



07

Estudio comparativo de la estructura elemental de materia orgánica de suelo y mantillo cultivados de cacao en El Oro, Ecuador

Comparative study of the elemental structure of organic matter of soil and mulch grown from cocoa in El Oro, Ecuador

MSc. Salomón Barrezueta Unda¹
E-mail: sabarrezueta@utmachala.edu.ec

Dr. C. Antonio Paz Gonzalez²

¹ Universidad Técnica de Machala. República del Ecuador.

² Universidad de La Coruña. España.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Barrezueta-Unda, S., Paz-González, A. (2017). Estudio comparativo de la estructura elemental de materia orgánica de suelo y mantillo cultivados de cacao en El Oro, Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 5(1-Ext), 54-62. Recuperado de <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>

RESUMEN

La materia orgánica, más abundante en los sistemas agroforestales, es productora de la asociación de cultivos perennes con especies arbóreas, modelo que genera una mayor cantidad de biomasa, expresada mayormente por el mantillo, que es superior a la que se produce en los sistemas de monocultivo. El objetivo de este estudio es comparar las ratios de carbono, nitrógeno, hidrógeno oxígeno y azufre y de la relación carbono/nitrógeno en suelo y mantillo de cultivos de cacao. Los porcentajes de carbono, nitrógeno, hidrógeno oxígeno y azufre, se determinaron por vía seca en un analizador elemental. Para evaluar las condiciones de fertilidad del suelo se analizaron las propiedades arcilla, limo y arena, relación carbono/nitrógeno, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y suma de bases. Las propiedades del suelo mostraron heterogeneidad que se ajusta a las condiciones mínimas para el cultivo de cacao. Las proporciones del análisis elemental fueron superiores en mantillo, con respecto al suelo. Solo se encontró diferencia estadística en la relación carbono/nitrógeno del suelo y de nitrógeno en el mantillo ($p < 0,001$). Se concluye que existe una moderada liberación de nitrógeno en suelo, y que los elementos estudiados son susceptibles al tipo de manejo agronómico.

Palabras clave:

Alfisol, entisol, inceptisol, análisis elemental, ratio.

ABSTRACT

Organic matter, more abundant in agroforestry systems, is a producer of the association of perennial crops with tree species, a model that generates a greater amount of biomass, expressed mainly by the mulch, which is higher than that produced in the systems of monoculture. The objective of this study is to compare the ratios of carbon, nitrogen, hydrogen oxygen and sulfur and the carbon / nitrogen ratio in soil and mulch of cocoa crops. The percentages of carbon, nitrogen, hydrogen, oxygen and sulfur were determined by dry route in an elemental analyzer. To evaluate soil fertility conditions, clay, silt and sand properties, carbon / nitrogen ratio, hydrogen potential, electrical conductivity, cation exchange capacity and sum of bases were analyzed. The soil properties showed heterogeneity that is adjusted to the minimum conditions for the cultivation of cocoa. The proportions of elemental analysis were higher in mulch, with respect to soil. Only statistical difference was found in the carbon / nitrogen ratio of soil and nitrogen in the mulch ($p < 0.001$). It is concluded that there is a moderate release of nitrogen in soil, and that the elements studied are susceptible to the type of agronomic management.

Keywords:

Alfisol, entisol, inceptisol, elemental analysis, ratio.

INTRODUCCIÓN

El contenido de la materia orgánica (MO) en el suelo, está conformado por todos los residuos de plantas, animales superiores y de origen microbiano, los cuales están constituidos por carbono (C), nitrógeno (N), hidrógeno (H), oxígeno (O) y azufre (S), cuyas proporciones influyen en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Urquiaga et al, 2016). A pesar de que las plantas no requieren de la MO como tal para su crecimiento y desarrollo, esta se relaciona con su estructura elemental (carbono, nitrógeno, hidrógeno, oxígeno y azufre: CNHOS) y con la fertilidad de los suelos (Schroth, Vsnisuwe, & Lehmann, 2003).

En este contexto es conveniente estudiar los sistemas agroforestales (SAF) por su abundancia de MO, productora de la asociación de cultivos perennes con especies arbóreas (maderables y frutales), modelo que genera una mayor cantidad de biomasa expresada en su mayoría por el mantillo, que es superior a la que se produce en los sistemas de monocultivo (SMO).

Un ejemplo de la cantidad de biomasa que es transformada en MO, es la que aporta una hectárea de cacao en un SAF que ubicado entre 7 a 10 megagramos (Mg) ha^{-1} anual, en relación a un SMO, que es de 4 a 5 Mg ha^{-1} anual, a lo que se agrega una baja fertilidad natural de este sistema por los niveles bajos de MO (Villegas-Cáceres, 2008).

Conocer el balance adecuado de CNHOS entre suelo y planta es fundamental en el ciclo nutricional de un cultivo, como lo expone Hartemink (2005) respecto al cacao (Figura 1), el cual debe disponer al año aproximadamente de 60 gramos (g) de N y 82 g de azufre (en forma de SO_4), entre otros elementos, para producir alrededor de 1 Mg de cacao seco; macronutrientes que se pierden en algunos casos por lixiviación en el suelo, o por la extracción de la biomasa y que deben ser restituidos, teniendo en cuenta que el número de árboles de cacao varía de 666 a 1100 plantas ha^{-1} .

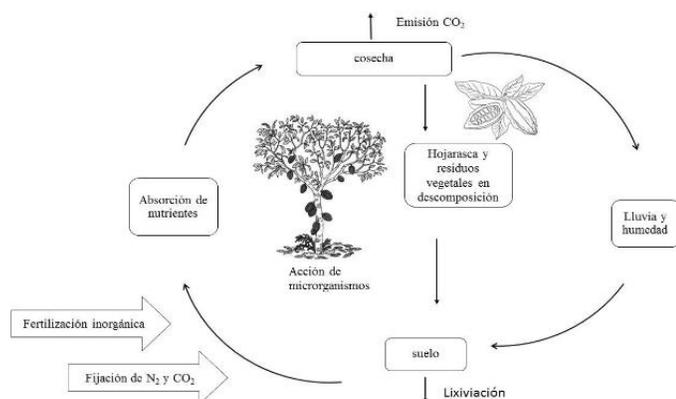


Figura 1. Ciclo nutricional del cacao y su interacción con el medio. Fuente: Hartemink (2005).

En el caso del SAF del cacao nacional ecuatoriano, este es un prestador de servicios ecosistémicos por su alta producción de biomasa (López-Baez, Ramírez-González, Espinosa-Zaragoza, Villarreal-Fuentes, & Wong-Villarreal, 2015), ya que su capacidad para almacenar carbono varía entre 75,7 a 120,9 Mg ha^{-1} (Jadán, Torres, & Günter, 2012). Pero las políticas del sector del cacao desde fines de la década de los 90, se orientan hacia aspectos productivos, lo que ocasiona que estos aportes ecosistémicos no se consideren por falta de investigaciones específicas sobre los aportes de CNHOS del mantillo y de las proporciones de estos elementos en el suelo (Barrezueta-Unda, Prado-Carpio, & Jimbo-Sarmiento, 2017).

Por lo expuesto anteriormente, resulta de interés caracterizar la MO a nivel elemental por vía seca (incineración de la muestra y arrastre por gas inerte); aunque esta técnica no permite identificar en términos absolutos la estructura molecular, se acerca a la forma de la composición general y establece límites en la composición molecular (Fontana, Brito, Pereira, & Loss, 2010). Con el análisis elemental de suelo y mantillo se puede cuantificar el nivel de mineralización del nitrógeno, liberación de CO_2 o tipos de manejos agronómicos (Salgado-Mora, Espinosa-Zaragoza, Moreno-Limón, & López-Olguín, 2009). Este estudio tiene el objetivo de comparar las ratios de CNHOS y de la relación C/N en el mantillo y suelo en cultivos de cacao, en la provincia de El Oro, en sistemas SAF y SMO.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en cuatro municipios de la provincia El Oro, ubicada en la costa sur del Ecuador, entre las coordenadas 3.05°-3.62° de latitud sur y 79.55°-80.06° longitud oeste. La región presenta condiciones climáticas con temperatura promedio de 26,1 °C y precipitación promedio anual de 575,8 mm (Cañadas Cruz, 1983). Los suelos son de origen aluvial de formación lacustre y fluvial con acumulaciones de limo y arena en los primeros 30 centímetros, con predominio de los órdenes inceptisol, alfisol y entisol. La vegetación circundante es de tipo herbácea (banano) con manejo agronómico para fines comerciales (Villaseñor, Chabla, & Luna, 2015).

El trabajo de campo se realizó entre julio y octubre del 2015, conformando 30 muestras de suelo y 25 de hojarasca (nacional=10; CCN51=15). Las 30 muestras de suelo se seleccionaron de forma aleatoria, con una superficie promedio de 2 a 5 ha, en las cuales se delimitaron parcelas de 1 ha, donde se tomaron las muestras por tipo de cacao y sistema

de manejo: para el tipo de cacao nacional, un SAF (n=12) y para el tipo CC51 un SMO (n=18).

El patrón de muestreo para el suelo fue en zigzag, extrayendo submuestras de los primeros 30 cm de profundidad, donde se encuentra el mayor porcentaje de masa radicular del cacao y de los elementos disponibles (Acosta, Rodríguez, Torres, & Herrera, 2014; Hartemink, 2005). De cada submuestra se extrajeron 1000 gr de suelo por parcela. Para analizar el mantillo, fueron recogidos 1000 gr de hojarasca por parcela, de debajo de los mismos árboles de donde se tomaron las submuestras de suelo.

El análisis elemental de CNHOS para suelo y mantillo, se realizó en las instalaciones del Servicio de Apoyo a la Investigación de la Universidad de La Coruña, España. Este consistió en oxidar la muestra mediante una combustión instantánea en una columna cromatografía, donde los gases resultantes fueron transportados mediante un gas portador (helio) a un horno de reducción, donde fueron separados en un detector de conductividad térmica que los cuantificó. Para medir el oxígeno se restó de 100% la sumatoria de los elementos determinados.

El equipo utilizado fue un analizador elemental modelo FlashEA1112, marca Thermo Finnigan, con dispensador MAS200 para 100 muestras, bajo las siguientes condiciones analíticas: Ta oxidación 1020 °C, Ta reducción 650 °C, Ta GC 60 °C; columna, Porapak 2 m, flujo Helio portador 100 ml/min, presión oxígeno 100 Kpa (SAI, 2011).

Relación carbono-nitrógeno (C/N)

La relación C/N indica el ritmo de mineralización de la MO, es decir, su capacidad de nitrificación, y se obtiene al dividir el porcentaje de C orgánico para el N. Para su interpretación se tomaron valores <10 de excesiva liberación de N y >15 de escasa de escasa liberación de N.

Análisis complementario

Para caracterizar los suelos se realizaron las siguientes determinaciones: porcentajes de arena, limo y arcilla por el método de Bouyucos modificado por USDA-NRCS (2014); capacidad de intercambio catiónico (CIC) (meq/100ml) por acetato de amonio (CH₃COONH₄) 1N pH 7 y CE (dS/cm), a partir

de pasta saturada con agua y lectura en conductímetro, diagnósticos realizados en el Laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Machala. La determinación de pH (potencial de hidrogeno) con potenciómetro usando una relación suelo/agua de 1:2,5, MO (%) por Wlakley Black, el P (ppm) por Olsen modificado a pH 8,5, suma de bases cambiables (Σ bases-meq/100ml), con la extracción de CH₃COONH₄ 1N pH 7 de la pasta saturada de suelo leída en el espectrofotómetro en los laboratorios de Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigación Agraria del Ecuador.

Proceso estadístico

Se conformaron dos análisis, el primero en función del orden de suelo, y el segundo por tipo de cacao (Nacional y CCN51). Para ello se realizó un análisis exploratorio de datos para conocer los valores de tendencia central, variabilidad de las muestras y normalidad de los datos. Luego se aplicó la matriz de correlación de Pearson para conocer variables $r \geq 0,6$ que expliquen el grado de agrupación (Doukas, Papadopoulou, Savvakis, Tsoutsos & Psarras, 2012). Para establecer diferencia estadística se aplicó un análisis de varianza ($p \leq 0,05$) con la prueba HDS Tukey al 5% para los órdenes de suelo y una prueba *t* de muestras independientes entre los resultados del análisis elemental del mantillo (Ghaemi, Astaraei, Emami, Mahalati, & Sanaeinejad, 2014; Vasu et al, 2016). Para almacenar y procesar los datos se empleó el software SPSS versión 22, 2013.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las propiedades físicas del suelo se expresaron en forma asimétrica positiva <0, mientras que la medida de apuntalamiento en arcilla y limo presentó curtosis negativa cercana a cero. Por lo que se asume normalidad de los datos (Tabla 1).

Las proporciones de arena (38,32%±13,99) y limo (34,02%±11,69) obtenidas en el estudio, son las adecuadas para el cultivo del cacao en los primeros 30 cm del suelo, como lo expresó Arévalo-Gardini et al (2015), a pesar que investigaciones realizadas en Nigeria, en suelos con porcentajes altos en arena (>76,1%), mantuvieron contenidos altos de MO (>5%), debido el constante suministro de biomasa aérea de la planta y a un manejo SAF.

Tabla 1. Resumen descriptivo de propiedades físicas de suelos (n=30).

Variables	□	DS(±)	Min	Máx	Asimetría	Curtosis
Arcilla (%)	27,66	11,19	9,30	52,60	0,356	-0,487
Limo (%)	34,02	11,69	14,70	61,40	0,434	-0,110
Arena (%)	38,32	13,99	16,00	72,00	0,690	0,826

Leyenda: □(media); Min (Mínimo); Max (Máximo); DS (Desviación estándar).

Las propiedades químicas pH y Σ bases (Tabla 2) presentaron asimetría negativa con valores $\leq -0,21$ y curtosis negativa junto con CIC (registros $\leq -1,18$), lo que produjo una curva leptocúrtica que indicó normalidad en la distribución de datos. En P la asimetría fue cercana a 3 y la curtosis fue positiva (7,69), la más alta entre las variables en estudio, lo que expresó la mayor variabilidad de rangos, de 1 a 225 ppm, resultado que no demuestra normalidad respecto a esta propiedad. La media de MO fue de 3,38%, que se considera moderada, con rangos extremos de 1,30 a 8,40 %, niveles asociados al manejo agronómico y heterogeneidad de las proporciones granulométricas. La media de pH (6,90) indicó suelos neutros, pero con rangos de 4,80 (fuertemente ácido) y 8,52 (básico). La baja CE (0,15 dS/cm)

reveló la baja salinidad del suelo, con valores de CIC (30,51 meq/100ml) superiores al nivel óptimo (19,35 meq/100ml) para este cultivo (Puentes-Páramo, Menjivar-Flores, Gómez-Carabalí, & Aranzazu-Hernández, 2014), y Σ bases (meq/100ml) que indicó moderada fertilidad (Hartemink, 2005).

Los valores obtenidos son los adecuados para el cultivo del cacao, a pesar de lo heterogéneo de las propiedades del suelo, variabilidad atribuida al manejo de las fincas seleccionadas, que pudo incidir en la alta variabilidad del P, como lo expresaron Udoh, Henry, & Akpan, (2011) y Medina, de Jong van Lier, García, & Ruiz, (2017), que obtuvieron igualmente alta variabilidad en macro y micronutrientes en suelos cultivados con cacao, en Nigeria y Cuba, respetivamente.

Tabla 2. Resumen descriptivo de las propiedades químicas del suelo (n=30).

Variable2		DS (\pm)	Min	Máx	Asimetría	Curtosis
MO (%)	3,38	1,86	1,30	8,40	1,38	1,19
pH (1:1,2)	6,90	0,93	4,86	8,57	-0,11	-0,73
CE (dS/cm)	0,15	0,06	0,07	0,32	0,93	1,09
CIC (meq/100ml)	30,51	12,30	6,60	52,20	0,11	-0,73
P (ppm)	34,49	55,99	1,00	225,00	2,80	7,69
Σ bases (meq/100ml)	31,47	13,90	7,62	51,20	-0,21	-1,17

Leyenda: \square (media); Min (mínimo); Max (máximo); DS (desviación estándar); CE (conductividad eléctrica); CIC (capacidad de intercambio catiónico); pH (potencial de hidrógeno); P (fósforo); Σ bases (suma de bases).

Los valores descriptivos del análisis elemental (Tabla 3) presentaron asimetría positiva en N, C y C/N en suelo. En el mantillo, los valores de O y S fueron >1 y $<1,5$ con media de apuntalamiento mesocúrtica. En el caso de las variables que expresaron asimetría negativa, sólo H y C/N en suelo y N en el mantillo, mostraron curtosis negativa de tipo leptocúrtica, con valores <1 . Todo ello expresó normalidad de los datos.

El C presentó rangos de 0,49% a 4,80%, atribuidos al tipo de cacao CCN51 cultivado sin sombra, con fertilización y riego frecuente, causando en suelos aluviales valores heterogéneos de C (Bolaños, Tapia, Soto, & Filho, 2012; Chabla-Carrillo et al, 2015). En mantillo, el C (37,28% \pm 5,42) mostró un mayor rango (24,10 a 43,06%) que el expresado en suelo, valores que se atribuyeron al estado de descomposición de

las hojarascas, microorganismos descomponedores, diferentes grados de erosión y condiciones climáticas. Esta diferencia entre suelo y mantillo concuerda con los trabajos de Pocomucha & Alegre, (2016), en cultivos de cacao en suelos de textura franco arcilloso.

El O fue el único elemento cuya proporción se incrementó de mantillo (47,77% \pm 5,66) a suelo (97% \pm 1,34), debido a que este elemento no es producto de la descomposición de la hojarasca, sino que se encuentra ocupando los espacios entre las fracciones de arena, limo y arcilla del suelo. En el caso del S, los registros fueron $>0,005$, lo que denota que es un elemento deficitario en los suelos de las costas del Ecuador, como lo expresan Más-Martínez et al, (2015) y Villaseñor, Chabla, & Luna, (2015).

Tabla 3. Resumen descriptivo de CNHOS y C/N en suelos y mantillo cultivados con cacao.

Variables	N	Media	DS (\pm)	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis	
Suelo	C (%)	30	1,85	1,01	0,49	4,80	1,44	1,78
	N (%)	30	0,17	0,08	0,05	0,39	1,24	0,81
	H (%)	30	0,85	0,33	0,15	1,47	-0,09	-0,59
	O (%)	30	97,08	1,34	93,30	99,26	-1,21	1,59
	S (%)	30	$<0,05$	-	-	-	-	-
	C/N	30	10,56	1,00	8,60	12,71	0,19	-0,41
Mantillo	C (%)	25	37,28	5,42	24,10	43,06	-1,12	0,38
	N (%)	25	1,46	0,28	1,01	1,99	-0,02	-0,85
	H (%)	25	4,58	0,65	3,11	5,31	-1,07	0,07
	O (%)	25	47,77	5,66	40,08	61,86	0,96	0,27
	S (%)	25	0,10	0,03	0,05	0,18	1,08	1,62

Leyenda: DS \pm (desviación estándar).

El orden entisol presentó valores para N (0,19%±0,11) y C (2,12%±1,39) superiores a los determinados para alfisol e inceptisol; mientras que los ratios de H y O mostraron poca diferencia (alfisol=97,28%±1,18; entisol=96,78%±1,90 e inceptisol=97,15%±0,98). El test de Levene no indicó $p \leq 0,05$ (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de varianza para CNHOS en suelos cultivados con cacao.

Elemento	Orden	N	Media	DS(±)	Test de Levene		F	Sig. 0,05
					estadístico	Sig.		
N	Alfisol	9	0,16	0,07	0,713	0,499	0,237	0,740
	Entisol	9	0,19	0,11				
	Inceptisol	12	0,17	0,07				
C	Alfisol	9	1,74	0,92	1,132	0,337	0,426	0,657
	Entisol	9	2,12	1,39				
	Inceptisol	12	1,74	0,78				
H	Alfisol	9	0,78	0,30	0,653	0,529	0,283	0,755
	Entisol	9	0,87	0,44				
	Inceptisol	12	0,89	0,28				
O	Alfisol	9	97,28	1,18	1,331	0,281	0,332	0,720
	Entisol	9	96,78	1,90				
	Inceptisol	12	97,15	0,98				
S	Alfisol	9	<0,05	--	--			--
	Entisol	9	<0,05	--	--			--
	Inceptisol	12	<0,05	--	--			--

Leyenda: DS± (desviación estándar).

El orden entisol obtuvo una media mayor respecto a alfisol e inceptisol, con diferencia estadística, producto de las variaciones en las proporciones de C y N entre los órdenes, por el tipo de manejo en monocultivo para CCN51, lo que indicó una moderada mineralización del N, propia de un SAF en comparación con nacional. (Vela, Pisco, & Ruiz, 2015) (Tabla 5).

Tabla 5. Resumen descriptivo y comparación de medias de las proporciones C/N en suelo.

Ratio C/N	Orden	N	Media	DS	Mínimo	Máximo
	Alfisol	9,00	10,77ab	0,96	8,60	11,84
	Entisol	9,00	11,13a	1,02	9,73	12,71
	Inceptisol	12,00	9,98b	0,74	8,93	11,64

Leyenda: DS± (desviación estándar).

Letras distintas indican diferencia estadística.

El análisis estadístico para el mantillo informó que las medias por tipo de cacao para N, fueron las únicas con diferencia significativa ($p \geq 0,001$). C (38,03±4,57), N (1,60±0,21) e H (4,72±0,55) mostraron una mayor abundancia en el tipo CCN51, atribuible al estado de descomposición de la hojarasca al momento de tomar las muestras. En el caso del S, presentó las ratios con menor proporción (CCN51=0,09% y nacional=0,10%) (Tabla 6). La diferencia en la ratios elementales están relacionados con la incidencia antrópica, e influenciadas por una menor o mayor diversidad, como lo indican Jadán et al (2012) y Timoteo et al (2016).

Tabla 6. Prueba t para para CNHOS del mantillo de cacao.

Variable	Tipo	N	Media	DS (±)	Test Levene		F	Sig. 0,05
					estadístico	Sig.		
C	CCN51	15	38,03	4,57	2,48	0,13	0,708	0,409
	nacional	10	36,15	6,61				
N	CCN51	15	1,60	0,21	0,32	0,57	15,813	0,001
	nacional	10	1,25	0,23				
H	CCN51	15	4,72	0,55	2,46	0,13	1,873	0,184
	nacional	10	4,37	0,75				
O	CCN51	15	46,50	4,94	1,62	0,22	0,150	0,702
	nacional	10	49,68	6,39				
S	CCN51	15	0,09	0,04	1,03	0,32	1,961	0,175
	nacional	10	0,10	0,02				

Las ratios de C y N en el mantillo fueron muy superiores a las observadas en suelo (Figura 2), lo que evidencia las proporciones de estos elementos se mineralizan rápidamente, características similares a las encontradas en SAF en suelos de clima tropical (Andrade-Castañeda, Seguro-Madrugal, & Rojas-Patiño, 2016). Para Craine et al, (2015) los microorganismos tiene un rol importante en la fijación de N en el suelo, al igual que la proporción de arcilla, aunque esta variable no fue predominante en los suelos estudiados.

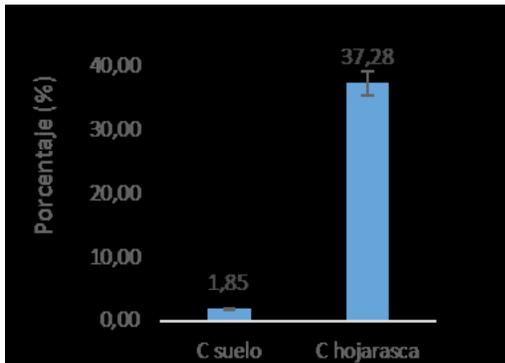
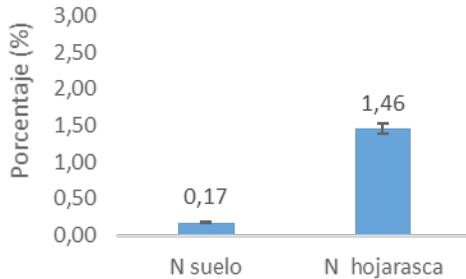


Figura 2. Comparación de ratios de N y C entre suelo y mantillo de cacao

La matriz de correlación de Pearson (Tabla 7) mostró una relación inversa entre O con C (-0,982), N (-0,975) e H (-0,785), y una alta correlación entre N y C (0,984). En el caso del mantillo (Tabla 8) se obtuvo alta correlación del C con el H (0,975) y una relación negativa del O con H (-0,955) y C (-0,963**). Ello supone que a mayor cantidad de O en la biomasa o en la fracción orgánica del suelo, menor ratios de C e H, y viceversa. La alta correlación entre N y C obedece a que estos son los elementos constituyentes principales de la MOS (Paz & Etchevers, 2016).

Tabla 7. Matriz de correlación de Pearson para análisis elemental en suelos cultivados de cacao.

Elementos	C	N	H	O	C/N
C	1,000				
N	0,984**	1,000			
H	0,652**	0,671**	1,000		
O	-0,982**	-0,975**	-0,785**	1,000	
C/N	0,535**	0,400*	0,237	-0,490**	1,000

** Correlación significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

* Correlación significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

Tabla 8. Matriz de correlación de Pearson para análisis elemental en mantillo de cacao.

Elementos	C	N	H	O	S
C	1,000				
N	0,213	1,000			
H	0,975**	0,289	1,000		
O	-0,963**	-0,325	-0,955**	1,000	
S	0,325	0,287	0,286	-0,383	1,000

** Correlación significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

* Correlación significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

CONCLUSIONES

Las propiedades químicas y físicas mostraron heterogeneidad, lo que significa que se ajustan a las condiciones mínimas para el cultivo del cacao, con un predominio del C y N en el perfil elemental de suelo, producto de una mayor mineralización, expresada por la diferencia estadística de la relación C/N, cuyos valores indicaron moderada liberación de N en suelo y excesiva liberación de N en el mantillo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, F., Rodríguez, H., Torres, F., & Herrera, L. (2014). Evaluación del conflicto de uso agrícola de las tierras a partir de su aptitud física como contribución a la explotación sostenible. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 13–18.
- Andrade-Castañeda, H., Seguro-Madrugal, M., & Rojas-Patiño, A. (2016). Carbono orgánico del suelo en bosques riparios, arrozales y pasturas en piedras, Tolima, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 233–241.
- Arévalo-Gardini, E., et al. (2015). Changes in Soil Physical and Chemical Properties in Long Term Improved Natural and Traditional Agroforestry Management Systems of Cacao Genotypes in Peruvian Amazon. *PLOS ONE*, 10(7), e0132147. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132147>
- Barrezueta-Unda, S., Prado-Carpio, E., & Jimbo-Sarmiento, R. (2017). Características del Comercio de cacao a nivel intermedio en la provincia de El Oro-Ecuador. *European Scientific Journal*, 13(16), 273–282. Recuperado de <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n16p273>
- Bolaños, N., Tapia, A., Soto, G., & Filho, E. (2012). Efecto de diferentes sistemas de manejo sobre la calidad del suelo, en fincas cafetaleras de la zona de Turrialba y Orosi. *InterSedes*, XIII(26), 85–105.
- Cañadas Cruz, L. (1983). *Mapa bioclimático del Ecuador*. Quito: Banco Central del Ecuador.
- Chabla-Carrillo, J., et al. (2015). Spatial variability of general properties and micronutrients at the country scale in south Ecuador. En *Pedometrics 2015*. Córdoba, España: Universidad de Córdoba.

- Craine, J. M., et al. (2015). Convergence of soil nitrogen isotopes across global climate gradients. *Scientific Reports*, 5, 8280.
- Doukas, H., Papadopoulou, A., Savvakis, N., Tsoutsos, T., & Psarras, J. (2012). Assessing energy sustainability of rural communities using Principal Component Analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), 1949–1957.
- Fontana, A., Brito, R.J., Pereira, M.G., & Loss, A. (2010). Caracterização de substâncias húmicas da camada superficial do solo sob diferentes coberturas vegetais. *Magistra*, 22(1), 49–56.
- Ghaemi, M., Astaraei, A. R., Emami, H., Mahalati, M., & Sanaeinejad, S. (2014). Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds- east of Mashhad-Iran. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(4), 987–1004.
- Hartemink, A.E. (2005). Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: A review. *Advances in Agronomy*, 86, 227–253.
- Jadán, O., Torres, B., & Günter, S. (2012). Influencia del uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador. *Revista Amazónica: Ciencia y Tecnología*, 1(3), 173–186.
- López-Baez, O., Ramírez-González, S., Espinosa-Zaragoza, S., Villarreal-Fuentes, J., & Wong-Villarreal, A. (2015). Diversidad vegetal y sustentabilidad del sistema agroforestal de cacao en la región de la selva de Chiapas, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2, 55-63.
- Más-Martínez, R., et al. (2015). Niveles de los micronutrientes Fe, Zn, Cu, Mn y B en suelos de La Cuenca del Río Guayas. En *I Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología UTMACH* (pp. 12–16). Machala: Universidad Técnica de Machala.
- Medina, H., de Jong van Lier, Q., García, J., & Ruiz, M.E. (2017). Regional scale variability of soil properties in Western Cuba. *Soil and Tillage Research*, 166, 84–99.
- Paz, F., & Etchevers, J. (2016). Distribución a profundidad del carbono orgánico en los suelos de México. *Terra Latinoamericana*, 34, 339–355.
- Pocomucha, V.S., & Alegre, J. (2016). Análisis socio económico y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Huánuco. *Ecología Aplicada*, 15(2), 108–114.
- Puentes-Páramo, Y., Menjivar-Flores, J., Gómez-Carabalí, A., & Aranzazu-Hernández, F. (2014). Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica*, 63(2), 145–152. Recuperado de http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/40041/45755
- Servicios de Apoyo a la Investigación (SAI). (2011). *Análisis elemental de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre*. La Coruña, España: SAI.
- Salgado-Mora, M., Espinosa-Zaragoza, S., Moreno-Limón, S., & López-Olguín, J. (2009). Cuantificación, descomposición y contenido nutricional de hojarasca en dos sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) Quantification, decomposition and mineral content of leaf litter in cocoa (*Theobroma cacao* L.) agroforestry systems. *Quehacer Científico En Chiapas*, 1(7), 10–15.
- Schroth, G., Vsnlsuwe, B., & Lehmann, J. (2003). Impacts of Trees on the Fertility of Agricultural Soils. In G. Schroth & F. Sinclair (Eds.), *Trees, Crops and Soil Fertility Concepts and Research Methods* (pp. 77–89). Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Timoteo, K., et al. (2016). Durante el primer año de instalación en el departamento de Huánuco. *Folia Amazónica*, 25(1), 45–54.
- Udoh, B.T., Henry, H.B., & Akpan, U.S. (2011). Suitability Evaluation of Alluvial Soils for Rice (*Oryza sativa*) and Cocoa (*Theobroma cacao*) Cultivation in an Acid Sands Area of Southeastern Nigeria. *Journal of Innovative Research in Engineering and Science*, 2(3), 148–161.
- Urquiaga, S., et al. (2016). *Protocolo para avaliar o potencial de sistemas agrícolas no sequestro de C e acúmulo de N no solo*. Brasília: Embrapa.
- Natural Resources Conservation Service- United States Department of Agriculture (USDA-NRCS). (2014). Soil survey field and laboratory methods manual. Recuperado de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1253872.pdf
- Valarezo, C., Iñiguez, M., Valarezo, L., & Guaya, P. (1998). *Condiciones físicas de los suelos de la región sur del Ecuador*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Vasu, D., et al. (2016). Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deccan plateau, India. *Geoderma*, 282, 70–79.
- Vela, C.A., Pisco, G., & Ruiz, E.M. (2015). Captura de Carbono en un Sistema Agroforestal Con *Theobroma Cacao* en el Campus de la Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa-Peru, 2012. *Tzhoeoen*, 6(2), 165-180.

Villaseñor, D., Chabla, J., & Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia El Oro. *Cumbres*, 1(2), 28–34.

Villegas-Cáceres, R. (2008). *Descomposición de las hojas del cacao y de seis especies arbóreas, solas y en mezcla en Alto Beni*. Bolivia: CATIE.