



Lib liberación de CO₂ a la atmósfera por actividad rizosférica de diferentes cultivos en zona cafetera del departamento del Cauca

Release of CO₂ into the atmosphere by rhizosphere activity of different crops in the coffee-growing region of the department of Cauca

Carlos Quintín L.¹; Juan Carlos Montoya S.²; Iván Enrique Paz N.³

¹ Docente, M.Sc. Universidad del Cauca. Popayán, Cauca, Colombia, carlosquintin@unicauca.edu.co.

² Docente, Ph.D. Universidad del Pacifico. Buenaventura, Colombia, jcmontoya_agro@yahoo.com.

³ Docente, M.Sc. Universidad del Cauca. Popayán, Cauca, Colombia, ipaz@unicauca.edu.co.

Citar: QUINTÍN, C.; MONTOYA, J.; PAZ, I. 2015. Liberación de CO₂ a la atmósfera por actividad rizosférica de diferentes cultivos en zona cafetera del departamento del Cauca. Rev. Cienc. Agr. 32(2):68 - 76. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.153202.14>

Fecha de recepción: Septiembre 11 de 2015

Fecha de aceptación: Octubre 10 de 2015

RESUMEN

La cuantificación del CO₂ generado por los cultivos agrícolas permite obtener una mirada real del aporte de la agricultura a dichas emisiones. En esta investigación se buscó establecer la cantidad de CO₂ liberada y el comportamiento de la biomasa microbiana en función del manejo de cultivos de café *Coffea arabica* L. yuca *Manihot esculenta* Crantz, frijol *Phaseolus vulgaris* L. y lechuga *Lactuca sativa* L. determinar cuál de ellos causó el mayor aporte dependiendo del tipo de manejo, tanto tecnificado o tradicional. Para cuantificar el CO₂ producido en campo, se utilizó el método propuesto para determinar la cantidad de biomasa se utilizó el método de estimación (biomasa microbiana), en función del carbono microbiano y el método fumigación-extracción. El cultivo que presentó mayor liberación de CO₂ fue el café. La modalidad de manejo del cultivo no tuvo influencia en la liberación de CO₂. Por su parte las condiciones climáticas influyeron sobre las tasas de respiración entre cultivos, indicando que el café en época de poca lluvia respiró más que los otros cultivos.

Palabras clave: Cuantificación de CO₂, rizosfera, actividad biológica, biomasa microbiana, cultivo tradicional, cultivo tecnificado, carbono microbiano, fumigación.

ABSTRACT

Quantifying crop-derived CO₂ emissions allows an accurate insight into the contribution of agriculture to these emissions. This research sought to establish the amount of CO₂ emissions and microbial biomass behavior in crop managements of coffee *Coffea arabica* L., cassava *M. esculenta*, beans *P. vulgaris*, and lettuce *L. sativa*, in order to determine which crop caused the highest CO₂ emissions depending on management type, technified or traditional. CO₂ field emissions were measured according to the method proposed, biomass was measured using an estimation method (microbial biomass), based on microbial carbon, and a method of fumigation-extraction. Coffee showed the highest CO₂ emissions. Crop management type did not affect CO₂ emissions. Furthermore, climate conditions affected respiration rates among crops, indicating that coffee had higher respiration rates during rainy periods compared to the other crops.

Keywords: CO₂ quantifying, rhizosphere, biological activity, microbial biomass crops technical, crops traditional, microbial carbon, fumigation.

INTRODUCCIÓN

El CO₂, es uno de los gases causantes de efecto invernadero, que ha ocasionado el calentamiento global. En la actualidad que del total del aporte, la energía genera el 67,3%, la agricultura el 12,3%, la industria el 8,2%, el cambio en el uso del suelo el 6,3% y la transformación de desechos el 5,9 % de esas emisiones de CO₂ (Ruiz, 2013).

El incremento de la población mundial, junto con su consecuente demanda por recursos especialmente alimenticios, ha conducido a la intervención de grandes áreas y al mejoramiento agrícola, con el objetivo de dar respuesta a la demanda creciente de alimentos (Jarvis *et al.*, 2007). Esto ha conllevado al desarrollo de materiales vegetales y prácticas tecnológicas que han modificado las condiciones naturales del suelo con consecuencias sobre la actividad biológica (AB) y dinámica microbiana, entre otras (Jarvis *et al.*, 2007). Los cambios de vegetación natural a agrícola también generan alteraciones sobre tal actividad biológica, en algunos casos positivos y en otros negativos (Paz *et al.*, 2006). Una forma de cuantificar estos cambios es

mediante la respiración, la cual es un indicador de la liberación de CO₂ a la atmósfera por el suelo (Swisher, 1999). Esto convierte al suelo en una de las fuentes más importantes de CO₂ atmosférico (Ramírez y Moreno, 2008).

Por lo anterior, en conjunto, la especie de cultivo, las áreas sembradas, la actividad microbiana existente en el suelo, y el manejo dado tendrán como resultado la liberación de CO₂ a la atmósfera (Schlesinger y Andrews, 2000). Este puede ser reconvertido por las plantas o entrar a sumarse a la cantidad de gases efecto invernadero, con impactos en el comportamiento climático (Fang y Moncrieff, 2001; Raich *et al.*, 2002).

Así, la cuantificación de la liberación de CO₂ a partir de la rizosfera de los cultivos es un importante punto de partida en la mitigación de la producción de gases de efecto invernadero, identificando los mayores causantes (Ramírez y Moreno, 2008). Esto permitirá diseñar sistemas agrícolas de producción, acorde con las necesidades alimentarias de la población en procura de una sostenibilidad ambiental (Jarvis *et al.*, 2007).

Por los motivos anteriores se planteó cuantificar, los volúmenes de CO₂ liberados a la atmosfera a partir de la rizosfera de café, yuca, fríjol y lechuga, manejados tradicional y técnicamente, y establecer cuál de ellos liberó más CO₂, con el fin de generar información básica para el posterior diseño de sistemas agrícolas que permitan mitigar el efecto invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. La investigación se realizó en finca La Rejoja, propiedad de la Universidad del Cauca, ubicada en la vereda La Rejoja, municipio de Popayán (2°32'LN 76°35' LO) a una altura de 1.760 msnm., temperatura promedio 18°C, humedad relativa 70%, precipitación de 2.100 mm., con proyectos agrícolas y pecuarios manejados técnica y sosteniblemente, es el caso de los cultivos de yuca *Manihot esculenta*, café *Coffea arabica*, lechuga *Lectuca sativa* y fríjol *Phaseolus vulgaris*.

Selección de lotes. Se seleccionaron 24 parcelas, dos parcelas de café con área total de 45 m² (7,5 x 6 m), dos parcelas de yuca con área total 37,5 m² (7,5 x 5 m), dos parcelas de fríjol con área total de 4,5 m² (3 X 1,5 m), dos parcelas de lechuga 4,2 m² (3,5 x 1,20 m), distribuidas bajo un Diseño en Bloques al Azar con un arreglo factorial 4 x 2 x 3. Los factores considerados en éste arreglo, fueron el cultivo con cuatro especies y el tipo de manejo en dos formas (tecnificado y tradicional). Como criterio de bloqueo se considero la diferencia en la pendiente del terrero (parte alta, media y baja).

Es de resaltar, que para el caso de los cultivos de café y yuca (no asociados), se seleccionaron parcelas ya establecidas con plantas en estado adulto (café 5 años - yuca 10 meses), mientras que para el caso de los cultivos de fríjol y lechuga (cultivos transitorios), se establecieron parcelas desde la siembra, con el fin de poder muestrear en espacio

de tiempo simultáneo en época seca (agosto, septiembre) y época lluviosa (octubre y noviembre).

Tratamientos.

Se evaluaron ocho tratamientos, los cuales se describen a continuación:

T1: suelo con yuca + manejo tradicional (convencional)

T2: suelo con yuca + manejo técnico

T3: suelo con café + manejo tradicional (convencional)

T4: suelo con café + manejo técnico

T5: suelo con fríjol + manejo tradicional (convencional)

T6: suelo con fríjol + manejo técnico

T7: suelo con lechuga + manejo tradicional (convencional)

T8: suelo con lechuga + manejo técnico

El manejo tecnificado, se basó en la realización de todas las labores agrícolas de control de arvenses, enfermedades y enemigos naturales, así como la utilización de abonos inorgánicos. En el manejo tradicional (convencional), se realizaron pocas labores agrícolas, tales como plateo, mínimo control químico y la aplicación de abonos orgánicos.

Indicadores a caracterizar y muestreo. Como indicadores del estado biológico del suelo, se determinaron en cada una de las unidades experimentales, la actividad biológica (variable principal) y la biomasa microbiana. De cada parcela se tomaron tres puntos de muestreo a profundidad entre 5 y 10 cm, sobre los cuales se efectuaron dos mediciones durante los cuatro meses (agosto, septiembre, octubre, noviembre).

Actividad biológica. Esté indicador se cuantificó a través de la respiración capturando el CO₂ liberado en el suelo producto de la actividad de las raíces de los cultivos y de la fauna del suelo. El procedimiento se llevó a cabo mediante el método de campo propuesto por Swicher (1999). Este método se basa en la captura del CO₂ con hidróxido de sodio (NaOH) al 0,2N y cuantificación indirecta a través del ácido clorhídrico al 0,2N (HCl).

Biomasa microbiana (BMS). Se midió en función del carbono orgánico presente en los microorganismos del suelo mediante el método de fumigación-extracción, empleado por Paz *et al.*, (2006) y García *et al.*, (2010). Este método se basa en la extracción del carbono orgánico desde suelos fumigados y no fumigados mediante una solución 0,5M de K₂SO₄ y su cuantificación con solución de Sulfato Ferroso Amoniacal al 0,033N (FAS).

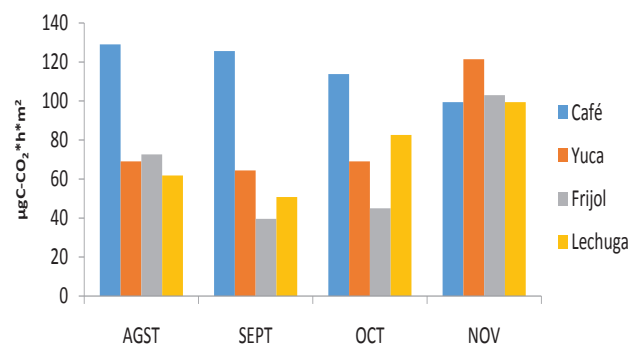
Análisis estadístico. Los datos se analizaron estadísticamente utilizando el paquete estadístico de Microsoft Office Excel 2007 y SPSS v.8®, mediante herramientas como el Análisis de varianza (ANDEVA) que permitió detectar diferencias significativas entre tratamientos (tipo de cultivo) y entre bloques (manejo del cultivo), pruebas de promedios de Duncan y Student que permitieron establecer los mejores tratamientos y bloques, y correlaciones que determinaron la relación entre los resultados y las variables estudiadas como actividad biológica y biomasa microbiana.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

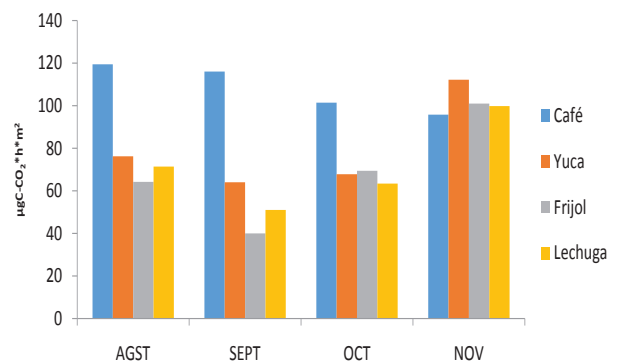
Liberación de CO₂ por respiración en los diferentes cultivos. En la Figura 1, se observa la tendencia de la actividad biológica en función de la liberación de CO₂ proveniente de la respiración en todos los cultivos (café, yuca, frijól, lechuga) muestreados entre agosto y noviembre de 2014, oscilando entre 40 y 126 $\mu\text{gC-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$. El Análisis de Varianza ($\alpha = 0,05$) presentado en la Tabla 1, muestra que existen diferencias significativas entre los promedios de respiración presentados por el factor cultivo en los cuatro muestreos, en contraste no se observan diferencias por el factor manejo. Sin embargo, la tendencia presentada por el cultivo de café, es contraria a la presentada por los cultivos de yuca, frijól y lechuga. De la prueba de promedios según el factor manejo (Tabla 2),

se puede deducir que la mayor liberación de CO₂ a partir de la rizósfera, se registró en el cultivo de café durante los tres primeros muestreos, tanto en plantas manejadas técnicamente como en aquellas manejadas tradicionalmente. Los resultados de los otros cultivos fueron más heterogéneos, comportamiento que amerita el análisis por muestreo.

Así, para el muestreo del mes de agosto, se debe mencionar que la liberación de CO₂ registrada para las parcelas de café y yuca corresponde a la respiración de las plantas y los organismos del suelo.



Manejo técnico



Manejo tradicional

Figura 1. Tendencia de la actividad biológica en función de la respiración en la rizosfera de cultivos manejados técnicamente y tradicionalmente.

Tabla 1. ANDEVA para la liberación de CO₂ (µgC-CO₂ h/m²) desde la rizosfera de los cuatro cultivos para los cuatro muestreos.

Fuentes de Variación	G.L	F.C	F.C	F.C	F.C	F.T (5%)
		Agosto.	Sep.	Oct.	Nov.	
Bloques	2	0,429	0,05	0,54	0,15	4,06
Tratamientos	7	3753,0	29,02	56,49	13,91	2,77
Cultivos	3	3631,3	28,49	25,10	10,57	3,34
Manejo	1	0,429	0,74	3,42	1,01	4,06
Cultivo x Manejo	3	364,714	0,85	84,75	9,00	3,34
Error	14					
Total	23					

En el caso de fríjol y lechuga solo se estimó la respiración de los organismos del suelo, puesto que estos cultivos en el momento no habían germinado. Por tanto, en agosto las parcelas con café bajo manejo tecnificado y tradicional presentaron mayor liberación de CO₂ que la yuca (Figura 1). Este comportamiento se debe a que aquí el CO₂ proviene de la respiración, la cual a su vez es reflejo de la tasa de fijación de CO₂, ya que plantas con mayor tasa de fijación de CO₂ poseen mayor tasa de respiración de los fotosintatos producidos (Paz *et al.*, 2006). En el caso del café se han registrado tasas de fijación de CO₂ entre 10,9 y 11,7 de 110 µmolCO₂m²s⁻¹ (Mosquera *et al.*, 1999).

Los registros de CO₂ liberado para fríjol y lechuga, representan la respiración de la actividad microbiana estimulada por la exposición del suelo sin cultivo a la luz solar, de acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, repercutiendo en

una mayor tasa de mineralización y aumento en las poblaciones de microorganismos, lo cual coincide con lo reportado por Paz *et al.*, (2006).

Para el muestreo de septiembre (Figura 1) se observa que la respiración de los cuatro cultivos en los dos manejos, registraron menores promedios comparados con el muestreo anterior, oscilando entre 116,0 y 125,6 µg(C-CO₂) hm² para café tradicional y tecnificado respectivamente, 64,0 y 64,4 µg(C-CO₂)hm² para yuca, 39,6 y 40,0 µg(C-CO₂)hm² para frijol y 50,8 y 51,0 µgC-CO₂hm² para la lechuga. De acuerdo con la prueba de promedios, las parcelas con café y yuca, presentaron los mayores promedios. La disminución en el caso de fríjol y lechuga en éste muestreo, se debió posiblemente a que la cobertura vegetal disminuyó el área de exposición al sol, controlando procesos de mineralización y en consecuencia la actividad biológica del suelo (Gómez *et al.*, 2000).

Tabla 2. Prueba de promedios de Duncan para la liberación de CO₂ (µgC-CO₂hm²) por cultivo durante los cuatro muestreos en dos manejos.

	Agost.		Sep.		Oct.		Nov.	
Café	124,22	a	107,62	a	85,21	a	116,82	a
Yuca	72,61	b	68,41	b	68,41	b	102,02	b
Frijol	68,41	c	39,81	d	57,21	c	99,62	b
Lechuga	66,61	d	58,21	c	73,01	d	97,62	b

Para el muestreo de octubre, los valores promedios de liberación de CO₂, en las parcelas con yuca, fríjol y lechuga presentaron un ascenso, al compararlos con el mes anterior; en el caso de la yuca entre 61,8 y 72 μg(C-CO₂)hm², en fríjol entre 43,8 y 72,6 μg(C-CO₂)hm², en lechuga entre 58,2 y 85 μg(C-CO₂)hm². De igual manera, los promedios registrados para el mes de noviembre presentaron incremento. En el caso de la yuca entre 106,2 y 129 μg(C-CO₂)hm², en fríjol entre 100,2 y 114,6 μg(C-CO₂)hm², en lechuga entre 99,8 y 99,4 μg(C-CO₂)hm².

Este ascenso presentado por yuca, fríjol y lechuga entre octubre y noviembre estuvo relacionado con el aumento de la precipitación y la disminución de la temperatura. Aquí cabe anotar que durante los meses mencionados la precipitación (Figura 2a) se incrementó mes a mes de 0,4 a 2,7 mm/día en septiembre, a 6,8 mm/día en octubre y a 24,6 mm/día en noviembre, donde alcanzó la máxima registrada. En cuanto a la temperatura (Figura 2b), ésta presentó un decrecimiento mensual a partir de agosto.

Por cierto, coincidiendo con los resultados de la presente investigación, García *et al.* (2010) y Gómez *et al.* (2000) habían encontrado que con el aumento del volumen de lluvias se incrementó la

actividad fisiológica de las plantas de plátano, expresada en mayor respiración y en mayor actividad radical.

Sánchez (2007) y Paz *et al.* (2006) explican que con el incremento de las lluvias también aumenta la actividad fisiológica en algunas especies de plantas, dado a que una mayor humedad en el suelo estimula la apertura de los estomas y en consecuencia se incrementa la tasa fotosintética, la actividad radical y la respiración (Ribas *et al.*, 2005), lo que conduce a mayor rizo-deposición y aumento de las poblaciones de microorganismos. En este contexto, los niveles óptimos de humedad para su desarrollo están entre 40 y 60% de la capacidad de campo (García *et al.*, 2010; Paz, 2014).

En el caso del café, la tendencia para los últimos muestreos fue contraria a la de los demás cultivos, presentado un descenso en liberación de CO₂ que continuó al mes de septiembre, mostrando una relación inversa con la presencia de las lluvias. Esta tendencia fue reportada también por Paz *et al.*, (2006) y Rengifo y Torres (2009), quienes encontraron relación inversa entre la liberación de CO₂ por el suelo y la precipitación. Esta tendencia puede explicarse, con base en los

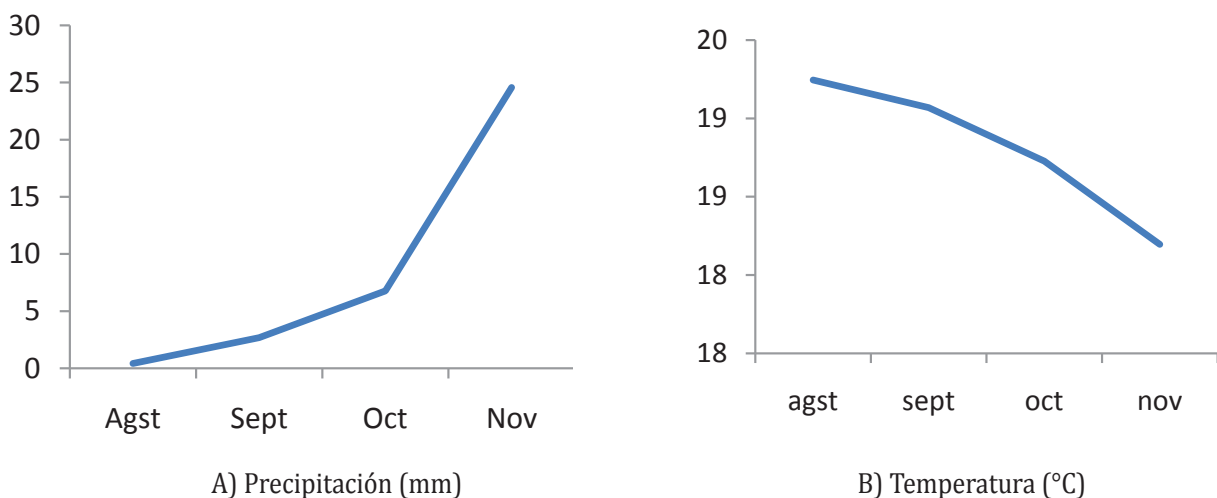


Figura 2. Tendencias de la precipitación y temperatura durante el periodo de muestreo

cambios fisiológicos de la planta ocurridos durante las épocas de producción determinadas por las dos cosechas y la consecuente pérdida de granos y follaje. En estas condiciones, la planta aumenta la actividad y el crecimiento radical para su recuperación y en consecuencia la actividad respiratoria y liberación de CO₂ (Paz *et al.*, 2006; Rengifo y Torres, 2009). La función del crecimiento radical, es explorar mayor volumen de suelo en busca de agua y nutrientes, gastándose más energía para su mantenimiento, esta energía se produce durante la respiración, a partir de los fotosintatos que son trasladados a la raíz para posteriormente ser liberados en la rizosfera como carbono orgánico (Paz *et al.*, 2006; García *et al.*, 2010).

Liberación de CO₂ por respiración. El promedio de la liberación de CO₂ resultante del proceso de respiración en la rizosfera de los cuatro cultivos, agrupados según el manejo del suelo durante los cuatro meses de registro, presenta una tendencia ascendente desde septiembre hasta noviembre. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre los dos sistemas de manejo (tecnificado y tradicional) en ninguno de los muestreos (Tabla 1), indicando que los tratamientos (manejo) no influyeron sobre la liberación de CO₂ (Figura 3).

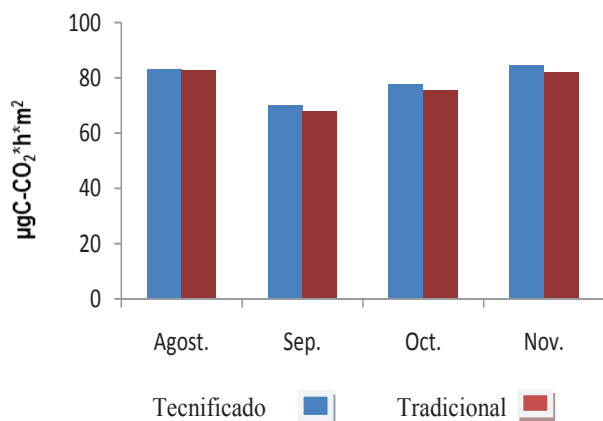


Figura 3. Liberación de CO₂ (µgC- CO₂hm²) por respiración de acuerdo a manejo tecnificado y tradicional.

Al comparar la tendencia de esta variable con la biomasa microbiana de los cuatro cultivos promediada también por manejo durante los cuatro muestreos, se observa un comportamiento similar, lo que permite inferir que la liberación de CO₂ se debió tanto a la actividad de la raíz como a la actividad microbiana (Figura 4).

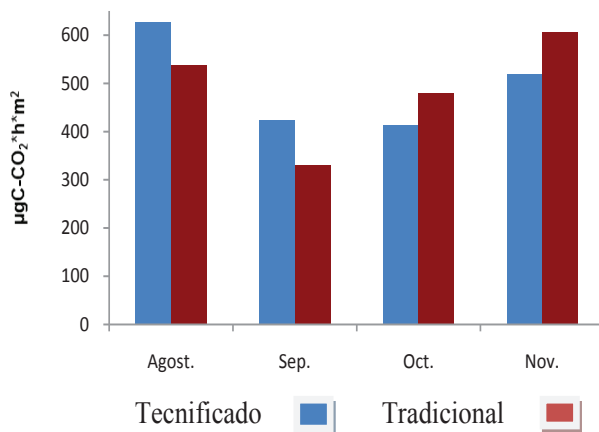


Figura 4. Tendencia de la biomasa microbiana en las rizosferas de cuatro cultivos (café, yuca, frijol y lechuga) bajo dos manejos.

Paz *et al.*, (2006) y García *et al.*, (2010) explican que en algunos cultivos el aumento de las lluvias incrementa la actividad fisiológica de la planta, lo cual se expresa en la mayor respiración y en mayor actividad radical, conduciendo a cambios en la liberación de rizo-depositados y como posible efecto se incrementan las poblaciones de microorganismos.

En la Figura 5 se observa la liberación de CO₂ acumulada, generada en los cuatro muestreos y los dos manejos para cada cultivo, donde la prueba de $t(\alpha = 0,05)$ al detectar diferencias significativas, indicó que las parcelas sembradas con café presentaron mayor liberación de CO₂, con 467,8µgC-CO₂hm² en manejo tecnificado y 432,63µgC-CO₂hm² con manejo tradicional, seguidas por el cultivo de yuca. Los cultivos con menor liberación de CO₂ fueron el frijol y la lechuga, los cuales no presentaron diferencia significativa entre sí.

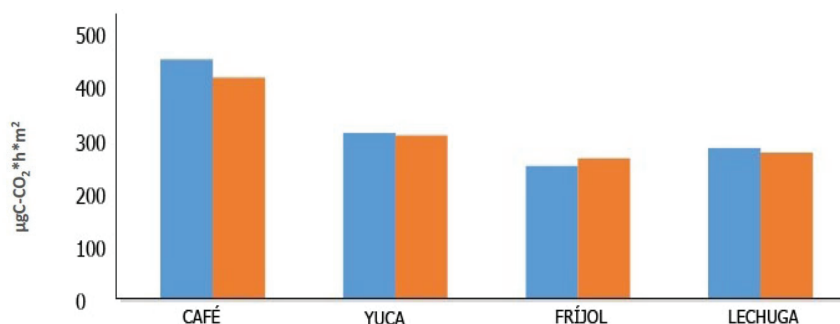


Figura 5. Liberación de CO₂ acumulada ($\mu\text{gC-CO}_2\text{hm}^2$) por cultivo y por manejo durante los cuatro muestreos.

Para explicar la tendencia anterior es necesario considerar que de acuerdo con la duración del ciclo vital los cultivos se debe diferenciar entre perennes como el café y transitorios como la yuca, frijol, lechuga (ALBA, 2012), por tanto en el caso del café la fotosíntesis es continua y el caso de los transitorios la tasa fotosintética se disminuye durante la etapa de fructificación, dado que las hojas entran en deterioro, se caen, como consecuencia disminuye el área foliar y, por tanto, baja la fotosíntesis, al igual que la actividad y la respiración radical (Dogliotti *et al.*, 2011). Teniendo en cuenta que la tasa fotosintética de los cultivos es diferente y que la respiración radical es consecuencia de esta, se puede considerar que los promedios más bajos de liberación ocurrieron en frijol y lechuga puesto que ya estaban en fase terminal (final de la fase fructificación) y en el caso de la yuca que apenas iniciaban sus respectiva fase de fructificación, el promedio de CO₂ liberado superó al frijol y la lechuga.

CONCLUSIONES

Las parcelas con café, presentaron el mayor promedio de CO₂ liberado, tanto en el manejo tecnificado y tradicional, seguidas de las parcelas con yuca en manejo tecnificado y tradicional, en comparación con las parcelas de frijol, que obtuvieron el menor promedio.

La precipitación y la temperatura, afectan de manera positiva o negativa la tendencia de la respiración, incrementando o disminuyendo la tasa liberación de CO₂ en el suelo. En el caso del café, la tendencia de liberación de CO₂ descendió con la presencia las lluvias y para los demás cultivos estudiados, la liberación de CO₂ ascendió con la presencia de las mismas. La actividad biológica establecida en la zona de la rizosfera, mostró ser un generador importante de CO₂.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Manizales por el apoyo administrativo y a la Universidad del Cauca por el apoyo logístico, puesto que éstas permitieron adelantar esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRICULTURE AND LAND-BASED TRAINING ASSOCIATION (ALBA. 2012 Planificación y Producción de Cultivos. Farmer Education Program (PEPA) Resource Guide. USDA. California, USA.
- BIOVERSITY INTERNACIONAL. 2011. Manejo de la Biodiversidad en los Ecosistemas Agrícolas. Publicado por Bioversity Internacional. 524 p.
- DOGLIOTTI, S., COLNAGO, P., GALVÁN, G. y ALDABE, L. 2011. Bases Fisiológicas del crecimiento y desarrollo de los principales cultivos hortícolas Tomate (*Lycopersicon sculentum*), Papa (*Solanum tuberosum*)

- y Cebolla (*Allium cepa*). En: https://olericultura.files.wordpress.com/2014/12/fisio-y-crec-papa_toma_ceb.pdf; consulta: marzo, 2011.
- FANG, C. y MONCRIEFF, J.B. 2001. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. 2001. *Soil Biology y Biochemistry*. 33(2):155 - 165.
- GARCÍA, A., MESA, N. y PAZ, I. 2010. Caracterización de la dinámica microbiana, en dos cultivares de plátano (*Hartón y Dominico Hartón*) ubicados en la vereda de Urubamba, Municipio de Timbío (Cauca). Tesis de grado Ingeniería Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.
- GÓMEZ, L., SÁNCHEZ DE P, M., EL-SHARKAWY, M., y CADAVID, L. F. 2000. Poblaciones microbianas asociadas con diferentes prácticas agronómicas en el cultivo de la yuca, en la Costa Norte de Colombia. *Acta Agronómica*. 50(1/2):26 - 34.
- JARVIS, D. I., PADOCH, C. y COOPER, H. D. 2007. Manejo de la Biodiversidad en los Ecosistemas Agrícolas. *Bioversity International*. 503 p.
- MOSQUERA, L.P., RIAÑO, N.M., ARCILA, J. y PONCE, C.A. 1999. Fotosíntesis, respiración y foto respiración en hojas de Café *Coffea sp.* CENICAFÉ, Colombia. 50(3): 215 - 221.
- PAZ, I.E., SÁNCHEZ, M. y SADEGHIAN, S. 2006. Relación entre dos sistemas de sombrero de café y algunas propiedades del suelo en la meseta de Popayán. *Acta Agronómica*. 55(4):1 - 6.
- PAZ, I.E. 2014. Microorganismos del suelo rizosférico, avances y perspectivas en el departamento del Cauca. Popayán. Universidad del Cauca. 230 p.
- RAICH, J., POTTER, C. y BHAGAWATI, D. 2002. Interannual variability in global soil respiration, 1980-94. *Global Change Biology*. 8(8):802 - 812.
- RAMÍREZ, A. y MORENO, F. 2008. Respiración microbial y de raíces en suelos de bosques tropicales primarios y secundarios (Porce, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 61(1).
- RENGIFO, G. y TORRES, G. 2009. Caracterización de la actividad microbiana en ocho suelos cafeteros y su relación con las condiciones edafoclimáticas y edad de cultivos en el corregimiento de Calibío, municipio de Popayán, Cauca. Tesis Ingeniería Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia. 80 p.
- RIBAS, M., FLORES, I. y GONZÁLEZ, Á. 2005. La respiración de las plantas. pp. 65 - 285). En: Azcón Joaquín y Talón Manuel, *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Primera edición. McGraw-Hill, Madrid. 470 p.
- RUIZ, A. 2013. Inventario Nacional de emisiones de gases efecto invernadero. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., México. 384 p.
- SÁNCHEZ DE P, M. 2007. Las endomicorrizas: expresión bio-edáfica de importancia en el trópico. Universidad Nacional de Colombia, Feriva S.A. Palmira, Colombia. 351 p.
- SCHLESINGER, W. y ANDREWS, J. 2000. Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochem*. 48(1):7 - 20.
- SWISHER, M.E. 1999. Manual para los estudios de campo. Módulo 1. La Ecología de la Parcela. Universidad de la Florida. Gainesville, Florida, USA, 84 p.