

## LA SOSTENIBILIDAD DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y LA RESPIRACIÓN DEL SUELO EN COLOMBIA

A. Marín<sup>1</sup>, E.I. Leiva<sup>2</sup>, R. Ramirez<sup>3</sup>

Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia<sup>1,2,3</sup>

**Resumen.** Entre los parámetros empleados para estimar la sostenibilidad de un sistema agrícola productivo, se propone la dinámica de la materia orgánica, tomando como indicador el balance entre la respiración del suelo y la materia orgánica aportada. La producción de CO<sub>2</sub> en el suelo es un indicador de la actividad biótica y es considerado para evaluar su salud y calidad. Con la cuantificación del CO<sub>2</sub> que respira el suelo es posible estimar la materia orgánica que se descompone y que debe ser restituida para asegurar la sostenibilidad del sistema. Se cuantificó la respiración del suelo en cultivos de cacao localizados en las zonas de vida bosque húmedo tropical (bh-T) en planicies aluviales del Urabá Antioqueño y en bosque húmedo premontano (bh-PM) en relieve colinado del Magdalena Medio en Colombia. Los tratamientos correspondieron a parcelas fertilizadas y sin fertilizar cultivadas con los clones CCN-51, ICS-95, FSV-41, FCH-8 y LUKER-40 con seis años, bajo manejo tradicional campesino, en donde la hojarasca permanece cubriendo el suelo todo el año. La fertilización estuvo compuesta por una mezcla órgano-mineral que se aplicó cada tres meses, ajustada a los requerimientos nutricionales del cultivo. La respiración del suelo fue mayor en el bosque húmedo Tropical (bh-T), con valores que oscilaron entre 15,07 y 80,21 Kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>. En el bosque húmedo premontano (bh-PM) osciló entre 21,10 y 61,10 Kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>. Así, es necesaria la aplicación de materia orgánica para asegurar la sostenibilidad del sistema productivo.

**Palabras clave:** microorganismos, actividad biótica, raíces.

### INTRODUCCIÓN

La respiración del suelo se refiere comúnmente al flujo de CO<sub>2</sub> de la superficie edáfica a la atmósfera. Al parecer, la respiración del suelo es crítica para el ciclo global del carbono, ya que los suelos almacenan el doble de carbono que la atmósfera (Post *et al.*, 1982, IPCC, 2013, Scharlemann *et al.*, 2014) y se considera que la incertidumbre en la proyección de la temperatura global futura se debe en gran medida a una pobre comprensión del ciclo de carbono terrestre (Friedlingstein *et al.*, 2006; 2014).

Las prácticas de manejo como el riego (De Dato *et al.*, 2010), la labranza y la fertilización regulan la actividad microbiana, que media los procesos de ciclado de la materia orgánica, de los de nutrientes y en consecuencia, el equilibrio del carbono del suelo (Lal *et al.*, 2015). Cuando los suelos son labrados el contenido de materia orgánica disminuye (Schlesinger y Andrews, 2000) y afecta su aireación y contenido de humedad, lo que conduce a mayores tasas de respiración. Por tanto, la investigación en el manejo del suelo, especialmente de la fertilización, es importante para identificar las opciones adecuadas para incrementar la retención de carbono del suelo y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> (Paustian *et al.*, 2016) para asegurar la sostenibilidad del sistema. El objetivo de este trabajo fue determinar la liberación de CO<sub>2</sub> del suelo en parcelas fertilizadas y sin fertilizar cultivadas con cacao para estimar la cantidad de materia orgánica que sería necesaria aplicar para asegurar la sostenibilidad del sistema según la zona de vida.

### MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en dos zonas de vida; bosque húmedo premontano (bh-PM) en el municipio de Maceo y en bosque húmedo tropical (bh-T) en el municipio de Chigorodó y Turbo, al Nor occidente Colombiano. Se seleccionaron cinco predios en total. Maceo (bh-PM) presenta una temperatura promedio de 22.4°C, una precipitación acumulada anual de 2044 mm y está a 1100 m.s.n.m. Chigorodó (bh-T) presenta una temperatura promedio de 26.3°C, una precipitación acumulada anual de 2898 mm y está a 40 m.s.n.m; Turbo (bh-T) presenta una temperatura promedio de 26.4°C, una precipitación acumulada de 2726 mm y está a 2 m.s.n.m.

### METODOLOGÍA

Los tratamientos correspondieron a parcelas fertilizadas y sin fertilizar cultivadas con los clones CCN-51, ICS-95, FSV-41, FCH-8 y LUKER-40 con seis años, bajo manejo tradicional campesino, en donde la hojarasca permanece cubriendo el suelo todo el año. La fertilización estuvo compuesta por una mezcla órgano-mineral que se aplicó cada tres meses, ajustada a los requerimientos nutricionales del cultivo. Para la determinación de la respiración del suelo en campo, se empleó la metodología propuesta por Alef *et al*, (1995). Finalmente se calificó el estado del suelo según la clasificación propuesta por Woods End Research, (1997). La investigación se realizó en cinco predios y en cada uno se realizaron tres muestreos en un periodo de 18 meses.

## RESULTADOS

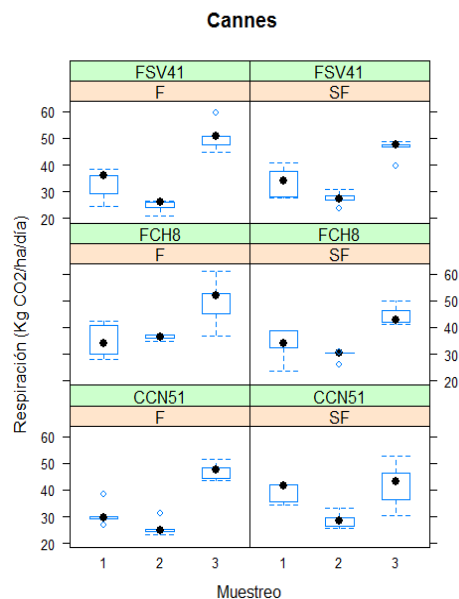
### Cannes, Maceo, Antioquia (bh-PM)

La respiración del suelo osciló entre 21,1 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día y 61,1 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día en las parcelas fertilizadas y entre 23,7 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día y 52,7 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día en las que no se aplicó fertilización. Durante el tercer muestreo se incrementó de manera significativa la respiración, situación que puede estar relacionada por la variación en las condiciones climáticas.

La desviación estándar fue inferior a 6,2 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día en todos los muestreos independientemente del tratamiento empleado. La respiración promedio fue superior en las parcelas fertilizadas excepto en el primer muestreo y en general ésta no superó 50 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día. La respiración del suelo se catalogó como ideal.

En cuanto a la respiración del suelo por clon, los máximos valores se registraron en el suelo cultivado con FCH-8 y esta situación se presentó en los tres muestreos. El coeficiente de variación en todos los muestreos fue inferior a 18 independiente del clon.

**Figura 1.** Respiración del suelo en el predio “Cannes”, Maceo, Antioquia (bh-PM) en Kg CO<sub>2</sub>/ha/día.



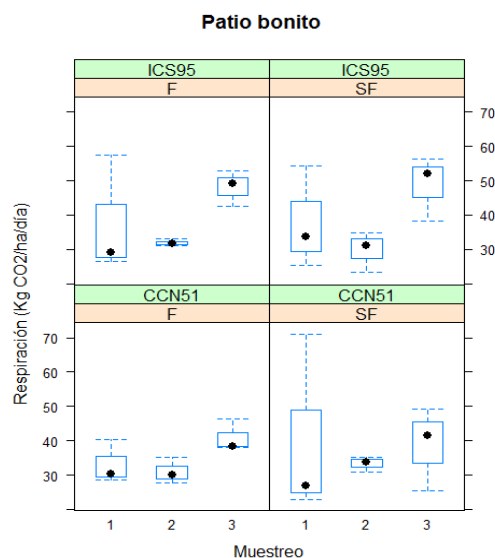
### Patio Bonito, Chigorodó, Antioquia (bh-T)

La respiración del suelo osciló entre 26,5 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día y 57,4 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día en las parcelas fertilizadas y entre 23,0 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día y 71,0 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día en las que no se aplicó fertilización. La respiración del suelo se catalogó como ideal.

La respiración promedio por clon no superó 45 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día y ésta presentó una tendencia a ser mayor en las parcelas sin fertilización durante los primeros dos muestreos. En el suelo con ICS-95 sin fertilizar se halló la media más alta de respiración del suelo (48,827 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día).

El suelo con CCN-51 sin fertilizar registró el valor máximo y mínimo de respiración (70,971 y 23,020 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día) respectivamente.

**Figura 2.** Respiración del suelo en el predio “Patio bonito”, Chigorodó, Antioquia (bh-T) en Kg CO<sub>2</sub>/ha/día.



### La Ilusión, Chigorodó, Antioquia (bh-T)

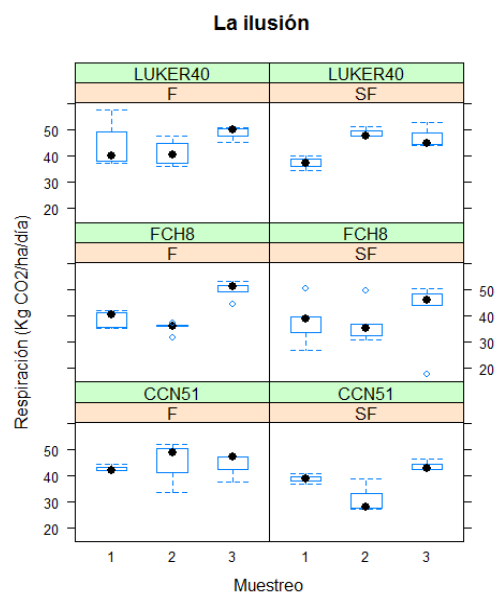
La respiración del suelo osciló entre 31,8 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día y 57,7 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día en las parcelas fertilizadas y entre 17,5 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día y 52,9 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día en las que no se aplicó fertilización. La respiración del suelo se catalogó como ideal.

La respiración promedio por clon estuvo por debajo de 49 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día con tendencia a incrementar en las parcelas con fertilización; los valores más altos de ésta se registraron en el suelo con el clon LUKER-40 y este comportamiento se mantuvo durante los tres muestreos realizados.

Con el suelo cultivado con LUKER-40 fertilizado se halló el máximo valor de respiración (57,672 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día) mientras que con FCH-8 sin fertilizar, el mínimo (17,526 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día).

El coeficiente de variación más bajo se registró en el suelo con CCN-51 fertilizado (3,218).

**Figura 3.** Respiración del suelo en el predio “La ilusión”, Chigorodó, Antioquia (bh-T) en Kg CO<sub>2</sub>/ha/día.



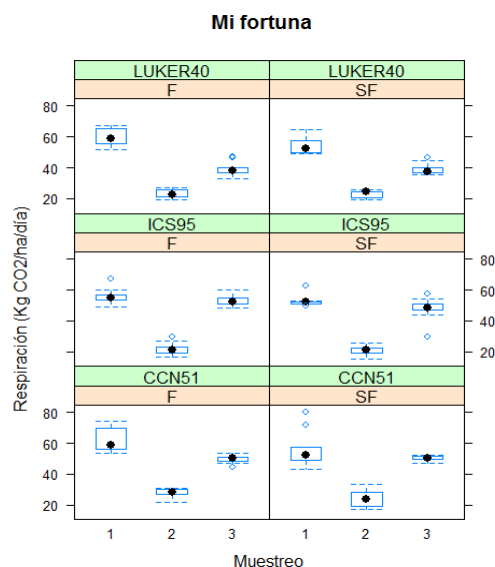
### Mi fortuna, Chigorodó, Antioquia (bh-T)

La respiración del suelo osciló entre 16,5 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día y 74,2 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día en las parcelas fertilizadas y entre 15,1 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día y 80,2 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día en las que no se aplicó fertilización. La actividad del suelo se catalogó como ideal.

La respiración promedio del suelo por clon fue inferior a 60 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día, hallándose los valores más altos con el clon ICS-95, a excepción del segundo muestreo, donde fue mayor con CCN-51. La mayor respiración promedio se registró con el clon CCN-51 fertilizado (63,345 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día) en el primer muestreo.

En el suelo con CCN-51 sin fertilizar se registró el menor coeficiente de variación (3,701); el máximo valor (80,216 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día) se halló también con este clon y tratamiento, mientras que con ICS-95 sin fertilizar, se encontró el mínimo (15,078 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día).

**Figura 4.** Respiración del suelo en el predio “Mi fortuna”, Chigorodó, Antioquia (bh-T) en Kg CO<sub>2</sub>/ha/día.



#### Agropajares, Turbo, Antioquia (bh-T)

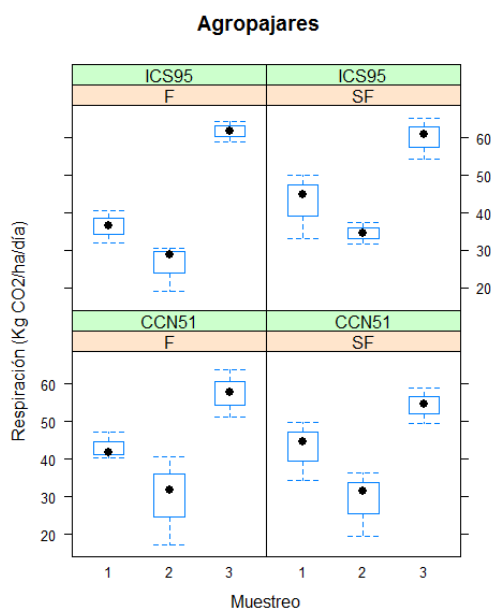
La respiración del suelo osciló entre 17,3 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día y 64,4 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día, en las parcelas fertilizadas y entre 19,6 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día y 65,2 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día en las que no se aplicó fertilización. Durante el tercer muestreo se incrementó de manera significativa la respiración, situación que puede estar relacionada por la variación en las condiciones climáticas. La actividad del suelo se catalogó entre mediana e ideal.

La respiración promedio del suelo por clon estuvo por debajo de 60 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día. Por tratamiento, ésta fue inferior a 61 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día, registrando los máximos valores, el suelo con el clon ICS-95, a excepción del segundo muestreo.

En el suelo con ICS-95 fertilizado se halló el menor coeficiente de variación (4,553) y la media más alta (61,660 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día).

El suelo con ICS-95 sin fertilizar registro el valor máximo de respiración (65,246 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día) y con CCN-51 fertilizado, el mínimo (17,329 Kg CO<sub>2</sub>/ha/día).

**Figura 5.** Respiración del suelo en el predio “Agropajares”, Turbo, Antioquia (bh-T) en Kg CO<sub>2</sub>/ha/día.



## Cantidad de materia orgánica que debe ser aportada al sistema según la respiración del suelo en bh-PM y bh-T.

**Tabla 1.** Cantidad de materia orgánica que debe aportarse al sistema en bh-PM y bh-T.

Zona de vida	Kg MO/ha/año	Kg MO/planta/año
<b>bh-PM</b>	7269,80	7,2698
<b>bh-T</b>	8212,29	8,2122

\* Se calculo la cantidad de materia orgánica que se debe aplicar en una población de 1000 plantas/ha.

## DISCUSIÓN

Índices elevados de respiración del suelo suelen significar una elevada actividad biológica en el medio edáfico que representa la rápida descomposición de residuos orgánicos hacia nutrientes disponibles para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, una descomposición acelerada de la materia orgánica estable es perjudicial para diversos procesos físicos y químicos tales como agregación, intercambio catiónico y capacidad de retención de agua. Los suelos en este estudio se clasificaron entre medianamente ideales e ideales por lo cual se les atribuye una actividad biológica normal.

Inmediatamente después de una operación de labranza, la evolución del CO<sup>2</sup> puede acelerarse debido a la exposición de la materia orgánica a organismos y oxígeno. Además, ésta puede incrementar luego de eventos de precipitación (Pochette et al. 1991).

## CONCLUSIONES

La respiración del suelo en bosque húmedo Tropical (bh-T), presentó valores que oscilaron entre 15,07 y 80,21 Kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>. En bosque húmedo premontano (bh-PM) osciló entre 21,10 y 61,10 Kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>.

Este estudio permitió estimar la cantidad de materia orgánica que necesita una hectárea de cacao con una población de 1000 árboles y ésta se encuentra entre 7269,80 y 8212,29 kg/planta/año dependiendo de la zona de vida en que este localizado el cultivo.

## REFERENCIAS

Alef, K. (1995) Soil Respiration. In: Alef, K. and Nannipieri, P., Eds., *Methods in Soil Microbiology and Biochemistry*, Academic Press Inc., San Diego, 214-215.

De Dato, G.D., De Angelis, P., Sirca, C., Beier, C., (2010). Impact of drought and increasing temperatures on soil CO<sub>2</sub> emissions in a Mediterranean shrubland (gariga). *Plant Soil* 327,153-166.

Friedlingstein, P., Cox, P., Betts, R., Bopp, L., Von Bloh, W., Brovkin, V., Cadule, P., Doney, S., Eby, M., Fung, I., Bala, G., (2006). Climate-carbon cycle feedback analysis: results from the C4MIP model intercomparison. *J. Clim.* 19, 3337–3353.

Friedlingstein, P., Meinshausen, M., Arora, V.K., Jones, C.D., Anav, A., Liddicoat, S.K., Knutti, R., (2014). Uncertainties in CMIP5 climate projections due to carbon cycle feedbacks. *J. Clim.* 27, 511–526.

IPCC, (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom/New York, NY, USA.

Lal, R., Negassa, W., Lorenz, K., (2015). Carbon sequestration in soil. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 15, 79–86.

Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P., Smith, P., (2016). Climate-smart soils. *Nature* 532, 49–57.

Post, W.M., Emanuel, W.R., Zinke, P.J., Stangenberger, A.G., (1982). Soil carbon pools and world life zones. *Nature* 298, 156–159.

Prochette, P., R.L. Desjardins, and E. Pattey. 1991. Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields. *Can. J. Soil Sci.* 71:189-196

Scharlemann, J.P., Tanner, E.V., Hiederer, R., Kapos, V., 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Manage.* 5, 81–91.

Schlesinger, W.H., Andrews, J.A., 2000. Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry* 48, 7–20.

Woods End Research. 1997. Guide to soil testing and managing your soil. Woods End Research Laboratory, Inc., Mt. Vernon, ME