







Influencia del sistema ecológico, pecuario y agroforestal sobre propiedades físicas, químicas y biológicas de un Oxisol en La Ceiba, Honduras

Noé Humberto Paiz Gutiérrez¹ , Breno Augusto Sosa Rodríguez^{2*} , Yuly Samanta García Vivas² , Marden Daniel Espinoza Guardiola² , Jesús Alexis Rodríguez Matute² 

¹Chiquita Guatemala. Izabal, Guatemala. ²Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico, Departamento de Suelos. Atlántida, Honduras. *Correo electrónico: breno.sosa@unah.edu.hn

RESUMEN

La medición de indicadores de la calidad es fundamental para conservar o incrementar la fertilidad del suelo. El objetivo fue evaluar el efecto del sistema ecológico, pecuario y agroforestal sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de un Oxisol, en Honduras. Se estableció un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3x4, el primer factor consistió en tres sistemas: agroforestal, bosque natural y pasturas; el segundo factor fue cuatro profundidades: 0 - 0,15; 0,15 - 0,3; 0,3 - 0,5; 0,5 - 0,7 m; las variables evaluadas en el suelo fueron: granulometría, densidad aparente, porosidad, pH, aluminio intercambiable, nutrientes (Ca, Mg, K, Na, P, Zn, Fe, Cu, B, S), materia orgánica (MO), carbono orgánico total (COT), número de lombrices y diversidad de hongos. Los indicadores físicos fueron más fluctuantes entre las profundidades que entre los sistemas, a medida que aumentaba la profundidad también lo hacía la densidad aparente, disminuyendo de forma consecuente la porosidad. Comportamiento similar tuvieron los contenidos de MO y COT, los cuales redujeron de forma significativa a mayor profundidad y siendo similar en cada sistema. Las altas concentraciones de Al, Mn y Fe modularon la expresión ácida del suelo, donde el pH varió de 4,6 a 5,3 en los sistemas y afectó la disponibilidad de nutrientes, siendo precaria para las bases intercambiables, P, Cu, B y Zn. Las condiciones biológicas en el sistema agroforestal fueron mejores por mayor diversidad de hongos y abundancia de lombrices. El diagnóstico vislumbra que las condiciones químicas del suelo requieren aplicar enmiendas calcáreas para mejorar la productividad de los sistemas.

Palabras clave: fertilidad del suelo, agroecología, conservación del suelo, indicadores de suelos.

Influence of ecological, livestock and agroforestry system on physical, chemical and biological properties of an Oxisol in La Ceiba, Honduras

ABSTRACT

The measurement of quality indicators is essential to conserve or increase soil fertility. The objective was to evaluate the effect of the ecological, livestock and agroforestry system on the physical, chemical and biological properties of an Oxisol in Honduras. A completely randomized design was established with a 3x4 factorial arrangement, the first factor consisted of three systems: agroforestry, natural forest and pastures, the second factor was four depths: 0 - 0.15; 0.15 - 0.3; 0.3 - 0.5; 0.5 - 0.7 m; the variables evaluated in the soil were granulometry, apparent density, porosity, pH, exchangeable aluminum, nutrients (Ca, Mg, K, Na, P, Zn, Fe, Cu, B, S), organic matter (OM), organic carbon total (TOC), number of worms and diversity of fungi. The physical indicators were more fluctuating between the depths than between the systems, as the depth increased, so did the apparent density, consequently decreasing the porosity. The OM and TOC contents had similar behavior, which decreased significantly at greater depth and were similar in each system. The high concentrations of Al, Mn and Fe modulated the acid expression of the soil, where the pH varied from 4.6 to 5.3 in the systems and affected the availability of nutrients, being precarious for the exchangeable bases, P, Cu, B and Zn. The biological conditions in the agroforestry system were better due to greater diversity of fungi and abundance of earthworms. The diagnosis envisions that the chemical conditions of the soil require applying calcareous amendments to improve the productivity of the systems.

Key words: soil fertility, agroecology, soil conservation, soil indicators.

Recibido: 18/05/2020 - Aprobado: 30/09/2020



INTRODUCCIÓN

El suelo es uno de los recursos más importantes para la generación de alimentos en el planeta, es base fundamental de los sistemas agropecuarios y forestales (Martín y Adad 2006). Su formación implica cambios físicos, químicos y biológicos de la roca madre, proceso que implica la interacción con agentes bióticos (plantas, macro y microorganismos) y abióticos (dióxido de carbono, oxígeno, agua y nutrientes) durante un tiempo permitiendo el origen de un medio capaz de soportar la vida de las plantas (Porta *et al.* 2003, Budhu 2007).

La degradación de los suelos ha sido una constante en los diversos sistemas de producción, reflejados en procesos irreversibles de acidificación, erosión (Gómez *et al.* 2018), compactación, pérdida de materia orgánica y deforestación, lo que conlleva pérdidas de la calidad del suelo y capacidad de brindar seguridad alimentaria a la población (Verhulst *et al.* 2015).

El productor adolece de conocimientos para la selección del uso y consecuente manejo del suelo a través de sus propiedades; resulta un desafío realizar un diagnóstico de la calidad de éste recurso a través de sus indicadores físicos (granulometría, densidad aparente, profundidad, infiltración), químicos (materia orgánica, pH, metales pesados, nutrientes disponibles,) y biológicos (número lombrices, respiración edáfica, biomasa microbiana y rendimiento de cultivos), desarrollando un sistema basado en la sostenibilidad y optimización de los recursos (García *et al.* 2012).

Los sistemas agroforestales cumplen funciones ecológicas de protección del suelo disminuyendo los efectos directos del sol, el agua y el viento (Kuno *et al.* 2018); también modifican la estructura del suelo (por la adición de hojarasca, raíces y tallos incrementan los niveles de materia orgánica), y favorecen el incremento de la capacidad de intercambio catiónico y disponibilidad de nutrientes (Colín *et al.* 2018, Da Silva *et al.* 2018).

El porcentaje de suelo que utiliza la ganadería es significativo en América Latina y El Caribe, los sistemas en el trópico se basan en el uso de Poaceae (gramíneas) forrajeras en monocultivos con bajo valor nutritivo (Cuartas *et al.* 2013). El proceso genera

efectos negativos hacia el suelo y ambiente (Pérez 2008) como el deterioro de la biodiversidad mediante la deforestación, aumento, compactación y consecuente erosión hídrica y aumento de temperatura ambiental por la emisión de gases de efecto invernadero (Soriano *et al.* 2018). Lo invaluable del rubro radica en su contribución a la seguridad alimentaria y social a través de la generación de empleo, ingresos, carne, leche y sus derivados (FAO 2014).

Honduras cuenta con 11,25 millones de hectáreas en todo su territorio, de las cuales, 30,19 % son de vocación agropecuario (3,4 millones ha), 48 % forestal (5,4 millones ha) y 2,16 % agroforestal (0,24 millones ha) (REDD/CCAD-GIZ 2014). Los agroecosistemas se caracterizan por una producción cada vez más intensiva, baja capacitación y seguimiento a productores, uso indiscriminado de agroquímicos y de prácticas culturales. Esto propicia la erosión y pérdida de fertilidad, tornando el sistema menos atractivo con una relación beneficio-costos baja y con rasgos acelerados de degradación en el ambiente. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto del sistema agroforestal, ecológico y pecuario sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas a diferentes profundidades de un Oxisol en el norte del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área experimental

La presente investigación se realizó entre los meses de julio a diciembre del 2019 en un Oxisol (Soil Taxonomy 2014) del Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA), ubicado en el municipio La Ceiba, departamento Atlántida, Honduras. A los 15°44'19.798"N; 86°51'6.523"O, altitud de 9 m.s.n.m., con temperatura promedio de 29,5 °C, humedad relativa de 95 % y precipitación pluvial media anual de 2.525 mm, variables climáticas que se registran cada año en la estación meteorológica de la institución.

Descripción del ensayo experimental

Las unidades experimentales fueron parcelas en condiciones de campo con dimensiones de 2.500 m² (50 x 50 m). En dichas áreas se estableció la investigación con diseño completamente al azar con arreglo factorial 3x4 con tres repeticiones, donde

los tratamientos consistieron en la combinación del primer factor, sistema ecológico, pecuario y agroforestal, por el segundo factor, profundidad de muestreo: 0 - 0,15; 0,15 - 0,3; 0,3 - 0,5; 0,5 - 0,7 m.

El sistema ecológico fue un bosque latifoliado con presencia predominante de San Juan (*Vochysia guatemalensis*) bajo manejo forestal; el sistema pecuario fue un pasto suazi (*Digitaria swazilandensis*) manejado con cortes mensuales y fertilizaciones anuales vía orgánica (estiércol de ganado) y sintética (Fastrac Urea); el agroforestal es un asocio de madreño (*Gliricidia sepium*) con granos básicos u hortalizas desde el 2011.

En cada sistema de forma general se realizaron tres calicatas con dimensiones de un metro de profundidad, uno de ancho por uno de largo, donde se tomaron las muestras compuestas en las cuatro profundidades para medir la mayoría de variables físicas (granulometría,

densidad aparente y porosidad), químicas (pH, aluminio intercambiable y nutrientes (Ca, Mg, K, Na, P, Zn, Fe, Cu, B, S), materia orgánica y carbono orgánico total) y biológicas (número lombrices y diversidad de hongos).

Existieron algunas excepciones en los muestreos, para los macro y micronutrientes se evaluaron hasta los 0,5 m (primeras tres profundidades); para la diversidad de hongos, se tomaron 10 submuestras a 0,15 m de profundidad en áreas cercanas a las calicatas por sistema; para el conteo de lombrices se realizaron seis conteos incluidas las tres calicatas, en una dimensión de un metro cuadrado a una profundidad de 0,15 m.

Las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo se determinaron con las metodologías usadas en el Western Hemisphere Analytical Laboratory (WHAL) de la empresa Standard Fruit de Honduras S.A. y en el laboratorio de Suelos del CURLA (Cuadro 1).

Cuadro 1. Métodos utilizados para la caracterización física y química del suelo.

Determinaciones	Unidad	Métodos	Referencia	
Granulometría	-	Pipeta	Bouyoucos 1962	
Densidad aparente	(g.cm ⁻³)	Cilindro biselado		
Densidad real		Referencia suelo mineral (2,65)	Jaramillo 2002	
Porosidad	%	Fórmula matemática		
pH en agua (1:5)	-	Potenciométrico	Jones 1999	
Al	cMol ₍₊₎ .kg ⁻¹	Extracción con KCl	Alley y Zelazny 1987	
K				
Ca				
Mg				
Na				
P				
S			Detección de plasma Mehlich-3	Jones 1999
B				
Fe				
Mn				
Cu				
Zn				
COT	%	Walkley-Black	Walkley y Black 1934	
MO	%	Factor Van Bemelen	Jackson 1956	
Número lombrices	m ²	Conteo manual	USDA 1999	
Hongos	Género	Aislamiento	Mueller <i>et al.</i> 2011	

Para la identificación de hongos se siguió la metodología de Mueller *et al.* (2011), se tomaron 10 submuestras en áreas cercanas a las calicatas por cada sistema; luego el mismo día con la muestra compuesta fresca se sembró en el medio de cultivo de papa agar dextrosa (PDA). El método consistió en pesar 0,2 g de suelo y distribuirlo en la caja Petri con un estilete o asa microbiológica, el cual en cada inoculación se desinfectaba el alcohol etílico al 95 % y luego pasado por el mechero. Las inoculaciones se hicieron por triplicado, todo el proceso de inoculación se realizó en la cámara de flujo laminar, se sellaron las cajas con papel plástico wrap y se dispusieron en una incubadora de convección gravedad 2 EG a 28° C y 12 horas de fotoperiodo.

A las 48 horas de la inoculación se observó un crecimiento de micelio en todas las cajas, y se aislaron todas las colonias por separado para su posterior identificación. A las 96 horas se comenzó la identificación hasta nivel de género utilizando microscopio óptico Motic BA200 y claves taxonómicas.

Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza ($P < 0,05$) y prueba de medias de Tukey ($P < 0,05$), con el uso del software Minitab 17 (Arend 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción física del suelo

En el caso de las propiedades físicas analizadas, el análisis de varianza detectó diferencias significativas para los sistemas y las profundidades evaluadas, pero no para la interacción entre ellos. Para la granulometría de los suelos, solo se encontraron diferencias estadísticas entre los sistemas; los porcentajes de arcillas (Ar) fueron mayores en el ecológico (35,45 %) y disminuyendo en la pastura (30,3 %) y agroforestal (28,5 %); mientras que el limo también fue superior en bosque natural (30,67 %) con disminuciones leves en agroforestal y pasturas. Por otra parte, la arena (A) se acumuló más en el sistema pecuario (45,7 %) y agroforestal (45,33 %), posiblemente por un evento climático, típico de suelos aluviales que imperan en la región con elevadas precipitaciones (Cuadro 2).

La distribución granulométrica encontrada en los sistemas permite buena laborabilidad de los suelos, propiedad intrínseca con la permeabilidad, capacidad retención de agua, densidad aparente (Gabriels y Lobo 2011), además, es tomado en cuenta en el uso diario de sistemas de riego en los agroecosistemas.

Cuadro 2. Densidad aparente, porosidad total y clase textural del suelo a diferentes profundidades en un Oxisol bajo sistema ecológico, pecuario y agroforestal en La Ceiba, Honduras.

Sistema	Profundidad (m)	Densidad aparente (g.cm ³)	Porosidad (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Clase Textural
Ecológico (Bosque)	0 - 0,15	1,09 b	58,8 a	32,16 a	32,9 a	34,8 b	Franco-Arcilloso
	0,15 - 0,30	1,21 a	54,5 b	36,24 a	25,0 a	38,7 b	Franco-Arcilloso
	0,30 - 0,50	1,30 a	50,9 b	34,90 a	32,2 a	32,9 b	Franco-Arcilloso
	0,50-0,70	1,33 a	50,0 b	38,46 a	32,5 a	29,0 b	Franco-Arcilloso
Pecuario (Pastura)	0 - 0,15	1,18 b	55,3 a	34,12 b	22,9 b	42,9 a	Franco-Arcilloso
	0,15 - 0,30	1,24 a	53,1 b	30,88 b	22,9 b	46,1 a	Franco-Arcilloso
	0,30 - 0,50	1,25 a	52,8 b	29,00 b	24,3 b	46,7 a	Franco-Arcillo-Limoso
	0,50 - 0,70	1,23 a	53,4 b	27,12 b	25,5 b	47,3 a	Franco-Arcillo-Limoso
Agroforestal	0 - 0,15	1,05 b	60,4 a	28,95 b	24,0 ab	47,1 a	Franco-Arcillo-Limoso
	0,15 - 0,30	1,19 a	55,2 b	28,95 b	25,0 ab	46,1 a	Franco-Arcillo-Limoso
	0,30 - 0,50	1,17 a	55,7 b	29,07 b	26,6 ab	44,4 a	Franco-Arcilloso
	0,50 - 0,70	1,31 a	50,4 b	26,95 b	29,3 ab	43,8 a	Franco-Arcilloso

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

Para la densidad aparente y porosidad total del suelo no existió diferencias estadísticas ($P < 0,05$) entre los sistemas, pero sí se detectaron entre las profundidades. La densidad tuvo un comportamiento proporcional, a medida que aumentaba la profundidad aumentaba los valores de esta variable, el menor valor fue a los 0,15 m con $1,1 \text{ g.cm}^3$ y el mayor con $1,29 \text{ g.cm}^3$ a los 0,5 m. La porosidad, siendo reflejo de la densidad aparente, se registró mayor en la superficie (0 - 0,15 m) con un 58,2 %, disminuyendo de forma gradual a través del perfil para alcanzar un 51 % en último estrato subterráneo.

En cada sistema se observó la tendencia de la densidad aparente que fue mayor a medida que aumentó la profundidad de muestreo, esta propiedad es difícil de modificar y sus valores disminuyen lentamente en los agroecosistemas (López *et al.* 2018). Se considera como un indicador que tiene que ser monitoreado para diagnosticar la calidad de los suelos (García *et al.* 2012). En ese sentido, los resultados expuestos no exceden el umbral crítico de $1,3 - 1,4 \text{ g.cm}^3$ en función de texturas franco arcillosas (Alvarado y Forsythe 2005).

Descripción química del suelo

Las variables MO y COT difieren estadísticamente para en el factor profundidad, mientras que en el sistema y la interacción de factores el ANOVA no se detectaron diferencias. Tuvieron una tendencia similar en las calicatas realizadas en los sistemas, siendo la primera capa (0 - 0,15 m) de suelo el lugar de mayor concentración en promedio de MO (2,9 %) y COT (1,74 %). A partir de esa capa, las cantidades fueron disminuyendo a valores de 0,31 y 0,14 %, respectivamente, en el rango 0,50 - 0,70 m (Cuadro 3).

Los resultados fueron similares a Calderón *et al.* (2018), quienes encontraron en sistemas agroforestales y pasturas mayores concentraciones de MO (3,3 a 4,5 %) en la superficie (0 - 0,10 m), y a medida se muestrea más profundo (0,1 - 0,4 m) las cantidades disminuían (3,0 a 3,2 %). La agricultura ha generado disminución del COT, reduciendo la capacidad productiva y afectando la sustentabilidad del sistema de producción (Sainz *et al.* 2011). Por eso, la necesidad de restaurar y conservar sistemas que promuevan la rentabilidad y sostenibilidad ambiental, con sus connotaciones positivas en el aspecto socioeconómico para el productor.

Cuadro 3. Contenido de materia orgánica y carbono orgánico total a diferentes profundidades en un Oxisol bajo sistema ecológico, pecuario y agroforestal en La Ceiba, Honduras.

Sistema	Profundidad (m)	Materia orgánica (%)	Carbono orgánico total (%)
Ecológico	0 - 0,15	3,10 a	1,80 a
	0,15 - 0,30	1,16 b	0,67 b
	0,30 - 0,50	0,52 bc	0,30 c
	0,50-0,70	0,22 c	0,13 c
Pecuario	0 - 0,15	2,52 a	1,46 a
	0,15 - 0,30	1,17 b	0,68 b
	0,30 - 0,50	0,53 bc	0,31 c
	0,50 - 0,70	0,34 c	0,20 c
Agroforestal	0 - 0,15	3,41 a	1,98 a
	0,15 - 0,30	1,81 b	1,05 b
	0,30 - 0,50	0,66 bc	0,38 c
	0,50 - 0,70	0,17 c	0,10 c

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

El pH y Al^{3+} variaron significativamente en todas las fuentes de variación, detectándose, además, interacción significativa para sistemas por profundidades. El pH fue mayor en la pastura (5,3) en comparación con el bosque (5,0) y el sistema agroforestal (4,6); en cada uno de ellos, la primera capa del suelo (0 - 0,15 m) registró mayor pH (5,24) mientras que en resto del perfil los valores disminuyeron en un rango de 4,89 a 4,91, pero sin diferir estadísticamente. La concentración de aluminio intercambiable fue menor en el sistema pecuario (0,74), aumentando en el agroforestal (1,7) y bosque (2,4). Además, observando que en el factor profundidad, los valores de Al^{3+} aumentaban a mayor profundidad, reflejados con 0,6 (0 - 0,15 m); 1,39 (0,15 - 0,30 m); 2,11 (0,30 - 0,50 m) y 2,37 (0,50 - 0,70 m) $\text{cmol}_{(+)}. \text{kg}^{-1}$ (Cuadro 4).

En el litoral caribe, área de influencia de esta investigación, se establecen pasturas, palma aceitera, rambután y bosques primarios, entre otros, además, la presencia de Nitisols (Gardi *et al.* 2014) es habitual, caracterizados por la fuerte presencia de óxidos de hierro y aluminio intercambiable, lo permite identificar qué cultivos toleran la acidez intercambiable,

Cuadro 4. pH y aluminio intercambiable del suelo a diferentes profundidades en un Oxisol bajo sistema ecológico, pecuario y agroforestal en La Ceiba, Honduras.

Sistema	Profundidad (m)	pH	Aluminio (cMol ₍₊₎ ·kg ⁻¹)
Ecológico (Bosque)	0 - 0,15	5,82 a	0,008 c
	0,15 - 0,30	4,81 cd	1,583 bc
	0,30 - 0,50	4,64 d	3,583 ab
	0,50 - 0,70	4,6 d	4,367 a
Pecuario (Pastura)	0 - 0,15	5,3 bc	0.400 c
	0,15 - 0,30	5,31 bc	0.867 c
	0,30 - 0,50	5,5 ab	0.967 c
	0,50 - 0,70	5,46 ab	0.733 c
Agroforestal	0 - 0,15	4,59 d	1,417 bc
	0,15 - 0,30	4,57 d	1,583 bc
	0,30 - 0,50	4,59 d	1,783 bc
	0,50 - 0,70	4,64 d	2,017 bc

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (P<0,05).

debido a que suelos con niveles superiores a 2 cMol₍₊₎·kg⁻¹ (Castro y Gómez 2010) o 2 - 3 mg.kg⁻¹ (Balsberg 1990) son limitantes para muchos cultivos.

Estas condiciones ácidas pueden ser resultado de la mineralización de materiales parentales con bajo contenido de cationes (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺), por elevadas precipitaciones ocasionando la lixiviación de bases, la aplicación de fertilizantes nitrogenados o de la lluvia ácida (Fassbender y Bornemiza 1994, Arcos y Narro 2009, Ji *et al.* 2014).

La dinámica para Ca, Cu, B y Fe varió significativamente en la interacción sistema por profundidad; mientras que la disponibilidad de Na, P, Mg y Zn fluctuaron en el factor profundidad y sistema, Mn y S variaron solamente para sistema y K en profundidad. La mayor concentración de las bases intercambiables, P y S se localizaron en la primera capa del suelo (0 - 0,15 m), acumulándose más Mg, Na y Ca en el bosque; S, P en el agroforestal y los valores del K fueron similares en los tres sistemas (Cuadro 5).

La mayor concentración de algunos micronutrientes (Zn, Cu, B) también se ubicó en la superficie, con excepción del Fe y Mn, que sus mayores valores intercalaron entre la superficie o el subsuelo (0,15 - 0,3 m), dependiendo del sistema analizado. Además, en el sistema pecuario se registraron los niveles más elevados de los micronutrientes, salvo el B, que fue en el bosque. Es posible que las enmiendas orgánicas depositadas en las pasturas de forma recurrente tuvieron un efecto residual durante la mineralización.

Cuadro 5. Disponibilidad de nutrientes a diferentes profundidades en un Oxisol bajo sistema ecológico, pecuario y agroforestal en La Ceiba, Honduras.

Sistema	Profundidad (m)	Ca	Mg	K	Na	mg.kg ⁻¹						
		cmol ₍₊₎ ·kg ⁻¹				P	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
Ecológico (Bosque)	0 - 0,15	4,88 a	1,56	0,38	0,09	6,5	1,96	65,11 cd	100,71	1,72 bc	0,14 a	9,3
	0,15 - 0,30	1,54 b	0,93	0,25	0,08	2,92	1,65	135,33 ab	111,01	1,47 c	0,07 bc	8,16
	0,30 - 0,50	0,84 b	0,59	0,22	0,08	1,92	0,9	96 bcd	52,53	1,12 c	0,04 c	8,88
Pecuario (Pastura)	0 - 0,15	2,29 b	1,11	0,28	0,07	13,9	8,41	167,06 a	137,29	3,64 a	0,07 bc	9,61
	0,15 - 0,30	1,61 b	0,51	0,15	0,07	6,59	4,04	126,2 abc	150,35	2,98 ab	0,05 c	7,5
	0,30 - 0,50	1,58 b	0,42	0,1	0,06	7,28	1,75	130,9 ab	161,22	1,13 c	0,04 c	5,85
Agroforestal	0 - 0,15	1,39 b	0,51	0,35	0,06	15,3	2,56	59,28 d	75,75	1,13 c	0,1 b	12,4
	0,15 - 0,30	0,62 b	0,22	0,23	0,04	10,1	1,86	56,89 d	75,82	1,08 c	0,08 bc	14,64
	0,30 - 0,50	0,60 b	0,23	0,14	0,04	6,59	1,33	56,58 d	74,59	0,77 c	0,06 c	15,75

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (P<0,05).

La disponibilidad de los nutrientes esenciales y benéfico en las unidades experimentales fue interpretada por escala internacional (Castro y Gómez 2010), los niveles de las bases intercambiables, P, Cu, B y Zn se calificaron de bajas a muy bajas, el S en concentración intermedia y, el nivel de Mn fue alto en todas las unidades de muestreo, mientras el Fe fue de medio a alto, especialmente en la pastura.

La disponibilidad de nutrientes fue afectada por las prácticas de manejo y condiciones edafoclimáticas naturales de la región; aunque los depósitos de materia orgánica en cada sistema eran permanentes en el tiempo a través hojarasca y residuos de cosecha (bosque, agroforestal), estiércol de ganado (pasturas), los contenidos de MOS fueron medios a bajos en el perfil analizado, debido a que las altas temperaturas y precipitaciones aceleran la descomposición de MOS (Labrador 2012). Aunado a ello, los niveles de aluminio, hierro y manganeso afloran en detrimento de las bases, P y micronutrientes (Casierra y Aguilar 2007), tornando el suelo, en un medio que requiere restauración de sus propiedades, principalmente las químicas.

Descripción biológica del suelo

El muestreo en la capa superficial del suelo demostró que en el sistema agroforestal se encontraron la mayor abundancia de lombrices y diversidad de hongos (Cuadro 6) en comparación con las pasturas (pecuario) y el bosque (ecológico). Los sistemas agroforestal promueven la aparición de asociaciones microbianas (micorrizas y fijación biológica del nitrógeno) en el suelo, las cuales, están estrechamente vinculadas a las plantas (Singh *et al.* 2014) y a la especiación vegetal, proceso que controlan las comunidades microbianas del suelo (Cline y Zak 2015).

Las funciones de los hongos en el suelo de estos sistemas es diversa, unos se dedican a la descomposición de materia orgánica (*Mucor* sp.), a la acción patológica (*Botrytis* sp., *Phytophthora* sp.) y otros (*Trichoderma* spp.) facilitan la absorción de nutrientes por las plantas y acción supresora ante otras plagas (Companioni *et al.* 2019). Aunado a ello, las combinaciones de plantas que permite la agrosilvicultura y uso de cultivos de cobertura pueden mejorar la salud del suelo y promover la sostenibilidad en los agroecosistemas tropicales (Buyer *et al.* 2017).

Cuadro 6. Diversidad de hongos y lombrices en los sistemas evaluados.

Sistema	Género Hongos	Número Lombrices (m ²)
Ecológico	<i>Mucor</i> sp.	10
	<i>Bactridium</i> sp.	
	<i>Botrytis</i> sp.	
	<i>Circinella</i> sp.	
Pecuario	<i>Trichoderma</i> spp.	73
	<i>Botrytis</i> sp.	
	<i>Penicillium</i> sp.	
	<i>Phytium</i> sp.	
Agroforestal	<i>Trichoderma</i> spp.	80
	<i>Aspergillus</i> sp.	
	<i>Mucor</i> sp.	
	<i>Botrytis</i> sp.	
	<i>Glyocadium</i> sp.	
	<i>Penicillium</i> sp.	
<i>Phytium</i> spp.		
	<i>Phytophthora</i> sp.	
	<i>Trichoderma</i> spp.	

En suelos evolucionados (Oxisoles) es común apreciar buenas condiciones físicas, relacionadas con la aireación y retención de humedad; sin embargo, la avanzada meteorización generada en el tiempo provoca una desaturación y acidez en los suelos, comprometiendo fuertemente su fertilidad.

Por tal motivo, la caracterización de las propiedades del suelo es valiosa para estimar el impacto de las prácticas de manejo que se suscitan en los agroecosistemas (agroforestal, pecuario y ecológico) y acorde a ello, reorientar dichas actividades, sea para incrementar o recuperar la salud a través de fertilización basada en la disponibilidad del suelo y requerimientos del cultivo, manejo ecológico de plagas, reducir el uso de labranza, aportes de materia orgánica, sistemas de riego entre otros, lo cual, repercute sensiblemente en la productividad del sistema.

CONCLUSIONES

Los sistemas analizados no degradaron las propiedades físicas del suelo según las exigencias particulares, ya que poseen facilidad de mecanización agrícola y desarrollo radicular por la reducida compactación y buena aireación, permitiendo el adecuado rendimiento de las especies vegetales, en especial el sistema agroforestal.

Las condiciones químicas del suelo en los sistemas están deterioradas, prevaleció la moderada concentración de materia orgánica y elevada acidez por altas concentraciones de Fe, Mn y Al, reduciendo la disponibilidad de nutrientes (Ca, Na, Mg, K, P, Cu, B y Zn) a medida que aumentaba la profundidad, pudiendo comprometer las funciones fisiológicas de las plantas según las exigencias nutritivas de cada especie.

La mayor diversidad microbiológica y abundancia de anélidos en el sistema agroforestal y pecuario, estuvo regulado por el aporte constante de materia orgánica y N procedentes de la *Gliricidia sepium* L. y estiércol vacuno, por lo que dichos sistemas promueven la salud del suelo.

LITERATURA CITADA

- Alley, M; Zelazny, LW. 1997. Soil acidity: Soil pH and lime needs. *In* Soil testing: Sampling, correlation, calibration, and interpretation, SSSA. Special publication 21. Soil Science Society of America p. 65-72.
- Alvarado, A; Forsythe, W. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía costarricense, Revista de ciencias agrícolas* 29(1):85-94.
- Arcos, A; Narro, L. 2009. Calosa como herramienta de selección para tolerancia del maíz al aluminio. *Manual de laboratorio, CIMMYT. México.* 121 p.
- Arend, DN. 2010. Minitab 17 Statistical Software. (en línea) State College, PA: Minitab. Inc. Consultado 18 ene. 2020. Disponible en <https://bit.ly/38vs9d3>
- Balsberg, PAM. 1990. Influence of aluminum on biomass, nutrients, soluble carbohydrate and phenols in beech (*Fagus sylvatica*). *Physiologia Plantarum* 78:79-84.
- Bouyoucos, G. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal* 54:464-465.
- Budhu, M. 2007. *Soil mechanics and foundations*. 2da. ed. John Wiley & Sons Inc. New Jersey, USA. 634 p.
- Buyer, JS; Baligar, VC; He, Z; Arévalo, GE. 2017. Soil microbial communities under cacao agroforestry and cover crop systems in Peru. *Applied Soil Ecology* 120:273-280.
- Calderón, MCL; Bautista, MGP; Rojas, S. 2018. Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquía* 22(2):141-157.
- Casierra, F; Aguilar, O. 2007. Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 1(2):246-257.
- Castro, H; Gómez, M. 2010. Fertilidad de suelos y Fertilizantes. *In* Burbano, H; Mojica, F. (eds.). *Ciencia del Suelo. Principios básicos*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. p. 213-303.
- Cline, LC; Zak, DR. 2015. Soil microbial communities are shaped by plant-driven changes in resource availability during secondary succession. *Ecology* 96(12):3374-3385.
- Colín, VCI; Domínguez, GTG; González, RH; Cantú, SI; Colín, JG. 2018. Dinámica de nutrientes durante el proceso de degradación de la hojarasca en el Matorral Espinoso Tamaulipeco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(49):87-109.
- Companiononi, GB; Domínguez, AG; García, VR. 2019. *Trichoderma*: su potencial en el desarrollo sostenible de la agricultura. *Bioteología Vegetal* 19(4):237-248.
- Cuartas, CCA; Naranjo, RJF; Tarazona, MAM; Murgueitio, RE; Chará, OJD; Ku, VJ; Solorio, SFJ; Flores, EM; Solorio, SB; Barahona, RR. 2014. Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Revista Colombiana Ciencias Pecuarias* 27(2):76-94.

- Da Silva, WB; Périco, E; Dalzochio, MS; Santos, M; Cajaiba, RL. 2018. Are litterfall and litter decomposition processes indicators of forest regeneration in the neotropics? Insights from a case study in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 429:189-197.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2014. Consumo de carne (en línea). Consultado 18 ene. 2020. Disponible en: <https://goo.gl/owY7At>
- Fassbender, H; Bornemiza, E. 1994. Química de suelos: con énfasis en América Latina (2da Ed.). San José, Costa Rica: IICA. 87 p.
- Gabriels, D; Lobo, D. 2011. Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. *Vensuelos* 14:37-48.
- García, Y; Ramírez, W; Sánchez, S. 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes* 35(2):125-138.
- Gardi, C; Angelini, M; Barceló, S; Comerma, J; Cruz, C; Encina, GA; Jones, RA; Krasilnikov, P; Mendonça, SBML; Montanarella, L; Muñiz, UO; Schad, P; Vara, RMI; Vargas, R. 2014. Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxembourg. 176 p.
- Gómez, C; Villagra, M; Solórzano, M. 2018. La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria). *Revista Tecnología en Marcha* 31(1): 167-177.
- Jackson, ML. 1956. Soil chemical analysis advanced course: a manual of methods useful for instruction and research in soil chemistry, physical chemistry of soil fertility and soil genesis. No. S593 J2. 76 p.
- Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. 613 p.
- Ji, C; Yang, Y; Han, W; He, Y; Smith, J; Smith, P. 2014. Climatic and edaphic controls on soil pH in alpine grasslands on the Tibetan Plateau, China: A quantitative analysis. *Pedosphere* 24(1):39-44.
- Jones, JJB. 1999. Soil analysis handbook of reference methods. CRS Press. 264 p.
- Kuno, NS; Ponce, SV; Aguilar, GV; Casas, RM. 2018. Evaluación de la fertilidad del suelo en parcelas con dos diferentes manejos de hacer agricultura (sistema agroforestal sucesional y sistema convencional) en zona semiárida en la provincia Tapacarí-Cochabamba. *Apthapi* 4(1):962-970.
- Labrador, J. 2012. Avances en el conocimiento de la dinámica de la materia orgánica dentro de un contexto agroecológico. *Agroecología* 7:91-108.
- López, BW; Reynoso, SR; López, MJ; Camas, GR; Tasistro, A. 2018. Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la Región Fraylesca, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(1):65-79.
- Martín, N; Adad, I. 2006. Generalidades más importantes de las ciencias del suelo. *In* *Disciplina Ciencias del Suelo*. Tomo I. Pedología. Universidad Agraria de La Habana. Cuba. 504 p.
- Mueller, GM; Bills, G; Foster, M. 2011. Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods. Elsevier Academic Pres. 777 p.
- Pérez, ER. 2008. Testimonio: El Lado Oscuro de la Ganadería. *Problemas del Desarrollo*. Revista Latinoamericana de Economía 39(154):217-227.
- Porta, CJ; Reguerín, LA; Roquero, de LC. 2003. Edafología: para la agricultura y el medio ambiente. 3ra. ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 929 p.
- REDD/CCAD-GIZ (Programa Regional Reducción de Emisiones por la Deforestación y Degradación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana – Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional). 2014. Mapa Forestal y de Cobertura de la Tierra de Honduras: Análisis de Cifras Nacionales. 24 p.
- Sainz, RHR; Echeverría, HE; Angelini, HP. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de la Regiones Pampeana y Extrapampeana Argentina. *Informaciones Agronómicas* 2:6-12.
- Singh, K; Trivedi, P; Singh, G; Singh, B; Patra, DD. 2014. Effect of Different Leaf Litters on Carbon, Nitrogen and Microbial Activities of Sodic Soils. *Land Degradation and Development* 27(4):1215-1226.

- Soil Taxonomy. 2014. Claves para la Taxonomía de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 12ª edición. 410 p.
- Soriano, RR; Arias, ML; Carbajal, de NM; Almaraz, BI; Torres, CMG. 2018. Cambio climático y ganadería: el papel de la agroforestería. *Agroproductividad* 11(2):70-74.
- USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos). 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. 88 p.
- Verhulst, N; François, I; Govaerts, B. 2015. Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor. México, D.F. CIMMYT. 16 p.
- Walkley, A; Black, A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-38.