

RESPIRACIÓN DEL SUELO SEGÚN SU USO Y SU RELACIÓN CON ALGUNAS FORMAS DE CARBONO EN EL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA, COLOMBIA

José Rafael Vásquez¹, Felipe Macías² y Juan Carlos Menjivar³

RESUMEN

El uso y manejo de los suelos pueden afectar notablemente las fracciones lábiles y humificadas de su materia orgánica, en detrimento de la actividad biológica. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto que sobre la emisión de CO₂ tienen los cambios de uso del suelo y su relación con algunas formas de carbono (Ct: carbono total; Cox: carbono oxidable; Cnox: carbono no oxidable; Cp: carbono en la fracción húmica; Cdox: carbono difícilmente oxidable). Se estudiaron los suelos de seis zonas del departamento del Magdalena las cuales se diferenciaron estadísticamente en dos grupos de tres zonas cada uno. El primer grupo, caracterizado por una precipitación anual mayor de 1200 mm y suelos con pH cercano a la neutralidad, mostró tasas de respiración que oscilaron entre 3,08 y 4,00 µg C-CO₂·h⁻¹·g⁻¹ suelo o 124,3 y 280,1 µg C-CO₂·h⁻¹·g⁻¹ Cox. El segundo grupo, cuya precipitación no supera los 880 mm y los suelos, en general, son alcalinos, mostró tasas de 0,91 a 1,93 µg C-CO₂·h⁻¹·g⁻¹ suelo o 65,9 a 93,3 µg C-CO₂·h⁻¹·g⁻¹ Cox. La respiración con respecto al Cox mostró diferencias estadísticas entre usos del suelo, registrándose para bosques una tasa de respiración de 27,4 µg C-CO₂·h⁻¹·g⁻¹ Cox menos que para los suelos de cultivo. En general, la respiración del suelo se correlacionó positivamente con todas las formas de C estudiadas, excepto la forma Cnox, lo que confirma su carácter recalcitrante. La mayor tasa de respiración en los suelos cultivados corrobora que un manejo inadecuado de los mismos puede incrementar sensiblemente las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Palabras clave adicionales: Formas de carbono, fuentes y sumideros de carbono

ABSTRACT

Soil respiration as a function of its use and relationship with the carbon fractions in soils in the province of Magdalena, Colombia

Land-use and soil management affect labile and humified fractions of soil organic matter, thus reducing the biological activity. The objective of this study was to evaluate the effect of land-use on soil respiration and its relationship to some carbon forms (Ct: total carbon; Cox: oxidized carbon; Cnox: non-oxidized carbon; Cp: humic fraction carbon; Cdox: non-easily oxidized carbon). Six sites located in the province of Magdalena, were studied, and according to the respiration rate, they could be differentiated into two main groups. The first one, characterized by an annual rainfall higher than 1200 mm and neutral soils, showed respiration rates of 3.08 to 4.00 µg C-CO₂·h⁻¹·g⁻¹ soil or 124.3 to 280.1 µg C-CO₂·h⁻¹·g⁻¹ Cox. The second group, whose precipitation does not exceed 880 mm and exhibits alkaline soils, showed rates of 0.91 to 1.93 µg C-CO₂·h⁻¹·g⁻¹ soil or 65.9 to 93.3 µg C-CO₂·h⁻¹·g⁻¹ Cox. The soil respiration as a function of the Cox showed differences within land-uses, being higher in agricultural soils as compared to forest soils (27.4 µg C-CO₂·h⁻¹·g⁻¹ Cox lower in forest). Soil respiration correlated positively with all studied C forms, except the non-oxidized C, which confirms the recalcitrance of this C fraction. The higher respiration rate in agricultural soils confirms that improper handling of cultivated soils can significantly increase CO₂ emissions to the atmosphere.

Additional key words: Carbon forms, carbon sinks and sources

INTRODUCCIÓN

La respiración del suelo se define como la producción total de CO₂, por unidad de área y de tiempo, y se debe a la respiración de organismos edáficos, raíces y micorrizas, y en menor extensión, a la oxidación bioquímica de los

compuestos de carbono (Lloyd y Taylor, 1994).

A partir de la década de los 90's se ha prestado mucha atención a la respiración edáfica, ya que este proceso ecológico se reconoce como la principal fuente de flujo de carbono procedente de la superficie del suelo y uno de los componentes cruciales dentro del ciclo del carbono en

Recibido: Abril 25, 2013

Aceptado: Octubre 1, 2013

¹ Universidad del Magdalena. Apdo. 2121630. Santa Marta. Colombia. e-mail: jvasquez@unimagdalena.edu.co

² Universidad Santiago de Compostela, Campus Sur. Santiago de Compostela. España.

³ Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Departamento del Valle del Cauca. Colombia

ecosistemas terrestres (Raich y Schlesinger, 1992). Se ha reportado que la respiración del suelo podría representar del 40 al 90 % de la respiración de los ecosistemas forestales (Murcia y Ochoa, 2008). En una escala global, la respiración del suelo produce 80,4 Pg C-O₂ anualmente (1 petagramo, Pg = 10¹⁵g), el cual es aproximadamente 10 veces más alto que la combinación de la deforestación y la combustión de compuestos fósiles. Así, pequeños cambios en la respiración del suelo pueden influir enormemente en la concentración del carbono atmosférico y en el balance calórico (Veenendaal et al., 2004).

La respiración del suelo constituye un evento central de los cambios ecológicos globales debido a su papel controversial en los procesos de calentamiento global ya que puede determinar si un ecosistema dado se comporta como fuente o sumidero de CO₂ (Jassal et al., 2007).

La materia orgánica activa, que representa alrededor del 10-20 % de la materia orgánica total del suelo, está constituida por la microbiota responsable de los procesos de descomposición de los substratos orgánicos (fracción lábil) y de la resíntesis de sustancias que dan origen a otros productos metabólicos como mucílagos, gomas, ácidos, enzimas, polisacáridos extracelulares y por supuesto CO₂. De tal manera que la medición del dióxido de carbono respirado es una estimación de la actividad y, por lo tanto, de la presencia microbiana; tal actividad varía en función de diferentes factores, como el uso del suelo, mineralogía, cobertura vegetal, prácticas de manejo, calidad de los residuos que entran al sistema (Mora, 2006). Las prácticas de cultivos ejercen numerosos efectos biológicos directos e indirectos sobre las poblaciones microbianas del suelo. La influencia del arado es muy intensa sobre las poblaciones de bacterias inmediatamente después de la ruptura del suelo, el número de microorganismos aumenta 20 ó 30 veces. Esto debido a la modificación de las condiciones de porosidad y por lo tanto del flujo de gases y agua a través de los espacios vacíos (Mora, 2006).

En el estudio realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 1993), donde se evaluó la distribución de las poblaciones de hongos, actinomicetos y bacterias, bajo diferentes usos de la tierra, se llegó a la conclusión de que los suelos bajo bosque presentan el más alto índice de diversidad y de riqueza biológica, como también la tasa más alta de producción de CO₂, en

tanto que la mayor densidad poblacional fue aislada en suelos de piedemonte y valles, donde los últimos presentan el número más alto de hongos y bacterias.

Atendiendo la importancia de la respiración como indicador de la actividad biológica de los suelos y en función de la demanda actual por el estudio cualitativo de la materia orgánica y el efecto del uso de la tierra sobre ella, este trabajo se propuso evaluar el efecto del uso de los suelos al noroccidente del departamento del Magdalena, en la actividad biológica medida indirectamente por el CO₂ respirado y su relación con algunas formas de C.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó al noroeste del departamento del Magdalena, región considerada como de alta tradición y vocación agrícola, con la mayor área sembrada en cultivos de importancia económica en el departamento (IGAC, 2009).

Se realizó un muestreo aleatorio estratificado, seleccionando seis zonas de muestreo, diferenciados por el tipo de uso del suelo; en cada zona se seleccionaron dos sitios de muestreo; uno de cultivo y el otro en área de bosque; en cada sitio se tomaron cuatro muestras de suelo entre 0 y 20 cm de profundidad, compuestas por 10 submuestras tomadas aleatoriamente en el campo (ICA, 1992; Brady y Weil, 2002). La descripción de cada zona se llevó a cabo teniendo en cuenta la clasificación de los suelos según USDA, descritos en el estudio de suelos y clasificación de tierras del departamento de Magdalena y Guajira (IGAC, 2009).

Zona 1. Localizada a 10° 53' N y 74° 05' W en el municipio de Ciénaga, con cultivo café y bosque húmedo tropical. El clima es cálido húmedo, con temperatura media de 24 °C, precipitación de 2000 mm y altitud de 956 msnm. Los suelos, clasificados como Typic Eutrudepts, son muy profundos, bien drenados, de texturas medias y fertilidad baja a media.

Zona 2. Localizada a 10° 32' N y 74° 10' W en el municipio de Aracataca, con cultivo de palma africana y bosque seco tropical. El clima es cálido seco, con temperatura media de 28,4 °C, precipitación de 1200 mm y altitud de 42 msnm. Los suelos, clasificados como Typic Ustifluvents, son profundos, bien drenados, de texturas gruesas a moderadamente gruesas y fertilidad media a alta.

Zona 3. Localizada a 11° 16' N y 73° 11' W en el municipio de Dibulla, con suelo arado para la siembra de banano orgánico y bosque seco tropical. El clima es cálido seco, temperatura media de 27 °C, precipitación de 1245 mm y altitud de 5 msnm. Los suelos, clasificados como Fluventic Haplustepts, son moderadamente profundos y bien drenados, texturas moderadamente finas y fertilidad muy alta.

Zona 4. Localizada a 10° 57' N y 74° 12' W en el municipio Zona Bananera, con cultivos de banano y bosque seco tropical. El clima es cálido seco, con temperatura media de 27 °C, precipitación de 750 mm y altitud de 15 msnm. Los suelos, clasificados como Typic Haplustolls, son superficiales, bien drenados, con texturas moderadamente gruesas a moderadamente finas y fertilidad alta.

Zona 5. Localizada a 11° 11'-11° 15' N y 74° 07'-74° 12' W en la granja del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Santa Marta, con cultivo de frutales y bosque seco tropical. El clima es cálido muy seco, con temperatura media de 30 °C, precipitación de 880 mm y altitud de 10 msnm. Los suelos, clasificados como Fluventic Haplustepts, son moderadamente profundos, imperfectamente drenados, con texturas moderadamente gruesas y fertilidad alta.

Zona 6. Localizada a 74° 07'-74° 12' W y 11°11'-11°15' N en la granja experimental de la Universidad del Magdalena, Santa Marta, con cultivo de hortalizas y bosque muy seco tropical. El clima es cálido muy seco, con temperatura media de 28 °C, precipitación de 663 mm y altitud de 7 msnm. Los suelos, clasificados como Typic Ustipsamments, son profundos, bien drenados, de texturas gruesas y fertilidad moderada.

Las determinaciones químicas de los suelos incluyeron pH en agua (1:2,5), fósforo disponible (Olsen) y P total mediante digestión ácida y análisis por colorimetría utilizando vanadato de amonio. El nitrógeno, azufre y carbono total (Ct) se determinaron mediante un analizador Leco, modelo CHN-1000.

Entre las formas de carbono orgánico se determinó el carbono oxidable (Cox) mediante la técnica de Walkley y Black, y el contenido de materia orgánica (MO) según la relación MO = 1,724 COx. La diferencia entre el Ct y el C Cox fue utilizado como una estimación del C no oxidable o más recalcitrante (Cnox) (Macías et al.,

2004). El C ligado a la fracción húmica del suelo (Cp) se determinó conforme a la metodología descrita por Bascomb (1968) basada en el poder complejante del pirofosfato sódico. Las formas de carbono no complejadas por la MO, difícil o lentamente oxidables (Cdox), fueron calculadas por diferencia entre Cox y Cp.

Para las determinaciones respirométricas se empleó un respirómetro Micro-Oxymax de Columbus Instruments, de circuito cerrado automatizado. Se pesaron 30 g de muestra húmeda y ajustando la temperatura a 25-26 °C se tomaron tres lecturas por muestra, cada 24 horas durante 72 horas. Los valores de respiración fueron expresados en función del peso del suelo o del Cox, de acuerdo a Pardo y Macías (2006).

Todos los datos fueron comparados mediante análisis de varianza multivariado y prueba de Tukey, con el objeto de establecer las posibles diferencias estadísticas para las variables relacionadas con la respiración del suelo según la zona de muestreo y uso del suelo. Además, se realizó un análisis de correlación de los datos de respiración con las variables indicadoras de las propiedades químicas del suelo y las formas de carbono. Se utilizó el programa estadístico SPSS 20.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos estudiados son, en general, ligeramente ácidos a moderadamente alcalinos tanto para los suelos de cultivo como para los suelos de bosques (Cuadro 1). La Zona 1, con cultivo café, se caracteriza por tener suelos ligeramente ácidos en contraste con las demás zonas, marcados por la mayor altitud (956 msnm) y mayor pluviosidad (2000 mm), lo que favorece el lavado de bases. Las demás zonas tienen altitudes que no superan los 50 msnm y precipitaciones inferiores a 1300 mm, predominando condiciones de pH en torno a la neutralidad. Los suelos de la Zona 6 presentaron condiciones de moderada alcalinidad, la cual se corresponde con su clima y su alta evapotranspiración que excede notablemente a la pluviosidad anual, y favorece a su vez una alta saturación de metales alcalinotérreos, donde el Ca²⁺ en el complejo de cambio es el catión dominante (Vásquez y Macías, 2011).

A excepción de las Zonas 1 y 5, se presentaron valores medios de N total y MO, acorde a lo

descrito por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 1992) para las condiciones del clima cálido en la costa caribe colombiana; no obstante, en la Zona 1, las condiciones de temperatura, precipitación y las considerables entradas de

material vegetal a los suelos, favorecen los procesos de acumulación de materia orgánica, en su mayoría constituidas por formas de carbono oxidables de rápida mineralización, acorde a lo descrito por (Vásquez y Macías, 2011).

Cuadro 1. Algunas propiedades químicas del suelo en función del uso y la zona de estudio

Propiedades	Suelos de cultivo						Suelos de bosque					
	Zonas						Zonas					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
pH	5,59	6,31	6,51	6,89	7,07	8,58	6,52	5,62	7,03	7,79	7,14	8,69
N (%)	0,23	0,12	0,13	0,17	0,13	0,12	0,31	0,17	0,13	0,15	0,25	0,15
MO (%)	4,43	2,25	1,98	3,19	1,97	2,17	6,64	2,80	2,82	2,81	5,54	2,62
C/N	11,4	11,1	9,8	11,3	10,2	10,9	12,4	9,7	11,7	12,0	12,5	10,2
S total (%)	0,05	0,03	0,07	0,067	0,04	0,04	0,06	0,07	0,05	0,05	0,07	0,04
P total (mg·kg ⁻¹)	1031	124	376	5597	963	1221	596	156	353	1483	746	1221
P Olsen (mg·kg ⁻¹)	7,98	28,93	32,03	22,93	29,71	19,91	10,53	13,40	28,74	19,07	34,25	37,81

Las relaciones C/N para los suelos de cultivo oscilaron entre 10 y 11, y para los de bosque entre 10 y 13, valores consecuentes con la alta tasa de mineralización reportada para las condiciones climáticas de la región (IGAC, 2009). Los contenidos de P y S total en su mayoría están en el rango de valores normales reseñados para suelos minerales (300 a 1500 ppm de P) y (0,02 a 1 % de S) (Navarro, 2003); no obstante, en los suelos de cultivo (banano convencional) de la Zona 4 se presentaron valores de P total superiores a 5500 mg·kg⁻¹, debido posiblemente a una alta precipitación de fosfatos insolubles por la gran cantidad de calcio intercambiable, sumado a la alta fertilización con superfosfatos que traen como consecuencia una precipitación de fosfato tricálcico insoluble; en este mismo sentido, se observa como el P Olsen, que representa la forma lábil disponible para las plantas, constituye menos del 1% del P total para los suelos de las zonas estudiadas.

En cuanto a la relación de las diferentes formas de C estudiadas (Cuadro 2), se observa que el Cox tanto en suelos de bosque como en cultivos representó un 95 % del Ct, y sólo un 5 % lo constituye el Cnox o carbono con elevada estabilidad que garantiza considerables tiempos de residencia en los suelos. Los mayores contenidos de Cnox (cerca del 10 % del Ct) se presentaron en las Zonas 3 (suelo arado) y 5 (frutales), donde sería interesante estudiar sus mecanismos de estabilización natural del C.

El carbono de la fracción de C difícilmente oxidable (Cdox) representó el 62 % del Cox en

suelos de cultivo y el 70 % en suelos de bosque (Cuadro 2). Esta fracción corresponde al C que ya ha escapado de la actividad biológica, e incluso a los procesos oxidativos normalmente existentes en los suelos, lo que indica que existe mayor porcentaje de C asociado a fracciones más estables en suelos de bosques frente a suelos cultivados y demuestra que el uso y manejo de los suelos de cultivo ocasiona un detrimento de las formas más estables de C.

El Anova factorial multivariado reveló un efecto significativo de la zona sobre la respiración del suelo con relación al factor zona (Cuadro 3). El factor uso y su interacción con la zona sólo afectó la respiración expresada en función del Cox.

La respiración en las Zonas 1, 2 y 3, expresada en función de la masa del suelo, resultó superior a la de las Zonas 4, 5 y 6 (Cuadro 3). Al considerar las características edafoclimáticas se observa que las tres primeras zonas poseen una precipitación anual mayor de 1200 mm y pH cercano a la neutralidad, en comparación con las Zonas 4, 5 y 6 donde la precipitación no supera los 880 mm y los suelos, en general, son alcalinos; esto sumado a aspectos inherentes al manejo, como la incorporación de restos vegetales, uso de coberturas y/o árboles de sombra que podrían estar influenciando una mayor actividad microbiana en las primeras zonas. Se resalta también el hecho que la Zona 3 presente el mayor valor de respiración en función del Cox, atribuido al hecho que la muestra de suelo provino de un

terreno recién mecanizado con la consecuente exposición de la MO y natural incremento en la actividad microbiana (Paul y Clark, 1989).

En cuanto al uso del suelo (Cuadro 4), en promedio, los suelos de bosques registraron una tasa de respiración significativamente menor que los suelos de cultivo (154,1 vs. 126,7), es decir, 27,4 $\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ Cox menor, lo que sugiere

que los suelos de bosques actúan mejor como sumideros de carbono, teniendo en cuenta la calidad de las entradas de MO y los mecanismos naturales de estabilización del C en estos ecosistemas, confirmando lo expuesto por Lal (2005) en relación a que los cambios en el uso de los suelos conlleva al aumento de las emisiones de CO_2 a la atmósfera.

Cuadro 2. Formas del carbono en función de la zona de estudio y del uso del suelo

Propiedades	Suelos de cultivo						Media	Suelos de bosque						Media
	Zonas							Zonas						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	
Ct (%)	2,61	1,34	1,28	1,92	1,28	1,28	1,62	3,90	1,64	1,72	1,76	3,26	1,62	2,32
Cox (%)	2,57	1,31	1,15	1,85	1,15	1,26	1,55	3,85	1,62	1,64	1,63	3,22	1,52	2,25
Cp (%)	0,80	1,00	0,59	0,53	0,18	0,45	0,59	1,15	0,63	0,67	0,34	0,78	0,49	0,68
Cdox (%)	1,77	0,31	0,56	1,32	0,97	0,81	0,95	2,70	0,99	0,97	1,29	2,43	1,03	1,57
Cnox (%)	0,04	0,03	0,13	0,07	0,13	0,02	0,07	0,05	0,02	0,08	0,13	0,04	0,10	0,07
$\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ suelo	3,11	2,51	4,28	1,23	1,19	0,87	2,20	4,90	3,65	3,08	1,21	2,66	0,95	2,74
$\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ Cox	121,1	191,8	372,1	66,3	104,1	69,2	154,1	127,4	224,9	188,1	74,4	82,6	62,7	126,7

Cuadro 3. Respiración (C-CO_2) del suelo en las zonas de muestreo en función de la masa de suelo o del carbono oxidable (Cox)

Zona	$\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ suelo	$\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ Cox
1	4,00 a	124,3 ab
2	3,08 a	208,3 ab
3	3,68 a	280,1 a
4	1,22 b	70,4 b
5	1,93 b	93,3 b
6	0,91 b	65,9 b

Medias con distinta letra son diferentes entre sí según la prueba de Tukey ($P\leq 0,05$)

En el Cuadro 5 se observa que la respiración del suelo tuvo correlación positiva con las diferentes formas de C, a excepción de la forma Cnox, lo cual indica que efectivamente esta fracción es muy recalcitrante y escapa a la acción microbiana. De igual manera, se confirma que dentro de las formas de carbono oxidable, la forma Cp es más susceptible al metabolismo microbiano que la forma Cdox.

Asimismo, se presentó una correlación positiva con los contenidos de S y N, que son constituyentes importantes de la MO y del metabolismo microbiano; no obstante, existió una correlación negativa con los contenidos de P total, con una alta proporción de las formas inorgánicas. Según lo descrito por Coyne (2000), los altos niveles de P inorgánico inhiben la actividad de la fosfatasa y la mineralización del P orgánico.

También se observó una correlación negativa con el pH, indicando, para estas condiciones, que a medida que los suelos tienden a la alcalinidad se inhibe en un alto porcentaje la respiración del suelo como efecto indirecto de la actividad microbiana.

Cuadro 4. Prueba de contraste simple para el efecto del uso sobre la respiración (C-CO_2) del suelo

Usos del suelo	Respiración		
	Bosque vs. Cultivo	$\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ suelo	$\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ Cox
Estimación del contraste		0,558	-27,4
Error típico		0,33	10,988
Significancia		No significativo ($P>0,05$)	Significativo ($P\leq 0,03$)

Cuadro 5. Coeficientes de correlación de Pearson de la respiración del suelo con algunas propiedades químicas

Variables	$\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ suelo	Probabilidad
pH	-0,590	0,000
P	-0,316	0,020
N	0,590	0,000
S	0,366	0,013
Ct	0,586	0,000
Cox	0,589	0,000
Cp	0,563	0,000
Cdox	0,483	0,001
Cnox	-0,119	0,421

CONCLUSIONES

La respiración del suelo está correlacionada positivamente con las formas del C estudiadas (Ct, Cox, Cp y Cdox) y existe correspondencia entre la emisión de CO₂ y el grado de oxidabilidad de las formas de C. Por su parte, la forma de carbono Cnox, no presentó correlación con la respiración del suelo.

Se encontró que los altos contenidos de P inorgánico y pH limitan ligeramente la emisión de CO₂ del suelo.

Los suelos de bosques mostraron menor tasa de emisión de CO₂ por gramo de C oxidable que los suelos de cultivo.

AGRADECIMIENTO

Al Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Santiago de Compostela (España) por su gran apoyo técnico y humano. A la Universidad del Magdalena por los recursos aportados a través del fondo Fonciencias para la investigación.

LITERATURA CITADA

- Bascomb, C. 1968. Distribution of pyro-phosphate extractable iron and organic carbon in soils of various groups. *Journal of Soil Science* 19: 251-256.
- Brady, N. y R. Weil. 2002. *The Nature and Properties of Soils*. Prentice-Hall. New Jersey.
- Coyne, M. 2000. *Microbiología del Suelo: Un enfoque exploratorio*. Ed. Paraninfo. Madrid.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1992. *Manual del Laboratorio de Suelos*. ICA. Bogotá. 218 p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1993. *Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento del Caquetá*. INPA-IGAC. Bogotá. 561 p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2009. *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Magdalena*. Bogotá. 496 p.
- Jassal, R., T. Black, T. Cai, K. Morgenstern, Z. Li, D. Gaumont-Guay y Z. Nescic. 2007. Components of ecosystems respiration and an estimate of net primary productivity of an intermediate-aged Douglas-Fir stand. *Agric. For. Meteorol.* 144: 44-57.
- Lal, R. 2005. *Los suelos y el cambio climático. Protección del suelo y desarrollo sostenible*. Instituto Geológico Minero de España. Serie: Medio Ambiente 6: 163-177.
- Lloyd, J. y A. Taylor. 1994. On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology* 8: 315-323.
- Macías, F., R. Calvo de Anta, L. Rodríguez, R. Verde, X. Pena Pérez y M. Camps. 2004. El sumidero de carbono de los suelos de Galicia. *Edafología* 11(3): 341-376.
- Mora, J. 2006. La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/9cc8db94Revista5_6_9 (consulta del 11/10/2012).
- Murcia, M. y M. Ochoa. 2008. Respiración del suelo en una comunidad sucesional de pastizal del Bosque Altoandino en la cuenca del río Pamplonita, Colombia. *Caldasia* 30(2): 337-353.
- Navarro, G. 2003. *Química Agrícola: El Suelo y los Elementos Esenciales para la Vida Vegetal*. Ed Mundi Prensa. Madrid.
- Pardo, R. y F. Macías. 2006. *Aplicación de los métodos respirométricos al estudio de la actividad biológica en diferentes suelos de Galicia*. Santiago de Compostela. España. Universidad de Santiago de Compostela. 75 p.
- Paul, E. y F. Clark. 1989. *Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press. San Diego, CA.
- Raich, J.W. y W.H. Schlesinger. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relation to vegetation and climate. *Tellus* 44B: 81-99.
- Vásquez, J. y F. Macías. 2011. Formas de carbono orgánico en suelos con diferentes usos en el departamento del Magdalena (Colombia). *Revista Acta Agronómica* 60(4): 369-379.
- Veenendaal, E., O. Kolle y J. Lloyd. 2004. Seasonal variation in energy fluxes and carbon dioxide exchange for a broad-leaved semi-arid savanna (Mopane woodland) in Southern Africa. *Global Change Biol.* 10: 318-328.