

Avances de Investigación

Tasas de descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca de *Eucalyptus deglupta*, *Coffea arabica* y hojas verdes de *Erythrina poeppigiana*, solas y en mezclas¹

Rodolfo Munguía²; John Beer³; Jean-Michel Harmand⁴; Jeremy Hagggar³

Palabras claves: árboles de sombra; calidad de hojarasca; lixiviación; lignina; polifenoles.

RESUMEN

Se estudió la descomposición y liberación de nutrientes de hojarasca de *Eucalyptus deglupta* y *Coffea arabica* y de hojas verdes de *Erythrina poeppigiana*, solas o en mezclas, en dos fincas cafetaleras de la Zona Sur de Costa Rica. La hojarasca de *E. deglupta* tuvo la descomposición más lenta ($k = -0,08$ y $-0,16$), mientras que la de *E. poeppigiana* fue la más rápida ($k = -0,58$; evaluada solamente en una finca). La presencia de hojas verdes de *E. poeppigiana* aumentó las tasas de descomposición y liberación del P en la hojarasca de *C. arabica* y de K en la de *E. deglupta*. Los contenidos de N, P, K y la homocelulosa estuvieron relacionados positivamente con las tasas de descomposición, mientras que los polifenoles y la relación lignina:N tuvieron una correlación negativa.

Decomposition and nutrient release rates of *Eucalyptus deglupta* and *Coffea arabica* litter and *Erythrina poeppigiana* green leaves, alone or mixed

Key words: leaf litter quality; lignin; lixiviation; polyphenols; shade trees.

ABSTRACT

The decomposition and nutrient release from *Eucalyptus deglupta* and *Coffea arabica* leaf litter and *Erythrina poeppigiana* green leaves, alone or mixed, was studied on two coffee farms in Southern Costa Rica. *E. deglupta* litter had the slowest decomposition rates ($k = -0.08$ and -0.16), while the decomposition of *E. poeppigiana* litter was fastest ($k = -0.58$; evaluated only in one farm). The presence of green *E. poeppigiana* leaves increased the rates of decomposition and release of P from *C. arabica* litter and of K from *E. deglupta* litter. The concentrations of N, P, K and homocellulose were positively correlated to decomposition rates, whereas polyphenol and the lignin:N ratio were negatively correlated.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas agroforestales, los árboles contribuyen al incremento de la materia orgánica del suelo a través de la adición de hojarasca, residuos de podas y raíces muertas y, por lo tanto, mantienen o aumentan su fertilidad (Palm y Sánchez 1990, Mafongoya *et al.* 1998, Basavaraju y Gururaja 2000). La descomposición de la hojarasca libera N, P, K, Ca, Mg y otros nutrientes a diferentes tasas, dependiendo de la calidad de la hojarasca; es decir, la concentración de N, la relación C:N, y el contenido de celulosa, homocelulosa, polifenoles y lignina (Palm y Rowland 1997, Montagnini *et al.* 1999,

Moorhead *et al.* 1999, Berg 2000). Cuando se reemplazan los árboles de sombra tradicionales del café (*Coffea* spp.) —generalmente leguminosas como *Erythrina* spp. e *Inga* spp.— con árboles maderables de rápido crecimiento, como *Eucalyptus deglupta*, la disponibilidad de nutrientes podría cambiar debido a una descomposición más lenta de la hojarasca de baja calidad. El presente estudio tuvo como propósito determinar las tasas de descomposición y liberación de N, P y K en hojarasca sola o en mezclas de materiales de rápida y lenta descomposición en dos fincas comerciales de café en Costa Rica.

¹ Basado en Munguía H, R de J. 2002. Tasas de descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca de *Eucalyptus deglupta*, *Coffea arabica* y de hojas verdes de *Erythrina poeppigiana* solas y en mezclas. Tesis Mag. Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica.

² M.Sc. en Agroforestería Tropical, CATIE, Sede Central, 2002. Correo electrónico: rodolmung@hotmail.com (autor para correspondencia).

³ Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE, Sede Central. Correos electrónicos: jbeer@catie.ac.cr; jhagggar@catie.ac.cr

⁴ CIRAD/Foret-CATIE, Turrialba, Costa Rica. Correo electrónico: jean_michel.harmand@cirad.fr

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron dos plantaciones de cuatro años de edad de *Coffea arabica* cv. Costa Rica 95, a 2 x 1 m (5000 plantas ha⁻¹), con sombra de *E. deglupta* a 6 x 6 m (278 árboles ha⁻¹), en las fincas Verde Vigor (9°15'N y 83°29'O) y Santa Fe (9°18'N y 83°36'O), ubicadas entre 600 y 700 msnm, en la Zona Sur de Costa Rica (cantón de Pérez Zeledón). Ambos sitios presentan un clima tropical lluvioso, con una estación seca de enero a marzo y precipitaciones de 3614 y 3507 mm, respectivamente (promedio de 1998 a 2002). Las temperaturas varían entre 17,6 y 31,4 °C, con 85% de humedad relativa. Los suelos son Ustic Palehumult (Kanten *et al.* 2004), con pendientes de entre 9 y 33%. La poda de los cafetales y los árboles de sombra, la fertilización, el manejo de las malezas y los controles fitosanitarios fueron intensivos (Kanten *at al.* 2004), siguiendo las normas comerciales de las fincas.

El trabajo se llevó a cabo en los lotes asignados por la gerencia de las fincas al grupo de investigadores de CATIE (ver Kanten *et al.* 2004 y Ávila *et al.* 2004 para mayores detalles). Dentro de estos lotes se buscó árboles con copas homogéneas y semejantes entre sí para ubicar los bloques. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con la selección de cuatro árboles (bloques) de *E. deglupta* en cada finca. Se establecieron cinco tratamientos en Verde Vigor y tres en Santa Fe (Cuadro 1) bajo cada árbol. Los tratamientos consistieron de hojarasca recién caída (natural) de *E. deglupta* y/o *C. arabica* y/o hojas verdes de residuos de poda de *Erythrina poeppigiana* (solos o en mezclas) cosechadas en una finca colindante, Santa Ana.

Cuadro 1. Tratamientos de descomposición de hojarasca evaluados en las fincas Verde Vigor y Santa Fe, Cantón de Pérez Zeledón, Costa Rica

Composición de la hojarasca	Proporciones de componentes (%)	
	Verde Vigor	Santa Fe
	Solo <i>Eucalyptus deglupta</i>	100
Solo <i>Erythrina poeppigiana</i>	100	—
Solo <i>Coffea arabica</i>	—	100
<i>E. deglupta</i> + <i>E. poeppigiana</i>	50 : 50	—
<i>C. arabica</i> + <i>E. deglupta</i>	50 : 50	50 : 50
<i>C. arabica</i> + <i>E. deglupta</i> + <i>E. poeppigiana</i>	33 : 33 : 33	—

Se usaron bolsas de nylon de 30 x 30 cm (30 g de materia seca por bolsa), con rejillas de 1 mm (lado inferior) y 4 mm (lado superior), colocadas sobre el piso del suelo

bajo la copa de las plantas de café. Se recolectó una bolsa por tratamiento y árbol (bloque) a los 0, 6, 12, 24, 48, 72, 96, 150 y 213 días de exposición. El contenido de las bolsas fue limpiado de materiales extraños, separado por especie y secado al horno a 65 °C hasta peso constante. El material de las cuatro bolsas de un mismo tratamiento y finca se juntó, obteniendo una muestra homogénea por especie, la cual fue molida y tamizada en una malla de 1 mm. La concentración de K fue determinada por medio de espectrofotometría de absorción atómica, el P por colorimetría y el N total por el método de Microkjeldahl.

Los datos mostraron un comportamiento exponencial negativo, y se ajustó el modelo exponencial simple (con transformación logarítmica) indicado por Olson (1963); es decir, $W_f = W_i e^{-kt}$, donde W_f es el peso seco remanente o cantidad remanente de N, P y K; W_i es el peso seco inicial o cantidad inicial de cada elemento mineral; k es la constante de descomposición o liberación de nutrientes; t el tiempo de descomposición de la hojarasca en días; y e es el logaritmo natural. Los valores por tratamiento (k para peso o cantidad remanente de N, P y K) se evaluaron con ANOVA (Wieder y Lang 1982). Se calculó también la correlación entre las tasas de descomposición y la composición inicial de la hojarasca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Suelos

Los suelos de la finca Santa Fe son mejores que los de la finca Verde Vigor (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características químicas de los suelos de las fincas Verde Vigor y Santa Fé, cantón de Pérez Zeledón, Costa Rica

Finca	pH (H ₂ O)	Elementos minerales (cmol kg ⁻¹)				Materia orgánica (%)
		P	K	Ca	Mg	
Verde Vigor	5,1	7,7	0,16	3,6	0,13	7,2
Santa Fe	6,2	9,1 ⁽²⁾	0,40	11,5	1,99	10,4

⁽²⁾ mg litro⁻¹

Composición inicial de la hojarasca

Las concentraciones de K, P y N en la hojarasca siguen el orden *E. poeppigiana* > *C. arabica* > *E. deglupta* (Cuadro 3). El contenido de lignina (%) es mayor en la hojarasca de *C. arabica* y menor en las hojas de *E. poeppigiana*; el contenido de polifenoles es alto para *E. deglupta* y mayor a los determinados

por Domínguez (1994) en *Eucalyptus globulus*, pero similar a *Eucalyptus camaldulensis*, lo que sugiere que *E. deglupta* va a presentar una lenta descomposición y liberación de nutrientes. Los estudios realizados en especies de *Eucalyptus* por George (1982), O'Connell (1986), Bahuguna *et al.* (1990) y Domínguez (1994) indican valores de K de entre 0,25 y 0,89%, y de N entre 0,33 y 1,74%. Por lo tanto, se puede considerar que los valores de K para *E. deglupta* son altos, mientras los de N son típicos para *Eucalyptus* spp. El alto contenido de N en las hojas de *E. poeppigiana* se debe al estadio joven de las hojas obtenidas de los residuos de una poda. Palm y Sánchez (1990) reportaron un 3,5% de N en hojas de *Erythrina* spp. y concentraciones de P y K similares a las del presente estudio. La concentración de N en la hojarasca de *C. arabica* se encuentra en el rango obtenido por Aranguren *et al.* (1982), de 0,42 a 1,97%.

Descomposición de hojarasca

En la finca Verde Vigor, la descomposición de la hojarasca de *E. deglupta* sola mostró la tasa diaria más baja con respecto a los demás tratamientos (Fig. 1A), descomponiéndose un 23% a los 213 días. En tanto, *E. poeppigiana* sola obtuvo la tasa más alta, con un 86% de descomposición del material en el mismo período. Las mezclas en las cuales estuvo presente *E. poeppigiana* se ubican en un orden intermedio, descomponiéndose hasta un 59%. En la finca Santa Fe (Fig. 1B), la tasa de descomposición de *C. arabica* (60% del material a los 213 días) fue mayor que en *E. deglupta* o en la mezcla de ambas, con 39 y 47%, respectivamente.

La descomposición de *C. arabica* en mezcla con *E. deglupta* en Verde Vigor fue más rápida cuando se incluyó *E. poeppigiana* ($p > t = 0,028$; Fig. 2A). La presencia de *E. poeppigiana* con la hojarasca de *E. deglupta* aceleró ($p > F = 0,029$) la tasa de descomposición de esta última (Fig. 2B). La descomposición de las hojas verdes de *E. poeppigiana* no fue afectada por la presencia de las demás especies (Fig. 2C). La separación por especie en la finca Santa Fe no fue posible después de los 96 días; en esta finca no se detectó un efecto de *C. arabica* sobre *E. deglupta*, y viceversa.

Las lentas tasas de descomposición de *E. deglupta* se deben probablemente al alto contenido de polifenoles y menores contenidos de N y homocelulosa (Cuadro 3). En la finca Santa Fe, la velocidad de descomposición fue del doble, posiblemente debido a las mejores condiciones del suelo (Cuadro 2) y/o a la mayor cantidad de sombra proyectada por los árboles y, consecuentemente, a la mayor humedad en la capa de hojarasca, las cuales favorecieron este proceso (Pande 1999). La presencia de un material de alta calidad —como *E. poeppigiana* con un 5,74% de N, alto contenido de homocelulosa pero bajo en polifenoles (Cuadro 3)—, que incrementan la actividad de los microorganismos descomponedores (Palm y Sánchez 1990), favorece la descomposición de las demás especies en mezclas. La descomposición de *C. arabica* fue mayor que la de *E. deglupta*, debido a una mayor concentración de N y/o menor contenido de polifenoles en el primero. Sin embargo, la presencia de *C. arabica* no afectó la descomposición de *E. deglupta*.

Cuadro 3. Calidad de la hojarasca de *Eucalyptus deglupta*, *Coffea arabica* y hojas verdes de *Erythrina poeppigiana*, cantón de Pérez Zeledón, Costa Rica

Fincas y especie ⁽²⁾	K	P	N	Homocelulosa (%)	Lignina	Polifenoles (mg g ⁻¹)
Verde Vigor						
<i>E. deglupta</i>	0,96	0,06	0,89	25	37	93
<i>C. arabica</i>	2,28	0,06	1,91	31	45	38
<i>E. poeppigiana</i>	2,30	0,40	5,74	45	34	20
Santa Fe						
<i>E. deglupta</i>	0,61	0,06	0,90	26	39	67
<i>C. arabica</i>	1,67	0,15	1,55	33	43	28

⁽²⁾ Fuentes del material estudiado.

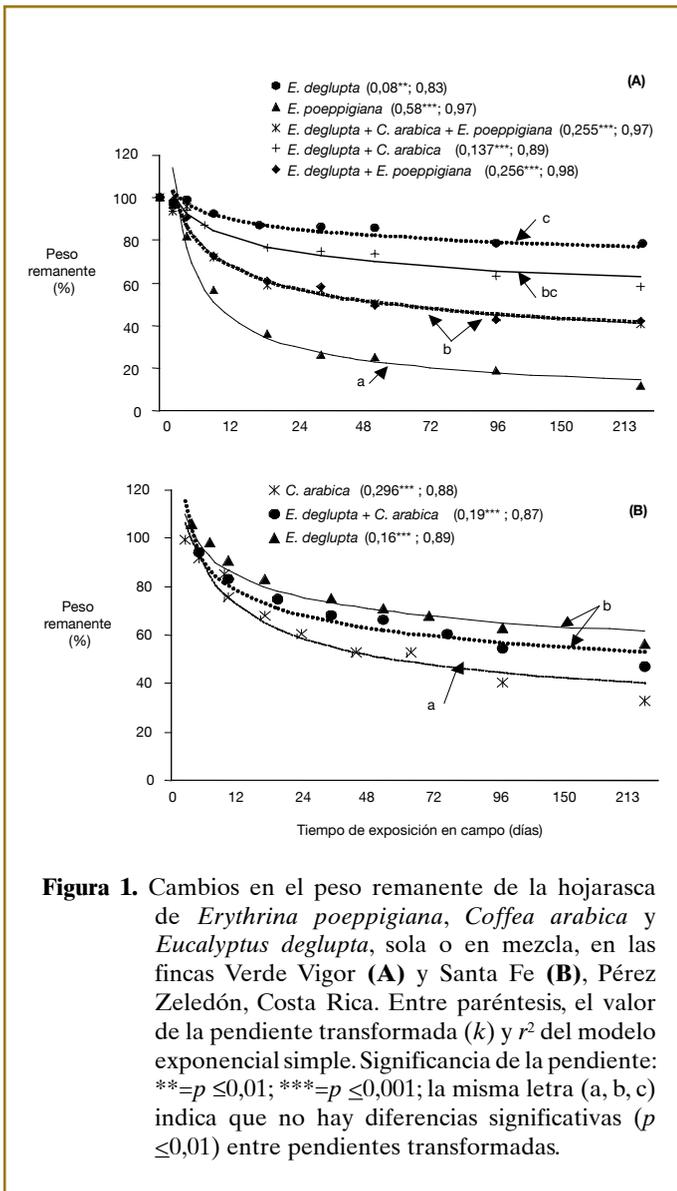


Figura 1. Cambios en el peso remanente de la hojarasca de *Erythrina poeppigiana*, *Coffea arabica* y *Eucalyptus deglupta*, sola o en mezcla, en las fincas Verde Vigor (A) y Santa Fe (B), Pérez Zeledón, Costa Rica. Entre paréntesis, el valor de la pendiente transformada (k) y r^2 del modelo exponencial simple. Significancia de la pendiente: **= $p \leq 0,01$; ***= $p \leq 0,001$; la misma letra (a, b, c) indica que no hay diferencias significativas ($p \leq 0,01$) entre pendientes transformadas.

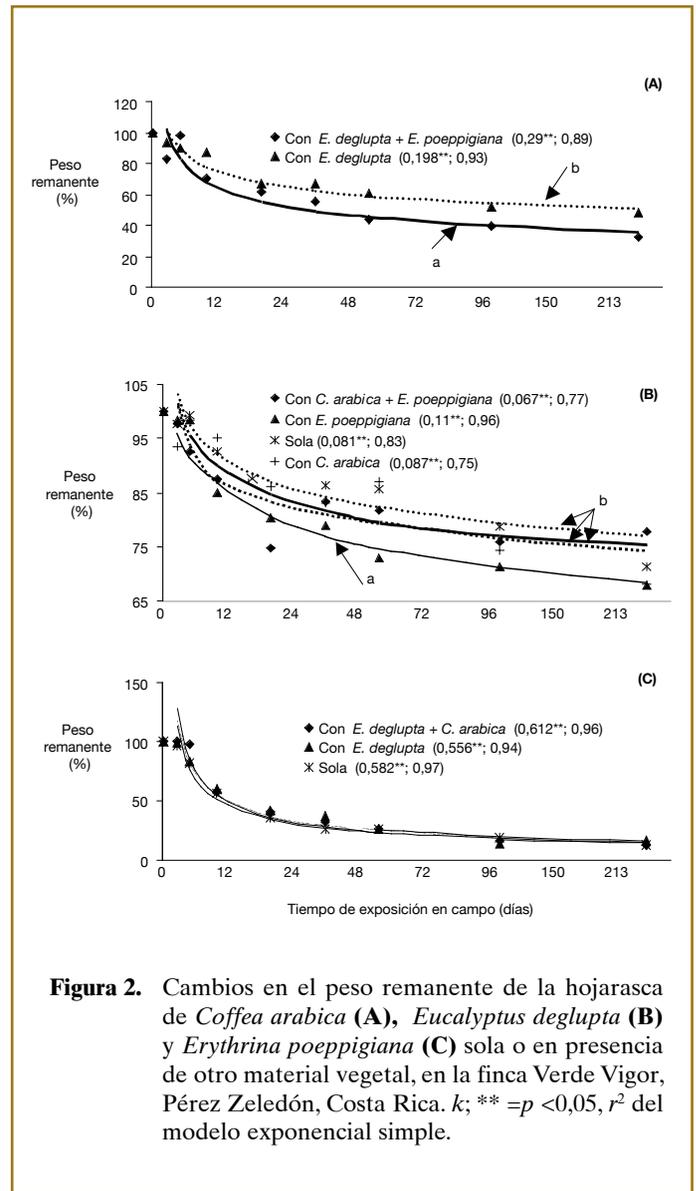


Figura 2. Cambios en el peso remanente de la hojarasca de *Coffea arabica* (A), *Eucalyptus deglupta* (B) y *Erythrina poeppigiana* (C) sola o en presencia de otro material vegetal, en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica. k ; **= $p < 0,05$, r^2 del modelo exponencial simple.

Liberación de nutrientes

En la finca Verde Vigor, el K mostró la tasa de liberación más alta y la liberación de nutrientes de *E. poeppigiana* fue la más rápida. Comparando los tratamientos, la liberación del P y N muestran la misma tendencia que el K; sin embargo, *E. deglupta* presenta inmovilización con respecto al N y P, incrementando su contenido en el remanente (Cuadro 4). La presencia de otro material no mostró efectos significativos en la liberación de K y N en *C. arabica*; mientras que la presencia de *E. poeppigiana* aumentó la tasas de liberación de P de *C. arabica*. En presencia de *E. poeppigiana*, la liberación de K de la hojarasca de *E. deglupta* también aumentó, pero no hubo liberación de P y N de *E. deglupta*. La liberación

de nutrientes de *E. poeppigiana* no fue afectada por la presencia de otros componentes (Cuadro 4). La alta liberación de N, P y K ocurridas en *E. poeppigiana* se debió a su elevada calidad nutricional (Palm y Sánchez 1990); asimismo, esta influyó en la liberación del K de *E. deglupta*.

En la finca Santa Fe, *C. arabica* liberó más rápidamente P, K y N, mientras que *E. deglupta* solo no liberó P y N durante el período del estudio (Cuadro 5). La separación por especie hasta los 96 días mostró liberación de K en *E. deglupta* y *C. arabica*, los cuales fueron influenciados por la presencia de otro material; sin embargo, se dio una inmovilización de P y N en *E. deglupta*. Dicha

Cuadro 4. Tasas de liberación de nutrientes (*k*) a los 213 días de exposición de la hojarasca de *Eucalyptus deglupta*, *Erythrina poeppigiana* o *Coffea arabica* en el suelo de la finca Verde Vigor, Cantón de Pérez Zeledón, Costa Rica

Tratamientos de hojarasca	Tasa de liberación de nutrientes (<i>k</i>)		
	P	K	N
<u>Hojarasca sola o en mezcla</u>		$p > F = < 0,0001$	
<i>E. deglupta</i>	0,12 ns d	- 0,49** d	0,006 ns c
<i>E. poeppigiana</i>	- 0,94** a	- 1,55** a	- 0,68** a
<i>E. deglupta</i> + <i>C. arabica</i> + <i>E. poeppigiana</i>	- 0,58** b	- 1,02** b	- 0,29** b
<i>E. deglupta</i> + <i>C. arabica</i>	- 0,09 ns c	- 0,84** c	- 0,046** c
<i>E. deglupta</i> + <i>E. poeppigiana</i>	- 0,62** b	- 1,08** b	- 0,38** b
<u><i>C. arabica</i> en presencia de:</u>	$p > t = 0,002$	$p > t = 0,12$	$p > t = 0,056$
<i>E. deglupta</i> + <i>E. poeppigiana</i>	- 0,31** a	- 1,16** a	- 0,17** a
<i>E. deglupta</i>	- 0,14* b	- 1,10** a	- 0,094** a
<u><i>E. deglupta</i> en presencia de:</u>		$p > F = < 0,0001$	
<i>C. arabica</i> + <i>E. poeppigiana</i>	0,031 ns b	- 0,52** c	0,13** d
<i>E. poeppigiana</i>	0,15 ns d	- 0,73** a	0,034 ns b
Solo	0,12 ns c	- 0,49** d	0,006 ns a
<i>C. arabica</i>	- 0,035 ns a	- 0,56** c	0,034 ns c
<u><i>E. poeppigiana</i> en presencia de:</u>	$p > F = 0,082$	$p > F = 0,45$	$p > F = 0,39$
<i>E. deglupta</i> + <i>C. arabica</i>	- 1,06** a	- 1,60** a	- 0,74** a
<i>E. deglupta</i>	- 0,98** a	- 1,60** a	- 0,70** a
Solo	- 0,94** a	- 1,55** a	- 0,68** a

ns=no significativo; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$ con referencia a la significancia de la pendiente transformada de cada modelo (*k*); valores positivos implican incrementos y/o inmovilización; valores de *k* seguidos por la misma letra en la misma sección de una columna no tienen diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

inmovilización puede deberse a la reincorporación e inclusive importación de elementos minerales a través de las hifas de los hongos desde la interfase inferior de la hojarasca-suelo, a la demanda de nutrientes de los descomponedores para su alimentación (O'Connell 1986) y/o a la adición a través de precipitaciones durante la descomposición (O'Connell 1986, Bahuguna *et al.* 1990, Briones e Inenson 1996).

Relación entre las tasas de descomposición y los componentes químicos de la hojarasca

Las tasas de descomposición de la hojarasca tuvieron una correlación positiva con el contenido de homocelulosa y las concentraciones de P, N y K, y negativa con el contenido de polifenoles y la relación lignina:N (Cuadro 6). Mafongoya *et al.* (1998) sugieren que la relación polifenoles+lignina:N (correlación negativa

con la descomposición también en el presente estudio) fue el índice más robusto para predecir las pérdidas de masa y para los modelos de liberación del N en sistemas agroforestales. Sin embargo, Wedderburn y Carter (1999) determinaron que el contenido de lignina era el mejor índice de liberación de los nutrientes, mientras que Taylor *et al.* (1989) indican que los mejores índices son la relación C:N, seguidos del contenido de N y la relación lignina:N. Por último, Palm y Sánchez (1990) sugieren que el contenido de polifenoles fue el factor que estuvo más relacionado con la descomposición de los materiales vegetales. Aunque las mismas variables fueron identificadas en todos estos estudios como indicadores de la capacidad de descomposición, al parecer no existe un indicador estándar, confiable para todos los sitios y materiales.

Cuadro 5. Tasas de liberación de nutrientes (*k*) hasta los 213 días de exposición de la hojarasca de *Eucalyptus deglupta* o *Coffea arabica* en el suelo de la finca Santa Fe, cantón de Pérez Zeledón

Tratamientos	Tasa de liberación de nutrientes (<i>k</i>)		
	P	K	N
Hojarasca sola o en mezcla	$p > F = < 0,0001$	$p > F = < 0,0001$	$p > F = 0,0001$
<i>E. deglupta</i>	0,005 ns c	- 0,49 ** c	0,008 ns b
<i>E. deglupta</i> + <i>C. arabica</i>	- 0,11 * b	- 0,76 ** b	- 0,008 ns b
<i>C. arabica</i>	- 0,25 * a	- 1,13 ** a	- 0,10 * a

ns = no significativo, * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$ con referencia a la significancia de la pendiente transformada de cada modelo (*k*); valores de *k* seguidos por la misma letra en una columna no presentan diferencia significativa ($p \leq 0,05$); valores positivos implican incrementos y/o inmovilización.

Cuadro 6. Correlación entre las tasas de descomposición (*k*) y la composición inicial de la hojarasca estudiados en las fincas Verde Vigor y Santa Fe ($n = 8$), cantón de Pérez Zeledón, Costa Rica

Componente	Correlación lineal (<i>r</i>)
Homocelulosa (celulosa + hemicelulosa)	0,97 **
Fósforo	0,96 **
Nitrógeno	0,91 **
Potasio	0,78 *
Calcio	0,70 ns
Magnesio	0,38 ns
Lignina	-0,51 ns
Relación polifenoles:N	-0,77 *
Relación lignina+polifenoles:N	-0,79 *
Relación lignina:N	-0,81 *
Polifenoles (taninos + fenoles)	-0,91 **

ns = no significativo; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$

CONCLUSIONES

La concentración de polifenoles parece limitar las tasas de descomposición de la hojarasca, mientras que altas concentraciones de celulosa hemicelulosa y de N, P y K están correlacionadas positivamente con altas tasas de descomposición. Ejemplo de esto es que la hojarasca de *E. poeppigiana* se descompuso y liberó nutrientes a tasas mucho mayores que las de *E. deglupta* y *C. arabica*. Sin embargo, el K se liberó muy rápido en todos los tratamientos, incluyendo los que contuvieron hojarasca de *E. deglupta*. Con la adición de hojas de *E. poeppigiana*, se aceleró la descomposición de hojarasca de *C. arabica* y *E. deglupta* y la liberación de K de la hojarasca de *E. deglupta*. Así, este trabajo mostró que la presencia de *E. poeppigiana* en cafetales mejora la descomposición de hojarasca de café y de *E. deglupta*.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el proyecto CASCA (Sistemas Agroforestales de Café en América Central), INCO-DEV: ICA-CT-2001-10071, que cuenta con financiamiento de la Unión Europea, a través del programa INCO.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aranguren, J; Escalante, G; Herrera, R. 1982. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. *Plant and Soil* 67: 247-258.
- Ávila, H; Harmand, JM; Dambrine, E; Jiménez, F; Beer, J; Oliver, R. 2004. Dinámica del nitrógeno en el sistema agroforestal *Coffea arabica* con *Eucalyptus deglupta* en la Zona Sur de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 41/42: 83-91.
- Bahuguna, VK; Negi, JD; Joshi, SR; Naithani, KC. 1990. Leaf litter decomposition and nutrient release in *Shorea robusta* and *Eucalyptus camaldulensis* plantation. *Indian Forester* 116(1): 103-114.
- Basavaraju, TB; Gururaja R, MR. 2000. Tree-crop interactions in agroforestry systems; a brief review. *Indian Forester* 126(11): 1155-1164.
- Berg, B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management* 133: 13-22.
- Briones, MJI; Ineson, P. 1996. Decomposition of *Eucalyptus* leaves in litter mixtures. *Soil Biology Biochemistry* 28(10/11): 1381-1388.
- Domínguez, MT. 1994. Influence of polyphenols in the litter decomposition of autochthonous (*Quercus ilex* L., *Quercus suber* L., *Pinus pinea* L., *Cistus ladanifer* L. and *Halimium halimifolium* W.K.) and introduced species (*Eucalyptus globulus* L. and *Eucalyptus camaldulensis* D.) in the southwest of Spain. *Acta Horticulturae* 381: 425-428.
- George, M. 1982. Litter production and nutrient return in *Eucalyptus hybrid* plantation. *Indian Forester* 108(4): 253-259.
- Kanten Van, R; Beer, J; Schroth, G; Vaast, P. 2004. Interacciones competitivas entre *Coffea arabica* y árboles maderables de rápido crecimiento en Pérez Zeledón, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 41/42: 5-15.

- Mafongoya, PL; Giller, KE; Palm, CA. 1998. Decomposition and nitrogen release patterns of tree prunings and litter. *Agroforestry Systems* 38: 77-97.
- Montagnini, F; Jordan, CF; Matta, R. 1999. Reciclaje y eficiencia en el uso de nutrientes en sistemas agroforestales. *In* Montagnini, F. ed. *Management and Conservation of Forests and Biodiversity*. Collection of articles. Turrialba, CR, The International Foundation for Science – CATIE. 34 p.
- Moorhead, DL; Currie, WS; Rastetter, EB; Parton, WJ; Harmon, ME. 1999. Climate and litter quality controls on decomposition: an analysis of modeling approaches. *Global Biogeochemical Cycles* 13: 575-589.
- O'Connell, AM. 1986. Effect of legume understory on decomposition and nutrient content of eucalypt forest litter. *Plant and Soil* 92: 235-248.
- Olson, J. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44(2): 322-331.
- Palm, CA; Sánchez, PA. 1990. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three legumes. *Biotropica* 22(4): 330-338.
- _____; Rowland, AP. 1997. A minimum dataset for characterization of plant quality for decomposition. *In* Dadish, G; Giller, KE. eds. *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. Wallingford, UK, CAB International. p. 379-392.
- Pande, PK. 1999. Litter decomposition in tropical plantations: impact of climate and substrate quality. *The Indian Forester* 125(6): 599-608.
- Taylor, BR; Parkinson, D; Parsons, WFJ. 1989. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. *Ecology* 70(1): 97-104.
- Wedderburn, ME; Carter, J. 1999. Litter decomposition by four functional tree types for use in silvopastoral systems. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 455-461.
- Wieder, RK; Lang, GE. 1982. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology* 63(6): 1636-1642.