tikalia

Abonos verdes: Una fuente de nitrógeno para la Agricultura Orgánica

*Eddi Alejandro Vanegas Chacón**

RESUMEN

Los abonos verdes *Calopogonium mucunoides* (Calopogonio), *Crotalaria juncea* (Crotalaria), *Cajanus cajan* (Gandul), *Stizolobium atterimum* (Mucuna) y *Leucaena leucocephala* (Leucaena) fueron bioquímicamente caracterizados y su potencial fertilizante evaluado mediante la técnica de "bolsas de descomposición", cuantificando la pérdida porcentual de materia seca y liberación de nitrógeno proveniente de su biodegradación a lo largo de 150 días en condiciones tropicales. El experimento se realizó en la localidad de Praia D´Anta, municipio de Araponga, Estado de Minas Gerais, Brasil. El área de estudio se caracteriza por un régimen medio anual de 1.320 mm de precipitación, temperatura máxima de 25,4 °C y mínima de 13.7 °C. La relación C/N no explicó la cinética de descomposición, los porcentajes de masa seca remanescente se correlacionaron con la relación lignina+ polifenoles/nitrógeno (r = 0,88), la Mucuna y el Gandul se caracterizaron como abonos de rápida descomposición, el Calopogonio y la crotalaria media y la leucaena lenta. La dinámica de liberación de nitógeno cuantificada por el nitrógeno remanescente se correlacionó con la relación lignina+polifenoles/nitrógeno (r=0.91) y la capacidad de los polifenoles en complexar proteína (r=0.86), el Gandul y el Calcpogonio son abonos de rápida liberación, la Crotalaria y la Mucuna, media y la Leucaena baja.

Palabras clave: Abonos verdes, descomposición de materia orgánica, liberación de nitrógeno, polifenoles y complexación de proteína.

INTRODUCCIÓN

La zona de la "Mata Mineira" se caracteriza por topografía accidentada, suelos intemperizados y con baja fertilidad natural, escenario que demanda la utilización de prácticas que aporten materia orgánica para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Entre otras, la incorporación de abonos verdes, parece ser la más promisoria y viable económicamente, resultados de investigaciones han comprobado su eficiencia en la cobertura y protección del suelo contra la erosión, en el mitigamiento de infestaciones de nemátodos y en la mejoría de la calidad física, química y biológica del suelo (Franco et al. 1994; Calegari et al. 1993). Los abonos verdes contribuyen tanto en corto plazo, manejo de la nutrición del suelo y suplemento de nutrientes para las plantas, cuanto en el largo plazo, mantenimiento de niveles adecuados de materia orgánica en el suelo. La biodegradación de los abonos verdes depende de su composición bioquímica (Martens, 2000); factores edáficos (Vargas & Hungria, 1997); y de las condiciones climáticas (Quemada & Cabrera, 1997). En agricultura orgánica, las leguminosas son utilizadas como adobos verdes constituyéndose en una fuente económica de nutrientes, principalmente nitrógeno, cuya eficiencia en la aportación de nutrientes puede incrementarse mediante selección genética o mezclas con otros tipos de plantas para liberar nutrientes en sincronía con la demanda de las culturas. La selección de los abonos verdes no está basada en criterios de relación directa, por ejemplo: abonos con mayores cantidades de nitrógeno, mineralizarán más rápido y en mayor cantidad (Palm & Sanchez, 1991). Características bioquímicas como la cantidad de lignina, polifenoles totales y su capacidad en complexar proteína son indicadores que rigen el proceso de descomposición y por tanto de liberación de nutrientes (Tian & Brussard, 1997). Abonos ricos en lignina y/o polifenoles son capaces de formar polímeros con varias formas de nitrógeno manteniendo a lo largo del tiempo niveles adecuados de materia orgánica en el suelo, actuando en la relación suelo – planta como fertilizantes de solubilidad controlada (Sanchez & Logan, 1992). Para utilizar eficientemente los abonos verdes como fertilizantes orgánicos se deben caracterizar bioquímicamente y conocer su dinámica de descomposi-

ción y liberación de nutrientes (Mafongoya, et al. 1998). Con base en la hipótesis que la composición bioquímica de los abonos verdes interfiere en su descomposición y consecuentemente en la liberación de nutrientes, se evaluó el proceso de descomposición y liberación de nitrógeno en varios abonos verdes, utilizados como fuentes de nitrógeno en plantaciones de café manejadas orgánicamente.

METODOLOGÍA

Los abonos verdes *Calopogonium mucunoides* (Calopogonio), *Crotalaria juncea* (Crotalaria), *Cajanus cajan* (Gandul), *Stizolobium atterimum* (Mucuna), y *Leucaena leucocephala* (Leucaena) fueron bioquímicamente caracterizados, sub-muestras fueran secas en horno con circulación de aire a 65°C durante 72 horas, molidas y pasadas por tamiz con diámetro de 2 mm. Se determinó la cantidad total de carbono, por oxidación húmeda (Yeomans & Bremner, 1988), nitrógeno total por el método de Kjeldahl, S por digestión nitroperclórica determinado en el extracto por espectrometría de emisión de plasma, Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica; K por espectrometría de emisión de llama y P por colorimetría (Murphy & Riley, 1982). Fibra en detergente neutro e ácido, hemicelulosa, celulosa y lignina, por el método de Van Soest (Silva & Queiroz, 2002); carbohidratos (Brink et al. 1960); polifenoles totales por la reacción de Follin-Denis y reactividad de los polifenoles por el método blue-dye labelled (Anderson & Ingram, 1989).

El proceso de descomposición y liberación de nitrógeno de los abonos fue cuantificado a lo largo de 150 días (meses de marzo a agosto de 2005), en la localidad de Praia D´Anta, municipio de Araponga, Estado de Minas Gerais, Brasil. El área está localizada a 790 m de altitud, con relieve suave ondulado, exposición solar fase sur, coordenadas 20° 38´47´´ Sur, y 42° 32´30´´ Oeste, con régimen medio anual de 1,320 mm de precipitación, temperatura máxima de 25,4°C y mínima de 13,7°C. El suelo dominante es el llamado Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (Oxisol, álico), cuyas características químicas se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características químicas del suelo de Praia D´ Anta, Araponga, Minas Gerais, Brasil (Lima et al. 2005)

Table 1. Soil chemical characteristics of Praia D´Anta, Araponga, Minas Gerais Brasil (Lima et al. 2005)

Área	pH	P	K	Ca^{2}	Mg^{2+}	Al^{3+}	SB	T	T	V	m	MO	P-rem
	A_2O		mg dm^{-3}				$cmol_c$ dm^{-}			%		dag kg^{-}	mg L^{-1}
Praia D'Anta	4.8	1.7	80	1.8	0.65	0.6	2.74	3.3	14	19	18	5	14.2

SB: suma de bases trocables; t: capacidad de intercambio catiónica efectiva; T: capacidad de intercambio catiónica a pH 7,0; V: Índice de saturación de bases; m: Índice de saturación de aluminio; MO: carbono orgánico*1,724-Walkley-Black; P-rem: fósforo remanescente.

Los abonos verdes fueron plantados y colectados en el área experimental evaluando su descomposición de acuerdo con Verhoef, (1995). La masa de cada material equivalente a 100 g fue colocada dentro de bolsas de polietileno con dimensiones de 30 cm x 30 cm, y malla de 2 mm de diámetro, que fueron posicionadas debajo del área de goteo de las plantas de café y colectadas a los 15, 30, 60, 90, 120, e 150 días después de iniciado el experimento. Durante cada colecta, el material vegetal contenido en cada bolsa fue limpiado, secado en horno con circulación de aire a 65°C durante 72 horas y pesado. Después fue molido y pasado por tamiz de 2 mm de diámetro, cuatro submuestras fueron caracterizadas respecto al nitrógeno total, por el método de Kjeldahl. Tanto la pérdida de masa como el contenido de nitrógeno fueron cuantificados por diferencia en relación a la masa y contenido de nitrógeno inicial. Se utilizó el diseño experimental bloques al azar con 4 repeticiones, y para el análisis estadístico el esquema de parcelas subdivididas, en el cual los abonos verdes correspondieron a las parcelas y las evaluaciones en el tiempo a las subparcelas. El programa de computador SAEG fue utilizado para realizar análisis de variancia, pruebas de medias según Tukey y regresión no linear de acuerdo con el modelo de descomposición y liberación de nutrientes de Wieder & Lang (1982):

$$MSR \text{ ou } NR = A^{*}e^{k.t} + (100 - A)$$

Donde:
MSR = Porcentaje de materia seca remanescente;
NR = Porcentaje de nitrógeno remanescente;
A = Compartimiento fácilmente descomponible o liberado;
(100-A) = Compartimiento recalcitrante;
k= Tasa constante de descomposición de la materia seca o de liberación de nitrógeno;
t= Tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los abonos verdes presentaron relaciones C/N < 20 y cantidades pequeñas de fósforo y azufre; por tanto, relaciones C/P y C/S muy altas, lo que indica la importancia de estos abonos como fuentes de nitrógeno orgánico. No obstante presentaron gran variación respecto a su contenido nutricional, siendo la Leucaena la que presentó mayor contenido de nitrógeno y menor relación C/N (Tabla 2).

Tabla 2. Características químicas (con base en la materia seca) de los abonos.
Table 2. Chemical characteristics (dry matter) of green manures.

Variable	Unidad	Calopogonio	Crotalaria	Mucuna	Leucaena	Gandul	Media	CV(%)
C	dag kg^{-1}	46.29	46.85	43.10	44.28	48.04	45.71	4.36
N	dag kg^{-1}	3.42	3.42	2.87	4.51	3.71	3.59	16.71
P	dag kg^{-1}	0.22	0.19	0.19	0.21	0.29	0.22	18.74
S	dag kg^{-1}	0.19	0.13	0.18	0.31	0.19	0.20	33.17
C/N		16.00	16.00	18.00	11.00	15.00	15.20	17.03
C/P		544.00	637.00	586.00	545.00	428.00	548.00	14.07
C/S		650.00	961.00	604.00	381.00	674.00	654.00	31.68
Ca	dag kg^{-1}	1.11	0.81	1.09	1.54	0.68	1.05	31.70
Mg	dag kg^{-1}	0.41	0.25	0.19	0.31	0.18	0.27	35.44
K	dag kg^{-1}	1.04	1.36	1.04	1.57	1.50	1.30	19.27

dag kg^{-1}: decagramos por kilogramo = %
CV: coeficiente de variación entre los diferentes abonos verdes.

El análisis de fibra determinó que el Gandul, Leucaena y Gandul contienen las mayores cantidades de fibra insoluble en detergente neutro (celulosa, hemicelulosa y lignina), el Gandul, Calopogonio y Leucaena las cantidades de fibra insoluble en detergente ácido (lignocelulosa) y la Leucaena la mayor cantidad de lignina. El indicador de descomposición y liberación de nitrógeno fue establecido por la cantidad de polifenoles totales y capacidad de complexar proteína (Tabla 3). El abono verde con mayor recalcitrancia fue la Leucaena con 6,98% de polifenoles y de reactividad 114,93 $\mu g\ mg^{-1}$.

Tabla 3. Análisis bioquímica de los abonos y relación lignina, nitrógeno y polifenoles (con base en la materia seca).
Table 3. Biochemical analysis of green manures and rate of lignin, nitrogen and polyphenols (dry matter).

Variable	Unidad	Calopogónio	Crotalária	Mucuna	Leucaena	Gandul	Media	CV (%)
FDN	%	65.16	65.88	69.37	69.02	70.01	67.89	3.25
FDA	%	54.89	48.84	51.16	54.59	58.70	53.64	7.05
HEM	%	10.28	17.03	18.21	14.43	11.31	14.25	24.27
CEL	%	40.03	35.99	36.73	27.01	39.00	35.75	14.42
LIG	%	13.59	12.35	12.32	26.87	18.45	16.72	37.15
Cag	%	5.47	6.10	6.75	4.93	5.77	5.80	11.75
CARB	%	1.80	2.46	2.77	3.96	4.17	3.03	33.27
POL	%	2.49	2.32	1.98	6.98	4.35	3.62	57.68
BSA	$\mu g\ mg^{-1}$	67.63	29.86	37.51	114.93	84.92	66.97	52.09
LIG/N		3.97	3.61	4.29	5.96	4.97	4.56	20.37
POL/N		0.73	0.68	0.69	1.55	1.17	0.96	40.05
LIG/POL		5.46	5.32	6.22	3.85	4.24	5.02	19.17
(LIG+POL)/N		4.70	4.29	4.98	7.51	6.15	5.53	23.65

FDN: fibra insoluble en detergente neutro; FDA: fibra insoluble en detergente ácido; HEM: hemicelulosa; CEL: celulosa; LIG: lignina; Cag: carbono soluble en agua; CARB: carbohidratos totales solubles; POL: polifenoles totales solubles; BSA: capacidad de los polifenoles en complexar proteína.
CV: coeficiente de variación entre los diferentes abonos verdes.

La biomasa remanescente decreció para todos los abonos verdes, principalmente durante los primeros 15 días de descomposición (Se muestran solo algunos resultados, Figura 1). El análisis de regresión permitió estimar la vida media del proceso de descomposición de los abonos (descomposición del 50% de la materia seca inicial), identificando los siguientes comportamientos: vida media entre 21 y 27 días Mucuna y Gandul; entre 33 y 35 días Calopogonio y Leucaena; entre 42 y 70 días Crotalaria (Se muestran solo algunos resultados, Tabla 4).

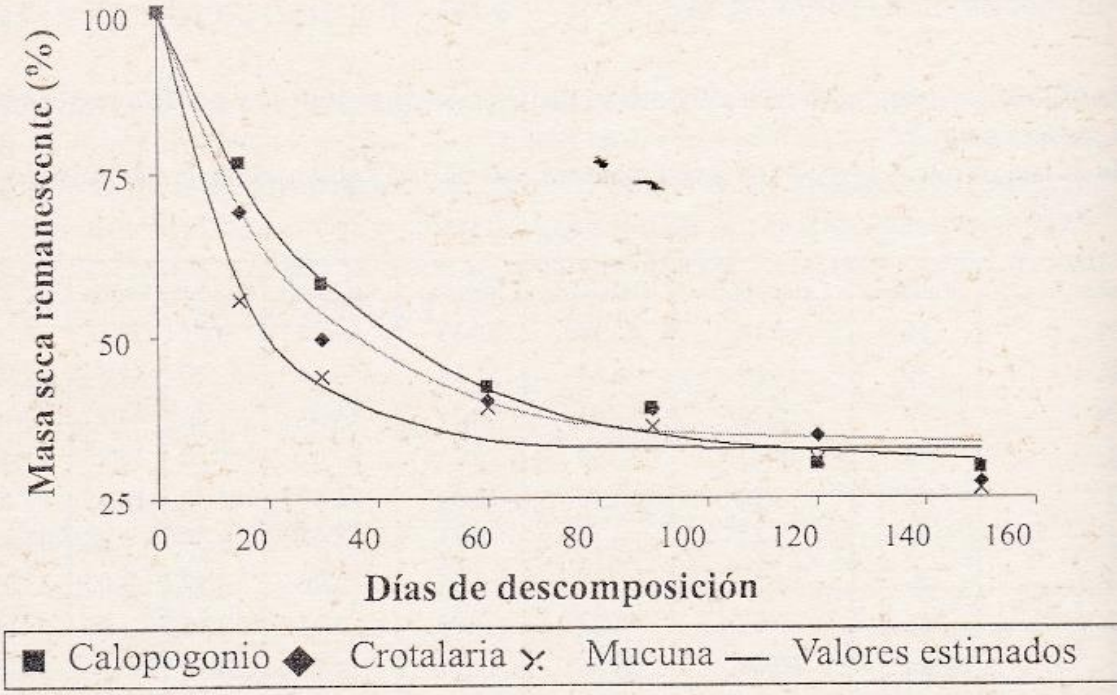

Figura 1. Materia seca remanescente de Calopogonio, Crotalaria y Mucuna

Figure 1. Remained dry matter of Calopogonium, Crotalaria and Stizolobium

Tabla 4. Estimación de los parámetros, intervalos de confianza, coeficiente de determinación y vida media del proceso de descomposición de abonos verdes.

Table 4. Estimated parameters, truths intervals, determination coefficient and haft life of the decomposition process in green manures.

Material	Parámetros estimados (1)	IC		R^2	t(1/2) días
		LI	LS		
Calopogonio	A= 66,49	59,40	73,57	0,97	33
	K= -0,040	- 0,057	- 0,023		
Crotalaria	A= 69,90	64,11	75,69	0,98	42
	K= -0,030	- 0,039	- 0,022		
Mucuna	A= 67,43	61,86	73,00	0,97	21
	K= - 0,065	- 0,091	- 0,039		

(1): Parámetros estimados significativos a 5% de probabilidad según la prueba de t; LI: Limite inferior; LS: Limite superior; R^2: Coeficiente de determinación; t(1/2): vida media.

Correlaciones de Pearson entre los porcentajes de materia seca remanescente y las características bioquímicas de los abonos verdes son presentadas en la Tabla 5. La relación C/N no explicó la cinética de descomposición de los abonos estudiados, este proceso fue explicado de mejor manera por las relaciones LIG/N; LIG+POL/N y capacidad de los polifenoles en complexar proteína (prueba del BSA).

Tabla 5. Correlaciones de Pearson entre los porcentajes de masa remanescente y características bioquímicas de los abonos verdes.

Table 5. Pearson correlations among percentages of remained mass and biochemical characteristics of green manures.

% Masa	C/N	C/P	POL	BSA	LIG/N	POL/N	LIG/POL	(LIG+POL)/N
remanente	0,36**	0,50**	0,52**	0,86**	0,89**	0,83**	- 0,59**	0,88**

** Parámetros estimados significativos a 1% de probabilidad según la prueba de t

Los valores observados y estimados de liberación de nitrógeno para algunos abonos son presentados en la Figura 3, y los criterios de validación del análisis de regresión en la Tabla 6. Los abonos con vida media de liberación de nitrógeno de 8 a 15 días fue-

ron la Crotalaria, Gandul y el Calopogonio, de 25 a 45 la Mucuna y mayor de 150 la Leucaena. Los porcentajes de nitrógeno remanescente se correlacionan con la relación LIG+POL/N (r = 0,91) y capacidad de los polifenoles en complexar proteína (r = 0,81), resultados concordantes con las investigaciones de Mafongoya et al. (1998), que consideran la relación LIG+POL/N como indicador de predicción de descomposición y liberación de nutrientes en abonos verdes.

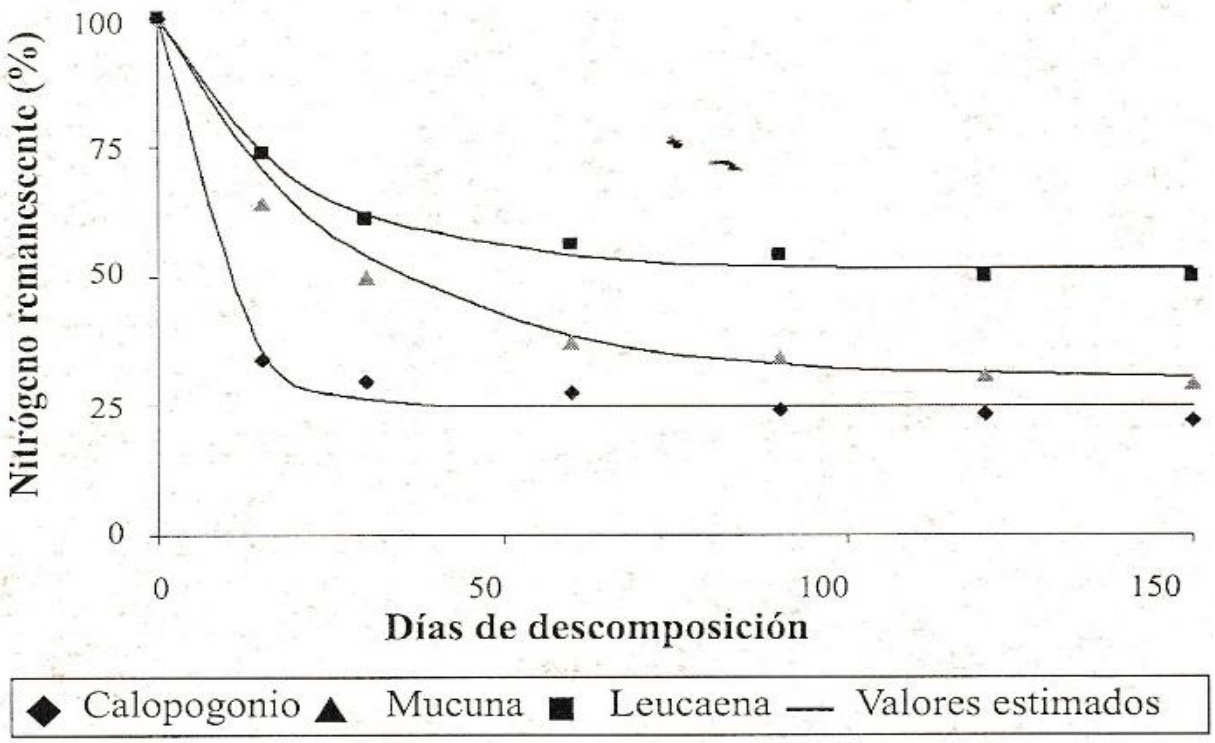

Figura 2. Porcentaje de Nitrógeno remanescente.
Figure 2. Percentage of remained nitrogen.

Tabla 6. Parámetros estimados, coeficiente de determinación, y vida media para la liberación de nitrógeno en abonos verdes.
Table 6. Estimated parameters, determination coefficient and haft life of the nitrogen release in green manures.

Material	Nitrógeno			
	Parámetros		R^2	t (1/2) días
	A	K		
Calopogonio	75.27	- 0.130	0.99	8
Mucuna	69.87	- 0.036	0.97	35
Leucaena	48.47	- 0.051	0.98	>150

(1): Parámetros estimados significativos a 5% de probabilidad según la prueba de t; R^2: Coeficiente de determinación; t(1/2): vida media.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El Calopogonio y el Gandul presentan las mayores cantidades de celulosa y la Leucaena la mayor cantidad de nitrógeno y lignina.
- Las relaciones polifenoles/nitrógeno, lignina+polifenoles/nitrógeno y la capacidad de los polifenoles en complexar proteína son los indicadores que explican el proceso de biodegradación (descomposición y liberación) de las formas orgánicas del nitrógeno.
- La Mucuna, el Calopogonio y el Gandul son abonos verdes que pueden incorporarse directamente al suelo, ya la Crotalaria y la Leucaena pueden utilizarse para realizar mezclas con otro tipo de abonos orgánicos para compostagen.

LITERATURA CITADA

ANDERSON, J.M. & INGRAM, J.S. **Tropical soil biology and fertility**: a handbook of methods. Wallingford: CAB Internacional, 1989. 171 p.: il.

BRINK, R.H., DUBACH, P., LYNCH, D.L. Measurement of carbohydrates in soil hydrolyzates with anthrone. **Soil Science**, Baltimore, v.89, n.3, p 157-166, march. 1960.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.; WILDNER, L. et al. **Adubação verde no sul do Brasil.** Rio de Janeiro: Desktop, 1993. 346 p.: il.

KERN, J.S. & JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmosphere carbon levels. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.57, n.1, p 200-210, january-february. 1993.

KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.:il.

LIMA, P.C.; MOURA, W.M.; LIMA, W.A.; HIZUMI, S.; MATOS, E.S.; PENNA, B. A., PERTEL, J. Avaliação de leguminosas utilizadas na adubação verde de cafezais orgânicos na zona da

Mata de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina PR. **Resumos Expandidos...** Londrina PR: CBP-D Café; EBA; Embrapa;Epamig; IAC; Iapar; Incaper; Pesagro-Rio; Sarc/MAPA, Ufla e Ufv, 2005. CD. s.p.

MARTENS, D.A. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. **Soil Biology & Biochemistry**, Great Britain, v.32, n.3, p 361-369, march. 2000.

MOFONGOYA, P.L.; GILLER, K.E.; PALM, C.A. Decomposition and nitogen release patterns of tree pruning and litter. Agroforestry Systems, The Netherlands, v. 38, n XX, p. 77-97, xx. 1998.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras:UFLA., 2002. p. 191-241.

MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. **Analytical Chemical Acta**, Amsterdam, v.27, n.1, p 31-36, january. 1962.

PALM, C.A. & SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology & Biochemistry**, Great Britain, v.23, n.1, p 83-88, january.1991.

QUEMADA, M. & CABRERA, M.L. Temperature and moisture effects on C and N mineralization from surface applied clover residue. **Plant and Soil**, The Netherlands, v. 189, n.1, p 127-137, february. 1997.

RIBEIRO JUNIOR, J.I. Análises estatisticas no SAEG. Viçosa: UFV., 2001. 301 p.

SANCHEZ, P. A. & LOGAN, T.J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: LAL, R. & SANCHEZ, P.A., eds. **Myths and science of soil in the tropics**. Madison: Soil Science Society of America, 1992. p. 35-46. (Special publication. n.29).

SILVA, D.J. & QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos**: métodos químicos e biológicos. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235 p.:il.

TIAN, G. & BRUSSARD, L. Mulching effect of plant residues of chemically contrasting compositions on soil organic matter content and cation exchange capacity. **Communication in soil science and plant analysis**, Monticello, v.28, n.17&18, p.1603-1611, october. 1997.

VARGAS, M.A. & HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC., 1997. 524 p.:il.

VERHOEF, H.A. Litterbag method. In: ALEF,K. & NANNIPIERE, P. **Methods in Appplied Soil Microbiology and Biochemestry**. New York: Academic Press, 1995. 576 p.:il.

WIEDER, R.K. & LANG. G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, Ithaca, v.63, n.6, p.1636-1642, december. 1982.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis**, Monticello, v.19, n13, p. 1467-1476, october. 1988.

*Dr. en Nutrición Vegetal. Profesor titular de la FAUSAC.