



Biomasa de hojas caídas y otros indicadores de sustentabilidad en asociaciones de especies forestales con cacao “CCN51” en la zona Central del Litoral ecuatoriano

Fallen leaf biomass and other indicators of sustainability in associations of forest species with cocoa “CCN51” in the central zone of the Ecuadorian Coast

¹Gary Ramírez Huila¹, Emma Torres Navarrete², Nicolás Cruz Rosero¹,
Alexandra Barrera Álvarez², Shirley Alava Ormaza³, Marta Jiménez Águila⁴

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias Ambientales. Carrera de Ingeniería Forestal. Campus “Ingeniero Manuel Haz Álvarez”, Av. Quito, km 1.5 vía a Santo Domingo de los Tsáchilas. EC.120301 Quevedo, Ecuador: gramirez@uteq.edu.ec; jcruz@uteq.edu.ec

²Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias Pecuarias. Carrera de Ingeniería Zootecnia. Campus Experimental “La María”. km 7.5 vía El Empalme. EC.120301. Quevedo, Ecuador: etorres@uteq.edu.ec; barreraalvarez@yahoo.com

³Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Unidad de Estudios a Distancia. Escuela de Contador Público Autorizado. Campus “Ingeniero Manuel Haz Álvarez”, Av. Quito, km 1.5 vía a Santo Domingo de los Tsáchilas. EC.120301. Quevedo, Ecuador: alava@uteq.edu.ec

⁴Instituto de Investigaciones Forestales. Calle 174 no. 1723 E/ 17B y 17C Rpto. Siboney, Municipio Playa, La Habana. Cuba. mjimenez@forestales.co.cu

Rec.: 9.03.2016. Acept.: 1.07.2016.

Publicado el 30 de diciembre de 2016

Resumen

Se realizó el estudio de cuatro especies forestales *Cydistax donnell-smithii* Rose, *Cordia macrantha* Chadat, *Colubrina arborescens* (Mill.) Sarg y *Triplaris guayaquilensis* Wedd, en asociación con *Theobroma cacao* L. Var. CCN51. El sistema agroforestal estuvo ubicado en Quevedo, provincia de Los Ríos, Ecuador. Los árboles tuvieron seis años y el cacao de cinco años de edad, establecidos en un marco de plantación de 9 x 9 m y 3 x 3 m, respectivamente. Se aplicó un diseño de bloques al azar, con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron producción de madera y cacao, sombra, producción de hojas caídas, transferencia de N, P, K, Ca y Mg, nutrientes y contenido de humedad en el suelo. El volumen total de madera para *C. donnell-smithii*, *C. macrantha*, *C. arborescens* y *T. guayaquilensis* fue 46.49; 27.06; 21.03 y 61.37 m³ ha⁻¹, respectivamente. La producción de cacao no presentó diferencias significativas entre asociaciones. Los mayores aportes anuales de biomasa de hojas caídas se produjeron en la asociación *C. arborescens* + cacao con 4079 kg ha⁻¹, esta asociación realizó la mayor transferencia de N, K, Ca y Mg con 56.45; 29.54; 73.96 y 16.38 kg ha⁻¹ a⁻¹, respectivamente.

Palabras clave: sistema agroforestal, agroecología, biomasa, cacao var. CCN51.

Abstract

Four forest species *Cydistax donnell-smithii* Rose, *Cordia macrantha* Chadat, *Colubrina arborescens* (Mill.) Sarg and *Triplaris guayaquilensis* Wedd were studied in association with *Theobroma cacao* L. Var. CCN51. The agroforestry system was located in Quevedo, province of Los Ríos, Ecuador. The age of the trees was six years, and of cocoa five years, established in a plantation frame of 9 x 9 m and 3 x 3 m, respectively. A random block design with four replicates was applied. The evaluated aspects were: production of wood and cocoa, shade, production of fallen leaves, transfer of N, P, K, Ca and Mg, nutrients and soil moisture content. The total wood volume for *C. donnell-smithii*, *C. macrantha*, *C. arborescens* and *T. guayaquilensis* was 46.49; 27.06; 21.03 and 61.37 m³ ha⁻¹, respectively. Cocoa production did not show significant differences between associations. The highest annual biomass contributions of the fallen leaves were produced in the association *C. arborescens* + cacao with 4079 kg ha⁻¹, so that it carried out the greatest transfer of N, K, Ca and Mg with 56.45; 29.54; 73.96 and 16.38 kg ha⁻¹ a⁻¹, respectively.

Key words: Indicators of sustainability, biomass, agroforestry association, cocoa var. CCN51.

Introducción

En sistemas agroforestales el árbol, además de la sombra que puede proporcionar a los cultivos agrícolas, es más eficiente que las plantas herbáceas en la absorción de nutrientes liberados por los horizontes más profundos del suelo (Altieri, 1997; Krishnamurthy y Ávila, 1999).

En el Litoral ecuatoriano el campesino ha desarrollado y practicado varias formas de sistemas agroforestales, entre ellas la asociación de los cultivos tradicionales de exportación como *Theobroma cacao* L (cacao) con árboles maderables (Torres, 1995; Jaimez, 1997; FAO, 2005). El cacao también se cultiva en asociación con *Inga* sp (guaba) ya que esta última es una leguminosa mejoradora de los suelos y su sombra beneficia a este cultivo.

Las especies maderables son utilizadas por el valor de su madera y los beneficios adicionales que pueden proporcionar al formar parte de estas asociaciones (Acosta, 1960; Forhier, 1982; Sablón, 1984; Jiménez et al., 2013).

Para complementar el conocimiento tradicional del campesino es necesaria la caracterización de los sistemas agroforestales en el Litoral ecuatoriano. Existe poca información básica sobre indicadores de sustentabilidad en estos sistemas, tales como la producción de biomasa de hojarasca, transferencia de nutrientes, sombra, contenido de humedad en el suelo; además, que en ciertas zonas la hojarasca es la principal vía de ingreso de nutrientes al suelo. Sobre esta base se planteó evaluar los sistemas agroforestales establecidos en la zona Central del Litoral ecuatoriano a partir del estudio de diferentes indicadores cuantitativos tales como producción de la asociación agroforestal, sombra de las especies maderables (%), hojas caídas de las especies asociadas (kg ha año), concentración de nutrientes en hojas caídas de las especies asociadas y su transferencia, contenido de nutrientes y humedad del suelo (%).

Materiales y métodos

El área de investigación está ubicada en la Finca Experimental “La Represa”, localizada en el recinto Faíta, kilómetro 7,5 de la vía San Carlos, en Quevedo, provincia de Los Ríos, República del Ecuador. Su ubicación geográfica corresponde a 010 03' 18" de latitud sur y 790 25' 24" de longitud oeste. A una altitud de 73 msnm, con una temperatura promedio de 24,2° C, humedad relativa de 77.40%, heliofanía de 823 horas/luz/año, y precipitación media anual de 1537 mm. Zona clasificada como bosque húmedo-Tropical. Los suelos son de textura franco-arcillosa con un pH de 5.7. Esta investigación se llevó a cabo en un estudio sobre sistemas agroforestales de cuatro especies

maderables con cacao de la Unidad de Investigación de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Las asociaciones agroforestales estudiadas fueron: *C. donnell smithii* Rose + cacao CCN51 *C. macrantha* Chadat + cacao CCN51; *C. arborescens* (Mill.) Sarg + cacao CCN51; *T. guayaquilensis* Weed + cacao CCN51.

Para el análisis estadístico de las asociaciones agroforestales se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Para la determinación de las diferencias estadísticas entre medias, se aplicó la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Cada especie forestal estuvo dispuesta en un marco de plantación de 9 x 9 m (123 árboles ha⁻¹). La unidad experimental constó de nueve árboles maderables y 40 plantas de cacao, var. CCN51. Este último plantado a 3 x 3 m en y entre las hileras de los árboles maderables (988 plantas ha⁻¹).

En los nueve árboles maderables de cada parcela experimental se midió: diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total y comercial, con lo que se calculó el volumen. También se determinó el Incremento Medio Anual, porcentaje de sombra mediante la metodología de Haggard et al. (2001) y Jiménez et al. (2002). La producción de grano seco del cacao CCN51 se registró mensualmente. Además se evaluó la incidencia de *Crinipellis pernicioso* (Stahel) Singer (escoba de bruja) y *Monilla roleri* Cif. & Par. (monilla).

Para evaluar la producción de hojas caídas, en cada parcela se instalaron tres cajas recolectoras de 1 m² (una bajo la especie maderable y dos bajo el cacao). Mensualmente se determinó el peso seco de las hojas caídas, previo a la eliminación de ramas, cortezas y frutos; el total o una muestra de las mismas fueron colocados en estufa a 70°C, hasta peso constante (Geigel, 1977; Fassbender, 1987; Quintero y Ataroff, 1998). La estimación del porcentaje de N, P, K, Ca y Mg en las hojas caídas y su transferencia se efectuó mediante análisis químico por tratamiento, durante el período lluvioso y seco. En ambos periodos se determinó el contenido de N, P, K, Ca, Mg, M.O y contenido de humedad en el suelo.

Resultados y discusión

Efecto en las especies maderables

Diámetro. En las especies maderables, el diámetro presentó diferencias altamente significativas según el test de Tukey ($p < 0.05$). El mayor diámetro correspondió a *T. guayaquilensis* con 24.22 cm, seguido de *C. donnell-smithii* con 21.25 cm. Los valores más bajos correspondieron a *C. macrantha* y *C. arborescens* con 18.02 y 17.15 cm, respectivamente.

Altura. En la altura de los árboles también se produjeron diferencias altamente significativas. El mayor valor

correspondió a *T. guayaquilensis* con 16.36 m, seguido por *C. donnell-smithii* con 13.48 m, *C. macrantha* con 11.64 m y en el último lugar *C. arborescens* con 10.64 m; equivalente al Incremento medio anual (IMA) de 2.34; 1.92; 1.66 y 1.52 m a⁻¹, respectivamente.

Volumen. *T. guayaquilensis* Weed tuvo el mayor volumen por árbol con 0.499 m³, seguido por *C. donnell-smithii* con 0.378 m³, *C. macrantha* con 0.22 m³ y *C. arborescens* con 0.171 m³. El volumen por hectárea fue: *T. guayaquilensis* con 61.37; *C. donnell-smithii* con 46.49; *C. macrantha* con 27.06 y *C. arborescens* con 21.03 m³ respectivamente; lo que corresponde a un IMA de 12.27; 9.29; 5.41 y 4.2 m³ ha⁻¹ a⁻¹, respectivamente. Así mismo en el volumen comercial *T. guayaquilensis* produjo el mayor volumen con 26.07 m³ ha⁻¹, seguido por *C. donnell-smithii* con 20.78 m³ ha⁻¹, *C. macrantha* con 13.65 m³ ha⁻¹ y en último lugar *C. arborescens* con 10.45 m³ ha⁻¹, correspondiendo a un IMA de 5.21; 4.15; 2.73 y 2.09 m³ ha⁻¹ a⁻¹, respectivamente.

Porcentaje de sombra. El porcentaje de sombra de las especies maderables fue como sigue: *C. arborescens* 60%, *C. macrantha* 54.62%, *C. donnell-smithii* 44.38% y *T. guayaquilensis* 29.11%. El porcentaje de sombra proyectado por *T. guayaquilensis* se ubicó en el rango de 25 a 30% propuesto para el cacao (Somarrriba, 1994; Somarrriba y Beer, 1999 y Álvarez-Carrillo *et al.*, 2012), mientras que *C. macrantha*, *C. arborescens* y *C. donnell-smithii* superaron este rango.

Los árboles de *C. arborescens*, tuvieron un follaje muy denso y la menor altura, lo que disminuyó el ingreso de radiación solar a las plantas de cacao, siendo necesario realizar podas adicionales de acuerdo a su crecimiento. *C. macrantha* y *C. donnell-smithii* perdieron su follaje durante el período seco, cuando el cacao requirió de mayor protección. Hasta cierto punto esto es una desventaja como especies para sombra frente a *C. arborescens* y *T. guayaquilensis* que mantuvieron el follaje de su copa durante todo el año.

Estas diferencias fenológicas entre las especies maderables estudiadas afectan la posibilidad de mantener la sombra requerida según las necesidades del cacao en cada época.

Producción de hojas caídas en las especies maderables.

Se presentaron diferencias altamente significativas en la producción de hojas caídas durante el período lluvioso, seco y total (Cuadro 1). Las especies de mayor producción durante el año fueron *C. arborescens* con 516.00 g m⁻² y *T. guayaquilensis* con 384.60 g m⁻² las de menor producción fueron *C. macrantha* y *C. donnell-smithii* con 195.50 y 185.20 g m⁻², respectivamente (Cuadro 1).

La caída de hojas en las especies maderables relacionada con las estaciones climáticas fue variable. La producción fue mayor durante el período seco (Figura 1), concordando con lo planteado por Devineau (1976) y Lastres (1990), quienes manifiestan que la caída de hojarasca tiene un ritmo anual con máximos en la estación seca y mínimos en la lluviosa.

Los árboles de *T. guayaquilensis* produjeron mayor cantidad de hojas durante el período seco, confirmando lo expresado por Suárez *et al.* (1993), quien señala que esta especie tiene la mayor deposición de sus hojas durante los meses de agosto a septiembre; además manifestó mayor homogeneidad en la producción de hojas durante el año de investigación (Figura 1).

La producción de hojas en kilogramos por hectárea por año de las especies forestales también presentó diferencias altamente significativas. El mayor valor correspondió a *C. arborescens* con 1997.70 kg ha⁻¹ a⁻¹, seguido por *T. guayaquilensis* con 1109.88 kg ha⁻¹ a⁻¹ y por último *C. macrantha* y *C. donnell-smithii* con 833.54 y 606.39 kg ha⁻¹ a⁻¹, respectivamente (Cuadro 1). Los valores obtenidos en las cuatro especies maderables están en el rango determinado por Menéndez y Vilamajó (1988) para nueve especies del bosque tropical siempre verde de Cuba (70.40 - 2665.40 kg ha⁻¹ a⁻¹); a la vez fueron inferiores al reportado por Suárez *et al.* (1993) para árboles de sombra que produjeron 2000 kg ha⁻¹ a⁻¹.

Cuadro 1. Producción de hojas de cuatro especies maderables asociadas con cacao "CCN51"

Especie forestal	Período lluvioso (g m ⁻²)	Período seco (g m ⁻²)	Total (g m ⁻²)	(Kg ha ⁻¹ a ⁻¹)
<i>C. donnell-smithii</i>	11.00 b	174.20 b	185.20 c	606.39 b
<i>C. macrantha</i>	24.10 b	171.40 b	195.50 bc	833.54 b
<i>C. arborescens</i>	111.70 a	404.30 a	516.00 a	1997.70 a
<i>T. guayaquilensis</i>	164.80 a	219.70 ab	384.60 ab	1109.88 ab
E.S.	12.73	24.83	47.92	151.82
CV (%)	28.67	30.99	29.61	26.71

Medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias estadísticas (Tukey, p>0.05).

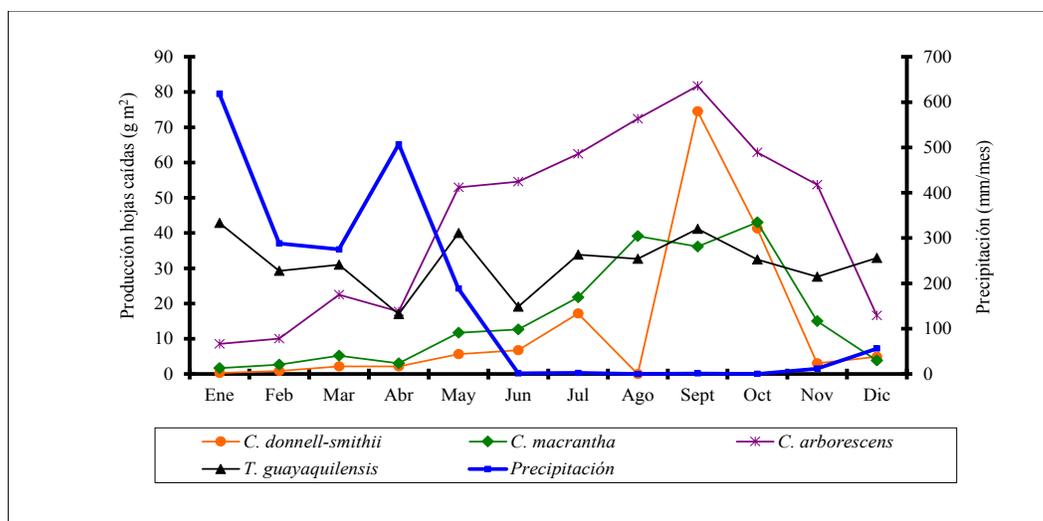


Figura 1. Producción de hojas caídas en g/m²/mes de cuatro especies maderables asociadas con cacao y su relación con las precipitaciones

Producción de semillas e incidencia de enfermedades en el cacao CCN51.

No se produjeron diferencias estadísticas significativas en la producción de semillas de cacao. La producción estuvo entre 183.30 kg ha⁻¹ a⁻¹ con *C. macrantha* y 363.10 kg ha⁻¹ a⁻¹ con *C. arborescens*.

Según Somarriba y Beer (1999), en sistemas agroforestales los rendimientos moderados de cacao deben ser la meta; en este caso, la producción promedio de semillas de cacao CCN51 obtenida en los tratamientos estudiados no respondió a estas expectativas, más aún si se compara con la producción potencial en plantaciones puras reportada por Crespo y Crespo (1997) quienes aseguran que con una fertilización anual de 600 g árbol⁻¹, riego cada 20 días, poda cada cuatro años, controles fitosanitarios y de malezas se alcanzan rendimientos de 2272 kg ha⁻¹ a⁻¹ con 1500 plantas por hectárea. Esto sugiere que los sistemas agroforestales deben igualmente ser bien manejados en cuanto a fertilización, riegos y podas.

La presencia de *C. pernicioso* (Stagel) Singer (escoba de bruja) en los períodos lluvioso y seco, fue entre ligera y moderada. Mientras que la afectación por *M. rozeri* Cif. & Par. (monilla) estuvo entre 2.25 y 3.25%, porcentajes bajos si se comparan con el 30% que puede alcanzar en el cacao CCN51 (Crespo y Crespo, 1997).

Producción de hojas caídas del cacao CCN51

La producción de hojas caídas del cacao no presentó diferencias estadísticas; estuvo entre 272.40 g m² en el tratamiento *C. arborescens* + cacao y 309.40 g m² en *C. donnell-smithii* + cacao; lo que equivale a 1692.96 y 2404.54 kg ha⁻¹ a⁻¹, respectivamente (Cuadro 2). La caída de hojas en el cacao no fue influenciada por la presencia de las especies forestales o sombreadoras, este fenómeno interactuó directamente con los factores ambientales

como la lluvia y la sequía (Figura 2). La alta producción de hojas del cacao, corrobora que éste, al ser un cultivo de plantación permanente constituye un sistema de importancia como reforestador, ya que aporta a los ecosistemas gran cantidad de materia orgánica a través de la hojarasca; esta característica favorece la conservación, fertilidad y el desarrollo de la micro y macrofauna del suelo (Schalatter et al., 2003; Schalatter et al., 2006).

Transferencia de nutrientes por hojas caídas de las especies forestales

En el Cuadro 3 se observan, los contenidos de N, P, K, Ca y Mg en las hojas caídas, así como la transferencia de los mismos por las especies maderables. *C. arborescens* se destaca por la mayor transferencia de nutrientes, menos en P donde sobresale *C. macrantha*.

Transferencia de nutrientes por hojas caídas del cacao CCN51

En el Cuadro 4 se observan los contenidos de N, P, K, Ca y Mg en las hojas caídas, así como la transferencia de los mismos por el cacao en cada sistema. Resaltó el cacao asociado con *C. donnell-smithii* y *T. guayaquilensis* por mayor transferencia de nutrientes.

Transferencia de nutrientes por sistema agroforestal

La transferencia total de nitrógeno (N) de la fracción foliar de las especies forestales y el cacao CCN51 estuvo en un rango de 37.12 a 56.45 kg ha⁻¹ a⁻¹ en *C. macrantha* + cacao y *C. arborescens* + cacao en su orden; estos aportes fueron menores a los reportados por Jaimez y Franco (1999), para asociaciones agroforestales en Mérida, Venezuela con una transferencia de N entre 79.70 kg ha⁻¹ a⁻¹ en el sistema *Annona muricata* + *Persea americana* + cacao hasta 129.50 kg ha⁻¹ a⁻¹ para el sistema *Pouteria sapota* + cacao. La transferencia total

Cuadro 2. Producción de hojas del cacao "CCN51" asociado con cuatro especies forestales

Tratamiento	Período lluvioso (g m ⁻²)	Período seco (g m ⁻²)	Total (g m ⁻²)	(Kg ha ⁻¹ a ⁻¹)
<i>C. donnell-smithii</i> + cacao	29.30 a	280.10 a	309.40 a	2404.54 a
<i>C. macrantha</i> + cacao	26.10 a	255.40 a	281.40 a	1692.96 a
<i>C. arborescens</i> + cacao	32.50 a	242.20 a	272.40 a	2081.63 a
<i>T. guayaquilensis</i> + cacao	36.10 a	275.30 a	286.80 a	2126.68 a
E.S.	11.65	19.62	14.33	197.90
CV (%)	25.18	14.91	9.97	19.06

Medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias estadísticas (Tukey, p>0.05).

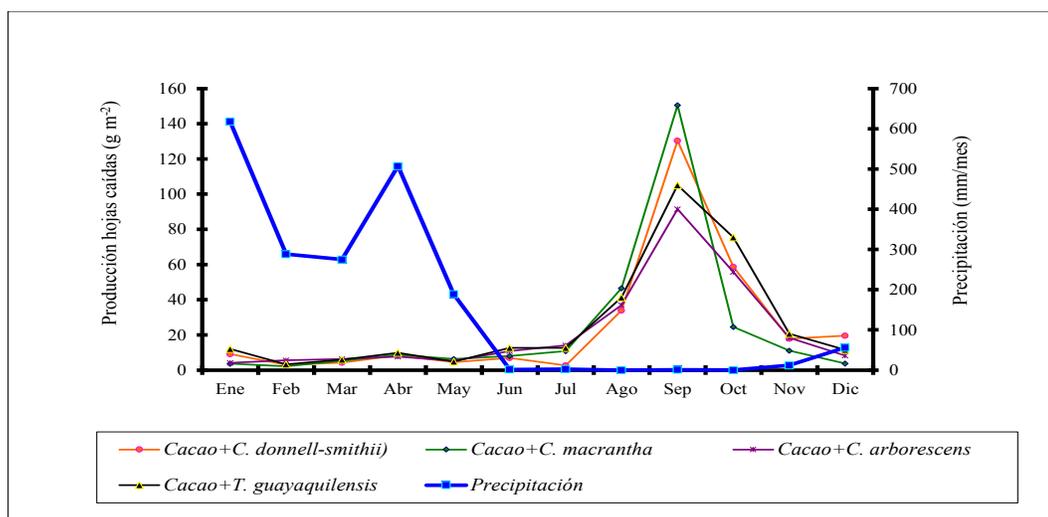


Figura 2. Producción de hojas caídas en g/m²/mes del cacao CCN51 asociado con cuatro especies maderables y su relación con las precipitaciones

de fósforo (P) por la fracción foliar de las especies forestales y el cacao, estuvo entre 3.03 kg ha⁻¹ a⁻¹ en el sistema *C. donnell-smithii* + cacao y 5.87 kg ha⁻¹ a⁻¹ en el sistema *C. macrantha* + cacao. Jaimez y Franco (1999) determinaron una transferencia de P por la fracción foliar de las asociaciones agroforestales entre 9.90 y 11.20 kg ha⁻¹ a⁻¹ para sistemas agroforestales con cacao; mientras que Fassbender *et al.* (1988) reportaron 13.80 y 8.80 kg ha⁻¹ a⁻¹ para los sistemas *Cordia alliodora* + cacao y *Erythrina poeppigiana* + cacao, respectivamente; Aranguren (1979) encontró una alta transferencia con 22.70 kg ha⁻¹ a⁻¹, mientras que Santana *et al.* (1990) reportaron en Bahía - Brasil valores que oscilaron entre 5 y 10.70 kg ha⁻¹ a⁻¹.

El aporte total de potasio (K) por las asociaciones estudiadas, estuvo entre 9.94 y 29.54 kg ha⁻¹ a⁻¹ para los sistemas *C. macrantha* + cacao y *C. arborescens* + cacao, respectivamente. En Bahía, Brasil, se reportaron rangos variables de transferencia de K en sistemas agroforestales, entre 29.90 y 73 kg ha⁻¹ a⁻¹ (Santana *et al.*, 1990); mientras que Jaimez y Franco (1999) determinaron un alto aporte de este

elemento a través de las hojas en el sistema *P. zapota* + cacao con 61.10 kg ha⁻¹ a⁻¹. La transferencia total de calcio (Ca) por las asociaciones agroforestales estudiadas estuvo entre 34.79 kg ha⁻¹ a⁻¹ en *C. macrantha* + cacao y 73.96 kg ha⁻¹ a⁻¹ en la asociación *C. arborescens* + cacao. Jaimez y Franco (1988) reportaron transferencias de Ca en sistemas agroforestales con cacao entre 84 y 162 kg ha⁻¹ a⁻¹. Para comparación, valores de transferencias de Ca en sistemas agroforestales con cacao comprendidos entre 81 y 100 kg ha⁻¹ a⁻¹ fueron determinados en el estado de Bahía - Brasil (Santana *et al.*, 1990).

La transferencia total de magnesio (Mg) en estas asociaciones agroforestales estuvo entre 13.98 kg ha⁻¹ a⁻¹ en *C. macrantha* + cacao y 16.38 kg ha⁻¹ a⁻¹ en *C. arborescens* + cacao, valores inferiores a los reportados por Jaimez y Franco (1999), quienes obtuvieron aportes de Mg de 31.70 kg ha⁻¹ a⁻¹ en el sistema *P. americana* + cacao, 17 kg ha⁻¹ a⁻¹ para *P. sapota* + cacao y 23.60 kg ha⁻¹ a⁻¹ para *A. muricata* + *P. americana* + cacao; Asimismo, Cardona-Calle y Sadeghian-Khalajabadi (2005) publicaron retornos de 27.31 y 30.66 kg

Cuadro 3. Nutrientes en hojas caídas (%) y su transferencia (kg ha⁻¹) en las cuatro especies forestales asociadas con cacao “CCN51”

Nutrientes	Especie forestal	Periodo Lluvioso (%)	Periodo Seco (%)	Transferencia (Kg ha ⁻¹ a ⁻¹)
N	<i>C. donnell-smithii</i>	1.40	2.30	13.63 ab
	<i>C. macrantha</i>	1.70	1.50	12.70 ab
	<i>C. arborescens</i>	1.70	1.60	32.05 a
	<i>T. guayaquilensis</i>	1.20	0.70	10.10 b
	E.S	-	-	2.02
	CV (%)	-	-	24.44
P	<i>C. donnell-smithii</i>	0.12	0.10	0.61 c
	<i>C. macrantha</i>	0.34	0.56	4.44 a
	<i>C. arborescens</i>	0.23	0.11	2.68 b
	<i>T. guayaquilensis</i>	0.11	0.07	0.96 c
	E.S	-	-	0.25
	CV (%)	-	-	23.60
K	<i>C. donnell-smithii</i>	0.46	1.35	7.86 b
	<i>C. macrantha</i>	0.47	0.28	2.52 c
	<i>C. arborescens</i>	0.74	1.13	20.66 a
	<i>T. guayaquilensis</i>	1.10	1.10	12.14 ab
	E.S	-	-	2.23
	CV (%)	-	-	28.97
Ca	<i>C. donnell-smithii</i>	2.31	1.61	10.02 b
	<i>C. macrantha</i>	1.87	3.06	24.27 ab
	<i>C. arborescens</i>	1.55	1.73	33.43 a
	<i>T. guayaquilensis</i>	0.80	1.29	11.92 b
	E.S	-	-	3.60
	CV (%)	-	-	24.24
Mg	<i>C. donnell-smithii</i>	0.61	0.21	1.42 a
	<i>C. macrantha</i>	0.36	0.32	2.70 a
	<i>C. arborescens</i>	0.27	0.17	3.78 a
	<i>T. guayaquilensis</i>	0.17	0.19	2.00 a
	E.S.	-	-	0.65
	CV (%)	-	-	23.40

Medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias estadísticas (Tukey, p>0.05).

Cuadro 4. Nutrientes en hojas caídas (%) y su transferencia (kg ha a⁻¹) en el cacao "CCN51" asociado con cuatro especies forestales

Nutrientes	Especie forestal	Periodo Lluvioso (%)	Periodo seco (%)	Transferencia (Kg ha ⁻¹ a ⁻¹)
N	<i>C. donnell-smithii</i> + cacao	1.60	1.20	29.75 a
	<i>C. macrantha</i> + cacao	1.20	1.50	24.92 a
	<i>C. arborescens</i> + cacao	1.40	0.70	24.40 a
	<i>T. guayaquilensis</i> + cacao	1.70	1.30	31.09 a
	E.S.			2.86
	CV (%)			20.80
P	<i>C. donnell-smithii</i> + cacao	0.11	0.10	2.42 ab
	<i>C. macrantha</i> + cacao	0.09	0.08	1.36 b
	<i>C. arborescens</i> + cacao	0.10	0.09	1.58 ab
	<i>T. guayaquilensis</i> + cacao	0.10	0.11	2.50 a
	E.S.			0.18
	CV (%)			18.88
K	<i>C. donnell-smithii</i> + cacao	0.36	0.43	10.18 a
	<i>C. macrantha</i> + cacao	0.37	0.25	4.42 b
	<i>C. arborescens</i> + cacao	0.21	0.55	8.88 ab
	<i>T. guayaquilensis</i> + cacao	0.41	0.45	10.27 a
	E.S.			0.80
	CV (%)			19.00
Ca	<i>C. donnell-smithii</i> + cacao	1.99	2.03	48.70 a
	<i>C. macrantha</i> + cacao	2.33	2.40	40.52 a
	<i>C. arborescens</i> + cacao	1.99	2.37	40.53 a
	<i>T. guayaquilensis</i> + cacao	1.74	2.05	46.50 a
	E.S.			2.23
	CV (%)			19.25
Mg	<i>C. donnell-smithii</i> + cacao	0.47	0.66	14.42 a
	<i>C. macrantha</i> + cacao	0.54	0.68	11.28 a
	<i>C. arborescens</i> + cacao	0.60	0.74	12.60 a
	<i>T. guayaquilensis</i> + cacao	0.42	0.71	13.61 a
	E.S.			1.31
	CV (%)			19.12

Medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias estadísticas (Tukey, p>0.05).

Cuadro 5. Caracterización química de los suelos y su interpretación correspondiente a las cuatro asociaciones agroforestales

Nutriente	Tratamiento	Período Lluvioso		Período seco	
		Contenido (%)	Interpretación *	Contenido (%)	Interpretación *
N ppm	<i>C. donnell-smithii</i> + cacao	25.25 a	B	12.00 a	B
	<i>C. macrantha</i> + cacao	22.75 a	B	9.75 a	B
	<i>C. arborescens</i> + cacao	26.00 a	B	18.00 a	B
	<i>T. guayaquilensis</i> + cacao	10.50 a	B	16.75 a	B
	E.S	2.46	-	3.69	-
	CV %	23.36	-	22.38	-
P ppm	<i>C. donnell-smithii</i> + cacao	68.00 b	A	81.75 a	A
	<i>C. macrantha</i> + cacao	93.50 a	A	68.50 a	A
	<i>C. arborescens</i> + cacao	80.50 ab	A	73.00 a	A
	<i>T. guayaquilensis</i> + cacao	86.00 a	A	72.75 a	A
	E.S	4.30	-	18.37	-
	CV %	10.49	-	29.67	-
K meq/100 mL	<i>C. donnell-smithii</i> + cacao	0.35 c	M	0.47 a	A
	<i>C. macrantha</i> + cacao	0.44 b	A	0.57 a	A
	<i>C. arborescens</i> + cacao	0.61 a	A	0.62 a	A
	<i>T. guayaquilensis</i> + cacao	0.58 a	A	0.59 a	A
	E.S	0.02	-	0.10	-
	CV %	5.11	-	27.67	-
Ca meq/100 mL	<i>C. donnell-smithii</i> + cacao	11.00 a	A	11.25 a	A
	<i>C. macrantha</i> + cacao	11.00 a	A	10.00 a	A
	<i>C. arborescens</i> + cacao	10.25 a	A	10.50 a	A
	<i>T. guayaquilensis</i> + cacao	10.50 a	A	9.00 a	A
	E.S	0.31	-	0.97	-
	CV %	5.89	-	19.24	-
Mg meq/100 mL	<i>C. donnell-smithii</i> + cacao	1.65 a	B	1.52 a	B
	<i>C. macrantha</i> + cacao	1.52 ab	B	1.42 a	B
	<i>C. arborescens</i> + cacao	1.52 ab	B	1.42 a	B
	<i>T. guayaquilensis</i> + cacao	1.45 b	B	1.35 a	B
	E.S	0.03	-	0.08	-
	CV %	3.91	-	12.01	-
M.O (%)	<i>C. donnell-smithii</i> + cacao	2.82 a	B	3.12 a	M
	<i>C. macrantha</i> + cacao	2.92 a	B	2.85 a	B
	<i>C. arborescens</i> + cacao	3.00 a	M	2.92 a	B
	<i>T. guayaquilensis</i> + cacao	2.70 a	B	2.70 a	B
	E.S.	0.08	-	0.17	-
	CV (%)	6.24	-	12.27	-

Medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$). * B = bajo, M = medio, A = alto

ha⁻¹ a⁻¹ en los agroecosistemas de cafetales bajo sombra con Chinchiná y Albán, respectivamente; Fassbender *et al.* (1988) por su parte, reportan un promedio de 50.10 kg ha⁻¹ a⁻¹ para los sistemas *E. poeppigiana* + cacao y *C. alliodora* + cacao. El sistema *C. arborescens* + cacao ocupó el primer lugar en transferencia de N, K, Ca y Mg, debido fundamentalmente a la mayor cantidad de hojas que produjeron los árboles de *C. arborescens* y al importante aporte del cacao. Los elementos que más necesita la planta de cacao para su desarrollo son N, K y Ca, de estos el K siempre es requerido en mayores cantidades (Mite y Motato, 1993; Jaimez y Franco, 1999); en este estudio el sistema *C. arborescens* + cacao transfirió las mayores cantidades de N, K y Ca, con 56.45; 29.54 y 73.96 kg ha⁻¹ a⁻¹, respectivamente.

Nutrientes en el suelo

La caracterización química de los suelos, correspondiente a las cuatro asociaciones agroforestales fue diferente ($p < 0.05$) en los contenidos, sin embargo, es similar para los dos períodos (Cuadro 5). El potencial Hidrógeno (pH) en el suelo de los tratamientos estudiados y fuera del área de investigación estuvo entre 5.60–5.90; valores interpretados como medianamente Ácidos (MeAc).

Contenido de humedad en el suelo

El contenido de humedad en el suelo, evaluado durante los meses secos manifestó diferencias ($p < 0.05$). En los tratamientos *C. arborescens* + cacao y *T. guayaquilensis* + cacao se produjeron los mayores valores. Los menores porcentajes se obtuvieron en *C. macrantha* + cacao y *C. donnell-smithii* + cacao (Cuadro 6).

Los contenidos de humedad determinados para los cuatro tratamientos están por debajo del nivel adecuado que debe tener el suelo, según Suárez *et al.* (1993), la cantidad de agua en el suelo es adecuada en un 30 a 40% de humedad, con un nivel alto constante, pues, los árboles de sombra transpiran mayor cantidad de agua que los de cacao y cuando alcanzan un desarrollo completo dejan caer ramas o se defolían totalmente durante los períodos secos, a consecuencia de esto, los árboles de cacao sufren una excesiva transpiración, a menos que el suelo tenga una capacidad realmente alta y constante, para proporcionar humedad. En este sentido, los valores más altos (17.29 y 17.34%) son de las especies *C. arborescens* y *T. guayaquilensis*; que presentaron una mayor caída de hojas, produciendo mayor cobertura del suelo, evitando mayor evaporación de agua, reteniendo agua y nutrientes para las plantas; de acuerdo a Branson *et al.* (1981); Waring y Running (1998); Nebel y Wrigth (1999); SEMARNAT (2003) y Martínez-González *et al.* (2010), la hojarasca que se desprende de los árboles, forman materia orgánica, por lo que los suelos con mayor vegetación que tienen una mayor cobertura del suelo y mayor materia orgánica podrían tener menor erosión y mejor conservación de su humedad.

Cuadro 6. Promedio mensual del contenido de humedad del suelo de las asociaciones agroforestales durante el período seco

Tratamiento	Contenido de humedad
<i>C. donnell-smithii</i> + cacao	13.5b
<i>C. macrantha</i> + cacao	14.28b
<i>C. arborescens</i> + cacao	17.29a
<i>T. guayaquilensis</i> + cacao	17.34a
E.S.	0.67
CV (%)	8.63

Medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias estadísticas (Tukey, $p > 0.05$).

Conclusiones

Los maderables *T. guayaquilensis* y *C. donnell-smithii*, tuvieron la mayor producción de madera, siendo similares en la producción de hojas caídas, de semillas e incidencia de *C. pernicioso* y *M. royeri* en el cacao.

El mayor porcentaje de sombra lo produjo *C. arborescens*. Los mayores aportes anuales de biomasa de hojas caídas se dió en la asociación *C. arborescens* + cacao, transfiriendo mayor cantidad de N, K y Ca, mientras que el contenido de materia orgánica fue igual en todas las asociaciones.

Los árboles de *T. guayaquilensis* y *C. arborescens* por su alta producción de hojarasca y follaje permanente durante todo el año realizaron una mayor cobertura, acumulando mayor contenido de humedad en el suelo.

Bibliografía

- Acosta, M. (1960). Maderas económicas del Ecuador y sus usos. Casa de la Cultura Ecuatoriana. Quito, EC. 69 p.
- Altieri, M. (1997). Agroecología. Bases para una agricultura sustentable. CLADES. CIED. Secretariado Rural Perú, Bolivia. Lima, PE. 511p
- Álvarez-Carrillo, F., Rojas-Molina, J., Suarez-Salazar, J. (2012). Simulación de arreglos agroforestales de cacao como una estrategia de diagnóstico y planificación para productores. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu. 13(2): 145-150
- Aranguren, J. (1979). Contribución de la caída de hojarasca al ciclo de nutrientes en cultivos bajo árboles de sombra. Tesis Mag. Sc. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Caracas, VE. 285 p
- Beer, J. (1999). *Theobroma cacao*: un cultivo "agroforestal". Revista Agroforestería en las Américas 6(22).

- Branson, FA., Gifford, GF., Renard, KG., and Hadley, RF. (1981). Rangeland Hydrology. Second Edition. Dubuque, USA: Kendall/Hunt Publishing Company, pp. 37-41, 47-92.
- Cardona-Calle, DA., Sadeghian-Khalajabadi, S. (2005). Ciclo de nutrientes y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrío de *Inga* spp. *Cenicafé* 56(2): 127-141.
- Crespo, E., y Crespo, F. (1997). Cultivo y beneficio del cacao CCN51. El Conejo. Quito, EC. 133p
- Devineau, J. (1976). Dones preliminaires sur la litière et la chute des feuilles dans quelques formations forestières semi-desidues de moyenne cote-d'Ivoire. *Oecol. Plant.* 11(4): 375-395.
- FAO. (2005). Estudio de tendencias y perspectivas del Sector Forestal en América Latina. Documento de Trabajo. Informe nacional Ecuador. Dirección Nacional Forestal. Roma. 67 p.
- Fassbender, H. (1987). Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. CATIE. Turrialba, CR. 184 p
- Fassbender, H., Alpizar, L., Heuvelop, J., Folster, H., and Enriquez, G. (1988). Modeling agroforestry systems of cacao (*T. cacao*) with laurel (*C. Alliodora*) and poro (*E. Poeppigiana*) in Costa Rica. III Cycles of matter and nutrients. *Agroforestry Systems* 6:49-62
- Forhier, L. (1982). Importancia de sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. CR. 5p.
- Geigel, F. (1977). Materia Orgánica y nutrientes devueltos al suelo mediante la hojarasca de diversas especies forestales. *Revista Forestal Baracoa* 7(3-4): 15-38
- Haggar, J., Schibli, C., Staver, C. (2001). ¿Cómo manejar árboles de sombra en cafetales? *Revista Agroforestería en las Américas* 8(29): 37-41
- Jaimez, R. (1997). Aportes de macronutrientes en agrosistemas de cacao con frutales en la región de Tucaní. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Centro de Estudios de Forestal. Mérida, Venezuela. 103 p.
- Jaimez, R., y Franco, W. (1999). Producción de hojarasca, aporte en nutrientes y descomposición en sistemas agroforestales de cacao y frutales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 8 p
- Jiménez, J., Kramer, H., Aguirre, O. (2002). Bestandesuntersuchungen in einem ungleichaltrigen Tannen-, Douglasien-, KiefernNaturbestand Nordostmexikos. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 173: 47-55.
- Jiménez, M., Calzadilla, E., Renda, A., Reyes, F., Mosquera, A., Merlán, G., Farril, A., Curbelo, S., Fleitas, Y., Reyes, J., González, M., y Friol, P. (2013). Sistemas agroforestales en Cuba, treinta años de experiencia. *Agricultura Orgánica*, 19(2): 14-17.
- Krishnamurthy, L., y Avila, M. (1999). Agroforestería básica. FAO. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México, D.F. 340 p
- Lastres, L. (1990). Dinámica de las reservas orgánicas y energéticas de la hojarasca de un bosque tropical semideciduo en Cuba. Tesis Doctor Ciencias Biológicas. Academia de Ciencias de Cuba. Ciudad de la Habana, CU. 32 p
- Martínez-González, F., Sosa-Pérez, F., Ortiz-Medel, J. (2010). Comportamiento de la humedad del suelo con diferente cobertura vegetal en la Cuenca La Esperanza. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 1(4): 89-103.
- Menéndez, L. & Vilamajó, D. (1988). El banco de semillas. En: *Ecología de los bosques siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba*. Proyecto MAB No. 1, 1974-1987. (Eds. R.A. Herrera, Leda Menéndez, María Rodríguez & Elisa García). ROSTLAC, Montevideo. p. 261
- Mite, F., y Motato, N. (1993). Suelos y fertilizantes. In *Manual del cultivo de cacao*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. EC. p. 70-74
- Nebel, BJ., y Wright, RT. (1999). Ciencias ambientales, "Ecología y desarrollo sostenible". Sexta edición. México, D.F.: Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, pp. 211-230.
- Quintero, JS. y Ataroff, M. (1998). Contenido y flujo de nitrógeno en la biomasa y hojarasca de un cafetal a plena exposición solar en los Andes venezolanos. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 15(6): 501-514
- Sablón, A. (1984). Dendrología. Ministerio de Educación Superior. Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana, CU. p 117-119
- Santana, M., Cabala-Rosand, P., y Serodio, E. (1990). Reciclaje de nutrientes em agrossistemas de cacau. *Agrotrópica (Brasil)* 2(2): 68-74
- Schalatter, J., Gerding, V., Calderón, S. (2006). Aporte de la hojarasca al ciclo biogeoquímico en plantaciones de *Eucalyptus nitens*. Chile, *Revista Bosque* 27(2): 115-125.
- Schalatter, J., Grez, R., Gerding, V. (2003). Manual para el reconocimiento de suelos. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 1148 p.
- SEMARNAT. (2003). Hombre naturaleza. Cruzada por los bosques y el agua. Saber para proteger. Introducción a los servicios ambientales. México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, pp. 5-16.
- Somarriba, E. (1994). Maderables como alternativa para la sustitución de sombra de cacaotales establecidos. El concepto. CATIE. Turrialba, CR. 30p
- Somarriba, E. y Beer, J. (1999). Sistemas agroforestales con cacao en Costa Rica y Panamá. *Revista Agroforestería en las Américas* 6(22): 7-11
- Suárez, C., Mite, F., Páliz, V., Sotomayor, I., Vera, J., Moreira, M. (1993). Manual de cultivo de cacao. No.

25. INIAP-PROTECA. Quevedo. Ecuador. 143 p
- Torres, J. (1995). Determinación de áreas de aptitud forestal para el establecimiento de plantaciones en el Litoral ecuatoriano. INEFAN, ITTO. Quito, EC. 185 p
- Waring, RH., and Running, SW. (1998). Forest Ecosystems "Analysis at Multiple Scales". Second Edition. San Diego, USA: Academic Press, pp. 19-57