

Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en selva alta de Huánuco, Perú

Soil quality in different use systems in the high jungle of Huanuco, Perú.

 ¹Lucymar Azañero Aquino  ²Manuel Ñique Alvarez  ¹Nelino Florida Rofner

Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.¹

Universidad Nacional de Cañete. San Vicente de Cañete, Perú.²

Resumen

El avance de la agricultura en áreas frágiles, hace necesario realizar evaluaciones del estado de la calidad del sistema suelo. Así el objetivo del estudio fue determinar y comparar la calidad del suelo, a través del Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS) en diferentes sistemas de uso en la localidad Rio Espino, Monzón (Huánuco-Perú). Metodológicamente es una investigación no experimental, descriptiva comparativa, que evaluó diferentes sistemas de uso: sistema agroforestal (SAF), cocal (CO) y bosque secundario (BS). Los indicadores evaluados en cada sistema fueron: textura, densidad aparente, resistencia a la penetración, infiltración, temperatura, pH, fósforo, materia orgánica, nitrógeno total, K, Ca, Mg y la capacidad de Intercambio catiónico. Los resultados muestran que la calidad de suelo del sistema agroforestal es aceptable, el bosque secundario es sensible y el cocal presentando calidad marginal. Se concluye, de acuerdo a la metodología del SUSS el SAF tuvo el mayor índice de calidad y que sus indicadores ocasionalmente se alejan de los valores óptimos, contrario el sistema CO tiene el menor índice y sus indicadores son distantes de los valores deseables en los suelos; demostrando al SUSS como un método sencillo pero eficiente para medir los cambios en la calidad del suelo en función al uso.

Palabras clave: Calidad del suelo, sistema agroforestal, bosque secundario, cocal, índice.

Abstract

The advancement of agriculture in fragile areas, is necessary to carry out evaluations of the state of the quality of the soil system. Thus, the objective of the study was to determine and compare the quality of the soil, through the Soil Sustainable Use Subindex (SUSS in Spanish) in different use systems in the Rio Espino locality, Monzón (Huánuco-Perú). Methodologically it is a non-experimental, comparative descriptive investigation that evaluated different systems of use: agroforestry system (SAF), coca plantation (CO) and secondary forest (BS). The indicators evaluated in each system were: texture, bulk density, resistance to penetration, infiltration, temperature, pH, phosphorus, organic matter, total nitrogen, K, Ca, Mg, and cationic exchange capacity. The results show that the soil quality

Recibido:
Marzo 2020

Aceptado:
Junio 2020



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

DOI: <https://doi.org/10.46908/rict.v3i1.75>

of the agroforestry system is acceptable, the secondary forest is sensitive and the coca plantation presenting marginal quality. It is concluded, according to the SUSS methodology, the SAF had the highest quality index and that its indicators occasionally deviate from the optimal values, on the contrary, the CO system has the lowest index and its indicators are far from the desirable values in the soils; demonstrating SUSS as a simple but efficient method to measure changes in soil quality based on use.

Keywords: Soil quality, agroforestry system, secondary forest, coca plantation, index.

INTRODUCCIÓN

El suelo constituye uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta, ya que es la base fundamental para la explotación agropecuaria y forestal. Como parte del sistema natural y social cumple funciones fundamentales de naturaleza biológica, alimentaria, depuradora y de soporte mecánico. Alberga numerosas y diversas especies microbianas, animales y vegetales responsables de la actividad metabólica, esencial para la formación, funcionamiento y fertilidad del mismo. Sin embargo, los diferentes sistemas de uso de los suelos ocasionan diferentes grados de perturbación (Navarro *et al.*, 2018; Rosa *et al.*, 2017), afectando sus características físicas, químicas y biológicas, que generan efectos como la degradación y erosión de la estructura del suelo y conducen a cambios en la fertilidad y calidad del suelo (Stehlíková *et al.*, 2016).

Perú, es uno de los principales productores de hoja de coca en América del sur (Raffo *et al.*, 2016), el cultivo se extendió en la amazonia, sobre todo en los departamentos de San Martín, Cusco, Apurímac, Ucayali y en la zona del Alto Huallaga en Huánuco, en particular la localidad de Rio Espino en el valle de Monzón, áreas que la erradicación ha disminuido en la actualidad. Sin embargo, en las diferentes zonas el 90 % de la producción es destinada a la elaboración de pasta básica de cocaína y el clorhidrato de cocaína, generando narcotráfico y violencia (Chocce, 2015). Además, ecológicamente, el manejo inadecuado

del suelo con cultivo de coca y el mal uso de su producción ha afectado las zonas de vida más frágiles de nuestra Amazonía; lo cual se reflejan en el deterioro de la vegetación y pérdida de bosques (Gutiérrez *et al.*, 2018), baja productividad de los cultivos lícitos, pérdida de fertilidad del suelo, en general, daños al medio ambiente (Bernex, 2009).

Los SAF están conformados por cultivos perennes acompañado de especies forestales que generan mayor protección contra la erosión por viento y agua, mayor posibilidad de fijación de nitrógeno atmosférico mediante los árboles, mantiene la estructura y fertilidad del suelo, mayor actividad biológica, reducción de la acidez, mayor extracción de nutrientes de los horizontes profundos del suelo, ayudan a recuperar suelos degradados y provee hábitat para mayor biodiversidad (Palomeque, 2009). Además, el bosque secundario se encuentra en un ciclo permanente en el cual sucede la roza para fines agrícolas y a causa de la fuerte necesidad de aprovechamiento de las tierras, existe el peligro de que se las sobre utilice causando la alteración y disminución de la sostenibilidad del suelo (Emrich *et al.*, 2000).

En este contexto, el estudio de la calidad del suelo depende de la integración de diferentes propiedades fisicoquímicas, efectos del sistema de cultivo y condiciones climáticas (Jiménez y González, 2006), por lo que hace necesario la utilización de un índice o indica-

dor compuesto que resuma un concepto multidimensional (Schuschny y Soto, 2009) en un solo valor cuantitativo, lo que permite hacer comparaciones. Por tanto, a fin de evidenciar los grados de deterioro en la calidad del suelo la investigación se planteó como objetivo, evaluar los principales indicadores físico-químicos y comparar la calidad del suelo, a través del Subíndice de Uso Sustentable de Suelo (SUSS) en sistemas agroforestales, bosque secundario y cocal, en la localidad Rio Espino en el valle del Monzón (selva alta de Huánuco, Perú).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del lugar de ejecución

La localidad Rio Espino (Figura 1), se ubica en el distrito de Monzón, provincia de Huamalíes, departamento de Huánuco en Perú. Ecológicamente pertenece según Holdridge (2000) a un bosque muy húmedo pre montano tropical (bmh-PMT) y según Pulgar (1996) el área se encuentra dentro de la ecorregión Rupa-Rupa o selva alta. Geográficamente, Rio Espino se ubica en las siguientes coordenadas geográficas: 9°12'51.71" latitud y 76°10'58.45" longitud, a 750 m.s.n.m.



Figura 1. Ubicación del lugar de ejecución en la localidad "Rio Espino.
Fuente: Google Earth (2016)

Muestreo de suelo

Se realizó el muestreo del suelo al azar y de forma sistemática, siguiendo el método de muestras compuestas en diferentes puntos dentro de la parcela de 25 x 20 m en un trayecto en zigzag en el Sistema Agroforestal, bosque secundario y el cocal, método recomendado por Mendoza y Espinoza (2017) y Gil (2002), para ello se utilizó un tubo muestreador para retirar cada submuestra del suelo a una profundidad de 30 cm, luego fueron mezcladas en un recipiente hasta homogeneizarlas y trasladadas al laboratorio.

Determinación de los indicadores fisicoquímicos

Los análisis de indicadores físico-químicos (Tabla 1) se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva y se utilizó la metodología recomendado por el USDA (1999) y Bazán (2017).

Tabla 1. Métodos para determinación de los indicadores físicos y químicos del suelo

Indicadores	Método de análisis
Físicos	
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos (USDA, 1999)
Densidad aparente	Probeta (USDA, 1999)
Resistencia a la penetración	Penetrómetro de cono (USDA, 1999)
Infiltración	Cilindros infiltrómetro (USDA, 1999)
Temperatura	Geotermómetro (USDA, 1999)
Químicos	
Materia orgánica	Walkley Black (Bazán, 2017).
pH	Electrométrico (Bazán, 2017)..
Nitrógeno total	Indirecto, materia orgánica (Bazán, 2017).
Fósforo disponible	Olsen modificado (Bazán, 2017).
Potasio intercambiable	Acetato de amonio (Bazán, 2017).
Calcio intercambiable	Acetato de amonio (Bazán, 2017).
Magnesio intercambiable	Acetato de amonio (Bazán, 2017).
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Acetato de amonio (Bazán, 2017).
Conductividad eléctrica	Conductímetro (Bazán, 2017).

Estimación de la calidad del suelo

Se utilizó el subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS) desarrollado por SAGARPA. (2012), que agrupa las propiedades físicas y químicas relacionadas a la calidad del suelo, a través del promedio de los valores normalizados de cada indicador edáfico (i). Se utilizaron las siguientes fórmulas que se muestran.

$$SUSS = \frac{\sum_{i=1}^n Pi}{n} \quad P = \frac{\sum_{j=1}^m Rn_j}{m} \quad Rn_j = \left(\frac{Vr_j - d_j}{c_j - d_j} \right)$$

Donde:

P: es el promedio del valor de los parámetros normalizados.

i: es cada indicador o parámetro analizado.

n: es el número total de parámetros analizados.

Rn: es el valor resultante del parámetro normalizado.

m: es el número de muestras de suelo analizadas.

j: es cada muestra de suelo.

La normalización (R_n) de los indicadores se calcula mediante la fórmula mostrada; para ello se utilizaron valores reales de cada indicador

(V_r), valores deseables (d_j) y valores de corte (c_j) que se muestran en la Tabla 2. Asimismo, j corresponde a cada muestra de suelo.

Tabla 2. Parámetros edáficos, unidades de medida, valores máximos y mínimos definidos para evaluar el estado actual del suelo

Indicador	Unidad de medida	Rango o valor Deseable (d)	Valor de corte (C)
1. Materia orgánica (MO)	%	MO > 5	0.5
2. Densidad aparente (DA)	g/cm ³	DA < 1.1	1.47
3. Conductividad eléctrica (CE)	dSm ⁻¹	CE < 1	4.1
4. pH	pH	6 < pH < 7	5 < pH < 8.5
5. Fósforo disponible (P)	mg kg ⁻¹	P > 5.5	0
6. Magnesio intercambiable (Mg)	Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	Mg > 0.3	0
7. Calcio intercambiable (Ca)	Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	Ca > 5	0
8. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	CIC > 15	5
9. Nitrógeno total	%	N > 0.2	0.05

Fuente: SAGARPA (2012).

Los valores del índice son calculados en cada sistema de uso y son comparadas con la Tabla de interpretación (Tabla 3), propuesta por el método SUSS.

Tabla 3. Rangos interpretativos del SUSS

Calidad del suelo	Descripción
Bueno (0.95 < SUSS < 1.0)	Las condiciones de la calidad del suelo son las deseables para llevar a cabo la actividad agrícola
Aceptable (0.80 < SUSS ≤ 0.95)	La calidad del suelo está cercana a las condiciones deseables. Las variables analizadas poco se alejan de los valores adecuados
Sensible (0.65 < SUSS ≤ 0.80)	Los parámetros medios ocasionalmente se alejan de los valores óptimos
Marginal (0.45 < SUSS ≤ 0.65)	Los indicadores de la calidad son distantes de los valores deseables
Pobre (0 < SUSS ≤ 0.45)	La calidad de suelos para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables.

Fuente: SAGARPA (2012).

Finalmente se realizó el análisis de correlación de Pearson para determinar el modelo de ecuación de regresión lineal del SUSS en función de los indicadores evaluados entre si; para ello se utilizó el programa GNU PSPP versión 1.2.0, software for statistical analysis.

RESULTADOS

Indicadores físicos del suelo de los tres sistemas de uso del suelo

Tabla 4. Textura

Sistemas de uso de suelo	Análisis mecánico			Textura
	Arena %	Arcilla %	Limo %	
SAF	55.68	29.04	15.28	Franco arcilloso arenoso
Bosque secundario	63.68	11.04	25.28	Franco arenoso
Cocal	53.68	25.04	21.28	Franco arcilloso arenoso

Tabla 5. Cationes intercambiables

Sistema de uso de suelo	Densidad aparente (g/cc)	Resistencia a la penetración (kg/cm ²)	Velocidad de infiltración (cm/h)	Temperatura del suelo (°C)
SAF	1.35	1.96	33.94	25.50
Bosque secundario	1.22	1.6	45.22	23.98
Cocal	1.49	2.85	24.25	27.38

Indicadores químicos del suelo de los tres sistemas de uso del suelo:

Tabla 6. Cationes intercambiables

Sistema de uso de suelo	K (Cmol ⁽⁺⁾ ·kg ⁻¹)	Ca (Cmol ⁽⁺⁾ ·kg ⁻¹)	Mg (Cmol ⁽⁺⁾ ·kg ⁻¹)
SAF	0.09	3.76	0.45
Bosque Secundario	0.05	1.92	0.25
Cocal	0.04	1.40	0.21

Tabla 7. Capacidad de intercambio catiónico y Conductividad eléctrica.

Sistema de uso de suelo	CIC (Cmol ⁽⁺⁾ ·kg ⁻¹)	CE (dS·m ⁻¹)
SAF	6.42	1.84
Bosque Secundario	5.38	1.80
Cocal	6.27	1.65

Determinación del SUSS

Haciendo uso de la fórmula indicada, los indicadores calculados y promediados, se normalizan con valores adimensionales, los que se aprecian en la Tabla 9.

Tabla 8. Indicadores físicos y químicos normalizados para el cálculo del SUSS de los tres sistemas en estudio.

Indicadores	Rn		
	SAF	Bosque secundario	Cocal
Materia orgánica	0.96	1.17	0.39
Densidad aparente	0.26	0.53	0.17
CE	0.71	0.72	0.77
pH	1.87	2.06	2.14
Fosforo	1.93	0.52	0.55
Magnesio	1.13	0.63	0.53
Calcio	0.75	0.38	0.28
CIC	0.14	0.04	0.13
Nitrógeno	0.68	0.88	0.20

Rn: Indicador normalizado.

Con el uso de las fórmulas que se ilustran como Figuras 2, 3 y 4 se determinó la calidad del suelo mediante el subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS) para los tres sistemas de uso del suelo, lo que se muestra en la Figura 5; apreciándose que el mayor valor en el SAF con 0.93, correspondiente a la clasificación de calidad "Aceptable", es decir, que la calidad del suelo está cercana a las condiciones deseables; el bosque secundario con un valor de 0.77 correspondiente a la clasificación de calidad "Sensible" y el cocal tiene el valor más bajo (0.57), correspondiente a la clasificación de calidad "Marginal".

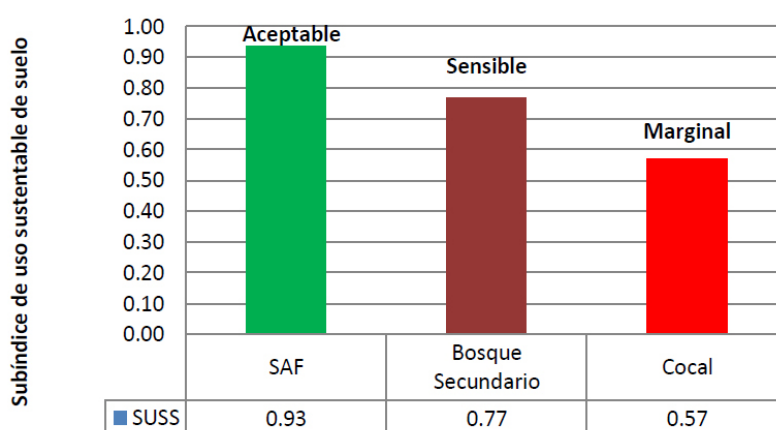


Figura 2. SUSS de los tres sistemas de uso del suelo

Además, en la Figura 3 se muestra en diagrama radial con los respectivos indicadores para cada sistema de uso de suelo.

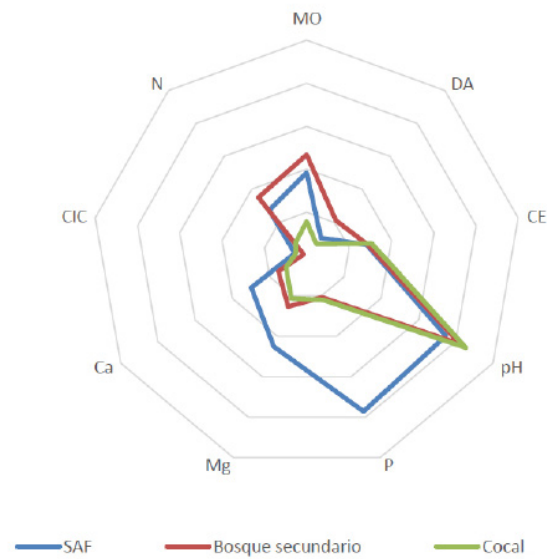


Figura 3. Diagrama radial presentando los indicadores según el sistema de uso del suelo. Leyenda: Ca: calcio, Mg: magnesio, P: fósforo, N: nitrógeno, CE: conductividad eléctrica, DA: densidad aparente, MO: materia orgánica, CIC: capacidad de intercambio catiónico, pH: potencial hidrógeno.

Determinación de los indicadores que influyen más sobre la calidad del suelo mediante la correlación de Pearson.

Según la correlación de Pearson, los indicadores fisicoquímicos que muestran mayor influencia son: nitrógeno total, demostrando una significancia de 0.004 (< 0.05) con una correlación de Pearson de 1.000, lo cual significa que este indicador (%N) está fuertemente correlacionado con el SUSS, otras variables correlacionadas son la MO, Ca^{2+} y K^+ . En la Figura 4 se aprecia el gráfico de normalidad de los errores estandarizados de la variable SUSS y % N, los cuales se ajustan a la línea de tendencia, mostrando así una fuerte correlación. Así mismo se muestra el modelo de ecuación de regresión lineal del SUSS en función del nitrógeno total.

Tabla 9. Estimación de parámetros para el modelo de regresión lineal.

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	.460	.294		1.561	.033
% N	1.511	1.407	.732	1.074	.004

Modelo de correlación positiva en función del % N y el SUSS:

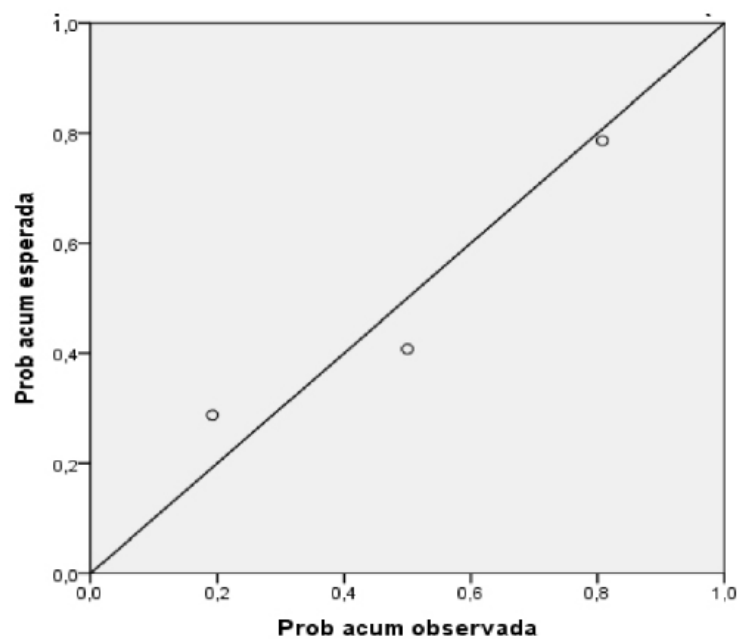


Figura 7. Modelo de correlación positiva en función del % N y el SUSS

DISCUSIÓN

SAGARPA (2012) menciona que la acción de los factores formadores del suelo queda reflejada en la textura, ya que la roca tiende a dar una determinada clase textural, que quedará más patente cuanto más joven sea el suelo. El clima tiende a condicionar la textura en función de su agresividad. El relieve condiciona el transporte de las partículas. El tiempo tiende a dar una mayor alteración y aumenta la fracción arcilla. Esto concuerda con los datos obtenidos en la Tabla 4 con respecto a la textura del suelo, donde el SAF y cocal presentan mayores porcentajes de arcilla obteniendo así una textura franco arcilloso arenoso a comparación del bosque secundario que presentó mayor proporción de arena y una textura franco arenoso.

La densidad aparente del suelo en los tres sistemas en estudio que se muestra en la Tabla 5, se puede apreciar que el cocal y el SAF muestra una mayor densidad aparente (1.49 y 1.35 g/cc) a comparación del bosque

secundario (1.22 g/cc) y según USDA (1999) son valores aceptables, que no afecta a la vegetación existente. Esto también se debe a la poca intervención mecánica durante la preparación del suelo (Navarro *et al.*, 2018).

Con respecto a la resistencia de la penetración del suelo (Tabla 5) según Bazán (2017) el valor obtenido para el cocal corresponde a un suelo duro y con respecto al SAF y bosque secundario, son considerados como suelos suaves. En relación a esto, el suelo del cocal presenta un valor alto de resistencia por la constante labranza que se viene realizando durante 20 años. Esto concuerda en lo indicado por Jiménez y González (2006) donde el valor más alto de resistencia a la penetración lo obtuvo el correspondiente al suelo con 20 años de labranza lo cual indica que esta actividad afecta a las propiedades físicas del suelo, haciendo que la resistencia a la penetración sea mayor y actué con la densidad aparente como un indicador de compactación; esto es

importante, según Navarro *et al.* (2019) es una propiedad que mejor representa las condiciones para el desarrollo de la planta, por estar directamente relacionada al crecimiento de las raíces.

En el caso de la velocidad de infiltración que se muestra en la Tabla 5, según el USDA (1999) considera que los valores obtenidos en los tres sistemas corresponden a infiltración rápida; esta diferencia se debe al tipo de textura que poseen los suelos, presentando el bosque secundario un suelo franco arenoso y por ello mayor infiltración; así mismo también depende del grado de compactación y por las prácticas de manejo. Esto concuerda con lo mencionado por Fitzpatrick (1984) y Núñez (2007) donde la infiltración o velocidad con que el agua penetra en el suelo varía de forma considerable, pues los suelos con una estructura bien desarrollada o de textura gruesa (arenoso y franco arenoso) permiten la libre entrada del agua, mientras que los suelos arcillosos son prácticamente impermeables.

La temperatura del suelo de los sistemas en estudio (Tabla 5), mostraron variación, obteniendo el suelo del cocal (27.38°C) una mayor temperatura a comparación del SAF (25.50°C) y el bosque secundario (23.98 °C), esto se debe a que el cocal no presenta cobertura vegetal y por ende la radiación solar es percibida directamente por el suelo. Esto concuerda con lo mencionado por Sandoval (2006), citado por Palomino (2015) donde la temperatura del suelo dependerá de la cantidad de radiación neta que llegue a la superficie terrestre y de la cobertura vegetal, pues a mayor cobertura menor será la temperatura del suelo.

Teniendo en cuenta lo mencionado por SAGARPA (2012), que en regiones con lluvias abundantes se promueve el lavado de las bases y como consecuencia el suelo se acidifica (pH entre 4.0 y 6.5), provocando altas concen-

traciones de aluminio y manganeso solubles que al ser absorbidos por las raíces provocan intoxicación de la planta. Así la zona de estudio, según INRENA (1994), tiene un clima tropical - húmedo - cálido con un régimen pluvial del orden de los 3,100 mm/anuales y temperatura media anual de 25.5°C sobre los 800 m.s.n.m. Es por ello que el valor de pH obtenido para el sistema agroforestal, bosque secundario y cocal en la presente investigación, tal como se muestra en la Tabla 6, fue de 4.77, 4.39 y 4.23 respectivamente. Es por ello que según Bazán (2017) el sistema agroforestal será un suelo muy fuertemente ácido y el bosque secundario y el cocal como suelos extremadamente ácidos.

Con respecto al contenido de P disponible que se presentan en la Tabla 6, según Bazán (1996) corresponde para el SAF un nivel bajo, el bosque secundario y cocal en un nivel muy bajo. De los Ángeles (2007); citado por Palomino (2015) hace referencia que los suelos ácidos (pH<5), normalmente tienen bajo contenido de fósforo disponible para la planta y requieren niveles altos de fertilización con fósforo. De esta manera, teniendo en cuenta los valores de pH de suelo obtenidos para cada sistema de uso, los cuales están en el rango de ácido, es posible explicar el porqué del nivel bajo de fósforo disponible en cada uno de ellos.

Según Fassbender (1975), la materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo, así mismo, los residuos de las plantas constituyen el material principal originario de la materia orgánica del suelo. Así, los valores de MO que se indican en la Tabla 6 según Bazán (2017) para el SAF se encuentra en un nivel alto, el bosque secundario en un nivel muy alto y el cocal en un nivel medio. Esto se debe a que en el bosque secundario existe una mayor diversidad de especies arbustivas y arbóreas, por ende, el nivel de MO será mayor. A diferencia del cocal en donde el nivel es mu-

cho menor ya que en este sistema los suelos por lo general son desnudos o no presentan cubierta vegetal.

Con respecto a los valores de nitrógeno total que se muestran en la Tabla 6, según Bazán (2017) el SAF y el bosque secundario tiene un nivel alto, y un nivel bajo para el caso del cocal. Esto se debe a que los factores ambientales afectaron la disponibilidad de nitrógeno, esto concuerda en lo estipulado por el USDA (1999) que la cantidad de nitrógeno en el suelo, en un momento dado, es una función de la velocidad a la cual los microorganismos descomponen la materia orgánica del suelo y esta velocidad va depender de la temperatura, humedad, aireación, tipo de residuos orgánicos, pH y otros factores.

Con respecto a los valores de K, Ca y Mg (Tabla 7) y sus los rangos interpretativos según SAGARPA (2012), se considera a los suelos del SAF, bosque secundario y el cocal como suelos con nivel muy bajo de estos elementos. Esto se debe a que el suelo de los sistemas en estudio al presentar pH bajos indica que estos elementos se encuentran en bajos niveles, aparte de ello las condiciones ambientales influyen sobre estos. Esto concuerda en lo mencionado por SAGARPA (2012), que suelos desarrollados bajo condiciones de precipitación más abundante puede haber pérdida de bases por efecto de la lixiviación y por extracción de los cultivos. Esto puede traer como consecuencia la reducción del pH y la escasez de nutrientes para los cultivos.

Con respecto a la CIC del suelo de los tres sistemas que se muestra en la Tabla 8, según Bazán (2017) estos suelos presentan un nivel medio de CIC. En relación a esto, los suelos del área en estudio están influenciados por los factores climáticos, ya que presentan constantes precipitaciones causando el lavado de esos elementos, esto conlleva a la disminución de los valores de la CIC. Esto concuerda con lo indicado por Sánchez (1981)

menciona que se necesita un CIC de por lo menos $7 \text{ Cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$, para retener la mayoría de los cationes contra la lixiviación.

Con respecto a la conductividad eléctrica del suelo que se muestra en la Tabla 8, según USDA (1999) el SAF y bosque secundario es ligeramente salino y al cocal como muy ligeramente salino, lo cual indica que estos valores de CE en el suelo no son perjudiciales para la planta. Esto concuerda con lo mencionado por el USDA (1999), que un exceso de sales inhibe el crecimiento de las plantas, al afectar el equilibrio suelo-agua.

La calidad del suelo obtenidos a partir de sus propiedades fisicoquímicas (Figura 5), según SAGARPA (2012), el bosque secundario tiene SUSS de calidad "sensible" debido que los parámetros medios, ocasionalmente se alejan de los valores óptimos, y el cocal logra una calidad de suelo "marginal" debido a que los indicadores de la calidad son distantes de los valores deseables.

Mientras que el SAF tiene un suelo de calidad "Aceptable" y cuantitativamente mayor a los demás sistemas de uso del suelo y según SAGARPA (2012) su calidad de este suelo está más cercana a las condiciones deseables, debido a que las variables (indicadores) analizadas poco se alejan de los valores adecuados. Esto se muestra en el respectivo gráfico radial (Figura 3) Con respecto a esto, Palomeque (2009) menciona que los cultivos perennes acompañado de especies forestales generan mayor protección contra la erosión por viento y agua, mayor posibilidad de fijación de nitrógeno atmosférico mediante los árboles, mantiene la estructura y fertilidad del suelo, mayor actividad biológica, reducción de la acidez, mayor extracción de nutrientes de los horizontes profundos del suelo, ayudan a recuperar suelos degradados y provee hábitat para mayor biodiversidad, mientras que el bosque secundario se vio afectado anteriormente por actividades de tumba rozo y

quema y el cocal por la constante labranza durante 20 años y la utilización intensiva de productos químicos. Esto concuerda en lo estipulado por Urrelo (1997), que la aplicación de fertilizantes, herbicidas e insecticidas trae como consecuencia la contaminación del suelo y agua, disminuyendo la fertilidad del suelo y extrayendo aceleradamente los principales nutrientes.

CONCLUSIONES

- El suelo del SAF tuvo el mayor valor de P, K⁺, Ca²⁺, Mg, CIC y CE, pero su contenido de N total fue menor, lo que indica que puede haber pérdidas de este nutriente esencial.
- El suelo del bosque secundario registró mayor % de materia orgánica y N total, lo que indica que en estos sistemas hay mayor y mejor reciclaje de biomasa y se mantiene mejor el N.
- El suelo del cocal presentó bajas condiciones de porosidad y aireación del suelo, reflejados por la mayor densidad aparente y resistencia a la penetración, así como también la menor velocidad de infiltración.
- Los indicadores fuertemente correlacionados fueron: N total, Ca²⁺, K⁺, y MO.
- En base al SUSS se determinó que el SAF tiene un índice de calidad aceptable, el bosque secundario es sensible y el sistema cocal, calidad marginal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bazán, T. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Universidad Nacional Agraria la Molina, Instituto Nacional de Innovación Agraria. Lima Perú. 92 p. Recuperado de http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/504/1/Bazan-Manual_de_procedimientos_de_los.pdf

Bernex, N. (2009). El impacto del narcotráfico en el medio ambiente; Los cultivos ilícitos de coca, un crimen contra los ecosistemas y la sociedad. *Mapa del narcotráfico en el Perú*,

Parte I, 83-98. Recuperado de http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/39934/4_impacto_medioambiente.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Chocce, F. (2015). Funciones de la hoja de coca durante el proceso de violencia política el centro poblado de san José de villa vista, distrito de Chungui, provincia La Mar, región Ayacucho. Disertación de pregrado. Facultad de Antropología-Universidad Nacional del Centro del Perú. Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/87/T363-CH.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos-USDA. (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica. 82 p.

Emrich, A., Pokorny, B., Sepp, C. 2000. Importancia del manejo de los bosques secundarios para la política de desarrollo. Trad. por Patrick Spittler y A. Carrillo. Eschborn, Alemania. ECO – Society for socio-ecological programme consultancy. 210 p.

Fassbender, H. (1975). Química de suelos con énfasis en Suelos de América Latina. 2da ed. IICA. San José, Costa Rica. 404 p.

Fitzpatrick, E. (1984). Suelos, su formación clasificación y distribución. 2da. ed. CECSA. Compañía Editorial Continental. México. 430 p.

Gil, P. (2002). Muestreo de suelos para evaluación de la salinidad y fertilidad. Serie Recursos Naturales (2), INTA. San Juan, Argentina. 2 p.

Gutiérrez, R., Canal, D. y Ávila, F. (2018). Cultivos de coca en Colombia: impactos socio-ambientales y política de erradicación. *ELEMENTA, Consultoría en Derechos*. Recuperado de <http://filesserver.idpc.net/library/Capitulo%204.pdf>

- Holdridge, R. (2000). Ecología basada en zonas de vida. Quinta reimpresión. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) San José, Costa Rica, 216 p.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales-INRENA. (1994). Mapa Ecológico del Perú, Guía explicativa. Reimpresión. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú. 179 p.
- Jiménez, R. y González, V. (2006). Edafología; La calidad de suelos como medida para su conservación. Universidad Autónoma de Madrid. Dpto. de Geología y Geoquímica. Madrid, España, Vol. 13, 138 p.
- Mendoza, R. y Espinoza, A. (2017). Guía Técnica para Muestreo de Suelos. Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services (CRS). Managua, Nicaragua. 56 p.
- Navarro, V., Florida, R. N. y Navarro, V. L. (2019). Atributos físicos y materia orgánica de oxisols en sistemas de producción de caña de azúcar. *Revista de Investigaciones Altoandinas-Journal of High Andean Research*, 21(2):89–99. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.453>
- Navarro, V. L., Florida, R. N. y Navarro, V. M. (2018). Sustancias húmicas y agregación en oxisol (Rhodic Eutrudox) con pasto brachiaria y otros sistemas de uso. *Livestock Research for Rural Development*, 30(8) artículo #137). Recuperado de <http://www.lrrd.org/lrrd30/8/nelino30137.html>
- Núñez, J. (2007). Fundamentos de edafología. 2ª ed. EUNED. San José, Costa Rica. 188 p.
- Palomeque, E. (2009). Sistemas agroforestales. [En línea]: SOCLA, Recuperado de <https://www.socla.co/wp-content/uploads/2014/sistemas-agroforestales.pdf>
- Palomino, T. (2015). Calidad de los suelos en vegetación de diferentes edades en la localidad Caracol - distrito Chinchao- Huánuco. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 94 p.
- Pulgar, V. (1996). Las ocho regiones naturales del Perú. 10 ed. Promoción Editorial Inca SA. Lima, Perú. 302 p.
- Raffo, L., Castro, J. A. y Díaz, E. A. (2016). Los efectos globo en los cultivos de coca en la Región Andina (1990-2009). *Apuntes del CENES*, 35(61):207-236. Recuperado de www.scielo.org.co/pdf/cenes/v35n61/v35n61a08.pdf
- Rosa, D. M., Pereira, N. L., Mauli, M. M., Piccolo, L. G. y Palczewski, P. F. (2017). Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. *Revista Ciência Agronômica*, 48(2): 221-230. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/rca/v48n2/1806-6690-rca-48-02-0221.pdf>
- Sánchez, E. (1981). Suelos: Bases técnicas para el desarrollo de los cultivos en la ceja de selva del Perú. PEPP. ADEX-USAID-DA. Chanchamayo, Perú. 86 p.
- Schuschny, A y Soto H. (2009). Guía metodología diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. CEPAL. Santiago de Chile. 290 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación- SAGARPA. (2012). Subíndice de Uso Sustentable del Suelo- Metodología de Cálculo. 53 p. Recuperado de http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento_metodologico_suelos.pdf
- Stehlíková, I., Madaras M., Lipavský J., Šimon T. (2016). Study on some soil quality changes obtained from long-term experiments. *Plant Soil Environ.*, 62(02): 74-79. <https://doi.org/10.17221/633/2015-PSE>

Urrelo, R. (1997). Cultivo de la coca en el Perú. IX Congreso Nacional de Ingenieros Agrónomos. Recuperado de <http://www.congreso.gob.pe/congresista/1995/rurrelo/coca.htm>.

CORRESPONDENCIA:

Ing. Lucymar Azañero Aquino
aquino_lu@hotmail.com