

CONTENIDO NUTRIMENTAL DEL SUELO Y DE LA HOJARASCA DEL ÁRBOL PIONERO *Cecropia* EN BOSQUES MADUROS Y SECUNDARIOS DE LA ZONA HÚMEDA TROPICAL DEL ECUADOR

Julio Adrian Aules Tipín¹, Brian Edgar McLaren^{1,2*} & José Fernando Romero Canizares¹

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales. Panamericana Sur, km 1½, Riobamba, Ecuador. EC060155

²Lakehead University, Faculty of Natural Resources Management. 955 Oliver Road, Thunder Bay, Ontario, Canadá. P7B 5E1

E-mails: julio_jaat@yahoo.es, bmclaren@lakeheadu.ca, jromero_c@epoch.edu.ec

RESUMEN

Las características de los suelos de los bosques húmedos tropicales tanto maduros como secundarios son similares en coloración, textura y densidad aparente. En las zonas tropicales cálido-húmedas de Ecuador *Cecropia* es un árbol típico pionero en bosques secundarios, que se considera importante para la recuperación de suelos en tierras degradadas. Tiene un bajo requerimiento de nutrientes y produce una gran cantidad de hojarasca que se degrada lentamente. En este estudio se compara el contenido nutrimental del suelo bajo *Cecropia* en bosques secundarios y maduros en Ecuador y no se encontraron diferencias significativas entre ellos. En bosques maduros, las hojas de *Cecropia* tuvieron un área específica más alta y niveles de nitrógeno más bajos, lo que coincide con la teoría de la economía de la hoja. La variabilidad en las propiedades nutritivas del suelo fue mayor entre las tres estaciones de investigación que entre las dos edades forestales. **Palabras clave:** economía de la hoja; ecosistema húmedo tropical; Ecuador (país); edad forestal.

ABSTRACT - NUTRIENT CONTENT OF SOIL AND LEAF LITTER OF THE PIONEER TREE *Cecropia* IN MATURE AND SECONDARY FORESTS OF THE WET TROPICAL ZONE OF ECUADOR

The soil characteristics of mature and secondary tropical rainforests are similar in color, texture, and bulk density. *Cecropia* a pioneer tree in early secondary forest typical of the warm-humid tropics in Ecuador, is considered important to the recovery of soil on degraded lands. It has a low nutrient requirement and produces a large amount of leaf litter that degrades slowly. This study compares soils under *Cecropia* in abandoned pasture and mature forest in Ecuador. No significant nutritive differences in soils or in *Cecropia* leaf litter were found between secondary and mature forest. *Cecropia* leaves have higher specific area and lower nitrogen levels in mature forest, consistent with theory on leaf economics. Variability in soil nutrition among three research stations was higher than between the two forest ages. **Keywords:** Ecuador (country); forest succession; leaf economics; rainforest; soil nutrition.

La variabilidad topográfica y climática característica de la república del Ecuador, ha dado origen a diversos bosques, los cuales se encuentran distribuidos a lo largo de toda la región Amazónica, así como en la región Litoral (Gentry 1990). Sin embargo, debido a la presencia del hombre, muchos de ellos han sido reemplazados por cultivos y pastos, que disminuyen la productividad ecológica sostenible y su biodiversidad, pues una vez agotada la fertilidad, las tierras son abandonadas y repobladas naturalmente por bosques secundarios. Entonces cabe la pregunta: “¿Es posible recuperar las características funcionales del bosque maduro durante un proceso de sucesión vegetal (Guariguata & Ostertag 2001)?” La hipótesis que guía esta investigación es que existe mayor variación en las

propiedades nutritivas del suelo a nivel regional que entre las dos edades forestales de la misma región.

En general, las características de los suelos de los bosques húmedos maduros y secundarios del Ecuador son similares en cuanto a su coloración: roja, café claro y oscuro, debido a la presencia de los óxidos de hierro y de aluminio; a su textura: suelos entre limosos y arcillosos con densidades aparentes que oscilan entre 1,0 y 1,2 g/cm³; y a su pH ácido (Buol 1994). Por lo que, la capacidad de albergar especies depende más bien de la cantidad y diversidad de hojarasca que se puede acumular. La relación entre la cantidad de hojarasca acumulada en los bosques húmedos y la cantidad y calidad de la materia orgánica, el contenido nutritivo y la relación C/N, es fuerte y

directa (Uriarte *et al.* 2015). La materia orgánica es fundamental para reconstruir las funciones del bosque, estabilizar agregados de suelo, aumentar la capacidad de amortiguamiento del agua, proveer una fuente de energía para los descomponedores, retener formas orgánicas de nutrición y aumentar la capacidad de intercambio catiónico en un suelo (Brady 1990). El efecto de la hojarasca en la cantidad y calidad de materia orgánica depende del tipo de especies predominantes (Heartsill Scalley *et al.* 2010).

Uno de los géneros dominantes en los primeros años de sucesión secundaria es *Cecropia* (Guariguata & Ostertag 2001). Las especies del género *Cecropia* se encuentran entre las pioneras más abundantes y conspicuas de la vegetación secundaria temprana de las zonas tropicales cálido-húmedas (Berg *et al.* 2005). Se considera a *Cecropia* como recuperadora de terrenos degradados, porque no tiene un alto requerimiento de nutrientes y produce una gran cantidad de hojarasca que se degrada lentamente. La hojarasca es clave para la restauración del suelo, pues incrementa la diversidad de organismos, el contenido de materia orgánica y la capacidad de retención de agua. Su papel es muy importante en la provisión de nutrientes a las especies primarias.

Estudios de monitoreo efectuados en otros lugares con bosque húmedo indican que es posible reestablecer las funciones y las concentraciones de nutrientes de los suelos en menos de 15 años (p. ej., Heartsill Scalley *et al.* 2010), especialmente en bosques secundarios recuperados de pastos abandonados (Weaver *et al.* 1987, Reiners *et al.* 1994) o en áreas con tala selectiva (McNabb *et al.* 1997, Feldpausch *et al.* 2010). La presente investigación compara bosques maduros con secundarios en ecosistemas húmedos tropicales del Ecuador de acuerdo a las características de la hojarasca de *Cecropia*, el perfil de suelo y su contenido nutrimental. El primer objetivo es comparar el contenido nutrimental de los horizontes del suelo para determinar si hay diferencias entre sitios, o entre bosque maduro y secundario del mismo sitio. El segundo objetivo es caracterizar la hojarasca de *Cecropia*, género dominante en los primeros años de sucesión, para formular hipótesis sobre su contribución a los procesos de recuperación del suelo del bosque húmedo.

El estudio se realizó en tres bosques de distintos

periodos de sucesión (maduro, > 80 años de edad, y secundario, 15 - 45 años de edad). Los sitios fueron: 1) la Estación Experimental Pastaza de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) localizado en la provincia de Pastaza, cantón Pastaza, con un área de 180 ha, 2) la estación de la Fundación Wong ubicada en Río Palenque en la provincia de Los Ríos, cantón Buena Fe, con un área de 115 ha, y 3) la propiedad de la empresa Incinerox - Shushufindi perteneciente a la comunidad de Victoria, provincia de Sucumbíos, cantón Shushufindi, sector Pozo Seco, con una área 100 ha (Figura 1). En cada bosque se seleccionaron tres árboles del género *Cecropia* como unidades de muestreo. Se determinaron las características del suelo de una calicata ubicada debajo de cada árbol y de las hojas frescas y descompuestas de la hojarasca de *Cecropia* recogidas en una circunferencia de 5 m de radio alrededor del árbol, lugar donde se acumula la mayor cantidad de hojarasca (Uriarte *et al.* 2015). Se clasificaron las hojas por el color (verde o café oscuro en hojas frescas y café claro o gris en hojas descompuestas) y la forma (intacta, en hojas frescas, y perforada, en hojas descompuestas).



Figura 1. Mapa de la ubicación en Ecuador de los tres sitios de estudio, cada uno con bosque maduro y secundario.

Figure 1. Map showing location of the three study sites in Ecuador, each with mature and secondary forest.

Se describieron las características físicas del suelo bajo los árboles seleccionados en cuanto a: color, textura, perfiles presentes, dimensiones de cada horizonte. En el laboratorio se obtuvo una muestra compuesta de cada horizonte, juntando las tres muestras recolectadas en el campo con su respectiva identificación. Para determinar

la humedad se utilizó el método del secado a horno (Forsythe 1975). Para la densidad aparente se utilizó el método del cilindro biselado (Quichán *et al.* 2015). El contenido de carbono se determinó en base al método de pérdida de peso por ignición o calcinación (Eyherabide *et al.* 2014). Para determinar el contenido total de nitrógeno y fósforo se utilizó el colorímetro y para determinar el contenido total de potasio, calcio y magnesio se usó el espectrofotómetro de absorción atómica en soluciones extractoras de NH_4Cl para potasio y KCl para calcio y magnesio (Salinas & García 1985). Para determinar cambios en las muestras del horizonte O (orgánico) después de procesos de descomposición, en particular para estimar la mineralización de nitrógeno, se incubó una submuestra de suelo humedecido en recipientes plásticos previamente identificados. Estos fueron cerrados con tapas agujereadas para permitir el libre ingreso del oxígeno durante un periodo de 7 d a 25°C . Se repitió el análisis de los componentes nutritivos después de este periodo.

Para la masa específica de la hojarasca se calculó el cociente entre el peso seco y el área de las hojas (Fierro-Brunnenmeister *et al.* 2009). Para determinar el contenido nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio de la hojarasca se prosiguió de la misma manera que para el suelo. Para determinar el área foliar de la hojarasca, cada hoja fue escaneada y luego llevada a una estufa a 65°C por 48 horas, para obtener su peso seco (g). Empleando el software ImageJ (2016) se calculó el área foliar (cm^2). Posteriormente con los datos de área foliar y peso seco se realizó el cálculo del área foliar específica como el área foliar dividida por el peso seco.

Se presentaron todos los resultados en un plano bidimensional (Clustering Disjoint BIPLLOT, Nieto & Galindo 2015). Se utilizó un análisis multivariante (MANOVA) por componentes principales, suma de cuadrados Tipo III, para cuantificar las diferencias en los horizontes O, A y C de los suelos en totales de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, materia orgánica y la relación C/N entre sitios (factor principal, 2 grados de libertad) y entre bosques maduros y secundarios (factor agrupado en sitios, 1 grado de libertad), en un modelo lineal jerárquico (12 grados de libertad para la hipótesis nula asociada con diferencias según el factor principal, 6 con diferencias según el factor agrupado en sitios, 29 grados de libertad del error). Se utilizaron MANOVAs similares

para cuantificar las diferencias en la hojarasca (muestras frescas y descompuestas sumadas, 32 grados de libertad del error) en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, y en área específica (muestras frescas) entre sitios y entre bosques maduros y secundarios. Se evaluó cada diferencia significativa al 5% probabilidad de error Tipo III con la prueba de Tukey. Se utilizó el software de SPSS versión 23 (IBM Corp. 2015).

Los horizontes encontrados fueron: O, A y C con espesores que van de 2 a 13 cm, de 6 a 44 cm, y de 9 a 49 cm respectivamente, la ausencia de horizonte B en la mayoría de las muestras se aduce al bajo grado de intemperismo por factores físicos, químicos y acción microbiana. El único sitio que presentó horizonte B fue Río Palenque en su bosque maduro, con un espesor de 8 a 12 cm.

De acuerdo al MANOVA de los contenidos nutrimentales (Tabla 1), se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres sitios de estudio en los horizontes O, A y C (en casi todos los elementos, en materia orgánica y en la relación C/N). Solo se observaron diferencias estadísticamente significativas para la edad forestal en los horizontes O (en nitrógeno) y A (en potasio). Para la separación de promedios del contenido nutrimental O, A y C, en casi todos los nutrimentos, los sitios Shushifindi y Río Palenque tienen los promedios más altos, a excepción del contenido de materia orgánica, mismo que fue también alto en el sitio Pastaza (Tabla 2). La relación C/N en Pastaza fue muy baja, mucho menor que el umbral en el que la incubación comienza a liberar los residuos de nitrógeno, expresado en el alto nivel de mineralización del horizonte O incubado, debido probablemente al uso intensivo de este sitio con ganado vacuno, pues en la estación experimental Pastaza se realizaron estudios en sistemas silvopastoriles. El estiércol y los desperdicios de alimentación producen este efecto en la capa orgánica de los suelos, que persiste por varios años (Follett *et al.* 1987); se corresponde con los resultados obtenidos por Uriarte *et al.* (2015) en Puerto Rico. Aunque el contenido de fósforo es similar en los horizontes O y A, en el horizonte C del sitio Pastaza es mayor, por lo que no hay que descartar el hecho de que la disponibilidad de fósforo puede constituir un limitante en suelos de origen volcánico, puesto que reduce la capacidad de almacenamiento de carbono (Holl 1999).

Tabla 1. MANOVAs del contenido nutrimental para los horizontes O (antes y después de descomposición), A y C de los suelos de los bosques húmedos tropicales del Ecuador en tres sitios de estudio (factor principal) en dos edades forestales (factor agrupado en sitios, bosques maduros y secundarios).**Table 1.** MANOVAs of the nutrient content for O (before and after mineralization), A and C horizons of soils in wet tropical forests of Ecuador in three study sites (main factor) and two forest stages (nested factor within sites, mature and secondary forest).

Fuentes de variación y variables dependientes	Horizonte O		Horizonte O incubado		Horizonte A		Horizonte C	
	F	P	F	P	F	P	F	P
Factor principal: sitio								
Nitrógeno (kg/ha)	24,7	< 0,001	25,4	< 0,001	5,8	0,01	7,1	0,001
Fosforo (kg/ha)	6,0	0,01	53,6	< 0,001	2,1	0,16	0,7	0,50
Potasio (kg/ha)	2,9	0,09	3,1	0,08	2,5	0,12	6,8	0,01
Magnesio (kg/ha)	3,5	0,06	28,4	< 0,001	12,7	0,001	11,3	0,001
Materia orgánica (t/ha)	7,9	0,01	17,7	< 0,001	5,1	0,02	6,2	0,01
Relación C/N	25,2	< 0,001	59,9	< 0,001	4,1	0,04	12,3	0,001
	131,3	< 0,001	11,5	0,001	35,4	< 0,001	22,9	< 0,001
Factor agrupado en sitios: edad forestal								
Nitrógeno (kg/ha)	3,6	0,04	1,9	0,18	3,1	0,06	2,4	0,12
Fosforo (kg/ha)	6,7	0,02	12,3	0,004	0,6	0,47	0,3	0,59
Potasio (kg/ha)	1,7	0,21	1,0	0,32	0,2	0,64	5,7	0,03
Magnesio (kg/ha)	4,6	0,05	0,1	0,72	18,9	0,001	6,2	0,03
Materia orgánica (t/ha)	1,5	0,70	2,1	0,16	0,5	0,50	3,9	0,07
Relación C/N	1,8	0,20	0,1	0,71	1,4	0,25	1,1	0,32
	1,7	0,21	0,1	0,72	0,0	0,93	0,2	0,66

Tabla 2. Diferencias significativas del contenido nutrimental de los suelos según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). Promedios de seis muestras \pm error estándar, tres muestras en bosque maduro y tres muestras en bosque secundario; valores con diferentes letras a, b o c corresponden a las diferencias significativas.

Table 2. Significant differences in the nutrient content of the soils according to the Tukey test at 5% ($\alpha = 0.05$). Averages of six samples \pm standard error, three samples in mature forest and three in secondary forest; values with different letters (a, b or c) correspond to significant differences.

Variables dependientes	Sitios de estudio	Horizonte del suelo			
		O	O incubado	A	C
Nitrógeno (kg/ha)	Pastaza	^a 23 \pm 1 *	^a 58 \pm 4		
	Rio Palenque	^a 23 \pm 1	^b 23 \pm 2		
	Shushufindi	^b 32 \pm 5	^c 34 \pm 5		
Fosforo (kg/ha)	Pastaza				^a 36 \pm 3
	Rio Palenque				^b 21 \pm 4
	Shushufindi				^{a,b} 26 \pm 3
Potasio (kg/ha)	Pastaza		^a 1551 \pm 139	^a 950 \pm 185	^a 954 \pm 192
	Rio Palenque		^b 760 \pm 101	^b 1391 \pm 222	^b 1472 \pm 108
	Shushufindi		^a 1766 \pm 61	^b 1710 \pm 81	^b 1724 \pm 96
Magnesio (kg/ha)	Pastaza	^a 834 \pm 342	^a 1628 \pm 71	^a 882 \pm 373	^a 848 \pm 362
	Rio Palenque	^b 1864 \pm 89	^b 704 \pm 83	^b 1816 \pm 97	^{a,b} 1580 \pm 80
	Shushufindi	^b 2248 \pm 323	^a 2172 \pm 330	^b 1872 \pm 249	^b 1843 \pm 157
Materia orgánica (t/ha)	Pastaza	^a 85 \pm 4	^a 110 \pm 3	^{a,b} 119 \pm 13	^a 109 \pm 3
	Rio Palenque	^a 103 \pm 6	^b 74 \pm 5	^a 84 \pm 9	^b 74 \pm 2
	Shushufindi	^b 150 \pm 11	^c 136 \pm 4	^b 125 \pm 14	^a 99 \pm 10
Relación C/N	Pastaza	^a 1,2 \pm 0,2	^a 20 \pm 2	^a 2,5 \pm 0,1	^a 2,8 \pm 0,2
	Rio Palenque	^b 22 \pm 2	^b 14 \pm 2	^b 40 \pm 6	^b 41 \pm 5
	Shushufindi	^b 25 \pm 2	^a 24 \pm 1	^b 35 \pm 3	^b 34 \pm 7

En las concentraciones de nutrientes en cada horizonte del bosque maduro, hay generalmente tres veces o más variación entre los sitios de estudio que en un sitio bajo diferentes árboles; esta diferencia es menor en bosque secundario (Tabla 3). Por lo tanto, la variación es mucho más homogénea en los suelos de los bosques secundarios. También la relación entre sitios y entre edades forestales es menor para materia orgánica y C/N que para los nutrientes, pero se observó siempre mayores variaciones entre sitios que entre bosque maduro y secundario.

En relación al contenido nutrimental de hojas secas y descompuestas, se encontraron diferencias estadísticas entre sitios para nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, no así para calcio (Tabla 4). No se presentaron diferencias significativas para edad forestal, lo que coincide con los resultados obtenidos por McNabb *et al.* (1997) y Uriarte *et al.* (2015) en otros estudios con *Cecropia*. El bosque secundario en general tiene hojas más suaves con altos niveles de nitrógeno (Tabla 5), lo que concuerda con lo señalado por Grime *et al.* (1996). Al menos, en un 10% el bosque maduro es superior al bosque secundario en cuanto a dureza de las hojas, debido a que los bosques

maduros tienen mayor tiempo de vida y los secundarios se encuentran en proceso de desarrollo y restablecimiento del bosque. El hecho de que la contribución de la hojarasca en magnesio no era igual en todos los tres sitios de estudio probablemente puede obedecer a que las especies de *Cecropia* se comportaron de una manera diferente de acuerdo a la región y altitud.

Los sitios de muestreo se clasificaron correctamente en el plano bidimensional, así con respecto al eje 1, el sitio Shushufindi se caracterizó por presentar valores altos en potasio, magnesio, materia orgánica y nitrógeno (Figura 2). Con relación al eje 2, el sitio Río Palenque presentó valores altos para la relación C/N del suelo y área específica de las hojas frescas de *Cecropia*, el sitio Pastaza en materia orgánica, fósforo y humedad. En cuanto al contenido nutrimental de las hojas, se observó en el eje 1, que el sitio Shushufindi presentó valores altos en magnesio en hojas frescas y descompuesta, nitrógeno y potasio en hojas frescas. En Río Palenque una mayor área específica en las hojas de *Cecropia* está asociada con bajos porcentajes de humedad, mientras que en Pastaza el mayor porcentaje de humedad en el suelo está asociado con una baja área específica en las hojas.

Tabla 3. Coeficientes de variación (%) entre tres sitios de estudio (Pastaza, Río Palenque y Shushufindi) y promedios de los coeficientes de variación entre tres lugares de muestreo en cada de los tres sitios, en el análisis de los suelos en base a sus horizontes y de la hojarasca fresca y descompuesta de *Cecropia* en bosques maduros y secundarios de la zona húmeda tropical del Ecuador.

Table 3. Coefficients of variation (%) for three study sites (Pastaza, Río Palenque y Shushufindi) and means of the coefficients of variation for three sampling locations in each of the three sites, from the analysis of soils by horizon and of fresh and decomposed *Cecropia* leaf litter in mature and secondary forests of the wet tropical zone of Ecuador.

	N	P	K	Ca	Mg	Materia orgánica	C/N	Humedad	Área específica
Bosques maduros									
Horizonte O	35; 12	17; 12	39; 26		81; 11	34; 13	82; 30	37; 7	
O incubado	46; 17	24; 16	43; 26		66; 21	24; 10			
Horizonte A	11; 19	35; 14	49; 20		81; 9	32; 23	78; 22	45; 5	
Horizonte C	14; 24	39; 13	48; 16		83; 6	17; 13	90; 46	34; 4	
Hojarasca fresca	44; 16	59; 21	67; 24	44; 45	138; 30				15; 12
Hojarasca descompuesta	130; 17	48; 17	100; 12	84; 36	130; 15				
Bosques secundarios									
Horizonte O	4; 8	11; 24	19; 12		12; 10	32; 13	80; 13	32; 7	
O incubado	48; 11	35; 29	36; 14		35; 13	34; 9			
Horizonte A	14; 14	24; 34	19; 13		14; 12	16; 12	80; 20	41; 6	
Horizonte C	11; 18	19; 29	14; 16		4; 9	23; 8	78; 10	47; 9	
Hojarasca fresca	42; 13	36; 12	63; 14	88; 37	144; 70				24; 16
Hojarasca descompuesta	132; 8	44; 10	99; 14	104; 35	126; 11				

Tabla 4. MANOVAs y diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$) del contenido nutrimental y área específica de la hojarasca de *Cecropia* en tres sitios de estudio (factor principal) en dos edades forestales (factor agrupado en sitios, bosques maduros y secundarios). Valores con diferentes letras a, b o c corresponden a las diferencias significativas.

Table 4. MANOVAs and significant differences according to the Tukey test ($\alpha = 0.05$) in the nutrient content and specific area of *Cecropia* leaf litter in three study sites (main factor) and two forest stages (nested factor within sites, mature and secondary forest). Values with different letters (a, b or c) correspond to significant differences.

Fuentes de variación y variables dependientes	Factor agrupado en sitios: edad forestal (F = 1,4; p = 0,30)		Factor principal: sitio (F = 26,2; p < 0,001)		Pastaza	Río Palenque	Shushufindi
	F	p	F	p			
	Nitrógeno (g/kg)	0,3	0,57	5,8			
Fosforo (g/kg)	0,5	0,49	56,4	< 0,001	^a 5,6 ± 0,3	^b 4,3 ± 0,2	^c 2,1 ± 0,1
Potasio (g/kg)	2,9	0,11	38,6	< 0,001	^a 24 ± 1	^b 60 ± 5	^c 35 ± 3
Calcio (g/kg)	2,5	0,14	1,5	0,25			
Magnesio (g/kg)	1,4	0,26	50,9	< 0,001	^a 1,7 ± 0,1	^a 1,2 ± 0,1	^b 14,1 ± 1,6
Área específica (cm ² /g)	1,7	0,21	7,8	0,01	^a 66 ± 4	^b 102 ± 4	^a 78 ± 9

Como conclusiones del estudio: 1) El bosque secundario con *Cecropia*, tiende a estabilizar la mayoría de los contenidos nutritivos, conforme se acerca a la edad de bosque maduro; por lo que la recuperación de las funciones de un bosque maduro se atribuye directamente a la presencia de hojarasca de este árbol pionero; 2) La presencia

de una menor variabilidad entre bosques maduros y secundarios para las características nutrimentales tanto del suelo como de la hojarasca implica que después de 15 o más años de sucesión secundaria las características funcionales del bosque secundario son similares a las que caracterizaban a un bosque maduro.

Tabla 5. Contenidos nutritivos y características de los suelos en base a sus horizontes, y a hojarasca fresca y descompuesta de *Cecropia* en bosques (maduros y secundarios de la zona húmeda tropical del Ecuador (promedios de tres sitios \pm error estándar). Concentraciones de nutrientes en suelos (N, P, K, Mg) en unidades de kg/ha; para hojarasca (N, P, K, Ca, Mg) en g/kg.

Table 5. Nutrient content and characteristics of the soils according to horizon, and overlying fresh and decomposed *Cecropia* leaf litter in mature and secondary forests of the wet tropical zone of Ecuador (mean for three sites \pm standard error). Concentrations of soil nutrients (N, P, K, Mg) in units of kg/ha and for leaf litter (N, P, K, Ca, Mg) in units of g/kg.

	N	P	K	Ca	Mg	Materia orgánica (t/ha)	Carbono acumulado (t/ha)	C/N	Humedad (%)	Área específica (cm ² /g)
Bosques maduros										
Horizonte O	29,2 \pm 7,3	50,2 \pm 5,9	1462 \pm 406		1400 \pm 798	111 \pm 27	64 \pm 12	16 \pm 9	45 \pm 12	
O incubado	43,3 \pm 14,2	45,8 \pm 7,6	1338 \pm 403		1651 \pm 765	107 \pm 18		20 \pm 2		
Horizonte A	14,2 \pm 1,1	29,6 \pm 7,4	1082 \pm 373		1425 \pm 817	102 \pm 23	59 \pm 13	26 \pm 14	34 \pm 11	
Horizonte C	11,3 \pm 1,1	23,6 \pm 6,4	1242 \pm 424		1247 \pm 736	89 \pm 11	52 \pm 6	23 \pm 15	35 \pm 8	
Hojarasca fresca	13,8 \pm 4,3	2,2 \pm 0,9	29 \pm 14	17 \pm 5	3,2 \pm 3,1					88 \pm 9
Hojarasca descompuesta	3,2 \pm 2,9	1,7 \pm 0,6	7 \pm 5	15 \pm 9	3,2 \pm 2,9					
Bosques secundarios										
Horizonte O	22,6 \pm 0,6	44,5 \pm 3,4	1890 \pm 251		1707 \pm 144	118 \pm 26	68 \pm 15	17 \pm 9	43 \pm 10	
O incubado	33,5 \pm 11,3	39,7 \pm 9,9	1380 \pm 347		1352 \pm 334	106 \pm 26		19 \pm 5		
Horizonte A	15,1 \pm 1,5	31,0 \pm 5,2	1619 \pm 215		1621 \pm 159	117 \pm 13	68 \pm 7	26 \pm 15	36 \pm 11	
Horizonte C	10,5 \pm 0,8	31,4 \pm 4,2	1534 \pm 147		1637 \pm 49	97 \pm 16	56 \pm 9	27 \pm 15	32 \pm 11	
Hojarasca fresca	14,5 \pm 4,3	2,3 \pm 0,6	35 \pm 16	27 \pm 17	3,2 \pm 3,2					75 \pm 13
Hojarasca descompuesta	3,3 \pm 3,1	1,8 \pm 0,6	7 \pm 5	16 \pm 12	3,2 \pm 2,8					

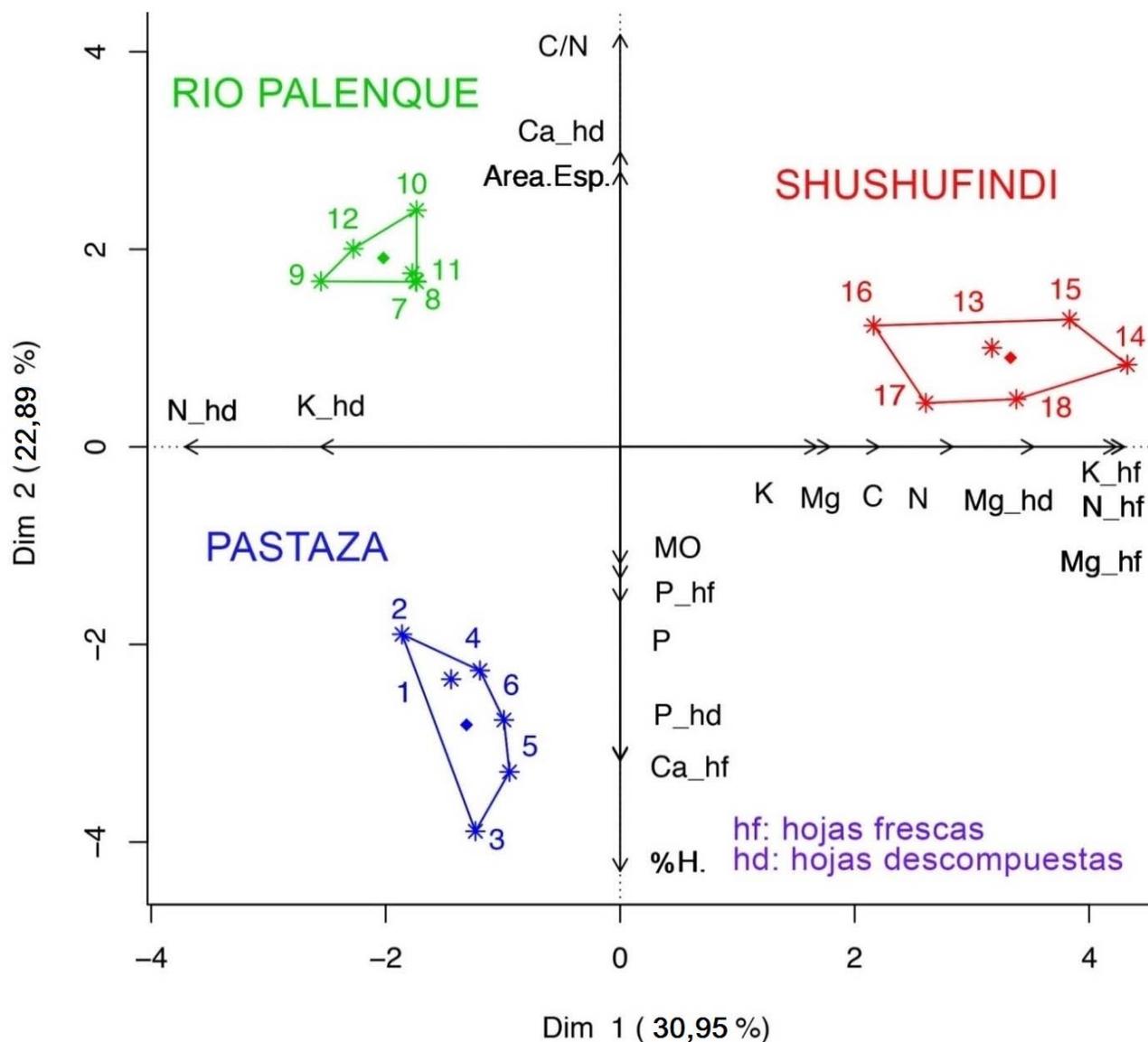


Figura 2. Relaciones entre componentes nutritivos del suelo y de la hojarasca de *Cecropia*, y el área específica de las hojas frescas de *Cecropia*, en los bosques húmedos tropicales del Ecuador. Las muestras 1-6 pertenecen a Pastaza, 7-12 a Río Palenque y 13-18 a Shushufindi, tres sitios de estudio.

Figure 2. Relationships between nutrient content of soils and *Cecropia* leaf litter, and the specific area of fresh *Cecropia* leaves, in wet tropical forests of Ecuador. Samples 1-6 belong to Pastaza, 7-12 to Río Palenque and 13-18 to Shushufindi, the three study sites.

AGRADECIMIENTOS

Damos las gracias al apoyo de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) – Facultad de Recursos Naturales, Universidad de Lakehead y al Gobierno de Canadá – Programa Discovery de la Fundación de Investigación en Ciencias Naturales e Ingeniería NSERC-CRSNG por el aporte económico. También un grato agradecimiento al Ing. Jorge Caranqui y al Ing. Franklin Arcos en la Escuela de Ingeniería Agronómica de la ESPOCH – Riobamba.

REFERENCIAS

- Berg, C. C., Rosselli, P. F., & Davidson, D. W. 2005. *Cecropia*. Flora Neotropica. Botanical Garden Press, New York, N.Y. 94, 1-230.
- Brady, N. C. 1990. The nature and properties of soils, 10th ed. New York, NY: Macmillan: p. 621.
- Buol, S. 1994. Environmental consequences: soils. In: W. Meyer & B. Turner (Eds.), Changes in land use and land cover: a

- global perspective. pp. 211-229. Cambridge: Cambridge University Press.
- Eyherabide, M., Saíenz-Rozas, H., Barbieri, P., & Echeverría, H. 2014. Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia del Suelo*, 32(1), 13-19.
- Feldpausch, T. R., Couto, E. G., Rodrigues, L. C., Pauletto, D., Johnson, M. S., Fahey, T. J., Lehmann, J., & Riha, S. J. 2010. Nitrogen above ground turnover and soil stocks to 8 m depth in primary and selectively logged forest in southern Amazonia. *Global Change Biology*, 16(6), 1793-1805. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.02068.x
- Fierro-Brunnenmeister, N., Gonzales-Muñoz, N., Castro-Díez, P., & Gallardo, A. 2009. Efectos de la descomposición de hojarasca de especies nativas e invasoras en las propiedades del suelo. In: S.E.C.F.-Junta de Castilla-León y Ávila (Eds.). España: Actas 5º Congreso Forestal Español, 21 y 25 de septiembre de 2009.
- Follett, R. F., Gupta, S. C., & Hunt, P. G. 1987. Conservation practices: relation to the management of plant nutrients for crop production. In: Soil fertility and organic matter as critical components of production systems. pp. 19-51. Madison, WI: Soil Science Society of America Special Publication No. 19.
- Forsythe, W. 1975. Física de suelos: manual de laboratorio, vol. 25. San José, Costa Rica: IICA.
- Gentry, A. 1990. La región amazónica. In: B. Villegas (Ed.), Selva húmeda de Colombia. pp. 53-64. Bogotá: Villegas editores.
- Grime, J., Cornelissen, J., Thompson, K., & Hodgson, J. 1996. Evidence of a causal connection between anti-herbivore defense and the decomposition rate of leaves. *Oikos*, 77, 489-494. DOI: 10.2307/3545938
- Guariguata, M. R., & Ostertag, R. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* 148(1), 185-206. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00535-1
- Heartsill Scalley, T., Scatena, F. N., Lugo, A. E., Moya, S., & Estrada Ruiz, C. R. 2010. Changes in structure, composition, and nutrients during 15 years of hurricane-induced succession in a subtropical wet forest in Puerto Rico. *Biotropica*, 42, 455-463. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2009.00609.x
- Holl, K. D. 1999. Limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: seed rain, seed germination, microclimate, and soil. *Biotropica*, 31, 229-242. DOI: 10.2307/2663786
- IBM Corp. 2015. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 23. Armonk, NY.
- ImageJ. 2016. An open platform for scientific image analysis. imagej.net.
- McNabb, K. L., Miller, M. S., Lockaby, B. G., Stokes, B. J., Clawson, R. G., Stanturf, J. A., & Silva, J. N. M. 1997. Selection harvests in Amazonian rainforests: long-term impacts on soil properties. *Forest Ecology and Management*, 93(1-2), 153-160. DOI: 10.1016/S0378-1127(96)03921-7
- Nieto, A. B., & Galindo, M. P. 2015. biplotbootGUI: Bootstrap on classical biplots and clustering disjoint biplot. Retrieved July 11, 2016, from cran.r-project.org/web/packages/biplotbootGUI
- Quichán, S., Esquercia, W., Martínez, R. M., Lui, E., Mazzieri, J., & Simón, M. R. 2015. Riego por aspersión en la Norpatagonia y su efecto sobre las propiedades del suelo en los nuevos emprendimientos de regadíos. *Revista Pilquen. Sección Agronomía*, 15(1), 1-10.
- Reiners, W. A., Bouwman, A. F., Parsons, W. F. J., & Keller, M. 1994. Tropical rain forest conversion to pasture: Changes in vegetation and soil properties. *Ecological Applications*, 4(2), 363-377. DOI: 10.2307/1941940
- Salinas, J., & García, R. 1985. Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Cali, Colombia: CIAT.
- Uriarte, M., Turner, B. L., Thompson, J., & Zimmerman, J. K. 2015. Linking spatial patterns of leaf litterfall and soil nutrients in a tropical forest: a neighborhood approach. *Ecological Applications* 25(7), 2022-2034. DOI: 10.1890/15-0112.1
- Weaver, P. L., Birdsey, R. A., & Lugo, A. E. 1987. Soil organic matter in secondary forests of Puerto Rico. *Biotropica*, 19, 17-23. DOI: 10.2307/2388455

Presentado en: 14 Septiembre 2014

Aceptado en: 15 Diciembre 2016