

# Biomasa y actividad microbiana en suelos de uso ganadero y en regeneración de bosque

Rodolfo WingChing-Jones<sup>1</sup> y Lidieth Uribe Lorío<sup>2</sup>

1. Universidad de Costa Rica, Escuela de Zootecnia. Centro de Investigación en Nutrición Animal. Módulo Lechero-Sede del Atlántico, rodolfo.wingching@ucr.ac.cr
2. Universidad de Costa Rica, Escuela de Agronomía. Laboratorio de Microbiología Agrícola Centro de Investigaciones Agronómicas, lidieth.uribe@ucr.ac.cr

Recibido 11-XI-2015 • Corregido 01-XII-2015 • Aceptado 12-XII-2015

**ABSTRACT: Biomass and activity soil microorganisms in grazing and secondary forests areas.** Sustainable livestock production generates benefits for the environment, such as water capture, increased biodiversity and carbon dioxide capture. To measure these factors in a tropical setting, in 2007 we took three samples of a milk production system in Turrialba, Cartago, Costa Rica, in areas with permanent African Star grass cover (under grazing) and a secondary forest with 15 years of regeneration. We estimated carbon content in the microbial biomass, microbial activity (breathing technique), carbon usage profile (BIOLOG ECOPLATES®) and functional diversity of microorganisms (Shannon index). Biomass carbon in the pasture was 3,3 times higher than in the forest, but microbial activity was similar. Carbon use rate ranged from 22,22 to 85,19% in the pasture (higher in the forest: 29,63 to 92,59%). In both areas growth correlated with incubation time, but the forest had more biodiversity. Pasture areas are favored by carbon deposition to the rhizosphere, while the variety of vegetation in the forest allows greater functional diversity in the use of carbon substrates.

**Key words:** Carbon biomass, forage, jersey cattle, carbon source, forest.

**RESUMEN:** La producción ganadera sostenible genera beneficios para el ambiente, tales como captación de agua, aumento de la biodiversidad y la captura de dióxido de carbono. Para medir estos factores en un entorno tropical, durante el 2007 tomamos tres muestras compuestas de un sistema de producción de leche en Turrialba, Cartago, Costa Rica, en áreas con cobertura permanente de pasto Estrella africana (bajo pastoreo) y áreas de bosque secundario con 15 años de regeneración. Se estimó el contenido de carbono en la biomasa microbiana, la actividad microbiana (técnica de respiración), perfil de uso de carbono (BIOLOG ECOPLATES®) y la diversidad funcional de microorganismos (índice Shannon). La biomasa de carbono del potrero es 3,3 veces mayor que la del bosque, la actividad microbiana no presentó diferencias entre ambos sitios. En el caso de la utilización de fuentes de carbono, el porcentaje de utilización fluctuó entre 22,22 a 85,19% en el potrero (mayor en el bosque 29,63 a 92,59%). En ambas áreas se correlacionan el comportamiento creciente en el uso de fuentes de carbono según los tiempos de incubación. Se obtuvo mayor biodiversidad en el bosque secundario. El potrero se ven favorecidas por las deposiciones de carbono a la rizosfera, mientras que, la variedad en vegetación en el bosque en regeneración, permite una mayor diversidad funcional en utilización de los sustratos de carbono.

**Palabras clave:** Biomasa de carbono, forraje, ganado jersey, fuentes de carbono, bosque.

Desde la de década de 1970, el comportamiento en la población bovina en Costa Rica presenta una tendencia cuadrática (Corporación de Fomento Ganadero [Corfoga], 2001), producto de una serie de estímulos otorgados por el gobierno (García, 1991) y la reducción paulatina del hato a partir del censo de 1988, debido a la disminución de hembras reproductoras, índices productivos y reproductivos. Desde este momento, se relaciona la ganadería como una actividad generadora de pocos empleos, bajo rendimiento productivo por hectárea y

vector de problemas ambientales como la erosión del suelo, la reducción de la biodiversidad y la producción de gases de efecto invernadero (Holmann et al., 2004; Šimeket al., 2006; Jackson, Pascual & Hodkin, 2007).

Contrario a esta perspectiva, existen estudios que informan sobre aspectos positivos de la actividad ganadera sobre el ambiente, como es la captación de agua, aumento de la diversidad en sistemas pecuarios sostenibles y la captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). También, se hace mención que la actividad pecuaria es

responsables del 0,67 % del producto interno bruto de Costa Rica (Ávila, 2000; Beetz, 2002; Bilotta, Brazier & Haygarth, 2007; SEPSA, 2015).

Toda actividad pecuaria se desenvuelve en un espacio físico que requiere del uso del suelo como sustrato, fuente de agua y nutrimentos para el cultivo. Según el uso y manejo del suelo establecido en cada sistema, así será el efecto sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Para cada ecosistema, las poblaciones nativas determinan el ciclaje de nutrimentos, por lo que cambios en la composición o actividad de estas comunidades microbianas podrían tener un efecto inmediato sobre el funcionamiento del ecosistema (Narula et al., 2002). Para evaluar el efecto del manejo sobre las propiedades del suelo, se utilizan evaluaciones biológicas, debido a que estas responden de manera rápida ante cambios en el sistema (Hernández & García, 2003; Paul, 2007). Los ecosistemas del suelo son complejos y contienen una alta cantidad de especies (He et al., 2008).

La población de microorganismos del suelo cumple funciones vitales en los ecosistemas naturales y manejados, ya que son los encargados de la descomposición de residuos orgánicos, reciclaje y solubilidad de nutrimentos, flujo de energía, formación y fertilidad del suelo, fijación de nitrógeno, producción de reguladores de crecimiento y protección de cultivos (Hendrix et al., 1990; Parkinson & Coleman, 1991; Kennedy & Papendick 1995; Vander et al., 2008; Ndaw et al., 2009; Singh & Pandey, 2011). A su vez, los cultivos impactan la flora microbiana del suelo a través de la rizodeposición, proceso clave en los aportes del C al suelo. Los exudados radicales están compuestos de carbohidratos, aminoácidos y ácidos orgánicos originados de C recientemente asimilado, que es transportado a la parte radical donde se difunde hacia la solución del suelo e incide en la flora microbiana (Kaštovská & Šantrůčková, 2007). Debido a que cambios en el uso del suelo pueden incidir en la población microbiana, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del uso del suelo sobre la biomasa, la actividad y la diversidad funcional de los microorganismos en sistemas de ganadería intensiva de leche y regeneración de bosque secundario.

## MÉTODOS

**Descripción del sistema:** La finca donde se realizó el estudio se ubica a una altura de 640 msnm, en el cantón de Turrialba, provincia de Cartago, con un área total de 5,5 ha, distribuidas en áreas de pastoreo, bosque secundario, caminos e instalaciones. Este sistema está conformado por 44 animales de la raza Jersey, que pastorean

apartos de 1000 m<sup>2</sup> de pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) con una edad de rebrote de 25 días. Los animales que se encuentran en producción, son suplementados con 5 kilos de alimento balanceado (16 % PC y 3200 Kcal por día) y el área que conforma cada apto es fertilizado a razón de 3,35 kg de nitrógeno por rotación.

### **Descripción de las áreas y toma de la muestra:**

Durante el 2007, utilizamos un área de 1000 m<sup>2</sup> de pasto estrella, establecido hace 24 años y otra de 1500 m<sup>2</sup> de bosque secundario, con 15 años de recuperación, distanciadas entre sí por 200 metros lineales. Para cada cobertura recolectamos un total de tres muestras compuestas de suelo siguiendo un patrón en zig-zag. Cada muestra se conformó de la acumulación de 5 submuestras, tomadas cada 5 m.

### **Contenido de carbono en la biomasa microbiana:**

La biomasa microbiana se determinó utilizando el método de fumigación-extracción (Vance Brookes & Jekinson &, 1987) en la forma descrita por Durango et al., (2015).

**Actividad microbiana:** La actividad microbiana se determinó utilizando la técnica de respiración (Anderson, 1982). Esta técnica se basa en que las células microbianas oxidan materiales reducidos generando CO<sub>2</sub>. Dicha actividad puede evaluarse al medir el CO<sub>2</sub> producido como resultado del metabolismo de bacterias, hongos y protozoarios. Para ello se incubó el suelo libre de raíces en jarras herméticamente cerradas. El CO<sub>2</sub> generado se midió por titulación en la forma descrita por Durango et al. (2015).

**Perfil de utilización de fuentes de carbono:** Se determinó la capacidad de las comunidades microbianas para utilizar diferentes fuentes de carbono. Para ello se pesaron 5g de muestra y se extrajeron en 40 ml de buffer estéril KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0,05M a pH 6 durante 30 minutos, 5 ml de la muestra se transfirieron a un recipiente con 40 ml de buffer, se agitó y se repitió la transferencia, con esta suspensión se inocularon placas de BIOLOG ECOPLATES® y se leyeron a las 48, 72 y 96 horas. Estas placas están compuestas por 31 celdas, que contenían las fuentes de carbono replicadas tres veces, entre las cuales se citan: L-Asparagina, Metil éster de ácido pirúvico, Tween 40, Tween 80, D-Celobiosa, N-Acetil-D-Glucosamina, D-Manitol, D,L-a-glicerol fosfato, Ácido D-Galacturónico, Glicógeno, L-Fenilalanina, L-Serina, b-Metil-D-Glucósido, Lactona de ácido D-Galacturónico, Ácido 4-Hidroxibenzoico, α-D-Glucosa-1-Fosfato, Ácido 9-Hidroxibutírico, i-Erythritol, Ácido D-Málico,

a-D-Lactosa, Glicil ácido L-Glutámico, a-Ciclodextrin, L-Treonina, Putresceína, Ácido D-Glucosaminico, L-Arginina, Ácido Itaconico, D-Xilosa, Ácido a-Ketobutirico, Feniletilancina y Ácido 2-Hidroxibenzoico.

Con el fin de conocer de forma general, el comportamiento de los microorganismos de los suelos en estudio, las fuentes de carbono se agruparon en 6 categorías, donde se cita el grupo de las aminas (N-Acetil-D-Glucosamina, Putresceína y Feniletilancina), aminoácidos (L-Treonina, L-Fenilalanina, L-Asparagina, L-Arginina y L-Serina), carbohidratos (D-Manitol, Glicógeno, D-Celobiosa, D,L-a-glicerol fosfato, D-Xilosa, a-D-Glucosa-1-Fosfato, b-Metil-D-Glucósido, a-Ciclodextrin, i-Erythritoly a-D-Lactosa), carboxílicos (Glicil ácido L-Glutámico, Ácido D-Galacturonico, Ácido D-Málico, Ácido Itaconico, Ácido D-Glucosaminico, Lactona de Ácido D-Galacturonico, Ácido a-Ketobutirico, Metil éster de ácido pirúvico y Ácido 9-Hidroxibutirico), fenólicos (Ácido 2-Hidroxibenzoico y Ácido 4-Hidroxibenzoico) y polímeros (Tween 40 y Tween 80).

En cada tiempo de lectura, se registraron como sustratos positivos las celdas de cada placa en los que se observó un cambio de color purpura, indicativo de utilización de la fuente evaluada. Para tal fin, se realizó una base de datos donde se registró el sustrato utilizado y el tiempo que fue utilizado.

**Diversidad funcional de microorganismos:** Para comparar la diversidad funcional de microorganismos presentes en las áreas de bosque secundario y potrero, se calculó el índices de Shannon (H') y el índice de homogeneidad de Shannon (E<sub>s</sub>) según las formulas descritas por Xu et al. (2015).

$$H' = -\sum p_i * (\ln p_i) \quad \text{y} \quad E_s = H' / \ln S$$

## RESULTADOS

**Biomasa:** En relación a los resultados obtenidos en esta investigación, la biomasa de carbono determinada

en el suelo del potrero superó en 3,3 veces la que se obtuvo en el suelo del bosque secundario (Cuadro 1).

**Actividad microbiana.** En el caso de la actividad microbiana (Cuadro 1), no se determinaron diferencias significativas entre las prácticas de uso del suelo.

**Utilización por fuente de carbono.** Con respecto a la utilización de fuentes de carbono, la comunidad microbiana del potrero utilizó con una mayor frecuencia (mayor a 80%), siete compuestos: L-Asparagina, metilester de ácido pirúvico, Tween 40, Tween 80, D-celobiosa, N-acetil-D-glucosamina y D-manitol, con un máximo de utilización de 85,2% para el compuesto L-Asparagina, no se observó diferencias significativas en la utilización de estos sustratos (Cuadro 2). Los compuestos con una mayor utilización en el bosque, fueron ocho, L-Asparagina, metilester de ácido pirúvico, N-acetil-D-glucosamina, Tween 40, Tween 80, D-manitol, ácido D-galacturónico y b-metil-D-glucósido, donde estos últimos cinco obtiene 92,6% de utilización. En el caso del potrero, los siete compuestos difieren en su utilización con el ácido 2 hidroxibenzoico, el cuál es el sustrato con menor utilización a las 48 horas. En cambio, en el ecosistema bosque, los ocho compuestos con una mayor utilización, difieren significativamente con la a-D-Lactosa, el a-ciclodextrin, el ácido itaconico, la D-xilosa, el ácido a-ketobutirico, la feniletilancina y el ácido 2-hidroxibenzoico. El menor porcentaje de utilización utilizado en este ecosistema fue la D-xilosa con 29,6%.

**Utilización por grupo de carbono.** Los sustratos de C se clasificaron en 6 grupos basados en su estructura química (Cuadro 3). La utilización de los sustratos fue aparente a las 48 horas después de la inoculación. El comportamiento determinado en esta investigación para el aprovechamiento de carbono según los grupos de compuestos evaluados en cada ecosistema, indica la presencia de un solo rango porcentual de utilización, el cual fluctúa entre 57,4 a 68,3 % para el ecosistema de potreros, mientras que, en el bosque, este rango presento un mínimo de 58,3 y un máximo de 76,8 %. En todos los

CUADRO 1  
Variación en la biomasa de carbono y la actividad microbiana en el suelo

| Uso del suelo | Biomasa de carbono $\mu\text{g g}^{-1}\text{suelo}^*$ | Actividad microbiana $\text{mg C} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ día}$ |
|---------------|---|---|
| Potrero       | 653 <sup>a</sup>                                      | 502   |
| Bosque        | 199 <sup>b</sup>                                      | 420   |

\*Letras distintas en la misma columna, implican diferencias significativas según Duncan ( $p < 0,05$ ).

CUADRO 2

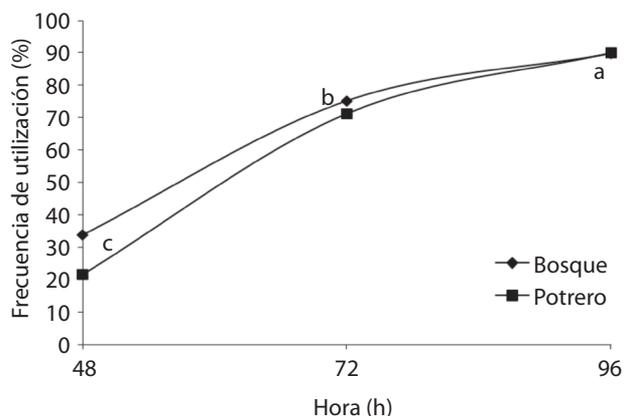
Variación en la utilización de fuentes de carbono en un periodo de 48 horas por los microorganismos presentes en el suelo

| Sustrato                         | Ecosistema (%)*     |                        |
|----------------------------------|---------------------|------------------------|
|                                  | Potrero             | Bosque                 |
| L-Asparagina                     | 85,19 <sup>a</sup>  | 81,48 <sup>abc</sup>   |
| Metil ester de ácido piruvico    | 85,19 <sup>a</sup>  | 88,89 <sup>ab</sup>    |
| Tween 40                         | 85,19 <sup>a</sup>  | 92,59 <sup>a</sup>     |
| Tween 80                         | 85,19 <sup>a</sup>  | 92,59 <sup>a</sup>     |
| D-Celobiosa                      | 85,18 <sup>a</sup>  | 70,37 <sup>abcde</sup> |
| N-Acetil-D-Glucosamina           | 81,48 <sup>a</sup>  | 88,89 <sup>ab</sup>    |
| D-Manitol                        | 81,48 <sup>a</sup>  | 92,59 <sup>a</sup>     |
| D,L-a-Glicerol Fosfato           | 74,07 <sup>ab</sup> | 77,78 <sup>abc</sup>   |
| Acido D-Galacturonico            | 74,07 <sup>ab</sup> | 92,59 <sup>a</sup>     |
| Glicógeno                        | 70,37 <sup>ab</sup> | 70,37 <sup>abcde</sup> |
| L-Fenilalanina                   | 66,67 <sup>ab</sup> | 66,67 <sup>abcde</sup> |
| L-Serina                         | 66,67 <sup>ab</sup> | 77,78 <sup>abc</sup>   |
| b-Metil-D-Glucósido              | 66,67 <sup>ab</sup> | 92,59 <sup>a</sup>     |
| Lactona de Acido D-Galacturonico | 66,67 <sup>ab</sup> | 74,07 <sup>abcd</sup>  |
| Acido 4-Hidroxibenzoico          | 66,67 <sup>ab</sup> | 77,78 <sup>abc</sup>   |
| a-D-Glucosa-1-Fosfato            | 62,96 <sup>ab</sup> | 74,07 <sup>abcd</sup>  |
| Acido 9-Hidroxibutirico          | 62,96 <sup>ab</sup> | 55,56 <sup>abcde</sup> |
| i-Erythritol                     | 59,26 <sup>ab</sup> | 55,56 <sup>abcde</sup> |
| Acido D-Málico                   | 59,26 <sup>ab</sup> | 74,07 <sup>abcd</sup>  |
| a-D-Lactosa                      | 59,26 <sup>ab</sup> | 44,45 <sup>cde</sup>   |
| Glicil Acido L-Glutámico         | 59,26 <sup>ab</sup> | 59,26 <sup>abcde</sup> |
| a-Ciclodextrin                   | 55,56 <sup>ab</sup> | 44,44 <sup>cde</sup>   |
| L-Treonina                       | 51,85 <sup>ab</sup> | 55,56 <sup>abcde</sup> |
| Putresceína                      | 51,85 <sup>ab</sup> | 70,37 <sup>abcde</sup> |
| Acido D-Glucosaminico            | 48,15 <sup>ab</sup> | 70,37 <sup>abcde</sup> |
| L-Arginina                       | 48,15 <sup>ab</sup> | 70,37 <sup>abcde</sup> |
| Acido Itaconico                  | 44,44 <sup>ab</sup> | 40,74 <sup>cde</sup>   |
| D-Xilosa                         | 40,74 <sup>ab</sup> | 29,63 <sup>e</sup>     |
| Acido a-Ketobutirico             | 37,04 <sup>ab</sup> | 48,15 <sup>bcdde</sup> |
| Feniletilancina                  | 37,04 <sup>ab</sup> | 33,33 <sup>de</sup>    |
| Acido 2-Hidroxibenzoico          | 22,22 <sup>b</sup>  | 48,15 <sup>bcdde</sup> |

\*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias entre medias Duncan ( $p < 0,05$ ).

grupos, con excepción de amina, la utilización de los sustratos fue mayor en el bosque que en el potrero, además, de forma general y al calcular el porcentaje de utilización promedio en cada ecosistema, se obtiene 6,3 % mayor utilización en el bosque que en el potrero.

**Frecuencia de utilización de los sustratos:** A las 48 horas, la comunidad microbiana de ambos sistemas presentó un porcentaje de utilización por debajo del 35%,



**Fig. 1.** Frecuencia de aprovechamiento de las fuentes de carbono según los microorganismos presentes en el suelo (letras diferentes indican diferencias significativas entre medias de tiempo ( $p < 0,05$ )).

CUADRO 3

Variación en la utilización según grupo de carbono en un periodo de 48 horas por los microorganismos presentes en el suelo

| Grupo         | Ecosistema (%) |          |
|---------------|----------------|----------|
|               | Potrero*       | Bosque** |
| Amina         | 67,9           | 64,2     |
| Aminoácidos   | 57,8           | 58,3     |
| Carbohidratos | 59,3           | 66,2     |
| Carboxílico   | 68,3           | 71,6     |
| Fenólico      | 57,4           | 72,2     |
| Polímeros     | 61,1           | 76,8     |

\* $p = 0,6488$  \*\* $p = 0,3358$ .

a las 72 horas este se incrementó al doble y a las 96 horas alcanzó valores cercanos al 90%. Conforme avanza el tiempo post inoculación, la diferencia de los porcentajes de utilización en ambos ecosistemas se reduce, hasta presentar una similitud a las 96 horas (Figura 1).

**Índices de diversidad:** Con el índice Shannon el área de bosque presenta mayor biodiversidad (2,9) que el área de potrero (2,7). En el caso de del índice de homogeneidad, se obtiene una probabilidad de tres veces mayor en el ecosistema bosque de obtener una misma función metabólica al tomar una muestra al azar, que el suelo extraído de un potrero.

## DISCUSIÓN

La biomasa microbiana se considera el principal agente para la descomposición de la materia orgánica del suelo, las transformaciones de nutrimentos, la estabilidad estructural y, como indicador de contaminación y calidad del suelo (Islam & Wright, 2006; Brookes et al., 2008). El mayor contenido de biomasa microbiana encontrado en el pasto se podría explicar por las características del cultivo, donde el forraje es cosechado cada 25 días, lo cual estimula el proceso de generación y degradación de raíces (Georgieva, Chritensen, & Stevnbach, 2005).

Los resultados obtenidos por Kaštovská & Šantrůčková, (2007) sustentan esta idea, los autores encontraron que el 9% del  $^{13}\text{C}$  fijado por el forraje fue exudado en solo 2 horas después del marcaje. Además observaron que el 4% del C fijado al inicio del experimento fue translocado al C microbiano, siendo el pool de C el que sufrió un enriquecimiento con el isótopo y una lenta pérdida de C, este estudio refuerza la importancia del C derivado de las raíces como sustrato para la flora microbiana y su parcial inmovilización en la biomasa microbiana del suelo. Sumado a esta situación, la capa de material orgánico (mulch) en la superficie del suelo, está más expuesta a las condiciones de luz y precipitación en los forrajes recién pastoreados, que en la superficie del suelo boscoso, donde la degradación de estos materiales se ve reducida.

Por otro lado, en cada ciclo de pastoreo, ocurre la deposición de excretas con nutrimentos de fácil disponibilidad, una relación carbono/nitrógeno apropiada y el aporte de microorganismos, que participan en la degradación de la materia orgánica (Bilotta et al., 2007). Los resultados obtenidos en esta investigación indican un impacto positivo de un sistema de pastoreo con una carga de dos animales por hectárea, que contemple un periodo de descanso apropiado, en este caso de 25 días para el pasto Estrella africana, sobre la población microbiana del suelo.

En relación con el uso del suelo, Kara & Bolat (2008), encontraron una mayor biomasa microbiana en suelos de bosque que en un sistema forrajero mientras que Kaschuk et al., (2011) observaron que la introducción de prácticas agrícolas afectó la biomasa de C, con una disminución del 31%. En el caso de las cosechas anuales, estas redujeron la biomasa en el suelo, en 53%. Además estos autores, informan que la tasa biomasa/C total disminuyó significativamente con la transformación de bosque a plantación perenne (25%), pastos (26%) y cosechas anuales (20%). En las áreas utilizadas para el pastoreo de semovientes, informaron que la biomasa y la actividad microbiana fueron significativamente reducidas por la intensidad de pastoreo. Las parcelas pastoreadas, en

particular la sometida a una mayor intensidad, tuvieron valores menores de biomasa y respiración basal. En cambio, los pastos que no se sometieron a pastoreo, registraron mayor biomasa de C y respiración basal. Experiencias que indican, que los sistemas mal manejados presentan un efecto directo sobre la biomasa microbiana del suelo, lo que limita los procesos de mineralización y reciclaje de la materia orgánica en estos ecosistemas (Brookes et al., 2008).

En ambos ecosistemas, todos los sustratos fueron utilizados, pero en diferente proporción, lo que indica una biomasa microbiana similar en la capacidad de utilizar fuentes de carbono, conclusión que se visibiliza, al observar los valores obtenidos para los indicadores de diversidad calculados. Lo cual se podría sugerir poblaciones nativas similares, ya que 15 años atrás, el área de regeneración natural fue utilizada como área de pastoreo.

En el bosque estudiado hay una mayor diversidad de plantas que en el potrero, la diferencia en la composición de plantas puede generar compuestos que pueden favorecer el desarrollo de comunidades degradadoras específicas en cada sistema. Al respecto He et al., (2008) encontraron que a mayor diversidad de plantas, mayor diversidad metabólica. Una posible explicación puede ser que un aumento en la riqueza de las plantas y la diversidad podría deberse a una mayor heterogeneidad de recursos en el suelo.

En todos los grupos, la utilización de los sustratos fue mayor en el bosque que en el potrero, además, de forma general y al calcular el porcentaje de utilización promedio en cada ecosistema, se obtiene una mayor utilización en el bosque que en el potrero (6,3%), lo cual se podría atribuir a una mayor diversidad en plantas, lo cual genera, material senescente con una mayor variedad de sustancias, donde los microorganismos están adaptados y presentan una mayor facilidad de utilizar los sustratos.

El comportamiento que presentaron los compuestos cíclicos en ambos ecosistemas podría relacionarse a la estructura de sus átomos de carbono, que los hace más difíciles de degradar. Por otro lado, Mohamed et al., (2009) indican que la inducción y/o selección de bacterias que utilicen ácido fenólico en el suelo y rizosfera ha sido observada cuando los suelos son enriquecidos con ácidos fenólicos a una concentración de  $0,25 \mu\text{mol/g}$  suelo. La adición de estas concentraciones resultó en la inducción de bacterias capaces de utilizar este compuesto como única fuente de C. Cabe destacar que el compuesto Ácido 2-Hidroxibenzoico fue menos utilizado en el pasto que en el bosque, el aporte de una mayor diversidad de sustratos al suelo del bosque podría favorecer una flora microbiana capaz de utilizar este compuesto.

El suelo de potrero presentó una mayor biomasa microbiana debida al aporte continuo de C a través de la rizodeposición y excretas de los semovientes, mientras que el suelo de bosque tuvo una mayor diversidad funcional que se atribuye a la mayor diversidad de especies presente en el bosque.

## AGRADECIMIENTOS

La investigación se llevó a cabo con el aporte de los proyecto de la Universidad de Costa Rica VI-510-A7-805 Módulo Lechero de la Sede del Atlántico y del proyecto VI-733-A1-825 Microbiología Agrícola del Centro de Investigaciones Agronómicas.

## REFERENCIAS

- Anderson, J. P. (1982). Soil respiration. Methods of soil analysis. Part 2. *Chemical and microbiological properties*, 831-871.
- Avila, G. (2000). *Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol*. (Tesis de maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Cartago, Costa Rica.
- Beetz, A. (2002). *A brief overview of nutrient cycling in pastures*. NCAT Agriculture Specialist, ATTRA. November. 11 p.
- Bilotta, G. S., Brazier, R. E., & Haygarth, P. M. (2007). The impacts of grazing animals on the quality of soils, vegetation, and surface waters in intensively managed grasslands. *Advances in Agronomy*, 94, 237-280.
- Brookes, P. C., Cayuela, M. L., Contin, M., De Nobili, M., Kemmitt, S. J., & Mondini, C. (2008). The mineralisation of fresh and humified soil organic matter by the soil microbial biomass. *Waste Management*, 28, 716-722.
- Corporación de Fomento Ganadero (CORFOGA). (2001). *Censo ganadero*. Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica.
- Durango, W., Uribe, L., Henríquez, C., & Mata, R. (2015). Respiración, biomasa microbiana y actividad fosfatasa del suelo en dos agroecosistemas y un bosque en Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense. Agronomía Costarricense*, 39, 37-46.
- García, E. (1991). Impacto de las actividades agropecuarias sobre el ambiente. *Serie problemas ecológicos*. Sección de Ciencias Biológicas. Escuela de Estudios Generales. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 175 pp.
- Georgieva, S., Chritensen, S., & Stevnbach, K. (2005). Nematode succession and microfauna-microorganism interactions during root residue decomposition. *Soil Biology & Biochemistry*, 37, 1763-1774.
- He, X. Y., Wang, K. L., Zhang, W., Chen, Z. H., Zhu, Y. G., & Chen, H. S. (2008). Positive correlation between soil bacterial metabolic and plant species diversity and bacterial and fungal diversity in a vegetation succession on Karst. *Plant and Soil*, 307, 123-134.
- Hendrix, P.F., Crossley, D.A., Blair, J.M. & Coleman, D.C. (1990). *Soil biota as compounds of sustainable agroecosystems*. Sustainable agricultural systems, 637-654.
- Hernández, T. & García, C. (2003). Estimación de la respiración microbiana del suelo. García, C., F. Gil S., T. Hernández, y C. Trasar C. (eds). *Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos. Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana*. Mundi-Prensa. Madrid, 311-346.
- Holmann, F., Argel, P., Rivas, L., White, D., Estrada, R., Burgos, C., Pérez, E., Ramírez, G. & Medina, A. (2004). *¿Vale la pena recuperar pasturas degradadas? Una evaluación de los beneficios y costos desde la perspectiva de los productores y extensionistas pecuarios en Honduras*. ILRI-CFC-CIAT.
- Islam, K. & Wright, S. (2006). *Microbial biomass measurement methods*. Encyclopedia of soil science, second edition. Taylor & Francis, New York, 1067-1070.
- Jackson, L. E., Pascual, U. & Hodgkin, T. (2007). Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. *Agriculture, ecosystems & environment*, 121, 196-210.
- Kara, O & Bolat, O. (2008). Soil microbial biomass C and N changes in relation to forest conversion in the Northwestern Turkey. *Land Degradation & Development*, 19 (4), 421-428.
- Kaštovská, E., & Šantrůčková, H. (2007). Fate and dynamics of recently fixed C in pasture plant-soil system under field conditions. *Plant and Soil*, 300, 61-69.
- Kaschuk, G., Alberton, O. & Hungria, M. (2011). Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: inferences to improve soil quality. *Plant and soil*, 338, 467-481.
- Kennedy, A. C., & Papendick, R. I. (1995). Microbial characteristics of soil quality. *Journal of soil and water conservation*, 50, 243-248.
- Mohamed, M. A. N., Sebai, T. N. M. & Hartmann, A. (2009). Effect of co-enrichment, soybean rhizosphere and p-hydroxybenzoic acid, on microbial metabolic diversity and p-HBA degradation. *J. Agric. Biol. Sci.*, 5, 301-309.
- Narula, N., Deubel, A., Gransee, A., Kumar Behl, R. & Merbach, W. (2002). Impact of fertilizers on total microbiological flora in planted and unplanted soils of long-term fertilization experiment. *Archives of Agronomy and Soil Science* 48, 171-180.
- Ndaw, S. M., Gama-Rodríguez, A. C., Gama-Rodríguez, E. F., Sales, K. R. N. & Rosado, A. S. (2009). Relationships between bacterial diversity, microbial biomass, and litter quality in soils under different plant covers in northern Rio de Janeiro State, Brazil. *Canadian journal of microbiology*, 55, 1089-1095.

- Paul, E.A., (2007). *Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press. 275p.
- Parkinson, D. & Coleman, D. C. (1991). Microbial communities, activity and biomass. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 34, 3-33.
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA). (2015). *Boletín estadístico agropecuario N° 23*. Secretaria ejecutiva de planificación sectorial agropecuaria. Área de estudios económicos e información. San José, Costa Rica.
- Šimek, M., Brůček, P., Hynšt, J., Uhlířová, E. & Petersen, S. O. (2006). Effects of excretal returns and soil compaction on nitrous oxide emissions from a cattle overwintering area. *Agriculture, ecosystems & environment*, 112, 186-191.
- Singh, J. S., Pandey, V. C. & Singh, D. P. (2011). Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140, 339-353.
- Vance, E. D., Brookes, P. C., & Jenkinson, D. S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil biology and Biochemistry*, 19, 703-707.
- Van Der Heijden, M. G., Bardgett, R. D., & Van Straalen, N. M. (2008). The unseen majority: Soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology letters*, 11, 296-310.
- Xu W., Ge Z., Poudel D. (2015). Application and optimization of biolog ecoplates in functional diversity studies of soil microbial communities. MATEC Web Conference 22:04015. DOI:10.1051/mateconf/20152204015.

