

DESCOMPOSICIÓN Y TRANSFERENCIA DE NUTRIENTES DE *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida* COMO ABONOS VERDES EN CAFETALES¹

Ana Mayerly Jiménez-Suárez*; Fernando Farfán-Valencia**; Carmen Soledad Morales-Londoño***

RESUMEN

JIMÉNEZ S., A. M.; FARFÁN V., F.; MORALES L., C. S. Descomposición y transferencia de nutrientes de *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida* como abonos verdes en cafetales. *Cenicafé* 56(3): 216-236. 2005.

Se evaluó la descomposición de los residuos de *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida* y la transferencia de nutrientes a los cafetales en la Estación Central Naranjal de Cenicafé, en Chinchiná, establecidas en densidades de 172.000, 86.000 y 60.000 plantas/ha. La producción media de biomasa seca en *C. cajan*, *C. juncea* y *T. candida* fue de 7,6; 4,2 y 5,4ton/ha, respectivamente y el modelo que representó adecuadamente la tasa de descomposición de los residuos vegetales fue el exponencial simple. La tasa relativa de descomposición mensual en *C. cajan* fluctuó entre 0,18 y 0,21, en *C. juncea* entre 0,25 y 0,32 y en *T. candida* entre 0,18 y 0,21. En un periodo de 180 días de descomposición de la biomasa seca de *C. cajan* se transfirieron al suelo 57,8% de N, 79,8% de P, 96,8% de K, 25% de Ca y 65,7% de Mg; de la descomposición de *C. juncea* se transfirieron al suelo 84,6% de N, 89,1% de P, 98,8% de K, 74,3% de Ca y 90,0% de Mg; y los residuos de *T. Candida* transfirieron 78,3% de N, 84,2% de P, 97,9% de K, 50,9% de Ca y 86,9% de Mg. Estas características hacen que las especies leguminosas posean gran potencial para ser empleadas en programas de fertilización orgánica en café.

Palabras claves: Café, abonos verdes, leguminosas, biomasa seca, descomposición de residuos vegetales, nutrición.

ABSTRACT

The residuals decomposition of *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* and *Tephrosia candida* and the nutrients transference to the coffee crops at the Central Station Naranjal—Cenicafé—located in the municipality of Chinchiná, Caldas, Central Colombian Coffee zone, was evaluated. The legumes were sown at planting densities of 172,000, 86,000 and 60,000 plants/ha. The mean production of dry biomass in *C. cajan*, *C. juncea* and *T. candida* was 7.6; 4.2 and 5.4 ton/ha, respectively; and the model that adequately represented the rate of biomass decomposition was the simple exponential. The monthly relative decomposition rate varied between 0.18 and 0.21 in *C. cajan*, 0.25 and 0.32 in *C. juncea* and between 0.18 and 0.21 in *T. candida*. During a 180-day period the transfer of nutrients to soil from decomposed *C. cajan* was 57.8% N, 79.8% P, 96.8% K, 25% Ca and 65.7% Mg; for *C. juncea* this transfer was 84.6% N, 89.1% P, 98.8% K, 74.3%Ca and 90.0% Mg. In *T. Candida*, these values were 78.3% N, 84.2% P, 97.9% K, 50.9% Ca and 86.9%. These characteristics cause that this species of legumes have great potencial to be used in programs of coffee organic fertilization.

Keywords: Coffee, green manure, legumes, dry biomass, biomass decomposition, nutrition.

¹ Fragmento de la tesis “Evaluación agronómica de las especies leguminosas *Cajanus cajan* (Guandul), *Crotalaria juncea* (Crotalaria) y *Tephrosia candida* (Tefrosia) y su efecto como abonos verdes en el cultivo del café”, presentada a la Universidad de Caldas, para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

* Estudiante Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa de Agronomía, Universidad de Caldas.

** Asistente de Investigación. Fitotecnia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

*** Profesor Fertilidad de Suelos, Programa de Agronomía, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas.

De acuerdo con las normas internacionales y nacionales que rigen los sistemas de producción sostenible de café, entre los que se encuentran los cafés de sombra o de conservación, de precio justo o sociales, y los cafés orgánicos, debe reducirse al máximo o se prohíbe el empleo de productos químicos de síntesis, como es el caso de los fertilizantes (11, 17, 23, 28). Por tal motivo, en la caficultura sostenible el plan de fertilización se basa en el empleo de la pulpa del café descompuesta como fuente principal pero es necesario que el productor posea alternativas complementarias. Entre éstas se contemplan los abonos de origen animal, el composte obtenido por el procesamiento de residuos vegetales y animales, fertilizantes minerales naturales y abonos verdes, para suministrar los nutrientes y la materia orgánica que los cultivos requieren.

La cantidad de materia orgánica que contiene el suelo se determina por la diferencia entre la biomasa total recibida y la suma de la biomasa mineralizada en forma rápida o lábil y la mineralizada en forma lenta o estable; sin embargo, el estado orgánico del suelo se reduce al contenido total de materia orgánica. En los sistemas de producción son muy importantes el contenido total de materia orgánica y la velocidad con que ésta evoluciona, así como el equilibrio al que tienden los procesos de humificación y mineralización; en este sentido, un suelo equilibrado es aquel que periódicamente recibe un aporte de materia orgánica y otras enmiendas (25, 33).

La velocidad de transformación de la materia orgánica depende de muchos factores como: la composición de los residuos orgánicos, la relación C/N, la actividad biológica del suelo, la humedad, la temperatura, la aireación y las propiedades físico-químicas, entre otros; elementos que condicionan que cada material presente un determinado grado de descomposición (19, 22, 25, 27, 33).

Esta investigación tuvo como objetivo considerar una alternativa de fertilización del cafetal empleando tres especies leguminosas con potencial para ser utilizadas como abonos verdes, las cuales se evaluaron desde el punto de vista de la velocidad de descomposición de los residuos vegetales, la tasa de incorporación al suelo de los residuos y la transferencia de nutrientes presentes en estas especies. Adicionalmente, se buscó contribuir con alternativas para complementar la fertilización o para la recuperación de suelos en sistemas de cultivos convencionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El estudio se realizó en la Estación Central Naranjal, situada en el municipio de Chinchiná (Caldas), en la zona cafetera central de Colombia. Las características geográficas, climáticas (7) y de suelos (14), se presentan en la Tabla 1.

Material vegetal. Se estudiaron las especies leguminosas: *Cajanus cajan* (guandul), *Crotalaria juncea* (crotalaria) y *Tephrosia candida* (tefrosia).

Tratamientos y diseño experimental. El experimento constó de 10 tratamientos, producto de un arreglo factorial aumentado 3x3+1 (tres especies de leguminosas, tres densidades de siembra y un testigo) (Tabla 2), con tres niveles por cada factor y 5 repeticiones, en un diseño experimental de bloques completos al azar. La unidad experimental fue la parcela, en la que se estableció el café a 2,0 x 1,0m, y dos tallos por sitio. El campo experimental constó de 50 unidades experimentales de 56m² cada una y ocupó un área total de 2.800m².

Establecimiento. El café se sembró el 18 de noviembre de 2002 y 30 días después las leguminosas. Se realizaron tres evaluaciones de emergencia a los 5, 24 y 29 días después

Tabla 1. Características geográficas, climáticas y de suelos de la localidad.

Localización geográfica		Características de suelos	
Latitud Norte	04° 59'	pH	5,2
Longitud Oeste	75° 39'	Materia orgánica (%)	13,3
Altitud (m)	1.400	Nitrógeno (%)	0,51
Características climáticas		Fósforo (ppm)	3,0
Temperatura media (°C)	21,7	Potasio (m/100g)	0,98
Precipitación (mm)	2.987	Calcio (m/100g)	4,3
Brillo Solar (horas año)	1.497	Magnesio (m/100g)	1,9
Humedad Relativa (%)	80%	Material parental	Cenizas volcánicas

Tabla 2. Descripción de los tratamientos.

Tratamientos	Descripción	Densidad de siembra de las leguminosas Plantas/ha
1	Café + <i>Cajanus Cajan</i>	172.000
2	Café + <i>Cajanus Cajan</i>	86.000
3	Café + <i>Cajanus Cajan</i>	60.000
4	Café + <i>Crotalaria juncea</i>	172.000
5	Café + <i>Crotalaria juncea</i>	86.000
6	Café + <i>Crotalaria juncea</i>	60.000
7	Café + <i>Tephrosia candida</i>	172.000
8	Café + <i>Tephrosia candida</i>	86.000
9	Café + <i>Tephrosia candida</i>	60.000
10	Testigo (café)	Sin asocio de leguminosas

de sembradas las leguminosas; posteriormente se hicieron dos raleos y se completó la población de plantas con resiembra con el fin de garantizar las densidades planteadas en los tratamientos.

Variables evaluadas

Biomasa seca de las leguminosas. La producción de biomasa seca se evaluó realizando podas a las plantas tres veces en el año. Todo el material resultante en cada unidad experimental se pesó para determinar el Peso Verde (PV). De este material se tomaron muestras compuestas de tallos, hojas

y brotes, de 5.000g cada una, y éstas se llevaron para secar el material en una estufa a 80°C hasta obtener un peso constante y finalmente determinar el Peso Seco (PS) de la muestra. Posteriormente, se determinó la relación (**R**) entre el peso seco y peso verde (**R=PS/PV**) de la muestra; esta relación se empleó para transformar el valor del peso verde de la especie leguminosa en cada unidad experimental a peso seco. Con la información del peso seco obtenido en cada unidad experimental y con las densidades de siembra utilizadas se determinó la producción media de biomasa seca de cada especie en toneladas por hectárea.

Descomposición del material vegetal residual. Para la determinación de la tasa de descomposición de los residuos vegetales se empleó el método de bolsas de descomposición. Se construyeron 324 bolsas con malla plástica de polietileno de 30x 20cm, con aberturas de malla de 1,0 x 1,0mm; y en cada bolsa se depositaron 100g de material vegetal seco de cada una de las especies. Las bolsas se distribuyeron en el campo aleatoriamente y se expusieron 12 bolsas por cada tratamiento en tres repeticiones. Durante un período de seis meses se recolectaron mensualmente dos muestras en cada unidad experimental, y se llevaron al laboratorio para determinar el peso seco constante a 80°C. La descomposición del material evaluado mediante la pérdida de peso correspondiente a cada tiempo de degradación generó un porcentaje de peso seco remanente (%Psr), calculado mediante el cociente del peso seco al horno del material remanente mensualmente (*Psm*) por el tiempo (*t*), sobre el peso seco al horno del material inicial (*Psi*):

$$\%Psr = (Psm \cdot t / Psi) \times 100$$

Los %Psr fueron calculados para ser empleados en la determinación de tasa de descomposición del material vegetal. Debido a que la descomposición es proporcional al contenido de materia orgánica, la tasa relativa de descomposición o de transferencia de material vegetal mensual hacia el suelo puede ser representada por un modelo exponencial simple (33, 34, 39), del orden:

$$y = y_0 e^{-kt}$$

Donde:

y= porcentaje de peso seco remanente o residual

*y*₀= porcentaje de peso inicial

t= tiempo

k= tasa relativa de descomposición mensual

o constante de velocidad de descomposición del residuo orgánico (33).

Después de 6 meses de evaluaciones se calculó la cantidad total de biomasa seca de cada especie leguminosa descompuesta o incorporada al suelo.

Tasa relativa de descomposición (*k*) o coeficiente de mineralización. El coeficiente de descomposición indica la velocidad con que se transforman o descomponen los residuos vegetales. La tasa de descomposición puede fluctuar entre 0,1/día para residuos de muy rápida descomposición y 0,00001/día en residuos de muy lenta degradación (4). Este coeficiente se corroboró aplicando el modelo planteado por Weider y Lang (39) y Olson (30), e indica que:

$$k = - [\ln(y/y_0)]/t$$

Donde

k= tasa relativa de descomposición,

y= porcentaje de peso seco residual,

*y*₀= porcentaje de peso inicial, y

t= tiempo.

Coficiente isohúmico (*k*₁). Esta variable se define como la fracción de la materia orgánica que queda sin descomponerse o se descompone muy lentamente después de un período de tiempo dado. El *k*₁ depende esencialmente pero no exclusivamente de las características del residuo orgánico (21, 25), y es un indicador del estado o madurez del abono orgánico. Debido a la naturaleza de sus componentes como ligninas y proteínas, las cuales son relativamente resistentes a la descomposición biológica, Henin y Dupuis (21) y Saña (33), sugieren determinar este coeficiente a través de la fracción orgánica del residuo vegetal, aplicando la siguiente expresión:

$$k_1 = MO_{\text{humificada}} / MO_{\text{aportada}}$$

Concentración de nutrientes en la biomasa seca producida por las leguminosas. De las muestras iniciales (día 0) y de las retiradas mensualmente del campo y después del secado, se tomaron muestras compuestas (provenientes de las tres repeticiones) para realizar el análisis foliar. Se determinó el N por el método semimicro Kjeldahl, el P por colorimetría (molibdovanadato de amonio), el K, el Ca y el Mg, mediante espectrofotometría de absorción atómica (EAA); también se determinó el contenido de materia orgánica. Las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg y cenizas se expresaron en porcentaje (%).

Flujo o transferencia de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg). La evaluación de la liberación o transferencia del contenido de nutrientes (*NI*) en la materia seca de las leguminosas, se determinó inicialmente con la relación (*Nr*) entre la concentración de nutrientes en la muestra residual mensual (*Nm*) y la concentración (%) del nutriente en la muestra inicial (*Ni*), multiplicando por el peso seco residual (*PSR*).

$$Nr = (Nm / Ni) PSR \quad y$$

$$NI = 100 - Nr$$

NI = Porcentaje del nutriente liberado mensualmente.

Análisis estadístico. Para analizar las diferencias entre las tasas de descomposición

de los residuos de las leguminosas en cada densidad de siembra se aplicó la prueba de comparación de medias Duncan al 5%, y para analizar las diferencias entre las especies se realizaron pruebas de comparación de medias Tukey al 5%. Se efectuaron los análisis de varianza para las cantidades transferidas de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) por el follaje descompuesto, considerando la presencia o ausencia de ajustes significativos (β) para un mismo modelo de regresión de las diferentes especies leguminosas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa total de las especies leguminosas.

En la Tabla 3 se presenta el aporte de biomasa seca (t/ha) de las especies en cada densidad de siembra. En la interacción Densidad*Especie, los resultados del análisis multivariado no mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$), por tanto, se realizaron pruebas de comparación de medias para determinar las diferencias en el aporte de biomasa entre las tres especies. Los aportes de materia seca total por año de *C. cajan* y *C. juncea* fueron diferentes entre sí estadísticamente, mientras que *T. candida* no mostró diferencias estadísticas en la producción de materia seca en comparación con estas dos especies.

Peso seco residual de las muestras de las tres leguminosas.

Los valores del peso seco

Tabla 3. Producción total (t/ha) de materia seca de las tres especies leguminosas.

Densidad (plantas/ha)	Producción de biomasa (t/ha)		
	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Crotalaria juncea</i>	<i>Tephrosia candida</i>
172.000	8,85	5,79	6,50
86.000	8,03	3,54	4,81
60.000	6,05	3,18	4,97
Producción media	7,64 a*	4,17 b	5,43 ab

* Promedios identificados con letras distintas indican diferencia estadística según la prueba Tukey al 5%

de las muestras remanentes en los períodos de evaluación de 30, 60, 90, 120, 150 y 180 días de descomposición se observan en la Figura 1.

Para *C. cajan* en las tres densidades de siembra fueron de 79,8; 68,2; 45,6; 34,3; 34,7 y 35,4g, respectivamente; para *C. juncea* 57,8; 43,6; 26,0; 21,3; 22,4 y 16,7g y para *T. candida* de 73,5; 611; 35,2; 26,0; 24,1 y 24,7g. El peso seco de la muestra inicial para las tres especies fue de 100g.

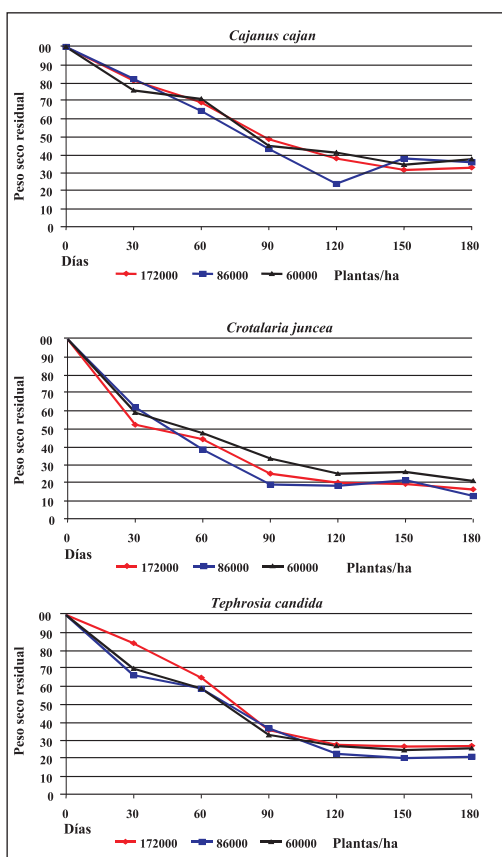


Figura 1. Peso seco residual (g) de *C. cajan*, *C. juncea* y *T. candida* en descomposición, durante un periodo de 180 días.

Tasa de descomposición del material vegetal.

En la Tabla 4, de acuerdo con el modelo exponencial simple (modelo aplicado) se presenta la tasa relativa de descomposición (K) para las tres leguminosas en cada distancia de siembra evaluada; modelos similares fueron aplicados por Heuveldop *et al.* (20), en *Cordia alliodora* y *Erythrina poeppigiana*; por Oliver *et al.* (29), para evaluar la degradación de la hojarasca de leguminosas herbáceas, arbustivas y gramíneas; y por Gama-Rodrigues *et al.* (15), en *Peltogyne angustiflora*, *Centrolobium robustum*, *Arapatiella psilophylla*, *Sclerolobium chrysophyllum*, *Cordia trichotoma* y *Macrolobium latifolium*.

El análisis de varianza y las pruebas de comparación no indican diferencias estadísticas en la descomposición mensual (k) de los residuos de *C. cajan* y *T. candida* bajo las tres densidades de siembra (Tabla 3), lo que permite definir que el número de plantas/ha no influye en la tasa de descomposición de sus residuos vegetales. La tasa relativa de descomposición en *C. cajan* fluctuó entre 0,18 y 0,21 y en *T. candida* entre 0,25 y 0,28. En otros estudios Tonnissen (35), Carnevale y Lewis (6) y Hartemin y O'Sullivan (19), fijaron valores de k para especies leguminosas entre 0,20 y 0,30.

En *C. juncea* se observaron diferencias estadísticas en la tasa relativa de descomposición de los residuos vegetales en las densidades de siembra de 86.000 ($k = 0,32$) y 60.000 plantas/ha ($k = 0,25$), es decir, que es más rápida la descomposición con una densidad de 172.000 plantas/ha. En especies leguminosas como *Erythrina* sp. e *Inga* sp., Cuenca *et al.* (8), obtuvieron valores k de 0,41, y en especies leguminosas arbustivas y rastreras y en gramíneas Oliver *et al.* (29), encontraron tasas de descomposición (k) de 0,55; 0,45 y 0,34, respectivamente.

Tabla 4. Comparación de las tasas relativas de descomposición mensual (k) de tres especies leguminosas bajo el análisis de regresión según el modelo exponencial simple.

Especies	Densidad (plantas/ha)	Modelos	K mes ⁻¹	R^2
<i>C. cajan</i>	172.000	$y = 97,7e^{-0,21t}$	0,21 dc*	0,96**
	86.000	$y = 90,5e^{-0,20t}$	0,20 d	0,72
	60.000	$y = 92,5e^{-0,18t}$	0,18 d	0,91
<i>C. juncea</i>	172.000	$y = 77,9e^{-0,29t}$	0,29 ab	0,92
	86.000	$y = 79,7e^{-0,32t}$	0,32 a	0,88
	60.000	$y = 81,5e^{-0,25t}$	0,25 bc	0,93
<i>T. candida</i>	172.000	$y = 96,6e^{-0,25t}$	0,25 bc	0,90
	86.000	$y = 91,9e^{-0,28t}$	0,28 ab	0,94
	60.000	$y = 88,7e^{-0,25t}$	0,25 bc	0,91

* Letras distintas indican diferencias significativas según la Prueba de Duncan al 5%.

** $p < 0,01$ en todos los casos

Tasa de descomposición media. En la Tabla 5 se presentan las tasas relativas de descomposición mensual (k) medias, de las tres especies leguminosas.

La prueba de comparación (Tukey 5%) entre las tasas medias de descomposición mensual relativa de los residuos vegetales de las tres especies leguminosas (Tabla 5 y Figura 2), indica que los residuos de *C. cajan* se descomponen a una tasa más baja ($k=0,20$) que los residuos de *C. juncea* y *T. candida* ($k = 0,29$ y $0,26$, respectivamente); tasas similares registraron Tonnissen *et al.* (35), en *Glycine max* (k 0,21 - 0,54), *Indigofera indica* ($k = 0,18$ - 0,48). En *Leucaena leucocephala* y *L. diversifolia*, Isaac *et al.* (24), registraron tasas relativas de descomposición (k) mensuales de 0,21 y 0,79, respectivamente.

La tasa de descomposición no depende solamente de los factores ambientales como la temperatura, la humedad y la precipitación, sino también de las características del suelo, su humedad y las poblaciones microbianas

(10, 12); las diferencias en la tasa de descomposición de los materiales vegetales están en función de la composición química o de sus concentraciones de nutrientes y de la relación C/N (13, 29).

Relación Carbono/Nitrógeno (C/N). La relación C/N es variable de acuerdo con las especies y la edad de las mismas y es un buen indicador de la susceptibilidad de la hojarasca a ser degradada. En general, el rango óptimo en los residuos orgánicos de leguminosas se encuentra entre 25:1 y 30:1. Si el residuo inicial es rico en carbono y pobre en nitrógeno, la descomposición será lenta; en el caso contrario, en materiales con altas concentraciones de nitrógeno, éste se transformará en amoníaco impidiendo la correcta actividad biológica. Si el material obtenido tras la descomposición tiene un valor C/N alto (>35), indica que no ha sufrido una descomposición completa y, si el índice es muy bajo (<25), puede deberse a una excesiva mineralización, aunque todo ello depende de las características del material inicial (10, 13, 29). En la Tabla 6,

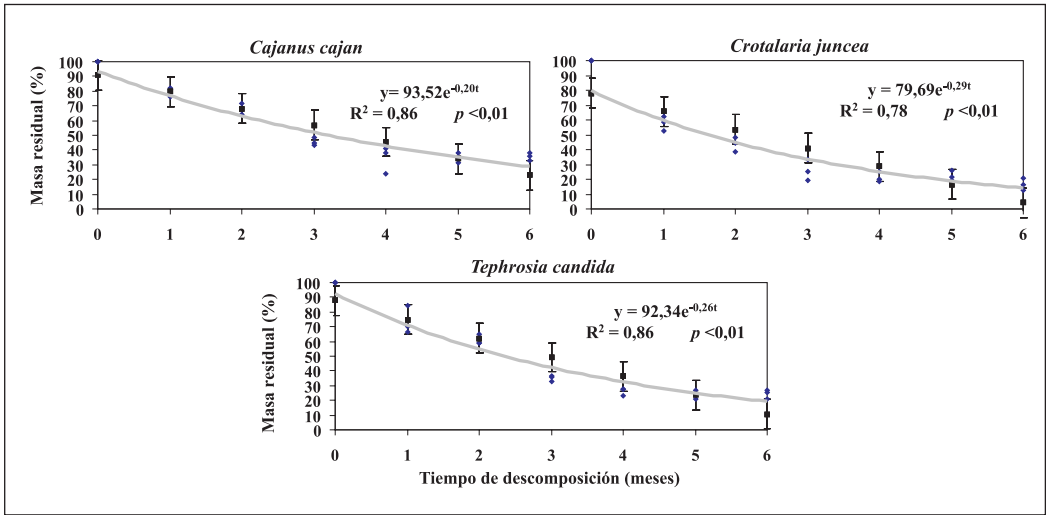


Figura 2. Tasa de descomposición de los residuos vegetales de tres especies leguminosas.

Tabla 5. Comparación de las tasas de descomposición mensual (k) de tres especies leguminosas bajo el análisis de regresión según el modelo exponencial simple

Especie	K mes-1
<i>C. cajan</i>	0,20 b*
<i>C. juncea</i>	0,29 a
<i>T. candida</i>	0,26 a

*Letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey al 5%.

se presentan las concentraciones iniciales y finales de carbono orgánico y nitrógeno, y la relación C/N de las especies leguminosas estudiadas en tres densidades de siembra.

Para *Cajanus cajan*, en las tres densidades de siembra, la relación C/N inicial fluctuó entre 26,7 y 39,3, y al final del período evaluado (180 días) la relación C/N varió entre 25,3 y 26,0; los coeficientes de correlación entre el tiempo de descomposición y las relaciones C/N (-0,27 a -0,69) indican una relación inversa entre estas dos variables. Argüello (3), reporta relaciones C/N iniciales de 11,2 y finales de 13,0 en *C. cajan* después de 18 semanas de descomposición. Abreu (1), para esta misma especie, registra valores C/N

iniciales de 17,1 y finales de 12,3, después de 96 días de descomposición. Así mismo, para esta especie e igual período de tiempo, Calegari (5), Tian y Kang (36) y Chirwa *et al.* (9), reportan relaciones C/N de 21,6; 26,4 y 33,1, respectivamente.

En *Crotalaria juncea* la relación C/N inicial en las tres densidades de siembra fluctuó entre 25,6 y 27,3; estas relaciones tuvieron variaciones entre 28,2 y 28,9 al final del período estudiado (180 días). Los coeficientes de correlación calculados (-0,09 a -0,32) indican que la relación C/N disminuye al incrementarse el tiempo de descomposición de los residuos vegetales. Para *Crotalaria sp.*, Rivero y Paolini (31)

y Rivero *et al.* (32), indican relaciones C/N de 9,0 y 14,0, respectivamente, y Abreu (1), obtuvo una relación inicial de C/N de 16,0 y después de 96 días de descomposición, ésta fue de 20,0.

En *Tephrosia candida* la relación C/N inicial fluctuó entre 24,6 y 26,3, al final del período evaluado (180 días) la relación C/N varió entre 27,2 y 30,1, en las tres densidades de siembra; los coeficientes de correlación calculados entre el tiempo de descomposición y las relaciones C/N (-0,15 a -0,30), indican una relación inversa entre estas dos variables; Calegari (5), reporta relaciones C/N entre 29,3 y 30,0, en diversas especies de *Tephrosia*.

Tasa de incorporación de residuos vegetales.

En la Tabla 7 se presentan los porcentajes de transferencia o incorporación mensual al suelo de residuos vegetales descompuestos, basados en los modelos ajustados y de acuerdo con las condiciones climáticas de la localidad.

Del material vegetal aportado por *C. cajan* (8,9; 8,0 y 6,1t/ha/año en las tres densidades de siembra), en los primeros 30 días de descomposición se incorporó al suelo el 23,1%, a los 90 días el 50% de los residuos y en promedio a los 180 días, el porcentaje de material degradado que se incorporó al suelo fue del 71,2%.

De los residuos vegetales obtenidos de *C. juncea* (5,8; 3,5 y 3,2t/ha/año en las tres densidades de siembra evaluadas), a los 30 primeros días de descomposición se transfirió al suelo el 40% del total aportado; a los 60 días de descomposición se incorporó al suelo más del 50% de ellos y a los 180 días, se había descompuesto e incorporado al suelo el 85,5% del material vegetal total.

En *T. candida*, de los residuos vegetales producidos (6,5; 4,8 y 5,0t/ha/año en tres densidades de siembra), en los primeros 30 días de degradación se incorporó al suelo el 28,8% de ellos; la transferencia al suelo del 50% de la biomasa seca se registró a los 90

Tabla 6. Concentraciones inicial (Ci) y final (Cf) de carbono orgánico (CO), nitrógeno (N) y relación C/N, del material remanente de las tres especies leguminosas en distintas densidades de siembra.

Especies	Densidad (plantas/ha)	CO (%)			N (%)			C/N		
		Ci	Cf	r	Ci	Cf	r	Inicial	Final	r
<i>C. cajan</i>	172.000	94,2	93,6	-0,37	2,4	3,7	0,70	39,3	25,3	-0,69
	86.000	93,3	93,5	0,41	3,2	3,6	0,47	29,2	26,0	-0,37
	60.000	93,3	93,1	0,14	3,5	3,4	0,25	26,7	27,4	-0,27
<i>C. juncea</i>	172.000	92,1	92,4	0,20	3,6	3,2	0,25	25,6	28,9 ^s	-0,32
	86.000	90,1	90,1	-0,39	3,4	3,2	-0,03	26,5	28,2	-0,09
	60.000	92,9	92,0	-0,66	3,4	3,2	0,03	27,3	28,8	-0,20
<i>T. candida</i>	172.000	92,2	89,9	-0,59	3,6	3,3	0,02	25,6	27,2	-0,30
	86.000	91,1	87,2	-0,93	3,7	3,1	0,10	24,6	28,1	-0,29
	60.000	92,1	90,3	-0,77	3,5	3,0	-0,02	26,3	30,1	-0,15

Tabla 7. Porcentaje de biomasa obtenida de tres leguminosas incorporadas al suelo mensualmente, durante 180 días.

Tratamiento	Densidad (plantas/ha)	Días						
		0	30	60	90	120	150	180
<i>C. cajan</i>	172.000	0	20,7	35,6	47,7	57,6	65,6	72,0
	86.000	0	26,0	39,4	50,4	59,5	66,8	72,9
	60.000	0	22,7	35,5	46,1	55,0	62,4	68,6
	Media		23,1	36,8	48,1	57,4	64,9	71,2
<i>C. juncea</i>	172.000	0	41,8	56,5	67,5	75,8	81,9	86,5
	86.000	0	42,3	58,2	69,8	78,1	84,2	88,5
	60.000	0	36,4	50,4	61,3	69,8	76,4	81,6
	Media		40,2	55,0	66,2	74,6	80,8	85,5
<i>T. candida</i>	172.000	0	24,9	41,6	54,6	64,7	72,5	78,6
	86.000	0	30,8	47,9	60,8	70,5	77,8	83,3
	60.000	0	30,8	46,0	57,8	67,1	74,3	79,9
	Media		28,8	45,2	57,7	67,4	74,9	80,6

días de descomposición y a los 6 meses se descompuso e incorporó al suelo el 80,6% del material vegetal total.

En las tres especies y de acuerdo con la Figura 2, el porcentaje máximo de degradación de los residuos vegetales ocurrió en los 30 primeros días con el 23,1, 40,2 y 28,8% para *C. cajan*, *C. juncea* y *T. candida*, respectivamente; a los 60 y a los 90 días el porcentaje de descomposición media en *C. cajan* fue de 13,7 y 11,3%, de *C. juncea* del 16,4 y 12,5% y en *T. candida* del 16,4 y 12,5%. Entre los 120 y 180 días la tasa de descomposición media de *C. cajan* fue del 7,7%, la de *C. juncea* del 6,5% y la de *T. candida* de 7,6%, registrándose como los períodos y las tasas más lentas de descomposición; Zaharah y Bah (40), indican que en la tasa de descomposición

de residuos vegetales de *Gliricidia sepium*, se identifican dos fases, una rápida entre los 21 y 30 días, seguida por una muy lenta, después de los 30 días.

Abreu (1), obtuvo para *Crotalaria* sp. y *C. cajan*, tasas de descomposición de 16,8 y 34,5% en 14 días, y del 5,4 y 11% a los 96 días. Tonnissen *et al.* (35), observaron que en 5 semanas se descompuso el 30 y el 70% de los residuos de *Glycine max* e *Indigofera tinctoria*, e Ibewiro *et al.* (22), registraron para *Mucuna pruriens* var. *utilis* y *Lablab purpureus*, descomposición del 60% de los residuos en 30 días. Mendonça y Stott (27), obtuvieron porcentajes de descomposición de 54,7% en *C. cajan*, 50,9% en *Solanum variable*, 58,1% en *Cassia ferruginea*, 55,1% en *Piptodenia gonoacantha*, 54,5% en *Croton urucurana* y 51,6% en *Melinis multiflora*, en un período de 120 días.

Coefficiente isohúmico (k_1). Las pruebas de comparación entre los coeficientes isohúmicos (k_1) de cada leguminosa con las tres densidades no evidenciaron diferencia estadística entre densidades (Tabla 8), lo que indica que la fracción no descompuesta del material vegetal no es determinada por el número de plantas por hectárea establecido. En un período de seis meses de evaluación, la fracción no descompuesta fluctuó entre el 28 y el 34% para *C. cajan*, entre el 15 y el 22% en *C. juncea* y entre el 19% y el 22% en *T. candida*. Los resultados indican que la fracción no descompuesta de los residuos vegetales en este mismo período, fueron mayores en *C. cajan*, comparados con *C. juncea* y *T. candida*.

El Coeficiente isohúmico o fracción no descompuesta para los abonos verdes es de 0,12 (38); Argüello (3), indica que al finalizar la semana 12 de descomposición de residuos de *Erythrina* sp y *C. cajan*, estos conservaban más del 61% del peso inicial y que estas especies tienen su máxima tasa

de descomposición después de la semana 18, momento en el cual se ha descompuesto el 50% del material vegetal. Fasbender *et al.*(12), determinaron que la fracción no descompuesta en residuos de *Erythrina poeppigiana* en un período de 300 días fue del 51,1% y del 50,8% en *Cordia alliodora*.

Concentraciones iniciales y finales de nutrimentos. En la Tabla 9 se presentan las concentraciones iniciales ($C_i = 0$ días) de nutrimentos de la muestra vegetal y las concentraciones finales (C_f) en la muestra residual, después de 180 días de descomposición.

- ***Cajanus cajan*.** Las concentraciones iniciales de N en las tres densidades de siembra evaluadas, fluctuaron entre 2,4 y 3,5%, y las finales entre 3,4 y 3,7%; los coeficientes de correlación entre el período de descomposición y la concentración de N en la muestra residual (0,25 a 0,70), indican una relación lineal positiva entre estas dos variables; Mendonça y Stott (27), registran

Tabla 8. Coeficiente isohúmico (k_1) de tres especies leguminosas establecidas a tres densidades de siembra, durante un período 180 días.

Especies	Densidad (plantas/ha)	K_{mes-1}	Coefficiente Isohúmico (k_1)
<i>C. cajan</i>	172.000	0,21 dc*	0,28 b
	86.000	0,20 d	0,30 b
	60.000	0,18 d	0,34 b
<i>C. juncea</i>	172.000	0,29 ab	0,18 a
	86.000	0,32 a	0,15 a
	60.000	0,25 bc	0,22 a
<i>T. candida</i>	172.000	0,25 bc	0,22 a
	86.000	0,28 ab	0,19 a
	60.000	0,25 bc	0,22 a

*Letras distintas indican diferencia significativa según la Prueba Tukey al 5%.

Tabla 9. Concentración inicial (C_i) y concentración final (C_f) de nutrimentos en las muestras de material remanente de tres especies leguminosas sembradas a tres densidades.

Especie	Plantas/ ha	N (%)			P (%)			K (%)			Ca (%)			Mg (%)		
		CI	Cf	r	Ci	Cf	r	Ci	Cf	r	CI	Cf	r	CI	Cf	r
Guandul	172.000	2,37	3,69	0,70	0,20	0,14	-0,50	1,37	0,10	-0,88	0,41	0,77	0,58	0,13	0,09	-0,41
	86.000	3,24	3,55	0,47	0,34	0,15	-0,87	1,99	0,15	-0,90	0,39	0,84	0,56	0,17	0,15	-0,51
	60.000	3,50	3,38	0,25	0,30	0,17	-0,86	1,57	0,20	-0,91	0,41	0,94	0,65	0,13	0,17	0,05
Crotalaria	172.000	3,55	3,19	0,25	0,37	0,25	-0,41	2,32	0,18	-0,89	0,74	1,04	0,06	0,23	0,12	-0,71
	86.000	3,43	3,17	-0,03	0,49	0,26	-0,76	2,90	0,15	-0,86	1,08	1,14	0,30	0,33	0,14	-0,72
	60.000	3,36	3,16	0,03	0,37	0,26	-0,38	2,18	0,18	-0,89	0,54	1,04	0,69	0,20	0,15	-0,46
Tephrosia	172.000	3,55	3,33	0,02	0,34	0,22	-0,80	2,21	0,19	-0,91	0,70	1,36	0,87	0,21	0,11	-0,86
	86.000	3,71	3,10	0,10	0,38	0,25	-0,81	2,23	0,17	-0,92	0,71	1,54	0,83	0,20	0,11	-0,56
	60.000	3,54	3,02	-0,02	0,36	0,22	-0,77	2,21	0,20	-0,88	0,65	1,23	0,72	0,20	0,11	-0,79

concentraciones iniciales y finales de N de 2,9 y 2,7% en *C. cajan*, del 1,6 y 1,9% en *Cassia ferruginea*, del 2,3 y 2,9% en *Piptadenia gonoacantha* y del 1,9 y 2,2% en *Croton urucurana*.

Las concentraciones iniciales de P variaron entre 0,20 y 0,34% y las finales entre 0,14 y 0,17%; los coeficientes de correlación entre el tiempo de descomposición de los residuos vegetales y las concentraciones de P en la muestra residual (-0,50 a -0,87) indican relaciones lineales inversas entre estas dos variables. No obstante, Traoré *et al.* (37) encontraron que la concentración de P aumenta entre el primer minuto y hasta los tres meses de descomposición de la materia seca y le atribuyen estos cambios a la solubilidad del P en agua, que conllevan a la formación de fosfatos de Ca, Mg y Fe durante el compostaje.

En el caso del K, las concentraciones iniciales fluctuaron entre 1,37 y 1,99% y las finales entre 0,10 y 0,20%, los coeficientes de correlación obtenidos estuvieron entre -

0,88 y -0,91, indicando que la concentración de K en la masa residual disminuye al incrementarse el tiempo de descomposición de los residuos vegetales. Para el Ca las concentraciones iniciales y finales variaron entre 0,39 y 0,41% y entre 0,77 y 0,94%, respectivamente; los coeficientes de correlación variaron entre 0,56 y 0,65, lo que sugiere una relación lineal positiva entre el período de descomposición y la concentración de Ca en la muestra residual.

Las concentraciones iniciales de Mg fluctuaron entre 0,13 y 0,17% y las finales, en la masa residual entre 0,09 y 0,17%; los coeficientes de correlación calculados para los tratamientos para *C. cajan* establecida con 172.000 y 86.000 plantas/ha fueron de -0,41 y -0,51, respectivamente, indicando una relación lineal negativa entre el tiempo de descomposición y la concentración de Mg. Con 60.000 plantas/ha, el coeficiente de correlación fue positivo ($r = 0,05$), lo cual indica que al aumentar el tiempo de descomposición aumenta la concentración de Mg en la muestra residual.

- *Crotalaria juncea*. La concentración inicial de N fluctuó entre 3,36 y 3,55% en las tres densidades de siembra y la concentración final en la muestra residual estuvo entre 3,16 y 3,19%. Los coeficientes de correlación entre el incremento en el período de descomposición y las concentraciones de N en la masa residual fluctuaron entre -0,03 y 0,25, lo que indica una relación lineal positiva entre estas dos variables cuando se establece con 172.000 y 86.000 plantas/ha ($r= 0,25$ y $0,03$), mientras que al emplear *C. juncea* con 60.000 esta relación mostró una respuesta lineal negativa ($r= -0,03$).

Para el P, las concentraciones iniciales y finales variaron entre 0,37 y 0,49% y 0,25 y 0,26%, respectivamente; los coeficientes de correlación fluctuaron entre -0,76 y -0,38, lo que permite inferir que al incrementarse el tiempo de descomposición de los residuos vegetales disminuye la concentración de P del material remanente. En el caso del K, las concentraciones iniciales fluctuaron entre 2,2 y 2,9% y las finales, a los 180 días, entre 0,15 y 0,18%; los coeficientes de correlación entre el tiempo de descomposición del material vegetal y las concentraciones en la masa residual variaron entre -0,89 y -0,86, indicando una relación lineal negativa entre las dos variables.

El Ca presentó concentraciones iniciales que fluctuaron entre 0,54 y 1,08% y finales entre 1,04 y 1,4%; los coeficientes de correlación entre el incremento del tiempo de descomposición y las concentraciones de Ca en las muestras residuales variaron entre 0,06 y 0,69, indicando una relación lineal positiva. Mientras que para el Mg, se observaron concentraciones iniciales que variaron entre 0,20 y 0,33% y finales entre 0,12 y 0,15%; los coeficientes de correlación calculados fueron de -0,46 a -0,72, que indican relaciones lineales negativas entre el tiempo de descomposición del material

vegetal y las concentraciones de Mg en las muestras residuales.

- *Tephrosia candida*. Las concentraciones iniciales de N en las tres densidades de siembra variaron entre 3,54 y 3,71% y las finales entre 3,0 y 3,3%; el coeficiente de correlación entre el tiempo de descomposición y las concentraciones de N en las muestras residuales fueron de 0,02 con 172.000 plantas/ha, de 0,1 con 86.000 plantas/ha y de -0,02 con 60.000 plantas/ha, indicando una correlación lineal positiva para las dos primeras densidades de siembra y negativa para la tercera.

Las concentraciones iniciales de P variaron entre 0,34% y 0,38% y a los 180 días estuvieron entre 0,22% y 0,25%; los coeficientes de correlación entre el período de descomposición del material vegetal y su concentración de P fluctuaron entre -0,81 y -0,77 lo cual indica una relación lineal negativa entre las dos variables. Para el K las concentraciones iniciales y finales estuvieron entre 2,21 y 2,23% y entre 0,17 y 0,20%, respectivamente. De acuerdo con los coeficientes de correlación calculados (entre -0,92 y -0,88) para este elemento existe una relación lineal negativa entre el período de descomposición y la concentración en la muestra residual.

Las concentraciones iniciales de Ca variaron entre 0,65 y 0,71% y después de 180 días entre 1,23 y 1,54; los coeficientes de correlación entre el incremento en el tiempo de descomposición del material vegetal y las concentraciones de Ca (0,72 y 0,87) muestran una relación lineal positiva entre las dos variables. Para el Mg se observaron concentraciones iniciales que fluctuaron entre 0,20 y 0,21% y finales de 0,11%; los coeficientes de correlación variaron entre -0,86 y -0,56, lo cual indica una relación lineal negativa entre el incremento en el período

de descomposición y las concentraciones de Mg en el material vegetal residual.

Contenido total y transferencia mensual de nutrimentos en la biomasa vegetal seca.

- *Cajanus cajan*. La concentración y los contenidos totales de nutrimentos en la biomasa seca total producida por *C. cajan* (7,64t) en cada densidad de siembra y la transferencia o liberación mensual de estos nutrimentos al suelo, se presentan en la Tabla 10.

El contenido medio de N en la biomasa seca producida por *C. cajan* fue de 238,1kg. A los 180 días, la descomposición de los residuos

vegetales transfirieron en promedio al suelo el 57,8% ó 136,8kg del N. La máxima tasa de transferencia se registró entre los 60 y los 90 días, período en el cual se liberó el 28,1% del N (68,7kg); en los primeros 60 días de descomposición del material vegetal se transfirió al suelo el 31,8% (121,2kg) del N contenido en los residuos. Argüello (3) y Gathumbi *et al.* (16), indican transferencias de N entre el 64 y el 67% a los 120 días de descomposición de los residuos de *C. cajan*; mientras que Alpizar *et al.* (2) y Mendonça y Stott (27), registraron transferencias de N del 30% en este mismo período y en la misma especie.

La cantidad media de P en la biomasa seca producida por *C. cajan* fue de 21,2kg.

Tabla 10. Concentración y contenido total de nutrimentos en la biomasa seca total producida por *C. cajan* y transferencia mensual de nutrimentos al suelo.

Densidad Plantas/ha	Nutrimento	Concentración (%)	Contenido total kg	Transferencia mensual de nutrimentos						R ²	p	
				0	30	60	90	120	150			180
Días												
172.000	Nitrógeno	2,82	249,6 a	0,0	2,00	14,4	51,8	40,0	60,2	49,0	0,70	0,04
86.000		3,24	260,5 a	0,0	23,4	35,0	65,3	73,3	59,3	60,7	0,55	0,09
60.000		3,38	204,3 a	0,0	37,4	46,0	62,6	64,6	66,1	63,6	0,74	0,03
172.000	Fósforo	0,23	20,4 ab	0,0	29,8	12,3	58,0	69,1	69,6	76,7	0,75	0,03
86.000		0,32	25,7 a	0,0	37,8	41,9	79,9	90,4	84,5	84,3	0,71	0,03
60.000		0,29	17,5 b	0,0	43,6	44,7	72,6	77,7	80,1	78,4	0,78	0,02
172.000	Potasio	1,50	132,8 ab	0,0	6,9	38,0	88,6	97,1	95,6	97,9	0,76	0,02
86.000		1,86	149,7 a	0,0	8,7	51,1	92,6	98,3	96,4	97,3	0,72	0,03
60.000		1,64	99,3 b	0,0	7,8	44,4	87,1	91,0	92,5	95,2	0,76	0,02
172.000	Calcio	0,48	42,4 a	0,0	-74,3	-32,9	15,9	11,9	25,6	38,4	0,85	0,009
86.000		0,43	34,9 ab	0,0	-74,1	-26,4	-7,2	48,6	25,3	22,1	0,70	0,040
60.000		0,46	27,6 b	0,0	-74,8	-20,8	7,3	-2,0	27,8	14,3	0,72	0,030
172.000	Magnesio	0,14	12,6 a	0,0	-31,2	-11,5	40,2	47,3	58,9	77,3	0,92	0,002
86.000		0,15	11,8 a	0,0	-18,4	10,9	37,8	74,1	64,9	69,0	0,84	0,010
60.000		0,14	8,3 b	0,0	-34,5	6,7	34,1	46,0	51,9	50,7	0,81	0,010

*Valores negativos indican que no hubo transferencia del elemento en los residuos vegetales

*Letras distintas indican diferencia significativa según la Prueba Tukey al 5%.

Al término del período de evaluación la descomposición de los residuos vegetales transfirieron en promedio al suelo el 79,8% ó 16,9kg del P. Las máximas tasas de transferencia de P se registraron entre los 61 y los 90 días, período en el cual se liberó el 37,2% del P (7,9kg) y en los primeros 30 días de descomposición del material se transfirió al suelo el 37,1% del P (7,9kg). Alpizar *et al.* (2), indican que la transferencia de P por descomposición de residuos de *Cajanus* sp. en un período de 180 días, es de 2 a 14kg.

El K presente en la biomasa seca producida por *C. cajan* fue de 127,3kg, y a los 180 días de descomposición del material se transfirieron al suelo en promedio el 96,8% ó 127,3kg de K. Las tasas máximas de transferencia se registraron así, en los primeros 30 días fue del 7,8% (9,9kg de K), a los 60 días esta transferencia se incrementó en 36,7% transfiriendo 44,5kg de K y a los 90 días la liberación alcanzó el 89,4% es decir, 121,5kg de K. En los períodos sucesivos los incrementos en la transferencia fueron mínimos.

El contenido medio de Ca en la biomasa seca producida por *C. cajan* fue de 35,0kg. La transferencia o movilización del calcio producto de la descomposición de los residuos vegetales sólo se presentó a partir de los 90 días de iniciado este proceso, con la incorporación del 5,3% (1,9kg de Ca); al final del período de descomposición evaluado sólo se transfirió el 25,0% (8,8 kg) del Ca contenido en la masa vegetal seca.

El Mg en la biomasa seca producida fue de 10,9kg en promedio. La transferencia de Mg por la descomposición de los residuos de *C. cajan* establecido con 172.000 plantas/ha inició a los 90 días, incorporando al suelo el 40,2% de este elemento (5,1kg). La transferencia producto de la descomposición de

los residuos vegetales de *C. cajan* establecido con 86.000 y 60.000 plantas/ha, ocurre a partir de los 60 días de iniciado el proceso de descomposición, con una incorporación media del 8,8% (0,9kg); al final del período de evaluación, la transferencia media de Mg en las tres densidades de siembra fue del 65,7% (7,2kg).

- ***Crotalaria juncea***. La concentración y los contenidos totales de nutrimentos en la biomasa seca total producida por *C. juncea* (4,17t) en cada densidad de siembra y la transferencia o liberación mensual de estos nutrimentos al suelo se presentan en la Tabla 11.

El contenido medio de N en la biomasa seca total producida por *C. juncea* fue de 151,6kg. Al finalizar el período de descomposición de los residuos vegetales estos transfirieron en promedio al suelo el 84,6% ó 128,2kg del N. La máxima tasa de transferencia se registró en los 30 primeros días de descomposición, período en el cual se liberó el 58,3% del N, es decir, 88,4kg; entre los 60 y 180 días posteriores se transfirió al suelo el 26,3% del N restante (39,9kg). Gathumbi *et al.* (16), registraron transferencias de N al suelo entre el 54 y el 67% en los primeros 120 días de descomposición de residuos de *C. juncea*; en otras especies, Cuenca *et al.* (8), indican en *Erythrina* sp. y *Inga* sp. transferencias de 172kg en un período de 360 días.

La cantidad media de P registrada en la biomasa seca producida fue de 16,1kg. Al finalizar el período de descomposición se transfirieron al suelo en promedio 14,3kg de P (89,1%). La máxima tasa de transferencia se registró en los 30 primeros días de descomposición, período en el cual se liberaron 8,3kg de P (51,4%); para este elemento Zaharah y Bah (40), observaron que la máximas tasas de transferencia ocurren en los primeros 22 días de descomposición de

Tabla 11. Concentración y contenido total de nutrimentos en la biomasa seca total producida por *C. juncea* y transferencia mensual de nutrimentos al suelo.

Densidad Plantas/ha	Nutri-mento	Concen-tración (%)	Contenido total kg	Transferencia mensual de nutrimentos						R ²	p	
				0	30	60	90	120	150			180
				Días								
172.000	Nitrógeno	3,93	227,5 a	0,0	64,7	67,6	80,4	81,5	81,9	85,2	0,85	0,01
86.000		3,24	114,6 b	0,0	49,7	70,2	85,7	84,9	81,2	88,2	0,67	0,05
60.000		3,55	112,8 b	0,0	60,4	51,9	72,3	78,5	77,3	80,3	0,72	0,03
172.000	Fósforo	0,37	21,5 a	0,0	50,9	44,3	68,2	76,7	82,2	89,0	0,89	0,005
86.000		0,42	15,0 b	0,0	51,5	69,0	86,2	83,1	86,8	93,2	0,81	0,014
60.000		0,37	11,8 b	0,0	51,8	50,5	65,3	72,4	76,4	85,1	0,95	0,001
172.000	Potasio	2,21	127,8 a	0,0	43,9	83,4	94,3	98,2	97,6	98,7	0,64	0,06
86.000		2,64	93,3 b	0,0	60,9	91,2	98,7	98,4	98,5	99,3	0,57	0,08
60.000		2,24	71,1 b	0,0	60,0	80,9	97,1	98,0	97,2	98,3	0,69	0,04
172.000	Calcio	0,65	37,5 a	0,0	-0,20	27,4	59,3	67,1	72,2	76,9	0,96	0,008
86.000		1,03	36,4 a	0,0	28,1	57,0	76,0	67,7	73,4	86,5	0,76	0,020
60.000		0,70	22,3 b	0,0	-3,1	4,7	25,2	35,5	39,5	59,4	0,97	0,000
172.000	Magnesio	0,21	12,2 a	0,0	12,4	33,7	67,6	80,9	85,0	91,5	0,90	0,004
86.000		0,30	10,6 a	0,0	27,3	62,9	82,1	78,6	87,2	94,6	0,79	0,020
60.000		0,20	6,4 b	0,0	13,2	24,7	55,8	65,3	70,7	84,0	0,94	0,001

*Valores negativos indican que no hubo transferencia del elemento en los residuos vegetales

*Letras distintas indican diferencia significativa según la Prueba Tukey al 5%.

residuos de *Gliricidia sepium*. Entre los 60 y 180 días posteriores se transfirió al suelo el 42,2% del P restante (6,8kg).

El K presente en la biomasa seca producida por *C. juncea* fue de 97,4kg. Al término de los 180 días de descomposición los residuos transfirieron al suelo en promedio el 98,8% (96,2kg). Las máximas tasas de transferencia se registraron así: en los primeros 30 días la transferencia fue del 54,9% (53,5kg), a los 60 días se incrementó en 30,2% (85,2kg) y a los 90 días la liberación alcanzó el 96,7%, es decir, 94,2kg de K transferido al suelo. En los períodos sucesivos los incrementos en la transferencia fueron bajos.

La biomasa seca producida por esta leguminosa contenía 32,1kg de Ca. La transferencia del Ca producto de la descomposición de los residuos vegetales

de *C. cajan* establecido con 172.000 y 60.000 plantas/ha, ocurrió a partir de los 60 días de iniciarse este proceso, con una incorporación media del 16,0% (4,8kg). La transferencia de Ca por los residuos de *C. cajan* plantado con 86.000 plantas/ha a los 30 días de descomposición fue del 28,1% (10,2kg); al final del período de descomposición sólo se transfirió el 74,3% (23,8 kg) del Ca contenido en la masa vegetal seca.

El Mg en la biomasa seca producida fue de 9,7kg en promedio. Al término de los 180 días de descomposición los residuos transfirieron al suelo 8,8kg (90,0%). Las máximas tasas de transferencia se registraron así: en los primeros 30 días la transferencia fue del 17,6% (1,7kg), a los 60 días este flujo se incrementó en 22,8% (2,2kg) y a los 90 días la liberación alcanzó el 68,5%,

es decir, 6,7kg de Mg. En los períodos sucesivos los incrementos en la transferencia fueron bajos

- **Tephrosia candida.** La concentración y los contenidos totales de nutrimentos en la biomasa seca total producida por *T. candida* (5,43t) en cada densidad de siembra y la transferencia o liberación mensual de estos nutrimentos al suelo, se presentan en la Tabla 12.

El contenido medio de N en la biomasa seca producida por *T. candida* fue de 196,3kg. Al finalizar el período de descomposición de los residuos vegetales, estos transfirieron en promedio al suelo 153,7kg de N (78,3%). La máxima tasa de transferencia se registró en los 30 primeros días de descomposición,

período en el cual se liberó el 47,9% del N (94,0kg); entre los 60 y 180 días posteriores se transfirió al suelo el 30,4% restante (59,7kg). Mafongoya *et al.* (26), reportan tasas de mineralización del 100% del N en un periodo de 98 días, en once materiales de *T. vogelli* y tres de *T. candida*. Hagedorn *et al.* (18), indican que el 70% del N contenido en residuos de *T. vogelii* se transfiere al suelo en los primeros 15 días de descomposición, e Ibewiro *et al.* (22), afirman que a los 28 días de descomposición del material vegetal de *Mucuna pruriens*, var. *utilis* y *Lablab purpureus*, se libera el 64% del N contenido en los residuos.

La cantidad media de P en la biomasa seca fue de 17,6kg. Al finalizar el período de descomposición los residuos vegetales transfirieron en promedio al suelo el 84,2%

Tabla 12. Concentración y contenido total de nutrimentos en la biomasa seca total producida por *T. candida* y transferencia mensual de nutrimentos al suelo.

Densidad Plantas/ ha	Nutrimento	Concentración (%)	Contenido total kg	Transferencia mensual de nutrimentos							R ²	p			
				0	30	60	90	120	150	180					
				Días											
172.000	Nitrógeno	3,65	237,1 a	0,0	35,2	52,1	71,6	75,5	78,5	74,5	0,76	0,02			
				86.000	0,0	58,2	65,6	73,3	81,8	82,2			82,3	0,88	0,01
				60.000	0,0	50,3	51,6	75,6	77,3	77,5			78,0	0,74	0,03
172.000	Fósforo	0,31	19,9 a	0,0	32,4	45,8	71,3	75,3	82,4	82,2	0,86	0,007			
				86.000	0,0	44,2	37,9	65,2	82,5	85,4			86,1	0,84	0,010
				60.000	0,0	49,5	49,3	77,9	78,1	84,3			84,3	0,8	0,015
172.000	Potasio	1,95	126,9 a	0,0	38,1	61,0	96,6	97,9	97,8	97,7	0,72	0,03			
				86.000	0,0	48,1	53,8	92,6	98,6	98,0			98,4	0,76	0,02
				60.000	0,0	60,3	75,9	96,4	97,8	97,3			97,7	0,72	0,03
172.000	Calcio	0,59	38,4 a	0,0	-4,7	-1,5	30,0	48,6	52,6	47,2	0,83	0,010			
				86.000	0,0	14,5	-0,9	9,8	49,6	53,8			54,3	0,74	0,030
				60.000	0,0	-0,3	-10,8	28,5	32,4	49,1			51,3	0,85	0,008
172.000	Magnesio	0,18	11,5 a	0,0	13,1	26,7	64,8	76,6	82,3	86,0	0,88	0,005			
				86.000	0,0	25,0	13,0	47,6	78,6	81,8			88,6	0,86	0,008
				60.000	0,0	28,0	27,8	65,9	76,0	86,7			86,1	0,87	0,006

*Letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey al 5%.

*Valores negativos indican que no hubo transferencia del elemento en los residuos vegetales

del P (14,8kg). La máxima tasa de transferencia se registró en los 30 primeros días de descomposición, período en el cual se liberó el 42,0% (7,4kg), entre los 60 y 180 días posteriores se transfirió al suelo el 42,2% restante (7,4kg). En otras especies Fassbender y Bornenisz (12) y Fassbender (13), indican que la descomposición de residuos compuestos de *Pueraria phaseoloides*, *Centrosema pubescens* y *Calopogonium muconoides*, en un período de 360 días, transfieren en promedio 4,5kg de P.

Así mismo, se determinó que en la biomasa seca se produjeron en promedio 107,7kg de K. Transcurridos los 180 días de descomposición se transfirieron al suelo 105,4kg (97,9%). Las máximas tasas de transferencia de K se registraron en los primeros 30 días con el 48,8% (52,6kg), a los 60 días esta transferencia se incrementó en 14,7% (68,4kg) y a los 90 días la liberación alcanzó el 95,2%, es decir 102,5kg de K transferido al suelo. En los períodos sucesivos los incrementos en la transferencia fueron mínimos. Fassbender y Bornenisz (12) y Fassbender (13), reportan transferencias de K al suelo de 21,6kg en 360 días para diversas especies leguminosas, y Zaharah y Bah (40), indican que la tasa más rápida de liberación de K se presenta a los 28 días de descomposición de los residuos vegetales de leguminosas.

El contenido medio de Ca en la biomasa seca producida por *T. candida* fue de 37,1kg. La transferencia o movilización de los residuos vegetales establecida con 172.000 y 60.000 plantas/ha, ocurre a partir de los 90 días de iniciarse el proceso de descomposición, con una incorporación media del 29,0% (10,8kg de Ca); la transferencia con 86.000 plantas de *T. candida*/ha a los 30 días de descomposición fue del 14,5% (5,3kg). A final del período evaluado, sólo se transfirió

el 50,9% (18,9kg) del Ca contenido en la masa vegetal seca. No obstante Zaharah y Bah (40), determinaron que en *Gliricidia sepium* la transferencia de Ca al suelo inicia a los 6 días de descomposición de los residuos vegetales.

En la biomasa seca producida por *T. candida* el contenido medio de Mg fue de 10,3kg. Transcurridos los 180 días de descomposición de los residuos vegetales, estos transfirieron al suelo en promedio el 86,9% del Mg (8,9kg). Las máximas tasas de transferencia se registraron en los primeros 30 días con un 22,0% (2,3kg), a los 60 días se incrementó sólo en 0,5% (0,05kg) y a los 90 días, la liberación de Mg alcanzó el 60,0%, es decir, 6,1kg de Mg transferido al suelo. En los períodos sucesivos los incrementos en la transferencia fueron bajos.

En general, la producción media de biomasa seca en *Cajanus cajan* fue de 7,6t/ha, en *Crotalaria juncea* de 4,2t/ha y en *Tephrosia candida* de 5,4t/ha. El modelo que mejor representó la tasa de descomposición de los residuos vegetales fue el exponencial simple. La tasa relativa de descomposición mensual (k) en *C. cajan* fluctuó entre 0,18 y 0,21, en *C. juncea* entre 0,25 y 0,32 y en *Tephrosia* sp. entre 0,18 y 0,21.

La densidad de siembra no afectó la tasa de descomposición de los residuos vegetales de *Cajanus cajan* y *Tephrosia candida*. Los residuos vegetales de *Cajanus cajan* se descomponen más lentamente ($K = 0,20$) que los residuos de *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida* ($K = 0,29$ y $0,26$, respectivamente). En un período de 180 días se descompone e incorpora al suelo el 71,2% de los residuos producidos por *C. cajan*, el 85,0% de los de *C. juncea* y el 80,6% de los producidos por *T. candida*.

Las tasas máximas de descomposición se presentan en los 30 primeros días, siendo estos

valores de 23,1, 40,2 y 28,8% en *C. cajan*, *C. juncea* y *T. candida*, respectivamente. Las tasas más bajas de descomposición se registraron entre los 120 y 180 días, con valores de 7,7, 6,5 y 7,6% en *C. cajan*, *C. juncea* y *T. candida*, respectivamente.

La fracción de la materia orgánica no descompuesta (K_1) en un período de 180 días fluctuó entre 28 y 34% en *C. cajan*, entre el 11 y el 22% en *C. juncea* y entre el 19 y el 22% en *T. candida*.

En un período de 180 días de descomposición la biomasa seca producida por *C. cajan* transfiere al suelo el 57,8% del N, el 79,8% del P, el 96,8% del K, el 25% del Ca y el 65,7% del Mg, contenidos en los residuos vegetales. En este mismo período, la descomposición de los residuos vegetales producidos por *C. juncea*, transfieren al suelo el 84,6% del N, 89,1% del P, 98,8 del K, 74,3% del Ca y 90,0% del Mg, contenidos en estos residuos. Los residuos vegetales producidos por *T. Candida* transfieren al suelo el 78,3% del N, el 84,2% del P, el 97,9% del K, el 50,9% del Ca y el 86,9% del Mg, contenidos en los residuos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Dra. Esther Cecilia Montoya R. Disciplina Biometría, al Dr. Jaime Arcila P. Disciplina de Fitotecnia, al Dr. Argemiro Moreno B. Disciplina de Fitotecnia, al Dr. Celso Arboleda V. Jefe Estación Central Naranjal y al personal de apoyo de la misma Estación.

LITERATURA CITADA

1. ABREU, X. Evaluación de cuatro leguminosas como barbecho mejorado durante dos épocas del año

para ser usadas como cultivos de cobertura. Revista VeneSuelos 4 (1-2): 8-13. 1996

2. ALPIZAR O., L. A.; FASSBENDER, H. W.; HEUVELDOP, J.; ENRÍQUEZ C., G. A.; FOLSTER, H. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poró (*Erythrina peoppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. I. Biomasa y reservas nutritivas. Turrialba 35 (3):233-242. 1985.
3. ARGÜELLO A., H. Cambios en la composición bioquímica y su aplicabilidad en el uso de follajes verdes como fuente de materia orgánica y nutrimentos en sistemas agroforestales. Agronomía Colombiana 12 (2):169-181. 1995.
4. BERG, B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. Forest Ecology and Management 133:13-22. 2000.
5. CALEGARI, A. Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná. Londrina, IAPAR, 1995. 36 p. (Circular IAPAR N° 80)
6. CARNEVALE, N. J.; LEWIS, J. P. Litterfall and organic matter decomposition in a seasonal forest of the eastern Chaco. Revista de Biología Tropical 49 (1):203-212. 2001
7. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Anuario meteorológico cafetero 2002. Chinchiná, Cenicafé, 2004. 536 p.
8. CUENCA, G.; ARANGUREN, J.; HERRERA, R. Root growth and litter decomposition in a coffee plantation under shade trees. Plant and Soil 71: 477-486. 1983.
9. CHIRWA, T.S.; MAFONGOYA, P.L.; MBEWE, D.N.M.; CHISHALA, B.H. Changes in soil properties and their effects on maize productivity following *Sesbania sesban* and *Cajanus cajan* improved fallow systems in eastern Zambia. Biology and Fertility of Soils 40 (1): 20–27. 2004.
10. DE LAS SALAS, G. Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América tropical. San José, IICA, 1987. 450 p.
11. DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. WASHINGTON. ESTADOS UNIDOS. The National Organic Program. The NOP Final Rule. Read the National Standards on Organic Agricultural Production and Handling. View the

- Final Regulations. Washington, USDA, 2000. 120 p.
12. FASSBENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Turrialba, IICA, 1987. 420 p. (Colección Libros y Materiales Educativos IICA N° 81).
 13. FASSBENDER, H. W. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2. ed. Turrialba, CATIE, 1987. 491 p. (Proyecto Agroforestal CATIE-GTZ)
 14. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Estudio de suelos del departamento de Caldas, Ecotopo 206A. Bogotá, FNC, 1998. 76 p.
 15. GAMA R., A. C.; BARROS, N. F.; SANTOS, M. L. Decomposição de nutrientes do folheto de espécies florestais nativas em plantios puros e mistos no sudeste da Bahia. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 27:1021-1031. 2003.
 16. GATHUMBI, S.M.; CADISCH, G.; GILLER, K.E. Improved fallows: Effects of species interaction on growth and productivity in monoculture and mixed stands. *Forest Ecology and Management* 187 (2):267-280. 2004
 17. GESELLSCHAFT FÜR RESSOURCENSCHUTZ mbH – GfRS. Servicio de Información. Reglamento (CEE) 2092/91 y sus modificaciones, “La Producción Ecológica”. Göttingen, GfRS, 1996. 80 p.
 18. HAGEDORN, F.; STEINE, K.G.; SEKAYANGE, L.; ZECH, W. Effect of rainfall pattern on nitrogen mineralization and leaching in a green manure experiment in south Rwanda. *Plant and Soil* 195 (2):365-375. 1997
 19. HARTEMINK, A. E.; O’SULLIVAN, J.N. Leaf litter decomposition of *Piper aduncum*, *Gliricidia sepium* and *Imperata cylindrica* in the humid lowlands of Papua New Guinea. *Plant and Soil* 230:115-124. 2001.
 20. HEUVELDOP, J.; FASSBENDER, H. W.; ALPIZAR O., L. A.; ENRÍQUEZ C., G. A.; FÖLSTER, H. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poró (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. II. Cacao and wodd production, litter production and decomposition. *Agroforestry Systems* 6:37-48. 1988.
 21. HENIN, S.; DUPUIS, M. Essai de bilan de la matière organique des sols. *Annual Agronomy* 15 (1):161-172. 1945
 22. IBEWIRO, B.; SANGINGA, N.; VANLAUWE, B.; MERCKX, R. Nitrogen contributions from decomposing cover crop residues to maize in a tropical derived savanna, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 57 (2):131-140. 2000.
 23. INTERNATIONAL FEDERATION OF ORGANIC AGRICULTURE MOVEMENTS – IFOAM. Normas básicas para la producción y el procesamiento ecológico acordadas por la Asamblea General de IFOAM en Mar del Plata, Argentina, Noviembre de 1998. Okozentrum Imbsbach, IFOAM, 1999. 68 p.
 24. ISAAC, L.; WOOD, W. C.; SHANNON, D. A. Decomposition and nitrogen release of prunings from dedgerow species assessed for alley cropping in Haiti. *Agronomy Journal* 92:501-511. 2000
 25. LABRADORM., J. Materia orgánica en los agrosistemas. Madrid. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación: Mundi-Prensa, 1996. 174 p.
 26. MAFONGOYA, P. L.; CHINTU, R.; CHIRWA, T.S.; MATIBINI, J.; CHIKALE, S. *Tephrosia* species and provenances for improved fallows in Southern Africa. *Agroforestry Systems* 59 (3):279. 2003.
 27. MENDONÇA, E.S.; STOTT, D.E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in southeastern Brazil. *Agroforestry Systems* 57 (2):117-125. 2003
 28. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. BOGOTÁ. COLOMBIA. Resolución No. 0074 del 04 Abril de 2002. Reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaquetado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación y comercialización de productos agropecuarios ecológicos. Bogotá, El Ministerio, 2002. 21 p.
 29. OLIVER L.; PÉREZ C., M. E.; BERMÚDEZ DE C., F. Degradación de la hojarasca de un pastizal oligotrófico mediterráneo del centro de la Península Ibérica. *Anales de Biología* 24:21-32. 2002
 30. OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44:322-331. 1963.

31. RIVEROT, C.; PAOLINI, J. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos sobre la evolución de CO₂ de dos suelos venezolanos. *Revista de la Facultad de Agronomía* 21 (12):37-49. 1995.
32. RIVEROT, C.; PAOLINI, J.; SENESI, N.; D'ORAZIO, V. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos de *Crotalaria juncea* sobre la calidad de la materia orgánica de un suelo. *Revista de la Facultad de Agronomía* 23 (1):77-94. 1997.
33. SAÑAJ. Mineralització de la Fracció Orgànica nitrogenada dels Adobs Orgànics: Possibles Vies Per A La Seva. Estimació Dossiers Agraris, Problemes moderns en l'ús dels sòls: nitrats. FALTA CIUDAD, INSTITUCIÓ CATALANA D'ESTUDIS AGRARIS – ICEA, 1999. p 29-40
34. SINHA, M. K.; SINHA, D. P.; SINHA, H. Organic matter transformations in soils (V): kinetics of carbon and nitrogen mineralization in soils amended with diferent organic materials. *Plant and Soils* 46: 579-590. 1977.
35. THÖNNISSEN, C.; MIDMORE, J.D.; LADHA, K.J.; OLK, C.D.; SCHMIDHALTER, U. Legume decomposition and nitrogen relase when applied as green manures to tropical vegetable production systems. *Agronomy Journal* 92 (2):253-260. 2000.
36. TIAN, G.; KANG, B.T. Effects of soil fertility and fertilizer application on biomass and chemical compositions of leguminous cover crops. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51: 231–238. 1998.
37. TRAORÉ, O. S.; SINAJ, E.; FROSSARD, J.M.; VAN DE KERKHOVE. Effect of composting time on phosphate exchangeability. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55 (2):123–131. 1999.
38. UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA-UNEX.. Área de edafología y química agrícola. Facultad de Ciencias. Gestión y Conservación del suelo. Lección 3. Online Internet. Disponible en: <http://www.unex.es/edafo/GCSP/GCSL3DQPMONecAport.htm>. (Consultada en Julio 23 de 2004).
39. WIEDER, R. K.; LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology* 63 (6):1636–1642. 1982.
40. ZAHARAH, A.R.; BAH, A. R. Patterns of decomposition and nutrient release by fresh *Gliricidia sepium* leaves in an ultisol. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55 (3):269-277. 1999.