico mineralizado a través de la respiración fue de 8.8 , 22.7 y $3.8 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en Octubre y de 18.8 , 13.3 y $8.4 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para estas variantes en Abril.

Resultados anteriores, obtenidos en Vallecito, revelaron que la respiración del suelo fue de $1.36 \text{ mg C g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (Rodríguez *et al.*, 1988). La respiración del suelo incluye todos los subcompartimientos edáficos colectivamente (suelo + raíces), de esta forma la cantidad y calidad de las raíces, así como sus tasas de renovación bajo la influencia estacional, pueden ser responsables de las diferencias observadas. Además el proceso de incubación en condiciones de laboratorio y distintos tipos de muestreo empleado, pueden también haber influido en las mismas.

Cociente metabólico. El cociente metabólico ($q\text{CO}_2$), fue significativamente superior ($P < 0.05$) en Octubre para V2, mientras que en Abril no fue diferente ($P < 0.05$) entre las variantes (Fig. 4). Este cociente se relaciona con la asimilabilidad del carbono. Un $q\text{CO}_2$ elevado ha sido asociado a comunidades oportunistas zimógenas ("estrategia r"), las cuales responden a altas cantidades de carbono asimilable. De otro lado, las poblaciones autóctonas ("estrategia K") presentan mayor eficiencia en el uso del carbono (Insam y Haselwandter, 1989), pero sus capacidades de economizar energía pueden decrecer como respuesta al estrés ambiental (Anderson y Domsch, 1993).

La respuesta de $q\text{CO}_2$ en V2 en Octubre pudiera reflejar la presencia de comunidades zimógenas, que en condiciones de mayor asimilabilidad del carbono (donde se favorece el proceso de oxidación), fue inducida por la alteración física provocada en el suelo debido a la relativamente reciente extracción de raíces. Así, las comunidades microbianas tendrían, en este caso, la oportunidad de sobreutilizar la energía a través del

incremento del consumo de sustratos más asequibles en condiciones de humedad del suelo más favorables.

En Abril, la respuesta pareció estar más asociada al metabolismo, debido a que, con independencia de las diferencias en la producción de biomasa microbiana y de la respiración del suelo, el qCO_2 fue casi constante para ese mes en todas las variantes (Fig. 4).

Los resultados obtenidos en ambos períodos (Octubre y Abril), confirman la idea de que este cociente refleja tanto los cambios en el carbono asimilable, como en el estado del metabolismo (Wolters, 1991).

Relación carbono microbiano: carbono orgánico del suelo. Como se estimó de los valores de la Fig. 1 y la Tabla 1, el carbono microbiano representó alrededor del 1.2 al 3.0% del carbono orgánico del suelo. La relación $C_{mic} C^{-1}_{org}$, no se comportó de manera análoga al qCO_2 , ya que presentó un patrón similar al de la biomasa microbiana, particularmente en el mes de Abril, y siguió más los cambios del carbono del suelo (Fig. 4). En Vallecito el período seco, en realidad menos húmedo, se caracteriza por condiciones de humedad edáfica que no limitan y en ocasiones, favorecen la actividad biológica del suelo. Por esta razón tanto la relación $C_{mic} C^{-1}_{org}$ como la qCO_2 son, en general, superiores en Abril (Figs. 4 y 5).

Por otro lado, esta relación no mostró los cambios en la actividad microbiana para V2 en octubre como fueron registrados por la respiración del suelo y qCO_2 (Figs. 3, 4 y 5).

Los valores encontrados para la relación $C_{mic} C^{-1}_{org}$, son ligeramente superiores a los hallados para el horizonte Oh de un bosque de *Pinus contorta* Loud y para el horizonte Ah de un bosque de *Populus trumulooides* Michx (Scheu y Parkinson, 1995). En el referido trabajo también se encontró que la respiración, qCO_2 y $C_{mic} C^{-1}_{org}$ declinaron con la profundidad, aunque el descenso fue considerablemente más pronunciado para esta última. Este comportamiento estuvo, además, asociado a cambios en la composición de la comunidad microbiana.

Los resultados obtenidos son una evidencia más de la interacción de la actividad biológica y la asimilabilidad del carbono que pueden ser detectados a través del qCO_2 y por la relación $C_{mic} C^{-1}_{org}$. Por otra parte, no existió correlación directa entre qCO_2 y $C_{mic} C^{-1}_{org}$ (resultados no mostrados), lo que señala que no debe utilizarse una u otra de manera indiferente, aunque ambas pueden ser indicadores sensibles del flujo del carbono en el ecosistema.

Este ecosistema, con un suelo biológicamente activo caracterizado por el predominio de las comunidades de bacterias y actinomicetos con una caída continua de material vegetal que es renovada anualmente y un humus del tipo mull mesotrófico (Hernández, 1999), presentó un descenso temporal del nivel trófico generado por la eliminación de fuentes de materia orgánica (en las condiciones del experimento) que produjeron la reducción o variación de la asimilabilidad del carbono (respiración del suelo, qCO_2 y $C_{mic} C^{-1}_{org}$), biomasa microbiana así como del contenido de C del suelo.

De los resultados puede también concluirse que el cociente metabólico fue mejor indicador de la asimilabilidad del carbono debido a las interacciones físico - químico - biológicas inducidas por la sustracción de la materia orgánica y las derivadas de la estacionalidad, aunque ambas relaciones son complementarias y aportan información sobre el funcionamiento de este bosque.

Un descenso del 22.5% al 2.3% y del 75.8% al 9.8% de la biomasa microbiana entre los meses de seca y de lluvia estudiados, estuvo asociado a la eliminación del horizonte O y a la sustracción de raíces, respectivamente. La simulación de eliminación de MOS por sustracción de raíces provocó un incremento del 41% de las pérdidas del carbono secuestrado en los primeros 10 cm del suelo (66 Mg C ha^{-1}) a través de la respiración del suelo y una disminución del 25% de la misma fue obtenida cuando fue sustraído el horizonte orgánico. Sin embargo esto último, ocasionó un descenso del 40% del carbono promedio secuestrado equivalente al producido por la conversión de bosques en agroecosistemas.

Por estas razones es necesario examinar las perturbaciones producidas por el manejo de los bosques que tengan impacto sobre el intercambio de CO_2 con la atmósfera o eliminen la materia orgánica, con la consecuente disminución de la calidad del suelo y los límites dentro de los cuales factores de manejo (tala, raleo, remoción del suelo y raíces) afectan la estabilidad de la MOS y el estado del carbono en los bosques.

Agradecimientos. Al Dr. Fernando Ortega por las sugerencias realizadas al trabajo y al MCs. Jorge A. Sánchez la ayuda brindada en la evaluación estadística de los resultados.

REFERENCIAS

- Anderson, T. H., y K. H. Domsch. 1986. Carbon link between microbial biomass and soil organic matter. En: F. Gantar, M. (Eds.) Proc IV Int Symp Microb Ecol. Slovene Soc. Microbiol, Ljubljana, pp 467-471.
- Anderson, T. H., y K. H. Domsch. 1990. Application of ecophysiological quotients (qCO_2 y qD) on microbial biomasses of soils of different cropping histories. *Soil Biol. Biochem.*, 22, 251-221.
- Anderson, T. H., y T. R. G. Gray. 1991. The influence of soil organic carbon on microbial growth and survival. En *Advances in Soil Organic Matter Research: The impact On Agriculture & The Environment* (W. S. Wilson, ed.), pp. 253-266. Redwood Press, Melksham.
- Anderson, T. H., y K. H. Domsch. 1993. The metabolic quotient for CO_2 as 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.
- Basu, S., y N. Behera. 1993. The effect of Tropical forest conversion on soil microbial biomass. *Biol. Fertil. Soils.*, 16: 302-304.
- Batchman, G., y H. Kinzel. 1992. Physiological and ecological aspects of the interactions between plant roots and rhizosphere soil. *Soil Biol. Biochem.*,

- 24: 543-552.
- Bradley, R. L., y J. W. Files. 1996. Interactions between tree seedling and humus forms in the control of soil C and N cycling. *Biol. Fertil. Soils.*, 23: 70-79.
- Capote, R. P., L. Menéndez, E. García, D. Vilamajó, N. Ricardo, J. Urbino, y R. A. Herrera. 1988. Flora y vegetación. En *Ecología de los Bosques Siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba Proyecto MAB N° 1, 1974 - 1987*. (R. A. Herrera., L. Menéndez, M.E. Rodríguez, y E. García, eds.), ROSTLAC, Montevideo, Uruguay, pp. 110-130.
- Carlyle, J. C. 1986. Nitrogen cycling in forested ecosystems. *For Abst.*, 47: 307-336.
- Driessen, P. J. Deckers, O. Spaargaren y F. Nachtergaele. 2001. Lecture notes on the Major Soils World Soils Resources Reports 94. FAO, Rome, 335 pp.
- Hernández, A., L. Menéndez, y E. García, 1988. Los suelos de la Reserva. En *Ecología de los Bosques Siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba Proyecto MAB N° 1, 1974 - 1987*. (R. A. Herrera., L. Menéndez, M.E. Rodríguez, y E. García, eds.), ROSTLAC, Montevideo, Uruguay, pp. 88-109.
- Hernández, A., J. M. Pérez, R. Marsán, M. Morales, y R. López 1996. "Correlación de la nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba, con clasificaciones Internacionales (Soil Taxonomy y FAO - UNESCO) y clasificaciones nacionales (2^{da} Clasificación genética y clasificación de series de suelos)" [inédito]. Instituto de Suelos, La Habana.
- Hernández, G., M. Tesarová, y M. E. Rodríguez, 1988. Biomasa y actividad de los microorganismos de un bosque tropical. En *I Simposio de Botánica*, La Habana, Resúmenes, p. 179.
- Hernández, G., y R. A. Herrera 1988. Propiedades físico-químicas del suelo y distribución de raicillas. En *Ecología de los Bosques Siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba Proyecto MAB N° 1, 1974 - 1987*. (R. A. Herrera., L. Menéndez, M.E. Rodríguez, y E. García, eds.), ROSTLAC, Montevideo, Uruguay, pp. 509-517.
- Hernández, G., M. A. Martínez, A. Hernández, y M. E. Rodríguez, 1989. Influencia de las lombrices de tierra (*Oligochaeta elegans*) sobre la biomasa de los microorganismos y la actividad biológica del suelo. En *V Jornada BTJ - ANIR del IES*, Ciudad de La Habana, Resúmenes, p. 35.
- Hernández, G., y I. Díaz, 1990. Influencia del cultivo del café sobre distintos procesos del suelo en la asociación pino - café en Pinares de Mayarí, Cuba. IV. Biomasa microbiana. En *III Simposio de Botánica*, La Habana, Resúmenes, p. 127.
- Hernández, G. 1999. "Influencia de la materia orgánica sobre algunas propiedades del suelo en bosques de la Sierra del Rosario" [inédito], tesis de Master en Ecología y Sistemática Aplicada, Mención Ecología, Instituto de Ecología y Sistemática, Ciudad de La Habana, 81 pp.
- Holmes, W.E., y D. R. Zak 1994. Soil microbial dynamics and net nitrogen mineralization in northern hardwood ecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 223-243.
- Imsam, H., y K. Haselwandter, 1989. Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession. *Oecología*, 79: 174-178.
- Jackson, M. L. 1982. Análisis Químico de Suelos. Ediciones Omega, Barcelona, 662 pp.
- Jenkinson, D.S., y D.S. Polwson, 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method of measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 8: 209-213.
- Lynch, J. M. 1991. Substrate flow in the rhizosfere. En *The rhizosfere and pland growth*. Kluwert Academic, (D. L. Cregan y P. B. Keister, eds.), Netherland, pp 15-24.
- Menéndez, L., R. P. Capote, y A. V. González, 1988. La Reserva de la Biosfera. Áreas de estudio. En *Ecología de los Bosques Siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba Proyecto MAB N° 1, 1974-1987*. (R. A. Herrera., L. Menéndez, M.E. Rodríguez, y E. García, eds), ROSTLAC, Montevideo, Uruguay, pp. 33-60.
- Paul, E., y F. E. Clark, 1989. *Soil microbiology and Biomestry*. Academic Press, San Diego, 150 pp.
- Pirt, S. J. 1975. *Principles of Microbe and Cell Cultivation*. Blackwell, Oxford, 103 pp.
- Post, W. M., W. R. Emanuel, P. J. Zinke, y A. G. Strangenberger, 1982. Soil carbon pools and world life zones, *Nature*, 298: 156-159.
- Raich, J. W., y W. H. Schlesinger, 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, 44B: 8-89.
- Rodríguez, M. E., N. Ricardo, y L. Menéndez, 1988. Descomposición de la necromasa en el ecosistema. En *Ecología de los Bosques Siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba Proyecto MAB N° 1, 1974 - 1987*. (R. A. Herrera., L. Menéndez, M.E. Rodríguez, y E. García, eds.), ROSTLAC, Montevideo, Uruguay, pp. 518-558.
- Santruckova, H. y M. Strakaba, 1991. On the relationship between specific respiration activity and microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 23: 525-532.
- Scheu, S. y D. Parkinson, 1995. Successional changes in microbial biomass respiration and nutrient status during litter decomposition in an aspen and pine forest. *Biol. Fertil. Soils.*, 19: 327-332.
- Schlesinger, W. 1990. Evidence from chronosequence studies for a low carbon - storage potential of soils. *Nature*, 348: 232-234.
- Schlesinger, W. 1995. An overview of carbon cycle. En *Soils and Global Change*. (R. Lal, J. Kimble, E. Levine y B. A. Stewart, eds). *Lewis Publ. Boca Raton*, EE. UU., 925 pp.
- Sombroek, W. G., F. O. Nachtergaele y A. Hebel, 1993. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio*, 22: 417-426.
- Vilamajó, D., L. Menéndez y A. Suárez, 1988. Características climáticas. En: *Ecología de los Bosques Siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba Proyecto MAB N 1, 1974-1987*. Eds. Herrera. R. A., L. Menéndez, M.E. Rodríguez, y E. García, cap. 3, pp. 61-74.
- Witkamp, M. 1966. Rate of CO₂ evolution from the floor. *Ecology*, 4: 492-492.
- Wolters, V. 1991. Biological processes in two beech forest soils treated with simulated acid rain-a laboratory experiment with *Isotoma tigrina* (Insecta, Collembola). *Soil Biol. Biochem.*, 23: 381-390.

Tabla 1. Contenido del carbono del suelo del bosque de Vallecito. V1: Suelo sin perturbar (Control); V2: Suelo sin raíces; V3: Suelo sin el horizonte O.

Mes	Variantes	%C
Octubre 97	V1	6.40(0.03)
	V2	5.7(0.11)
	V3	4.06(0.11)
Abril 98	V1	6.77(0.01)
	V2	6.49(0.10)
	V3	3.87(0.13)

Valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar.

Tabla 2. Valores de F y significación del efecto de sustracción de MO y la estacionalidad sobre la asimilabilidad del carbono. MO: materia orgánica del suelo; q CO₂: cociente metabólico para CO₂; C_{mic} C⁻¹_{org}: relación carbono microbiano - carbono orgánico.

Fuentes de variación	Biomasa microbiana	Respiración	qCO ₂	C _{mic} C ⁻¹ _{org}
MOS	1211.68 *	354.18 ***	519.92 ***	49.23 ***
Mes	172.31 ***	234 *	7.67 ***	0.05 NS
MOS x Mes	6 27.82 ***	155.26 ***	661.67 ***	95.01 ***

NS: no significativo; * P< 0.05; ** P<0.01; ***P<0.001

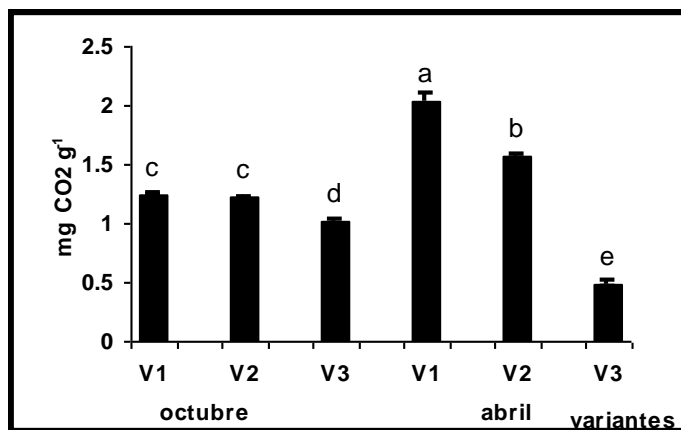


Fig. 1. Biomasa microbiana del suelo. Letras iguales entre barras no difieren (P<0.05) según Prueba de Duncan.

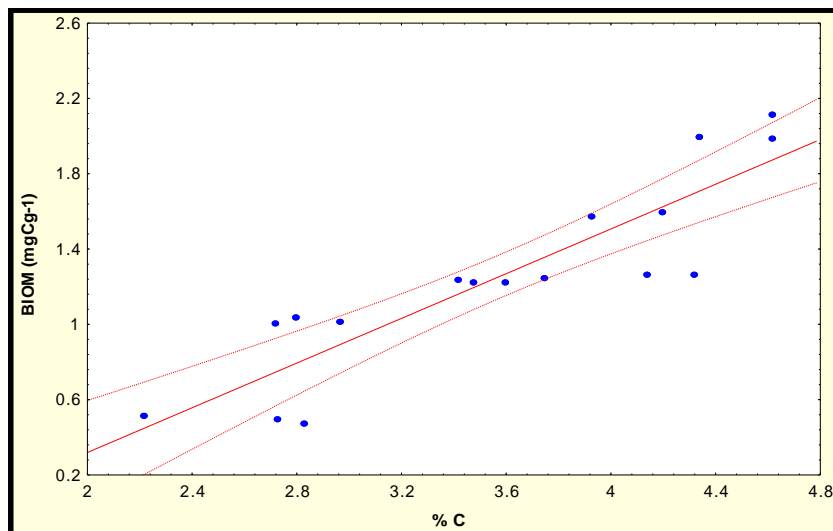


Fig. 2. Relación lineal (r = 0.89; P<0.05) entre la biomasa microbiana y el carbono del suelo del bosque de Vallecito. Líneas de puntos representan el intervalo de confianza para P<0.05.

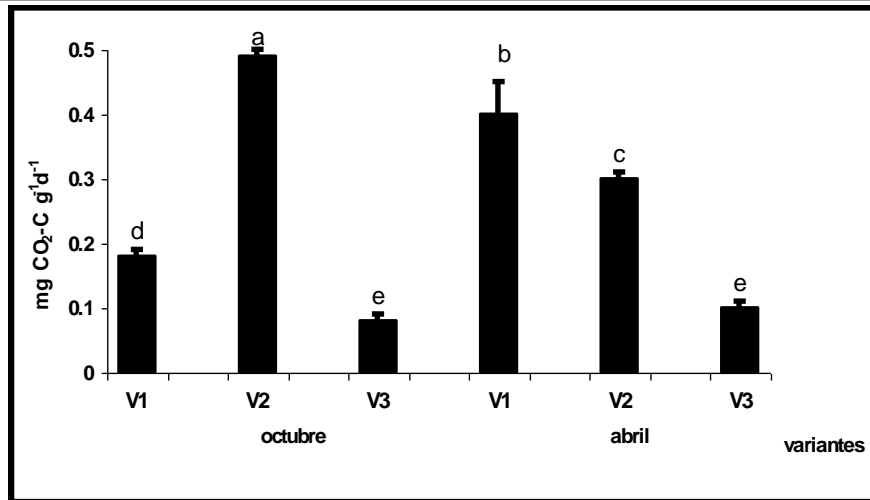


Fig. 3. Respiración del suelo. Letras iguales entre barras no difieren ($P < 0.05$) según Prueba de Duncan.

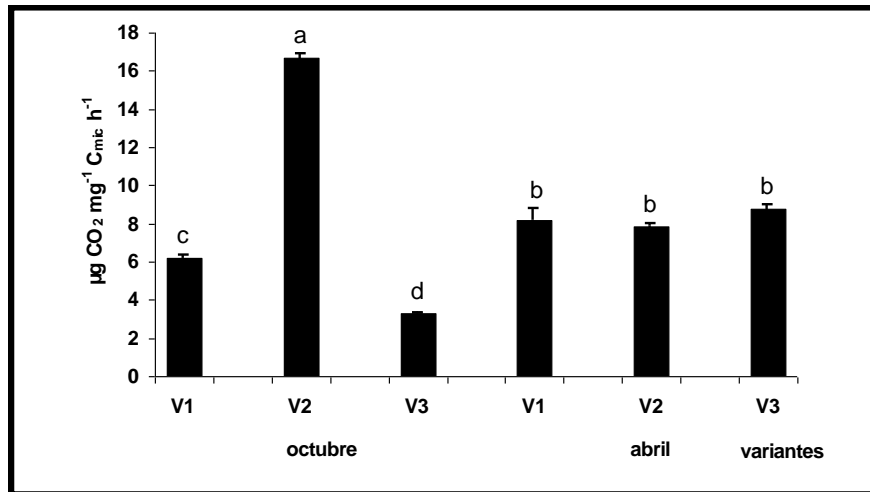


Fig. 4. Cociente metabólico para CO₂ (q_{CO_2}). Letras iguales entre barras no difieren ($P < 0.05$) según Prueba de Duncan.

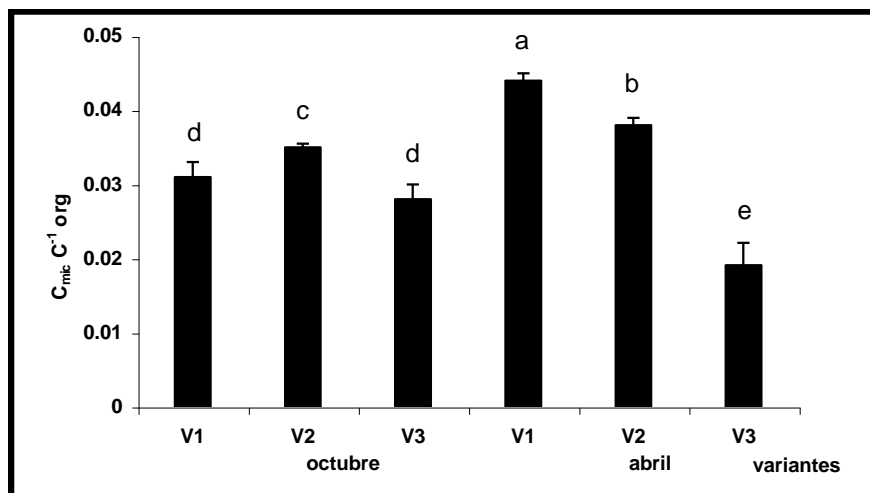


Fig. 5. Relación $C_{mic} C_{org}^{-1}$ del suelo. Letras iguales entre barras no difieren ($P < 0.05$) según prueba de Duncan.