

Aporte de hojarasca y su biodegradación en tres sistemas agroforestales de café en Chiapas, México

Pérez-Luna Y. C., Álvarez-Solís J. D., Salvatierra-Izaba B. y Limón-Aguirre F.

El Colegio de la Frontera Sur. Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, Barrio de María Auxiliadora, CP 29290, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.

Tel. 01-967-67-49000 ext. 9410 (e-mail: dalvarez@sclc.ecosur.mx)

RESUMEN

La hojarasca que proporcionan los árboles de sombra en los sistemas agroforestales de café es una fuente importante para mantener los niveles de materia orgánica y nutrientes del suelo. En este trabajo se midió el aporte de hojarasca de árboles de sombra y cafetos, y se evaluó la velocidad de biodegradación *in situ* de esa hojarasca. El trabajo se condujo en Tzisco, Chiapas, en tres sistemas agroforestales con diferente composición de especies arbóreas utilizadas como sombra. El aporte total de hojarasca durante seis meses fue: 3505.8, 1949.9 y 3754.4 kg ha⁻¹ de peso seco bajo sombra especializada de chalum (*Inga oerstediana*), mixta con chalum y guineo (*Musa sapientum*), y diversificada con chalum, corcho (*Heliocarpus appendiculatus*), guarumbo (*Cecropia peltata*) y capulín (*Trema micranthra*) respectivamente, en donde chalum tuvo la contribución relativa más alta: 81.5, 62.5 y 43.7 % también respectivamente. En los tres sistemas se observó un patrón estacional en el aporte de hojarasca, con valores más altos en el periodo seco (febrero-mayo) que en el de lluvias (mayo-agosto). Las hojas de chalum y guarumbo presentaron menor pérdida de masa, con tasas constantes de biodegradación (k) de 0,002 mg g⁻¹ d⁻¹, una posición intermedia ocuparon café, corcho y capulín con k de 0,005, 0.006 y 0.007 mg g⁻¹ d⁻¹, respectivamente, y guineo fue la especie más susceptible con k de 0.009 mg g⁻¹ d⁻¹. Estos resultados indican que la sombra especializada de chalum produjo similar cantidad de hojarasca que la diversificada, pero la hojarasca de chalum tuvo la menor tasa de biodegradación. Ello sugiere que el sistema agroforestal diversificado favorece el reciclaje nutrimental.

INTRODUCCIÓN

El café es uno de los cultivos que en México tiene gran importancia económica debido a la generación de divisas vía exportación a Estados Unidos, Europa y Japón; su importancia social se debe a la cantidad de personas (3 millones aproximadamente) entre productores y jornaleros así como sus familias, que depende de este cultivo; mientras que su importancia ambiental es reconocida por la cubierta vegetal permanente que mantiene sobre el suelo, reduciendo problemas de erosión, debido a que generalmente es un sistema de plantación bajo sombra (Yépez, 1997; Pérez-Grovas, 1998). Actualmente, México es el quinto productor de este aromático en el mundo con una producción de 2 019 449 Ton de café cereza (Consejo Mexicano del café, 2000).

En México el café se cultiva mayoritariamente bajo sombra, existiendo la tradición de intercalarlo con árboles frutales. La presencia de árboles en los cafetales favorece la conservación de biodiversidad (Perfecto *et al.* 1996), la fijación biológica de nitrógeno (Bornemisza, 1982), el mantenimiento del reciclaje nutrimental a través de la caída estacional de hojarasca sobre la superficie (Jiménez y Martínez, 1979; Jiménez, 1981; Yépez, 1997), regula el pH del suelo, interviene en el balance hídrico del mismo, ejerce un control sobre las malezas (Porta *et al.* 1999) y reduce los cambios extremos en el microclima del sistema agroforestal (Barradas y Fanjul, 1984).

Los árboles de chalum (*Inga* spp.) son, por lo general, sembrados como sombra para el cultivo de café, reemplazando especies nativas que, inclusive, eran usadas con esta finalidad. Sin embargo, se conoce que el género *Inga* presenta contenidos altos de compuestos polifenólicos y ligninas con respecto a otras leguminosas (Gutiérrez y Soto, 1976), que los polifenoles forman compuestos con el nitrógeno e influyen disminuyendo la velocidad de descomposición de las hojas, por lo que los materiales orgánicos de las plantas con altas concentraciones de ligninas se descomponen más lentamente (Palm y Sánchez, 1990).

La descomposición de la hojarasca, proveniente tanto de árboles de sombra como de cafetos, es fuente importante de nitrógeno para las raíces de las plantas de café que ocupan principalmente los primeros 30 cm del suelo (Babbar y Zak, 1994). Además, el nitrógeno de la hojarasca es tomado por las raíces profundas de los árboles de sombra,

que de otra manera podrían ser inaccesibles para los cultivos de raíces poco profundas (Aranguren *et al.* 1982).

El aporte de hojarasca por los árboles de sombra en los cafetales constituye una importante entrada de materia orgánica al suelo agroforestal trayendo consigo una serie de beneficios, tales como la cobertura del suelo que disminuye pérdidas de nutrientes por lixiviación y erosión, y el reciclaje de nutrientes para mantener la producción de café. En este trabajo se midió el aporte de hojarasca de árboles de sombra y cafetos, y se evaluó la velocidad de biodegradación *in situ* de esa hojarasca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el ejido Tziscaco, municipio de La Trinitaria, Edo. de Chiapas, ubicado geográficamente a 91° 33' 1'' O y 16° 07' 23'' N en el área de transición entre la Altiplanicie de Chiapas (subregión Meseta Comiteca) y las Montañas del Oriente (Limón, 1995). Este ejido tiene una superficie de 6641 ha con un rango altitudinal desde 1740 a 900 m que definen una zona templada y otra semicálida, con relictos de bosque mesófilo de montaña en la primera y de selva subtropical en la segunda (Lara, 2000). Alberga una población de 1319 habitantes (Centro de Salud, 1999), la organización productiva gira fuertemente en torno al cultivo del café cuya comercialización se encuentra ligada al mercado nacional e internacional. El trabajo se realizó en la parte correspondiente a la zona templada del ejido (a 1500 m de altitud en promedio), con una precipitación pluvial de 300 a 500 mm de noviembre a abril y de 1200 a 1400 mm de mayo a octubre. Los suelos corresponden a una asociación de Leptosol lítico, L. réndzico y Acrisol órtico (INEGI, 1981).

Se seleccionaron tres parcelas con 4-6 años de cultivo de café (*Coffea arabica* L.) bajo sombra con diferente composición de especies arbóreas: 1) sombra especializada con chalum (*Inga oerstediana* Benth.), 2) sombra mixta con chalum y guineo (*Musa sapientum* L.), y 3) sombra diversificada integrada por chalum, guineo, corcho (*Heliocarpus appendiculatus* Turcz.), capulín (*Trema micranthra* L. Blume) y guarumbo (*Cecropia peltata* L.). Los atributos medidos en los árboles de sombra y en los cafetos se presentan en el Cuadro 1. Los suelos presentaron textura franco arcillo arenosa y franco arenosa, con pH ácido (4.8 a 5.5), altos a muy altos contenidos de materia

orgánica (14.7 a 22.3%) y nitrógeno total (0.73 a 1.10%), pero bajos en fósforo (3.5 a 7.5 mg kg⁻¹, Olsen).

Cuadro 1. Valor medio (\pm error estándar) de algunos atributos de los árboles de sombra en tres sistemas agroforestales de café.

Sistema agroforestal	Especie	Densidad (plantas ha ⁻¹)	Altura del árbol (m)	Diámetro a 1.5 m de altura (cm)	Cobertura de la copa (m ²)
Especializado	Chalum	589	7.4 \pm 0.29	36.8 \pm 1.73	2.4 \pm 0.21
Mixto	Chalum	289	7.4 \pm 0.94	27.9 \pm 2.06	3.5 \pm 0.72
	Guineo	489	6.4 \pm 0.37	43.6 \pm 1.99	1.7 \pm 0.28
Diversificado	Chalum	333	6.9 \pm 0.63	29.0 \pm 3.62	3.2 \pm 0.52
	Corcho	211	7.1 \pm 0.88	37.0 \pm 6.66	4.7 \pm 1.25
	Capulín	22	10.5 \pm 0.50	83.0 \pm 6.00	17.0 \pm 1.00
	Guarumbo	55	12.0 \pm 0.55	51.2 \pm 6.25	5.5 \pm 1.34

Aporte estacional de hojarasca – La medición de la hojarasca que se depositó al suelo se realizó durante 6 meses, que incluyó un periodo con precipitación pluvial de 62 mm (15 de febrero al 15 de mayo) y otro con precipitación pluvial de 608 mm (16 de mayo al 15 de agosto), con temperaturas mínima promedio de 10.9 y 12.0 °C y máxima promedio de 24.5 y 24.8 °C, respectivamente. En cada una de las parcelas se delimitó un área de muestreo de 30 x 30 m en donde se distribuyeron al azar 30 colectores de hojarasca (Jiménez, 1981). Los colectores consistieron en una estructura cilíndrica de alambroón con 50 cm de diámetro y 40 cm de altura, en cuyo interior llevaron una malla de nylon con abertura de 1 mm y 30 cm de profundidad. La hojarasca colectada en ellos fue retirada cada 15 días y trasladada en bolsas de papel al laboratorio, en donde se obtuvo el peso seco (en horno a 75 °C durante 48 h) de la hojarasca total, el aportado por cada especie y el de los principales componentes de ésta (folíolos, pecíolos, raquis, flores y frutos).

Los datos se procesaron mediante el análisis de niveles múltiples (Goldstein, 1995; Kreft y de Leeuw, 1998). Para ello se crearon tres factores: a) un modelo con factores

ambientales (Fa con base en precipitación y temperatura; b) un modelo para factores físicos (Ff) en donde se tomaron en cuenta la altura de los árboles de sombra y la distancia del colector a los mismos; y c) como factor sustantivo el tipo de sombra (Fs) (Hojarasca1: $H_1 = \text{precipitación} + \text{temperatura}$; Hojarasca2: $H_2 = \text{altura} + \text{distancia}$; y Hojarasca final: $H_0 = \text{tipo de sombra} + (H_1 + H_2) + e_{ij}$). Estos datos para hojarasca también se procesaron mediante la prueba de Ji-cuadrada de máxima verosimilitud (SPSS v.9), considerándose como unidad de análisis los diferentes momentos de recolección de la hojarasca, que incluyó 1080 recolecciones con un rango de variación entre 0 y 90.2 g colector⁻¹. Las cantidades de hojarasca se clasificaron en cuartiles con rangos de 0 a 1.4 g, de 1.5 a 3.4 g, de 3.5 a 6.5 g y de 6.67 a 90.2 g, transformando la variable cuantitativa en una politómica de cuatro categorías (Hair et al. 2000).

Velocidad de biodegradación de la hojarasca – Se elaboró una muestra compuesta de hojas frescas de cinco árboles utilizados como sombra (chalum, guarumbo, corcho, capulín y guineo) y de café (variedad caturra), se secó en horno a 70 °C durante 48 h. Posteriormente las muestras fueron fragmentadas en molino con tamiz malla No. 40 (0.5 mm) y se determinó la concentración de cenizas (por calcinación en mufla a 550 °C durante 2 h), nitrógeno total (microKjeldahl), hemicelulosa y ligninas (fraccionamiento de fibras) y polifenoles (método adaptado de King y Heath, 1967).

La velocidad de biodegradación de las hojas de las seis especies se determinó mediante la cuantificación de pérdida de masa durante seis meses (marzo-agosto) de incubación *in situ*. Para ello se colocaron 10 g de hojas de cada especie (secadas en horno a 70 °C durante 48 h) en bolsas nylon con diámetro de 1 mm y dimensiones de 15 x 20 cm. Las bolsas con las hojas se introdujeron entre la capa de mantillo y el suelo mineral (10-15 cm en profundidad) en los tres tipos de sombra (especializada, mixta y diversificada) bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones.

Cada 30 días se colectaron tres bolsas de cada especie en cada una de las parcelas. Las hojas contenidas en las bolsas se limpiaron para eliminar restos de suelo y raíces adheridas a las bolsas; después se secaron en horno (75 °C durante 48 h), se pesaron y se obtuvo la pérdida de masa por diferencia de peso con la cantidad inicial (Babbar y Ewel, 1989; Zhu y Ehrenfeld, 1996). Se calculó la tasa constante de descomposición

mediante el ajuste del modelo exponencial negativo $B_m = B_o (1 - e^{-kt})$, donde B_m es la biomasa mineralizada durante el periodo de incubación t , B_o es la cantidad inicial de sustrato (también definida como biomasa potencialmente mineralizable) y k es la tasa constante de mineralización (Roy y Singh, 1994). La influencia del tiempo de incubación y de la especie en la pérdida de masa se verificó mediante análisis de varianza y DSH de Tukey, $p \leq 0.05$.

RESULTADOS

Aporte estacional de hojarasca – Los datos obtenidos de las colectas de hojarasca total durante el periodo del estudio mostraron que en las tres parcelas hubo un patrón estacional en el aporte de hojarasca con ligera variación en función del tipo de sombra (Figura 1). En las parcelas con sombra especializada y diversificada se registraron valores altos de hojarasca total en el periodo de escasas precipitaciones, comprendido entre el 15 de febrero al 15 de mayo, mientras que en la parcela con sombra mixta se encontró incremento en el aporte de hojarasca únicamente durante abril y la primera quincena de mayo. A partir de la segunda quincena de mayo hubo una disminución en la cantidad de hojarasca total colectada indistintamente del tipo de sombra, lo cual se presentó en estrecha relación con las altas precipitaciones registradas a partir de esa fecha en el área de estudio. El modelo de niveles múltiples indicó diferencias altamente significativas para el tipo de sombra y para factores ambientales (precipitación y temperatura), no así para factores físicos (altura y distancia). El tipo de sombra influyó de manera positiva en la cantidad total de hojarasca colectada, siendo las parcelas con sombra diversificada y especializada las que más contribuyen ($\beta=2.786$, $\alpha=0.000$; $\beta=2.189$, $\alpha=0.000$, respectivamente), de igual forma tanto los factores ambientales como físico influyen de manera positiva en la hojarasca colectada ($\beta=1.000$, $\alpha=0.000$; $\beta=0.642$, $\alpha=0.005$). Por lo tanto, la hojarasca colectada está definida por la ecuación $Y_{iH} = -4.876 + (2.786 + 2.189)F_s + 1.000 F_a + 0.642 F_f + e_{ij}$ que corresponde a la ecuación $Y_{iH} = \beta_0 + \beta_1 F_s + \beta_2 F_a + \beta_3 F_f + e_{ij}$. El modelo presentó un ajuste expresado en Durbin-Watson de 1.857 y una R^2 de 0.235 (± 0.052).

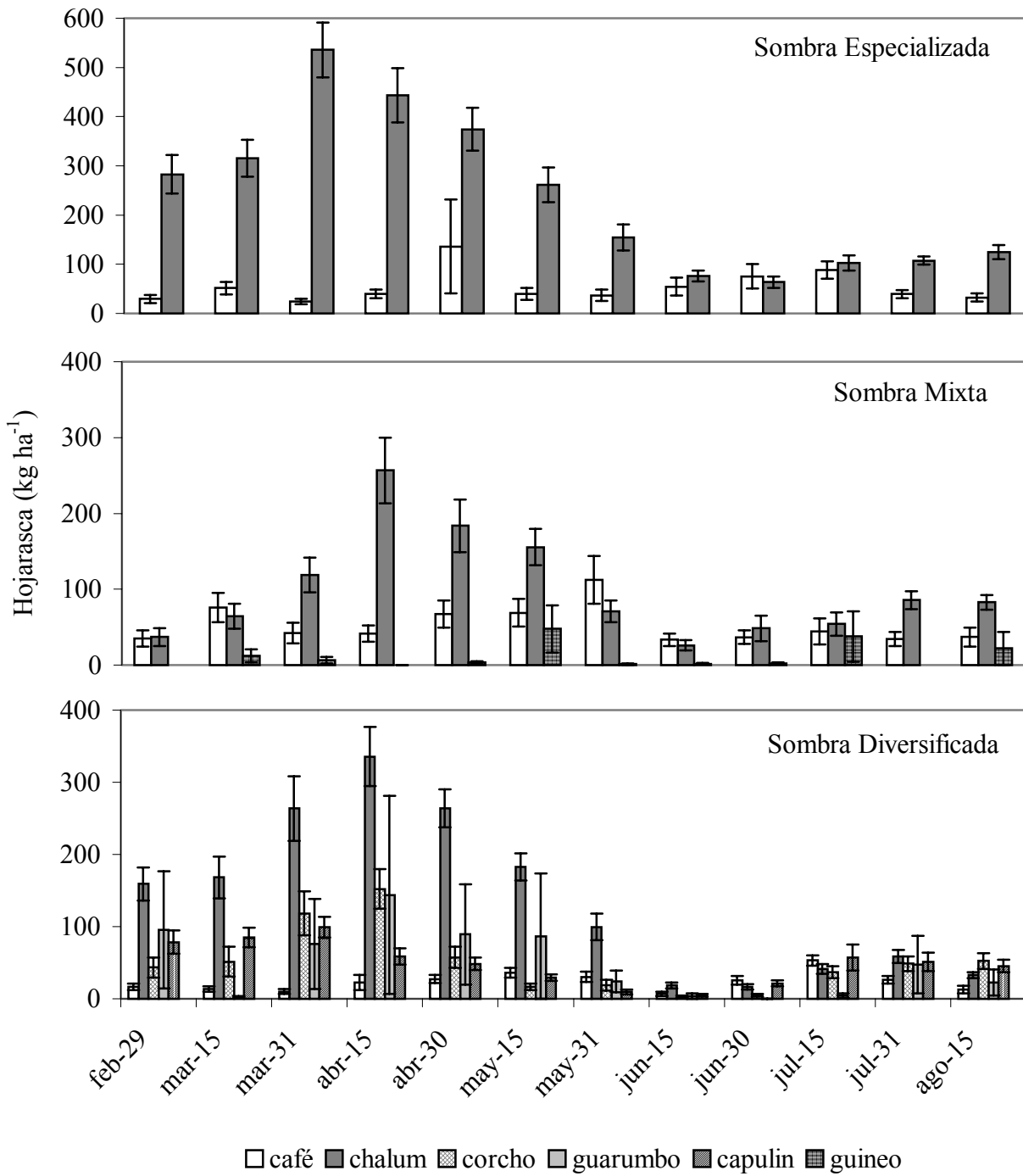


Figura 1. Hojarasca aportada por las especies en tres sistemas agroforestales de café en Tzisco, Chiapas.

La prueba de Ji-cuadrada indicó diferencias altamente significativas en los rangos de hojarasca obtenidos en los dos periodos bioclimáticos y entre los sistemas agroforestales, pero no hubo significancia por efecto de la distancia de los colectores al árbol o arbusto más próximo, o por la altura de éstos. En el periodo de escasas precipitaciones pluviales (febrero-mayo) hubo mayor porcentaje de colectores con cantidades máximas de hojarasca (rangos 3.5–6.5 y 6.6–90.2 g), por el contrario, en el periodo de lluvias (mayo-agosto) la mayoría de colectores tuvieron cantidades mínimas de hojarasca (rangos 0–1.4 y 1.5–3.4 g). En ambos periodos se encontró mayor porcentaje de colectores con cantidades mínimas de hojarasca (rango 0–1.4 g) bajo sombra mixta.

En las tres parcelas chalum tuvo mayor aportación de hojarasca que las otras especies en la mayoría de las colectas realizadas, con excepción de aquellas obtenidas durante marzo y junio en la parcela con sombra mixta y las de la segunda quincena de julio en las parcelas con sombra especializada y diversificada en donde los cafetos aportaron similares cantidades de hojarasca que chalum; así también, en las obtenidas a partir de julio en la parcela con sombra diversificada, los árboles de corcho, guarumbo y capulín aportaron separadamente similar cantidad de hojarasca que chalum. En las tres parcelas chalum presentó picos de máximo aporte de hojarasca durante abril; en esta misma fecha también se registraron las mayores aportaciones de hojarasca de corcho, guarumbo y capulín en la sombra diversificada. Por el contrario, la defoliación de cafetos tuvo picos de máxima intensidad en abril, mayo y julio en las parcelas con sombra especializada, mixta y diversificada, respectivamente. La defoliación de cafetos fue más intensa en las parcelas con sombra especializada (528.4 kg ha^{-1}) y mixta (594.9 kg ha^{-1}) que en aquella con sombra diversificada (266.8 kg ha^{-1}).

El aporte total de hojarasca al suelo obtenido durante los seis meses de estudio fue de 3505.8, 1949.9 y 3754.4 kg ha^{-1} en las parcelas con sombra especializada, mixta y diversificada, respectivamente. Esta hojarasca procedió de chalum (81.5%) y café (18.5%) bajo sombra especializada; de chalum (62.5%), café (32.3%) y guineo (5.2%) bajo sombra mixta; y de chalum (43.7%), corcho (16.1%), guarumbo (15.9%), capulín (15.7%) y café (7.5%) bajo sombra diversificada. El componente de la hojarasca en

mayor cantidad en todas las especies fueron las hojas (lámina foliar y pecíolo), aunque chalum tuvo también un aporte importante de raquis y flores (Cuadro 2).

Cuadro 2. Componentes de la hojarasca (kg ha⁻¹) en tres sistemas agroforestales de café en Tzisco, Chiapas.

Sistema agroforestal	Especie	Temporada seca			Temporada húmeda		
		Componentes de la hojarasca					
		Lámina foliar	Raquis	Flores	Lámina foliar	Raquis	Flores
Especializado	Café	202.7		3.6	325.7		1.5
	Chalum	1720.2	255.6	219.9	327.7	60.2	152.6
Mixto	Café	314.5			280.4		12.9
	Chalum	663.4	79.6	69.4	261.6	26.2	60.9
	Guineo	69.7			31.5		
Diversificado	Café	117.3			149.5		5.6
	Chalum	974.5	144.6	225.5	178.6	18.0	38.1
	Corcho	372.3			139.1		
	Guarumbo	389.5			80.8		
	Capulín	327.2		64.3	188.1		

Velocidad de biodegradación de la hojarasca – La concentración de los constituyentes bioquímicos analizados en las hojas, antes de su incubación *in situ*, se presenta en el Cuadro 3. Las hojas de café, guineo y corcho tuvieron los contenidos más altos de hemicelulosas pero a su vez más bajos en polifenoles que las otras especies; asimismo, las hojas de guineo y corcho presentaron altos contenidos de cenizas. La concentración de nitrógeno fue mayor al 1.5% en la mayoría de las especies, con excepción de guarumbo que tuvo 1.2% de N y presentó las más altas relaciones C/N y polifenol/N.

Cuadro 3. Composición bioquímica (%) de lámina foliar y pecíolo de las especies evaluadas.

Especie	Cenizas	Carbono	Nitrógeno	Polifenoles	Hemicelulosas
Café	5.8	37.7	2.5	14.9	19.3
Capulín	8.4	36.6	2.7	21.8	1.2
Chalum	4.7	38.1	1.9	18.3	3.9
Corcho	10.2	35.9	2.0	7.3	15.7
Guineo	11.4	35.4	1.9	0.0	17.6
Guarumbo	3.3	38.7	1.2	26.6	1.3

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en los valores de pérdida de masa de las hojas entre especies para los diferentes tiempos de incubación y para la interacción entre especies y tiempos de incubación. Desde el primer muestreo chalum y guarumbo presentaron la menor pérdida de masa en relación con las otras especies (corcho, guineo y café), tendencia que se mantuvo hasta los 150 días, ya que a partir de entonces guarumbo tuvo mayor pérdida de masa que chalum (Figura 2). Las otras especies mostraron mayor susceptibilidad a la biodegradación, con valores más altos de pérdida de masa en café y guineo que en capulín y corcho a los 60 días, aunque capulín tuvo valores similares a los de café y de guineo a los 90 días y menores que guineo después de los 150 días, siendo esta última especie la que tuvo la mayor pérdida de masa. En general, las diferentes especies mostraron un patrón de biodegradación similar en los tres tipos de sombra, con excepción de corcho cuyas hojas tuvieron mayor pérdida de masa en la parcela con sombra diversificada que en la sombra especializada, aunque no difirió significativamente de la sombra mixta. Estos resultados indican que entre las especies existieron diferencias en la susceptibilidad a la biodegradación: guarumbo y chalum fueron las más recalcitrantes con tasas constantes de descomposición (k) de $0.002 \text{ mg g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (obtenida mediante modelo exponencial negativo), una posición intermedia ocuparon café, corcho y capulín con k de 0.005 , 0.006 y $0.007 \text{ mg g}^{-1} \text{ d}^{-1}$, respectivamente, mientras que guineo fue la especie más susceptible con k de $0.009 \text{ mg g}^{-1} \text{ d}^{-1}$.

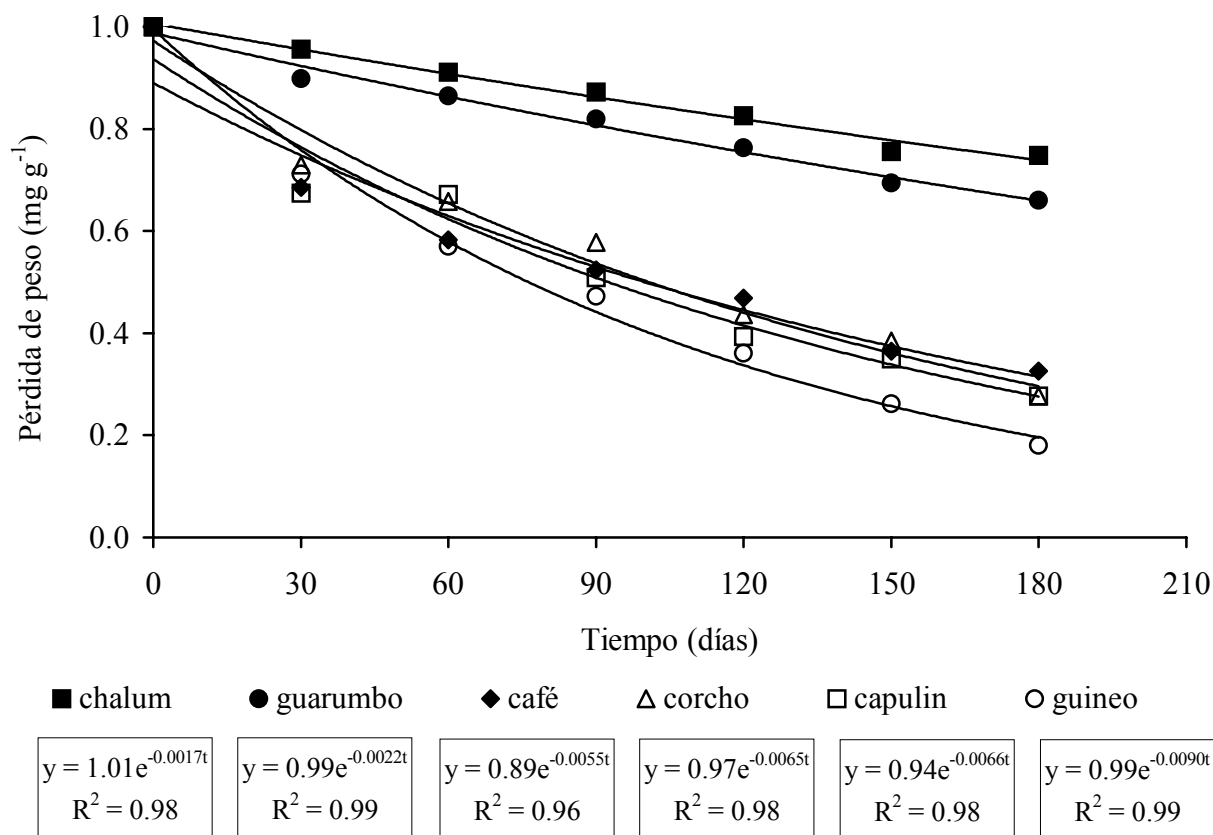


Figura 2. Biodegradación de la hojarasca de las diferentes especies encontradas en los tres sistemas agroforestales de café en Tzisco, Chiapas.

DISCUSIÓN

Es evidente que el aporte de hojarasca en las tres parcelas fue mayor en el periodo de escasas precipitaciones donde chalum tuvo la mayor aportación de hojarasca; sin embargo, en el periodo de lluvias, la contribución relativa de chalum disminuyó y hubo un incremento en la defoliación de cafetos. El mayor aporte de hojarasca de los árboles de sombra en el periodo seco se encuentra relacionada con la abscisión de las hojas que se presenta en especies subcaducifolias, tal y como fue observado en cafetales con *Inga leptoloba* e *I. jinicuil* por Jiménez y Martínez (1979) y Roskoski (1982). En el bosque mesófilo de montaña el periodo de mayor caída de hojas se presenta entre los meses de noviembre a febrero, aunque los árboles no pierden completamente sus hojas

(Rzedowsky, 1978). Capulín, corcho y guarumbo son especies que se desarrollan en la vegetación secundaria; sin embargo presentan un comportamiento similar de caída de hojas que el bosque mesófilo de montaña (Miranda, 1998). La disminución en la hojarasca aportada por chalum en la temporada húmeda se debe principalmente a cambios fenológicos propios de su género, que aunque no se encontraron datos para *Inga oerstediana*, se conoce que la floración y la abscisión de hojas ocurre durante el periodo seco (marzo hasta mayo), tal es el comportamiento de *Inga jinicuil* (Roskoski, 1982).

La menor cantidad de hojarasca colectada en la parcela con sombra mixta se debió posiblemente a la menor densidad de árboles de chalum en relación con la que presentaron las otras parcelas (Cuadro 1), pero también debido a la alta densidad de matas de guineo, cuyos componentes no fueron captados por los colectores, ya que su incorporación al suelo, en este caso, fue realizada por el productor en forma manual después de la cosecha del fruto (enero y febrero).

La alta defoliación de cafetos en la parcela con sombra mixta pudo ser debido a un efecto de mayor insolación debido a la escasa cobertura que generaron las matas de guineo. Jiménez y Martínez (1979) encontraron mayor caída de hojas en un cafetal expuesto al sol que bajo sombra. A pesar de ello, es importante señalar que las matas de guineo constituyen una sombra temporal, mientras los árboles de chalum alcanzan a establecer una mayor cobertura para los cafetos; en tanto ocurre esta transición, el productor aprovecha los frutos para consumo familiar u obtiene un ingreso económico por la venta de estos productos. En la sombra especializada también se presentó una alta caída de hojas de café, lo cual podría deberse a la presencia de claros por una insuficiente cobertura de chalum; por el contrario, en sombra diversificada la cobertura de los árboles de sombra fue más densa por la presencia de diferentes especies, generando condiciones micro-ambientales más constantes y una menor defoliación de los cafetos.

Las diferencias en la velocidad de biodegradación que presentaron las hojas de las especies evaluadas se encuentra relacionada con su composición bioquímica. Mentemeyer (1978) indicó que en suelos tropicales la tasa de descomposición de residuos vegetales es regulada por la calidad del material, más que por efecto de

factores climáticos. Varios autores han enfatizado que los materiales orgánicos con alta relación C/N o altos contenidos de ligninas y polifenoles tienen una baja tasa de biodegradación (Babbar y Ewel, 1989; Palm y Sánchez, 1990; Kachaka et al. 1993; Álvarez y Becerra, 1996). En este sentido, la menor pérdida de peso de chalum y guarumbo observada en el presente trabajo, puede estar relacionada con la alta concentración de polifenoles y la baja proporción de hemicelulosas que presentaron sus hojas. Los materiales orgánicos con altas relaciones C/N y polifenol/N toman más tiempo para su descomposición (Álvarez y Becerra, 1996), y durante ésta podrían inmovilizar N del suelo (Meentemeyer, 1978). Por el contrario, guineo tuvo la mayor tasa de descomposición y presentó mayor cantidad de materiales fáciles de degradar como las hemicelulosas. Las diferencias encontradas en la pérdida de peso de las hojas de corcho en función del tipo de sombra, llama la atención respecto al papel de las condiciones micro-ambientales en la biodegradación de los materiales orgánicos debido a que en la parcela donde ésta especie forma parte de la asombra del café se favoreció su biodegradación. En conclusión, los resultados indican que chalum tuvo alta contribución en el aporte de hojarasca pero la velocidad de biodegradación de sus hojas fue más lenta que las de otras especies arbóreas utilizadas como sombra en el sistema agroforestal diversificado. Así mismo, la defoliación de cafetos fue más intensa bajo condiciones de sombra especializada y mixta que con sombra diversificada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez S., J., and E.R. Becerra. 1996. Leaf decomposition in a Mexican Tropical Rain Forest. *Biotrópica* 28(4b): 657-667.
- Aranguren, J., G. Escalante and R. Herrera. 1982. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. *Plant and Soil* 67: 547-258.
- Babbar, L.I. y J.J. Ewel. 1989. Descomposición del follaje en diversos ecosistemas sucesionales tropicales. *Biotrópica* 21(1): 20-29.
- Babbar, L.I. and D.R. Zak. 1994. Nitrogen cycling in coffee agroecosystems: net N mineralization and nitrification in the presence and absence of shade trees. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 48: 107-113.

- Barradas, V.L. y L. Fanjul. 1984. La importancia de la cobertura arbórea en la temperatura del agroecosistema cafetalero. *Biótica* 9(4): 415-421.
- Bornemisza, E. 1982. Nitrogen cycling in coffee plantations. *Plant and Soil* 67: 241-246.
- Centro de Salud, Tziscaco. 1999. Censo.
- Consejo Mexicano del Café. 2000. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. <http://www.sagar.gob.mx/>.
- Goldstein, H. 1995. *Multinivel Statistical Models*. 2a Ed. Edward Arnold. John Wiley and Sons Inc. 177 p.
- Gutiérrez Z.F., y B. Soto. 1976. Árboles usados como sombra en café y cacao. *Revista Cafetalera*. Guatemala. 27-32 p.
- Hair, J. F., R.E. Anderson, R.L. Tatham and W.C. Black. 2000. *Análisis Multivariante*. Ed. Prentice Hall. 5a Ed. Madrid, España. 799 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1981. *Carta Edafológica*. Mérida. Escala 1:1 000 000.
- Jiménez A., E. 1981. *Ecología del agroecosistema cafetalero*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de México. Facultad de Ciencias. México, D.F. 102 p.
- Jiménez A.E. y P. Martínez V. 1979. *Estudios Ecológicos del Agroecosistema Cafetalero: II Producción de materia orgánica en diferentes tipos de estructura*. 103: 109-126.
- Kachaka, S., B. Vanlauwe and R. Mercks. 1993. Decomposition and nitrogen mineralization of prunings of different quality. In: *Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture*. K. Mulongoy and R. Merckx (Eds.). Wiley, Chichester. 199-208 p.
- King, H. C.C. and G.W. Heath. 1967. The chemical analysis of small samples of leaf material and the relationship between the disappearance and composition of leaves. *Pedobiología* 7: 192-197.
- Kreft, I. and J. de Leeuw. 1998. *Introducing multilevel modeling*. Sage Publications London.
- Lara, V. C. 2000. *Uso del territorio en Tziscaco, Chiapas: Dinámica y percepción social*. Tesis de maestría. El Colegio de la Frontera Sur. Chiapas, México. 30 p.

- Limón A., F. 1995. La producción de café orgánico y la construcción de identidades en Tziscaco, Chiapas. Tesis de maestría. El Colegio de la Frontera Sur. Chiapas, México. 34 p.
- Mentemeyer, V. 1978. Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology* 59: 465-472.
- Miranda, F. 1998. La vegetación de Chiapas. Consejo Estatal para la Cultura y las Artes de Chiapas. 3a Ed. Chiapas, México. 596 p.
- Palm, C.A., and P.A. Sánchez. 1990. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three typical legumes. *Biotrópica* 22(4): 330-338.
- Pérez-Grovas, G.V. 1998. Evaluación de la sustentabilidad del sistema de producción de café orgánico en la Unión de Ejidos de Majomut, en la Región de los Altos de Chiapas. Tesis de maestría. Univ. Autónoma de Chapingo. Chapingo, Estado de México. 96 p.
- Perfecto, I., R. Rice, R. Greenberg and M.E. Van der Voort. 1996. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46: 598-608.
- Porta, C.J., M. López-Acevedo y C. Roquero de Laburu. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2a Ed. Ediciones Mundi-Prensa. 155-193 p.
- Roskoski, J.P. 1982. Nitrogen fixation in a Mexican coffee plantation. *Plant and Soil* 67: 283-291.
- Roy, S. and J.S. Singh. 1994. Consequences of habitat heterogeneity for availability of nutrients in a dry tropical forest. *Journal of Ecology* 82: 503-509.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. 1a Ed. Limusa. México. 432 p.
- Yépez P., C. 1997. Evaluación de la sustentabilidad del cafetal bajo manejo orgánico, mediante el balance de nutrientes en la Unión Majomut, Chiapas. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 136 p.
- Zhu, W. and J.G. Ehrenfeld. 1996. The effects of mycorrhizal roots on litter decomposition, soil biota, and nutrients in a spodosolic soil. *Plant and Soil* 179: 109-118.