

Artículo original

**VARIACIÓN ESTACIONAL Y EFECTO DEL FUEGO EN LA
RESPIRACIÓN DEL SUELO EN BOSQUES DE LA
AMAZONIA DEL PERÚ**
**SEASONAL VARIATION AND EFFECT OF FIRE IN SOIL
RESPIRATION OF AMAZONIAN FOREST OF PERU**

Luís Suárez^{1,2,6}, Carmen Tazza¹, Milagros Egoavil³, Diana Orellana³, Yanina Chalco⁴ & Bart Kruijt⁵

¹ Departamento de Ciencias de la atmósfera del Instituto de Investigación para el Desarrollo Tecnológico-ININDETEC, Jr. Julio C. Tello 246, El Tambo, Huancayo, Perú.

² Grupo de Investigación y Gestión de la Calidad del Aire de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Centro del Perú, Calle Real 160, Huancayo.

³ Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, Universidad Nacional del Centro del Perú, Calle Real 160, Huancayo.

⁴ Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Centro del Perú, Calle Real 160, Huancayo.

⁵ ALTERRA, Universidad de Wageningen, 6700 AA Wageningen, Holanda.

⁶ Correo electrónico: doctorozono@yahoo.com

ABSTRACT

The Amazon forest plays a key role in the mitigation of the increase of CO₂ in the atmosphere due it is an important sink of CO₂ for the atmosphere, and the soils are on of the most important of the C dynamics trough the soil respiration. Because that, this work has the objective of improve the knowledge about these processes in the Amazon forests and increase the information about the CO₂ emissions from soils to the atmosphere, in terms of soil respiration. A detailed evaluation of the seasonal variation (dry and wet season) was developed and additionally the fires effect was evaluated. All of these aspects in order to answer questions like: 1)- How important is the seasonal variation in the soil respiration of primary and secondary forests?, 2) Is the soil respiration different among ecosystems?, 3) Which is the fire effect in the soil respiration? The study was developed in two primary forests and a secondary of Oxapampa, department of Pasco, Manu in Madre de Dios and Satipo in Junin, Peru. The seasonality effect has not been significant in the Oxapampa site; meanwhile it was the opposite with Satipo. This could be explained for the different soil water content and forest type cover. The fire effects have been quantified in the short (hours) and medium (days) term, noting the severe effect in the soil respiration, recording a minimum value of only 40 mg CO₂·m⁻²·h⁻¹, when the mean value in this primary forest is 850 mg CO₂·m⁻²·h⁻¹. Also the return to “normal” values was only in two days. It is important to increase the time of monitoring (months) and look for the possibility of improving our knowledge of the processes that controls the soil respiration in the Amazon of Peru, and also with more detailed studies of the microbial activity in the soils.

Keywords: soil, soil respiration, Amazon, fire, effect.

RESUMEN

Los bosques de la Amazonia juegan un rol clave en mitigar el incremento de CO₂ en la atmósfera debido a que es un importante sumidero del CO₂, siendo los suelos parte fundamental de la dinámica del C mediante la “respiración del suelo”. Este trabajo tuvo como objetivo conocer

sobre estos procesos en los bosques de la Amazonia del Perú y mejorar la información sobre las emisiones de CO₂ del suelo a la atmósfera, en términos de la respiración del suelo. Una detallada evaluación de la variación estacional (época seca y húmeda) fue desarrollada y adicionalmente se evaluó el efecto del fuego. Con el fin de responder preguntas como: 1) ¿Cuan importante es la variación estacional para la respiración de suelo en los bosques primario y secundario?, 2) ¿Es la respiración del suelo diferente entre ecosistemas?, 3) ¿Cual es el efecto del fuego en la respiración del suelo?. El estudio se realizó en dos bosques primarios y un secundario de Oxapampa (departamento de Pasco), Manu (departamento de Madre de Dios) y Satipo (departamento de Junín), Perú. El efecto de la estacionalidad no fue significativo en la estación de Oxapampa, mientras que lo contrario sucedió en Satipo. Esto podría explicarse por el diferente contenido de agua en el suelo y la cobertura boscosa. Los efectos del fuego han podido ser cuantificados a corto (h) y a mediano (días) plazo, notándose un severo efecto en la respiración del suelo, registrándose el valor mínimo de solo 40 mg CO₂·m⁻²·h⁻¹, cuando en promedio para este bosque primario es cerca de 850 mg CO₂·m⁻²·h⁻¹. Así mismo su retorno a niveles “normales” sucedió solo dos días después. Es importante aumentar el tiempo del monitoreo (meses) para mejorar el entendimiento de los procesos que controlan la respiración del suelo en la amazonia del Perú, y de la actividad microbiana del suelo.

INTRODUCCIÓN

Los bosques de la Amazonia juegan un rol clave en mitigar el incremento de CO₂ en la atmósfera debido a que es un importante sumidero de CO₂ de la atmósfera, siendo los suelos parte fundamental de la dinámica del C. Los suelos son la fuente dominante de CO₂ de los ecosistemas terrestres, esto mediante la “respiración del suelo” que es un proceso que resulta enteramente de los emisiones combinadas de respiración autotrófica (raíces) y heterotrófica (microbios y hongos). Este proceso puede producir cerca de 80 Pg de CO₂-C anualmente, de la cual, la mayor contribución viene de los bosques tropicales (Raich & Schlesinger 1992, Raich et al. 2002). A nivel mundial el valor estimado en el rango de stock de carbono del suelo está entre 1.115 a 2.200 Pg C en el primer m (Post et al. 1982, Eswaran et al. 1993, Batjes 1996), de lo cual cerca del 20 al 25% corresponde al ecosistema de bosques tropicales (Brown & Lugo 1982). Los suelos de la región tropical contendrían el 32% del carbón del suelo global (Rhoades et al. 2000).

Sin embargo, las severas y rápidas alteraciones causadas por el hombre con el cambio del uso del suelo están ocasionando que se cambie este

rol y promueva a ser una fuente de CO₂ a la atmósfera. Estos cambios estarían promoviendo que el rol de importante sumidero de CO₂ cambie por uno de fuente y así la región tropical esté emitiendo cantidades considerables de CO₂ a la atmósfera (~2-5x10⁵ g de C año⁻¹) debido a procesos de quema de vegetación. Para fines de comparación, la quema de combustible fósil emite 5,5x10⁵ g de Carbono por año (Crutzen & Andreae 1990). Sin embargo, estos valores aun tienen una considerable incertidumbre debido a lo limitado de la data y el poco entendimiento de los procesos entre la atmósfera y el suelo. Esto es notorio con los resultados mostrados para el flujo de CO₂ entre la atmósfera y el suelo por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) donde en su segundo informe (1980 – 1989) da -0,2±0,7 y para el tercero (1990 – 1999) el valor de -1,4±0,7, notándose un incremento de hasta 7 veces (IPCC 2001). Este trabajo tuvo como objetivo conocer sobre estos procesos en los bosques de la Amazonia del Perú y mejorar la información sobre las emisiones de CO₂ del suelo a la atmósfera, en términos de la respiración del suelo. Para ello una detallada evaluación de la variación estacional de los suelos es desarrollada y adicionalmente se estudia el

comportamiento de la respiración con el efecto adicional de la quema de vegetación. Preguntas como 1). ¿Cuan importante es la variación estacional para la modulación de la respiración de suelo en los bosques primario y secundario?, 2). ¿Es la respiración del suelo diferente entre estos ecosistemas?, 3). ¿Cual es el efecto del fuego en la respiración del suelo? han sido formuladas para evaluar estos procesos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio. Se realizó en un bosque secundario de terraza baja de la Estación Experimental Agropecuaria de Satipo, ubicada en la comunidad nativa de Río Alberta, distrito de Río Negro, Provincia de Satipo, Región Junín (11° 15' S, 74° 53' O, 520 msnm), en un bosque primario nublado montano del Parque Nacional Yanachaga Chemillen, de la provincia de Oxapampa, departamento de Pasco (10° 35'S y 75° 38'O, 2400 msnm) y un bosque primario de terraza baja en la comunidad Boca Amigo de la provincia del Manu, departamento de Madre de Dios (12°34' S 70°05' W, 230 msnm), Perú. Satipo se caracteriza por tener precipitaciones anuales medias de alrededor de 1.757 mm, mientras que Oxapampa y Manu son mayores, 2.360 mm (2003 al 2006) y 2.653 mm (2001 al 2005), respectivamente. La temperatura en dichas ubicaciones no es muy diferente a lo largo del año, sin embargo, los valores más bajos son hallados en Oxapampa, debido a su altura de más de 2000 msnm. Estas ubicaciones están dominadas por dos estaciones marcadas: seca y húmeda. Los meses de mayor precipitación generalmente ocurren entre octubre a marzo y el resto lo cubre la estación más seca.

Experimento de quema. El experimento de quema se realizó solo en Satipo y Manu. En Satipo fueron definidas 9 subparcelas de 10m x 10m en el bosque secundario. En Manu se contacto con el concesionario de un bosque que hacia cambio de uso de suelos en cerca de 2 has de bosque primario para fines de realizar el trabajo de medición.

En Manu fue posible usar unas termocuplas tipo T, que fueron insertadas por duplicado, con diferente orientación, a 2,5 y 7,5 cm de profundidad para evaluar la influencia del fuego en la temperatura del suelo. Se colecto estas mediciones usando un datalogger cada 30 seg durante el paso del fuego hasta dos h después.

Medición de la respiración del suelo. Las mediciones de la respiración del suelo se realizaron mediante el sistema IRGA® (InfraRed Gas Analyzer) (Fig. 1) de cámara cerrada dinámica, que consiste en el compartimiento de colecta del aire que sale del suelo (SRC-1), y el monitor ambiental del gas [EGM-4] (PPSystems, Inc), que mide el CO₂ basado en el sistema IRGA (Janssens *et al.* 2000). En Satipo se instalaron las nueve parcelas y las mediciones se hicieron varias veces en cada uno de ellas. En Oxapampa, existe una parcela delimitada de 1 ha, la cual está subdividida en 25 subparcelas de 20 m x 20 m, así fue posible hacer mediciones en el centro de cada subparcela, donde previamente se instalaron anillos de 10 cm diámetro. Finalmente, en el Manu, debido a lo complejo de los permisos de quema experimental, se midió de acuerdo a las facilidades del bosque a quemar, haciéndose de manera aleatoria en el área comprendida de la quema. Solo en Satipo y Oxapampa fue posible hacer mediciones en las dos estaciones. Mientras que en Oxapampa no se hizo la quema por ser una zona de mucha humedad.

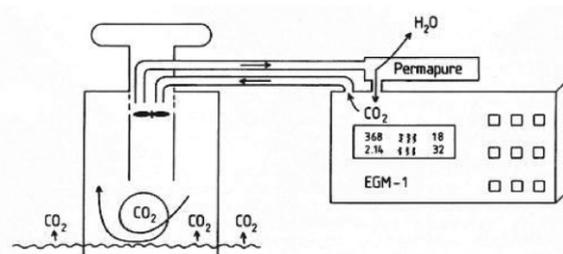


Figura 1. Diagrama esquemático del sistema IRGA de cámara cerrada dinámica para la medición de la respiración del suelo.

Medición de la temperatura y humedad del suelo

La temperatura del suelo fue medida mediante un sensor portátil (STP-1, PPSystems, Inc.) a profundidades de 5 cm, que va unido al EGM-4 de modo que hay una colecta simultánea de los datos con el momento en que se realizaron las mediciones de respiración del suelo. De igual modo se trabajó con la humedad del suelo que fue medida usando el sensor de humedad de suelo Theta-probe® (Delta-T Devices, UK), el cual posee tres barra de acero inoxidable en paralelo que son insertados hasta casi 10 cm y registra el valor de la humedad volumétrica.

Análisis de suelos

Se analizaron las propiedades físicas y químicas de los muestras de suelo recolectadas para cada ubicación, antes y después de la quema, para determinar los efectos de la quema de la vegetación. Especial atención se tuvo con los análisis de C y N, mediante los métodos Walckley-Black y micro-Kjeldahl, respectivamente, en el Laboratorios de Suelos y Plantas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Frente a la primera pregunta a responder sobre la importancia de la estacionalidad en la respiración del suelo, se puede indicar que los resultados obtenidos en Satipo concuerdan con los registrados por Sotta et al. (2004) y Salimon et al. (2004) para otros bosques secundarios y primarios de Brasil, donde es posible apreciar que los mayores valores son registrados en la época húmeda, esto considerando que ambos son bosques amazónicos bajos. No es lo mismo lo que se registra en Oxapampa, donde no hay una diferencia significativa. Esto probablemente debido a la humedad alta de este sitio que hace que durante la época seca exista espacio poroso cubierto por agua que limite la respiración del suelo, y con la llegada de la época húmeda no exista mayor cambio en los niveles, por saturación de los espacios porosos.

Adicionalmente a esto, y también sería influyente el tema de la baja temperatura media registrada en dicha ubicación, la que se mantiene a lo largo del año en cerca de 13°C. Será necesario hacer una mayor evaluación sobre la influencia de la temperatura y la humedad sobre la respiración de estos sitios contrastantes, dado su rol de importancia o de confusión (Davidson et al. 1998). Las Fig. 2 y 3 tratan de mostrar las relaciones halladas en este trabajo entre la temperatura del suelo a 5 cm y la humedad volumétrica con la respiración del suelo. De ello es posible determinar que la mejor relación lineal sería dada en Oxapampa entre la humedad volumétrica y la respiración del suelo, donde es posible hallar un $R^2 = -0,28$ ($p < 0,05$). Esto sería indicativo de que aunque no exista una diferencia significativa en la estacionalidad debido a la continua alta humedad y baja temperatura, los resultados preliminares indicarían que ante un cambio en la humedad, la dinámica del carbono en esta ubicación cambiaría.

De la comparación entre sitios es posible ver las diferencias ente los valores registrados en cada ubicación. La Fig. 4 muestra el rango de valores para cada ubicación, teniendo el menor, la ubicación de Satipo. La prueba de Tukey muestra que hay diferencias significativas entre los datos de Satipo y Manu ($p < 0,05$). Solo entre Manu y Oxapampa no existen diferencias significativas. Esto se confirmaría por el hecho de que entre los factores más influyentes estaría el tipo de vegetación, como bosque primario (Oxapampa y Manu) y el secundario (Satipo), Perú (Kane et al. 2003). Además debido a los mayores valores de C orgánico y de N total hallados en los bosques primarios, lo que permitiría una mayor actividad microbiana para la producción de CO₂ hacia la atmósfera.

La tercera pregunta enfoca el aspecto de la quema de vegetación y sus efectos en las emisiones de CO₂ del suelo. Se debe indicar que se ha obtenido datos antes y después del fuego, así como el efecto en la temperatura del suelo debido a una quema. Siendo las primeras mediciones realizadas en un bosque en Perú.

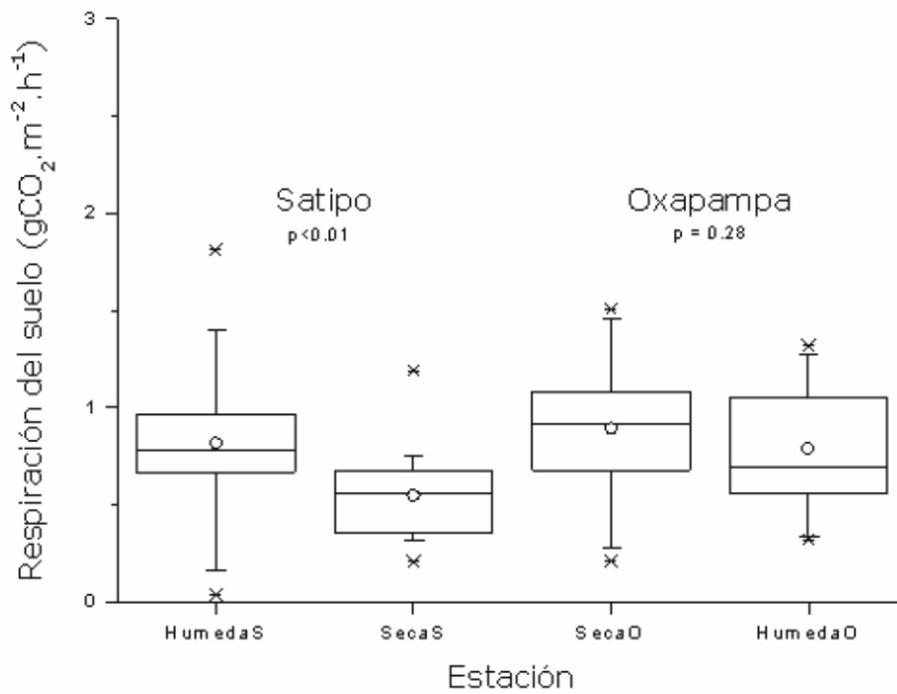


Figura 2. Evaluación de la variación estacional de la respiración del suelo en Oxapampa y Satipo, Perú. El valor de p se refiere al resultado de la prueba de Wilcoxon.

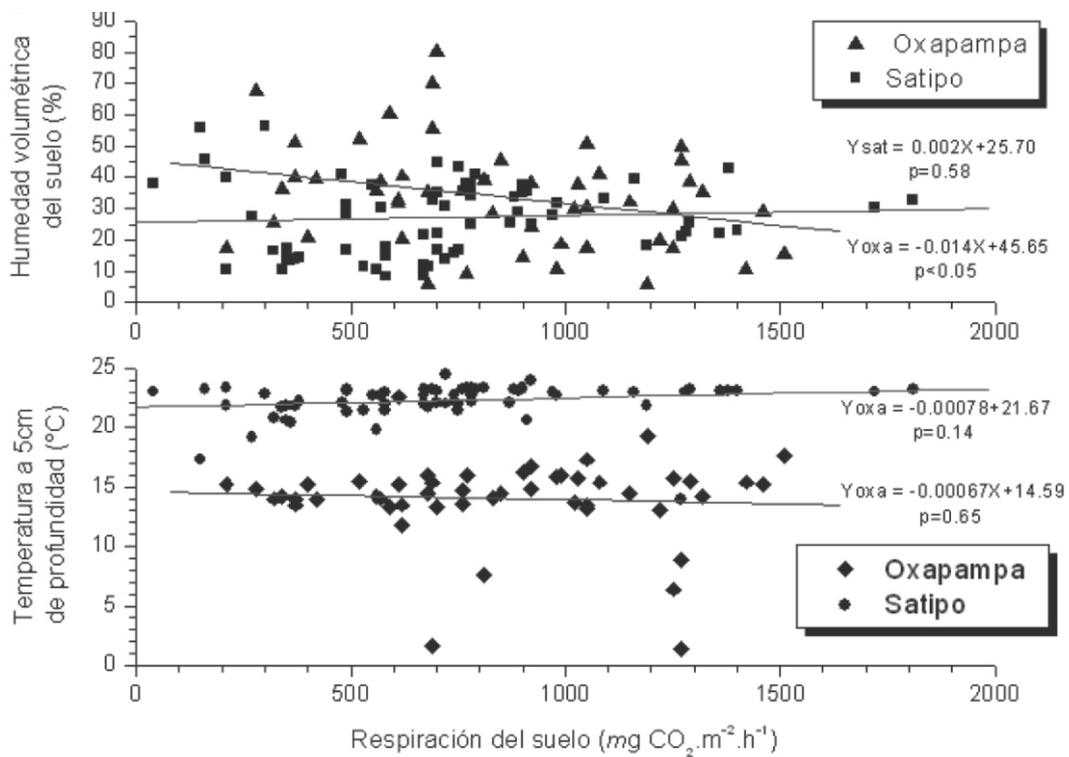


Figura 3. Variación de la respiración del suelo en función de la temperatura y humedad volumétrica del suelo en Satipo y Oxapampa, Perú.

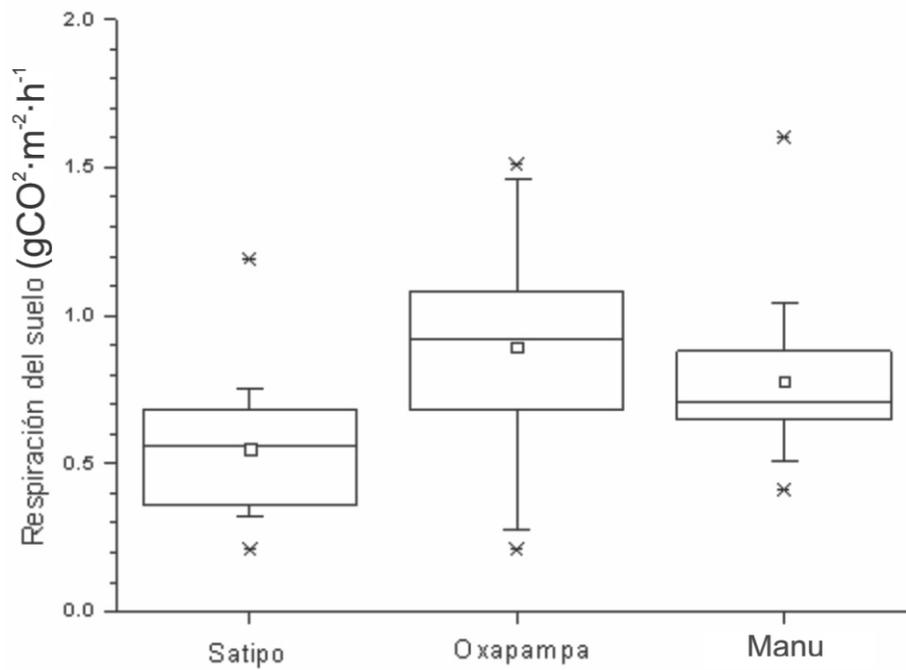


Figura 4. Rango de mediciones de la respiración del suelo para la tres ubicaciones de estudio en la época seca (agosto a septiembre 2006).

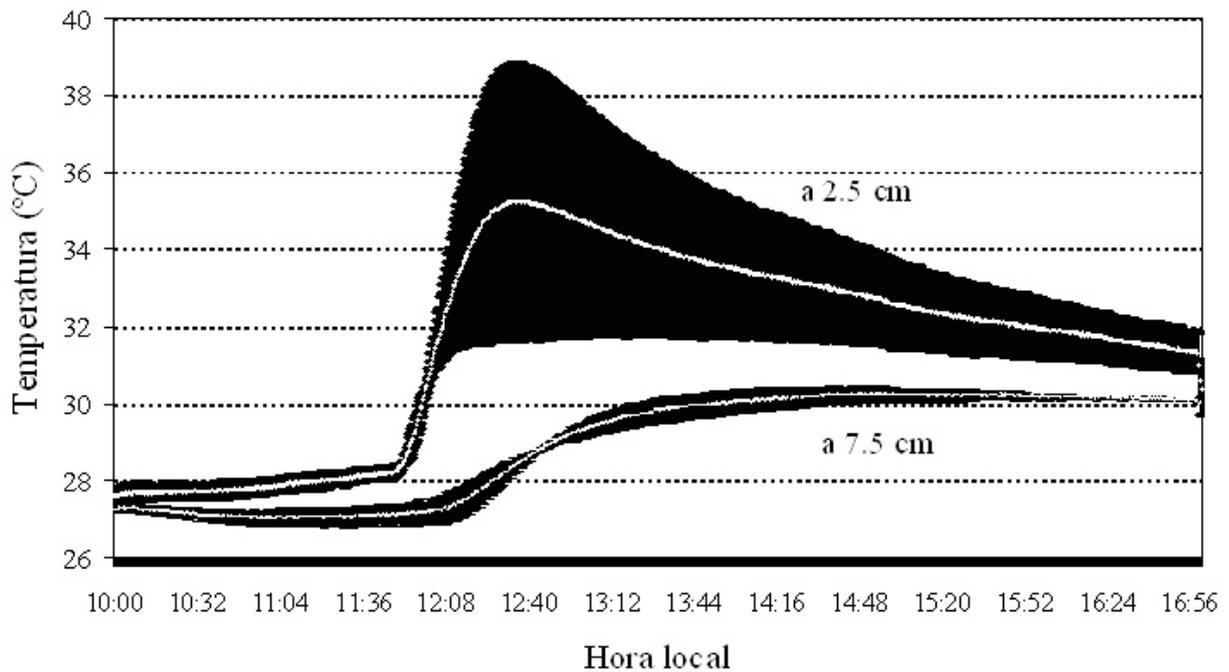


Figura 5. Variación de la temperatura del suelo de un bosque primario debido a la quema para fines agrícolas en Manu. La línea blanca representa el valor medio y el contorno negro la desviación estándar.

La Fig. 5 muestra la variación de la temperatura del suelo a dos profundidades 2,5 y 7,5 cm de un bosque primario durante el paso del fuego. Estos valores fueron determinados para cubrir la región donde se realiza este trabajo: 2,5 cm, como valor medio de 0 – 5 (mediciones de carbono orgánico y nutrientes) y 7,5 cm, como valor medio de 0 – 15 cm (mediciones de humedad volumétrica). El bosque estaba siendo orientado a un uso agrícola. La extensión aproximada que se quemó fue de 2 Has.

El frente del fuego tuvo velocidades menores a 0,5 m por min, debido a la biomasa combustible presente y las llamas llegaron hasta los 10 m de altura. De estos resultados es posible notar que el fuego incrementó hasta 10°C la temperatura a 2,5 cm de profundidad, siendo el máximo de 37,8°C; mientras que hubo un incremento de cerca de dos grados a 7,5 cm, y el máximo de 31,8°C. Estos valores están dentro del rango de otros trabajos de investigación realizados en la Amazonia (H. Miranda, comunicación personal, Caldwell et al. 2002).

La Fig. 6 muestra el efecto que tuvo esta quema en la respiración del suelo en Manu. Se nota un incremento de CO₂ inicial, mas este estaría relacionado a que el proceso de combustión dura más tiempo promoviendo el incremento de CO₂, y además hay abundante biomasa combustible. Posteriormente, sucede un dramático descenso donde es posible registrar valores mínimos, cercanos a cero. Debido a la temperatura registrada fue posible notar con más claridad el severo efecto que tiene el fuego en la actividad microbiana de los suelos. El valor mínimo fue de 40 mg CO₂·m⁻²·h⁻¹, cuando en promedio para este bosque primario es cerca de 850 mg CO₂·m⁻²·h⁻¹. Esto indicaría el daño que sufrirían los organismos del suelo luego del paso del fuego y un incremento de hasta 10°C a 2,5 cm. Lo otro que es posible notar en la Fig. 5 es que la influencia del fuego no parece haber tenido efecto alguno en el flujo de CO₂, dos días después de la quema, siendo cierta la evidencia de la rápida recuperación de

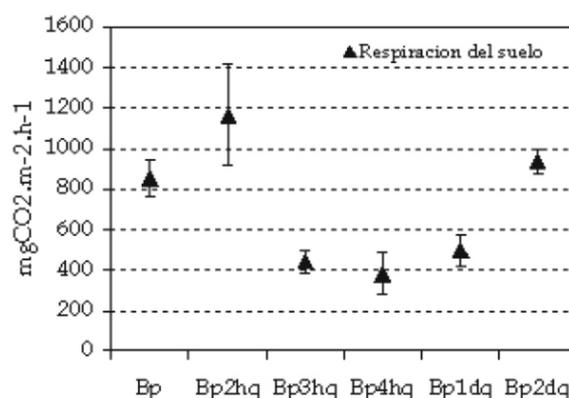


Figura 6. Variación temporal del flujo de CO₂ del suelo de un bosque primario sometido a una quema prescrita en Manu, Perú (media ± error).

los microorganismos o el posible uso de las cenizas para fines de nutrición y redoblamiento.

Esto sería indicativo de que el fuego pese a su intensidad tendría efectos de corto tiempo en la respiración del suelo, y que posiblemente afecte otras variables como el nitrógeno (Bustamante & Nardoto 2003). Es necesario por ello mejorar la información sobre este tema y mejorar el entendimiento sobre las relaciones entre la temperatura y la humedad sobre la respiración del suelo. Por ello, es importante mejorar el entendimiento de los procesos que controlan la respiración del suelo en la amazonia del Perú, así como más detallados estudios de la actividad microbiana del suelo.

CONCLUSIONES

Este trabajo experimental ha podido colectar información preliminar sobre las variaciones de la respiración del suelo debido a la estacionalidad y también debido a la quema de vegetación.

El efecto de la estacionalidad no ha sido significativo en la estación de Oxapampa, debido aparentemente a la alta humedad y las bajas temperaturas casi constantes que allí se registran durante el año. Lo contrario ocurre con Satipo donde la variación del contenido de agua es más notoria entre las estaciones.

La comparación entre las ubicaciones ha

mostrado que la diferencia principal se debe a la cobertura boscosa, por lo que el resultado hallado ha mostrado solo diferencias significativas en los casos de comparación de bosque primario y secundario, mas no por temas de altura por ejemplo.

Los efectos del fuego han podido ser cuantificado a corto (h) y mediano (días) plazo, notándose el severo efecto en la respiración del suelo, registrándose el valor mínimo de $40 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, cuando en promedio para este bosque primario es cerca de $850 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. Sin embargo, no ha sido posible explicar adecuadamente su retorno a niveles “normales” solo dos días después. Tampoco se ha podido aún evaluar sus efectos a más largo plazo en meses y años.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batjes, N.H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.*, 47:151-163.
- Brown, S. & Lugo, A.E. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica*, 4:161-187.
- Bustamante, M. & Nardoto, G. 2003. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. *Pesq. agropec. bras.*, 38:955-962.
- Caldwell, T.G.; Johnson, D.W.; Miller, W.W. & Qualls, R.G. 2002. Forest Floor carbon and nitrogen losses due to prescription fire. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66:262-267.
- Crutzen, P.J. & Andreae, M. 1990. Biomass burning in the tropics: impacts on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science*, 250: 1669-1678.
- Davidson, E.A.; Belk, E. & Boone, R.D. 1998. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biol.*, 4: 217-227.
- Eswaran, H.; van Den Berg, E. & Reich, P. 1993. Organic carbon calculated in soils of the world. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:192-194.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Houghton, J.T.; Ding, Y.; Griggs, D.J.; Noguer, M.; van der Linden, P.J.; Dai, X.; Maskell, K. & Johnson C.A. (Eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. New York, NY, USA. 881 p.
- Janssens, I.A.; Kowalski, A.S.; Longdoz, B. & Ceulemans, R. 2000. Assessing forest soil CO₂ efflux: an *in situ* comparison of four techniques. *Tree Physiology*, 20: 23-32.
- Kane, E.S.; Pregitzer, K.S. & Burton, A.J. 2003. Soil respiration along environmental gradients in Olympic National Park. *Ecosystems*, 6: 326-335.
- Post, W.M.; Emmanuel, W.R.; Zinke, P.J. & Stangenberger, A.G. 1982. Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, 298:156-159.
- Raich, J.W. & Schlesinger, W.H. 1992. The global carbon dioxide efflux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, 44B: 81-90.
- Raich, J.W.; Potter, C.S. & Bhagawati, D. 2002. Interannual variability in global soil respiration, 1980–94. *Global Change Biol.*, 8: 800-812.
- Rhoades, C.C.; Eckert, G.E. & Coleman, D.C. 2000. Soil carbon differences among forest, agriculture, and secondary vegetation in lower montane Ecuador. *Ecol. Appl.*, 10: 497-505.
- Salimon, C.I.; Davidson, E.A.; Victoria, R.L. & Melo, A.W.F. 2004. CO₂ flux from soil in pastures and forests in southwestern Amazonia. *Global change Biol.*, 10: 833-843.
- Sotta, E.D.; Meir, P.; Malhi, Y.; Nobre, A.D.; Hodnett, M. & Grace, J. 2004. Soil CO₂ efflux in a tropical forest in the Central Amazon. *Global Change Biol.*, 10: 601-617.

Fecha de recepción: 13 de marzo del 2008.

Fecha de aceptación: 24 de abril del 2008.