

Leguminosas: calidad, mineralización y efecto sobre la biomasa microbiana del suelo

GABRIEL REYES REYES* Y ELIZABETH VARGAS SALAZAR**

Legumes: Quality, Mineralization and Effect on Soil Microbial Biomass

Abstract. *The influence of the legumes litter on soil fertility is related to several physical, chemical and biological factors involved in the decomposition rate of the plant material, the nutrient release and their availability when growing plants demand them.*

It shows the effect of leaf litter quality from some agroforestry species on their mineralization and on soil microbial biomass.

Introducción

El recurso edáfico destinado a la producción de alimentos es sometido a una continua extracción de los nutrientes que contiene; sin embargo, el proceso de empobrecimiento de los suelos es atribuible no sólo a la remoción por cosechas, sino también a los arrastres que conllevan la lixiviación y la erosión, así como a las pérdidas por la desnitrificación, en el caso especial del nitrógeno. Estos eventos, junto con el fenómeno de contaminación, pueden desembocar finalmente en la degradación de la fertilidad del suelo, realidad que ha motivado a la FAO a sugerir el incremento del uso de fertilizantes en la agricultura tropical para evitar el agotamiento de los suelos, alternativa limitada por los altos costos y por el agotamiento del petróleo (Alexandratos, 1988).

La fertilidad del suelo es un tema que ha ocupado al hombre desde los inicios de la agricultura, pues aunque se desconoce cuándo fue la primera vez que los hombres incorporaron al suelo materia orgánica, estiércoles o cenizas para estimular el crecimiento de las plantas, existen datos históricos relativos a algunas de las prácticas de cultivo observadas por los antiguos egipcios, griegos y romanos. Los esfuerzos por incrementar la producción de alimentos han tenido logros trascendentes en la actualidad, como la mecanización, la aplicación de la química y de la

biotecnología. Algunos de esos hallazgos se han difundido en paquetes tecnológicos como la "Revolución verde", el "Plan Puebla" y otros; pero en virtud de que estos paquetes están orientados hacia la "eficiencia económica", su adopción en los sistemas de producción campesinos, caracterizados por una gran diversidad ecológica, cultural y socioeconómica, ha sido prácticamente nula (Redclift, 1983; Altieri, 1990).

El problema de la fertilidad del suelo es una realidad compleja en la que intervienen: a) los elementos físicos, químicos, fisicoquímicos y biológicos que interactúan en el suelo; b) los agentes que determinan el clima, y c) los factores socioeconómicos, políticos y culturales que se expresan en los sistemas de producción y, entre otros elementos más concretos, en las técnicas de producción que se ejercen sobre cultivo o sobre el suelo y que inciden, finalmente, en la fertilidad y productividad del suelo.

En la última década se ha despertado un interés creciente por la fertilidad del suelo y por la sustentabilidad de la producción agrícola. Henzell (1988) afirma que los problemas en la agricultura tropical tienen su origen en la acidez e infertilidad de los suelos; Giller y Wilson (1991), por su parte, sostienen que los trópicos, localizados entre los 30° de latitud Norte y Sur del Ecuador, tienen la posibilidad de ser las regiones de mayor productividad en el mundo; pero también comentan que, a pesar de las ventajas naturales, los rendimientos en los trópicos son extremadamente bajos.

* Profesor-investigador del Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias, UAEM. Teléfono y fax: (729) 6 55 52.

** Estudiante de maestría del Wye College, Universidad de Londres.



(1970), y en cuanto a su capacidad para atrapar proteínas, según el método descrito por Handayanto *et al.* (1994). Los polifenoles solubles fueron extraídos, en una proporción de 10 mg/ml, con solución acuosa de metanol al 50%, durante una hora, en baño maría a 75-80°C y cuantificados con el reactivo de Folin Ciocalteu (Anderson e Ingram, *op. cit.*).

El sustrato, así enriquecido, se homogeneizó y distribuyó en tubos para lixiviación; posteriormente, se adicionó agua en cantidad suficiente para que el suelo alcanzara su capacidad de campo. Los tubos preparados por triplicado para cada leguminosa, y con una trampa que contenía 20 ml de NaOH 0.25M dentro de ellos, se colocaron en incubación a 28°C durante 100 días y bajo condiciones de aerobiosis, siguiendo un diseño completamente al azar. Como tratamientos de referencia se prepararon tubos sólo con arena y otros únicamente con la mezcla arena-suelo.

El contenido de los tubos fue sometido a lixiviación a los 3, 7, 14, 21, 30, 56, 66 y 80 días de su incubación (Handayanto *et al.*, 1994). El contenido de las trampas fue empleado para cuantificar la respiración del suelo (liberación de CO₂), por titulación del hidróxido remanente, con HCl 0.1M. A los 100 días de incubación, el sustrato fue extraído de los tubos para cuantificar la biomasa microbiana al emplear la técnica de fumigación con cloroformo y extracción propuesta por Brooks *et al.* (1985).

2. Fumigación y extracción

a) Del sustrato extraído de los tubos, después de ser homogeneizado, se pesaron 10 para determinar el porcentaje de humedad y 40, en recipiente de acero inoxidable, para su fumigación.

b) En un desecador de vidrio para vacío se colocó una cápsula de porcelana que contenía 50 ml de cloroformo libre de etanol y en él se depositaron las charolas con el sustrato para ser fumigado. Después de cerrarlo se le aplicó vacío hasta observar claramente la evaporación del cloroformo; se dejó en obscuridad por 48 horas, a temperatura ambiente.

c) Al término de 48 horas, las charolas con el sustrato fumigado se transfirieron del desecador a una campana de extracción, donde se dejaron por tres horas. Posteriormente, el sustrato se transfirió cuantitativamente a un matraz erlenmeyer de 250 ml.

d) En forma paralela se prepararon otros matraces a los que se agregaron 40 g de sustrato sin fumigar.

e) A cada matraz se le agregaron 150 ml de K₂SO₄ 0.5M, se agitaron durante 60 minutos y el contenido se filtró por papel Whatman No. 42. El extracto se empleó para cuantificar N de la biomasa microbiana y C orgánico disuelto.

3. Determinación del nitrógeno de la biomasa (Kjeldahl)

a) De cada extracto obtenido se transfirieron 40 ml a un tubo Kjeldahl y se marcó el nivel del líquido; acto seguido se agregaron 5.0 ml de H₂SO₄ concentrado y una tableta Kjeldahl. Así se sometieron a digestión a 110°C, durante una noche. Al día siguiente la temperatura del digestor se elevó a 150°C, durante dos horas, y posteriormente se incrementó paulatinamente hasta alcanzar los 350°C; los tubos se mantuvieron tres horas más a esta temperatura.

b) El líquido remanente se diluyó con agua hasta completar el nivel marcado en la etapa anterior y el contenido se mezcló perfectamente; una vez frío se empleó para la cuantificación de nitrógeno total. El nitrógeno de la biomasa (N-biomasa) será equivalente al nitrógeno total de la muestra fumigada, menos el nitrógeno total de la misma muestra no fumigada, sin aplicar factor de corrección (Smith y Paul, *op. cit.*).

4. Determinación del carbono orgánico disuelto

a) En un tubo para digestión, con 2-4 cuerpos de ebullición, cuidadosamente se pipetearon 5.0 ml de una mezcla de digestión que contenía: 25 g de CrO₃, 33 ml de H₃PO₄ y 66 ml de H₂SO₄ concentrado.

b) A cada tubo se le agregaron 10 ml del extracto correspondiente, se colocó una trampa que contenía 10 ml de NaOH 0.25M, se tapó y se digirió a 110°C, durante 60 minutos. Como testigos se prepararon tubos con agua desionizada, o con una solución de sacarosa en concentración suficiente para asegurar que 50% del NaOH contenido en la trampa reaccione con el CO₂ que se libere.

c) Al finalizar la digestión, el contenido de la trampa se transfirió cuantitativamente a un matraz erlenmeyer de 50 ml, se agregaron 2.0 ml de BaCl₂ 1.5M, dos gotas de fenoltaleína y se tituló con HCl 0.2M. El carbono de la biomasa (C-biomasa) será igual al carbono cuantificado en la muestra fumigada menos el carbono encontrado en la misma muestra sin fumigar. No se aplicó factor de corrección.

III. Resultados

Los valores promedio relativos a la composición química de las leguminosas empleadas en el experimento, se presentan en el cuadro 1. En él puede apreciarse que las mayores variaciones se manifiestan en la capacidad de los residuos para atrapar proteínas (PBC), así como en el contenido de polifenoles (pp). Variaciones de menor magnitud se observan en el porcentaje de nitrógeno (N), de carbono (C), en la proporción de lignina y de fibra ácido-detergente (ADF).

Esta preocupación ha dado lugar a propuestas que, orientadas a incrementar la producción de alimentos, retoman la sustentabilidad a largo plazo, no sólo bajo una perspectiva económica, sino también social y ecológica. Entre otras de las recomendaciones propuestas puede mencionarse el uso conjunto de agroquímicos con subproductos agrícolas (Anderson e Ingram, 1989; Sharma y Mittra, 1990), así como el cultivo de leguminosas, plantas cuya capacidad para fijar el nitrógeno atmosférico representa un excelente recurso natural para conservar e incluso mejorar la fertilidad del suelo; o bien, si se siembran de manera asociada o alternada, ya sea que se incorporen al suelo como abonos verdes o como subproductos agrícolas. Además, estas plantas pueden ser empleadas como pasturas, combustibles, e incluso como alimento para el mismo hombre (Frankenberger y Abdelmagid, 1985; Yamoah *et al.*, 1986; Palm *et al.*, 1988; Macklin *et al.*, 1989; Shumba *et al.*, 1990a; Rubaduka *et al.*, 1993; Giller *et al.*, 1994; Giller y Cadisch, 1995).

Por otra parte, hablar de los suelos en los trópicos es hacer referencia a una gran variedad de los mismos, desde los suelos jóvenes de origen volcánico hasta los más viejos y los más lixiviados del mundo; sin embargo, prevalecen estos últimos en un 70%. Por esta razón se considera que en los trópicos los suelos son ácidos y deficientes en nutrientes como nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, magnesio, zinc, boro y cobre (Giller y Wilson, *op. cit.*). De ellos, el nitrógeno tiene especial relevancia, pues además de los diferentes procesos involucrados en su pérdida, la gran reserva presente en la atmósfera es accesible a los seres vivos sólo después del proceso de la fijación biológica del nitrógeno atmosférico (FBN) que realizan algunos procariontes.

I. Antecedentes

En general se acepta que las leguminosas de grano hacen una contribución sustancial de nitrógeno para la fertilidad del suelo; esto sólo es cierto si la proporción de nitrógeno derivado del proceso de FBN es superior, en cantidad, al nitrógeno que se extrae con la cosecha. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que el balance de nitrógeno en el suelo no sólo depende del potencial de la leguminosa seleccionada para fijar el nitrógeno atmosférico, sino que también es modificado por otros factores como el clima, el tipo de suelo, la especie de leguminosa y el genotipo empleado (MacColl, 1989; Giller *et al.*, 1994), así como el sistema de siembra: en asociación o en rotación y el destino de la biomasa vegetal (Kumar Rao *et al.*, 1983; Shumba *et al.*, 1990a y 1990b).

En relación con estos postulados, Toomsan *et al.* (1995) encontraron que la contribución al nitrógeno del suelo por el cultivo de cacahuate y la incorporación de sus residuos fluctuó de 13 a 100 kg N/ha, mientras que el cultivo de

soya y la mezcla de sus residuos causó una remoción neta de 37-46 kg N/ha; McDonagh *et al.* (1993), en un trabajo de campo, observaron que cuando los residuos de cacahuate se incorporaron al suelo, éste se enriqueció en 100-130 kg N/ha. Otros coinciden en señalar que la eficiencia del reciclaje de nitrógeno y su disponibilidad en el suelo están determinadas por la calidad química de los residuos de las leguminosas y, en particular, de las proporciones C:N y lignina:N, así como por la presencia de taninos (Fox *et al.*, 1990; Handayanto *et al.*, 1994, 1997a y 1997b; Giller y Cadisch, 1997; Heal *et al.*, 1997; Jingguo y Bakken, 1997).

Hasta ahora, la incorporación de residuos de leguminosas como una práctica para mejorar la fertilidad del suelo ha sido valorada al observar su efecto sobre el rendimiento del cultivo asociado o subsecuente, lo cual permite estimar la disponibilidad del nitrógeno adicionado mediante el proceso de FBN (Toomsan, *op. cit.*); pero esta disponibilidad puede ser también valorada a través de la determinación de la biomasa microbiana del suelo, considerada ésta como un almacén potencial de nutrientes para cualquier vegetal.

El presente trabajo se desarrolló con el propósito de conocer el efecto que la calidad de los residuos foliares de leguminosas incorporadas al suelo, tiene sobre la tasa de mineralización y sobre la biomasa microbiana edáfica; a partir de la premisa de que en el suelo esta biomasa se desempeña como un almacén que, lentamente, habrá de liberar los nutrientes haciéndolos disponibles a las plantas (Smith y Paul, 1990).

II. Materiales y métodos

1. Experimento en laboratorio

El trabajo experimental fue desarrollado en el Wye College de la Universidad de Londres; se empleó como soporte un suelo proveniente de Brasil, enriquecido con arena en proporción 1:1. El suelo empleado en el experimento tenía las siguientes características iniciales: 0.56% de carbono orgánico, 0.05% de nitrógeno total, 17 mg/kg de fósforo, 25 mg/kg de potasio y un pH de 4.8.

A la mezcla suelo-arena se le agregaron fragmentos (<2.0 mm) de residuos foliares de seis leguminosas, en cantidad suficiente para asegurar la incorporación de 100 mg del nitrógeno contenido en la leguminosa por kilogramo de la mezcla. Las hojas empleadas en el experimento fueron colectadas de árboles maduros en Alto Beni, Colombia, a excepción de *Calliandra calothyrsus*, árbol que crece en Zambia.

El material foliar fue previamente caracterizado en cuanto a su contenido de nitrógeno total, por el método de Kjeldahl; de carbono, según lo descrito por Anderson e Ingram (*op. cit.*); de fibra ácido-detergente y lignina, con base en la técnica desarrollada por Goering and Van Soest

CUADRO 1

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL MATERIAL FOLIAR DE SEIS LEGUMINOSAS*							
LEGUMINOSA	N(1) (%)	C(2) (%)	C:N	ADF(3) (%)	LIGNINA (%)	PP(4) (%)	PBC(5) (µgBSA MG ⁻¹)
APULEIA							
<i>LEIOCARPA</i>	2.24 _{ii}	40.5 _c	18.1	41.2 _A	14.30 _{AB}	2.9 _{ii}	210 _{cd}
CALLIANDRA							
<i>CALLOTHYRSUS</i>	3.60 _A	46.8 _A	13.0	37.9 _{ii}	17.05 _A	6.0 _c	100 _c
CENTROLOBIIUM							
<i>OCHROXYLUM</i>	2.52 _{ii}	46.5 _A	18.4	31.9 _c	12.80 _{BC}	7.7 _d	324 _n
MYROXYLON							
<i>BALSAMUM</i>	2.81 _{ii}	43.8 _{ii}	15.6	33.4 _c	10.30 _c	0.8 _{ii}	203 _{ic}
PIPTADENIA							
<i>CF. BUCHTIENII</i>	2.96 _{AD}	46.6 _A	15.7	39.2 _{AD}	15.60 _{AA}	9.8 _A	463 _A
SCHIZOLOBIUM							
<i>AMAZONICUM</i>	2.94 _{ii}	45.5 _{AD}	15.5	38.3 _{ii}	16.50 _{AD}	3.4 _{ii}	312 _{bc}

(1) N = NITRÓGENO TOTAL
 (2) C = CARBONO TOTAL
 (3) ADF = FIBRA ÁCIDO-DETERGENTE
 (4) PP = POLIFENOLES
 (5) PBC = CAPACIDAD PARA ATRAPAR PROTEÍNAS DEL SUERO DE BOVINO (BSA)
 * LAS CANTIDADES SON PROMEDIO DE TRES DETERMINACIONES. CANTIDADES CON LETRAS DISTINTAS SON SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTES A P<0.05.

CUADRO 2

VALORES ACUMULADOS (MG) DEL BIÓXIDO DE CARBONO LIBERADO DURANTE 80 DÍAS DE INCUBACIÓN POR UNA MEZCLA SUELO-ARENA, ENRIQUECIDA CON RESIDUOS FOLIARES DE SEIS LEGUMINOSAS*								
LEGUMINOSA/DÍA	3	7	14	21	30	56	66	80
<i>A. LEIOCARPA</i>	5 _{ii}	12 _{ii}	18 _{ii}	26 _{ii}	31 _{bc}	47 _{bc}	50 _{ii}	61 _{ii}
<i>C. CALLOTHYRSUS</i>	2 _c	6 _{ii}	11 _d	16 _{ii}	18 _c	26 _{ii}	28 _c	33 _c
<i>C. OCHROXYLUM</i>	2 _c	10 _c	18 _c	21 _c	27 _c	40 _c	44 _c	52 _c
<i>M. BALSAMUM</i>	9 _A	25 _A	37 _A	44 _A	50 _A	61 _A	63 _A	68 _A
<i>P. CF. BUCHTIENII</i>	2 _c	6 _{ii}	10 _{ii}	11 _e	19 _{ii}	30 _{ii}	33 _{ii}	43 _{ii}
<i>S. AMAZONICUM</i>	5 _{ii}	12 _{ii}	20 _{ii}	24 _{bc}	33 _{ii}	49 _{ii}	51 _{ii}	58 _{bc}

* LOS DATOS SON PROMEDIO DE TRES REPETICIONES CORREGIDAS CON LOS RESULTADOS DEL TRATAMIENTO; LAS CANTIDADES CON LETRAS DISTINTAS SON ESTADÍSTICAMENTE DIFERENTES A P<0.05.

En relación con la descomposición del material vegetal agregado (cuadro 2), se aprecia que los residuos de *A. leiocarpa*, *S. amazonicum* y *M. balsamum*, leguminosas con las proporciones más bajas de polifenoles (cuadro 1), son mineralizados de manera casi inmediata, lo que dio lugar al desprendimiento de 5, 5 y 9 mg de CO₂, respectivamente, al tercer día después de su incorporación; mientras que el material de las tres restantes, con un porcentaje de polifenoles superior a 6.0%, parece iniciarse más lentamente. Las cantidades de carbono liberado en los tratamientos con *C. callothyrsus* y *P. butchii* (cuadro 2) fueron las más pequeñas a lo largo del periodo de observación; de ellas, *C. callothyrsus* tiene la más alta concentración de lignina y *P. butchii*, la proporción más elevada de polifenoles (cuadro 1).

En el cuadro 2 puede observarse una clara desaceleración en la tasa de mineralización de *M. balsamum*, en efecto, mientras que en los 20 primeros días la producción promedio de CO₂ es de 1.0 mg/día, en los últimos 20 la tasa promedio es menor a 0.3 mg/día. Este fenómeno se presenta en la degradación de *A. leiocarpa*, *S. amazonicum* y *C. ochroxylum*, cuya tasa promedio de mineralización disminuye de 1.1 mg/día, en las tres primeras semanas, hasta 0.71

mg/día en los últimos sesenta días. La tasa de descomposición de *C. callothyrsus* y *P. butchii*, aunque es baja, a partir del séptimo día presenta un decremento que llega a reducirla hasta casi en 50%.

Los datos de la cantidad de bióxido de carbono liberado (cuadro 2) hacen notar que la tasa máxima de mineralización de los residuos foliares de las leguminosas probadas tiene lugar durante los primeros treinta días después de su incorporación a la mezcla suelo-arena.

Los resultados que aparecen en el cuadro 3, relativos a la concentración de carbono y de nitrógeno mineralizados en el suelo, después de 80 días de haber incorporado el material vegetal a la mezcla suelo-arena, y de haber sometido el sustrato a ocho procesos de lixiviación, muestran que la mayor cantidad de bióxido de carbono liberada durante las dos últimas semanas de incubación correspondió al tratamiento enriquecido con hojas de *C. ochroxylum*, seguido por los tratamientos con *S. amazonicum* y *P. butchii*, el carbono proveniente de *C. callothyrsus* y *M. balsamum* fue mineralizado en menor magnitud; la tasa más baja tuvo lugar en el sustrato enriquecido con el material foliar de *A. leiocarpa*. La tasa de mineralización de los compuestos nitrogenados presenta valores muy homogéneos.

Al mismo tiempo, los datos del cuadro 3 ponen en evidencia que, a los 100 días de haber incorporado los residuos foliares a la mezcla suelo-arena, la cantidad de C-biomasa en los tratamientos con *A. leiocarpa* y *C. ochroxylum* es casi cuatro veces menor que la encontrada en el soporte con *C. callothyrsus*; además, el efecto de esta leguminosa sobre el C-biomasa supera casi en 300% al de las otras leguminosas.

Por otra parte, a pesar de que las variaciones del N-biomasa son pequeñas, si se les compara con las del C-biomasa, se encontró que cuando el material colectado de *C. callothyrsus* se incorpora al suelo provoca a largo plazo un efecto significativo (cuadro 3) sobre el N-biomasa. Cabe señalar que la composición química de este vegetal (cuadro 1) se caracteriza por presentar la más alta concentración de lignina y la más baja proporción en la relación C:N y que la menor concentración de lignina correspondió a *M. balsamum*, cuyo material dio lugar a la concentración más pequeña de N-biomasa, a largo plazo (cuadro 3).

IV. Discusión

Una de las líneas actuales de investigación está orientada a la identificación de métodos que permitan predecir la tasa de descomposición de los subproductos agrícolas que se incorporan al suelo y, como consecuencia trascendental, la tasa de liberación de los nutrientes, especialmente del nitrógeno, para lograr *in situ* una sincronización entre la liberación de nutrimentos y la demanda de los mismos por las

plantas. Uno de los conceptos que en este sentido ha sido frecuentemente reconocido es la calidad del material vegetal, definida ésta en términos de la proporción C:M, la disponibilidad de carbono y otros nutrimentos para los saprófitos, así como la concentración de metabolitos secundarios que inhiben o reducen la cantidad de microorganismos y/o la actividad enzimática (Heal *et al.*, 1997; Vanlauwe *et al.*, 1997).

Heal *et al.*, establecen que los materiales con una relación C:M < 20 se descomponen de manera inmediata; mientras que la descomposición de los que contienen una proporción entre 21 y 75, aunque es rápida, puede ser afectada por la presencia de polifenoles, como los taninos, sustancias capaces de formar complejos con las proteínas. En consecuencia, puede esperarse que los residuos pobres en nitrógeno, pero con alta concentración de lignina y polifenoles, se descompongan lentamente y que, en la misma tasa, liberen el nitrógeno inmovilizado.

Con base en esta premisa podría esperarse que la mineralización de los residuos vegetales empleados en el experimento fuera inmediata, pues poseen una C:M < 20; sin embargo, esto sólo se observa en tres de ellas (cuadro 2). Por otra parte, aun cuando el desprendimiento de bióxido de carbono alcanza su tasa máxima en los primeros treinta días, llama la atención el ligero retraso en la mineralización del material foliar proveniente de *C. callothyrsus*, *C. ochroxyllum* y *P. buchtienii* (cuadro 2). Este evento inicial parece estar relacionado ($r = -0.73$; $p < 0.05$) de manera significativa con el contenido de polifenoles (cuadro 1); por otra parte, esta relación también se manifiesta en el hecho de que la tasa máxima de degradación del material de las tres leguminosas con las concentraciones más altas de polifenoles, apenas alcanza 50% del valor que se logra en las restantes, y este suceso tiene lugar después del primer proceso de lixiviación, que pudo haber provocado un arrastre parcial de los polifenoles (Handayanto *et al.*, 1994).

La baja proporción de polifenoles en el material foliar de *M. balsamum*, aunada a una relación C:M < 20, son condi-

ciones que favorecen una rápida mineralización y que pueden argumentarse para explicar tanto la desaceleración en el proceso de mineralización, que se vislumbra después de la tercera semana (cuadro 2), como el bajo valor de N-biomasa (cuadro 3) encontrado cien días después de haber incorporado el material vegetal en la mezcla suelo-arena.

La influencia de la lignina y los polifenoles se confirma en este ensayo; en efecto, los resultados del experimento arrojaron una correlación significativa ($r = -0.82$; $p < 0.01$) entre la proporción (lignina+polifenoles):N y la mineralización del carbono presente en los residuos de leguminosas durante los primeros catorce días (cuadro 2). En este sentido, Vanlauwe *et al.* (1997) proponen que las interrelaciones entre la calidad y la descomposición de los residuos vegetales en el suelo parecen ser lineales sólo en un intervalo limitado de la composición química de los residuos y reconocen, junto con Kachaka *et al.* (1993), que puede ser más frecuente encontrar la relación entre la proporción (lignina+polifenoles):N y la mineralización del material vegetal, o la biomasa. Esto puede atribuirse, según Heal *et al.*, a la inhibición de la actividad microbiana provocada por la presencia de sustancias tóxicas, como taninos, o por algunos complejos, así como por la formación de una estructura cristalina de la celulosa, a consecuencia de la lignificación de los tejidos vegetales, que es resistente al ataque microbiano.

La mineralización del carbono observada en los días 60 y 80 mostró correlación ($r = 0.81$; $p < 0.05$) con la proporción lignina:N; al respecto, Handayanto *et al.* (1997) sostienen que los restos de plantas con baja concentración de nitrógeno, pero con alta concentración de lignina y polifenoles activos, son mineralizados lentamente y liberan el nitrógeno, también de manera paulatina; así pues, a largo plazo los residuos con alta concentración de lignina, que protege las estructuras vegetales del ataque microbiano, pueden llegar a ser las únicas fuentes disponibles de nutrientes. La no correlación con la presencia de polifenoles puede atribuirse, como antes se mencionó, al arrastre de estas sustancias en los procesos de lixiviación.

CUADRO 3

VALORES PROMEDIO DE CARBONO (C) Y DE NITRÓGENO (N) CUANTIFICADOS EN UNA MEZCLA SUELO-ARENA DESPUÉS DE 100 DÍAS DE HABER SIDO ENRIQUECIDA CON HOJAS DE LEGUMINOSAS Y SOMETIDA A OCHO PROCESOS DE LIXIVIACIÓN*

LEGUMINOSA	CS(1) ($\mu\text{G G}^{-1}$ SUELO)	NM(2) ($\mu\text{G G}^{-1}$ SUELO)	C:N SUELO	C-BIOMASA ($\mu\text{G G}^{-1}$ SUELO)	N-BIOMASA ($\mu\text{G G}^{-1}$ SUELO)	C:N BIOMASA
<i>A. LEIOCARPA</i>	635.0 _b	15.8 _a	40.2	161.2 _e	14.4 _{abc}	11.2
<i>C. CALLOTHYRSUS</i>	740.5 _c	14.0 _a	52.7	584.8 _a	33.2 _a	17.6
<i>C. OCHROXYLLUM</i>	1070.1 _a	16.6 _a	64.4	166.3 _e	11.8 _c	14.6
<i>M. BALSAMUM</i>	727.8 _c	15.2 _a	47.8	270.0 _d	9.9 _d	27.2
<i>P. BUCHTIENII</i>	864.3 _b	14.8 _a	58.5	228.7 _c	12.5 _c	18.3
<i>S. AMAZONICUM</i>	923.2 _b	15.5 _a	59.6	192.9 _d	12.9 _c	14.9

(1) CS = CARBONO ORGÁNICO SOLUBLE CUANTIFICADO DURANTE LAS DOS ÚLTIMAS SEMANAS DE INCUBACIÓN.

(2) NM = NITRÓGENO MINERAL PRESENTE EN EL SUSTRATO EN LAS DOS ÚLTIMAS SEMANAS DE INCUBACIÓN.

* LOS DATOS SON PROMEDIO DE TRES REPETICIONES CORREGIDAS CON EL VALOR DEL TESTIGO; CANTIDADES CON LETRAS DISTINTAS SON ESTADÍSTICAMENTE DIFERENTES A $P < 0.05$.

Estos postulados también pueden dar soporte a los valores de N-biomasa (cuadro 3), pues se encontró que están correlacionados ($r = 0.81$; $p < 0.05$) tanto con la proporción inicial de lignina como con la PBC. Ambos factores pueden ser responsables del bloqueo que retarda el ataque microbiano sobre los restos vegetales (Heal *et al.*, 1997) y explicar la liberación de nutrimentos a largo plazo.

Conclusiones

Es innegable que en los suelos tropicales, altamente lixiviados, los problemas más frecuentes son su acidez y su deficiencia en nutrimentos y que los residuos de leguminosas son un recurso natural que, cuando se incorporan al suelo, pueden ser empleados para proveer de nitrógeno a corto o largo plazo.

Los resultados de este trabajo confirman que la incorporación de los residuos de leguminosas al suelo no tiene igual significado para la fertilidad que para la productividad del suelo; en efecto, en este experimento se incorporaron 100 mg N leguminosa/kg de suelo, para cada uno de los tratamientos, pero su disponibilidad fue modificada por la calidad del material incorporado, lo cual se pudo observar en la tasa de mineralización y en la disponibilidad del carbono y del nitrógeno para la microflora edáfica.

Asimismo, bajo las condiciones específicas en las que se realizó este experimento, puede concluirse que:

a) La proporción de metabolitos secundarios, como la lignina y los polifenoles, en el material foliar de las legu-

minosas empleadas, parecen ser determinantes para la tasa de mineralización de los residuos incorporados a la mezcla suelo-arena.

b) La tasa de mineralización del carbono, presente en el material vegetal de leguminosas con una proporción C:M < 20, puede ser modificada por la presencia de polifenoles y lignina cuando éstos representan una alta proporción en el material incorporado.

c) La mayor parte del carbono que forma parte de los residuos foliares de leguminosas con una relación C:M < 20 y una baja concentración de polifenoles (<1.0%) se mineraliza en los primeros 30 días después de su incorporación al suelo.

d) La concentración inicial de lignina en los materiales incorporados al suelo parece ser un buen parámetro para predecir que su mineralización será a largo plazo, pues se correlacionan ($r = 0.81$; $p < 0.05$) significativamente.

e) Los residuos de leguminosas que proveen de nutrimentos a la biomasa microbiana a largo plazo son aquéllos que contienen mayor proporción de lignina y una alta capacidad para atrapar proteínas ($r = 0.81$; $p < 0.05$).

Los resultados permiten vislumbrar que el manejo adecuado de la calidad de los residuos vegetales que se incorporan al suelo es un recurso para incrementar su productividad; sin embargo, es necesario realizar pruebas en campo, pues debe considerarse que la descomposición de los residuos vegetales, además de la calidad misma, es función de los organismos que en ella participan, de las condiciones ambientales, así como de los métodos empleados para su observación. 📖



BIBLIOGRAFÍA

- Alexandratos, N. (1988). *World Agriculture: Toward 2000*. An FAO Study, Belhaven Press, Londres.
- Altieri, M. A. (1990). "Agroecology and Rural Development in Latin America", en Altieri, M. A. y Hecht, S. B., *Agroecology and Small Farm Development*. C.R.C. Press, E.U.A.
- Anderson, J. M. e Ingram, J. S. (Eds.) (1989). *Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods*. C.A.B. International, Inglaterra.
- Brooks, P. C.; Landman, A.; Pruden, G. y Jenkinson, D. S. (1985). "Chloroform Fumigation and the Release of Soil Nitrogen: A Rapid Direct Extraction Method to Measure Microbial Biomass Nitrogen in Soil", en *Soil Biol. Biochem.* (17): 837-842.
- Fox, R. H.; Myers, R. J. y Vallis, I. (1990). "The Nitrogen Mineralization Rate of Legume Residues in Soil as Influenced by Their Polyphenol, Lignin, and Nitrogen Contents", en *Plant and Soil.* (129): 251-259.
- Frankenberger, W. T. y Abdelmagid, H. M. (1985). "Kinetic Parameters of Nitrogen Mineralization Rates of Legumes Crops Incorporated into Soil", en *Plant and Soil.*
- Giller, K. E. _____ y Cadisch, G. (1995). "Future Benefits from Nitrogen Fixation: An Ecological Approach to Agriculture", en *Plant and Soil.* (174): 255-277.
- _____ y Cadisch, G. (1997). *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. C.A.B. International, Cambridge University Press, United Kingdom.
- _____; McDonagh, J. F. y Cadisch, G. (1994). "Can Biological Nitrogen Fixation Sustain Agriculture in the Tropics?", en Syers, J. K. y Rimmer, D. L. (Eds.), *Soil Science and Sustainable Land Management in the Tropics*. University of Newcastle, United Kingdom.

- _____ y Wilson, K. J. (1991). *Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems*. C.A.B. International, Wallingford, United Kingdom.
- Goering, H. K. y Van Soest, P. J. (1970). *Forage Fibre Analyses Apparatus, Reagents, Procedures and some Applications, Agriculture Handbook*. USDA, (379): 1-19.
- Handayanto, E.; Cadisch, G. y Giller, E.
- _____ (1994). "Nitrogen Release from Prunings of Legume Hedgerow Trees in Relation to Quality of the Prunings and Incubation Method", en *Plant and Soil*. (160): 237-248.
- _____ (1997a). "Regulating N-Mineralization from Plant Residues by Manipulation of Quality", en: Cadisch, G. y Giller, K. E., *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*, C.A.B. International, Cambridge University Press, United Kingdom.
- _____ (1997b). "Regulating Nitrogen Release from Legume Tree Prunings by Mixing Residues of Different Quality", en *Soil Biol. Biochem.* (29): 1417-1426.
- Heal, O. W.; Anderson, J. M. y Swift, M. J. (1997). "Plant Litter Quality and Decomposition: An Historical Overview", en Cadisch, G. y Giller, K. E., *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. C.A.B. International, Cambridge University Press, United Kingdom.
- Henzell, E. F. (1988). "The Role of Biological Nitrogen Fixation Research in Solving Problems in Tropical Agriculture", en *Plant and soil*. (108): 15-21.
- Jingguo, W. y Bakken, L. R. (1997). "Competition for Nitrogen During Mineralization of Plant Residues in Soil: Microbial Response to C and N Availability", en *Soil Biol. Biochem.* (29): 163-170.
- Kachaka, S.; Vanlauwe, B. y Merckx, R. (1993). "Decomposition and Nitrogen Mineralization of Prunings of Different Quality", en Mulongoy, K. y Merckx, R. (Eds.). *Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture*. John Wiley & Sons, Chichester, United Kingdom.
- Kumar Rao, J. V.; Dart, P. J. y Sastry, S. S. (1983). "Residual Effect of Pigeonpea (*Cajanus cajan*) on Yield and Nitrogen Response of Maize", en *Expl. Agric.*(19): 131-141.
- MacColl, D. (1989). "Studies on Maize (*Zea mays*) at Bunda, Malawi. II. Yield in Short Rotation with Legumes", en *Expl. Agric.* (25): 367-374.
- Macklin, W.; Reshid, K. y Jama, B. (1989) *Results of Alley Cropping Experiments with Lecaena Leucocephala at the Kenya Coast: An Example of an Appropriate Soil Conservation*. ICRAF, Kenia.
- McDonagh, J. F.; Toomas, B.; Limpinuntana, V. y Giller, K. E. (1993). "Estimates of the Residual Nitrogen Benefit of Groundnut to Maize in Northeast Thailand", en *Plant and Soil*. (154): 267-277.
- Palm, O.; Weerakoon, W. L.; Silva, M. A. P. y Rosswall, T. (1988). "Nitrogen Mineralization of *Sesbania Sesban* Used as Green Manure on Lowland Rice in Sri Lanka", en *Plant and Soil*(108): 201-209.
- Pilbeam, C. J.; Okalebo, J. R.; Simmonds, L. P. y Gathua, K. W. (1994). "Analysis of Maize-Coommn Bean Intercrops in Semi-Arid Kenya", en *J. Agric. Sci.* (123): 191-198.
- Redclift, M. (1983). "Production Programs for Small Farmers: Plan Puebla as Myth and Reality", en *Economic Development and Cultural Change*. (31): 551-570.
- Rubaduka, E. B.; Cadish, G. y Giller, K. E. (1993). "Mineralization of Nitrogen in Woody Legumes Prunings and its Recovery by Maize", en Mulongoy, K. y Merckx, R. (Eds.). *Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture*. John Wiley & Sons, United Kingdom.
- Sharma, A. R. y Mitra, B. N. (1990). "Complementary Effect of Organic, Bio and Mineral Fertilisers in Rice Base Cropping System", en *Fert. News*. (35): 43-51.
- Shumba, E. M.
- _____; Dhliwayo, H. H.; Kupfuma, B. y Gumbie, C. (1990a). "Response of Maize in Rotation with Cowpea to NPK Fertilizer in a Low Rainfall Area", en *Zimbabwe J. Agric. Res.* (28): 39-45.
- _____; Dhliwayo, H. H., Kupfuma, B. y Gumbie, C. (1990b). "The Potential of Maize-Cowpea Intercropping in Low Rainfall Area of Zimbabwe", en *Zimbabwe J. Agric. Res.* (28): 33-38.
- Smith, L. J. y Paul, E. A. (1990). "The Significance of Soil Microbial Biomass Estimation", en *Soil Biochem* 6, en Bollag, J. M. y Stotzky, G. (Eds.). Marcel Dekker, New York. pp. 357-396.
- Toomsan, B.; McDonagh, J. F.; Limpinuntana, V. y Giller, K. E. (1995). "Nitrogen Fixation by Groundnut and Soybean and Residual Nitrogen Benefits to Rice in Farmers' Fields in Northeast Thailand", en *Plant and Soil*. (175): 45-56.
- Vanlauwe, B.; Diels, J.; Sanginga, N. y Merckx, R. (1997). "Residue Quality and Decomposition: An Unsteady Relationship?", en Cadisch, G. y Giller, K. E. *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. C.A.B. International, Cambridge University Press, United Kingdom.
- Yamoah, C. F.; Agboola, A. A. y Mulongoy. (1986). "Decomposition, Nitrogen Release and Weed Control by Prunings of Selected Alley Cropping Shrubs", en *Agroforestry Systems*. (4): 239-246.