

ARTÍCULO ORIGINAL**CALIDAD DE SUELOS EN DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA, DISTRITO EL ESLABÓN, PROVINCIA DE HUALLAGA-SAN MARTIN****SOIL QUALITY IN DIFFERENT SYSTEMS OF LAND USE, DISTRICT EL ESLABÓN, PROVINCE OF HUALLAGA, SAN MARTIN**

Marussia Reátegui Vásquez

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

Correo electrónico: marv_15@gmail.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: 25 de noviembre de 2018**Aceptado:** 25 de marzo de 2019**Resumen**

Se determinaron los indicadores físicos, químicos y biológicos, distribución espacial a partir del uso del SIG, identificación y cuantificación de la macrofauna a diferentes profundidades en diferentes sistemas de uso de la tierra, distrito de El Eslabón, provincia Huallaga, San Martín. Se ubicó y reconoció el terreno, muestrearon fauna edáfica y suelos con su respectiva determinación de sus propiedades física y química y biológica, la densidad, biomasa, diversidad y riqueza de las especies se determinó mediante el índice de Simpson y Shannon-Wiener. Como resultados se interpretaron los indicadores físicos y químicos de los suelos, presentaron estructura granular y textura franco arcilloso a franco arcillo arenosos, densidad aparente del suelo se encuentran dentro de los suelos francos, temperatura promedio 26.76 °C, alta resistencia a la penetración del suelo y es un suelo profundo, pH de moderadamente ácido a neutro, contenidos medio de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, CIC, bajo contenido de potasio y magnesio y alto contenido de calcio; se representó cartográficamente en mapas temáticos la distribución de los indicadores físicos y químicos en los diferentes sistemas de uso de la tierra utilizando el método kriging; se identificaron 11 órdenes de la clase insecta, predominando las himenópteras e isópteras en todos los sistemas, mayor densidad y biomasa se registró en los primeros 10 cm, que decrecieron con la profundidad, el bosque secundario presentó mayor densidad y biomasa que los demás sistemas. Según el índice de Simpson y Shannon y Wiener el cultivo de yuca fue más diverso que los demás sistemas de uso evaluados (maíz, pasto y bosque secundario).

Palabras clave: Indicadores, distribución espacial, biomasa, densidad, diversidad, macrofauna.

Abstract

Physical, chemical and biological indicators, spatial distribution from the use of GIS, identification and quantification of the macrofauna at different depths in different systems of land use, district of El Eslabón province Huallaga, San Martín were determined. He stood and recognized the ground, they sampled soil fauna and soil with their respective determination of their physical and chemical and biological properties, density, biomass, diversity and richness of species was determined by Simpson index and Shannon-Wiener. As a result, the physical and chemical indicators of soil were interpreted, presented average granular structure and clay loam to sandy loam clay, soil bulk density are within loamy soils, temperature 26.76 °C, high resistance to soil penetration and is a deep soil, pH moderately acidic to neutral medium content of organic matter, nitrogen, phosphorus, CIC, low potassium and magnesium and high calcium content; the distribution of physical and chemical indicators in different systems of land use using the kriging method is represented cartographically in thematic maps; 11 orders of the class Insecta identified, predominantly hymenoptera and isoptera in all systems, higher density and biomass was recorded in the first 10 cm, which decreased with depth, secondary forest showed higher density and biomass than other systems. According to the index of Simpson and Shannon and Wiener cassava (mandioc) cultivation was more diverse than the other systems evaluated use (corn, pasture and secondary forest)

Key words: Indicators, spatial distribution, biomass, density, diversity, macrofauna.

Introducción

La provincia de Huallaga posee excelentes suelos para el desarrollo de la agricultura, aunque en una proporción mínima en comparación con los suelos con aptitud forestal, y aún mucho menos, con relación a los suelos destinados a áreas de protección. Presenta tierras aluviales con aptitudes para el desarrollo agrícola y pecuario; se le considera como uno de los suelos más fértiles del trópico (1). Uno de los impactos más visibles de la ocupación humana en el distrito Eslabón es el proceso acelerado de deforestación y transformación del paisaje. De las áreas intervenidas, algo más del 50% que corresponden a tierras con conflictos de uso, donde el distrito Eslabón no está ajena a estos problemas. Frente a este contexto y al existir una limitada información sobre la calidad del suelo en los diferentes sistemas de uso actual de la tierra en el distrito El Eslabón, la respuesta a la siguiente interrogante es que la calidad del suelo influye en los sistemas de uso de la tierra en el distrito de El Eslabón. La indagación se orienta en analizar las consecuencias de los conflictos de uso en la fertilidad del suelo. En tal sentido en busca de agricultura sustentable, los indicadores de calidad física y química, los indicadores de calidad física y química proporcionarían información valiosa que reforzaran el entendimiento en la funcionalidad del suelo a corto plazo y la dirección del ecosistema si se encamina a su recuperación, preservación o degradación, así mismo como punto de partida en los planes y proyectos de manejo, para la preservación y medidas de mitigación de la degradación de los sistemas de uso de los suelos. En base a lo planteado se acepta de que la calidad del suelo influye en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el distrito de El Eslabón.

Materiales y métodos

Lugar de ejecución

El distrito El Eslabón se encuentra ubicado en la provincia de Huallaga, región San Martín, aproximadamente a 5 kilómetros de la carretera Fernando Belaunde Terry, tramo Sacanche - Saposoa. El área donde de muestreo se encuentra en las coordenadas UTM (Zona 18 M, Datum WGS 84) que son las siguientes coordenadas UTM 309111 Este y 9221778 Norte y una altitud de 349 m.s.n.m. Presenta una precipitación promedio anual de 1,000 mm con una temperatura promedio de 25.6 °C, habitualmente en el año, una temperatura máxima de 36 °C, y una temperatura mínima de 25.6 °C.

Metodología

Las coordinaciones se realizaron con visitas al propietario del predio de la señora Ediltrudes Vásquez Marquillo, se ubicó un área de 6,399.82 m², el predio en sus inicios fue purma de 12 años de

edad, se realizó la limpieza del terreno y se instalaron los cultivos de maíz, yuca y pasto, dejando un área de bosque secundario, considerando cuatro sistemas de uso del suelo: Suelo aluvial (Yuca (*Manihot esculenta*)), de tres meses de establecidos; Terraza (Maíz (*Zea mays*)), de dos meses de establecidos; Colina (Pasto (*Brachiaria brizantha*)), tres meses de establecidos; Bosque secundario (12 años). Se identificaron cuatro parcelas en una sola área, las mismas que fueron seleccionadas, delimitadas por sectores que correspondieron a un suelo aluvial (Yuca (*Manihot esculenta*)), terraza (Maíz (*Zea mays*)), Colina (Pasto (*Brachiaria brizantha*)) y bosque secundario de (12 años). La condición de los días de muestreo se realizó en los días soleados y húmedos, a intervalos de las horas de 7.00 am a 5.00 pm.

Muestreo de suelos

Se tomó las submuestras mediante un recorrido en zig – zag, se tomó 20 submuestras por cada uso de suelo. En cada lugar de muestreo se usó el tubo muestreador de 30 cm de profundidad. Luego de tener todas las submuestras mezclamos para homogenizar y tomamos 1 kilogramo, luego fueron colocadas en bolsas plásticas y rotuladas con stickers, las mismas que fueron enviados al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para su respectivo análisis físico-químico.

Muestreo de la fauna edáfica del suelo

La metodología empleada para la macrofauna del suelo fue similar a la empleada por Pashanasi *et al.* (2), en la cual los puntos de muestreo se determinaron a través de un muestreo sistemático, para lo cual se diseñó un transecto en línea recta de 40 m y se obtuvo monolitos a intervalos de 10 m haciendo un total de (5 monolitos por parcela).

De igual manera para la evaluación de la diversidad de microfauna edáfica del suelo, se tomaron cinco (05) muestras por tratamiento a diferentes niveles de profundidad (hojarasca, de 0 – 10 cm, de 10 – 20 cm y de 20 – 30 cm, se utilizó un cuadrado muestreador de 25 x 25 x 10 cm para el diseño y método recomendado por el Programa Tropical Soil Biology And Fertility – TSBF (Anderson e Ingram, 1993, citado por Pashanasi (3)). Los organismos fueron identificados por unidades taxonómicas (órdenes, clases y familias) en el laboratorio de entomología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. La densidad fue medida en individuos/m² y la biomasa en gramos de peso fresco/m².

Recuento y estructura de la comunidad del suelo

Se realizó in situ y se depositaron 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/m²) y densidad (individuos/m²) de todos los macroinvertebrados 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 macroinvertebrados) debido a la pérdida de peso durante la fijación en alcohol y formol (4). Mediante las claves de identificación, se determinó el grupo taxonómico, se contabilizó el número de individuos de cada unidad taxonómica por monolito, se sumó el total de individuos por taxón y se calculó el porcentaje de abundancia o densidad relativa promedio de cada unidad taxonómica en cada sistema de suelo. Se elaboró una gráfica de porcentajes de abundancia. Se pesó para determinar la biomasa de la macro fauna en los diferentes sistemas de suelo.

$$DRM = \text{Densidad relativa por monolito} = \frac{\text{Sumatoria de los monolitos}}{\text{Total de Monolitos}}$$

$$\%Frecuencia = \frac{\text{Sumatoria de densidades}}{\text{Número de unidades taxonómicas}}$$

Diversidad de especies

Se utilizaron las fórmulas de Simpson y Shannon-Wiener.

Riqueza de la diversidad biológica alfa

Las variables de estudio e índices de diversidad alfa son: Índice de diversidad de Shannon - Wiener (H').

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

Dónde: $p_i = \frac{n_i}{N}$

n_i = Abundancia de género

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

Variables evaluadas. Se evaluó los siguientes componentes físicos, químicos y biológicos del suelo.

Cuadro 1. Parámetros de las propiedades del suelo (variable)

Parámetros físicos	Método de su determinación
Estructura del suelo	Método directo
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

Elaboración de mapa temático

Se realizaron proyecciones al Sistema Universal Transversal Mercator (UTM) y con la proyección del Datum WGS 84. A partir de los resultados de los parámetros físicos y químicos de suelo obtenidos en el laboratorio, se llevó al sistema GIS y se identificaron en el software con sus respectivas coordenadas, ubicándolas espacialmente en toda el área de estudio; para la manipulación de datos y el proceso de interpolación se utilizó el interpolador Kriging del spatial analysis tools, que permite generar superficies a partir de aproximaciones geo estadísticas, con la finalidad de determinar áreas de tipo raster, que posteriormente se convirtió en polígonos de formato shp, la escala de trabajo fue de 1/500. Se elaboraron los mapas de distribución a partir de los datos que se obtuvieron de los análisis de laboratorio y mediante la interpolación de la herramienta kringin que es una técnica cuantitativa que muestra mayor exactitud, basada en la geoestadística, permiten estudiar estas características de los suelos y mapear el comportamiento de sus propiedades. Se clasificó el suelo basado en características distintivas y en criterios de uso e interpretó el suelo de acuerdo a la fertilidad para finalmente aplicarlo en campo.

Análisis estadístico

Se determinó el grado de relación entre las características del suelo y el tiempo, se realizó el análisis de regresión y correlación simple entre propiedades físico, químico y biológico.

Resultados

Estructura del suelo

La estructura del suelo en los diferentes sistemas de uso de la tierra evaluada, todos los sistemas presentan estructuras granulares finas, favorecido por el contenido de materia orgánica y arcilla que presentan estos suelos.

Textura del suelo

Las clases texturales en los diferentes sistemas de uso de la tierra en todos los sistemas presentan texturas finas, predominando la clase textural franco arcilloso, excepto el sistema bosque secundario que presenta una textura franco arcillo arenoso (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clases texturales en los diferentes sistemas de uso de la tierra

Sistemas	Arena%	Arcilla%	Limo%	Textura
Bosque	48.68	26.54	24.78	FrArAo
Pasto	40.18	33.54	26.28	FrAr
Maíz	32.62	33.06	34.28	FrAr
Yuca	38.68	35.54	25.78	FrAr

Densidad aparente del suelo

La densidad aparente del suelo en los diferentes sistemas de uso de la tierra presenta variaciones similares entre los sistemas bosque secundario y el

cultivo de maíz con 1.57 g/cm³ y 1.55 g/cm³, pasto y el cultivo de yuca 1.60 g/cm³ y 1.68 g/cm³ respectivamente, a su vez presentan coeficientes de variación (CV) poco dispersos y una homogeneidad aceptable en las variables evaluadas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Medidas de la densidad aparente g/cm³ en los diferentes sistemas de uso de la tierra

Sistemas	Media	DE	Varianza	EE	CV
Bosque	1.57	0.19	0.04	0.1	12.62
Maíz	1.55	0.24	0.05	0.12	15.41
Pasto	1.6	0.06	0	0.03	4.13
Yuca	1.68	0.16	0.02	0.08	9.73

Temperatura del suelo

El Cuadro 4 presenta la temperatura del suelo en los diferentes sistemas de uso de la tierra, donde el bosque secundario presenta una temperatura inferior a los demás sistemas con 26.76 °C, mientras el resto de los sistemas obtuvieron variaciones similares 28.27, 28.82 y 28.65 °C, a su vez presentan coeficientes de variación (CV) poco dispersos y una homogeneidad aceptable en las variables evaluadas.

Cuadro 4. Medidas de la temperatura °C en los diferentes sistemas de uso de la tierra

Sistemas	Media	DE	varianza	EE	CV
Bosque	26.76	0.29	0.08	0.14	1.07
Maíz	28.27	0.46	0.21	0.23	1.62
Pasto	28.82	0.17	0.03	0.09	0.59
Yuca	28.65	0.13	0.02	0.06	0.45

Resistencia a la penetración del suelo

El Cuadro 5 presenta la resistencia a la penetración en los diferentes sistemas de uso de la tierra, donde el cultivo de yuca presentó una alta resistencia a la penetración con 4.19 g/cm², seguido del maíz con 4.19 g/cm² y el bosque secundario fue el que presentó menor resistencia a la penetración del suelo con 3.13 g/cm², a su vez presentan coeficientes de variación (CV) poco dispersos y una homogeneidad aceptable en las variables evaluadas.

Cuadro 5. Medidas de la resistencia a la penetración g/cm² de los sistemas de uso de la tierra

Sistemas	Media	DE	Varianza	EE	CV
Bos sec.	3.13	0.24	0.06	0.12	7.23
Maíz	4.00	0.2	0.04	0.1	5.1
Pasto	3.81	0.24	0.06	0.12	6.28
Yuca	4.19	0.24	0.06	0.12	5.72

Profundidad directa de las raíces en el suelo

La profundidad directa de las raíces en los diferentes sistemas de uso de la tierra, el bosque secundario obtuvo una mayor profundidad de enraizamiento con 62.00 cm, mientras el resto de estos sistemas presentaron valores similares que oscilaron desde los 55.15 hasta los 55.95 cm de

profundidad, a su vez presentan coeficientes de variación (CV) poco dispersos y una homogeneidad aceptable en las variables evaluadas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Medidas de la profundidad directa (cm) de diferentes sistemas de uso de la tierra

Sistemas	Media	DE	Varianza	EE	CV
Bosque secund.	62.00	3.20	10.22	1.60	5.16
Maíz	55.18	0.30	0.09	0.15	0.54
Pasto	55.95	0.83	0.70	0.42	1.49
Yuca	55.15	3.19	10.18	1.60	5.78

Indicadores químicos en los diferentes sistemas de uso de la tierra

El Cuadro 7 muestra los resultados de los análisis químicos de los suelos del bosque secundario presentan un pH moderadamente ácido (6.48), con contenidos altos en Ca (10.13 cmol/kg suelo), medios en materia orgánica (3.36%), nitrógeno (0.15%), fósforo (10.81 ppm) y CIC 12.39 meq/100g de suelo y bajo contenido en potasio (215.89 kg/ha) y Mg (1.37 cmol/kg suelo). El pasto presenta un pH neutro (6.82), con contenidos altos en Ca (10.95 cmol/kg suelo), medios en materia orgánica (2.34%), nitrógeno (0.11%), fósforo (7.68 ppm) y CIC (13.45 meq/100g de suelo) y bajo en potasio (166.43 kg/ha) y Mg (1.47 cmol/kg suelo). El cultivo de maíz presenta un pH neutro (6.82), alto contenido en calcio (10.25 cmol/kg suelo), contenido medio en materia orgánica (3.74%), nitrógeno (0.17%), fósforo (9.51 ppm) y CIC (11.99 meq/100g de suelo) y bajo contenido en potasio (158.06 kg/ha) y Magnesio (1.29 cmol/kg suelo). El cultivo de yuca presenta un pH moderadamente ácido (6.00), con contenidos altos en calcio (10.99 cmol/kg suelo), contenido medio en materia orgánica (3.29%), nitrógeno (0.15%), fósforo (8.79 ppm) y CIC (13.11 meq/100g de suelo) y bajo contenido en potasio (197.92 kg/ha) y magnesio (1.43 cmol/kg suelo).

Cuadro 7. Propiedades químicas de los diferentes sistemas de uso de la tierra

Sistemas	pH	MO%	N%	P	K ₂ O	CIC	Ca	Mg
Bosque	6.48	3.36	0.15	10.36	215.79	12.39	10.13	1.37
Pasto	6.42	2.34	0.11	7.68	166.43	13.45	10.95	1.47
Maíz	6.82	3.74	0.17	9.51	158.06	11.99	10.25	1.29
Yuca	6	3.29	0.15	8.79	197.92	13.11	10.99	1.43

Distribución espacial del contenido arena

El Cuadro 8, muestra que el 40.92% de las áreas evaluadas presentan rangos porcentuales de arena desde 35.29 a 40.88%, presentando un 41.46% (0.11 ha) los suelos con cultivo de yuca, seguido del pasto, maíz, y bosque secundario con 0.05 ha, mientras el 1.28% (0.01 ha) representando al sistema bosque secundario con rangos desde 52.08 a 57.67% de contenido de arena en sus suelos.

Cuadro 8. Distribución de los contenidos de arena en las áreas evaluadas

Rango	Uso de suelo	Por uso de suelo		Según rangos	
		Área (ha)	Porc.	Área (ha)	Porc.
29.68 - 35.28	Bosque secundario	0.00	2.24%	0.15	23.73%
	Maíz	0.06	42.87%		
	Pasto	0.07	47.18%		
	Yuca	0.01	7.71%		
35.29 - 40.88	Bosque secundario	0.05	18.16%	0.26	40.92%
	Maíz	0.05	19.44%		
	Pasto	0.05	20.82%		
	Yuca	0.11	41.46%		
40.89 - 46.48	Bosque secundario	0.05	29.25%	0.15	24.27%
	Maíz	0.04	24.69%		
	Pasto	0.03	20.78%		
	Yuca	0.04	25.26%		
46.49 - 52.07	Bosque secundario	0.05	87.03%	0.06	9.80%
	Maíz	0.01	9.62%		
	Pasto	0.00	2.84%		
	Yuca	0.00	0.19%		
52.08 - 57.67	Bosque secundario	0.01	100.00 %	0.01	1.28%
Área Total		0.6399		0.6399	100%

Distribución espacial del contenido de arcilla

El Cuadro 9, muestra que el 57.94% de las áreas evaluadas presentan rangos porcentuales de arcilla que van desde los 31.05 hasta los 35.04%, presentando mayores áreas con 0.14 ha en suelos con pastos, 0.13 ha con cultivo de maíz, 0.08 ha en suelos con cultivo de yuca y 0.02 ha en bosques secundarios, mientras menores áreas con el 3.02% en un área total es de 0.02 ha con rangos de arcilla de 39.05% a 43.04%, abarcando suelos con cultivos de yuca y maíz.

Cuadro 9. Distribución de los contenidos de arcilla en las áreas evaluadas

Rango	Uso de suelo	Por uso de suelo		Según rangos	
		Área (ha)	Porc.	Área (ha)	Porc.
23.05 - 27.04	Bosque secundario	0.03	94.58%	0.03	5.25%
	Pasto	0.00	5.42%		
27.05 - 31.04	Bosque secundario	0.11	81.43%	0.13	21.12%
	Maíz	0.00	0.01%		
	Pasto	0.02	11.28%		
	Yuca	0.01	7.08%		
31.05 - 35.04	Bosque secundario	0.02	4.69%	0.37	57.94%
	Maíz	0.13	33.87%		
	Pasto	0.14	38.64%		
	Yuca	0.08	22.77%		
35.05 - 39.04	Maíz	0.03	38.12%	0.08	12.66%
	Yuca	0.05	61.81%		
39.05 - 43.04	Maíz	0.00	20.44%	0.02	3.02%
	Yuca	0.02	79.55%		
Área Total		0.6399		0.6399	100.00%

Distribución espacial del contenido de limo

El Cuadro 10, muestra que el 37.05% equivalentes a (0.24 ha) de las áreas evaluadas presentan rangos porcentuales de limo que van desde los 26.09 hasta los 30.48%, abarcando áreas de 0.093 ha en suelos con cultivo de yuca, 0.052 ha en pasto, 0.044 ha en suelos con cultivo de maíz y 0.048 ha en bosque secundario, mientras menores áreas con el 4.32% equivalentes a un área total de 0.028 ha presentaron rangos 17.28% a 21.68% de limo,

abarcando la mayor parte en suelos con cultivo de maíz 0.015 ha.

Cuadro 10. Distribución de los contenidos de limo en las áreas evaluadas

Rango	Uso de suelo	Por uso de suelo		Según rangos	
		Área (ha)	Porc.	Área (ha)	Porc.
17.28 - 21.68	Bosque secundario	0.009	32.03%	0.028	4.32%
	Maíz	0.015	53.37%		
	Pasto	0.003	9.27%		
	Yuca	0.001	5.33%		
21.69 - 26.08	Bosque secundario	0.062	32.74%	0.188	29.44%
	Maíz	0.047	25.08%		
	Pasto	0.014	7.47%		
	Yuca	0.065	34.57%		
26.09 - 30.48	Bosque secundario	0.048	20.41%	0.237	37.05%
	Maíz	0.044	18.40%		
	Pasto	0.052	21.99%		
	Yuca	0.093	39.15%		
30.49 - 34.88	Bosque secundario	0.039	27.55%	0.140	21.88%
	Maíz	0.040	28.88%		
	Pasto	0.061	43.56%		
34.89 - 39.28	Bosque secundario	0.001	2.79%	0.047	7.31%
	Maíz	0.045	97.18%		
Área Total		0.6399		0.6399	100.00%

Distribución espacial de textura

El Cuadro 11, muestra que el 69.35% de las áreas evaluadas presenta suelos de la clase textural franco arcilloso, presentándose en los sistemas, pasto con 0.14 ha, yuca 0.12 ha, maíz 0.11 ha y el sistema bosque secundario con 0.07 ha, seguido de los suelos con textura franco arcilloso arenoso con 25.45% equivalentes a 0.16 ha y la clase textural arcillosa presentaron menores áreas, 0.033 ha abarcando suelos con cultivo de yuca y maíz.

Cuadro 11. Distribución de las clases texturales de las áreas evaluadas

Textura	Uso de suelo	Por uso de suelo		Según rangos	
		Área (ha)	Porc.	Área (ha)	Porc.
Arcilloso	Maíz	0.01	20.20%	0.033	5.20%
	Yuca	0.03	79.80%		
Franco arcilloso	Bosque secundario	0.07	14.76%	0.444	69.35%
	Maíz	0.11	25.86%		
	Pasto	0.14	31.20%		
	Yuca	0.12	27.98%		
Franco arcilloso arenoso	Bosque secundario	0.09	57.77%	0.163	25.45%
	Maíz	0.04	23.59%		
	Pasto	0.02	13.22%		
	Yuca	0.01	5.20%		
Área Total		0.6399		0.6399	100%

Distribución espacial del contenido de materia orgánica

El Cuadro 12, muestra que los sistemas de yuca y maíz presentan un área de 0.030 ha de bajo contenido en materia orgánica, seguido de un contenido medio de materia orgánica en un área de 0.567 ha, abarcando a los sistemas bosque secundario con 0.164 ha, maíz 0.15 ha, pasto 0.14 ha y yuca con 0.11 ha equivalentes al 88.53%, mientras altos contenidos de materia orgánica se encuentran distribuidas en un área de 0.043 ha, equivalentes al 6.72% del área total evaluada respectivamente.

Cuadro 12. Distribución del contenido de materia orgánica en las áreas evaluadas

Rango	Descr.	Uso de suelo	Por Uso de suelo		Según rangos	
			Área (ha)	Porc.	Área (ha)	Porc.
< 2	Bajo	Maíz	0.006	20.49%	0.030	4.75%
		Yuca	0.024	79.51%		
2 - 4	Medio	Bosque secundario	0.164	28.87%	0.567	88.53 %
		Maíz	0.149	26.34%		
		Pasto	0.144	25.44%		
		Yuca	0.109	19.32%		
> 4	Alto	Bosque secundario	0.011	24.18%	0.043	6.72%
		Maíz	0.004	10.12%		
		Pasto	0.016	36.58%		
		Yuca	0.015	58.16%		
Área Total			0.6399		0.6399	100%

Distribución espacial del contenido de nitrógeno

El Cuadro 13, muestra que los sistemas de yuca y maíz presentan bajos contenidos de nitrógeno con rangos de 0.05% a 0.10% en un área de 0.052 ha equivalente al 8.21% del área total evaluada seguida de un contenido moderada de nitrógeno con rangos de 0.10% a 0.15 % en un área de 0.310 ha equivalentes al 48.59% del área total evaluada y altos contenidos de nitrógeno con rangos de 0.15% a 0.25%, en un área de 0.275 ha equivalentes al 43.20% del área total evaluada distribuidas uniformemente en el pasto con 0.089 ha, bosque secundario con 0.088 ha, cultivo de yuca con 0.066 ha y cultivo de maíz 0.032 ha respectivamente.

Cuadro 13. Distribución del contenido de nitrógeno en las áreas evaluadas

Rango	Descr.	Uso de suelo	Por uso de suelo		Según rangos	
			Área (ha)	Porc.	Área (ha)	Porc.
0.05 - 0.10	Baja	Maíz	0.016	29.99%	0.052	8.21%
		Yuca	0.037	69.95%		
0.10 - 0.15	Moderada	Bosque secundario	0.071	22.87%	0.310	48.59 %
		Maíz	0.112	36.08%		
		Pasto	0.071	22.84%		
		Yuca	0.056	18.19%		
0.15 - 0.25	Alta	Bosque secundario	0.088	31.93%	0.275	43.20 %
		Maíz	0.032	11.66%		
		Pasto	0.089	32.30%		
		Yuca	0.066	24.01%		
Área Total			0.6399		0.6399	100%

Distribución espacial de la reacción del suelo

El Cuadro 14, muestra que un 52.52% equivalente a 0.33 ha presentan una reacción moderadamente acida con rangos de 5.5 a 6.5, distribuidos en los suelos con cultivo de yuca 0.16 ha, pasto 0.02 ha, bosque secundario 0.06 ha y maíz con 0.09 ha finalmente suelos con reacción neutra se presentan en un área de 0.30 ha equivalentes a 47.48% abarcando mayor área en suelos para pasto 0.14 ha, maíz 0.07 y bosque secundario 0.09 ha respectivamente.

Cuadro 14. Distribución de la reacción del suelo en las áreas evaluadas

Rango	Descr.	Uso de suelo	Por uso de suelo		Según rangos	
			Área (ha)	Porc.	Área (ha)	Porc.
5.5 - 6.5	Moderada-mente ácido	Bosque secundario	0.06	19.34%	0.33	52.52%
		Maíz	0.09	27.98%		
		Pasto	0.02	5.09%		
6.6 - 7.3	Neutro	Bosque Secundario	0.09	31.04%	0.30	47.48%
		Maíz	0.07	21.82%		
		Pasto	0.14	47.14%		
Área Total			0.6399		0.6399	100%

Distribución espacial del contenido de fósforo disponible

El Cuadro 15, muestra que estos suelos presentan bajos contenidos de fósforo disponible en los cultivos de yuca y maíz con rangos de 3 ppm a 7 ppm en un área de 0.030 ha equivalentes a 4.74 % del área total evaluada y contenidos adecuadas de fósforo disponible con rangos de 7 ppm a 15 ppm, bosque secundario y pasto con 0.16 ha y maíz y yuca con 0.15 ha haciendo un total de 0.610 ha equivalentes al 95.26% del área total evaluada.

Cuadro 15. Distribución del fósforo disponible en las áreas evaluadas

Rango	Descr.	Uso de suelo	Por uso de suelo		Según rangos	
			Área (ha)	Porc.	Área (ha)	Porc.
3 - 7	Baja	Maíz	0.018	57.93%	0.030	4.74%
		Yuca	0.013	42.00%		
7 - 15	Adecuada	Bosque secundario	0.159	26.04%	0.610	95.26%
		Maíz	0.145	23.81%		
		Pasto	0.160	26.23%		
		Yuca	0.146	23.91%		
Área Total			0.6399		0.6399	100%

Distribución espacial del contenido de dióxido potasio

El Cuadro 16, muestra que un porcentaje del 98.44% del área total que representa a 0.631 ha, presentan muy bajo contenidos de K₂O encontrándose en rangos menores a 300 kg/ha, mientras un 0.01 ha equivalente a 1.38% presentan contenidos medios de K₂O con rangos de 300 kg/ha a 600 kg/ha.

Cuadro 16. Distribución del potasio disponible en las áreas evaluadas

Rango	Descr.	Uso de suelo	Por uso de suelo		Según rangos	
			Área (ha)	Porc.	Área (ha)	Porc.
< a 300	Muy baja	Bosque secundario	0.16	25.15%	0.631	98.62 %
		Maíz	0.16	25.11%		
		Pasto	0.16	25.34%		
		Yuca	0.15	24.39%		
300 - 600	Medio	Maíz	0.00	15.13%	0.009	1.38%
		Yuca	0.01	84.87%		
Área Total			0.6399		0.6399	100%

Distribución espacial de capacidad de intercambio catiónico del suelo CIC

El Cuadro 17, muestra que un 26.25% del área total representando a 0.168 ha presentan un contenido bajo de CIC con rangos de 8.95 meq/100g a 12.00 meq/100g, mientras el resto de las áreas presentan un contenido medio de CIC, donde una mayor área de 0.472 ha equivalentes a 59.2% del área total evaluada presentan rangos de 12.13 meq/100g a 13.71 meq/100g.

Cuadro 17. Distribución de la CIC del suelo en las áreas evaluadas

Rango	Descr.	Uso de suelo	Por uso de suelo		Según rangos	
			Área (ha)	Porc.	Área (ha)	Porc.
6 - 12	Baja	Bosque secundario	0.060	35.45%	0.168	26.25%
		Maíz	0.044	26.00%		
		Pasto	0.055	33.02%		
		Yuca	0.009	5.51%		
12 - 25	Moderada	Bosque secundario	0.099	21.03%	0.472	73.75%
		Maíz	0.119	25.21%		
		Pasto	0.104	22.10%		
		Yuca	0.149	31.65%		
Área Total			0.6399		0.6399	100%

Distribución espacial del contenido del calcio del suelo.

El Cuadro 18, muestra que el 24.94% del área total que abarca 0.159 ha presentan moderados contenidos de calcio, con rangos que van desde los 7.67 cmol/kg de suelo hasta los 9.9 cmol/kg de suelo, mientras que el 75.06% del área total abarca 0.478 ha presentan altos contenidos de calcio llegando hasta los 13.24 cmol/kg.

Cuadro 18. Distribución del contenido de calcio en el suelo

Rango	Descr.	Uso de suelo	Por uso de suelo		Según rangos	
			Área (ha)	Porc.	Área (ha)	Porc.
5 - 10	Moderada	Bosque secundario	0.059	37.08%	0.159	24.94%
		Maíz	0.040	25.22%		
		Pasto	0.051	32.38%		
		Yuca	0.008	5.29%		
10 - 20	Alta	Bosque secundario	0.100	20.88%	0.478	75.06%
		Maíz	0.120	25.07%		
		Pasto	0.108	22.63%		
		Yuca	0.150	31.40%		
Área Total			0.6399		0.6399	100%

Distribución espacial del contenido de magnesio del suelo

El Cuadro 19, muestra que el 78.29% del área total que abarca 0.501 ha presentan bajos contenidos de magnesio, con rangos que van desde los 0.6 cmol/kg de suelo a 1.50 cmol/kg de suelo, mientras que el 21.71% del área total que abarca 0.14 ha

restantes presentan moderados contenidos de calcio llegando hasta los 2.42 cmol/kg de suelo.

Cuadro 19. . Distribución del magnesio en el suelo en las áreas evaluadas

Rango	Desc.	uso de suelo	Por uso de suelo		Según rangos	
			Área (ha)	Porc.	Área (ha)	Porc.
0.5 - 1.50	Baja	Bosque secundario	0.119	23.79%	0.501	78.29%
		Maíz	0.115	22.97%		
		Pasto	0.117	23.36%		
		Yuca	0.149	29.81%		
1.5 - 4	Moderada	Bosque secundario	0.039	28.38%	0.139	21.71%
		Maíz	0.047	33.87%		
		Pasto	0.043	30.82%		
		Yuca	0.010	6.89%		
Área Total			0.6399		0.6399	100%

Distribución espacial del contenido de sodio del suelo

El Cuadro 20, muestra que el 67.53% del área total que representan a 0.342 ha de los suelos evaluados presentan bajos contenidos de Na con rangos que oscilan desde los 0.13 cmol/kg de suelo hasta los 0.28 cmol/kg de suelo, mientras que el 26.47% del área total que representan 0.04 ha presentan contenido moderada de Na con rangos de 0.30 cmol/kg suelo a 0.70 cmol/kg suelo y el 6.00% del área total evaluada presentan alto contenido de Na en los cultivos de yuca y maíz.

Cuadro 20. Distribución del sodio en el suelo en las áreas evaluadas

Rango	Desc.	Uso de suelo	Por Uso de suelo		Según rangos	
			Área (ha)	Porc.	Área (ha)	Porc.
0.10 - 0.30	Baja	Bosque secundario	0.122	28.28%	0.432	67.53%
		Maíz	0.100	23.20%		
		Pasto	0.122	28.15%		
		Yuca	0.088	20.36%		
0.30 - 0.70	Moderada	Bosque secundario	0.036	21.53%	0.169	26.47%
		Maíz	0.040	23.34%		
		Pasto	0.038	22.52%		
		Yuca	0.055	32.55%		
0.70 - 2	Alta	Maíz	0.023	59.50%	0.038	6.00%
		Yuca	0.016	40.50%		
Área Total			0.6399		0.6399	100 %

Identificación de macrofauna

Se identificaron 11 órdenes (taxones) de macrofauna del suelo en los cuatro sistemas de uso de la tierra: encontrando 11 en el cultivo de yuca, 9 en el cultivo de maíz, 9 en pasto y 10 en bosque secundario; de las cuales la más abundante pertenecieron a la clase insecta con 5 órdenes (hymenóptera, dictyoptera, Isóptera, coleóptera y orthoptera), donde Hymenóptera e Isóptera fueron los más predominantes en los tres sistemas de uso alcanzando un mayor número de individuos, hymenóptera fue más abundante en bosque secundario con 975 ind.m⁻², asimismo isóptera con 113 ind.m⁻² como muestra el Cuadro 21.

Cuadro 21. Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de suelo

Taxonomía	Sistemas de uso de suelo				
	Yuca (ind.m ⁻²)	Maíz (ind.m ⁻²)	Pasto (ind.m ⁻²)	Bosques (ind.m ⁻²)	Total ind. (ind.m ⁻²)
Insecta - Hymenóptera	342	348	590	975	2254
Oligochaeta-Haplotaxida	29	49	21	21	120
Crustáceo -Isópoda	2	0	0	0	2
Miriapodas - Chilopoda	15	4	4	12	35
Miriapodas - Diplopoda	2	7	3	4	16
Insecta - dictyoptera	2	0	0	2	4
Insecta-Isóptera	70	65	69	113	317
Insecta - Coleóptera	6	1	3	6	16
Arachnida - Araneae	7	9	5	23	44
gasteropoda	16	10	9	8	43
Insecta-orthoptera	6	6	2	6	20
Total	497	499	706	1170	2872

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 1170 ind.m⁻², esto favorecido por los materiales vegetales en diferentes estados de descomposición, humedad, materia orgánica y otros factores intervinientes en cada sistema, seguidamente pasto alcanzo 706 ind.m⁻², maíz con 499 ind.m⁻² y yuca con 497 ind.m⁻². De la misma manera, bosque secundario presentó mayor biomasa (30.16 g.m⁻²), seguido por pasto (25.02 g.m⁻²), yuca con (21.08 g.m⁻²) y maíz con (18.65 g.m⁻²) (Cuadro 22).

Cuadro 22. Densidad y biomasa de macrofauna en diferentes sistemas de uso de la tierra

Sistema de uso	Densidad (ind.m ⁻²)	Biomasa (g.m ⁻²)
Yuca	497	21.08
Maíz	499	18.65
Pasto	706	25.02
Bosque secundario	1170	30.16

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

La densidad de la macrofauna en los diferentes sistemas y a diferentes profundidades se resume en el Cuadro 23, podemos observar que los suelos de bosque secundario presentaron mayor densidad de macrofauna por profundidad 10 cm, 20 cm y 30 cm con respecto a los demás sistemas de uso (458, 397 y 315 ind.m⁻² respectivamente), el sistema pasto supero a los sistemas yuca y maíz con 409, 191 y 166 ind.m⁻² en las tres profundidades de muestreo, cabe resaltar que hubo un descenso de individuos conforme a la profundidad de muestreo.

Cuadro 23. Densidad de macrofauna en diferentes sistemas de uso y a diferentes profundidades

Profundidad (cm)	Sistema de uso			
	yuca (m ⁻²)	Maíz (m ⁻²)	Pasto (m ⁻²)	Bosques (m ⁻²)
0 – 10	236	209	409	458
10 – 20	175	165	191	397
20 – 30	86	125	166	315

Los suelos de bosque secundario presentaron mayores biomasa en los tres estratos evaluados 10 cm, 20 cm y 30 cm que el resto de los sistemas, con 13.38, 10.80 y 5.98 g.m⁻² respectivamente, seguido del pasto que superó a los sistemas yuca y maíz, siendo este último que presento inferioridad en biomasa con 9.36, 5.61 y 3.68 g.m⁻² como muestra el Cuadro 24.

Cuadro 24. Biomasa de macrofauna en diferentes sistemas de uso y a diferentes profundidades

Profundidad (cm)	Sistemas de uso			
	Yuca (g.m ⁻²)	Maíz (g.m ⁻²)	Pasto (g.m ⁻²)	Bosque (g.m ⁻²)
0-10	10.55	9.36	11.74	13.38
10-20	7.30	5.61	8.72	10.80
20-30	3.23	3.68	4.56	5.98

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

La diversidad de la macrofauna en los cuatro sistemas de uso en el distrito de eslabón (Cuadro 25), nos muestra los resultados obtenidos de la macrofauna por el método de Simpson (D) y el método de Shannon – Wiener (H'), donde un alto número de especies en las muestras nos presenta una elevada diversidad en los diferentes sistemas, en el cual podemos observar que para el índice Shannon – Wiener (H'), el sistema del cultivo yuca obtuvo un mayor valor con 1.00 H' seguido por maíz

0.82 H', los demás sistemas obtuvieron bajos valores, de tal manera el cultivo de yuca fue un poca más diverso que el resto de los sistemas evaluados. Asimismo, Simpson muestra que el sistema del cultivo de yuca presenta una alta diversidad al obtener un índice del 0.73 D (73%), este índice indica que más del 60% es considerado como diverso, mientras los demás sistemas presentaron valores por debajo del 60%.

Cuadro 25. Diversidad de especies de la macrofauna del suelo índice de Simpson y Shannon – Wiener

Sistema de uso	Simpson		Shannon-Wiener
	D	%	H'
Yuca	0.73	3.00	1.00
Maíz	0.55	55.00	0.82
Pasto	0.46	46.3	0.47
Bosque secundario	0.56	56	0.48

Fuente: elaboración propia H': Índice Shannon y Wiener, D: Simpson, E: equidad

Discusión

El área donde se realizó la investigación fue de 0.6399 ha, se encuentra distribuida en cuatro sistemas de uso de la tierra (suelo aluvial, terraza, colina y bosque secundario) y en ello se evaluó los indicadores físicos y químicos y biológicos; los indicadores físicos evaluados fueron: La estructura del suelo en los diferentes sistemas de uso del suelo evaluados es granular fina la misma que se encuentra favorecida por el contenido de materia orgánica y arcilla presentes en los suelos. Diaz *et al.* (5) menciona que la alteración de las condiciones del suelo por las prácticas de manejo puede afectar la producción de los cultivos, por un lado, a través de su influencia en la distribución de la materia orgánica, así como la modificación de las propiedades físicas del suelo, como la agregación, estructura y porosidad. Las clases texturales presentes en los en los diferentes sistemas de uso de la tierra son de textura pesada, predominando la textura de franco arcilloso en tres sistemas de uso evaluados, a excepción del bosque secundario que presenta una textura franco arcillo arenoso. Mientras que Zavaleta (6) hace referencia que las clases texturales se basan en las diferentes combinaciones de arena limo y arcilla, por consiguiente, estas combinaciones son casi infinitas, que estos a su vez se agrupan en grupo textural, denominación empírica y la clase textural. Para nuestro caso los suelos de los sistemas de uso de la tierra se encontraron en el grupo textural de franco, con denominación empírica de textura moderadamente fina y las clases texturales de franco arcilloso y franco arcillo arenoso.

La densidad aparente en los sistemas de uso de la tierra presenta variaciones similares entre el bosque secundario y el cultivo de maíz, mientras que el pasto y el cultivo de yuca, presentando coeficientes de variación dispersos y una homogeneidad

aceptable de las variables evaluadas. Para ARAUJO *et al.* (7) 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 kg/dm³; Las densidades de las partículas minerales se encuentran en los suelos arenosos, arcillosos entre <1.0 a >1.7g/cm³; en suelos franco arcillosos de 1.0 a 1.5 g/cm³ y en suelos francos de 1.5 a 1.7 g/cm³ (8); que para nuestro caso todos los sistemas de uso de la tierra se encuentran dentro de los valores de suelos francos entre 1.55 a 1.68 kg/dm³. La resistencia a la penetración del cultivo de yuca y el maíz presentan una alta resistencia entre 3.13 g/cm² y 4.19 g/cm² y a su vez presentan coeficientes de variación (CV) poco dispersos con una homogeneidad aceptable en las variables evaluadas. 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 (9; 10). La resistencia del suelo se encuentra entre los rangos bajo > 2 g/cm³, medio 2 g/cm³ y alto o adecuado < 2 g/cm³ (11). Las medidas de profundidad directa de las raíces en los sistemas de uso de la tierra, el sistema de bosque secundario presento mayor profundidad de enraizamiento con 62.00 cm, mientras que los demás sistemas presentaron valores similares que oscilan entre 55.15 cm a 55.95 cm, a su vez presentaron coeficientes de variación (CV) poco dispersos y una homogeneidad aceptable.

Los indicadores químicos en los diferentes sistemas de uso de la tierra fueron: bosque secundario y el cultivo de yuca presenta un pH moderadamente ácido con (6.48) y (6.00), pasto y maíz con un pH neutro (6.82), todos ellos se encuentra dentro los rangos óptimos para el desarrollo de las plantas, tal como corrobora (12) 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. Los suelos que se encuentran en la gama de pH 5.8 a 7.5 tienen más probabilidades de dar problemas que aquellos que tienen los valores altos o bajos. Todos los sistemas de uso de la tierra presentan contenidos medios en materia orgánica con (3.36% bosque secundario, 3.74% cultivo de maíz, 3.29% el cultivo de yuca y 2.34 el pasto). Soil Survey Staff (13) hace referencia que el contenido de materia orgánica es muy variado. 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 este 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.

Todos los sistemas de uso de la tierra presentan contenidos medios de nitrógeno con (0.15 bosque secundario, 0.17 cultivo de maíz, 0.15 el cultivo de

yuca y 0.11 el pasto). Para Wooding (14); Millar *et al.* (15) hacen referencia que la cantidad de nitrógeno presente en muchos suelos es escasa, debido a su propia dinámica y a su ciclo biogeoquímico. Mientras que para Navarro y Navarro (16) el nitrógeno puede llegar al suelo gracias a los aportes de materia orgánica (abonos orgánicos (estiércol) y los residuos de cosecha) y a los procesos de fijación bacteriana a partir de la atmósfera. Todos los sistemas de uso de la tierra presentan contenidos medios de fósforo con (10.36 ppm bosque secundario, 9.51 ppm cultivo de maíz, 8.79 ppm el cultivo de yuca y 7.68 el pasto). Para Bornemisza (11) hace referencia que este elemento se clasifica en fósforo inorgánico como de la descomposición de la roca madre durante el proceso de meteorización y la forma fósforo orgánica, se encuentra en el humus y la materia orgánica. La cantidad de fósforo total en el suelo, expresada como P_2O_5 , raramente sobrepasa el valor de 7 ppm, que para nuestros casos todos sobrepasan estos valores. Todos los sistemas de uso de la tierra presentan bajo contenidos de potasio con (215.79 kg/ha bosque secundario, 197.92 kg/ha cultivo de yuca, 166.43 kg/ha pasto y 158.06 kg/ha cultivo de maíz). Bornemisza (11) menciona que el potasio en el suelo se halla en cantidades relativamente grandes. Su contenido como K_2O , depende de su textura. La fracción arcillosa es la que presenta un contenido mayor, por lo que los suelos arcillosos y limo-arcillosos son más ricos que los limo-arenosos y arenosos, que para nuestro caso los niveles son bajos en contenidos. Los sistemas de uso de la tierra que presentan contenidos medios de CIC son: (13.45 meq/100 g de suelo pasto, 13.11 meq/100 g de suelo cultivo de yuca y 12.39 meq/100 g de suelo el bosque secundario) y contenido bajo de CIC lo presenta el cultivo de maíz con (11.99 meq/100 g de suelo); mientras que Fassbender (17) 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.

Todos los sistemas de uso de la tierra presentan altos contenidos de calcio con (10.99 cmol/kg de suelo para el cultivo de yuca, 10.95 cmol/kg de suelo el pasto, 10.25 cmol/kg de suelo para el cultivo de maíz y 10.13 cmol/kg de suelo el bosque secundario) y bajos contenidos de magnesio con (1.47 cmol/kg de suelo el pasto, 1.43 cmol/kg de suelo el cultivo de yuca, 1.37 cmol/kg de suelo bosque secundario y 1.29 cmol/kg de suelo el cultivo de maíz). Fassbender (12) 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.

En los sistemas de uso de las tierras evaluadas, el cultivo de maíz y yuca presentan una distribución uniforme de los contenidos de arena, arcilla y limo, mientras que en el bosque secundario y el pasto presentan mayor contenido de arena y en menor contenido la arcilla y el limo, características que favorecen el crecimiento de las plantas. Serrada (18) indica que las características granulométricas de cada suelo originaron variaciones importantes en el contenido de humedad de los mismos y, por ende, afectan sus propiedades químicas y biológicas. Las características físicas y químicas del suelo influyen en el desarrollo de los cultivos, particularmente en zonas climáticas marginales. Los sistemas de uso de las tierras evaluadas presentan suelos profundos y con buen drenaje.

La distribución de las propiedades químicas en los sistemas de uso de la tierra no es uniforme, presenta contenido medio de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y CIC, pH moderadamente ácido a neutro, bajo contenido de potasio, magnesio y sodio, alto contenido de calcio, porque tanto como en el norte, sur y medio estarían obedeciendo a la textura del suelo (contenido de arena, limo y arcilla). Para Fassbender y Bornemisza (12) el suelo es una entidad compleja que se caracteriza por la presencia de múltiples atributos, existiendo menor variabilidad en aquellas propiedades edáficas en su condición natural, que cuando es sometido a uso (en este caso los diferentes sistemas de uso de las tierras) y las propiedades que más se afectan por el manejo, serán las que presenten mayor variabilidad. Se ha encontrado que la distribución espacial de las arcillas en el área de los diferentes sistemas de uso de la tierra, lleva una relación similar de distribución a la capacidad de intercambio catiónico (Cuadro 20), al respecto, Fassbender (17) corrobora 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. El contenido del fósforo en los diferentes sistemas de uso de las tierras es bajo posiblemente estarían obedeciendo al efecto de la reacción del suelo o pH mostrado en el Cuadro 25, al respecto se conoce que el pH controla la dinámica del fósforo, para Fassbender (17) la capacidad de fijación del P correlaciona significativamente con el contenido de materia orgánica, hidróxidos libres de aluminio, hierro y arcilla de los suelos; los factores más importantes son el pH y el contenido de hidróxidos libres de Fe y la materia orgánica. En la zona noreste la materia orgánica se encuentra distribuida con contenidos medio, permiten la acumulación de materiales sedimentarios como el contenido de arena, limo y a su vez materia orgánica por lo tanto esto explica porque (la distribución espacial del nitrógeno y la materia orgánica) existe mayor contenido de acumulación de materia orgánica en los sistemas de

uso de la tierra con cultivos de maíz, yuca, pasto y bosque secundario.

No se ha encontrado relación entre algunos elementos de los suelos con los diferentes sistemas de uso de la tierra para el área de investigación, debido a que estas fueron alteradas por las actividades humanas y las labores agronómicas que aplican, Cepeda (19) subraya que para un estudio detallado de la variabilidad espacial de los suelos, no es factible el uso de la fotointerpretación como herramienta de mapeo, debido a que generalmente las unidades de suelos ocupan superficies pequeñas donde no hay límites obvios y donde los atributos de interés no se correlacionan con cambios visibles externamente. Para nuestro caso la distribución espacial se realizó utilizando el método kriging, que es un método estadístico que nos permitió visualizar detalladamente, mediante interpolación la distribución de las propiedades físicas y químicas de todos los sistemas de uso de la tierra. Para Aguilar *et al.* (20) el método del Kriging presupone una correlación espacial entre los datos de la variable, y describe la correlación tanto espacial como temporal entre los valores de un atributo. Tradicionalmente se ha utilizado en las llamadas geociencias (geofísica, hidrogeología, etc.), sin embargo, sus principios se aplican cada vez más en una amplia variedad de campos científicos como pesquerías, silvicultura, ingeniería civil, procesamiento de imágenes, cartografía, meteorología, etc. Kriging es el método de cálculo de una variable regional en un punto, al interior de un área usando un criterio de minimización de la estimación de la varianza.

Se identificaron 11 órdenes de macrofauna del suelo en los diferentes sistemas de uso de la tierra: 11 en el cultivo de yuca, 9 en el cultivo de maíz, 9 en el pasto y 10 en el bosque secundario (Cuadro 25); de las cuales la más abundante pertenecieron a la clase insecta con 5 órdenes (hymenóptera, dictyoptera, Isóptera, coleóptera y orthoptera), donde la Hymenóptera e Isoptera fueron las más predominantes en los tres sistemas de uso alcanzando un mayor número de individuos, como señala Curry (21) 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 (22). En el bosque secundario predominan las Hymenopteras con 975 ind.m⁻², asimismo isóptera con 113 ind.m⁻², tal como menciona Rodríguez (23) 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. Los suelos de bosque secundario presentaron una mayor cantidad de individuos con

una densidad de 1,170 ind.m⁻², favorecidos por los materiales en diferentes estados de descomposición, humedad, materia orgánica y otros factores que intervienen, seguidos por el pasto con 706 ind.m⁻², maíz con 499 ind.m⁻², y yuca con 497 ind.m⁻², de la misma manera el bosque secundario presentó una mayor biomasa de (30.16 g.m⁻²), seguido por el pasto con (25.02 g.m⁻²), y finalmente yuca con (21.08 g.m⁻²) y el maíz con (18.65 g.m⁻²) respecto a esto, Castro *et al.* (24), determinó que una pradera de *L. multiflorum* y el bosque secundario presentó un mayor valor de abundancia de lombrices (5,648 y 4,864 ind m⁻²) y biomasa (141.3 y 670.7 g.m⁻²), asimismo; probablemente por la alta biomasa de raíces en las praderas, estos datos 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 10 cm, 20 cm y 30 cm con respecto a los demás sistemas de uso (458, 397 y 315 ind.m⁻² respectivamente), el pasto superó a los cultivos de yuca y maíz con 409, 191 y 166 ind.m⁻² a las tres profundidades de muestreo, cabe a resaltar que hubo un descenso de individuos conforme a la profundidad de muestreo (Cuadro 34). Los suelos de bosque secundario presentaron mayor biomasa en los tres estratos evaluados 10 cm, 20 cm y 30 cm que el resto de los sistemas, con 13.38, 10.80 y 5.98 g.m⁻² respectivamente, seguido del pasto que superó a los sistemas yuca y maíz, siendo este último que presentó inferioridad en biomasa con 9.36, 5.61 y 3.98 g.m⁻² como muestra el Cuadro 35. La diversidad de la macrofauna en los cuatro sistemas de uso de la tierra (Cuadro 36), obtenidos de la macrofauna por el método de Simpson (D) y el método de Shannon – Wiener (H'), donde un alto número de especies en las muestras presenta una elevada diversidad en los diferentes sistemas, para el índice Shannon – Wiener (H'), el cultivo yuca obtuvo un mayor valor con 1.00 H' seguido por maíz 0.82 H', los demás sistemas obtuvieron bajos valores, de tal manera el cultivo de yuca fue un poca más diverso que el resto de los sistemas evaluados. Simpson muestra que el cultivo de yuca presenta una alta diversidad con un índice del 0.73 D (73%), donde este índice nos indica que más del 60% es considerado como diverso, mientras los demás sistemas presentaron valores por debajo del 60%.

Referencias bibliográficas

1. ZEE. Resultados de la Zonificación Ecológica y Económica del departamento de San Martín. Gobierno Regional de San Marín; 2005.
2. Pashanasi B, Barros E, Constantino R y Lavelle P. Efectos del sistema de uso de la tierra en la macrofauna del suelo en la Amazonía occidental de Brasil. *Biología y fertilidad de los suelos*. 2020; 35: 338 – 347.

3. Pashanasi B. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonía peruana. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 2001; 12: 1-2.
4. Decaëns T, Lavelle P, Jiménez J, Escobar G; Rippstein G. Impacto del manejo de la tierra en la macrofauna del suelo en los Llanos Orientales de Colombia. Francia; European Journal of Soil Biology. 1994; 30 (4): 157-168
5. Díaz-Zorita M, Duarte G, Grove J. A review of notill systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. Soil Till. Res. 2002; 65: 1-18.
6. Zavaleta G. Edafología. El suelo en relación con la producción. Consejo Nacional de Concentración y Tecnología. Perú: Lima; 1992.
7. Araújo M, Tormena C, Inoue T, Costa, A. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférrico após treze anos de semeadura direta. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2004; 28: 459- 504.
8. USDA. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura de los Estados Unidos; 1999.
9. Bauer 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.* 1981; 45: 1166 – 1170.
10. Hammel J. Long term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in northern Idaho. *Soil Sci Soc Am J.* 1989; 53: 1515-1519.
11. Bornemisza E. Introducción a la Química de Suelos, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 1982; 21-47.
12. Fassbender, H, Bornemisza E. Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. IICA. Costa Rica: San José; 1987.
13. Soil Survey Staff. Soil survey manual. United States Department of Agriculture. Washington; 1993.
14. Wooding G. Los suelos, su origen, constitución y clasificación. 5ta ed. Barcelona: Ediciones Omega S.A., McGraw-Hill Interamericana. 1967. p. 731-739.
15. Millar C, Turk L, Foth H. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. 1971.
16. Navarro G, Navarro B. Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2da ed. España: Ediciones Mundi-prensa; 2003.
17. Fassbender H., Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. IICA. Costa Rica: San José; 1987.
18. Serrada R. Apuntes de Silvicultura. EUIT Forestal. Madrid: España. 2008.
19. Cepeda J. Química del suelo. 2da ed. México: Trillas; 1999.
20. Aguilar F, Aguilar M, Agüera F, Vega F. Efectos de la morfología del terreno, densidad muestral y métodos de interpolación en la calidad de los modelos digitales de elevaciones. 2002.
21. Curry J. Invertebrate fauna of grassland and its influence on productivity. II. Factors affecting the abundance and composition of the fauna. *Grass and Forage Science.* 1987; 42: 197–212.
22. Lavelle P, Spain A. *Soil ecology.* Kluwer, Dordrecht. 2001.
23. Rodríguez C. Comunidades de lombrices de tierra en ecosistemas con diferente grado de perturbación. *Rev. Biología.* 2009. p. 14:147.
24. Castro J, Burbano H, Bonilla C. Abundancia y biomasa de organismos edáficos en tres usos del terreno en el altiplano de Pasto, Colombia. 2007; 56 (3).