

ARTÍCULO ORIGINAL**CALIDAD DEL SUELO EN DIFERENTES SISTEMAS DE USO EN EL SECTOR NUEVA ESPERANZA SUPTE CHICO-DISTRITO DE RUPA RUPA****SOIL QUALITY IN DIFFERENT SYSTEMS FOR USE IN THE SECTOR NUEVA ESPERANZA SUPTE CHICO - RUPA RUPA DISTRICT**

Janina Vanessa Marín Rengifo

Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.

Correo electrónico: Janina_251@hotmail.com

Juan Pablo Rengifo Trigozo

Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.

Correo electrónico: juan.rengifo@unas.edu.pe

Código ORCID: 0000-0002-4099-8501

Alex Rengifo Rojas

Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.

Correo electrónico: alex.rengifo@unas.edu.pe

Código ORCID: 0000-0002-7103-6903

Recepción: 21 de junio de 2019

Aceptado: 28 de agosto de 2019

Resumen

Se estudió la degradación de suelos en el sector Nueva Esperanza Supte Chico distrito de Rupa Rupa, en tres sistemas de uso de tierra, bosque secundario, cítrico y cacao. En cada sistema se determinaron indicadores físico-químicos, densidad, biomasa y diversidad de macro fauna del suelo, como la correlación entre parámetros físico-químicos y biológicos. Los resultados de las características físico-químicas de los suelos indican que la textura está dominada por fracción arena, densidades de 1,3 g/cm³ a 1,5 g/cm³, resistencia de penetración de 1,5 kg/cm² a 1,7 kg/cm²; las propiedades químicas reportaron pH moderado a fuertemente ácido; contenido de materia orgánica bajo en cítrico, medio en cacao y alto en bosque secundario con 5,50 %, igual que nitrógeno bajo, medio y alto (0,25 %), fósforo y potasio intercambiable con contenidos bajos y medios, muy baja capacidad de cambio, estos suelos presentan de bajos a muy bajos contenidos de Ca y Mg. En cuanto a indicadores biológicos: 10 en bosque secundario, 09 en cultivo de cacao y 11 en sistema cítrico, densidad y biomasa registran los mayores valores a 10 cm de profundidad en todos los sistemas decreciendo ésta con la profundidad de muestreo, mayor índice de diversidad biológica lo registró el bosque secundario y el sistema cítrico con valores de 1,27'H – 0,65D y 1,21'H y 0,57D; con una buena equidad, ya que las especies fueron identificadas al azar; se determinó correlación negativa entre densidad de macrofauna del suelo y densidad aparente, en tanto que biomasa edáfica con densidad de especies presentó una correlación positiva.

Palabras clave: Uso de tierras, indicadores, densidad suelos, biomasa, diversidad, macrofauna.

Abstract

Soil degradation in the sector Nueva Esperanza Supte Chico, Rupa Rupa District, was studied in three systems of land use, secondary, citrus and cacao forest. In each system physico-chemical indicators, density, biomass and diversity of macro soil fauna, as well as the correlation between physicochemical and biological parameters they were determined. The results of the physico-chemical soil characteristics indicate that the texture is dominated by the sand fraction, densities ranging from 1,3 g/cm³ to 1,5 g/cm³, penetration resistance to the floor of 1,5 kg/cm² to 1,7 kg/cm²; chemical properties also reported a moderate to strongly acidic pH; organic matter content low in citric, half in cocoa and high in secondary forest with 5,50 %, same as under nitrogen, medium and high (0,25 %), phosphorus and exchangeable potassium in these systems have low content and media, very low capacity exchange, these soils have low to very low contents of Ca and Mg. As for biological indicators: 10 in secondary forest, 09 cultivation of cocoa and 11 in the citric system, density and biomass recorded the highest values at 10 cm depth in all decreasing it with depth of sampling, higher rate of biodiversity recorded it secondary forest and citric 1,27'H system values 0,65D and 0,57D 1,21'H and also have good equity, since the species were identified at random; finally negative correlation was found between the parameters of soil macrofauna density and bulk density, while soil biomass density of species showed a positive correlation.

Key words: land use systems, physical-chemical indicators, density, biomass, diversity, macrofauna.

Introducción

Las modificaciones que han experimentado grandes áreas boscosas como consecuencia del aprovechamiento agropecuario y expansión de la frontera agrícola han afectado a grandes superficies en todo el planeta. Todavía no están muy claras las consecuencias que tales transformaciones causan en los suelos, de manera que se sigue sin poder evaluar realmente la sostenibilidad de tales aprovechamientos (1). A pesar de la importancia para la vida, el suelo no ha recibido de la sociedad la atención que merece. Su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad; ya que es un recurso esencial para la producción agraria que, sin embargo, sufre serios procesos de degradación que amenazan la sostenibilidad de la agricultura (2).

Los procesos de deterioro del suelo son aquellos que rebajan la capacidad actual y potencial del suelo para producir cualitativa y/o cuantitativamente los bienes o servicios que van a ser de amplio beneficio para la sociedad; sin embargo, la calidad de los suelos está estrechamente relacionada con los procesos de sucesión ecológica; la degradación de los ecosistemas, por regla general, trae consigo una disminución en la calidad de los suelos y una regresión en la sucesión vegetal; por ello, el estudio de la calidad del suelo, referido a sus condiciones para producir cosechas está orientado a sus características físicas, químicas y biológicas.

Los tipos o sistemas de uso de los suelos ocasionan diferentes grados de perturbación, que, al afectar sus características físicas, químicas y biológicas, tendrán efectos sobre la degradación y erosión parcial o total de los suelos. Estas características físicas, químicas y biológicas del suelo son las que van a brindar las condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de los cultivos; los que, a su vez, tienen influencia directa o indirecta sobre la aireación, conservación de la humedad, resistencia a la erosión, disponibilidad en cantidad y calidad de los nutrientes, entre otros.

El sector Nueva Esperanza Supte Chico, no es ajeno a esta problemática por lo que frente a una limitada información respecto a la influencia de los sistemas de uso de la tierra sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo y al incremento de la deforestación para el establecimiento de cultivos agrícolas, se planteó determinar la influencia de los sistemas de uso del suelo en la calidad del suelo, propiedades físicas-químicas y biológicas (macrofauna).

Materiales y métodos

Lugar de ejecución

La investigación se realizó en tres (03) parcelas con diferentes sistemas de uso del suelo (cacao, cítricos y bosque secundario) ubicados en el sector Nueva

Esperanza Supte Chico, ubicado a 1.5 km a la margen derecha de la carretera Fernando Belaunde Terry, con dirección Tingo María - Aucayacu, políticamente pertenecen al departamento de Huánuco, provincia de Leoncio Prado, distrito Rupa Rupa. El Cuadro 1 resume la ubicación georeferenciada.

Cuadro 1. Ubicaciones coordenadas UTM de la zona de estudio

Zona de estudio	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)
	E	N	
Parcela de cacao	363794	9073652	623
Parcela de cítrico	361727	9072737	579
Bosque secundario	361599	9072602	576

Características del área de estudio

Holdridge (3) establece según el diagrama bioclimático, que ecológicamente de acuerdo a la clasificación de zonas de vida; el sector Nueva Esperanza Supte Chico presenta formaciones vegetales de bosque muy húmedo pre montano tropical (Bmh – pt). Presenta un clima favorable para la actividad agraria durante todo el año con una precipitación pluvial de 3,200 mm al año, con periodo de máxima precipitación entre los meses de octubre a marzo y mínima entre los meses de junio a agosto. La temperatura promedio anual es de 25 °C, con leves descensos en los meses de junio, julio y agosto oscilación media mínima de 18 °C con respecto a la media anual. (4). Presenta una vegetación típica de bosque secundario, donde predominan las especies de cétrico *Cecropia Sp.*, atadijo, topa *Ocroma Sp.* y bosques cubiertos de densa vegetación arbórea. Asimismo, la influencia de régimen hídrico, la cantidad de nutrientes y la vegetación favorece un microclima especial para el desarrollo de la cubierta vegetal donde las temperaturas son más moderadas.

Parcelas estudiadas

Parcela de cacao *Theobroma cacao* de 4 años de uso, con un área de 2 ha, y un distanciamiento de 3 m x 3 m, con pendiente de 5%; cultivo de cítricos (*Citrus sp.*), naranja valencia en producción, con un área de 1/2 ha., con un distanciamiento de 5 m x 6 m, presenta una pendiente de 4% y bosque intervenido con 10 años de recuperación, con un área de 2 ha, pendiente de 4% a 15% y todos ellos presentan un microclima con una humedad relativa aproximada de 75%. Presenta vegetación arbórea de porte alto, cétrico (*Cecropia sp.*), moena (*Aniba sp.*), palta (*Persea sp.*), cañabrava, entre otros.

Diseño

De tipo transversal, los datos fueron recolectados en un solo momento, mediante un muestreo y análisis de suelo, evaluación de la compactación, densidad aparente y la macrofauna existentes en estas parcelas. Hernández *et al.* (5).

Evaluación de los parámetros físicos, químicos y biológicos

La evaluación de los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo se detallan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo

Parámetros físicos	Método de su determinación
Textura del suelo	Método del hidrómetro de bouyoucos
Densidad aparente	Por volumen, peso húmedo y seco
Temperatura del suelo	Método directo (termómetro)
Resistencia a la penetración	Método directo (penetrómetro)
Parámetros químicos	Método de su determinación
Materia orgánica	Método de Walkley y Blakc
Reacción del suelo	Método del potenciómetro
Nitrógeno total	Método de Kjeldahl
Fósforo disponible	Método de Olsen
Potasio disponible	Método del ácido sulfúrico
Parámetros biológicos	Método de su determinación
Densidad de la Macrofauna	Método directo por conteo
Biomasa de la macrofauna	Método directo por conteo
Diversidad de especies	Método de Simpson y Shannon – Winner

Muestreo de suelos

Se tomaron submuestras. Se realizó un recorrido en zig – zag, se tomó 20 submuestras por cada uso. En cada lugar de muestreo se limpió un área de 30 x 30 cm y con una pala se realizó un corte en forma de “V”; de un lado del cual se extrajo una submuestra. Se mezcló para homogenizar, se tomó 1 kilogramo, colocado en bolsas plásticas rotuladas, se enviaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para su respectivo análisis físico y químico.

Recuento y estructura de la comunidad del suelo

El recuento de la fauna edáfica se realizó in situ y se depositó en soluciones de alcohol al 80% para insectos de cuerpo endurecido y en formol del 4% hasta 10% las larvas e insectos de cuerpo no endurecido. Se cuantificó la biomasa (g/m^2) y densidad (individuos/ m^2) de todos los macro invertebrados por medio de estereoscopio y una balanza de precisión. Los valores de biomasa fueron multiplicados por un valor de corrección (19% para las lombrices, 9% hormigas, 11% escarabajos, 6% arañas y 13% para el resto de macro invertebrados) debido a la pérdida de peso durante la fijación en alcohol y formol (6).

Biomasa de macrofauna

Al igual que en la densidad, los datos (pesos) de cada punto de muestreo fueron multiplicados por 16

para obtener las unidades en gramos por m^2 (g.m^2) según metodología propuesto por Cotrina (7).

Índices de diversidad de macrofauna y riqueza de la diversidad biológica alfa

Para determinar el índice de diversidad de especies se utilizaron las fórmulas de Simpson y Shannon Wiener.

$$H' = \sum_{i=1}^s pi \ln pi$$

$$pi = \frac{ni}{N}$$

Dónde:

S = Número de especies o unidades taxonómicas

Ln = Logaritmo natural

ni = Abundancia de género i

N = Abundancia total de los géneros = $\sum ni$

ni = Abundancia de género

N = Abundancia total de los géneros = $\sum ni$

Análisis de datos

Para la interpretación de los análisis de suelo, se tomó en cuenta los rangos de interpretación emitidos por el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Las variables evaluadas fueron textura (arena, limo y arcilla), pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio. Para determinar grado de relación entre las características del suelo y el tiempo, se realizó el análisis de regresión y correlación simple, basado en los siguientes modelos matemáticos. Del mismo modo, para determinar la relación entre las propiedades físico químicas del suelo y la densidad y biomasa de macrofauna se utilizó la prueba estadística r (coeficiente de Pearson) (5).

Resultados

Indicadores físicos y químicos del suelo bajo tres sistemas de uso de la tierra

La densidad aparente nos muestra variaciones significativas entre los sistemas de uso de la tierra de $1,3 \text{ g/cm}^3$ a $1,5 \text{ g/cm}^3$, mientras que el sistema cítrico mostro una mejor resistencia a la penetración de $1,7 \text{ kg/cm}^2$ catalogándose como suelos suaves, y temperatura $24,2^\circ\text{C}$ con respecto a los demás sistemas como se observa en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Características físicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso

Sistema de uso	Densidad aparente g/cm^3	Resistencia Penetración del suelo Kg/cm^2	Temperatura del suelo $^\circ\text{C}$	Textura
Cítrico	1,5	1,7	24,2	Franco arcillo arenoso
Bosque sec.	1,3	1,5	22,0	Franco arcilloso
Cacao	1,4	1,6	23,0	Franco arenoso

Con respecto a la clase textural: el sistema cítrico presenta textura franco arcillo arenoso, bosque secundario textura franco arcillosos y finalmente el cultivo de cacao textura franco arenoso, como indica el, Cuadro 10.

Características químicas

El suelo del sistema cítrico presenta un pH moderadamente ácido (6,01), bajos contenidos en materia orgánica (1,83%), nitrógeno (0,08%), fósforo (1,78 ppm) y potasio intercambiable (99,38 kg/ha), asimismo muy baja capacidad de cambio (5,31 meq/100 g), lo cual hace que sus contenidos de Ca y Mg sean relativamente bajas. Los suelos de bosque secundario presenta un pH muy

fuertemente ácido (4,6), altos contenidos en materia orgánica (5,50%) y nitrógeno (0,25%), contenido medio de fósforo intercambiable con (11,48 ppm), al igual que el potasio con 463,77 kg/ha, referente a su capacidad de cambio se reportó muy baja CIC, lo cual hace que sus niveles de Ca y Mg presenten de bajos a muy bajos contenidos y los suelos con cultivo de cacao presentan un pH fuertemente ácido (4,86), contenidos medios en materia orgánica (2,44%), nitrógeno (0,11%) y fósforo, asimismo bajo contenido de potasio intercambiable con 119,26 kg/ha, su capacidad de cambio, al igual que los demás sistemas presento muy baja CIC y contenidos bajos en Ca y Mg, Cuadro 4.

Cuadro 4. Características químicas del suelo bajo diferentes sistemas de uso

Sistema de uso	pH	M.O	N	P	K ₂ O	CIC	Ca	Mg
	1:1	%	%	Ppm	Kg/ha	Meq/100g		
Cítrico	6,01	1,83	0,08	1,78	99,38	5,31	3,89	1,13
Bosque sec.	4,6	5,50	0,25	11,48	463,77	5,26	2,13	0,78
Cacao	4,84	2,44	0,11	7,21	119,26	5,29	1,32	1,06

Identificación de macrofauna

Se identificaron 10 órdenes de macrofauna en bosque secundario, 09 en el cultivo de cacao y 11 en el sistema cítrico; Hymenópteras y Haplotaxidas predominan en los tres sistemas de uso, en el bosque secundario predominan las Hymenópteras (hormigas) con 166 ind/m², seguido del sistema cítrico con 118 ind/m² y en el cultivo de cacao con 110 ind/m², en el sistema cítrico predominan las Haplotaxidas (lombrices) con 54 ind/m², seguido del bosque secundario con 45 ind/m² y fue inferior en el cultivo de cacao con 17 ind/m² respectivamente. Asimismo; Isópoda, Chilópoda y Lepidóptera presentan escasa densidad de individuos 1 ind/m² y aislados a sistemas específicos (Bosque secundario y el sistema cítrico) tal como lo muestra el Cuadro 5.

Cuadro 5. Macrofauna del suelo identificado en diferentes sistemas de uso

Taxonomía Clase – Orden	Sistemas de uso de suelo			Total ind. (ind.m ⁻²)
	Bosque s. (ind.m ⁻²)	Cacao (ind.m ⁻²)	cítrico (ind.m ⁻²)	
Insecta - Hymenópteras	166	110	118	394
Oligochaeta-Haplotaxidas	45	17	54	116
Crustáceo - Isópoda	1	0	0	1
Miriapodas - Chilópoda	0	0	1	1
Miriapodas - Diplópoda	0	1	1	2
Larvas	1	2	1	4
Insecta - Dictyoptera	1	2	1	4

Insecta-Isóptera	5	4	3	12
Insecta - Lepidóptera	0	0	1	1
Insecta - Coleóptera	1	1	4	6
Insecta - Orthóptera	0	0	2	2
Arachnida - Araneae	1	3	2	6
Insecta - Hemiptera	1	0	1	2
Insecta - Blatodea	4	1	3	8
Total (ind.m ⁻²)	226	141	192	559

Densidad y biomasa de macrofauna de suelo entre sistemas de uso.

Los suelos de bosque secundario presentaron mayor cantidad de individuos con una densidad de 226 ind.m⁻², seguidos por el sistema cítrico con 192 ind.m⁻² y el cultivo de cacao con 141 ind.m⁻². De la misma manera, bosque secundario presentó mayor biomasa (17,49 g.m⁻²), seguido por el sistema cítrico (10,49 g.m⁻²) y finalmente el cultivo de cacao con menor proporción (7,08 g.m⁻²), como muestra el (Cuadro 6).

Cuadro 6. Densidad y biomasa de macrofauna en diferentes sistemas de uso de suelo

Sistema de uso	Densidad (ind.m ⁻²)	Biomasa (g.m ⁻²)
Bosque secundario	226	17,49
cacao	141	8,08
Cítrico	192	10,49

Distribución de la densidad y biomasa de macrofauna a diferentes profundidades del suelo

La mayor densidad de macrofauna del suelo se presentaron en los primeros 10 cm de profundidad, decreciendo conforme el aumento de esta, asimismo el bosque secundario presentó mayores valores de densidad por encima de los demás sistemas de uso con 155 Ind/m², 50 Ind/m² y 21 Ind/m², seguido por el sistema cítrico 124 Ind/m², 49 Ind/m² y 19 Ind/m² y el cultivo de cacao 99 Ind/m², 30 Ind/m² y 12 Ind/m²; tal como se presenta en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Densidad de macrofauna en diferentes sistemas de uso y a diferentes profundidades

Profundidad de muestreo	Sistema de uso			
	Cítrico (ind.m ²)	Cacao (ind.m ²)	Bosque secundario (ind.m ²)	Total (ind.m ²)
0 – 10	124	99	155	378
10 – 20	49	30	50	129
20 – 30	19	12	21	52

De la misma manera sucedió con la biomasa de la macrofauna edáfica se presentaron los mayores valores en la capa superior (0 - 10 cm), donde el bosque secundario supero a los demás sistemas con (10,71 g/m², 4,75 g/m² y 2,04 g/m²), seguido por el sistema cítrico (6,2 g/m², 3,10 g/m² y 1,27 g/m²), mientras menores valores se presentan en el sistema cacao (4,62 g/m², 2,43 g/m² y 1,03 g/m²), esto se indica en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Biomasa de macrofauna en diferentes sistemas de uso y a diferentes profundidades

Profundidad de muestreo	Sistema de uso			
	Cítrico (g/m ²)	Cacao (g/m ²)	Bosque secundario (g/m ²)	Total (g/m ²)
0 – 10	6.12	4.62	10.71	21.45
10 – 20	3.1	2.43	4.75	10.28
20 – 30	1.27	1.03	2.04	5.34

Diversidad de la macrofauna del suelo en los diferentes sistemas de uso

El Cuadro 9 nos muestra la diversidad de macrofauna por el método de Simpson (D) y Shannon – Wiener (H) en los tres sistemas de uso, el bosque secundario y el sistema cítrico presentan mayor diversidad de especies 0.65D y 1.27H, 0.57D y 1.21H respectivamente, mientras el cultivo de cacao presentó menor diversidad de especies 0.33D y 0.76H, asimismo los sistemas presentan una buena equidad, donde todas las especies han sido identificadas al azar.

Cuadro 9. Diversidad de especies y equidad en los diferentes sistemas de uso

Sistemas de uso	Método Simpson		Método Shannon - Wiener	
	D	%	H'	E
Bosque secundario	0,653	65,3 %	1,27	0,79
Cacao	0,333	33,3 %	0,76	0,48
Cítrico	0,573	57,3 %	1,21	0,58

Relación entre los parámetros físicos y químicos con las propiedades biológicas del suelo

Se observa en el Cuadro 10, que la correlación entre la densidad de la macrofauna del suelo y la densidad aparente del suelo es negativa (-0,96) y significativa (p-valor = 0,035290), es decir que la densidad de la macrofauna del suelo es inversamente proporcional a la densidad aparente, en tanto si una de estas variables se incrementa la otra disminuye o viceversa. Por otro lado, la correlación entre la biomasa de la macrofauna del suelo y la densidad de macrofauna del suelo es fuerte, positiva (1) y altamente significativa (p-valor = 0,001773), es decir que la biomasa de la macrofauna del suelo es directamente proporcional a la densidad del suelo y que ambas variables crecen y decrecen conjuntamente.

Cuadro 10. Correlación entre las propiedades del suelo y la macrofauna

Variable (1)	Variable (2)	Coef. de Pearson	p-valor	Significancia
Densidad macrofauna	Densidad aparente	-0.96	0.035290	*
Biomasa macrofauna	Densidad macrofauna	1	0.001773	*

Fuente elaboración propia, con un 5% de nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y una probabilidad del 95% estadísticamente se encontró correlación entre las variables de estudio, (* significativo).

Discusión

Indicadores físicos

El análisis físico del suelo muestra que existe variaciones significativas entre los sistemas de uso de la tierra donde la densidad aparente de los suelos es de 1,3 g/cm³ a 1,5 g/cm³, como menciona Arskhead *et al.* (1996) citado por USDA (8) que la densidad aparente es una propiedad dinámica que varía con la condición estructural del suelo, esta condición puede ser alterada por cultivación, pisoteo de animales y por el clima; tal como lo argumentan Wardle y Bardgett (9) al determinar la mesofauna del suelo bajo diferentes coberturas en Tingo María con el propósito de conocer la dinámica de la mesofauna edáfica, cuantificarla, cualificarla, y relacionarla con la materia orgánica, en diferentes estratos, encontraron que las propiedades físicas de

los suelos de cafetal presentó una textura franco arcillo limosa, una densidad aparente de $0,9 \text{ g/cm}^3$, en bosque secundario una densidad aparente ($1,1 \text{ g/cm}^3$), textura franco arcillosa, resistencia ($1,5 \text{ kg/cm}^2$), en pastizal una textura de franco arcillosa, baja densidad aparente de $1,0 \text{ g/cm}^3$, alta resistencia a la compactación ($2,9 \text{ kg/cm}^2$) y el suelo de maizal presentó textura franco arcillo limosa, baja densidad aparente ($1,0 \text{ g/cm}^3$), resistencia de ($1,7 \text{ kg/cm}^2$). Mientras que Araujo *et al*, (10) hace referencia que la densidad del suelo está relacionada con la textura, los suelos arenosos obtienen mayores valores frecuentemente entre $1,35$ a $1,85 \text{ g/cm}^3$; las densidades de las partículas minerales se encuentran en los suelos arenosos, arcillosos entre $< 1,0$ a $> 1,7 \text{ g/cm}^3$; en suelos franco arcillosos de $1,0$ a $1,5 \text{ g/cm}^3$ y en suelos francos de $1,5$ a $1,7 \text{ g/cm}^3$ (USDA, 1999). La resistencia a la penetración del bosque secundario y el sistema cítrico presentan una alta o adecuada resistencia entre $1,5 \text{ kg/cm}^2$ y $1,7 \text{ kg/cm}^2$, con una homogeneidad aceptable, La resistencia a la penetración es un parámetro más sensible que la densidad aparente para detectar efectos de las prácticas de manejo en el suelo (11). La resistencia del suelo se encuentra entre los rangos bajo $> 2 \text{ g/cm}^3$, medio 2 g/cm^3 y alto o adecuado $< 2 \text{ g/cm}^3$, asimismo es una medida de la facilidad con la cual un objeto puede ser empujado dentro del suelo (8).

Las temperaturas en los tres sistemas de uso de la tierra evaluadas oscilan entre $22 \text{ }^\circ\text{C}$ y $24,20 \text{ }^\circ\text{C}$, con coeficientes de variación poco dispersos y una homogeneidad aceptable, El calentamiento del suelo dependerá de la cantidad de radiación neta que llegue a la superficie terrestre resultado de considerar el balance energético de onda corta y de onda larga, La presencia de una importante cubierta vegetal disminuye la cantidad de radiación global, no solo por efecto de la sombra que hace disminuir la radiación directa, también afecta al cambiar el albedo (12). El bosque es más eficaz que el césped, así en verano un suelo de un bosque denso puede llegar a estar $10 \text{ }^\circ\text{C}$ más frío que un suelo sin cubierta vegetal (8).

Las clases texturales presentes en los en los tres sistema de uso de la tierra son de textura moderadamente gruesa (Franco arenoso) y moderadamente fina (Franco arcillo arenoso y franco arcilloso), todos los sistemas de uso de la tierra se encuentran dentro de los valores de suelos francos entre $1,3$ a $1,5 \text{ g/cm}^3$; mientras que Zavaleta (13) menciona que las clases texturales se basan en las diferentes combinaciones de arena limo y arcilla, por consiguiente, estas combinaciones son casi infinitas.

Indicadores químicos

El bosque secundario y el cultivo de cacao presentan un pH fuertemente ácido ($4,6$ y $4,84$) y el sistema cítrico con un pH moderadamente ácido

($6,01$), todos ellos se encuentra dentro los rangos para el desarrollo de las plantas, tal como corrobora Sánchez (14) que el pH es una propiedad que tiene influencia indirecta en los procesos químicos, disponibilidad de nutrientes, procesos biológicos y actividad microbiana, mientras que Navarro y Navarro (15) mencionan que la acidez es característica de suelos localizados en regiones de alta pluviometría; asimismo, la mayoría de los organismos evitan los suelos ácidos. Fassbender y Bornemisza (16) menciona que el pH óptimo para el desarrollo de las plantas esta dado entre los valores de pH de $6,5$ y $7,5$ pH mayores o menores a este rango traerán consigo problemas por toxicidad.

La materia orgánica y el nitrógeno en el sistema cítrico presentó bajos contenidos, mientras que el cultivo de cacao presenta contenido medio y el bosque secundario presentan alto contenido, como señala Fassbender (17) que el nitrógeno guarda relación con la materia orgánica, ya que existe en la atmósfera terrestre a través de los distintos procesos de fijación. Zavaleta (13) hace referencia que el contenido de materia orgánica en el suelo es muy variable y está condicionado en primera instancia por el clima y la vegetación, la fisiografía, la naturaleza, el material madre que genera el suelo; asimismo, el sistema de manejo, el tipo y la duración de la explotación de los suelos y algunas de sus características químicas, físicas y microbiológicas. Por consiguiente, el mismo valor numérico tendría significado a nivel regional. Así, mientras en un valle aluvial de la costa un 2% es alto este mismo valor en la sierra sería bajo y en la amazonia baja sería valor medio, De allí que los niveles de bajo, medio alto y muy alto deben ser juzgados a nivel regional y de acuerdo a las necesidades de un cultivo determinado (18). Mientras que Fernández (19) hace referencia que la cantidad de nitrógeno presente en muchos suelos es escasa, debido a su propia dinámica y a su ciclo biogeoquímico y puede llegar al suelo gracias a los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire.

El fósforo y el potasio en el sistema cítrico presentó bajos contenidos, en comparación con el cultivo de cacao y el bosque secundario quienes presentaron un nivel medio (Cuadro 11), para Navarro y Navarro (15) este elemento se clasifica en fósforo inorgánico está ligado a la descomposición de la roca madre durante el proceso de meteorización, no obstante, que esta variación está influenciada por la intensidad de las pérdidas: extracción de cultivos, lixiviación y erosión, Mientras que Bornemisza (12) menciona que la cantidad de fósforo total en el suelo, expresada como P_2O_5 , raramente sobrepasa el valor de 7 ppm , que para nuestros casos el cultivo de cacao y el bosque secundario sobrepasan estos valores.

Todos los sistemas de uso de la tierra que presentan contenidos bajos de CIC son: $5,31 \text{ meq/100 g}$ de suelo sistema cítrico, $5,29 \text{ meq/100 g}$

de suelo cultivo de cacao y 5,26 meq/100 g de suelo el bosque secundario; Fassbender (16) hace referencia que existe una correlación entre la textura y la capacidad de cambio, aumentando ésta para los suelos de textura fina y disminuyendo para suelos de textura gruesa ya que las arenas y margas arenosas son pobres en arcilla coloidal y casi siempre deficientes como también en humus. Cepeda (20) hace referencia que las arcillas con gran capacidad de intercambio tienden a enlazar los cationes bivalentes como el Ca^{++} y el Mg^{++} , con más energía que el K^+ . Esta característica puede afectar la disponibilidad de los nutrientes. Los suelos con arcillas caoliníticas tienen una menor energía de enlace y, por lo tanto, para un nivel analítico determinado o un porcentaje de saturación de un elemento se mostrará una disponibilidad relativa mayor. Todos los sistemas de uso de la tierra presentan bajos contenidos de calcio y magnesio; Fassbender (16) indica que los factores que influyen sobre los nutrientes en el suelo son el régimen hídrico, la actividad biológica que a su vez depende del pH y la fertilización.

Se determinó que el bosque secundario presenta una densidad aparente de $1,3 \text{ g/cm}^3$, con una resistencia a la penetración de $1,5 \text{ kg/cm}^2$, una textura de franco arcilloso, con un pH fuertemente ácido, un contenido alto de materia orgánica y nitrógeno y contenido medio de fósforo y potasio tienen una densidad y biomasa de macrofauna superior a los demás sistemas de uso, pero a su vez tienen una diversidad superior en comparación a los demás sistemas de uso. Respecto a ello Ferreras *et al.*, (6) señala que, en Colombia encontraron que los suelos con contenidos altos de limo (63%), Mg ($0,2 \text{ mEq/100 g}$) y K ($0,1 \text{ mEq/100g}$), tenían altas poblaciones y riqueza taxonómica de macrofauna; así Myriapoda, Cicadidae, Dictyoptera, Isópoda tuvieron grandes biomasa; Oligochaeta, Formicidae, Isópoda y Myriapoda estuvieron presentes en altas densidades. Estos resultados coinciden con lo encontrado en este trabajo, una alta biomasa y densidad de Insecta - Hymenópteras (hormigas) en el bosque secundario y Oligochaeta – Haplotaxida (lombrices) en el sistema cítrico.

Identificación y cuantificación de la macrofauna

Se identificaron 10 órdenes de macrofauna del suelo en el bosque secundario, 09 en el cultivo de cacao y 11 en el sistema cítrico; de las cuales la más abundante pertenecieron a la clase Insecta con 8 órdenes (hymenóptera, Dictyoptera, Isópoda, Lepidóptera, Coleóptera, Orthóptera, Hemíptera y Blatodea), donde la Hymenóptera y al Haplotaxidas fueron las más predominantes en los tres sistemas de uso alcanzando un mayor número de individuos, como señala Cotrina (7) asimismo el orden Hymenóptera tiene una amplia distribución y ocurre en los ecosistemas más extremos; mientras que las actividades antrópicas han sido una de las

principales responsables de la dispersión de las lombrices de tierra (1).

En el bosque secundario predominan las Hymenópteras con 166 ind./m^2 , mientras que en el sistema cítrico predominan la Haplotaxidas con 54 ind./m^2 , tal como menciona Rodríguez (20) la destrucción/fragmentación de los hábitats naturales y, como consecuencia, el deterioro del contenido de materia orgánica del suelo, determinan la disminución de la riqueza y la abundancia de las lombrices de tierra, asimismo, pueden ser la biomasa dominante en pasturas fértiles. Lavelle *et al.*, (1) indica que las termitas adquieren importancia en zonas de cultivos, donde su invasión y agresividad han estado relacionadas con condiciones adversas de temperatura y humedad, Respecto a la abundancia de las Hymenóptera en bosque secundario y el sistema cítrico. Tuesta (22) menciona que los integrantes de la Familia Formicidae, tienden a ser más abundantes en los bosques abiertos y secos y en las pasturas no cultivadas. Los suelos de bosque secundario presentaron una mayor cantidad de individuos con una densidad de 226 ind./m^2 , seguidos por el sistema cítrico con 192 ind./m^2 y el cultivo de cacao con 141 ind./m^2 , de la misma manera el bosque secundario presento una mayor biomasa de ($17,49 \text{ g./m}^2$), seguido por el sistema cítrico con ($10,49 \text{ g./m}^2$), y finalmente el cultivo de cacao con ($7,08 \text{ g./m}^2$), al respecto Bautista *et al.* (2) determinó que una pradera de *L. multiflorum* y el bosque secundario presentó un mayor valor de abundancia de lombrices ($5,648$ y $4,864 \text{ ind./m}^2$) y biomasa ($141,3$ y $670,7 \text{ g./m}^2$), asimismo; probablemente por la época de muestreo y la poca biomasa de raíces en los tres sistemas, estos datos no fueron similares a los resultados obtenidos.

Respecto a la distribución vertical, en todos los usos del suelo la mayor abundancia de organismos y biomasa se presentó en la profundidad de 0 - 10 cm. Así mismo estadísticamente se encontró diferencia a un 95% de confiabilidad; de igual forma no se registró interacción entre los dos factores evaluados (sistemas de uso y la profundidad), tal como menciona Bautista *et al.*, (2), quienes determinaron la mayor abundancia, riqueza y diversidad en el estrato de 0 a 10 cm. La diversidad de la macrofauna en los tres sistemas de uso de la tierra obtenidos de la macrofauna por el método de Simpson (D) y el método de Shannon – Wiener (H'), el bosque secundario y el sistema cítrico presentan mayor diversidad de especies $0,65D$ y $1,27'H$, $0,57D$ y $1,21'H$ respectivamente, mientras el cultivo de cacao presentó menor diversidad de especies $0,33D$ y $0,76'H$, asimismo los sistemas presentan una buena equidad, donde todas las especies han sido identificadas al azar; tal como señala Lavelle *et al.* (1); Wardle y Bardgett (9) que la variación de hábitat fue un factor influyente en la densidad, la biomasa y la diversidad de especies de

macrofauna ya que estos responde al manejo (secuencia de cultivos, manera de preparación del suelo, ingreso de la materia orgánica, etc.), como resultado de las perturbaciones físicas que se producen, el tipo, la riqueza de especies vegetales y su manejo tienen efecto sobre la macrofauna del suelo (23, 24); y en una gran variedad de cultivos (arroz, maíz, soja) (25). Asimismo, menciona que a medida que haya más especies y que estén más cerca de la equidad en su distribución mayor es la diversidad biológica en el sistema. El índice de Shannon–Winner mide el grado de incertidumbre que existe para predecir la especie a la cual pertenece un individuo extraído aleatoriamente de la comunidad para un número dado de especies e individuos, la función tendrá valor mínimo cuando todos los individuos pertenecen a una especie y un valor máximo cuando todas las especies tengan la misma cantidad de individuos.

Parámetros físicos-químicos y propiedades biológicas del suelo

La correlación entre la densidad de la macrofauna del suelo y la densidad aparente del suelo es negativa (-0,96) y significativa (p -valor = 0,035290), es decir, que la densidad de la macrofauna del suelo es inversamente proporcional a la densidad aparente, en tanto si una de estas variables se incrementa la otra disminuye o viceversa. Decaens et al (2001) (26) atribuye la disminución de la riqueza, densidad y biomasa total de la macrofauna del suelo, al uso de agroquímicos, a la reducción en la producción de raíces y a la modificación en el microclima del suelo; del mismo modo, en sistemas de cultivos anuales intensivos se puede producir un aumento de la compactación; como resultado hay una marcada complejidad y estabilidad de la comunidad biológica del suelo. Por otro lado, la correlación entre la biomasa de la macrofauna del suelo y la densidad de macrofauna del suelo es fuerte, positiva (1) y altamente significativa (p -valor = 0,001773), es decir que la biomasa de la macrofauna del suelo es directamente proporcional a la densidad del suelo y que ambas variables crecen y decrecen conjuntamente. Como menciona Lavelle *et al.* (27) citados por Lavelle *et al.*, (1) que la temperatura es el principal factor, seguido de la disponibilidad de recursos (riqueza de nutrientes), variación estacional de la humedad. Por otra parte, a nivel local la composición y distribución de las comunidades son afectadas por factores tales como la disponibilidad de recursos, las condiciones microclimáticas, la fertilidad y estructura del suelo.

Conclusión

La calidad del suelo influye en los sistemas de uso de la tierra y en los indicadores físicos, químicos y biológicos. Los indicadores físicos y químicos evaluados en los tres sistemas de uso de la tierra, presentaron una densidad aparente dinámica con variaciones de 1,3 g/cm³ a 1,5 g/cm³, resistencia a

la penetración catalogadas como suelos suaves o adecuados, temperatura promedio de 23 °C y suelos de textura moderadamente gruesa a moderadamente fina, pH de fuerte a moderadamente ácido, contenidos bajo, medio y alto en materia orgánica, nitrógeno; contenido bajo a medio de fósforo y potasio intercambiable, muy baja capacidad de cambio, haciendo que estos suelos presenten de bajos a muy bajos contenidos de Ca y Mg. Se identificaron 10 órdenes de macrofauna en bosque secundario, 09 en el cultivo de cacao y 11 en el sistema cítrico, predominando en los tres sistemas de uso de la tierra los grupos Himenóptera y Haplotaxida; la mayor densidad y biomasa se encontraron a los 0-10 cm de profundidad, en todos los sistemas, mayor índice de diversidad biológica lo registran el bosque secundario con el sistema cítrico con valores 1,27'H - 0,65D y 1,21'H y 0,57D, presentan una buena equidad. Se determinó una correlación inversamente proporcional entre la densidad de macrofauna y la densidad aparente del suelo, mientras que la biomasa edáfica con la densidad de macrofauna presentó una correlación directamente proporcional y altamente significativos en ambos casos con una probabilidad del 95%.

Referencias bibliográficas

1. Lavelle P, Spain A, Blanchart E, Martin A, Martin S. The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics, En: Myths and Science of Soils of the Tropics, SSSA Special Publication. Madison Wisconsin; 2001. pp. 157-185.
2. Bautista C, Etchevers B, Del Castillo R, Gutiérrez C. La calidad de los suelos y sus indicadores. [Internet]. 2004. [Consultado 2005 nov 30]. Disponible en: <http://www.aeet.org/ecosistema/>.
3. Holdridge L. Ecología basada en zonas de vida. Costa Rica: San José; IICA. 1986.
4. SENAMHI. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Datos meteorológicos. – Estación Meteorológica José Abelardo Quiñonez [Internet]. 2004. [Consultado 2005 nov 30]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
5. Hernández R, Fernández C, Baptista P. Metodología de investigación. 4 ed. México: McGraw-Hill Interamericana; 2006.
6. Ferreras L, Toresani S, Bonel B, Fernandez E, Bacigaluppo S, Faggioli V, Beltrán C. Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. Argentina. 2009; 27(1):103-114.
7. Cotrina H. Evaluación de la calidad del suelo y de la diversidad de su macrofauna en cacaotales y bosques de Bocas del Toro, Panamá. Informe de Investigación, Panamá: Proyecto Cacao Centroamérica, CATIE; 2011.

8. USDA. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura de los Estados Unidos. 1999
9. Wardle D, Bardgett R. Indirect effects of invertebrate herbivory on the decomposer subsystem. *Ecological Studies*. 2004;173: 53:69.
10. Araújo M, Tormena C, Inoue T, Costa ACS. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2004; 28: 459- .
11. Bauder A, Black A. Soil carbon, nitrogen, and bulk density comparisons in two cropland tillage systems after 25 years and in virgin grassland, *Soil Sci, Soc, Am, J*. 1981; 45: 1166-1170.
12. Bornemisza E. Introducción a la Química de Suelos. Costa Rica: San José, Universidad de Costa Rica; 1982. pp. 21-47.
13. Zavaleta G. Edafología. El suelo en relación con la Producción. Lima: Consejo Nacional de Concentración y Tecnología - CONCYTEC; 1992.
14. Sánchez J. Fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas. 2007
15. Navarro S, Navarro G. Química Agrícola, el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2da ed. Madrid: Mundi – Prensa Libros S.A.; 2003.
16. Fassbender H, Bornemisza, E. Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. Costa Rica: San José, IICA; 1987.
17. Fassbender H. Química de suelos con énfasis en Suelos de América Latina. 2 ed. Costa Rica: San José, IICA; 1975.
18. Soil Survey Staff. Soil survey manual. United States Department of Agriculture. Washington: Printing Office; 1993.
19. Fernández R. Manual de técnicas de análisis de suelos. México: Instituto Mexicano del petróleo; 2006.
20. Cepeda D. Química de Suelos. 2da ed. México: Editorial Trillas S.A.; 1991.
21. Rodríguez C. Comunidades de lombrices de tierra en ecosistemas con diferente grado de perturbación. *Rev. Biología*. 2009. p. 14:147.
22. Tuesta M. Evaluación de los macroinvertebrados del suelo en diferentes sistemas de uso en el distrito de Nuevo Progreso. [Tesis para optar el título de ingeniero en Recursos Naturales Renovables, mención Conservación de Suelos y Agua]. Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva; 2005.
23. Altieri M. El agroecosistema: determinantes, recursos, procesos y sustentabilidad. *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo, Nordan Comunidad; 1999. p. 47-70.
24. Aquino M; Merlim A; De Oliveira A; Correia M, Mercante F. 2000. Diversidade da macrofauna do solo como indicadora de sistemas de plantio direto para a região oeste do Brasil. 2000.
25. Lee K. Earthworms: their ecology and relationships with soils and land use. New York: Academic Press; 1985.
26. Decaens T, Lavelle P, Jiménez J, Escobar G, Rippstein G, Schneidmadl J, Sanz J, Hoyos P, Thomas R. Impact of land management on soil macrofauna in the eastern plains of Colombia. In Jiménez J, Thomas R. *Nature's Plow: Soil macroinvertebrate communities in the Neotropical savannas of Colombia*. Cali, CIAT; 2001. pp. 19-41.
27. Lavelle P, Blanchart E, Martín A, Martín S, Spain A. Un modelo jerárquico para la descomposición en los ecosistemas terrestres: aplicación a los suelos de los trópicos húmedos. *Biotropica*. 1993; 25(2): 130-150.