

Efecto de los sistemas de producción sobre las características físico-químicas de los suelos del distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, región Amazonas

Effect of production systems in the physical and chemical characteristics of the Molinopampa district soil, province of Chachapoyas, Amazonas department

¹Manuel Oliva Cruz, ²Roicer Collazos Silva, ³Mixis Gofias Más, ⁴Evelyn Bacalla, ⁵Carmen Vigo Mestanza, Héctor Vásquez Pérez, ⁶Santos Triunfo Leiva Espinosa¹ y ⁷Jorge L. Maicelo Quintana⁴

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes sistemas de producción en las características físico-químicas del suelo en el distrito de Molinopampa, considerándose para ello sistemas de pastoreo a campo abierto (SCA), sistemas silvopastoriles con *Pinus patula* (SSP pino), sistemas silvopastoriles con *Alnus acuminata* (SSP aliso), y un bosque natural (BN) como testigo absoluto.

Se seleccionaron dos fincas por cada sistema de pastoreo, dentro de las cuales se abrieron ocho calicatas para cada sistema, extrayéndose las muestras de suelo a una profundidad de 30 cm, haciendo un total de 64 calicatas e igual número de muestras de suelo. Posteriormente estas muestras fueron llevadas al laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas de la UNTRM para determinar clase textural, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico, fósforo, nitrógeno, y la densidad aparente respectiva; además se realizaron mediciones de compactación con la ayuda de un penetómetro digital.

Como resultado se pudo observar que los SSP pino y SSP aliso albergan en mayor proporción materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno y fósforo, en comparación con un SCA (Tukey $p \geq 0,05$); además los SSP pino y SSP aliso son los que más se asemejan al sistema de BN en términos de características físicoquímicas del suelo.

Palabras clave: Sistema de pastoreo, características del suelo, compactación, Molinopampa.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the effect of different production systems in the physical and chemical characteristics of the soil in the district of Molinopampa, considered for this grazing systems open field (SCA), silvopastoral systems with *Pinus patula* (SSP pine) silvopastoral systems with *Alnus acuminata* (SSP alder) and a natural forest (BN) as absolute control.

Two farms were selected for each grazing system, in which eight test pits for each system were opened, it was extracted soil samples at a depth of 30 cm, making a total of 64 test pits and an equal number of soil samples. Then these samples were taken to the laboratory of Soil and Water Research in the UNTRM to determine the textural class, hydrogen potential, electrical conductivity, organic matter, organic carbon, phosphorus, nitrogen and the apparent respective density; further compaction measurements performed with the aid of a digital penetrometer.

As a result, it was observed that the SSP pine and SSP alder host greater proportion organic matter, organic carbon, nitrogen and phosphorus, as compared to a SCA (Tukey $p \geq 0,05$); also the SSP pine and SSP alder are the ones who most resemble to the BN system in terms of physico-chemical characteristics of the soil.

Keywords: grazing system, soil characteristics, compaction, Molinopampa.

¹Ingeniero Agrónomo. Investigador del INDES-CES, UNTRM.

²Ingeniero Ambiental. Agroindustrial del INDES-CES, UNTRM. E-mail: rcollazos@indes-ces.edu.pe

³Bachiller en Ingeniería Ambiental, Investigador del INDES-CES, UNTRM.

⁴Ingeniero Zootecnista. Investigador del INDES-CES, UNTRM. E-mail: hvasquez@indes-ces.edu.pe

⁵soliva@indes-ces.edu.pe ⁶mixis.gofias@untrm.edu.pe ⁷evelin.bacalla@untrm.edu.pe ⁸carmen.vigo@untrm.edu.pe

⁹santos.leiva@untrm.edu.pe ¹⁰maicelo@untrm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

En la gran mayoría de distritos de la región Amazonas, la actividad ganadera se ha convertido en una de las actividades económicas más importantes de los pobladores rurales de esta parte del país, tal es el caso del distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, el mismo que con 23 14,93 ha, es uno de los más extensos de la región en cuanto a producción de pastos se refiere (INEI, 2014). En tal sentido, la actividad ganadera se convierte en la principal actividad económica para los pobladores de este distrito, los mismos que practican diferentes sistemas de pastoreo a campo abierto y silvopastoriles, utilizando para ello especies arbóreas como aliso (*Alnus acuminata*), pino (*Pinus patula*), y otras especies.

En el ámbito internacional, los sistemas silvopastoriles se han tornado muy importantes, debido a la necesidad de lograr un uso, manejo y aprovechamiento sostenible de nuestros recursos naturales (Lok y Fraga, 2011). La actividad silvopastoril está dirigida a optimizar la producción agropecuaria, de este modo genera oportunidades de incrementar la producción de biomasa con mayor calidad, permite la mejora y conservación de suelos degradados, y hace los sistemas productivos más biodiversos (Murgueitio y Muhammad, 2010).

En el ámbito nacional y local son muy pocas las evaluaciones de las tasas de infiltración de agua a pesar de que la generación de esta información es muy valiosa para plantear y recomendar usos con fines de recarga hídrica, tecnificación de riego, incorporación de enmiendas del suelo y tipo de cubierta (Parchami *et al.*, 2013).

Cabe destacar que, en los ambientes áridos y semiáridos, el sobrepastoreo del ganado doméstico es el principal factor de desertificación al transformar ambientes dominados por gramíneas perennes en ambientes dominados por arbustos con suelo desnudo o baja cobertura vegetal en los espacios entre arbustos (Allington y Vallone, 2011).

La actividad ganadera, así como el resto de las actividades agrarias, no pasan inadvertidas sobre las propiedades de los suelos sobre los que se desarrollan (Pérez y Díaz, 1988). La compactación es un proceso por el cual se comprime la masa de suelo como consecuencia de la aplicación de cargas o presiones. En términos físicos, la compactación disminuye el volumen de poros, modifica la estructura porosa y aumenta la densidad aparente (Baver *et al.*, 1991).

Por otra parte, el pastoreo modifica las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y afecta a los procesos relacionados con la hidrología, el ciclo de nutrientes y la producción vegetal de las áreas de pastizal (Whisenant, 1999).

Las alteraciones en las características físico-químicas del suelo son las que determinan en gran medida la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre lo sujeta. La condición física de un suelo determina la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes.

En general, se propone que el disturbio del ganado puede ser el disparador de alteraciones persistentes en la hidrología del suelo (e.g. la disminución de la tasa de infiltración y el aumento de la escorrentía), y convertiría en disfuncionales a los ecosistemas en términos de eficiencia de uso del agua, nutrientes y radiación (Bestelmeyer *et al.*, 2004; Briske *et al.*, 2005). Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra conocer las propiedades físicas del suelo para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones posibles físicas del suelo (Wuest, 2001; Rucks *et al.*, 2004).

Por ello, resulta de gran importancia conocer el estado de las características físico-químicas del suelo, para deducir cuales son los efectos que ocasionan los sistemas bajo pastura y realizar los cambios pertinentes (García *et al.*, 2003).

En ese contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de los sistemas de pastoreo en las características físico-químicas de los suelos del distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, región Amazonas

II. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en el distrito de Molinopampa, provincia Chachapoyas, región Amazonas (Figura 1), el cual se encuentra ubicado a una altitud de 2421 m s. n. m, en la latitud 06° 12' 20" Sur y la longitud 77° 40' 06" Oeste, con una superficie de 333,86 Km².

En este distrito de Molinopampa, los ganaderos emplean diferentes métodos y sistemas de pastoreo: el sistema de pastoreo a campo abierto o extensivo (uno de los más utilizados por los ganaderos), el sistema silvopastoril con diferentes especies forestales (siendo las más comunes el pino y el aliso), el sistema de pastoreo con cerco eléctrico, el sistema con estaqueo, y el sistema semiestablado, entre otros. La presente investigación se centra en el análisis de los sistemas

más utilizados en la zona, considerando un bosque natural que sirvió como testigo absoluto. Los tratamientos empleados en cada sistema fueron los siguientes:

- S1: Bosque
- S2: Sistema silvopastoril con Pino (*Pinus patula*)
- S3: Sistema a campo abierto
- S4: Sistema silvopastoril con aliso (*Alnus acuminata*)

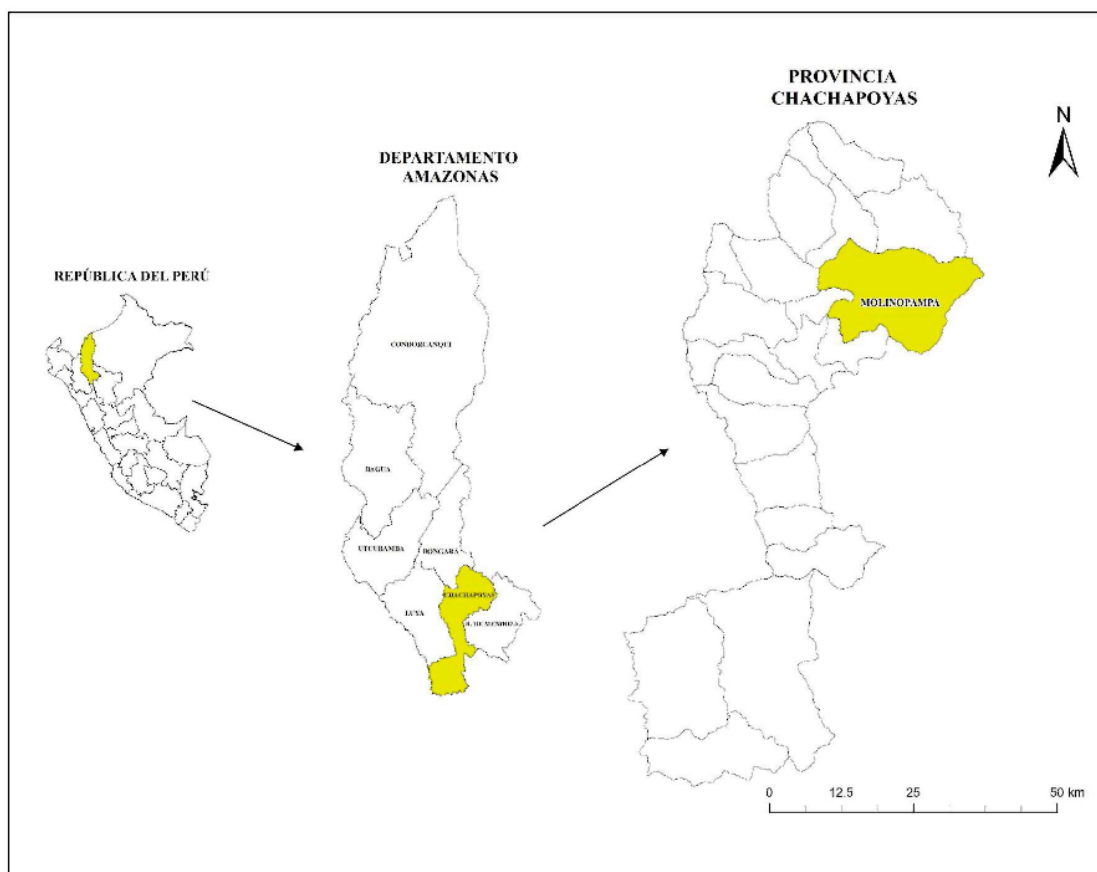


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio

2.1. Etapa de campo

2.1.1. Elección de los lotes por sistema

Por cada sistema seleccionado se eligieron dos fincas ganaderas o unidades agropecuarias que mostraron condiciones similares de suelo, vegetación, topografía, manejo y drenaje. Por cada lote se tomaron 16 muestras de suelo utilizando el método del Zig Zag (8 para determinar análisis de densidad aparente y 8 para determinar la clase textural, PH, C.E, M.O, C.O, P, N), sumando un total de total 64 muestras para análisis de densidad aparente y 64 para clase textural.

2.1.2. Muestreo de suelo para análisis físico-químico

Para la toma de muestras, se tuvo en cuenta el muestreo propuesto por el reglamento para la ejecución de levantamiento de suelos, fijado mediante Decreto Supremo N° 013-2010-AG (MINAGRI, 2010), que en resumen indica desarrollar el siguiente procedimiento:

- Una vez identificada el área de muestreo se marcaron los puntos teniendo en cuenta la metodología del zig-zag.
- Se limpió la superficie del punto de muestreo a ras del suelo, eliminando la cobertura vegetal u otro tipo de material.

- Se construyó una calicata de una profundidad de 30 cm.
- Usando una picota, se clavó un cilindro de 3 pulgadas (7,62 cm) de diámetro de manera horizontal, hasta una profundidad de 7,62 cm.
- Se extrajo el cilindro teniendo en cuenta que en ambos extremos se encuentre el suelo superficial.
- Con la ayuda de la picota, se extrajo la muestra del cilindro y se colocó en una bolsa plástica.
- Se pesó la muestra y se descontó el peso de la bolsa; posteriormente se etiquetó incluyendo los siguientes datos: número de parcela, número de muestra, nombre del lugar de ubicación del terreno, coordenadas UTM, fecha, hora, profundidad, y tipo de sistema de pastoreo.

2.1.3. Medición de la compactación del suelo

Las mediciones referidas a la compactación del suelo se realizaron con el equipo medidor de compactación de suelo "Fieldscout SC900", el cual mide y registra en forma digital la compactación de forma rápida y efec-

tiva. El equipo funciona con un sensor sónico exclusivo de profundidad que proporciona las lecturas de la profundidad en incrementos de 2,5 cm, mientras una célula de carga mide la resistencia a la penetración. Los datos de compactación se leyeron en forma digital y en unidades de psi. La operación del equipo se realizó de acuerdo a las indicaciones del manual de uso, sugiriéndose realizar entre 100 a 200 lecturas por hectárea de terreno.

2.2. Etapa de laboratorio

Las muestras de suelo fueron trasladadas al Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (LABISAG) donde se realizaron los análisis correspondientes de clase textural, conductividad eléctrica, pH, densidad aparente, materia orgánica, nitrógeno total, carbono orgánico y fósforo disponible (Tabla 1). Para ello se utilizaron los siguientes métodos:

Tabla 1. Variables y métodos desarrollados en campo y laboratorio

Variables	Método
Clase textural	Hidrómetro de Bouyoucos
Densidad aparente	Cilindro mecánico (Gravimétrico)
Conductividad eléctrica	Lectura del extracto acuoso en la relación suelo - agua 1:1
pH	Medida con potenciómetro de la suspensión suelo - agua 1:1
Materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total	Walkley y Black
Fósforo disponible	Olsen modificado
Potasio disponible	Acetato de Amonio pH:7

Fuente: Elaboración propia

2.1. Etapa de gabinete

La sistematización y análisis de los resultados obtenidos se efectuaron con el software Microsoft Excel y el paquete estadístico SPSS Statistics 20, para el análisis de varianzas.

III. RESULTADOS

3.1. Características físicas evaluadas en cada sistema

3.1.1. Compactación

Los resultados encontrados en cuanto a esta característica muestran que el sistema pastoril a campo abierto (S3) es el que registra los valores más altos de compactación, con 395 psi, mientras que el sistema S1 registra el menor valor de compactación con 61,44 psi. (Figura 2). Se encontró además que las pruebas de significancia, a las que fueron sometidos los valores alcanzados en estas variables, indican la existencia de diferencia

estadística significativa entre todos los sistemas evaluados (Tukey $p \geq 0,05$). En la siguiente figura, se muestran los valores de compactación del suelo encontrados en cada uno de los sistemas, materia de la presente investigación.

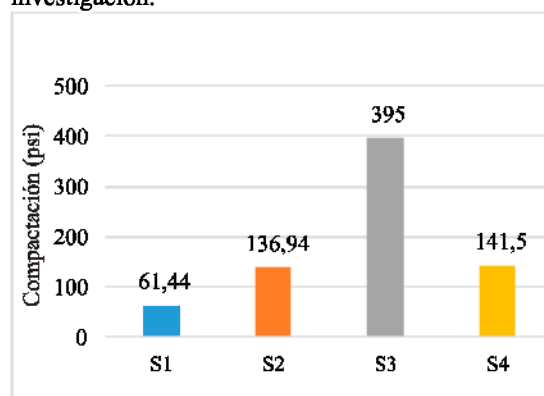


Figura 2. Niveles de compactación en cuatro sistemas de pastoreo
Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Densidad aparente

En cuanto a esta característica, en la figura N° 03, se puede observar que en el sistema S3 (sistema pastoril a campo abierto) se encontró el valor más alto de densidad aparente con 0,93 g/cc, seguido del sistema S2 (Sistema silvopastoril con pino) con 0,69 g/cc; siendo en el sistema de pastoreo S1 con 0,55 g/cc, el menor valor de densidad aparente encontrado. Los valores de densidad aparente encontrados en cada uno de los sistemas, datan diferencias estadísticas significativas entre los sistemas de pastoreo en evaluación (Tukey $p \geq 0,05$).

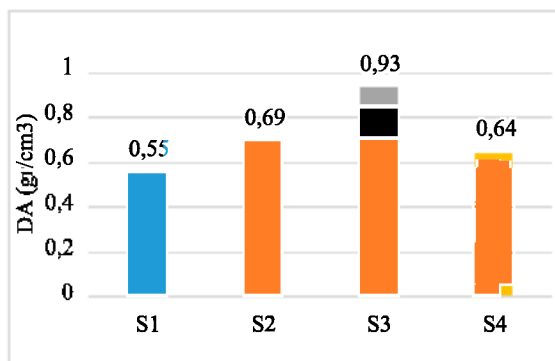


Figura 3. Valores de densidad aparente (DA) encontrados en cuatros sistemas de pastoreo
Fuente: Elaboración propia

3.1. Características químicas evaluadas en cada sistema de pastoreo

3.2.1. Potencial de hidrógeno (pH)

Como se observa en la Figura 4, el valor de pH más alto fue hallado en el S4 (sistema silvopastoril con aliso) con 6,18, mientras que el menor nivel de pH fue encontrado en el sistema S2 (sistema silvopastoril con pino). Estos niveles encontrados difieren significativamente entre sí (Tukey $p \geq 0,05$). En la siguiente figura, se muestran los valores encontrados en cada uno de los lotes correspondiente a los cuatro sistemas de pastoreo.

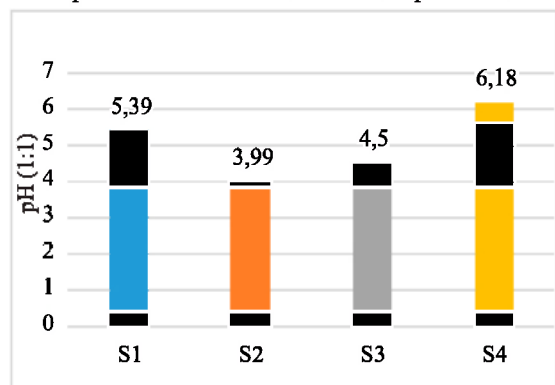


Figura 4. Niveles de pH encontrados en cuatros sistemas de pastoreo
Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Conductibilidad eléctrica

Realizada las evaluaciones correspondientes, en cuanto a la conductibilidad eléctrica, se encontró que el sistema S3 (sistema pastoril a campo abierto) alcanza el valor más alto con 0,36 mS/cm. Lo contrario sucede con el sistema S1 (testigo), en el cual se encontraron valores de conductibilidad eléctrica de 0,15 mS/cm. Los valores alcanzados fueron sometidos a la prueba de Tukey al 5 % de significación, la cual además muestra niveles de significancia estadística.

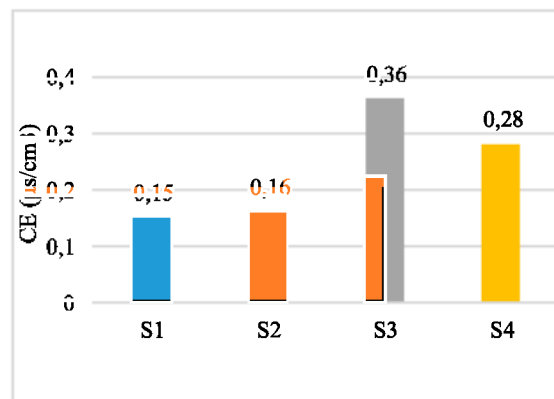


Figura 5. Niveles de conductividad eléctrica (CE) encontrados en cuatros sistemas de pastoreo
Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Niveles de Fósforo (P)

La figura 6 muestra los niveles de fósforo (P) encontrados en los cuatro sistemas de pastoreo. La prueba de Tukey, al 5 % de significación, permite observar que los valores de fósforo presentes en el sistema S2 (sistema silvopastoril con pino) con 5,83 ppm, así como en el sistema S4 (sistema silvopastoril con aliso) con 5,81 ppm no difieren estadísticamente entre sí. Sin embargo la diferencia se manifiesta cuando estos son comparados con los niveles de P, encontrados en los sistemas restantes (S1 y S3).

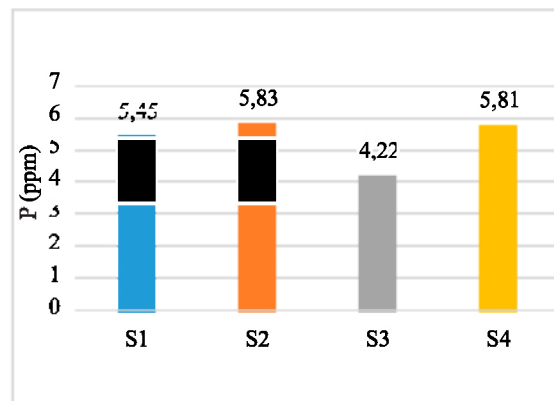


Figura 6. Niveles de fósforo encontrados en cuatros sistemas de pastoreo
Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Característica: Niveles de Carbono orgánico (C.O.)

Los mayores valores de carbono orgánico (C.O.) fueron encontrados en tratamiento testigo o bosque con un nivel de 5,56 %, seguido del sistema silvopastoril con pino S2 con 5,34 %. La prueba de comparación múltiple efectuada nos indica que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos en observación (Tukey $p \geq 0,05$).

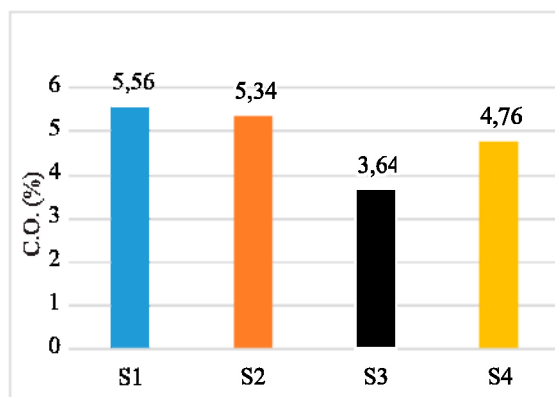


Figura 7. Niveles de carbono orgánico (C.O.) encontrados en cuatro sistemas de pastoreo
Fuente: Elaboración propia

3.2.5. Niveles de Materia orgánica (M.O.)

Como se aprecia en la figura 8, los mayores niveles de materia orgánica fueron encontrados en el tratamiento testigo S1 (bosque) con 9,58%, seguido del tratamiento que corresponde al sistema S2 (Sistema silvopastoril con pino) con 9,2%. No existe diferencia estadística significativa entre ellos (Tukey $p \geq 0,05$). Sin embargo, esta diferencia ya es observable cuando se compara con los resultados que corresponden a los demás tratamientos.

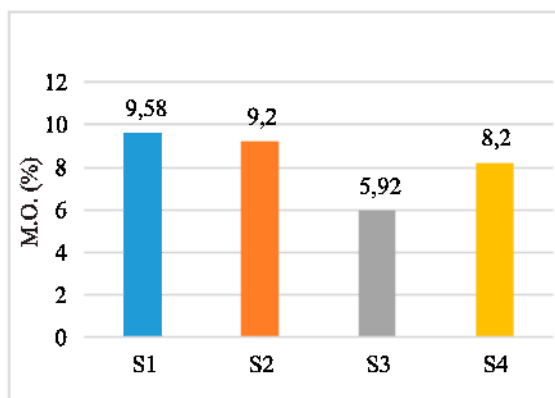


Figura 8. Niveles de materia orgánica (M.O.) encontrados en cuatro sistemas de pastoreo
Fuente: Elaboración propia

3.2.6. Niveles de Nitrógeno (N)

La figura 09, en lo que corresponde a los niveles de nitrógeno (N) hallados en los sistemas en observación, evidencia que en el Sistema S1 (bosque) posee los niveles más altos de nitrógeno con 0,48 %, seguido por el sistema S2 (Sistema silvopastoril con pino) con 0,47 %, el cual además no difiere estadísticamente con el anterior. Sin embargo, esta diferencia si se muestra cuando estos valores son comparados con los alcanzados en los sistemas S3 y S4 (sistema pastoril a campo abierto y sistema con aliso, respectivamente).

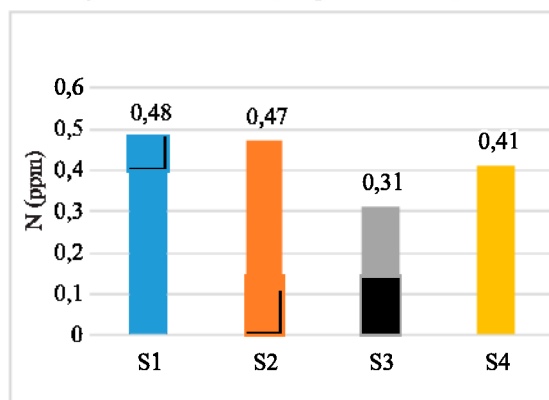


Figura 9. Niveles de Nitrógeno (N) encontrados en cuatro sistemas de pastoreo
Fuente: Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN

En la presente investigación, se pudo comprobar que existen diferencias en las características físicas y químicas del suelo en relación con los sistemas de pastoreo, principalmente se observó en relación a la materia orgánica, los sistemas de pastoreo bajo sistemas silvopastoriles con las dos especies arbóreas, la materia en comparación con el sistema a campo abierto y muy cercano al testigo absoluto que es el bosque. Esto corrobora lo manifestado por Camero y Rodríguez (2014), quienes en su trabajo de investigación encontraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) para los valores de contenido de materia orgánica en el suelo entre el sistema silvopastoril y el basado en *Brachiaria* como monocultivo; en cambio, estos mismos autores no encontraron diferencias significativas para valores de pH. En la presente investigación sí se encontraron diferencias significativas entre sistemas. No se puede afirmar completamente que esto se deba a las influencias del sistema de pastoreo, ya que no se cuenta con una línea base y su evaluación en el tiempo.

De igual forma, Oliva (2015), en su investigación acerca de factores socioeconómicas y ambientales que influyen en la adopción de tecnologías silvopastoriles en productores ganaderos del distrito de Molinopampa, Amazonas, encontró que el contenido de materia orgánica y carbono del suelo en un sistema silvopastoril con aliso es de 4,15 % y 2,20 % respectivamente, mientras que en un sistema a campo abierto fue de 3,75 % y 2,18 % respectivamente. Se observó que en el sistema silvopastoril con aliso se incrementó el contenido de materia orgánica en el suelo en comparación con un sistema a campo abierto, siendo una característica determinante para la calidad del suelo. Igualmente, este autor, en referencia al pH, manifiesta que sí se observan diferencias mínimas en el sistema silvopastoril con aliso (5,34) en comparación con el sistema a campo abierto (5,37). Esto se debe, principalmente a que las plantaciones no tienen la edad suficiente para poder impactar en el suelo por lo que sería necesario corroborar esta información con plantaciones más adultas.

A partir de los resultados de la presente investigación, se puede determinar que el sistema pastoril a campo abierto (S3) es el que registró los valores más altos de compactación (395 psi), y por ende un mayor valor de densidad aparente (1,85), además de un pH ácido (4,49). En general todas las características químicas evaluadas registraron valores más bajos en comparación con otros sistemas. Estos valores son similares a los encontrados por Bowen (1981), quien afirma que los suelos con mayor compactación tienen valores más altos de densidad aparente, lo cual es característico de suelos con ausencia de árboles. Al respecto, Berli (2001) manifiesta que en los sistemas pastoriles a campo abierto se produce la aplicación de cargas, lo que origina que las partículas del suelo sean reorganizadas, decrezca el espacio poroso y estas sean llevadas a un contacto más cercano, incrementando la densidad de volumen y cambiando la forma, tamaño y distribución de los poros, lo cual limita la capacidad de retención del suelo, el intercambio hídrico y gaseoso, y aumenta la impedancia mecánica.

Por otro lado, y con respecto a los valores encontrados en cuanto a las características físicas y químicas del Sistema pastoril a campo abierto (S3), Bugarín (2012) manifiesta que una reducida cobertura vegetal contri-

buye a aumentar la erosión, a reducir los niveles de materia orgánica y a incrementar los niveles de compactación.

Volke (2005), menciona que la acumulación de sales por mal drenaje está relacionada con niveles elevados de densidad aparente en el suelo, los cuales harán que los suelos de los sistemas de pastoreo a campo abierto presenten los niveles más altos de conductividad eléctrica, en comparación con sistemas silvopastoriles. Esta afirmación se vincula a lo encontrado en el estudio realizado, ya que la conductividad eléctrica es mayor en un sistema de pastoreo a campo abierto (0,36 g/cc), y en los sistemas silvopastoriles compuestos por pino y aliso, los cuales presentaron valores menores, con 0,16g/cc y 0,28g/cc, respectivamente.

Larson y Pierce (1991) mencionan que la materia orgánica es el indicador más importante de calidad y productividad de los suelos, y que además es la base para la disponibilidad de otros nutrientes como fósforo y carbono orgánico. Al respecto, en la presente investigación, se corrobora esta afirmación, ya que los sistemas con mayor porcentaje de materia orgánica son los que a su vez poseen altos valores de fósforo y carbono orgánico, tal como se encontró en los sistemas silvopastoriles con pino y aliso, y también en el testigo (bosque).

Según García *et al.* (2003), los sistemas silvopastoriles aportan cantidades de nutrientes al suelo debido a la caída de las hojas de las especies arbóreas. En el contexto de la presente investigación se encontraron valores más elevados de nutrientes tales como el Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) en los sistemas silvopastoriles que en los sistemas de pastoreo a campo abierto.

V. CONCLUSIONES

Los sistemas S2, Sistema silvopastoriles por pino (*Pinus patula*) y aliso "S4" (*Alnus acuminata*), con 9,21 % y 8,2 % respectivamente, fueron los que registraron porcentajes de materia orgánica más cercanos al sistema de bosque (9,58 %). Por otro lado, el sistema de pastoreo a campo abierto fue el que registró la menor cantidad de materia orgánica con 5,96 %, presentando estos valores una relación directamente proporcional con los niveles de carbono orgánico (C.O.) en el suelo. En tal sentido, fue el testigo (SI – sistema bosque) donde se registraron los mayores

niveles de materia orgánica y por consiguiente también de carbono orgánico.

En cuanto a los niveles de nitrógeno encontrados, los resultados guardan similitud a lo dispuesto anteriormente, puesto que los sistemas con mayor porcentaje de materia orgánica poseen los mayores niveles de Nitrógeno, seguido de los sistemas silvopastoriles con pino (*Pinus patula*) y aliso (*Alnus alcuminata*), mientras que el sistema de pastoreo a campo abierto S3, presenta el menor porcentaje de materia orgánica y menor disponibilidad de nitrógeno.

Los mayores niveles de fósforo (P) encontrados se dieron en el sistema silvopastoril con pino (*Pinus patula*) con 5,82 ppm, seguido del testigo (sistema de bosque) con 5,46 ppm, y del sistema silvopastoril con aliso (*Alnus alcuminata*) con 5,21 ppm.

Existen diferencias entre los valores de pH encontrados en cada uno de los sistemas de pastoreo, pero no se puede afirmar que esta variación se deba al propio sistema de pastoreo ya que no se cuenta con una medición inicial o una línea base de medición a través del tiempo para ver la variación.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allington, G y T. Valone. "Reversal of desertification: the role of physical and chemical soil properties". *Journal of Arid Environmental*, 2011.
- Baver, L., W. H. Gardner y W. R. Gardner. "Física de Suelos". *Limusa*. México. 1991
- Bestelmeyer, B. T., J. E. Herrick, J. R. Brown, D. A. Trujillo y K. M. Havstad. "Land management in the American Southwest: a state-and-transition approach to ecosystem complexity". *Environmental Management*, 2004.
- Berli, M. "Compaction of agricultural subsoils by tracked heavy construction machinery". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Instituto Federal Suizo de Tecnología de Zúrich, Zúrich, Suiza. 2001
- Bowen, H. D. "Alleviating mechanical impedance. American Society of Agricultural Engineers". ASAE, USA. *Monograph*, Vol. 4 (1981).
- Briske, D. D., S. D. Fuhlendorf y F. E. Smeins. "State-and-transition models, thresholds, and rangeland health: a synthesis of ecological concepts and perspectives". *Rangeland Ecology & Management*, Vol. 58 (2005): 1-10.
- Bugarín, J. O. "La interacción suelo, planta, animal en un sistema silvopastoril". *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, Vol. 19 (2012).
- Camero, A. y H. Rodríguez. "Características químicas del suelo, producción forrajera y densidad poblacional de lombrices en un sistema silvopastoril en la zona Huetar Norte de Costa Rica". *Tecnología en Marcha*. Vol. 28 (2014): 91-104.
- García, C., T. Hernández, J. Pascual, J. L. Moreno y M. Ros. "Actividad microbiana en suelos del sureste español sometidos a procesos de degradación y desertificación. Estrategia para su rehabilitación". En: *Investigación y Perspectivas de la Enzimología de suelos en España*. 2003
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). "TV Censo Nacional Agropecuario". Disponible en: <http://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVI.pdf>, 2014.
- Larson, W. y F. J. Pierce. "Conservation and enhancement of soil quality". In *Evaluation for sustainable Land Management in the Developing World: proceedings of the International Workshop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World*, Chiang Rai, Thailand. Vol. 2 (1991).
- Lok, S. y S. Fraga. "Comportamiento de indicadores del suelo y del pastizal en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala* / *Cynodon nlemfuensis* con ganado vacuno en desarrollo". *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Vol. 45(2011): 195-202.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). Decreto supremo N° 013-2010-AG. Disponible en: <http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretosupremos/2010/ds13-2010-ag.pdf>, 2010.
- Murgueitio, E. y I. Muhammad. "Agroforestería pecuaria para la reconversión de la ganadería en Latinoamérica". *Livestock Res. Rural Development*. Vol. 13 (2010).
- Oliva, M. Tesis "Factores socioeconómicos y ambientales que influyen en la adopción de tecnologías silvopastoriles en los productores ganaderos del

- distrito de Molinopampa, Amazonas". 2015.
- Parchami A. F., S. Majid, S. Ghorbani y M. Hossein. "Point estimation of soil water infiltration process using Artificial Neural Networks for some calcareous soils". *Journal of Hydrology*, 2013.
- Pérez, R. y F. Díaz. "Resistencia del suelo y susceptibilidad a la compactación en terrenos a monte sometidos a pastoreo". *Anales de Edafología y Agrobiología*, 1988.
- Rucks, L., F. García, A. Kaplán y H. M. Ponce de León. "Propiedades físicas del suelo". Universidad de la República: Facultad de agronomía. Montevideo, Uruguay. 2004.
- Volke, T., J. A. Velasco y D. A. de la Rosa. "Suelos Contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación". Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, México. 2005.
- Whisenant, S. G. "Repairing damaged wildlands: A processorientated, landscape-scale approach". Cambridge, U.K: Cambridge University, 1999.
- Wuest, S. B. "Earthworm, infiltration, and tillage relationships in a dry land peawheat rotation". *Applied Soil Ecology*, 2001.