

PRODUCCIÓN DE CO₂ EN EL SUELO POR LA ADICIÓN DE MEZCLAS MICROBIANAS Y RESIDUOS DE PODA DE *Acacia retinodes* (Fabales: Fabaceae)

Erendira Campeche, Moisés Pérez, Verónica Nava, Uriel Valencia, Reyes López y Fidel Payan

RESUMEN

Dada la importancia de la producción de CO₂ en el suelo, se investigó los efectos de inóculos microbianos y residuos de poda de *Acacia retinodes* en la producción de dicho gas. Se estableció una unidad experimental en condiciones de laboratorio para determinar las diferencias en producción del gas tras adición de inóculos microbianos de cepas nativas a hojas podadas. Se determinó el grado de descomposición de la hojarasca en relación con las cepas inoculadas en dos fases. En la fase 1 las bolsas de descomposición fueron colocadas en superficie y en la fase 2 se enterró el material. Se empleó un diseño completamente al azar con seis tratamientos (T1-T6) y dos testigos (T7-T8), cuatro repeticiones por tratamiento. Cada fase duró 30 días y se regó al 80% de capacidad de cam-

po. La temperatura ambiente fluctuó entre 19,19 y 25,17°C; el promedio en suelo fue de 17,5°C y el pH fue 5,6 en todos los tratamientos. Se realizó análisis de varianza y prueba de medias de Tukey para determinar diferencias de concentraciones de CO₂ en el suelo. En la fase 2 incrementó la producción de CO₂ principalmente en T4 y T5, con diferencias significativas ($p < 0,05$) con el resto; los controles mostraron los valores más bajos. Al final del trabajo (60 días) disminuyó la producción del gas en todos los tratamientos. La producción de CO₂ en medios de activación sólida y líquida mostró diferencias significativas ($p < 0,05$). Se determinó un mayor nivel de gas con las bolsas enterradas, donde existió mayor disponibilidad de material de fácil descomposición.

Introducción

El reto más importante para los agricultores en los últimos tiempos ha sido mantener un sistema sustentable y rentable. De esta manera, la restauración y protección de los suelos ante el inadecuado uso de fertilizantes químicos han originado la necesidad de aprovechar mejor los recursos locales en las unidades de producción agropecuaria.

La implementación de sistemas a base de árboles y arbustos fijadores de N₂ atmosférico, que poseen la característica de almacenar el gas en sus nódulos radicales a través del metabolismo y convertirlo en su componente forrajero en forma de proteína, se asocian a muchos cultivos agrícolas y ayudan a mantener la vida en el interior del ambiente del suelo (Botero y Russo, 2002).

Los procesos biológicos que ocurren en la tierra ejercen control sobre el ciclo del carbono (Ryan y Law, 2005) y son de gran relevancia en estudios biogeoquímicos globales debido a que los suelos contienen más del doble de dicho gas que la atmósfera (Davidson y Janssens, 2006). Entre esos procesos, la respiración del suelo (R_s) reviste gran importancia (Cueva-Rodríguez *et al.*, 2012). Los factores bióticos como la cantidad y calidad de hojarasca, la asignación de carbono hacia las raíces y la respiración de éstas, el clima y la topografía, tienen todos influencia en las tasas de R_s (McCulley *et al.*, 2007). La importancia de cada uno de estos componentes varía considerablemente entre cada zona; son parámetros difíciles de determinar debido a que ello implica el

uso de diversas técnicas para conocer su variación tanto espacial como temporal (Pumpanen *et al.*, 2004).

Algunas de las especies arbóreas que han sido utilizadas son *Acacia aneura*, *A. farnesiana* y *A. mangium*. *A. retinodes* Schltdl es una especie invasora con cuyos residuos de poda se hace composta para producir enmiendas orgánicas y se ha observado que la planta en cuestión tiene altas tasas de rebrote a la poda y alta producción de residuos de la misma (Brito *et al.*, 2014; Noziere *et al.*, 2015). Es utilizada para el control de la erosión de suelos desnudos y la fijación de dunas; tiene potencial como especie melífera y la madera se utiliza para la fabricación de objetos ornamentales y de construcción (Conabio-Pronare, 2006). Yusiharni y

Gilkes (2012) caracterizaron las cenizas de esta especie, evidenciando considerables cantidades de calcio, magnesio, sodio y silicio, que la hacen un buen fertilizante.

El uso de inóculos microbianos para acelerar la descomposición de los residuos de poda usados frecuentemente para fertilizar cultivos como el café en sistemas agroforestales ha sido propuesto por Payán *et al.* (2013) como una alternativa para hacer más eficiente la liberación de los nutrientes en etapas fenológicas críticas para los cultivos y puede aumentar los rendimientos en sistemas agroforestales.

Los objetivos del trabajo fueron: a) evaluar la producción de CO₂ en el suelo ante la adición de seis mezclas microbianas y hojas de *A. retinodes*, y b) comparar la activación de las

PALABRAS CLAVE / *Acacia retinodes* / Dióxido de Carbono / Fabales / Microorganismos del Suelo / Suelo /

Recibido: 01/09/2016. Modificado: 24/10/2018. Aceptado: 07/11/2018.

Moisés Pérez. Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X), México.

Verónica Nava. Doctora en Biología, Universidad Nacional Au-

tónoma de México (UNAM). Profesora Investigadora, UAM-X, México.

Uriel Valencia. Ingeniero Agrónomo, UAM-X, México.

Reyes López. M.C. en Producción Animal, UNAM, México. Profesor Investigador, UAM-X, México.

Fidel Payan (Autor de correspondencia). Dirección: Departamento de Producción Agrícola y Ani-

mal. UAM, Unidad Xochimilco (UAM-X). Calzada del Hueso N° 1100 Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán, México 04960. E-mail: fpayan@correo.xoc.uam.mx

CO₂ PRODUCTION IN THE SOIL BY THE ADDITION OF MICROBIAL MIXTURES AND PRUNING WASTE OF *Acacia retinodes* (Fabales: Fabaceae)

Erendira Campeche, Moisés Pérez, Verónica Nava, Uriel Valencia, Reyes López and Fidel Payan

SUMMARY

Given the importance of CO₂ production in the soil, the effects of microbial inoculums and pruning residues of *Acacia retinodes* on the production of this gas were investigated. An experimental unit was established under laboratory conditions to determine differences in gas production upon addition of microbial inoculates of native strains. The degree of litter decomposition was determined in relation to the strains collected in two phases. In phase 1, litterbags were placed on the surface and in phase 2 the material was buried. A completely randomized design with six treatments (T1-T6) and two controls (T7-T8) was used, four replicates per treatment. Each stage lasted 30 days. Irrigation was provided at 80% field capacity. The ambient temperature fluctuated between

19.19°C and 25.17°C as maximum, with average soil temperature of 17.5°C. The pH was 5.6 in all treatments. Variance analysis and Tukey's mean test were performed to determine differences in soil CO₂ concentrations. In phase 2, an increase in CO₂ production was obtained mainly in T4 and T5, having significant differences ($p < 0.05$) to the rest, while controls showed the lowest values. At the end of the study (60 days) a decrease in gas production was observed in all treatments. The comparison of CO₂ production between solid and liquid activation media showed significant differences ($p < 0.05$). A higher gas level was determined when working with buried bags, where there was greater availability of readily decomposable material.

PRODUÇÃO DE CO₂ NO SOLO PELA ADIÇÃO DE MISTURAS MICROBIANA E PODA RESÍDUOS DE *Acacia retinodes* (Fabales: Fabaceae)

Erendira Campeche, Moisés Pérez, Verónica Nava, Uriel Valencia, Reyes López e Fidel Payan

RESUMO

Dada a importância da produção de CO₂ no solo, investigamos os efeitos de inóculos microbianos e resíduos de poda de *Acacia retinodes* na produção do referido gás. Para este efeito, uma unidade experimental estabelecida sob condições de laboratório onde foi diferenças na produção de gás determinadas a partir da adição dos inóculos microbianos de estirpes nativas. Determinou-se o grau de decomposição de ninhada relativa estirpes recolhidas em duas fases. Na fase 1 as bolsas de lixo foram colocadas na parte superior do solo e na fase 2 o material foi enterrado. Utilizou-se uma conceição completamente ao acaso com seis tratamentos (T1-T6) e duas testemunhas (T7-T8), quatro repetições por tratamento. Cada fase durou 30 dias, com irrigação a 80% capacidade de campo. A temperatura ambiente

variou entre 19,19 e 25,17°C; a temperatura média do solo foi de 17,5°C e o pH 5.6 em todos os tratamentos. Realizaram-se análises de variância e teste de Tukey para determinar diferenças nas concentrações de CO₂ no solo. Na fase 2 foi obtido um aumento da produção de CO₂, principalmente em T4 e T5, com diferenças significativas ($p < 0,05$) em relação ao resto; os controles tiveram os valores mais baixos. No final do trabalho (60 dias) observou-se diminuição da produção de gás em todos os tratamentos. A comparação entre a produção de CO₂ nos meios de ativação sólido e líquido mostrou diferenças significativas ($p < 0,05$). Um nível mais elevado de gás foi determinado com a bolsa enterrada, onde existe maior disponibilidade de material de fácil decomposição.

mezclas microbianas en medio sólido y líquido.

Materiales y Métodos

Para evaluar la producción de CO₂ en el suelo ante la adición de seis recolectas de cepas microbianas sobre residuos de poda de *A. retinodes* se aplicaron los inoculos obtenidos sobre hojas del árbol colocados en la superficie de macetas llenas con un suelo de características conocidas, efectuando mediciones semanales de la producción del gas. Así mismo, se midió la producción del gas del suelo con dos formas de activación de las mezclas microbianas, una activación en medio líquido y otra en medio sólido.

Recolección de microorganismos nativos

Se recolectaron microorganismos en cuatro áreas verdes de la Ciudad de México y una del Estado de México: dos colectas en el Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca (CIBAC; 19°16'55,6"N - 90°06'10,3"O), una en el Parque Ecológico Cuernavaca-Xochimilco (19°18'05,6"N - 99°05'27,2"O), una en el Bosque de Nativitas y Canal de Chalco (19°17'50,4"N - 99°04'53,3"O) y una en Ixtapaluca, Edo. de México (19°18'18,7"N - 98°55'10,8"O). De acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua

(CONAGUA), durante la recolección se mantuvo una temperatura media de 15°C, una precipitación media de 125mm y acumulada mensual de 150mm (Figura 1). Se enterraron tres trampas por sitio de recolección, en las cuales se colocaron 50g de arroz y 50ml de agua, en frascos de 113g esterilizados en baño María por 30min a 120°C y 20 libras de presión, hasta obtener un grano de arroz esponjado y suave. Las trampas permanecieron enterradas durante siete días de tal manera que la boca del frasco quedara al ras del suelo y cubierta con hojarasca, evitando que recibiera luz directa.

Una vez colectadas fueron almacenadas a 4°C hasta su

uso en el experimento. En el caso del tratamiento 6 se hizo una colecta de hojas 30 días antes del inicio del experimento y se dejaron fermentar dentro de un costal de fibra vegetal durante 15 días. La trampa de arroz se colocó en medio de las hojas que presentaran crecimiento de hongos para su colonización. Igualmente se refrigeró hasta su uso.

Obtención del suelo

El suelo fue obtenido a 0-50cm de profundidad en el Predio Agrícola 'Las Animas' en Tulyehualco, Ciudad de México (19°15'21,7"N - 99°01'08,9"O), cuyas propiedades

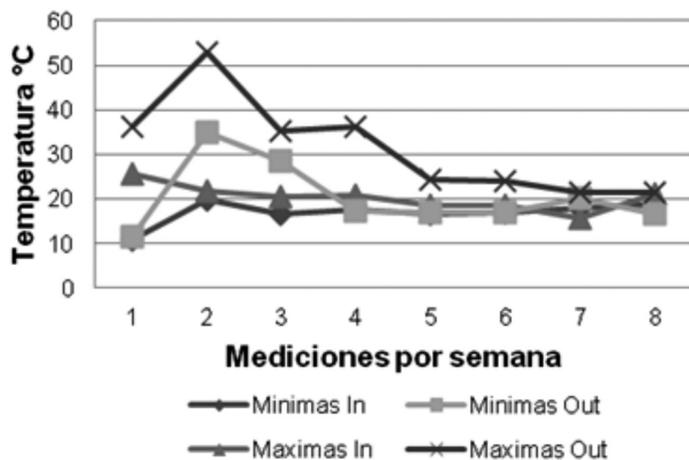


Figura 1 Temperatura ambiente durante las etapas del experimento.

fisicoquímicas eran conocidas (Tabla I). Se homogenizó con volteo a pala durante 30min y se mantuvo durante un mes en reposo para estabilizar la actividad microbiana. Posteriormente se colocó 785g de suelo en bolsas para cultivo de coloración negra de 15cm de diámetro y 15cm de alto, colocando un cuadrado de papel periódico como base.

Recolección de hojas de *A. retinodes*

Se realizó la poda en árboles de la planta en el CIBAC, cinco días antes de comenzar el trabajo, separando las hojas de las ramas gruesas. Para el experimento de descomposición se construyeron bolsas de tela de nylon (*litterbags*), de 10cm de diámetro y 10cm de alto, y 2mm de abertura de la malla, las que se llenaron con 26g de hojas de *A. retinodes*. Las hojas tenían una relación C/N de 4,5 la cual las hace bastante lábiles, un contenido de N total de 0,85% y una humedad de 77%.

Diseño experimental

El experimento consistió en un diseño completamente al azar con seis tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5, T6) en los que se añadió a las hojas de *A. retinodes* el inóculo con microorganismos del suelo procedentes de cada una de las cinco áreas de recolección. Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones. Se utilizaron dos testigos (T7 y T8) y a todos se suministró riego al 80% de capacidad de campo.

Los tratamientos consistieron de hojas de *A. retinodes* más inóculo microbiano, de los orígenes siguientes: T1 de CIBAC; T2 de Parque Cuernavaca, T3 de Bosque Xochimilco, T4 de CHALCO, T5 de Ixtapaluca y T6 de CIBAC. Al control T7 se añadió medio de activación compuesto por soya melaza y yogurt, pero sin inóculo microbiano, mientras que T8 no tuvo medio de activación ni inóculo.

Los factores a analizar fueron el tipo de cepa microbiana ensayado y la forma de apli-

cación de los residuos en las macetas: superficial (días 0-30) o enterrada (días 30 a 60), buscando simular las dos formas de aplicación de residuos en sistemas agroforestales. También se evaluó la forma de activación previa de los inoculos aplicados. La variable de respuesta fue la producción y flujo de CO₂ después de la aplicación de las cepas.

Activación de los microorganismos

Todos los tratamientos se hicieron con dos tipos de activación de los inóculos: una mitad de las macetas con inóculo activado en medio líquido y la otra mitad en medio sólido.

Para el medio líquido se utilizó una solución con 189,17g de soya molida, 208g de yogurt comercial sin azúcar, 208,33g de melaza y agua destilada hasta aforar a 10L. Por cada tratamiento se agregó 6,66g de arroz inoculado en 2L de solución y se dejó fermentar por siete días a temperatura ambiente y luego se almacenó a 4°C hasta su uso. Para su aplicación en la hoja se utilizó un atomizador.

Para el medio sólido se mezclaron 200g de estiércol de borrego, 200g de tierra y 200g de salvado de trigo, con el inóculo correspondiente (Restrepo, 2000). Se dejó fermentar por 15 días y se mantuvo a temperatura ambiente hasta su uso. De este medio se tomaron 200g para ser esparcidos sobre los residuos en cada unidad experimental (Fisherworrige y Roßkam, 2001).

Medición de CO₂

Los flujos del gas del suelo se monitorearon y registraron de acuerdo a los valores arrojados en la pantalla del medidor de respiración digital EGM4 PP-Systems (Amesbury, MA, EEUU); equipado con un sensor de infrarrojo no depresivo (NDIR). Las mediciones se llevaron a cabo una semana antes de la incubación de los microorganismos y cada 7 días en cada uno de los tratamientos,

manteniendo a la semana 1 como medición cero.

Análisis estadístico

Los valores de las concentraciones de CO₂ en el suelo se estudiaron mediante un análisis de varianza y pruebas de medias Tukey, utilizando un $\alpha=0,05$, por medio del software R. Los valores de respiración de cada tipo de activación durante las ocho semanas del experimento fueron promediados y se realizó también análisis de varianza y prueba de Tukey.

Resultados y Discusión

La temperatura del suelo de las macetas en que se mantuvo el experimento fluctuó entre 19,19° C como mínima y 25,17° C como máxima. La temperatura ambiente osciló entre 18° y 35° C (Figura 1), manteniendo una temperatura promedio en el suelo de 17,5° C. El pH fue de 5,6 en la materia orgánica agregada en todos los tratamientos. De acuerdo con lo señalado por Figueroa-Montero (2011) las emisiones de CO₂ están directamente relacionadas con la temperatura; al no existir marcada diferencia de las mismas durante el desarrollo del experimento, se puede inferir que las emisiones de los gases son consecuencia de la actividad de los tipos de microorganismos provenientes de diferentes sitios de colecta.

Producción de CO₂ en las fases 1 y 2

Durante la fase 1 del experimento todos los tratamientos mostraron valores de CO₂ similares; sin embargo, al evaluar los valores del gas en la segunda fase se observó que la incorporación de los residuos dentro del suelo, al enterrar la *litterbag*, provocó un incremento de la producción del CO₂ (Figura 2), principalmente en los tratamientos T4 y T5. Al final del experimento se observó la disminución de la producción de gas en todos los tratamientos como

TABLA I
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS
DEL SUELO UTILIZADO EN EL EXPERIMENTO

Profundidad Característica	0-25 cm	25-50 cm
Tipo de suelo	Arenoso-Franco	Franco-Arenoso
CE (dS·m ⁻¹)	0,09	0,08
MO (%)	4,3	4,2
DA (g·cm ⁻³)	1,39	1,4
pH	6,8	6,59

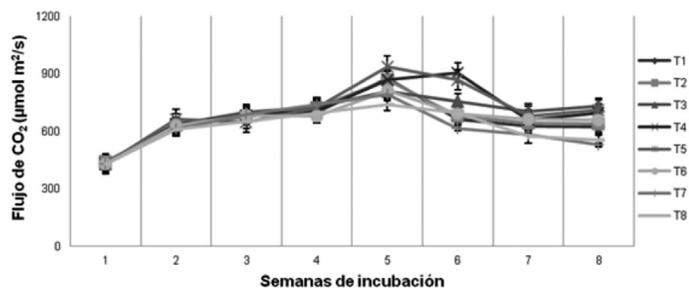


Figura 2 Valores de CO₂ en diferentes tratamientos con microorganismos incubados en suelo con residuos de hojas de *A. retinodes*

consecuencia del agotamiento del material orgánico.

Estos resultados se corresponden con los reportados por Galantini y Suner (2008), quienes señalan que los compuestos vegetales incorporados se descomponen más rápidamente gracias a condiciones favorables de humedad y temperatura. Esto pudiera explicar la acelerada respiración de los residuos enterrados en relación con los que se colocaron en la superficie, toda vez que fueron favorecidos por un mayor contacto con la comunidad microbiana, lo que facilitó la actividad de descomposición en la fase 2 (Figura 3), difiriendo significativamente ($p < 0,05$) de la fase 1.

Se hace evidente que al inicio del trabajo la estabilización de la materia orgánica, la emisión del gas y la actividad microbiana fueron menores, toda vez que existía menor dispo-

nibilidad del material de fácil descomposición (Ayuso *et al.*, 1996) que impidió la degradación por parte de los microorganismos. No obstante, como se evidencia en la aplicación de los inóculos, en la segunda etapa se produjo un incremento en la respiración debido a que las fracciones orgánicas lábiles presentes en el material añadido fueron mejor aprovechadas en un ambiente con humedad constante al estar enterradas. Es conocido que los desechos producidos por las bacterias se convierten en materia orgánica y el resultado del proceso libera CO₂, indicador de las mezclas microbianas con residuos de poda de *A. retinoides* en los diferentes grupos experimentales.

Algunos reportes indican que al mezclar varios aislados de microorganismos se da lugar a microfloras mucho más efectivas (Peng *et al.*, 2010; Kumar y Shweta, 2011), las

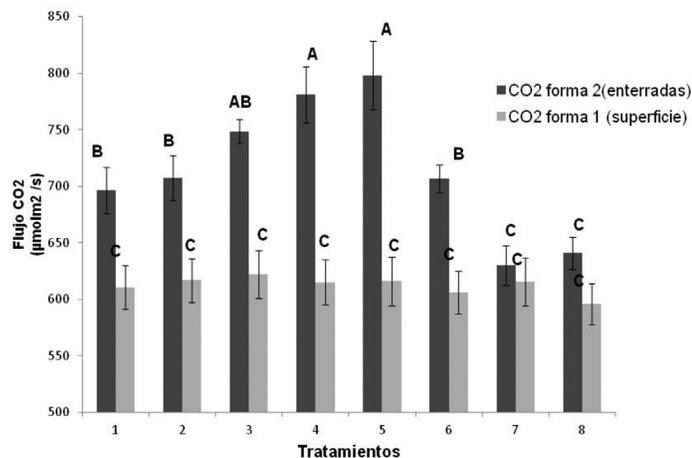


Figura 3 Valores del flujo medio de CO₂ para los tratamientos diferenciado por formas de colocación de las hojas de *A. retinodes* durante todo el experimento. Columnas con las mismas letras no presentan diferencias significativas.

que conllevan ventajas en la productividad y adaptabilidad, y a la posibilidad de volver mucho más rápidos los procesos bioquímicos del suelo, a partir del uso escaso de energía no renovable y sustentable con el medio ambiente (Vallejos, 2013). La evolución del proceso en relación con la calidad del suelo se mide a través de la actividad, como un buen indicador de su fertilidad biológica y bioquímica, manteniendo un papel importante en gran parte de los ciclos globales del carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y agua.

Producción de CO₂ total en el experimento

En la Figura 4 se muestran los valores de flujo medio de CO₂ obtenidos en cada grupo experimental, donde se observa la diferencia principal ($p < 0,05$), entre T4 (CHALCO) y T5 (hoja fresca), en comparación con el resto. Los valores más bajos del gas se encontraron en los grupos T7 y T8 que corresponden a los controles.

Los resultados obtenidos no se corresponden con experimentos anteriores realizados por Ayuso *et al.* (1996), toda vez que en el presente trabajo se mostraron diferencias estadísticas durante las mediciones de CO₂ entre las dos fases, dependiendo de la forma en que se colocaron las *litterbags*. En nuestro caso se buscó simular la forma en que los residuos son aplicados en algunas zonas tropicales (Payán *et al.* 2013), ya sea que se dejen los residuos en la super-

ficie del suelo o, como parece ser más efectivo de acuerdo a nuestros resultados, que se entierren a una profundidad mínima de 5-10cm.

Métodos de activación y producción de CO₂.

Al comparar la producción de CO₂ entre medios de activación se apreció una tendencia a mayores valores en el medio sólido (T3 y T4; Figura 5), aunque solo el T5 sólido mostró diferencias significativas ($p < 0,005$) con respecto a su contraparte en medio líquido y a los dos testigos. Al parecer, la mejor aireación en el medio sólido favorece un mayor desarrollo de los microorganismos y, por ende, una mayor respiración en hojas recién podadas de la planta utilizada, además de ser un proceso en el que generalmente no se requiere agregar agua si el sustrato tiene un contenido alto de humedad (Pandey *et al.*, 2000). En contraste, gran parte del gasto energético que se realiza en la fermentación líquida está relacionado con la necesidad de satisfacer la demanda de oxígeno en el crecimiento de los microorganismos (Raimbault, 1998). En general la media de todos los tratamientos (Figura 6) en medios seco resultó un 3,3% mayor que en medio líquido ($673,6$ vs $652,2$ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

Conclusiones

La producción de CO₂ como respuesta a la aplicación de residuos orgánicos de *A. reti-*

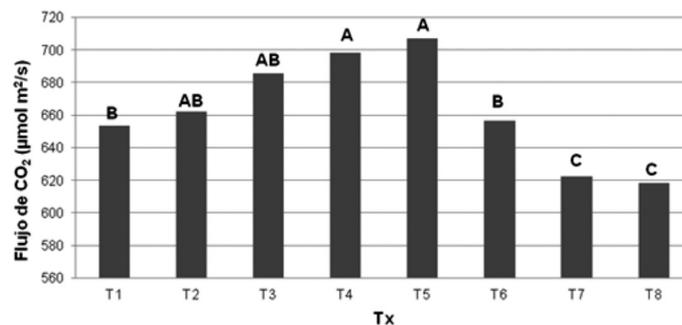


Figura 4 Valores del flujo medio de CO₂ diferenciado por tratamientos durante todo el experimento. Columnas con las mismas letras no muestran diferencias significativas.

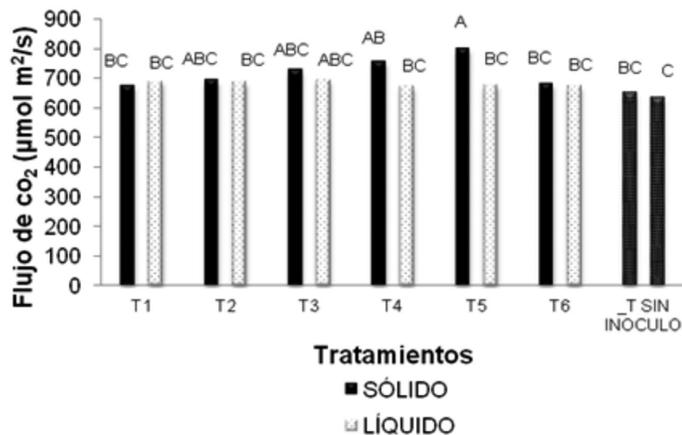


Figura 5. Producción de CO₂ con seis tratamientos en un suelo adicionado con hojarasca de *Acacia retinodes* y microorganismos activados en medio sólido y líquido. Columnas con las mismas letras no muestran diferencias significativas.

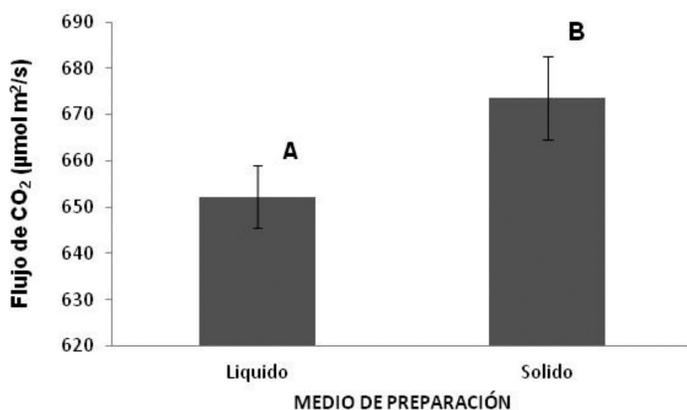


Figura 6. Valores promedio del flujo de CO₂ diferenciado por el medio de activación de los tratamientos en promedio durante todo el experimento. Columnas con las mismas letras no muestran diferencias significativas.

noides en los tratamientos presentó valores más altos que los testigos sin residuos. En la fase en la que se enterraron las bolsas se obtuvo un incremento de la producción de CO₂ debido a una mayor disponibilidad del material de fácil descomposición, principalmente en los tratamientos T4 y T5. Al final del trabajo (60 días) se observó la disminución de la producción del gas en todos los tratamientos. La activación en medio sólido presentó una tenden-

cia a mayores valores de producción de CO₂.

REFERENCIAS

Ayuso M, Hernández T, García C, Pascual J (1996) Stimulation of barley growth and nutrient absorption by humic substances originating from various organic materials. *Biores. Technol.* 57: 251-257.

Botero R, Russo RO (2002) *Utilización de Árboles y Arbustos Fijadores de Nitrógeno en Sistemas Sostenibles de Producción Animal en Suelos Ácidos*

Tropicales. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica". Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda. Costa Rica. 20 pp.

Brito LM, Mourao I, Coutinho J (2014) Compostagem de biomassa de acácia com casca de pinheiro. *Rev. Cienc. Agr. I*: 59-68.

CONABIO-PRONARE (2001) Aguilera RM. Archivo personal. *A. retinodes* Schldl. *SIRE*: Paquetes Tecnológicos. 6 pp.

Cueva-Rodríguez A, Yépez EA, Garatuzza-Payán J, Watts CJ, Rodríguez JC (2012) Diseño y uso de un sistema portátil para medir la respiración de suelo en ecosistemas. *Terra Latinoam.* 30: 327-336.

Davidson, EA, Janssens IA (2006) Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440: 165-173.

Figueroa MA, Montero A (2011) *Modelamiento de la Transferencia de Calor y Masa (Agua) en un Biorreactor de Charolas para Fermentación en Medio Sólido*. Tesis. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México. 215 pp.

Fischersworing B, Robkamp R (2001) *Guía para la Caficultura Ecológica*. GTZ. Lima, Perú. 153 pp.

Galantini JA, Suner L (2008) Las fracciones orgánicas del suelo: Análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* 45: 41-55.

Kumar R, Shweta M (2011) Enhance of wood waste decomposition by microbial inoculation prior to vermicomposting. *BioResource Technol.* 102: 1475-1480.

McCulley RL, Boutton TW, Archer SR (2007) Soil respiration in a subtropical savanna parkland; response to water additions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 820-828.

Noziere B, Kalberer M, Claeys M, Allan J, D'Anna B, Decesari S, Finessi E, Glasius M, Grgić I, Hamilton JF, Hoffmann T, Linuma Y, Jaoui M, Kahnt A, Kampf CJ, Kourtev I, Maenhaut W, Marsden N, Saarikoski S, Schnelle-Kreis J, Surratt JD, Szidat S, Szmigielski R, Wisthaler A (2015) The molecular identification of organic compounds in the atmosphere: state of the art and challenges. *Chem. Rev.* 115: 3919-3983.

Pandey A, Soccol CR, Mitchell D (2000) New development in solid state fermentation: 1 bioprocess and products. *Proc. Biochem.* 35: 1153-1169.

Payan-Zelaya FA, Harmand JM, Flores-Macias A, Beer J, Ramos-Espinoza G, De León González F (2013) Soil nutrient availability and CO₂ production in agroforestry systems after addition of *Erythrina poeppigiana* pruning residues and native microbial inocula. *Agroforestry Syst.* 87: 439-450.

Peng L, Wang G, Liao W, Yao H, Huang S, Li YQ (2010) Intracellular ethanol accumulation in yeast cells during aerobic fermentation: a Raman spectroscopic exploration. *Let. Appl. Microbiol.* 51: 632-638.

Pumpanen J, Kolari P, Ilvesniemi H, Minkinen K, Vesala T, Niinistö S, Lohila A, Larmola T, Morero M, Pihlatie M, Janssens I, Yuste JC, Grunzweig JM, Reth S, Subke JA, Savage K, Kutsch W, Ostregg G, Ziegler W, Anthoni P, Lindroth A, Hari P (2004) Comparison of different chamber techniques for measuring CO₂ efflux. *Agric. Forest Meteorol.* 123: 159-176.

Raimbault M. (1998) General and microbiological aspects of solid substrate fermentation. *Electron. J. Biotechnol.* 1(3): 26-27. ISSN 0717-3458.

Restrepo, J. 2000. Manual práctico, El ABC de la agricultura orgánica y harina de rocas. *Memorias X Taller Latinoamericano sobre Agricultura Orgánica*. Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 135 pp.

Ryan MG, Law BE (2005) Interpreting, measuring, and soil respiration. *Biogeochemistry* 73: 3-27.

Stott TD, Elliott L, Papendick R, Campbell G (1986) Low temperature or low water potential effects on the microbial decomposition of wheat residue. *Soil Biol. Biochem.* 18: 577-582.

Vallejos NG. (2013). Degradación de residuos vegetales mediante inoculación con cepas microbianas. *Enfoque UT*, 4: 1-13.

Yusiharni E, Gilkes RJ (2012) Short term effects of heating a lateritic podzolic soil on the availability to plants of native and added phosphate. *Geoderma* 191: 132-139.