

DESCOMPOSICIÓN DE LA HOJARASCA Y LIBERACIÓN DE NUTRIENTES DE *Coffea arabica*, *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis*, EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ

Fernando Farfán -Valencia*- Jhon Byron Urrego**

RESUMEN

FARFÁN V. F.; URREGO J. B. Descomposición de la hojarasca y liberación de nutrientes de *Coffea arabica*, *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis*, en sistemas agroforestales con café. *Cenicafé* 58(1):20-39. 2007.

En la Subestación Experimental Paraguaicito se evaluó la descomposición de la materia seca y la transferencia de nutrientes de las especies *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* en sistemas agroforestales con café. Las densidades de siembra fueron de 4.444 y 278 plantas/ha para el café y el sombrío, respectivamente. El café produjo 4,4t.ha⁻¹ de materia seca, y las especies forestales *C. alliodora*, *P. oocarpa* y *E. grandis* produjeron 3,5; 6,7 y 6,4t.ha⁻¹, respectivamente. La tasa de descomposición mensual (*k*) fluctuó entre 0,87 y 1,08 en café; 0,78 en *C. alliodora*; 0,26 en *P. oocarpa* y 0,72 en *E. grandis*. En 365 días se incorpora al suelo el 65,1%, 56,7%, 25,2% y el 54,0% de los residuos producidos por café, *C. alliodora*, *P. oocarpa* y *E. grandis*. La transferencia de nutrientes por el café al suelo fue del 64,8% de N; 82,9% de P, 96,7% de K, 34,3% de Ca y 63,1% de Mg; la transferencia por *C. alliodora* fue del 33,3%; 54,4%; 93,6%; 54,0% y 67,4% respectivamente; la transferencia en *E. grandis* fue del 23,6%; 35,5%; 89,3%; 28,5% y 39,9% respectivamente. *P. oocarpa* sólo transfirió el 64,5% del K.

Palabras clave: Materia seca, transferencia de nutrientes, sombrío.

ABSTRACT

The rate of dry matter decomposition and nutrient transfer for the species *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* and *Eucalyptus grandis* was evaluated in agroforestry systems with coffee at the Paraguaicito experimental station. The sowing densities were 4,444 for coffee and 278 plants/ha for shade trees respectively. Coffee dry matter yield was 4.4t.ha⁻¹; and for *C. alliodora*, *P. oocarpa* and *E. grandis* it was 3.5, 6.7 and 6.4t.ha⁻¹ respectively. The monthly rate of dry matter decomposition (*k*) was between 0.87 and 1.08 for coffee, 0.78 in *C. alliodora*, 0.26 in *P. oocarpa* and 0.72 in *E. grandis*. After 365 days, 65.1%, 56.7%, 25.2% and 54.0% of the residues produced by coffee, *C. alliodora*, *P. oocarpa* and *E. grandis* respectively were incorporated to the soil. The transfer of nutrients N, P, K, Ca and Mg from coffee to soil was 64.8%, 82.9%, 96.7%, 34.3% and 63.1% respectively; for *C. alliodora* it was 33.3%, 54.4%, 93.6%, 54.0% and 67.4% ; in *E. grandis* it was 23.6%, 35.5%, 89.3%, 28.5%, and 39.9%; *P. oocarpa* only transferred 64.5% of K.

Keywords: Dry matter, nutrients transference, shading.

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

** Ingeniero Forestal, División de Investigaciones. Smurfit Cartón de Colombia - SCC- Cali, Colombia.

En Colombia es común el establecimiento de cafetales bajo sombrío o en sistemas agroforestales, los cuales se definen como asociaciones deliberadas o sistemáticas de árboles con cultivos en el mismo espacio (13, 21, 28, 48). El componente arbóreo persigue optimizar el uso de los recursos y aumentar la productividad por unidad de terreno; además de ser fuente de energía, de madera, de frutos y del mismo sombrío, puede regular las condiciones de luz para el cafetal y suplir parte de los nutrientes requeridos por el cultivo. Así mismo, con una densidad suficiente de árboles se logra reducir los vientos fuertes, lo que contribuye a la protección del suelo y del cafetal (48). Los árboles también aportan gran cantidad de residuos vegetales, que actúan como material de cobertura (28); la capa de hojarasca es el eslabón que mantiene unidos los componentes arbóreos con el suelo, esta capa a su vez, por procesos de descomposición y mineralización, liberará nutrientes que podrán ser nuevamente absorbidos por las plantas (43, 47).

El retorno anual de la materia orgánica y de bioelementos al suelo a través de la hojarasca, es uno de los condicionantes más importantes en la renovación en el seno del ecosistema forestal. El efecto que la acumulación de los restos orgánicos en la superficie del suelo tiene sobre la productividad del bosque, ha inducido a muchos autores a estudiar la cinética de la descomposición de la hojarasca (5, 10). El posible papel de las especies forestales sobre la circulación de nutrientes en su ecosistema depende de la cantidad de material reciclable y de su tasa de descomposición. Por ello, es importante la identificación de las especies arbóreas nativas con influencia positiva sobre la restauración de la fertilidad del suelo, para utilizarlas en el diseño de plantaciones arbóreas mixtas y en sistemas agroforestales (25, 32, 55).

El objetivo del estudio fue estimar la tasa de descomposición, las tasas de transferencia

de la materia orgánica y de nutrientes al suelo, de la biomasa seca producida por el café y las especies forestales *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis*, como componentes de sistemas agroforestales, en una localidad de la zona cafetera central de Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio de estudio. El estudio se desarrolló en la Subestación Experimental Paraguaicito, localizada en el municipio de Buenavista (Quindío). La ubicación geográfica y las características de los suelos (14) se presentan en la Tabla 1. En la Subestación Experimental se registró durante el período de estudio (agosto de 2001 a julio de 2002) una humedad relativa del 85,0%, una precipitación de 2.269mm y un promedio de temperatura de 17,0°C (8) (Figura 1).

El índice de la humedad del suelo (IHS) muestra el comportamiento de la humedad del suelo en una región (Figura 2). Este se obtiene dividiendo los valores de la evapotranspiración real entre los valores de la evapotranspiración potencial, los cuales se obtienen de la contabilidad de entradas y salidas denominado balance hídrico (1, 17, 22). El IHS calculado para esta localidad indicó que sólo en agosto de 2001 y en febrero de 2002 hubo deficiencias hídricas en el suelo. Los valores de las variables climáticas para la estimación del IHS, se registraron en la estación meteorológica de la Subestación Experimental.

En esta localidad, entre 1994 y 2002, se estableció un trabajo de investigación cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* como sombrío del café, así como evaluar sus efectos en la producción del café. Para el análisis

de la descomposición de residuos vegetales producidos por las especies forestales y el café, se seleccionaron ocho parcelas de 1.296m² cada una; dos de ellas estaban plantadas con café y sombrío de nogal (*C. alliodora*), otras dos con café y sombrío de pino (*P. oocarpa*), dos más con café y sombrío de eucalipto (*E. grandis*) y las dos restantes con café a libre exposición solar.

La distancia de siembra del café fue de 1,5 x 1,5m (4.500 plantas/ha) y el sombrío a 6,0 x 6,0m (278 plantas/ha).

Las especies forestales empleadas como sombrío se establecieron en 1994, y al momento de la siembra se les realizó una fertilización consistente en la aplicación de 70g por planta de NPK en formulación

Tabla 1. Características climáticas y de suelos de la Subestación Experimental Paraguaicito

Localización geográfica			
Latitud Norte	04° 23'	Longitud Oeste	75° 44'
Altitud (m)	1.250		
Características de suelos			
pH	5,7	Magnesio (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)	1,08
Materia orgánica (%)	6,7	Ecotopo	211A
Nitrógeno (%)	0,28	Unidad cartográfica	Consociación Montenegro
Fósforo (ppm)	2,5	Grupo taxonómico	Typic Hapludands
Potasio (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)	0,78	Material parental	Cenizas volcánicas
Calcio (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)	2,90		

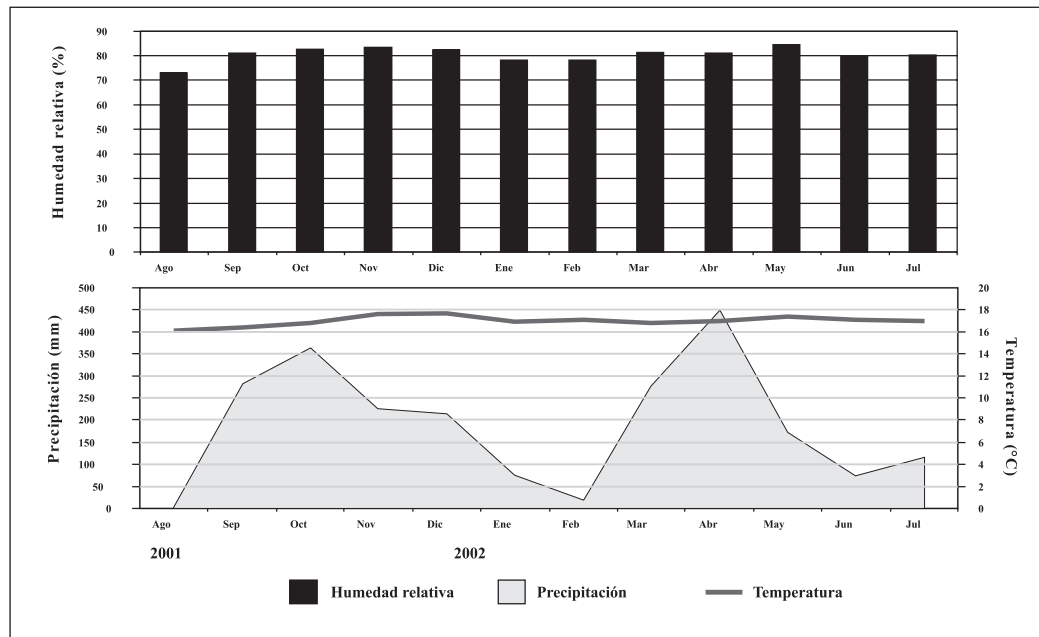


Figura 1. Precipitación, temperatura y humedad relativa mensuales en el período de agosto de 2001 a agosto de 2002, Subestación Experimental Paraguaicito.

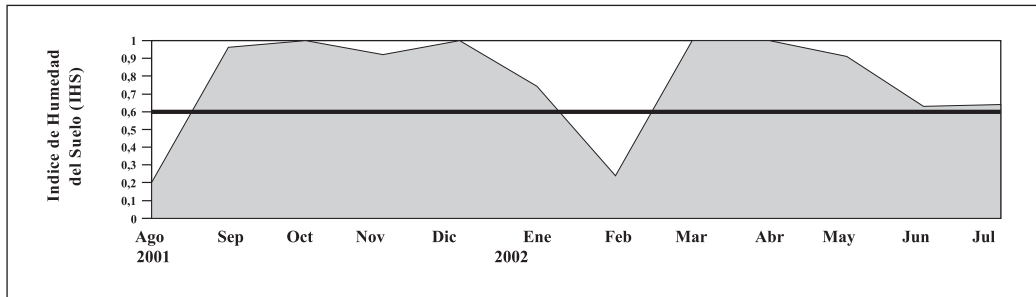


Figura 2. Índice de humedad del suelo (IHS) entre agosto de 2001 y julio de 2002, en la Subestación Experimental Paraguacito.

15-38-10. No se realizaron fertilizaciones posteriores.

El cafetal se estableció en octubre de 1995. Tres meses después se aplicaron 20g de urea por planta y la segunda aplicación del mismo fertilizante, en dosis de 30g por planta, se realizó después de seis meses. De acuerdo con el análisis de suelos el plan anual de fertilización consistió en la aplicación de 700kg.ha⁻¹.año⁻¹ de un fertilizante completo (17-6-18-2). La dosis recomendada se fraccionó en dos aplicaciones, mitad de la dosis en el primer semestre y la otra en el segundo semestre del año. El fertilizante se aplicó al plato de la planta.

En estudios realizados por Urrego y Farfán (50), entre agosto de 1997 y julio de 1998 y noviembre de 2000 y octubre de 2001, en esta misma localidad y áreas de estudio, obtuvieron que el aporte promedio de materia seca por año en cafetales a libre exposición solar fue de 4,9t.ha⁻¹ y bajo sombrío de *C. alliodora*, *P. oocarpa* y *E. grandis* de 3,8; 4,6 y 4,1t.ha⁻¹, respectivamente, y que el promedio de la producción de residuos vegetales de solo nogal, pino y eucalipto fue de 3,5; 6,7 y 6,4t.ha⁻¹.año⁻¹.

Descomposición del material vegetal residual. Para la determinación de la tasa

de descomposición se empleó el método de las “bolsas de descomposición”, de acuerdo con Lupwayi y Haque (29). Las bolsas se confeccionaron con malla plástica de polietileno de 30 x 20cm, con aberturas de malla de 1,0 x 1,0mm. Se construyeron 504 bolsas y se distribuyeron así: 108 para las especies forestales (3 especies forestales x 3 repeticiones x 12 meses) y 144 para el café proveniente de cada sistema de cultivo (4 sistemas de cultivo x 3 repeticiones x 12 meses). También se confeccionaron otras 252 bolsas para reemplazos ante eventuales pérdidas.

El material vegetal (hojas y pecíolos frescos) para el análisis de la tasa de descomposición de la materia seca producida por el café bajo cada sistema de cultivo y los producidos por *C. alliodora*, *P. oocarpa* y *E. grandis*, se tomó directamente de las plantas de café y de los árboles. No se recolectó el material vegetal del suelo debido a que no se conocía el momento de su caída e inicio de su descomposición. El material recolectado se llevó al laboratorio y se secó en estufa a 80°C durante 72 horas. En cada bolsa se depositaron 100g de material vegetal seco, de cada una de las especies forestales y el café. Finalmente, las bolsas se ubicaron de manera aleatoria en cada una de las parcelas correspondientes.

Durante un período de 365 días (agosto de 2001 hasta julio de 2002), cada 30 días se recolectaron de las parcelas experimentales 21 bolsas (tres por cada especie forestal y tres por cada sistema de cultivo de café); las muestras se llevaron al laboratorio y se secaron en una estufa a 80°C hasta obtener un peso seco constante.

La descomposición del material se evaluó como la pérdida de peso correspondiente a cada tiempo de degradación y se expresó como un porcentaje de peso de la materia seca remanente (porcentaje peso seco - %Psr); el cual se estimó mediante el cociente del peso seco del material mensual remanente en el horno (*Psm*), sobre el peso seco del material inicial en el horno (*Psi*) (ecuación <1>):

$$\%Psr = (Psm/Psi) \times 100 \quad <1>$$

Los *Psr* se determinaron para estimar la tasa de mineralización o descomposición del material vegetal. Debido a que la descomposición es proporcional al contenido de materia orgánica, la tasa relativa de descomposición o de transferencia mensual de material vegetal al suelo puede representarse por un modelo exponencial simple (37, 41, 46, 53, 54), del orden (ecuación <2>):

$$y = y_0 e^{-kt} \quad <2>$$

El modelo exponencial simple asume que:

- y*: Es el porcentaje de peso seco remanente o residual,
- y*₀: Es el porcentaje de peso seco inicial,
- t*: Es el tiempo y
- k*: Es la tasa relativa de descomposición mensual o constante de velocidad de descomposición del residuo orgánico (36, 41).

El coeficiente de descomposición es un indicador de la “velocidad” con que se

transforman o descomponen los residuos vegetales; la tasa de descomposición puede fluctuar entre 0,1 por día para residuos de muy rápida descomposición a 0,00001 por día para residuos de muy lenta degradación (9).

Coficiente Isohúmico (*k*₁). Definido como la constante de transformación en humus de la materia seca aportada o también 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 (20, 25). Debido a la naturaleza de sus componentes como ligninas y proteínas, Henin y Dupuis (20) y Saña (41) sugieren determinar este coeficiente a través de la fracción orgánica del residuo vegetal, la cual es relativamente resistente a la descomposición biológica, mediante la siguiente expresión (ecuación <3>):

$$k_1 = Mo_{humificada} / Mo_{aportada} \quad <3>$$

Biomasa seca descompuesta e incorporada al suelo. Al final del período de evaluaciones (12 meses), basados en los aportes totales de hojarasca y otros residuos producidos por las especies forestales y por el café en sus diferentes sistemas de cultivo, se estimó la cantidad total de biomasa seca descompuesta e incorporada al suelo.

Concentración de nutrientes en la biomasa seca inicial y remanente. Del material vegetal obtenido directamente de los árboles y del café, se tomaron submuestras para determinar la concentración de nutrientes. Estas concentraciones se denominaron concentraciones iniciales (*C*_i) o en el día cero (0). Con las tres muestras retiradas del campo mensualmente, de cada una de las especies forestales y del café en cada sistema de cultivo, se conformó una muestra compuesta para su

análisis químico. En todos los casos se determinó N por el método semimicro Kjeldahl; P por colorimetría (molibdovanadato de amonio); K, Ca y Mg, mediante espectrofotometría de absorción atómica (EAA); y también se determinó el contenido de materia orgánica. Las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg y cenizas se expresaron en porcentaje (%).

Liberación de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg). Para la evaluación de la liberación o la transferencia de nutrientes contenidos en la materia seca remanente de todas las especies forestales y del café en sus diferentes sistemas de cultivo, también se aplicó el modelo exponencial simple propuesto por Olson (37), Saña (41), Sinha *et al.* (46) y Wieder y Lang (53) (ecuación <4>):

$$W_f = W_i e^{-k t} \quad <4>$$

Donde:

W_f : Cantidad remanente de N, P, K, Ca y Mg

W_i : Cantidad inicial de cada elemento mineral

k : Constante de liberación de nutrientes

t : Tiempo de descomposición de la hojarasca, expresado en meses.

Análisis de la información. Se realizaron análisis de varianza para todas las variables evaluadas. La comparación de los coeficientes de descomposición de los residuos vegetales de las especies forestales y el café, de los coeficientes de liberación de nutrientes y de los coeficientes isohúmicos, entre otros, se realizaron mediante pruebas de Tukey al 5%. Para evaluar la influencia de la humedad del suelo (IHS) sobre la descomposición de los residuos vegetales producidos por las especies forestales y el café durante un año, se estimaron los coeficientes de correlación de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso seco residual (P_{sr}) de las muestras de las tres especies forestales y del café.

Los promedios del peso seco de las muestras remanentes de café a libre exposición a los 30, 180 y 365 días fueron de 93,0; 60,5 y 34,5g; los del café con sombrío de nogal fueron de 89,7; 51,0 y 33,6g; para el café

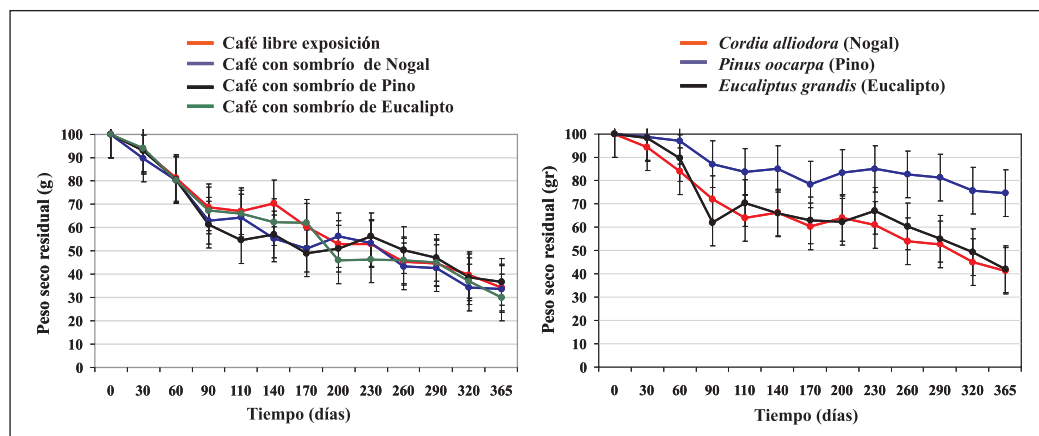


Figura 3. Peso seco residual de las muestras vegetales de café a libre exposición y bajo sombrío, y de las tres especies forestales en descomposición, durante un año.

bajo sombrío de pino los promedios fueron de 93,0; 49,0 y 36,8g y para el café con sombrío de eucalipto se registraron valores de 94,0; 62,0 y 30,1g, respectivamente (Figura 3).

En estos mismos períodos, los valores de las muestras remanentes de nogal fueron de 94,3; 60,5 y 41,5g respectivamente; las de pino de 98,7; 78,5 y 74,6g y las de eucalipto de 98,3; 63,0 y 42,1g. El peso seco de la muestra inicial fue de 100g en todas las especies.

Moro y Domingo (33), en la descomposición de residuos de *Pinus pinaster* y *P. nigra*, registraron pesos secos de 80 y 90g en las muestras remanentes a los 180 y 360 días; además encontraron pesos secos entre 50 y 80g a los 180 días y entre 25 y 60g a los 360 días, para las especies *Adenocarpus decorticans* y *Cistus laurifolius*, respectivamente. Lusk *et al.* (30), reportan pesos secos remanentes de 60g en *P. radiata* en un período de cinco meses, y en *Pinus* sp., Callahan *et al.* (6) obtuvieron pesos remanentes de 85 y 75g a los 200 y 300 días de descomposición de

los residuos. Así mismo, White *et al.* (52) y Sariyildiz (42), registraron pesos remanentes de 55g en muestras de *Pinus* sp. a los 360 días, y de 75 y 60g en *P. sylvestris* a los 180 y 360 días de descomposición.

Después de 365 días de descomposición de residuos de *Azadirachta indica*, *Dalbergia sissoo*, *Pongamia pinnata* y *Shorea robusta*, Singh *et al.* (45) obtuvieron porcentajes de masa remanente de 27,2%, 31,9%, 41,2% y 52,9%, respectivamente.

Descomposición de la hojarasca. En la Tabla 2 y la Figura 4, de acuerdo con el modelo aplicado (exponencial simple), se observan las tasas relativas de descomposición (*k*) para nogal, pino, eucalipto y de café, a libre exposición solar y bajo sombrío. Modelos similares fueron aplicados por Heuvelodop *et al.* (21) en *C. alliodora*; por Gama-Rodrigues *et al.* (15) en *Peltogyne angustiflora*, *Centrolobium robustum*, *Arapatiella psilophylla*, *Sclerolobium chrysophyllum*, *C. trichotoma* y *Macrolobium latifolium*; por Prause y Lifschitz (38) en *Gleditsia amorphoides*, *Patagonula americana*, *Chlorophora tinctoria*

Tabla 2. Valores estimados de la tasa de descomposición mensual del follaje de café, a libre exposición solar y bajo sombrío, y de las especies forestales *C. alliodora*, *P. oocarpa* y *E. grandis*.

Tratamientos	Tasa de descomposición de residuos	
	<i>k.año</i> ⁻¹	C.V.
Café a libre exposición	1,00 a	0,04
Café con sombrío de nogal	1,01 a	0,37
Café con sombrío de pino	0,87 a	0,12
Café con sombrío de eucalipto	1,08 a	0,22
<i>C. alliodora</i> (nogal)	0,78 a	0,11
<i>P. oocarpa</i> (pino)	0,26 b	0,03
<i>E. grandis</i> (eucalipto)	0,72 a	0,15

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

k: Tasa de descomposición anual

C.V. Coeficiente de variación

y *Astronium balansae*; y por Munguía *et al.* (34) en *Eucalyptus deglupta*, *Erythrina poeppigiana* y café, entre otros.

El análisis de varianza y a las pruebas de comparación no mostraron diferencias estadísticas entre la tasa de descomposición anual para el café a libre exposición solar y bajo sombrío; tampoco fue evidente esta diferencia en la tasa de descomposición de los residuos de nogal y eucalipto; pero sí hubo diferencia estadística entre la tasa de descomposición de los residuos vegetales de pino y el café bajo todos sus ambientes y nogal y eucalipto, es decir que los residuos vegetales de pino se descomponen más lentamente que el resto de los materiales.

La tasa de descomposición registrada por Ribeiro *et al.* (39) para *E. globulus* oscila entre 0,37 y 0,42 $k.año^{-1}$, mientras que Guo y Sims (18), para esta misma especie encontraron promedios de las tasas de descomposición de 0,01 y 1,34. En otras especies como *Metrosideros polymorpha*, Austin y Vitousek (3) obtuvieron una tasa de descomposición (k) que fluctuó entre 0,22 y 1,06. Moro y Domingo (33) registraron valores de k

de 0,13 y 0,16 en *P. pinaster* y *P. nigra*, respectivamente. En *C. trichotona*, Gamma-Rodrigues *et al.* (15) fijaron un k de 1,2. Al ajustar modelos exponenciales en la tasa de descomposición de 51 especies arbóreas, Simmons y Hawkins (44) encontraron que la $k.año^{-1}$ fluctuaba entre 0,002 y 0,45. Esta variación en la tasa de descomposición de acuerdo con Berg (4), la cual puede decrecer de 0,1% por día a 0,00001% por día, puede deberse a la composición química del material vegetal o a la calidad del sustrato.

Santa (40) reportó índices de descomposición ($k.mes^{-1}$) en *P. pinea* y *P. pinaster* de -0,15 y -0,08 y Kwabiah *et al.* (24), al aplicar modelos exponenciales simples en la descomposición de residuos de *Croton megalocarpus*, *Sesbania sesban* y *Calliandra calothyrsus*, obtuvieron coeficientes de descomposición ($k.día^{-1}$) de 0,037; 0,042 y 0,012, respectivamente.

Coefficiente Isohúmico (k_i). Las pruebas de comparación realizadas entre los coeficientes Isohúmicos (k_i) de café a libre exposición solar y bajo sombrío, no mostraron diferencia estadística, lo que indica que la fracción no descompuesta del material vegetal del café

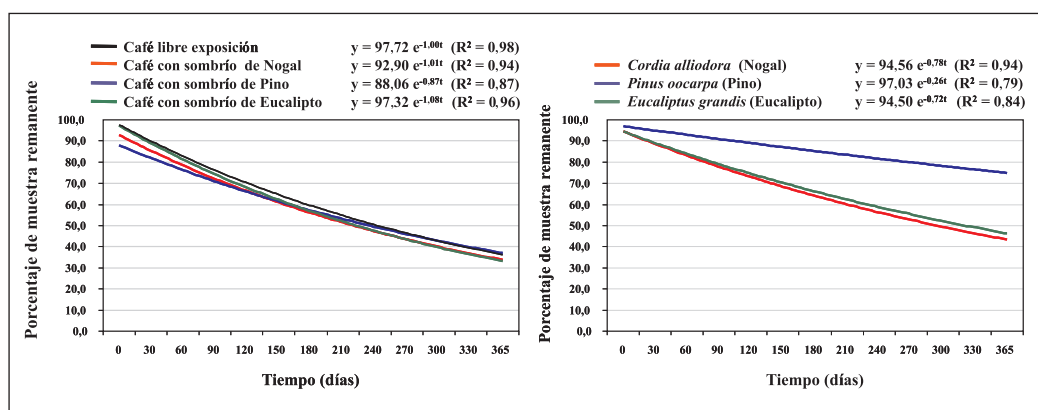


Figura 4. Porcentajes de masa remanente del follaje de café a libre exposición solar y bajo sombrío de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis*.

no está determinada por el tipo de sombrío. El k_1 durante un año de evaluación fue del 0,37 para el café a libre exposición solar y bajo sombrío (Tabla 3).

Ribeiro *et al.* (38) observaron que en *E. globulus*, después de 645 días de descomposición, se conservaba el 52,8% del material inicial. En residuos de *C. alliodora*, Fasbender (13) determinó que la fracción sin descomponer en un período de 300 días fue del 50,8%; mientras que Arguello (2) indica que después de 12 semanas de descomposición de los residuos de especies como *Erythrina* sp., se conservaba más del 61% del peso inicial sin descomponerse.

Tasa de incorporación de residuos vegetales.

En la Figura 5 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.

En los primeros 30 días de descomposición del material vegetal aportado por el café a libre exposición solar ($4,94t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$) y bajo sombrío ($4,15t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$) se incorporaron al suelo el 9,8% y el 14,3%, respectivamente. La incorporación del 50% de los residuos vegetales se registró a los 240 días de descomposición y a los 365 días se degradaron

Tabla 3. Coeficientes isohúmicos de los residuos de café a libre exposición solar y bajo sombrío, y de las tres especies forestales.

Tratamientos	Coefficiente Isohúmico (k1)	C.V.
Café a libre exposición	0,37 a	0,13
Café con sombrío de nogal	0,36 a	0,42
Café con sombrío de pino	0,42 a	0,14
Café con sombrío de eucalipto	0,34 a	0,17
<i>Cordia alliodora</i> (nogal)	0,46 a	0,14
<i>Pinus oocarpa</i> (pino)	0,77 b	0,01
<i>Eucalyptus grandis</i> (eucalipto)	0,49 a	0,16

Valores identificados con letras distintas indican diferencia estadística según la prueba Tukey al 5% C.V. Coeficiente de variación.

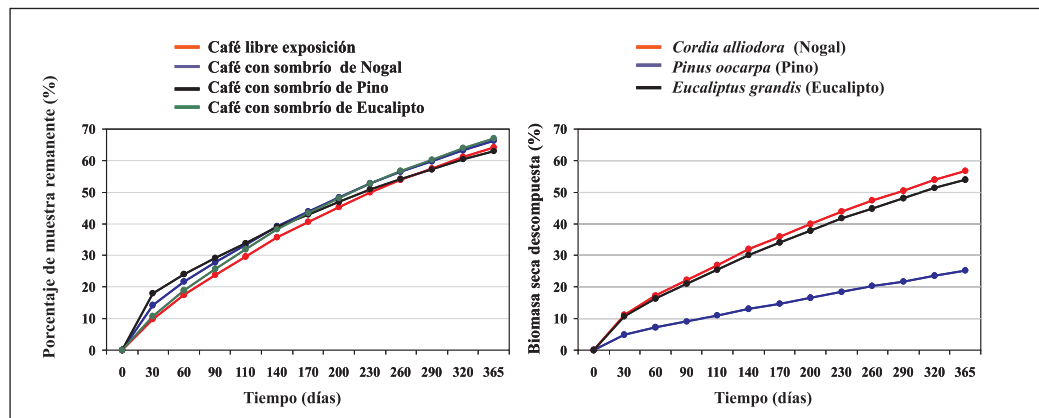


Figura 5. Porcentajes de la biomasa inicial descompuesta e incorporada al suelo mensualmente.

e incorporaron al suelo el 64,1% y el 65,4% de la materia orgánica producida por el café a libre exposición solar y bajo sombrío, respectivamente.

Del material vegetal aportado por el nogal (3,46t.ha⁻¹.año⁻¹), el pino (6,67t.ha⁻¹.año⁻¹) y el eucalipto (6,39t.ha⁻¹.año⁻¹), en los primeros 30 días de descomposición se incorporaron al suelo el 11,2%, el 5,0% y el 10,8%, respectivamente. El 50% de los residuos vegetales de nogal y el 51% de los de eucalipto se incorporaron entre los 300 y 330 días de descomposición, y a los 365 días se degradaron e incorporaron al suelo el 56,7%, el 25,2% y el 54,0% de la materia orgánica producida por nogal, pino y eucalipto, respectivamente.

Munguía *et al.* (34), obtuvieron tasas de descomposición del 23% en *E. deglupta* a los 213 días, y del 60% en *Coffea arabica*, después de 213 días. En *P. radiata*, Ganjegunte *et al.* (16) obtuvieron tasas de descomposición del follaje del 24% anual, esta baja tasa de descomposición es atribuible a los compuestos polifenólicos y a las grandes concentraciones de lignina de esta especie. Santa (40), en *Quercus rotundifolia*, *P. pinea* y *P. pinaster*, registró que cerca del 30% de la materia seca se descompone durante los primeros cuatro meses. Hartemink y O'Sullivan (19) en *Piper aduncum*, *Gliricidia sepium* e *Imperata cylindrica* registraron una tasa de descomposición del 50% en las diez primeras semanas. Para el caso de *E. globulus*, Ribeiro *et al.* (39) obtuvieron tasas de descomposición del 47,2% a los 645 días. Moro y Domingo (33) registraron porcentajes de descomposición del 14,0% en *P. pinaster* y *P. nigra*, después de 360 días, y que el tiempo de descomposición total puede fijarse entre 4 y 5 años. Gama-Rodrigues *et al.* (15) encontraron que en un año se descompuso e incorporó al suelo el 60% de los residuos de *C. trichotoma*.

En general, Prause y Lifschitz (38), indican que las hojas de las diferentes especies forestales se descomponen a una velocidad diferente, cabe anotar que el proceso es rápido al comienzo, con pérdidas de peso en los primeros tres meses entre el 28% y el 60% del peso total del material vegetal. En un bosque compuesto por *Acacia polyphylla*, *Alchornea triplinervia*, *Aspidosperma polyneuron*, *Bastardiopsis densiflora*, *Cordia trichotoma*, *Gallesia integrifolia*, *Luehea divaricata* y *Machaerium brasiliense*, entre otros, Vital *et al.* (51) registraron un coeficiente de descomposición (*k*) de 1,71 y definieron que es necesario esperar entre 150 y 639 días para la descomposición del 50% al 95% del material.

Descomposición de residuos vs. índice de humedad del suelo (IHS). La influencia de la humedad del suelo sobre la proporción de la biomasa seca descompuesta cada mes, entre agosto de 2001 y julio de 2002, se presenta en la Tabla 4.

El coeficiente de correlación (*r*) entre el IHS y el porcentaje de la materia seca que se descompone cada mes en el tratamiento café a libre exposición solar fue de -0,18, en café bajo sombrío de 0,05; en nogal y pino de 0,31 y en eucalipto de 0,21; no obstante, los análisis de varianza no mostraron relación alguna entre estas dos variables (*p*>0,05 en todos los casos), lo que indica que la disponibilidad o no de agua en el suelo no tuvo influencia sobre la descomposición de la masa vegetal, en las condiciones ambientales y de suelos donde se desarrolló el estudio. Sin embargo, Bunvong y Granger (5) y Kochy y Scott (23), sostienen que el clima modifica notablemente la rapidez de la descomposición de los residuos vegetales en la superficie del suelo, y además ejercen influencia sobre el tipo y la abundancia de la materia orgánica. La humedad y la temperatura se encuentran entre las variables más determinantes, porque

Tabla 4. Relación entre la humedad del suelo sobre el porcentaje mensual de biomasa seca descompuesta, entre agosto de 2001 y julio de 2002.

Índice de Humedad del Suelo (IHS)													
Especies	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	r
	0,20*	0,96	1,00	0,92	1,00	0,74	0,24	1,00	1,00	0,91	0,63	0,64	
Porcentaje de la biomasa descompuesta cada mes													
Café sol	6,7	11,8	12,9	1,5	-3,2	9,8	7,5	0,0	7,9	0,5	5,0	5,2	-0,18
Café/sombra	7,9	11,6	16,6	2,3	3,5	4,1	2,8	-1,0	5,5	1,8	8,2	3,2	0,05
Nogal	5,7	10,4	12,0	7,8	-2,4	6,0	-3,5	3,0	7,1	1,2	7,9	3,4	0,31
Pino	1,3	1,5	10,2	3,2	-1,1	6,3	-5,0	-1,5	2,3	1,3	6,0	1,0	0,31
Eucalipto	1,8	8,6	27,6	-8,2	4,2	3,1	0,5	-4,5	6,5	5,6	5,6	7,3	0,21

*Índices menores a 0,6 indican deficiencias de humedad en el suelo

influyen en el desarrollo de la vegetación y en la actividad de los microorganismos.

Así mismo, Bunvong y Granger (5) afirman que la intensidad máxima de la descomposición de la materia orgánica se observa en condiciones de temperatura alrededor de 30°C y con un contenido de humedad del suelo entre el 60 y el 80% de su capacidad máxima de retención de agua. En otros estudios McTiernan (31) en *P. sylvestris* y Liski *et al.*(27) en *Pinus* sp., observaron que hay una correlación positiva de la tasa de descomposición de los residuos vegetales y la humedad relativa, la evapotranspiración, la precipitación y la temperatura. Guo y Sims (18) observaron que existe correlación positiva de la tasa de descomposición de residuos vegetales de *E. globulus* y los factores como la precipitación, la temperatura y la radiación solar.

Camiré *et al.* (7) y Simmons y Hawkins (44), en la evaluación de 51 especies arbóreas, encontraron correlaciones positivas entre la tasa de descomposición y los factores climáticos temperatura y precipitación, mientras que Austin y Vitousek (3), observaron que hay

correlación positiva de la precipitación y la tasa de descomposición de residuos vegetales de *Metrosideros polymorpha*. Dora *et al.* (11), en *Peltogyne gracilipes*, obtuvieron relaciones inversas entre la tasa de descomposición y la distribución de lluvias. Thaiutsa y Granger (49) aplicaron regresiones lineales simples para relacionar las variables climáticas y la descomposición de la hojarasca en bosques tropicales, y encontraron que los porcentajes de descomposición aumentan con la precipitación y la humedad relativa, y que la temperatura no tenía influencia sobre la tasa de descomposición.

Pero la tasa de descomposición no depende sólo de los factores ambientales como la temperatura, la humedad y la precipitación y de las características del suelo, de su humedad y de las poblaciones microbianas (10, 12); las diferencias en la descomposición de los materiales vegetales están en función de la composición química, de las concentraciones de los nutrientes y de la relación C:N (13, 35). Sariyildiz (42) afirma que la concentración de N y la relación C:N se han identificado como los factores más importantes que

controlan los procesos de descomposición de la materia orgánica.

Relación Carbono:Nitrógeno (C:N). Esta relación depende de las especies y la edad de las mismas, y es un buen indicador de la susceptibilidad de la hojarasca a ser degradada. El rango óptimo en los residuos orgánicos se encuentra entre 25 y 30:1; si el residuo inicial es rico en C y pobre en N, la descomposición será lenta, pero si el residuo tiene altas concentraciones de N, éste se transformará en amoníaco e impedirá la correcta actividad biológica. Si el material final, después del proceso de 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 ser por una excesiva mineralización, aunque todo ello depende de las características del material inicial (10, 13, 35). En la Tabla 5 se presentan las concentraciones iniciales y finales de C orgánico y de N, y la relación C:N del café a libre exposición solar y bajo sombrío y de las tres especies forestales.

La relación C:N inicial registrada en el café a libre exposición solar fue de 32,2 y la final de 19,8 (a los 365 días de descomposición del material vegetal); mientras que estas relaciones bajo sombrío

fueron de 24,9 y 16,9, respectivamente. Los coeficientes de correlación entre el tiempo de descomposición de la biomasa seca del café en los dos sistemas de cultivo (libre exposición solar y bajo sombra), fueron de -0,69 en el primer caso y de -0,80 en el segundo, lo que indica una relación inversa entre estas dos variables, es decir, que la relación C:N disminuye al incrementarse el tiempo de descomposición de los residuos del café.

Las relaciones C:N iniciales en los residuos de *C. alliodora*, *P. oocarpa* y *E. grandis*, en su orden fueron de 23,8; 105,1 y 71,7 y las relaciones C:N finales (a los 365 días de descomposición de la biomasa seca) fueron de 18,1; 76,9 y 37,3, respectivamente. Los coeficientes de correlación entre el tiempo de descomposición de la materia seca fueron de -0,43 en nogal, de -0,38 en pino y de -0,90 en eucalipto, e indican una relación inversa entre estas dos variables, es decir, que la relación C:N disminuye al incrementarse el tiempo de descomposición de los residuos vegetales. La alta relación C:N en *P. oocarpa* indica una lenta descomposición de sus residuos vegetales. Gama-Rodrigues *et al.* (15) reportan relaciones C:N para *C. trichotoma* de 27,3. Sariyildiz (42) para *P. sylvestris*, registró relaciones de 5,3, pero

Tabla 5. Concentración inicial (Ci) y final (Cf) de carbono orgánico (CO), nitrógeno (N) y la relación C:N del material remanente del café, a libre exposición solar y bajo sombrío, y de las especies forestales nogal, pino y eucalipto.

Especies	CO (%)			N (%)			C:N		
	Ci	Cf	r	Ci	Cf	r	Inicial	Final	r
Café solo	53,4	49,5	-0,49	1,7	2,5	0,68	32,2	19,8	-0,69
Café con sombrío	53,3	50,1	-0,85	2,1	3,0	0,75	24,9	16,9	-0,80
<i>C. alliodora</i>	47,1	42,5	-0,75	2,0	2,4	0,06	23,8	18,1	-0,43
<i>P. oocarpa</i>	55,7	55,4	-0,38	0,5	0,8	0,48	105,1	73,9	-0,38
<i>E. grandis</i>	55,2	52,6	-0,88	0,8	1,4	0,91	71,7	37,3	-0,90

para la especie *P. rigida*, White *et al.* (52) indican relaciones iniciales C:N de 95,0 y finales (863 días) de 0,39.

Xu *et al.* (54) obtuvieron correlaciones positivas entre la masa remanente y las relaciones C:N y C:P, después de dos años de descomposición de los residuos de *Castanopsis sieboldii* y *Schima wallichii*; Moro y Domingo (33) y Corbeels (9), afirman que la descomposición de residuos vegetales de *P. pinaster* y *P. nigra*, después de dos años, está correlacionada positivamente con la relación C:N inicial. Por lo general, el índice de descomposición es más alto en las especies que tienen máximos valores de ceniza y de nitrógeno y mínimos valores en la relación C:N y de lignina (5).

Concentraciones iniciales y finales de nutrientes. Las concentraciones iniciales (0 días) y las finales (365 días) de N, P, K, Ca y Mg, en las muestras remanentes de café a libre exposición y bajo sombrío, y

de las tres especies forestales, se presentan en la Tabla 6.

Coffea arabica. Los valores de *r*, entre el tiempo de descomposición y las concentraciones de nutrientes, indican que las concentraciones de N, Ca y Mg aumentan y las de P y K se reducen al disminuir el porcentaje del material vegetal remanente. Los promedios de las concentraciones iniciales y finales de N, P, K, Ca y Mg del café bajo los tres sistemas de sombrío tuvieron el mismo comportamiento que a libre exposición solar.

Cordia alliodora. Los coeficientes de correlación entre el porcentaje de muestra residual y las concentraciones de nutrientes indican que las concentraciones de N, P y Ca aumentan al disminuir el porcentaje de material vegetal remanente mientras que las de K y Mg disminuyen. Gama-Rodrigues *et al.* (15) obtuvieron relaciones similares entre la concentración de N y el porcentaje de la muestra remanente en la descomposición del material vegetal de *C. trichotoma*.

Tabla 6. Concentración (%) de nutrientes en la muestra inicial y remanente de residuos vegetales de café a libre exposición solar y bajo sombrío, y de las especies forestales *C. alliodora*, *P. oocarpa* y *E. grandis*.

Tto	N (%)			P (%)			K (%)			Ca (%)			Mg (%)		
	C _i	C _f	r	C _i	C _f	r	C _i	C _f	r	C _i	C _f	r	C _i	C _f	r
CLE	2,81	2,82	-0,49	0,19	0,11	0,20	1,23	0,14	0,81	1,70	3,00	-0,81	0,33	0,35	-0,41
CSN	2,87	3,30	-0,78	0,25	0,10	0,57	1,29	0,15	0,85	1,76	4,33	-0,92	0,39	0,51	-0,76
CSP	2,79	2,87	-0,38	0,17	0,10	0,42	1,21	0,08	0,96	1,68	3,13	-0,96	0,31	0,33	0,08
CSE	2,84	2,80	-0,53	0,22	0,10	0,36	1,26	0,12	0,85	1,73	2,93	-0,81	0,36	0,33	0,33
NOG	1,44	2,32	-0,87	0,07	0,11	-0,42	0,80	0,12♦	0,87	5,50	6,10	-0,62	0,80	0,62	0,48
PIN	0,48	0,67	-0,61	0,02	0,03	-0,76	0,18	0,08	0,45	0,45	0,63	-0,74	0,06	0,11	-0,80
EUC	0,78	1,42	-0,84	0,05	0,08	-0,69	0,59	0,15	0,90	1,07	1,82	-0,71	0,14	0,20	-0,66

CLE: Café libre exposición solar; CSN: Café con sombrío de nogal; CSP: Café con sombrío de pino; CSE: Café con sombrío de eucalipto; NOG: Nogal; PIN: Pino; EUC: Eucalipto

♦Se registraron valores inferiores a la concentración final.

***Pinus oocarpa*.** Los coeficientes de correlación entre el porcentaje de muestra residual y las concentraciones de estos elementos indican que las concentraciones de N, Ca y Mg aumentan al disminuir el porcentaje de material vegetal restante, mientras que las concentraciones de P y K disminuyen.

McTiernan *et al.* (31) en *Pinus sylvestris*, Santa (40) en *P. pinea*, *P. pinaster* y *P. nigra*; Moro y Domingo (33) en *P. pinaster* y *P. nigra*; White *et al.* (52) en *P. rigida*; Li *et al.* (26) en *Acacia mangium*, *A. auriculaeformis*, *Eucalyptus citriodora*, *P. ellioti* y *Schima superba*; y Montagnini *et al.* (32) en *Stryphnodendron excelsum*, *Vochysia ferruginea*, *Vochysia hondurensis* y *Hyeronima alchorneoides*, observaron correlaciones negativas entre las concentraciones de N y el porcentaje de la masa residual en la descomposición de estos materiales vegetales.

***Eucalyptus grandis*.** Los coeficientes de correlación entre el porcentaje de muestra residual y las concentraciones de estos nutrimentos indican que las concentraciones N, P, Ca y Mg aumentan al disminuir el porcentaje de material vegetal remanente, mientras que las concentraciones de K disminuyen al reducirse este porcentaje.

Se han encontrado relaciones inversas entre la masa vegetal residual y las concentraciones de N; así mismo, se han observado relaciones directas con las concentraciones de P, K y Ca en la descomposición de los residuos de *E. globulus* y *Metrosideros polymorpha* (3, 39). Montagnini *et al.* (32), en la descomposición de residuos de *Stryphnodendron excelsum*, *Vochysia ferruginea*, *Vochysia hondurensis* y *Hyeronima alchorneoides*, observaron que en las dos especies de *Vochysia* la concentración de P aumenta y en *Stryphnodendron excelsum* y en *Hyeronima alchorneoides* disminuye al descomponerse el material vegetal. En el caso de *Eucalyptus globulus*, Ribeiro *et al.* (39) no encontraron correlaciones de la muestra residual mensual y la concentración de Mg en la descomposición de residuos. Dora *et al.* (11), en *Peltogyne gracilipes*, obtuvieron correlaciones positivas de la tasa de descomposición y las concentraciones de Mg.

Liberación de nutrientes. La dinámica en la transferencia de nutrientes (*k*) a los 365 días de descomposición de la hojarasca del café, a libre exposición y bajo sombrío, y de las tres especies forestales, se presenta en la Tabla 7 y la Figura 6.

Tabla 7. Tasas de transferencia de nutrientes (*k*.año⁻¹) a los 365 días de descomposición de la hojarasca del café a libre exposición solar y bajo sombrío, y de las tres especies forestales.

Especies	Tasa de liberación de nutrientes (<i>k</i> .año ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	p
Café a libre exposición	-0,061 ab•	-0,082 ab	-0,248 ab	-0,020 bc	-0,054 bcd	*
Café con sombrío de Nogal	-0,056 b	-0,122 a	-0,233 ab	-0,003 d	-0,049 cd	*
Café con sombrío de Pino	-0,064 ab	-0,084 ab	-0,320 a	-0,022 b	-0,087 abc	*
Café con sombrío de Eucalipto	-0,073 a	-0,106 a	-0,257 ab	-0,045 a	-0,111 a	*
<i>Cordia alliodora</i> (Nogal)	-0,015 c	-0,050 b	-0,225 ab	-0,039 a	-0,091 ab	*
<i>Pinus oocarpa</i> (Pino)	0,006 d+	-0,002 c	-0,086 c	-0,003 d	0,014 e	*
<i>Eucalyptus grandis</i> (Eucalipto)	-0,003 cd	0,011 c	-0,170 bc	-0,006 cd	-0,026 d	*

+ Valores positivos indican inmovilización del nutriente

• Valores de *k* seguidos por letras distintas en la misma columna, indican diferencia estadística según prueba Tukey 5%

* *p*<0,001 en todos los casos

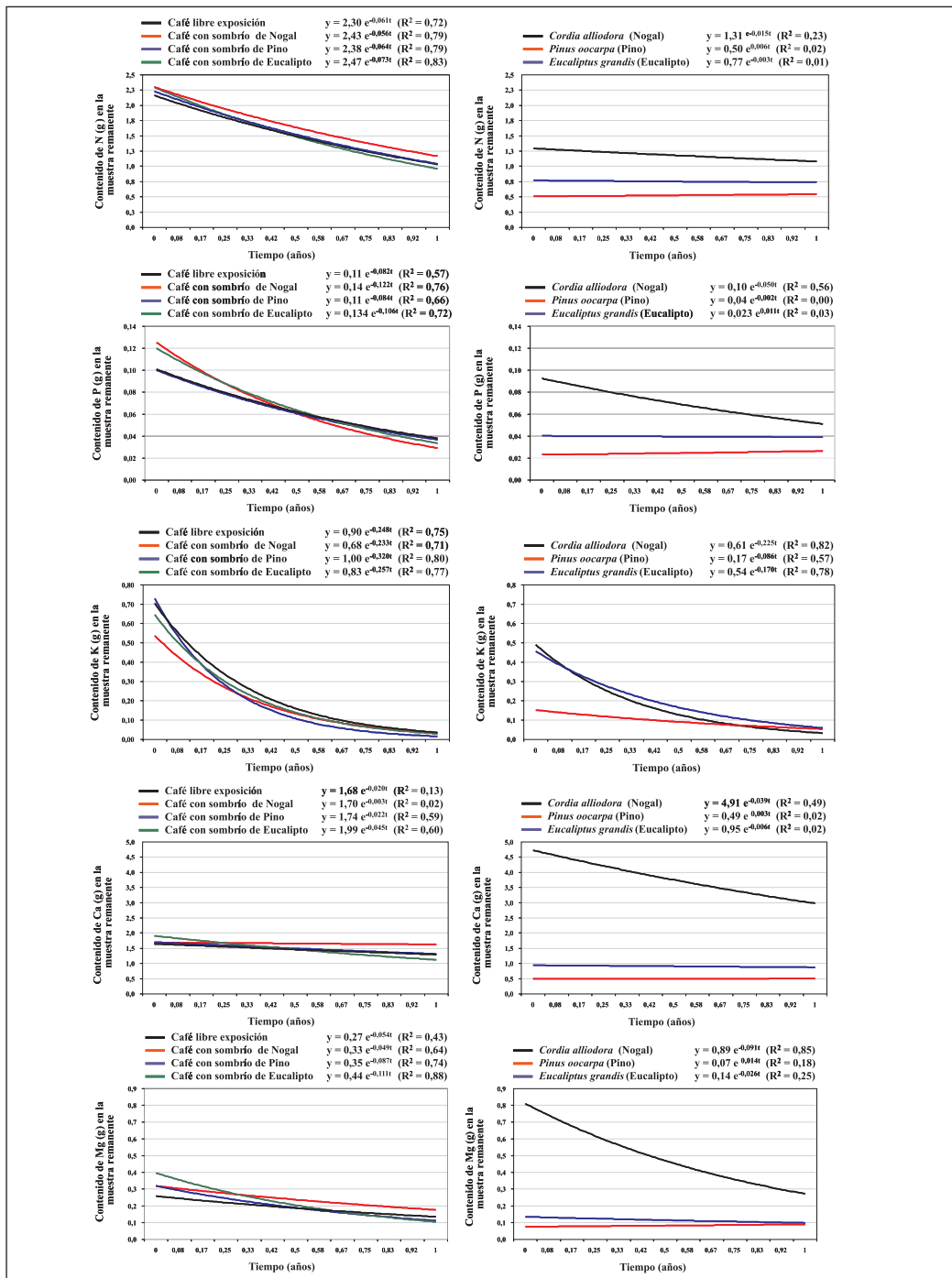


Figura 6. Dinámica en la transferencia de N, P, K, Ca y Mg ($k \cdot \text{año}^{-1}$) por el café, en cuatro sistemas de cultivo, y por las tres especies forestales, en la Subestación Experimental Paraguaicito.

Nitrógeno. La transferencia de N del café bajo sombrío de eucalipto fue mayor que la de café bajo sombrío de nogal; y la liberación de N por los residuos de café a libre exposición solar fue igual a la tasa de transferencia del café bajo las diferentes especies de sombrío. La dinámica en la transferencia de N fue igual en *C. alliodora* y *E. grandis*, mientras que en la especie *P. oocarpa* se observó inmovilización del N. Cabe destacar que la hojarasca de café transfiere N en una tasa más alta que la hojarasca de las especies forestales. Munguía (34), obtuvo tasas de liberación ($k.día^{-1}$) de N en *E. deglupta* y *C. arabica* de 0,06 y 0,034, respectivamente.

Fósforo. No hubo diferencias estadísticas en cuanto a la liberación de P por la hojarasca del café en descomposición en los cuatro sistemas de cultivo. Se observó que *C. alliodora* transfiere P en una tasa más alta que *P. oocarpa*, mientras que se presenta inmovilización de este nutriente en *E. grandis*. Las tasas de liberación de P fueron mayores en café a libre exposición solar y bajo sombrío de eucalipto, que en *C. alliodora* y *P. oocarpa*. Munguía (34) obtuvo tasas de liberación ($k.día^{-1}$) de P en *E. deglupta* y *C. arabica* de 0,12 y -0,035, respectivamente.

Potasio. No se registró inmovilización de K en café, en alguno de sus diferentes sistemas de cultivo, ni en las especies forestales. Las tasas de liberación de K fueron iguales en la hojarasca del café (bajo sombra y a libre exposición) al compararse con las de *C. alliodora*. Los valores de las tasas de liberación de K de la hojarasca producida por *P. oocarpa* y *E. grandis* fueron iguales, y a su vez éstas fueron diferentes (menores) a las de café y nogal. En otros estudios, Munguía (34) obtuvo tasas de liberación ($k.día^{-1}$) de K en *E. deglupta* y *C. arabica* de -0,49 y -0,56, respectivamente.

Calcio. Las mayores tasas de liberación de Ca se registraron en la hojarasca de *C. alliodora* y en la de café bajo sombrío de eucalipto. A pesar de no haberse registrado inmovilización de Ca en el café ni en las especies forestales, las tasas más bajas de liberación de este nutriente se encontraron en la hojarasca de café bajo sombrío de nogal, en pino y en eucalipto.

Magnesio. Los residuos de café bajo sombrío de eucalipto presentaron una tasa de liberación de Mg más alta que la hojarasca del café bajo sombrío de nogal y a libre exposición solar. Entre las especies forestales la tasa de transferencia más baja se registró en *E. grandis* al compararse con *C. alliodora*; mientras que en *P. oocarpa* hubo inmovilización de este nutrimento.

De este trabajo puede concluirse que:

La producción media de biomasa seca en café fue de 4,35t.ha⁻¹, en *C. alliodora* de 3,46t.ha⁻¹, en *P. oocarpa* de 6,67t.ha⁻¹ y en *E. grandis* de 6,39t.ha⁻¹.

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 café a libre exposición solar fue de 1,0, en café bajo sombrío fluctuó entre 0,87 y 1,08, en *C. alliodora* fue de 0,78, en *P. oocarpa* de 0,26 y en *E. grandis* de 0,72.

El sistema de cultivo de café a libre exposición solar o bajo sombra, no afecta la tasa de descomposición de sus residuos vegetales.

Los residuos vegetales de *P. oocarpa* se descomponen más lentamente ($k=0,20$) que los residuos de *C. alliodora* y *E. grandis*.

En un período de 365 días se descomponen e incorporan al suelo el 65,1% de los residuos producidos por café, el 56,7% de los producidos por *C. alliodora*, el 25,2% de los producidos por *P. oocarpa* y el 54,0% de los producidos por *E. grandis*.

La fracción de la materia orgánica sin descomponer (k_1) en un período de 365 días fluctuó entre el 34% y 42% en café bajo sus diferentes sistemas de cultivo; en *C. alliodora* fue del 46%, en *P. oocarpa* del 77% y en *E. grandis* del 49%.

La disponibilidad de agua en el suelo no tiene influencia sobre la descomposición de la masa vegetal en estos sistemas agroforestales.

En un período de 365 días de descomposición, la biomasa seca producida por el café transfiere al suelo el 64,8% del N, el 82,9% del P, el 96,7% del K, el 34,3% del Ca y el 63,1% del Mg, contenidos en los residuos vegetales. En este mismo período, la descomposición de los residuos vegetales producidos por *C. alliodora*, transfiere al suelo el 33,3% del N, el 54,4% del P, el 93,6 del K, el 54,0% del Ca y el 67,7% del Mg, contenido en estos residuos.

Al finalizar los 365 días los residuos vegetales producidos por *P. oocarpa* no transfirieron al suelo N, P, Ca y Mg; solamente liberaron el 64,5% del K presente en los residuos.

En un período de 365 días de descomposición la biomasa seca producida por *E. grandis*, transfiere al suelo el 23,6% del N, el 35,5% del P, el 89,3% del K, el 28,5% del Ca y el 39,9% del Mg, contenido en los residuos vegetales.

LITERATURA CITADA

1. ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A. Relación entre la humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del café. Avances Técnicos Cenicafé No. 311:1-8. 2003.
2. ARGÜELLO A., H. Cambios en la composición bioquímica y su aplicabilidad en el uso de follajes verdes como fuente de materia orgánica y nutrientes en sistemas agroforestales. Agronomía Colombiana 12(2):169-181. 1995.
3. AUSTIN, A.T.; VITOUSEK, P.M. Precipitation, decomposition and litter decomposability of *Metrosideros polymorpha* in native forests on Hawaii. Journal of Ecology 88(1):129-138. 2000.
4. BERG, B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. Forest Ecology and Management 133:13-22. 2000.
5. BUNVONG, T.; GRANGER, O.. El clima y la descomposición de la hojarasca en el bosque tropical. Agri-silvicultura en América Latina - FAO. Unasyva 31(126):45-56. 1979.
6. CALLAHAM, M.A.; ANDERSON, P. H.; WALDROP, T. A.; LIONE, D. J.; SHELBURNE, V.B. Litter decomposition and soil respiration responses to fuel-reduction treatments in Piedmont loblolly pine forests. In: Connor, K. (Ed.). Biennial Southern Silvicultural Research Conference, 12. Biloxi, 2004. Proceedings. Asheville, Department of Agriculture. Forest Service. Southern Research Station, 2004. p. 25-29. (Gen. Tech. Rep. SRS-71).
7. CAMIRÉ, C.; TROFYMOW, J. A.; DUSCHENE, L.; MOORE, T.R.; KOZAK, L.; TITUS, B.; KRANABETTER, M.; PRESCOTT, C.; VISSER, S.; MORRISON, I.; SILTANEN, M.; SMITH, S.; FYLES, J.; WEIN, R. Rates of litter decomposition over 6 years in canadian forests: Influence of litter quality and climate. Canadian Journal of Forest Research 32(5):789-804. 2002.
8. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Disciplina de Agroclimatología. Archivos de información climática hasta 1998. Chinchiná, Cenicafé, 1998.

9. CORBEELS, M. Plant litter and decomposition: general concepts and model approaches. CSIRO Forestry and Forest Products. Neework Shop Proceedings 18-20:124-129. 2001.
10. DE LAS SALAS, G. Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América tropical. San José, IICA, 1987. 450p.
11. DORA, M.; VILLELA, D.M.; PROCTOR, J. Leaf litter decomposition and monodominance in the *Peltogyne* Forest of Maracá Island, Brazil. *Biotropica* 34(3): 334-347. 2002.
12. FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. 2. ed. San José, IICA, 1987. 420 p. (Colección Libros y Materiales Educativos IICA No. 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. Caracterización edáfica del ecotopo 211A. Bogotá, FNC, 1998. 104 p.
15. GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; SANTOS, M. Decomposição e liberação de nutrientes do folheto de espécies florestais nativas em plantios puros e mistos no sudeste da bahia. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 27(6):1021-1031. 2003.
16. GANJEGUNTE, G. K.; CONDRON, L. M.; CLINTON, P. W.; DAVIS, M. R.; MAHIEU, N. Decomposition and nutrient release from radiata pine (*Pinus radiata*) coarse woody debris. *Forest Ecology and Management* 187(2):197-211. 2004.
17. GÓMEZ G., L.; JARAMILLO R., A. El clima de la zona cafetera colombiana y su relación con el cultivo del café. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. 50 años de Cenicafé 1938-1988. Conferencias conmemorativas. Chinchiná, Cenicafé, 1990. p. 23-32.
18. GUO, L.B.; SIMS, R.E.H. Effects of light, temperature, water and meatworks effluent irrigation on eucalypt leaf litter decomposition under controlled environmental conditions. *Applied Soil Ecology* 17(3):229-237. 2001.
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. HENIN, S.; DUPUIS, M. Essai de bilan de la matière organique des sols. *Annual Agronomy* 15(1):161-172. 1945.
21. HEUVELDOP, J.; ALPIZARO, L.A.; FASSBENDER, H.W.; ENRIQUEZ C., G.A.; FOLSTER, H. Modeling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. II. Cacao and wood production, litter production and decomposition. *Agroforestry Systems* 6:37-48. 1989.
22. JARAMILLO R., A. Climatología de región andina de Colombia; microclima y fenología del cultivo del café. Chinchiná, Cenicafé, 2000. 172 p.
23. KOCHY, M.; SCOTT D. W. Litter decomposition and nitrogen dynamics in aspen forest and mixed-grass prairie. *Ecology* 78(3):732-739. 1997.
24. KWABIAH, A. B.; VORONEY, R. P.; PALM, C.A.; STOSKOPF, N.C. Inorganic fertilizer enrichment of soil: effect on decomposition of plant litter under subhumid tropical conditions. *Biology and Fertility of Soils* 30(3):224-231. 1999.
25. LABRADORM., J. Materia orgánica en los agrosistemas. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Mundi-Prensa, 1996. 174 p.
26. LI, Z.; PENG, S.; RAE, D.J.; ZHOU, G. Litter decomposition and nitrogen mineralization of soils in subtropical plantation forests of southern China, with special attention to comparisons between legumes and non-legumes. *Plant and Soil* 229 (1):105-116. 2001.
27. LISKI, J.; NISSINEN, A.; ERHARD, M.; TASKINEN, O. Climatic effects on litter decomposition from arctic tundra to tropical rainforest. *Global Change Biology* 9(4): 575-584. 2003.
28. LÓPEZ, A.M. Sistemas agroforestales tipo multiestratos. Montevideo, Asociación Latinoamericana de Integración – ALADI. Departamento de Promoción Económica, 2001. 50 p. (Publicación No. 11/01 abril de 2001).

29. LUPWAYI, N.Z.; HAQUE I. Leucaena hedgerow intercropping and cattle manure application in the ethiopian highlands. I. Decomposition and nutrient release. *Biology and Fertility of Soils* 28(2):182-195. 1998.
30. LUSK, C. H.; DONOSO, C.; JIMÉNEZ, M.; MOYA, C.; OYARCE, G.; REINOSO, R.; SALDAÑA, A.; VILLEGAS, P.; MATUS, F. Decomposition of leaf litter of *Pinus radiata* and three native tree species. *Revista Chilena de Historia Natural* 74:705-710, 2001.
31. MCTIERNAN, K.B.; COUTEAUX, M.M.; BERG, B.; BERG, M.P.; CALVODEA, R.; GALLARDO, A.; KRATZ, W.; PIUSSI, P.; REMACLE, J.; VIRZO DE S., A. Changes in chemical composition of *Pinus sylvestris* needle litter during decomposition along a european coniferous forest climatic transect. *Soil. Biology and Biochemistry* 35(6):801-812. 2003.
32. MONTAGNINI, F. RAMSTAD, K. SANCHO, M. F. Litterfall, litter decomposition and the use of mulch of four indigenous tree species in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 23(1):39-61. 1993.
33. MORO M., A. J.; DOMINGO, F. Litter decomposition in four woody species in a Mediterranean climate: weight loss, N and P dynamics. *Annals of Botany* 86: 1065-1071. 2000.
34. MUNGUÍA., R.; BEER., J.; HARMAND., J.M.; HAGGAR., J. Tasas de descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca de *Eucalyptus deglupta*, *Coffea arabica* y hojas verdes de *Erythrina poeppigiana*, solas y en mezclas. *Agroforestería en las Américas* No. 41- 42:62-68. 2004.
35. 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.
36. OELBERMANN, M.; VORONEYR, P.; SCHLÖNVOIGT A. M.; KASSD. C. L. Decomposition of *Erythrina poeppigiana* leaves in 3, 9, and 18 year-old alleycropping systems in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 63:27-32, 2004.
37. OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44:322-331. 1963.
38. PRAUSE, J.; LIFSCHITZ, A. P. Constantes de descomposición de hojas y la relación lignina/celulosa en cuatro especies forestales de la Reserva Estricta de Colonia Benítez – Chaco. *Comunicaciones científicas y tecnológicas* 2001. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina. Online Internet. Disponible en: www.unne.edu.ar/cyt/2001/cyt.htm (Consultado enero de 2007).
39. RIBEIRO, C.; MADEIRA, M.; ARAUJO, M.C. Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes. *Forest Ecology and Management* 171(1):31-41. 2002.
40. SANTA, R. I. Litter fall, decomposition and nutrient release in three semi-arid forests of the Duero basin, Spain. *Forestry* 74(4):347-358. 2001.
41. SAÑA, J. Mineralització de la Fracció Organiconitrogenada dels Adobs Orgànics: Possibles Vies Per A La Seva. Estimació Dossiers Agraris, Problemes moderns en l'ús dels sòls: nitrats. *Institució Catalana D'Estudis Agraris – ICEA*, 1999. p. 29-40
42. SARIYILDIZ, T. J. Litter decomposition of *Picea orientalis*, *Pinus sylvestris* and *Castanea sativa* trees grown in Artvin in relation to their initial litter quality variables. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 27:237-243. 2003.
43. SCHROTH, G.; LEHMANN, J.; RODRIGUES, M. R. L.; BARROS, E.; MACÊDO, J. L. V. Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. *Agroforestry Systems* 53(2):85-102. 2001.
44. SIMMONS, T. T.; HAWKINS, C.P. Factors influencing lotic leaf litter decomposition rates: results of a large scale study in Western streams, Presented at the NABS Annual meeting, Vancouver, British Columbia, in Organic Matter Processing. North American Benthological Society. 2004. Online Internet. Disponible en: www.benthos.org/database/allnabstracts.cfm/db/Vancouver2004abstracts/id/201 (Consultado septiembre de 2005).
45. SINGH, K. P.; SINGH, P. K.; TRIPATHI, S. K. Litterfall, litter decomposition and nutrient release patterns in four native tree species raised on coal mine spoil at Singrauli, India. *Biology and Fertility of Soils* 29:371-378. 1999

46. SINHA, M. K.; SINHA, D. P.; SINHA, H. Organic matter transformations in soils (V): kinetics of carbon and nitrogen mineralization in soils amended with different organic materials. *Plant and Soils* 46:579-590. 1977.
47. STAVER, C.; GUHARAY, F.; MONTERROSO, D.; MUSCHLER, R.G. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. *Agroforestry Systems* 53(2):151-170. 2001.
48. STIGTER, C. J.; MOHAMMED, A. E.; NASR AL-AMIN, N. K.; ONYEWOTU, L. O. Z.; OTENG'I, S. B. B.; KAINKWA, R. M. R. Agroforestry solutions to some African wind problems. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 90(10):1101-1114. 2002.
49. THAIUTSA, B.; GRANGER, O. El clima y la descomposición de la hojarasca en el bosque tropical. *Unasyuva* 31(126):121-129. 1979
50. URREGO, B.; FARFÁN V., F. Aportes de hojarasca en cafetales con sombrío de especies forestales. Cali, Smurfit Cartón de Colombia, 2002. (Informe de Investigación No. 188).
51. VITAL, A.R.T. ; GUERRINI, I.A.; FRANKEN, W.K.; FONSECA, R.C.B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. *Revista Árvore* 28(6):793-800, 2004.
52. WHITE, D. L.; HAINES, B. L.; BORING, L. R. Litter decomposition in southern Appalachian black locust and pine-hardwood stands: litter quality and nitrogen dynamics. *Canadian Journal Forest Research* 18(11):54-63. 1988.
53. WIEDER, R.K.; LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology* 6(36):1636-1642. 1982.
54. XU, X.; HIRATA, E.; ENOKI, T.; TOKASHIKI, Y. Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical forest after typhoon disturbance. *Vegetatio* 173(2):161-170. 2004.
55. ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região Norte fluminense. Seção IV – Fertilidade e nutrição do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28:843-852. 2004.