

DINÁMICA BIOLÓGICA Y DE NUTRIMENTOS EN UN ULTISOL CON DIFERENTE COBERTURA VEGETAL. CALABACITO, PANAMÁ. 1990-1996.

José Villarreal ¹; Benjamín Name ²

RESUMEN

Se evaluó la biomasa y la actividad microbiana en un suelo ácido, Typic Plinthudult, manejado con diferente cobertura vegetal. Se determinó la influencia de la cobertura sobre la dinámica de los macro y micronutrientes en la Estación Experimental de Calabacito en Veraguas, Panamá. Las coberturas evaluadas fueron: 1) gramínea nativa (Gn), en su mayoría compuesta por *Andropogon bicornis*; 2) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 asociada a *Arachis pintoii* CIAT 18744 (Bh + Ap); 3) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 asociada con *Acacia mangium* (Wild) (Bh + Am); 4) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 en donde se cortaron y extrajo la madera de *Acacia mangium* (Wild) (Bh + Am cortadas); 5) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 asociada con *Arachis pintoii* CIAT 18744 y *Acacia mangium* (Wild) (Bh + Ap + Am); y 6) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 sola (Bh sola). A nivel de laboratorio se utilizó el diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento. La biomasa microbiana se determinó utilizando el procedimiento fumigación - extracción, por ser efectivo en suelos ácidos. Se determinó el porcentaje de fijación de fósforo, potasio, cobre, manganeso y zinc en los suelos de las parcelas comparadas. Los resultados muestran que existe una correlación entre la actividad y biomasa microbiana sugiriendo que son altamente dependientes. La asociación Bh + Ap, aporta elevadas concentraciones de nutrientes al suelo, favorece la recuperación de éste y la vida microbiana. Su fácil adaptabilidad a los suelos ácidos degradados resulta beneficiosa para su recuperación. Los niveles de fijación de fósforo, potasio y elementos menores son más bajos en aquellos suelos que presentan mayor acumulación de materia orgánica y mayor biomasa microbiana (asociaciones Bh + Am cortadas y Bh + Ap + Am).

PALABRAS CLAVES: Biomasa microbiana, dinámica biológica, dinámica de nutrientes, Ultisol, cobertura vegetal, asociación gramínea- leguminosa.

¹ Lic. en Química, M.Sc. Ciencias del Suelo. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC).
e-mail: idiap-div@cwpanama.net.

² Ing. Agr., M.Sc. Edafología. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC).
e-mail: idiap-div@cwpanama.net.

NUTRIENTS AND BIOLOGICAL DYNAMICS IN AN ULTISOL WITH DIFFERENT VEGETABLE COVERAGE. CALABACITO, PANAMA. 1990-1996.

The biomass and microbial activity were evaluated in an acid soil, Typic Plinthudult, handled with different vegetable coverage. It was determined the influence of the soil coverage over the macro and micronutrients dynamics in Calabacito Farm Station, Veraguas, Panama. The vegetable coverage evaluated were as follows: Native grasses (Ng): main component *Andropogon bicornis*; *Brachiaria humidicola* CIAT 679 associated to *Arachis pintoii* CIAT 18744 (Bh+ Ap); *Brachiaria humidicola* CIAT 679 associated to *Acacia mangium* (Wild) (Bh + Am); 3) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 where the *Acacia mangium* was cutted and the wood retired (Bh + Am cut); 5) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 associated to *Arachis pintoii* CIAT 18744 and *Acacia mangium* (Wild) (Bh + Ap + Am) and 6) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 only (Bh only). The experimental design was a Completely Randomized applied in the laboratory with four replications by treatments. The microbial biomass was determined using the fumigation-extraction methodology; that is effective in acid soils. It was determined the percentage of absorption of phosphorous, potassium, copper, manganese and zinc in the soil of the compared plots. The experimental results show a correlation between activity and microbial biomass indicating that they are highly dependent. The association Bh + Ap supports to the soil with high concentration of nutrients, and favours the soil's recovery and microbial life. Its adaptability to acid degraded soils benefits its recovery. The percentage of absorption of phosphorous, potassium and micronutrients are lower in the soil that show higher organic matter accumulation and higher microbial biomass (association Bh + Am cut and Bh + Ap + Am).

KEYWORDS: Microbial biomass; biological dynamics; micro and macronutrients dynamics; Utisol; vegetable coverage; association grass-leguminous.

INTRODUCCIÓN

La actividad biológica de los suelos es fundamental para la solubilización, movilización y disponibilidad de los nutrientes a los cultivos. En la agricultura moderna es necesario conocer el estado de la actividad biológica de un suelo y qué le ocurre a dicha actividad por efecto de los distintos usos y manejos dados a un mismo tipo de suelo.

Con el conocimiento de la actividad biológica de los suelos se completa una visión integral de las capacidades del recurso suelo para contribuir con una mayor o menor fertilidad. Ese conocimiento permite relacionar la movilidad y disponibilidad que presenta cada nutriente con su contenido total o biodisponible, lo que en gran medida se ve afectado por la bioactividad y biodiversidad que presenta el suelo (Borie y col., 1999).

Actualmente la determinación de la biomasa y de la respiración microbiana,

calidad (Campbell y col., 1992; Doran y col., 1994). Para Jenkinson y Ladd (1981), la biomasa microbiana es la fracción lábil de la materia orgánica del suelo, fuente principal de nutrientes biodisponibles. Según Grissi (1997) su determinación es muy importante ya que por medio de ella se pueden detectar modificaciones en las características del suelo mucho antes de las alteraciones en la materia orgánica. Su estimación es en un sentido más relativo que absoluto, pues la heterogeneidad de los suelos impide que sea tratado como una entidad única y bien definida (Grissi y Gray, 1986).

La utilización de sistemas tradicionales de preparación del suelo, cultivos anuales sucesivos, la no utilización de sistemas de conservación, provoca una reducción de los niveles de materia orgánica en el suelo, como resultado del aumento en la velocidad de descomposición anual o reducción de la adición de residuos orgánicos.

El empleo de sistemas de rotación de cultivos con alta producción de residuos posibilita el aumento de la biomasa y una mayor actividad microbiana (Cattelan y Vidor, 1990). Además, la calidad de los residuos influye sobre su velocidad de descomposición y sobre la composición de la comunidad microbiana que actúa en este proceso.

De esta forma, sistemas de manejo del suelo con diferentes métodos de

preparación y diferentes cultivos, resultan en ambientes totalmente distintos. Por esta razón, conociendo que la microbiota afecta directa e indirectamente la productividad agrícola, la evaluación de este componente del suelo resulta importante para darle al mismo, un manejo adecuado, buscando su conservación y productividad.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la biomasa y la actividad microbiana de un suelo ácido cubierto con diferentes cobertura vegetal y determinar la influencia que tiene esta cobertura sobre la dinámica de los macro y micronutrientes del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área experimental

El área experimental se encuentra en la Estación Experimental del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) en Calabacito, distrito de San Francisco, provincia de Veraguas, República de Panamá. Está localizada a 8° 15' de latitud Norte y 81° 5' de longitud Oeste, con una elevación de 100 msnm, precipitación y temperatura promedio anual de 2,500 mm y 27°C, respectivamente. El suelo es un Typic Plinthudult, fino, mezclado, isohypertérmico, profundo, ácido, estructura en bloques subangulares, baja capacidad de intercambio

catiónico (14 cmol/kg; promedio del perfil), alto contenido de aluminio intercambiable y elevada capacidad de fijación de fosfatos (Jaramillo, 1987).

Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: 1) gramínea nativa (*Andropogon bicornis*) (cola de zorra) (Gn); 2) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 + *Arachis pintoi* CIAT 18744 (Bh + Ap); 3) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 + *Acacia mangium* (Wild) (Bh + Am); 4) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 donde se cortó y extrajo la madera de *Acacia mangium* (Wild) (Bh + Am cortadas), 5) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 + *Arachis pintoi* CIAT 18744 + *Acacia mangium* (Wild) (Bh + Ap + Am) y 6) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 sola (Bh sola).

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento.

Las muestras se tomaron de un área de la Finca Experimental de Calabacito, donde se realizó un experimento de larga duración entre los años de 1990 y 1996, en parcelas donde se comparó el efecto de Am asociada con Gn y Bh (Name y Villarreal, 2001).

A las parcelas agroforestales de Am entre 1992 y 1993, se les aplicaron niveles de 600 kg/ha de roca fosfórica y 3000 kg de cal/ha.

Las muestras en la parcela de Bh + Am cortadas fueron tomadas después de seis meses que la madera de los árboles de Am había sido retirada del lugar.

Muestreo del suelo y análisis químico

Las muestras de suelo de cada parcela fueron colectadas entre 0 y 20 cm de profundidad en plena época lluviosa (octubre de 2000).

Las muestras fueron secadas al aire, trituradas y cernidas a través de un tamiz de 2 mm. Se analizó en cada caso el contenido de fósforo, potasio y micronutrientes, extraídos con la solución de Carolina del Norte; calcio, magnesio y aluminio intercambiable, extraídos con la solución de KCl 1 N, textura por el método de Bouyoucos, pH en solución suelo – agua (1:2.5) y materia orgánica utilizando el método de digestión húmeda de Walkley – Black (Villarreal y Name, 1996). Además, se determinaron otros parámetros como porcentaje de nitrógeno total; acidez extraíble, capacidad de intercambio catiónico y suma de bases (Soil Conservation Service, 1992).

A cada muestra de suelo se le determinó el porcentaje de fijación de fósforo, potasio, cobre, manganeso y zinc, según la metodología propuesta por Díaz – Romeu y Hunter (1978), para determinar la influencia del manejo sobre la dinámica de los nutrientes. Al mismo tiempo

se realizaron análisis de tejido vegetal (hojas y tallos) para conocer la calidad nutricional de la cobertura vegetal, presente en cada tratamiento.

Determinación del carbono de la biomasa microbiana

Para evaluar el carbono de la biomasa microbiana, se utilizó el procedimiento de fumigación – extracción (Tate y col., 1998), por ser más efectivo en suelos ácidos. Se adoptó el factor de corrección 0.33 propuesto por Sparling y West (1988) (citado por Gama-Rodríguez, 1992).

Se evaluó también la relación $C_{\text{microbiano}}/C_{\text{orgánico}}$ a través de la fórmula:

$$\frac{C_{\text{microbiano}}}{C_{\text{orgánico}}} \times 100$$

para establecer el índice de descomposición en la dinámica de la materia orgánica.

Evaluación de la actividad microbiana por medio de la producción de $C\text{-CO}_2$

Las muestras de suelo fueron incubadas a 25°C ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) durante cinco días en frascos de vidrio y mantenidos en lugar oscuro. Se ajustó la humedad hasta 70% de la capacidad de campo de cada muestra. El CO_2 producido fue captado

por una solución de NaOH 1 mol/lit colocado en el interior del frasco y titulada con HCl 0.5 M (Stotzky, 1965).

Análisis de los resultados

Los promedios de los tratamientos fueron comparados por medio de las pruebas de rangos múltiples de Duncan (Steel y Torrie, 1960).

Se determinó la ecuación de regresión que mejor se ajusta para explicar el fenómeno de la fijación de fósforo, potasio, manganeso, cobre y zinc en cada tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características edáficas de los suelos

El estado de fertilidad de los suelos donde se realizó el experimento en la Estación Experimental de Calabacito aparece en el Cuadro 1. Se destaca el elevado nivel de materia orgánica en la parcela cuya cobertura del suelo es Bh + Ap (4.42 %) y Bh + Am cortadas (4.69 %). Se observa, especialmente en la parcela Bh + Ap, un efecto marcado en la reducción del nivel de aluminio intercambiable del suelo (1.6 cmol/kg) aunque no se refleja aún el mismo efecto sobre el pH. Estas dos parcelas también muestran un mayor aporte de nitrógeno al suelo, como resultado del elevado

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS CON DIFERENTES ASOCIACIONES DE GRAMÍNEA – LEGUMINOSAS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE CALABACITO, VERAGUAS.

Treatmento	A L Arc %	Textura	pH	P —mg/kg—	K	Ca	Mg —cmol/kg—	Al	MO %	Mn	Fe —mg/kg—	Cu	Zn	A.E %	C.I.C cmol/ kg	N %
			1: 2.5													
Gn	50-12-38	ArcA	4.2	Trazas	24	0.21	0.10	2.3	3.08	26	24	3	2	26	26.4	0.15
Bh + Ap	55-16-32	Farc	4.0	Trazas	28	0.27	0.10	1.6	4.42	19	74	3	2	35.2	23.2	0.22
Bh + Am	44-18-38	Farc	4.1	Trazas	28	0.25	0.08	3.6	4.15	72	32	3	Trazas	28.8	26.0	0.20
Bh + Am corfabis	44-16-40	Farc	4.0	Trazas	28	0.30	0.12	3.2	4.69	89	105	8	1	33.6	35.2	0.24
Bh + Ap + Am	44-14-42	Arc	4.0	Trazas	31	0.25	0.12	2.5	3.89	34	28	5	1	31.6	32.0	0.17
Bh sola	52- 8- 40	ArcA	4.0	Trazas	28	0.34	0.13	5.7	3.35	24	32	5	1	30.8	35.6	0.16

contenido de este nutrimento en la materia seca de estas leguminosas en comparación con la Gn (Cuadro 3).

Cabe destacar que en los suelos de la Estación Experimental donde se realizan ensayos con diferentes cultivos y este sufre una preparación para la siembra, se ha encontrado una CIC promedio de 14 cmol/kg de suelo (Jaramillo, 1987) pero probablemente por el buen manejo uso y cobertura del suelo, esta propiedad ha mejorado en todas las parcelas estudiadas, por arriba de 23 cmol/kg de suelo.

Se verifica en el Cuadro 2 que la parcela con Bh + Am cortadas presentó mayores valores de carbono de la biomasa microbiana, seguido de las parcelas con Bh + Ap y Bh + Ap + Am. Estos mismos tratamientos presentaron los mayores valores de actividad microbiana. Es interesante observar que Gn obtuvo mayor carbono de biomasa y actividad microbiana que la parcela con Bh sola. Los pastos perennes, principalmente aquellos constituidos por gramíneas, generalmente aportan un bajo porcentaje de nutrimentos al suelo; sin embargo, son muy ricos en lignina compuesto que es una excelente fuente de carbono para el suelo y presentan un gran efecto rizosférico al poseer un sistema radical muy denso y en constante renovación. Según Rovira (1978), debido a la gran proximidad de las raíces en estos suelos, estas representan una gran fuente de carbono orgánico disponible para la

población microbiana, estimulando su biomasa.

Jenkinson y Powlson (1976), también encontraron mayores valores de biomasa en parcelas con gramínea nativa comparado con otros tipos de gramíneas.

Según Salinas-García y col. (1997) el principal factor limitante para la comunidad microbiana es la disponibilidad de carbono. Así, la influencia de la disponibilidad de nitrógeno sobre el crecimiento microbiano está también relacionada con la dependencia de la disponibilidad de carbono.

Una de las posibles causas de la mayor biomasa y actividad microbiana encontradas en la parcela donde se cortaron los árboles de *Acacia mangium* puede ser debido a la gran acumulación superficial de residuos vegetales a lo largo de los años y menores pérdidas de materia orgánica. Esta acumulación de residuos vegetales mantenida durante varios años en la superficie, lleva a una acumulación de materia orgánica que es muy rica en fracciones lábiles: carbohidratos, compuestos nitrogenados y la misma biomasa microbiana y sus metabolitos, posibilitando mayor actividad microbiana.

Según Salton y Mielniczuk (1995) los residuos mantenidos en la superficie además de constituir una fuente de carbono orgánico y nutrimentos, protegen el suelo permitiendo menores variaciones

CUADRO 2. CARBONO DE LA BIOMASA Y ACTIVIDAD MICROBIANA EN LAS PARCELAS BAJO ESTUDIO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE CALABACITO, VERAGUAS.

Tratamientos	Carbono de la Biomasa Microbiana mg C-CO ₂ /kg	Actividad Microbiana
Gn	567.7 c**	1350.2 a**
Bh + Ap	877.0 b	1363.2 a
Bh + Am	505.0 c	1314.5 a
Bh + Am cortadas	1108.0 a	1363.5 a
Bh + Ap + Am	836.5 b	1378.2 a
Bh sola	348.0 c	1176.0 b

** Significativo al nivel de 1% de probabilidad por la prueba de Duncan.
Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa ($P > 0.01$).

de temperatura y humedad. García y Rice (1994) encontraron que la reducción del carbono de la biomasa microbiana coincidía con temperaturas altas y estrés hídrico durante el verano.

La biomasa presentó un coeficiente de correlación significativo con los valores de la actividad microbiana (0.92**) y con el contenido de carbono orgánico en el suelo (0.69*), mostrando como se presumía, que la actividad es dependiente de la biomasa microbiana y que ésta última depende del contenido de carbono que le suministra el suelo. Martins y col. (1999) encontraron resultados semejantes comparando tres ambientes distintos en un suelo del noreste del Brasil.

La Figura 1 muestra que el carbono de la biomasa microbiana varió entre 1.8 % (Bh sola) y 4.1% (Bh + Am cortadas) del carbono orgánico total en cada tratamiento, confirmando los estudios realizados por Sánchez (1976) que en suelos ácidos tropicales encontró que la biomasa microbiana representa entre 1 y 4% del carbono orgánico del suelo.

Se observa claramente en el cuadro 3 que el mayor contenido de nitrógeno se obtuvo en *Arachis pintoï* CIAT 18744 así como en las hojas nuevas de *Acacia mangium* Wild el cual fue muy superior al encontrado en las hojas maduras. El contenido de fósforo, potasio, calcio y magnesio también fue más alto en el tejido de *Arachis pintoï* CIAT 18744, siendo menor el contenido de man-

ganeso, elemento este que podría inhibir la actividad microbiana en un determinado momento si su contenido alcanza niveles muy elevados. Estos residuos al ser descompuestos aportan estos nutrientes al suelo.

Es probable que el mayor aporte de nitrógeno del Ap y Am haya favorecido una mayor actividad y, por consiguiente, mayor biomasa microbiana en este ambiente al ofrecer un mayor aporte de nutrientes al suelo. Se comprueba de esta forma que uno de los principales aportes de las leguminosas al suelo es el aumento de la disponibilidad e incorporación de nitrógeno al suelo.

Del Cuadro 3, también se puede extraer que aquellas coberturas que aportan mayor contenido de nitrógeno al suelo propician una mayor actividad microbiana lo que trae como consecuencia un aumento en la dinámica de descomposición de la materia orgánica, liberando los nutrientes que se encuentran en niveles elevados e inmovilizando aquellos que se encuentran en niveles bajos y críticos para la supervivencia de la biomasa microbiana.

Según Gama-Rodríguez y col., (1997) en suelos de baja fertilidad y con cobertura vegetal pobre en nitrógeno, la velocidad de descomposición de la materia orgánica sería menor, propiciando la inmovilización del nitrógeno de la biomasa microbiana. En este tipo de cobertura vegetal la biomasa microbiana

CUADRO 3. CONTENIDO DE MACRO Y MICRO NUTRIMENTOS EN GRAMINEAS Y HOJA DE *Acacia mangium* Willd. DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE CALABACITO.

Cobertura vegetal	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
Ap	2.20 ^{a**}	0.19 ^{a*}	3.35 ^{a*}	0.50 ^{a**}	0.21 ^{a**}	165.0 ^{b*}	350.0 ^{b*}	105.0 ^a	10.0 ^a ^{ns}
Gn	0.52 ^d	0.06 ^b	1.02 ^b	0.05 ^d	0.02 ^e	215.0 ^b	720.0 ^a	70.0 ^{ab}	10.0 ^a
Bh	0.65 ^c	0.04 ^b	1.77 ^b	0.01 ^e	0.04 ^d	197.5 ^b	147.5 ^c	50.0 ^{ab}	10.0 ^a
Hojas maduras de Am	1.53 ^b	0.05 ^b	1.70 ^b	0.30 ^b	0.05 ^c	585.0 ^a	85.0 ^d	75.0 ^{ab}	15.0 ^a
Hojas jóvenes de Am	2.20 ^a	0.05 ^b	1.50 ^b	0.27 ^c	0.06 ^b	655.0 ^a	75.0 ^e	40.0 ^b	10.0 ^a

¹ Determinado en peso seco de planta.

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa al nivel de 1 y 5%, por la prueba de Duncan.

* Significativo al nivel de 5% de probabilidad;

** Significativo al nivel de 1% de probabilidad

n.s. No significativo

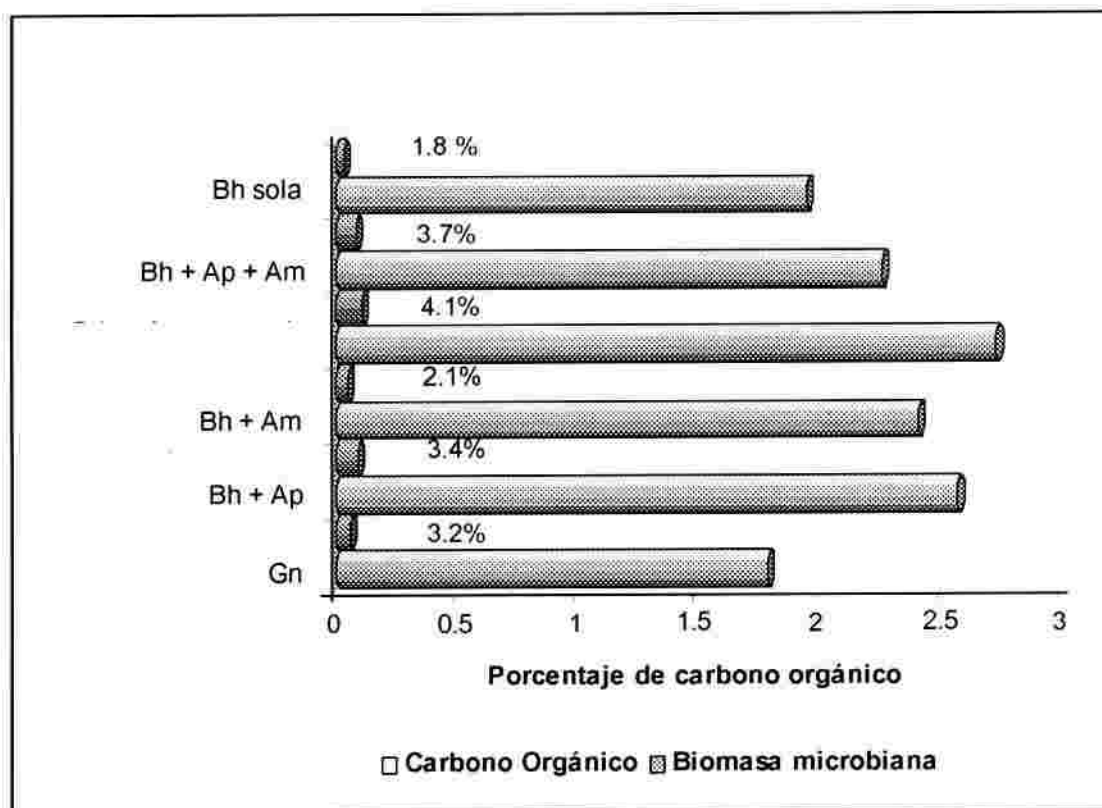


FIGURA 1. CARBONO ORGÁNICO TOTAL Y PORCENTAJE DE ÉSTE QUE REPRESENTA EL CARBONO DE LA BIOMASA MICROBIANA EN CADA TRATAMIENTO.

estaría representando una reserva del nutrimento. Por otro lado, en el mismo suelo, pero de cobertura vegetal rica en nitrógeno, la cantidad de nitrógeno inmovilizado por la biomasa microbiana sería menor, pues ese elemento estaría en cantidad suficiente para atender la actividad metabólica de los microorganismos y del proceso de descomposición de la materia orgánica. En este tipo de cobertura vegetal, la biomasa microbiana estaría funcionando como un catalizador en la descomposición de la misma.

El Cuadro 4 presenta los valores de la relación $\text{Carbono}_{\text{microbiano}}/\text{Carbono}_{\text{orgánico}}$ expresada en porcentaje y muestra que la cinética de la descomposición de la materia orgánica es mucho más lenta en Bh sola y en Bh + Am. Como consecuencia del menor aporte de residuos orgánicos comparado con el suelo que presenta una cobertura con Bh donde se cortaron los árboles de Am y Bh + Ap + Am, los cuales presentan elevadas concentraciones de residuos orgánicos en descomposición sobre su superficie. Marchiori Junior y Melo (1997), encontraron valores de esta relación menores que 1.0% en pastos establecidos hace quince años en un latosol rojo-amarillo distrófico.

Según Wardle (1992), valores de la relación $\text{Carbono}_{\text{microbiano}}/\text{Carbono}_{\text{orgánico}}$ debajo de 1.3 indican una lenta dinámica en el proceso de mineralización de la materia orgánica.

Disponibilidad de nutrimentos del suelo

Las Figuras 2 al 6, contienen las curvas de fijación de P, K, Cu, Zn y Mn donde se muestra la influencia que ha tenido las asociaciones entre Bh, Am, Ap y gramíneas nativas sobre la cobertura del suelo con la dinámica de los nutrimentos.

Con relación a la fijación de estos nutrimentos se verifica que la parcela con Gn fue la que mostró una mayor capacidad de fijación de todos los elementos, probablemente esto se deba al pobre aporte de nutrimentos que esta cobertura brinda al suelo influyendo menos sobre sus propiedades químicas y biológicas, mientras que Bh + Am cortadas y Bh + Ap + Am, suelos donde se observó una gran actividad microbológica y su cobertura vegetal brinda un elevado aporte de nutrimentos a este, mostraron un mejor comportamiento en promedio.

Con relación al P, elemento crítico en los suelos ácidos de bajo pH y elevado contenido de Al intercambiable, como lo es el de Calabacito, la menor fijación de este nutrimento se observó en el suelo cubierto con Bh + Ap + Am, seguida por el suelo con Bh + Ap. Estos suelos contienen un alto contenido de materia orgánica, además como se mostró en el Cuadro 4, presentan una gran actividad en la cinética de descomposición de la misma, lo que contribuye a la formación de complejos

CUADRO 4. CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO Y RELACIÓN CARBONO MICROBIANO/CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO.

Tratamientos	Carbono orgánico	Carbono Microbiano/ Carbono Orgánico %
Gn	1.79	3.17
Bh + Ap	2.57	3.41
Bh + Am	2.41	2.10
Bh + Am cortadas	2.73	4.06
Bh + Ap + Am	2.26	3.70
Bh sola	1.95	1.78

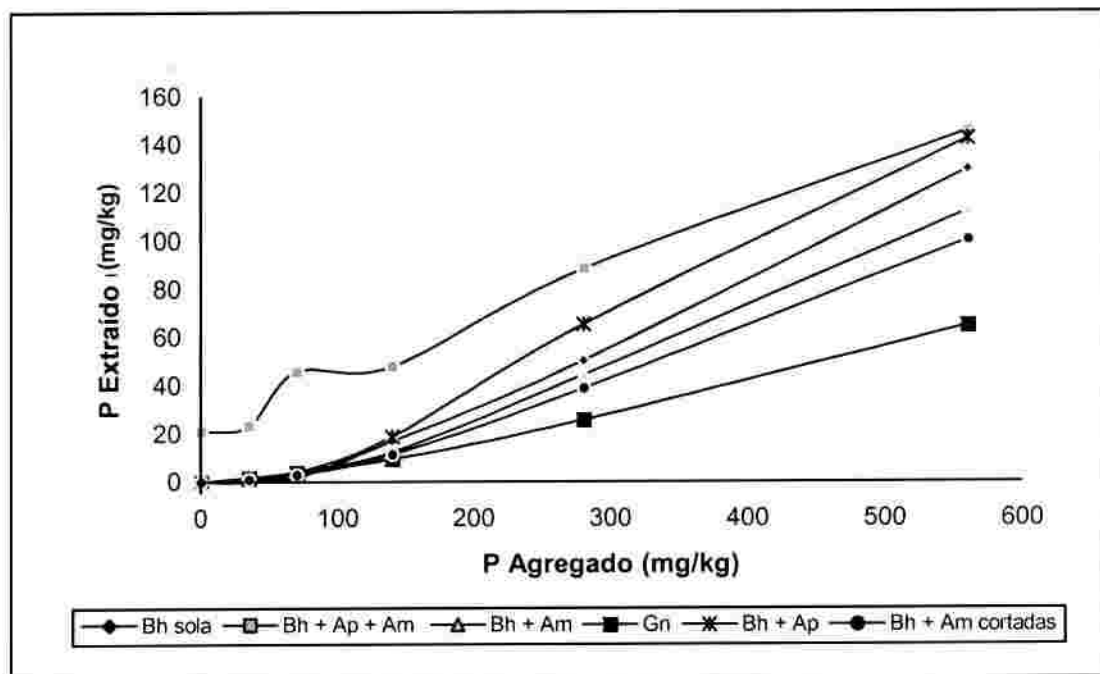


FIGURA 2. FIJACIÓN DE FÓSFORO EN CADA TRATAMIENTO ESTUDIADO. CALABACITO, VERAGUAS.

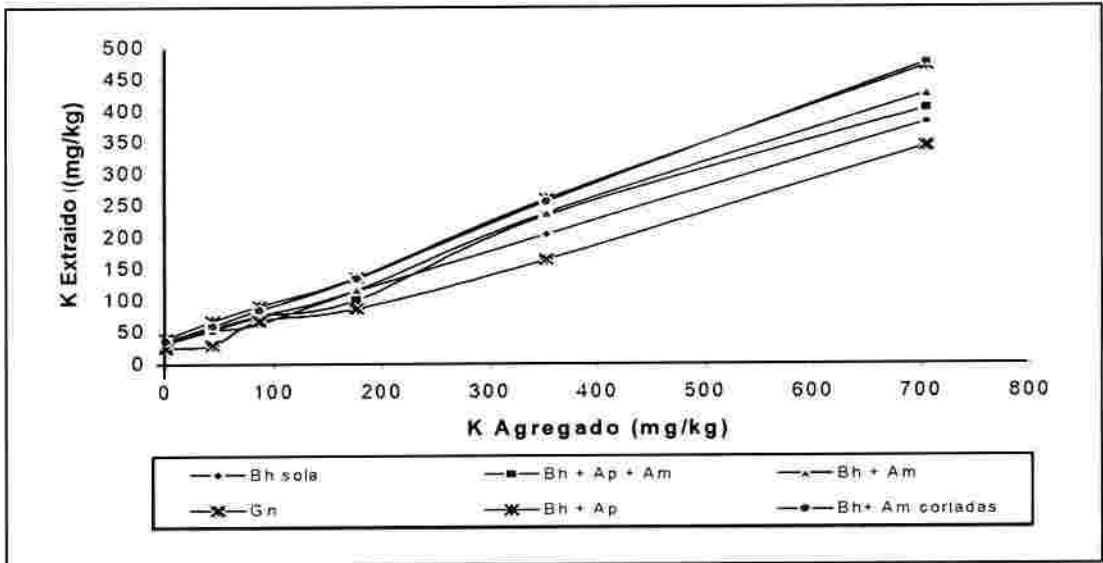


FIGURA 3. FIJACIÓN DE POTASIO EN CADA TRATAMIENTO ESTUDIADO.

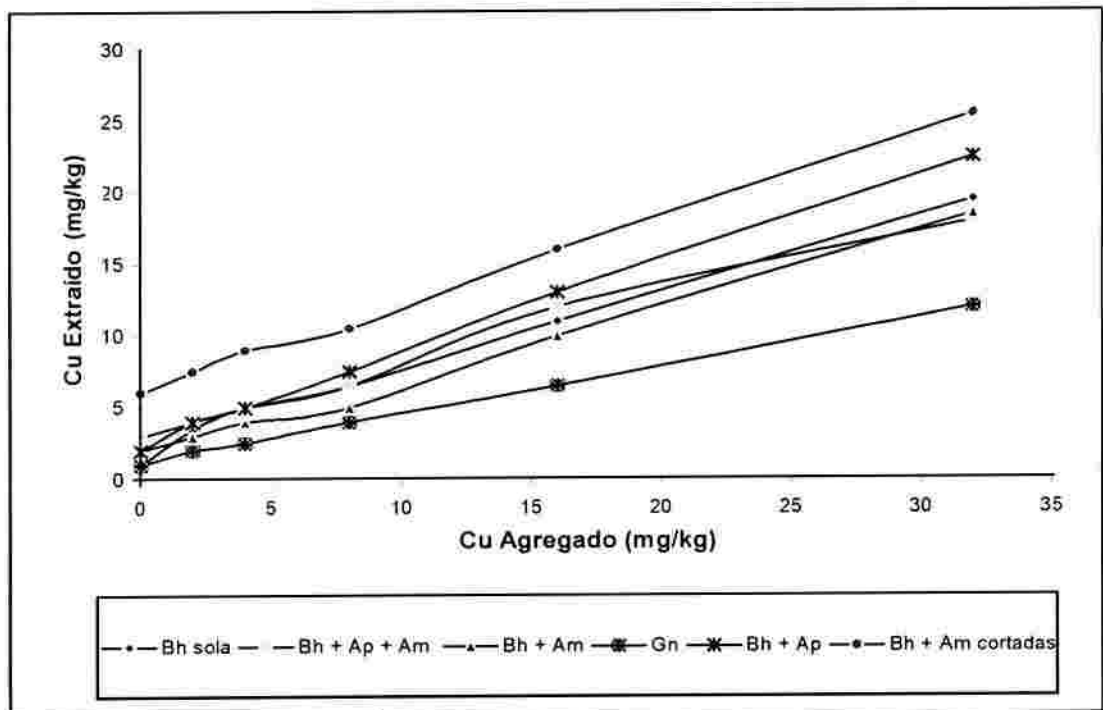


FIGURA 4. FIJACIÓN DE COBRE EN CADA TRATAMIENTO ESTUDIADO.

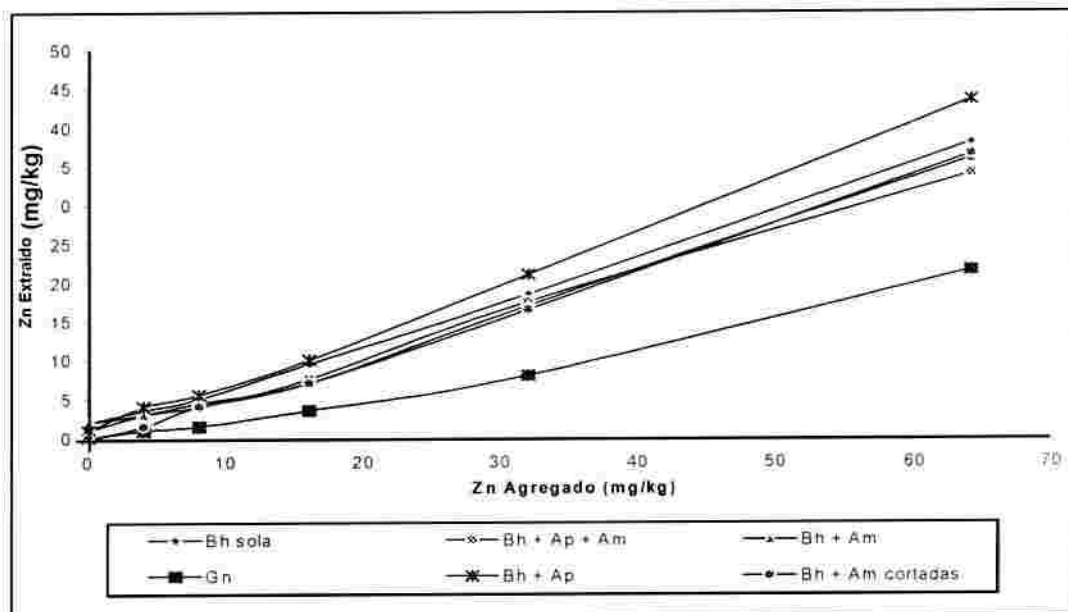


FIGURA 5. FIJACIÓN DE ZINC EN CADA TRATAMIENTO ESTUDIADO. CALABACITO, VERAGUAS.

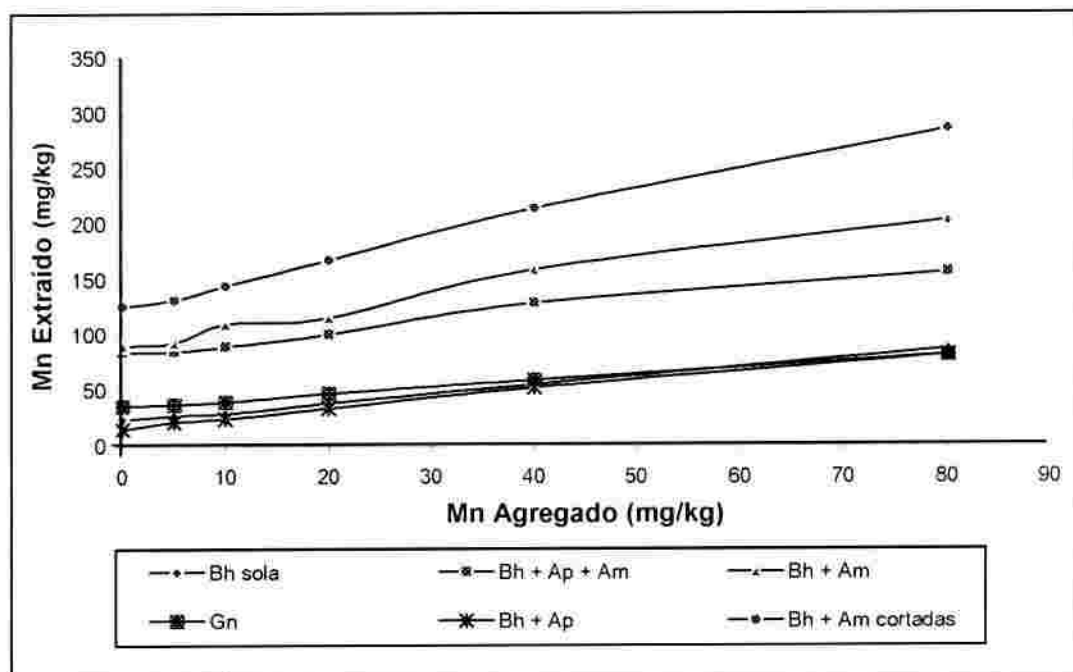


FIGURA 6. FIJACIÓN DE MANGANESO EN CADA TRATAMIENTO ESTUDIADO. CALABACITO, VERAGUAS.

quelatos con el Al, Fe y Mn, liberando lentamente los fosfatos fijados.

Minhoni y col. (1996) verificaron que la materia orgánica a pesar del efecto acidificante del suelo, es la causa del mejoramiento de sus propiedades químicas tales como la adsorción de iones H^+ y Al^{3+} seguida de la precipitación/acomplejamiento del Al^{3+} . Aunque en ninguno de estos suelos se ha notado un aumento en los niveles de P, se espera que a largo plazo la mejoría en sus propiedades favorezca una mayor liberación del mismo. Como se observa en el Cuadro 3, la biomasa del *Arachis pintoi* CIAT 18744 representa un elevado aporte de este elemento al suelo, contribuyendo a mejorar la fertilidad del mismo, lo contrario, la gramínea nativa que es muy pobre en fósforo, brinda un mínimo aporte al suelo.

Con relación al potasio, Bh + Ap y Bh + Am cortadas, presentan los menores niveles de fijación. Como muestra el Cuadro 3, Ap; Bh y Am aportan niveles mucho más elevado de potasio al suelo que la Gn.

En el Cuadro 5 se indica el porcentaje de fijación de fósforo y potasio obtenido con cada cobertura vegetal en el suelo de la Estación Experimental de Calabacito, después de agregarle diversas concentraciones de cada nutriente al suelo.

El Cuadro 6 muestra las ecuaciones de regresión y el R^2 de ésta, considerando la asociación vegetal que contribuyó a obtener el menor y mayor porcentaje de fijación de cada nutriente en el suelo estudiado. Se observa que en todos los casos el R^2 obtenido fue sumamente elevado mostrando que la ecuación explica muy bien el fenómeno observado.

La ecuación que mejor se ajustó en todos los casos fue la cuadrática. Estas ecuaciones nos permiten calcular la tendencia que seguirá el elemento en cada tratamiento. Salinas y col. (1997) encontraron que en suelos donde abunda la materia orgánica había menor fijación de P, K, Mn y un aumento en la fijación de Cu y Zn, debido, en parte, a la afinidad que muestra cada elemento por la materia orgánica. Coincidiendo con este estudio en que la ecuación cuadrática es la que mejor explica la fijación del elemento y su tendencia en el futuro, si no cambian las condiciones de manejo y uso del suelo.

CONCLUSIONES

- La asociación de *Brachiaria humidicola* (Bh) con leguminosas (Ap o Am) favoreció la acumulación de carbono orgánico en el suelo y sobre todo la elevación de los niveles de nitrógeno en estas parcelas. También se observó mejoría en la CIC del suelo. Se obtuvo una corre-

CUADRO 5. PORCENTAJE DE FIJACIÓN DE FÓSFORO Y POTASIO EN CADA TRATAMIENTO.

Nutrimento	Gn	Bh+Ap+Am	Bh+Am	Bh sola	Bh + Ap	Bh + Am cortadas	% de fijación	
Fósforo agregado mg/kg								
0	-	-	-	-	-	-		
35	95.7	32.9	100	97.1	94.3	97.1		97.1
70	94.3	34.3	93.6	97.1	94.3	97.1		95.7
140	93.2	65.7	91.1	87.9	86.4	87.9		91.8
280	90.7	68.4	84.1	82.0	76.6	82.0		86.1
560	88.4	74.0	79.9	76.9	74.5	76.9		82.0
Potasio agregado mg/kg								
0	-	-	-	-	-	-		-
43	88.4	54.6	59.3	63.7	34.9	63.7		44.9
86	50.6	54.5	54.3	68.2	40.7	68.2		43.0
176	64.8	63.3	52.2	55.5	45.4	55.5		44.3
352	60.5	43.9	41.7	52.2	37.5	52.2		37.5
704	54.7	47.8	43.9	50.8	38.8	50.8		37.4

CUADRO 6. ECUACIONES DE REGRESIÓN Y COEFICIENTE DE CORRELACIÓN QUE REPRESENTAN LA MAYOR Y MENOR FIJACIÓN DE MACRO Y MICRO NUTRIMENTOS EN CADA TRATAMIENTO.

ECUACIONES DE REGRESIÓN		
Tratamiento	Fóforo	R ²
Pasto Nativo *	$Y = 9E-05X^2 + 0.07X - 0.7547$	0.99
Bh + Ap + Am**	$Y = -5E-0.5 X^2 + 0.2497X + 20.072$	0.98
Potasio		
Gn*	$Y = 0.0002X^2 + 0.3454X + 23.315$	0.99
Bh + Am cortadas**	$Y = 4E-05X^2 + 0.6031X + 32.457$	0.99
Cobre		
Gn*	$Y = -0.00002 X^2 + 0.3433X + 1.1547$	0.99
Bh + Am cortadas**	$Y = 6E-05X^2 + 0.6023X + 6.1781$	0.99
Zinc		
Gn*	$Y = 0.0027X^2 + 0.1628X + 0.1219$	0.99
Bh + Ap	$Y = 0.0016X^2 + 0.5574X + 1.1547$	0.99
Manganeso		
Gn*	$Y = -8E-05 X^2 + 0.5984X + 34.734$	0.99
Bh+Am cortadas**	$Y = -0.0046X^2 + 2.4197X + 122.26$	0.99

* Mayor fijación del nutrimento.

** Menor fijación del nutrimento.

lación entre la actividad y la biomasa microbiana, mostrando que son altamente dependientes.

- ☼ La gran acumulación de residuos orgánicos en la parcela de *Brachiaria humidicola* donde se cortaron los árboles de *Acacia mangium* (Bh + Am cortadas), favoreció el desarrollo de una mayor biomasa microbiana y por consiguiente una mayor actividad microbiológica en el suelo de esta parcela.
- ☼ Se encontraron valores mayores de 1.3 en la relación carbono microbiano/carbono orgánico, demostrando que en las parcelas de la Finca Experimental de Calabacito donde se practica la asociación de *Brachiaria humidicola* con leguminosas, hay una buena cinética de descomposición de la materia orgánica.
- ☼ Los niveles de fijación de fósforo, potasio y elementos menores, son más bajos en aquellos suelos que presentan mayor acumulación de materia orgánica y mayor biomasa microbiana (asociación: *Brachiaria humidicola* donde se cortaron y extrajo la madera de *Acacia mangium* (Bh + Am cortadas) y *Brachiaria humidicola* + *Arachis pintoi* + *Acacia mangium* (Bh + Ap + Am).

- ☼ La evaluación de la actividad y el carbono de la biomasa microbiana resultaron excelentes parámetros para establecer los niveles de recuperación en suelos ácidos degradados.
- ☼ La asociación *Brachiaria humidicola* + *Arachis pintoi* (Bh + Ap) por aportar elevadas concentraciones de nutrimentos al suelo, favorece la recuperación de este y la vida microbiana. Su fácil adaptabilidad a los suelos ácidos degradados resulta beneficiosa para su recuperación.

BIBLIOGRAFÍA

- BORIE, G.; AGUILERA, S.M.; PEIRANO, P. 1999. Actividad biológica en suelos. *Frontera Agrícola* 5 (1-2): 29-32.
- CAMPBELL, C. A.; MOULIN, A. P.; BOWREN, K.E.; JANZEN, H.H.; TOWNLEY-SMITH, L.; BIEDERBECK, V.O. 1992. Effect of crop rotations on microbial biomass, specific respiratory activity and mineralizable nitrogen in a Black chemozenic soil. *Canadian Journal of Soil Science* 72: 417 – 427.
- CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. 1990. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo,

- em função de variações ambientais
R. Bras. Ci. Solo 14: 133-142.
- DÍAZ - ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 68 p.
- DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BESDICEK, D.F.; STEWART, B.A. 1994. Defining soil quality for a sustainable environment. Wisconsin, American Society of Agronomy.
- GAMA - RODRÍGUEZ, E.F.; GAMA-RODRÍGUEZ, A.C.; BARROS, N.F. de. 1997. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. R. Bras. Ci. Solo 21: 361-365.
- GAMA-RODRÍGUEZ, E.F. 1992. Biomassa-C microbiana de solos de Itaguaí: Comparação entre os métodos da fumigação-incubação e fumigação extração. Tesis de Maestria, Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Itaguaí, RJ. 110 p.
- GARCÍA, F.O.; RICE, C.W. 1994. Microbial biomass dynamics in tallgrass prairie. Soil Sc. Soc. Am. J. 58: 816-823.
- GRISSI, B.M. 1997. Temperature increase and its effect on microbial biomass and activity of tropical and temperate soils. R. Microb. 28: 5-10.
- GRISSI, B.M.; GRAY, T.R.G. 1986. Comparação dos métodos de fumigação, taxa de respiração em resposta a adição de glucose e conteúdo de ATP para estimar a biomassa microbiana do solo. R. Bras. Ci. Solo 19: 110-115.
- JARAMILLO, S. 1987. Pedones de campo y Estaciones experimentales del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. IDIAP. Boletín técnico. 56 p.
- JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul, E.A.; LADD, J.N. (eds.). Soil Biochemistry 5: 415-471.
- JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I. Fumigation with chloroform. Soil Biol. Biochem. Oxford 8: 167-177.
- MARCHIORI JUNIOR, M.; MELO, W.J. 1997. Carbono, Carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob Mata Natural, pastagem e cultura do algodoeiro. R. Bras. Ci. Solo 23: 257-263.

- MARTINS, K.F.; ALVES, J.; DIETER, K. 1999. Avaliação da biomassa microbiana em tres ambientes distintos. XXVII Congresso Brasileiro de Ciencias del Suelo. Brasília, 20-26 de julio de 1999. En CD-Rom.
- MINHONI, M.T.A.; EIRA, A.F.; BULL, L.T. 1996. Biomassa microbiana, liberacao de CO₂, fósforo disponível e pH em solo que recebeu glicose e fosfato de rocha. R. Bras. Ci. Solo 20: 387 - 392.
- NAME, B.; VILLARREAL, J. E. 2001. Soil dynamics in *Acacia mangium* plots associated to *Brachiaria humidicola* in an ultisol of Panama. In International Symposium on Silvopastoral Systems. Second Congress on Agroforestry and livestock production in Latin America. San José, Costa Rica, abril 2-9, 2001. pp. 217 - 222.
- ROVIRA, A.D. 1978. Microbiology of pasture soil and some effects of microorganisms on pasture plants. In WILSON, J.R. (ed.). Plant relations in pastures. Melbourne. pp. 95 - 110.
- SALINAS - GARCÍA, J. R.; HONS, F.M.; MATOCHA, J.E. 1997. Long - term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 152 - 159.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. 1995. Relaciones entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de un Podzólco Vermelho Escuro de Eldorado do Sul (RS). R. Bras. Ci. Solo 19: 313 - 319.
- SANCHEZ, P.A. 1976. Properties and management of soil in the tropics. New York, John Willey. 618 p.
- SOIL CONSERVATION SERVICE. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1992. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Laboratory Staff. Soil Survey Investigations Nº.42. Version 2.0. 400 p.
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.D. 1960. Principles and procedures of Statistics. McGraw- Hill, New York. 481 p.
- STOTZKY, G. 1965. Microbial respiration. In BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; ENSMINGER, L.E.; WHITE, J.L.; CLARK, F.E. (ed) Methods of soil analysis. Madison. American Society of Agronomy-part 2. pp. 1550 - 1572. (Agronomy 9).
- TATE, K.R.; ROSS, D.J.; FELTHAM, C.W. 1998. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Effects of experimental variables and some different calibration procedures. Soil Biol. Biochem. Oxford 20: 329 - 335.

- VILLARREAL, J.; NAME, B. 1996. Técnicas analíticas del laboratorio de suelos. IDIAP. Divisa. 110 p.
- WARDLE, D.A. 1992. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. Biol. Rev. 67: 321-358.