

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN SUELOS**



**“PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS
EN SISTEMAS SILVOPASTORILES EN AMAZONAS Y SAN
MARTÍN”**

Presentada por:

YENNY SÁNCHEZ CASTRO

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN SUELOS**

Lima - Perú

2021

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN SUELOS**

**“PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS
SUELOS EN SISTEMAS SILVOPASTORILES EN
AMAZONAS Y SAN MARTÍN”**

**VGUK'RCTC'QRVCT'GN'I TCFQ'FG'"
O CI KUVGT'UEKGPVKCG'GP 'UWGNQU**

Rt gupwcf c'r qt <'

[GPP['Uf PEJ G 'ECUVTQ"

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

.....
Ph.D. Javier A. Naupari Vásquez
PRESIDENTE

.....
Ph.D. Julio C. Alegre Orihuela
ASESOR

.....
Mg.Sc. Julio C. Nazario Ríos
MIEMBRO

.....
Mg.Sc. Braulio La Torre Martínez
MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios

A mis padres: Edith y Guillermo

A mis hermanos (a): Edith, Noe, Noemi y Guillermo

A todas las personas y amigos que, de una u otra forma, contribuyeron en el logro de este objetivo y que hacen que este trabajo, más que un mérito personal, sea la suma de muchos esfuerzos.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer al Proyecto PNIA *Innovación en la evaluación de Sistemas Silvopastoriles de Selva Alta Peruana como estrategia de adaptación y mitigación al cambio climático* (Contrato 010-2015-INIA-PNIA/UOMSI/IE) por el financiamiento para la ejecución de la presente tesis.

También, agradezco al Ph.D. Julio Alegre O., agradezco sus enseñanzas, confianza y apoyo constante para la elaboración de este trabajo, así como la oportunidad de conocer de cerca los sistemas silvopastoriles.

Asimismo, quisiera agradecer al Mg.Sc. Dante Mauricio Pizarro Paz., agradezco por su valioso aporte en esta investigación.

Finalmente, agradezco a mis amigos (a) y compañeros (a) Ing. Pamela Quiroga, Mg.Sc. Jimny Núñez D., Mg.Sc. Fritz Trillo Z., y Mg.Sc. Gelver Romero., agradezco sus consejos y su valiosa ayuda en el análisis estadístico de los datos e interpretación de los resultados.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 GENERALIDADES	2
2.2 DEGRADACIÓN DE SUELOS AMAZÓNICOS	2
2.2.1 Compactación	2
2.3 DEGRADACIÓN DEL AMBIENTE Y DEL SUELO	3
2.4 DEGRADACIÓN DE LA FERTILIDAD FÍSICA DEL SUELO	4
2.5 LA POBREZA DE LOS AGRICULTORES COMO CAUSA DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS	4
2.6 DE LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS A LA DEFORESTACIÓN	4
2.7 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS	5
2.7.1 Estructura	5
2.7.2 Resistencia a la penetración	6
2.7.3 Textura	6
2.7.4 Densidad aparente (DA)	6
2.7.5 Consistencia	8
2.8 SISTEMAS SILVOPASTORILES (SS)	8
2.8.1 Tipos de Sistemas Silvopastoriles	8
2.8.2 Sistemas silvopastoriles con especies	9
2.9 EFECTO DE LA GANADERÍA SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO	13
3.1.1 Ubicación y superficie	13
3.1.2 Clima	13
3.1.3 Zonas de vida	14
3.1.4 Geología Regional	14
3.2 EQUIPOS Y MATERIALES	15
3.2.1 Materiales utilizados	15
3.2.2 Descripción de la distribución de los sistemas silvopastoriles (SS)	15
3.3 METODOLOGÍA DE ESTUDIO	18
3.3.1 Determinación de las propiedades físicas de los suelos en campo	19
3.3.2 Fase de laboratorio	21

3.3.2.1 Determinación del análisis químico de caracterización del suelo	21
3.3.2.2 Identificación de información complementaria	21
3.3.3 Fase de interpretación	22
3.3.3.1 Análisis estadístico	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
V. CONCLUSIONES.....	48
VI. RECOMENDACIONES	49
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
VIII. ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1	Sistemas silvopastoriles del distrito de Molinopampa 16
Cuadro 2	Sistemas silvopastoriles del Valle de Huayabamba – Rodríguez de Mendoza 17
Cuadro 3	Sistemas silvopastoriles de Soritor 18
Cuadro 4	Variables que influyen en las propiedades químicas evaluadas 21
Cuadro 5	Variables físicas evaluadas entre los Sistemas Silvopastoriles en Molinopampa 25
Cuadro 6	Variables físicas evaluadas en época lluviosa y seca en Molinopampa 27
Cuadro 7	Variables físicas evaluados entre los sistemas silvopastoriles en Huayabamba 31
Cuadro 8	Variables físicas evaluadas en época lluviosa y seca en Huayabamba 32
Cuadro 9	Variables físicas evaluados entre los sistemas silvopastoriles en Soritor 36
Cuadro 10	Variables físicas evaluados bajo sombra y campo abierto en Soritor 36
Cuadro 11	Variables de propiedades químicas en los SS y su campo abierto, en Molinopampa 42
Cuadro 12	Variables de propiedades químicas en los SS y su campo abierto en Huayabamba 44
Cuadro 13	Variables de propiedades químicas en los SS y su campo abierto en Soritor 46

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1	Sistemas Silvopastoriles de Molinopampa 17
Figura 2	Sistemas Silvopastoriles del Valle de Huayabamba..... 17
Figura 3	Sistemas Silvopastoriles de Soritor 18
Figura 4	Densidad aparente (g/cm^3) y porcentaje de humedad en el suelo en época lluviosa y seca en Molinopampa 26
Figura 5	Densidad aparente (g/cm^3) evaluado en época lluviosa y seca en Molinopampa..... 28
Figura 6	Humedad del suelo (g/cm^3) en época lluviosa y seca en Molinopampa 29
Figura 7	Porosidad (%) del suelo en época lluviosa y seca en Molinopampa 30
Figura 8	Resistencia mecánica (kg/cm^2) del suelo en época lluviosa y seca en Molinopampa..... 30
Figura 9	Comparación de densidad aparente y contenido de humedad en el suelo en época lluviosa y seca en Molinopampa 31
Figura 10	Densidad aparente (g/cm^3) del suelo en época lluviosa y seca en Huayabamba 33
Figura 11	Humedad del suelo (%) en época lluviosa y seca en Huayabamba 34
Figura 12	Porosidad (%) del suelo en época lluviosa y seca en Huayabamba 35
Figura 13	Resistencia mecánica (kg/cm^2) del suelo en época lluviosa y seca en Huayabamba 35
Figura 14	Comparación de densidad aparente y humedad del suelo (%) en Soritor 36
Figura 16	Humedad del suelo (%) bajo sombra y campo abierto en Soritor 39
Figura 17	Porosidad (%) del suelo bajo sombra y campo abierto en Soritor..... 40
Figura 18	Resistencia mecánica (kg/cm^2) del suelo en Soritor..... 40
Figura 19	Propiedades químicas del suelo en Molinopampa..... 41
Figura 20	Propiedades químicas del suelo en Rodríguez de Mendoza (Huayabamba) 44
Figura 21	Propiedades químicas del suelo en Soritor 46

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Análisis Estadísticos de Molinopampa.....	58
Anexo 2. Análisis Estadísticos de Rodríguez de Mendoza.....	66
Anexo 3. Análisis Estadísticos de Soritor	73
Anexo 4. Ubicación de los puntos de muestreos Molinopampa.....	80
Anexo 5. Ubicación de los puntos de muestreos – Valle de Huayabamba (Rodríguez de Mendoza).....	81
Anexo 6. Ubicación de los puntos de muestreos – Moyobamba (Soritor).....	81
Anexo 7. Mapa de Ubicación de puntos de muestreo en Molinopampa.....	82
Anexo 8. Mapa de Ubicación de puntos de muestreo en Huayabamba (Rodríguez de Mendoza).....	83
Anexo 9. Mapa de ubicación de puntos de muestreo en Soritor.....	84
Anexo 10. Panel fotográfico de los puntos de evaluación	85

RESUMEN

La opción del manejo de los suelos con sistemas silvopastoriles (SS), como alternativa a la degradación de los suelos por sobrepastoreo, está siendo utilizada por agricultores en la Amazonia peruana. El objetivo de esta investigación fue caracterizar diferentes prototipos de SS mediante análisis físicos y químicos del suelo, seleccionados en campos de agricultores en las provincias de Chachapoyas y Rodríguez de Mendoza, pertenecientes al departamento de Amazonas y en el distrito de Soritor, perteneciente a la provincia de Moyobamba en el departamento de San Martín. En el sector Molinopampa, los SS evaluados fueron a) Aliso (*Alnus acuminata*) en callejones b) Pino (*Pinus patula*.) en callejones c) Ciprés (*Cupressus sempervirens* L.) en cerca viva y d) Pona (*Ceroxylon peruvianum*) dispersos en potreros. En el sector de Rodríguez de Mendoza, fueron a) Álamo (*Populus alba*) disperso en potreros b) Guaba (*Inga edulis*) en cerca viva y c) Eucalipto (*Eucalyptus torrelliana*) en cerca viva. En el distrito de Soritor, los SS evaluados fueron a) Guaba (*Inga edulis*) dispersa en potreros, b) Eucalipto (*Eucalyptus torrelliana*) en cerca viva y c) Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) dispersos en potrero y d) como testigo se evaluó en el campo abierto por cada SS. Se realizaron 2 calicatas por cada SS en dos posiciones, bajo la copa de los árboles y a campo abierto. Se evaluó la densidad aparente (DA), humedad del suelo (H), porosidad total (PT), resistencia mecánica (RM) y textura. Asimismo, se evaluaron las propiedades químicas del suelo como MO, N, P, K y CIC. Los diseños estadísticos usados fueron el diseño completamente al azar y el diseño de bloques completos al azar. En el distrito de Molinopampa, los valores de DA del suelo fueron bajos en los SS Aliso, Ciprés, Pino y Pona tanto en época lluviosa y seca. Estos índices físicos del suelo mostraron valores que no afectaron al suelo. Sin embargo, debido al alto contenido de humedad del suelo, generó que no se mostraran mejores resultados de la DA y PT del suelo. En las evaluaciones en época seca, se encontraron valores de H adecuados con lo cual se pudieron encontrar diferencias y valores más representativos para expresar el grado de compactación por efecto de la carga animal. El indicador de RM, a diferentes profundidades, fue más consistente y se detectaron variaciones significativas en la compactación a diferentes profundidades. Los análisis químicos diagnosticaron una fertilidad media para los sistemas de Aliso y Ciprés, y baja en los sistemas de Pino y Pona. En Rodríguez de Mendoza la DA, se reportó ligeramente alta en el SS Eucalipto y más baja para los SS Álamo y Guaba en época seca, lo cual fue confirmado por la RM con valores más altos el SS con Eucalipto. Las propiedades químicas presentaron niveles de fertilidad media en los sistemas de Álamo, Guaba y Eucalipto. En el distrito de Soritor, se evaluaron las propiedades físicas del suelo, y se obtuvo humedades adecuadas (20.39 a 34.15%), y se registraron valores para la DA con rangos entre 1.16 a 1.36 g/cm³ para los sistemas Guaba, Eucalipto y Tornillo, que resultaron los más altos en el SS de Eucalipto. Asimismo, los valores de PT total, fluctuaron entre 49.39 a 56.35 %. De igual manera, los valores obtenidos con la RM, tomados a diferentes profundidades, registraron variaciones en la compactación de los variados SS, en donde el más compactado fue el SS con Eucalipto. Finalmente, se obtuvieron valores bajos de fertilidad química en los tres sistemas evaluados.

Palabras clave: sistema agroforestal, compactación, sobrepastoreo, resistencia mecánica, sistema silvopastoril.

SUMMARY

The option of soil management with silvopastoral (SS) systems as an alternative to soil degradation by overgrazing is being used by farmers in the Peruvian Amazon. The objective of this research was to characterize different SS prototypes through physical and chemical analysis of the soil selected in farmers' fields in the provinces of Chachapoyas and Rodríguez de Mendoza belonging to the department of Amazonas and in the district of Soritor belonging to the province of Moyobamba in the department of San Martín. In the Molinopampa sector the SS evaluated were a) Alder (*Alnus acuminata*) in alleys b) Pine (*Pinus patula*) in alleys c) Cypress (*Cupressus sempervirens* L.) in live fence and d) Pona (*Ceroxylon peruvianum*) dispersed in pastures. In the sector of Rodríguez de Mendoza were a) Poplar (*Populus alba*) dispersed in pastures b) Guaba (*Inga edulis*) in live fence and c) Eucalyptus (*Eucalyptus torrelliana*) in live fence. In the district of Soritor, the SS evaluated were a) Guaba (*Inga edulis*) dispersed in paddocks, b) Eucalyptus (*Eucalyptus torrelliana*) in live fence and c) Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) dispersed in paddocks and d) as witness was evaluated in the open field by each SS. There were 2 pits for each SS in two positions, three understory and in the open field. Bulk density (BD), soil moisture (H), total porosity (TP), mechanical resistance (MR) and texture were evaluated. Soil chemical properties such as MO, N, P, K and CIC were also evaluated. The statistical designs used were completely randomized design and complete block design. In Molinopampa district, soil DA values were low in the SS Aliso, Ciprés, Pino and Pona in both rainy and dry seasons. These soil physical indices showed values that did not affect the soil. However, due to the high moisture content of the soil, it did not show better results of the BD and TP of the soil. In the evaluations in dry season, adequate H values were found, which allowed finding differences and more representative values to express the degree of compaction by effect of stoking rate. The MR indicator at different depths was more consistent and significant variations were detected in the compaction at different depths. Chemical analysis diagnosed medium fertility for the Alder and Cypress systems and low fertility for the Pine and Pona systems. In Rodríguez de Mendoza, BD was reported higher in the SS Eucalyptus and lower for the SS Álamo and Guaba in dry season, which was confirmed by MR with higher values that meant compaction with the SS with Eucalyptus. The chemical properties showed average fertility levels in Poplar, Guava and Eucalyptus systems. In Soritor district, soil physical properties were evaluated, obtaining adequate moisture (20.39 to 34.15%), and recording values for BD with ranges between 1.16 and 1.34 g/cm³ for Guaba, Eucalyptus and Tornillo systems being higher in Eucalyptus SS. Likewise, TP values fluctuated between 49.39 and 56.35%. Similarly, the values obtained with the MR, taken at different depths, registered variations in the compaction of the different SS, the most compacted being the SS with Eucalyptus. Finally, low values of chemical fertility were obtained in the three evaluated systems.

Keywords: agroforestry system, compaction, overgrazing, mechanical resistance, silvopastoral system.

I. INTRODUCCIÓN

En el trópico húmedo del Perú, el 70 % de los bosques que se han deforestado en la Amazonía han sido establecidos con pastizales para las actividades ganaderas (MINAM, 2015). Estas praderas, en su gran mayoría, son utilizadas sin técnicas de manejo adecuadas, con lo que existe una sobrecarga animal y sobre pastoreo, lo cual ocasiona efectos negativos como acelerar los procesos de compactación. Además, dificulta el desarrollo radicular, y la disminución de la capacidad de drenaje y del espacio poroso, así como produce la pérdida de nutrientes. Todo esto modifica la estructura del suelo y provoca su degradación, por consiguiente, una alternativa es el manejo adecuado de los suelos mediante los sistemas silvopastoriles (SS). Esta medida permite disminuir los procesos de degradación de los suelos, mediante el aporte de las excretas producidas por los vacunos y la incorporación de la materia orgánica que proviene de los restos vegetales que se acumulan sobre la superficie del suelo. Estos sistemas permiten el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Montagnini *et al.* 1992 citados por Sadeghian 2004).

Por lo anterior, es necesario diagnosticar las condiciones físicas y químicas del suelo, para saber en qué condiciones se encuentra, y poder establecer adecuados sistemas silvopastoriles (SS) que contribuyan al manejo sustentable de la ganadería, teniendo en cuenta la selección de especies arbóreas y/o arbustivas, así como el tipo de pastura que mejor se adecúe a las condiciones del suelo.

El objetivo general del estudio fue evaluar el estado actual de las propiedades físicas y químicas del suelo mediante la excavación de calicatas y la recolección de muestras en sistemas con prototipos de sistemas silvopastoriles (SS) en diferentes estados de degradación por las actividades ganaderas en Amazonas (Molinopampa y Rodríguez de Mendoza) y San Martín (Soritor). Para ello, se plantearon los siguientes objetivos específicos: (1) Determinar las características físicas del suelo, producidas por la actividad ganadera dentro de los sistemas silvopastoriles. (2) Analizar las propiedades químicas del suelo dentro de los mencionados sistemas. (3) Finalmente, se debe complementar la información de suelos para que se integren al desarrollo de modelos óptimos de sistemas agroforestales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES

En la actualidad, la investigación se ha convertido en uno de los principales soportes del desarrollo tecnológico. Esto es particularmente cierto en el caso de actividades agropecuarias, las cuales dependen de estos trabajos para incrementar su producción y productividad, así como la calidad de su oferta, para que, con ello, pueda obtener mejores condiciones de ingreso y bienestar para las familias campesinas (Villavicencio y Chávez 2000).

2.2 DEGRADACIÓN DE SUELOS AMAZÓNICOS

La degradación del suelo se define como el cambio del estado de la salud del suelo, el cual ocasiona la disminución del ecosistema para proveer bienes y servicios para sus beneficiarios. Además, está en función a la pérdida de las características físicas, químicas y biológicas, con lo que afecta su capacidad de fertilidad y/o calidad del suelo (Gardi *et al.* 2014). Esta se produce por fenómenos naturales (pérdida de suelo por el viento, precipitación etc.) y la intervención del hombre a través del uso inadecuado de los recursos (Malagón 2003 citado por Peña y Cardona 2010).

Los procesos de degradación de los suelos pueden ser físicos, químicos o biológicos. En primer lugar, en la degradación física del suelo, se presenta la erosión y la compactación. En segundo lugar, en la degradación química, se presenta la acidificación y la contaminación. Finalmente, la degradación biológica se evidencia por la pérdida de la materia orgánica, el desequilibrio de la actividad biológica y procesos de mineralización del suelo (FAO 2018).

2.2.1 Compactación

Desde el punto de vista agrícola, la compactación tiende a disminuir las cantidades de agua y nutrientes disponibles para las raíces (Bowen 1981; Pagliai y Jones 2002 citados por Porta *et al.* 2003). El paso de maquinaria pesada puede compactar el suelo, al igual que el pastoreo, esencialmente si tiene lugar cuando el suelo está húmedo. Los valores elevados de la

densidad aparente que caracterizan los horizontes compactos sugieren un gran impedimento para el desarrollo de las raíces (Porta *et al.* 2003).

La compactación causa cambios en el contenido de humedad y en el intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera, e impide el desarrollo de las raíces. El establecimiento de pasturas en el bosque húmedo tropical, junto con el pisoteo de los animales, favorece la compactación en el horizonte superior del suelo y ocasiona cambios físicos y pedogenéticos (Pinzón y Amézquita 1991). La presión estática ejercida por la pezuña de los ovinos y bovinos es de 0.8 a 0.95 y de 1.2 a 1.6 kg/cm², respectivamente. Esta influencia puede duplicarse cuando los animales se movilizan, y es mayor a medida que se incrementa la velocidad de desplazamiento. Esto originará, a mediano o largo plazo, la reducción del volumen de macroporos en el suelo, que afectará negativamente la tasa de infiltración de agua, incrementará la resistencia a la penetración de las raíces y disminuirá la disponibilidad de O₂ para el sistema radicular (Pezo y Ibrahim 1998). Asimismo, los suelos con excesiva humedad son más compactados por el pisoteo, que los suelos secos, y las especies que están ocupando tales sitios son más susceptibles que aquellas que ocupan sitios secos, aunque estas son normalmente especies diferentes (Willard y Marr 1970 citados por Diéguez 1992).

2.3 DEGRADACIÓN DEL AMBIENTE Y DEL SUELO

Es el declive de capacidad para conservar a los seres vivos en la actualidad o en el futuro. Esto involucra, la disminución de diversidad biológica, debido a que las especies extintas podrían ser, en un futuro, el inicio de nuevos productos medicinales o agrícolas. También, incluye la degradación de los suelos, los efectos de la contaminación y la extracción acelerada de los recursos naturales (Martínez 2011).

La degradación del suelo abarca, la disminución de la porosidad, la compactación, la erosión (producida por el viento y agua), pérdida de flora y fauna, anegamiento, desertificación y sequía, alcalinización, salinización, acidificación, pérdida de nutrientes por lixiviación, eliminación de materia orgánica y uso excesivo de agroquímicos (Scherr 1998 citado por Oliva 2016).

La fauna doméstica (ovinos, bovinos) y/o silvestre (llama, alpaca) puede deteriorar, destruir o alterar su hábitat por medio del sobrepastoreo o el ramoneo excesivo (Cooperrider 1986 citado por Diéguez 1992).

2.4 DEGRADACIÓN DE LA FERTILIDAD FÍSICA DEL SUELO

Esto enfatiza la intervención antrópica directa o indirecta, que podría producir la degradación de las propiedades físicas que afectan directamente el desarrollo de las plantas: factores climáticos, disponibilidad de agua, suministro de oxígeno y resistencia mecánica. Estos componentes se ven afectados por otras acciones indirectas sobre el desarrollo de la planta: estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, porosidad y textura. (Porta *et al.* 2003).

2.5 LA POBREZA DE LOS AGRICULTORES COMO CAUSA DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS

Los pequeños agricultores han sido los principales responsables de las actividades de degradación de los suelos, debido a la utilización de tecnologías intensivas, falta de apoyo institucional, y las limitaciones en acceso a crédito (De Graff 1993). La disposición de los agricultores para trabajar en la mejora de la tierra dependerá del costo de oportunidad que ellos otorguen a su tiempo de trabajo. Estos no pueden dedicarse solamente a esa labor y, por esto, le conceden una gran parte de su vida a actividades fuera de la agricultura, como jornaleros locales, vendedores ambulantes, o emigran temporalmente (Martínez 1991).

2.6 DE LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS A LA DEFORESTACIÓN

La agricultura y la ganadería están vinculadas para satisfacer las necesidades de la humanidad. Con base a ello, se han degradado grandes extensiones de bosques para establecer áreas agrícolas y pastizales para alimentación de vacunos (Bustamante 2010).

Con respecto a ello, la instalación de grandes extensiones de pastizales están afectando los bosques mediante la quema o rozo de las especies forestales. Esta actividad produce la desestabilización del ecosistema de los bosques amazónicos peruanos (Bustamante 2010).

Con respecto a la agricultura, las áreas de cultivos se identifican de la misma forma, considerando que la calidad del suelo sea de reducida fertilidad en selva baja y selva alta, donde los cultivos establecidos no satisfacen económicamente a la población local, debido a su bajo rendimiento productivo, para convertirse únicamente en autoconsumo, pues sus cultivos carecen de técnicas de manejo para una mejor producción.

En la Amazonía, se han establecido 70 000 hectáreas para la agricultura, principalmente, en la región Amazonas, que tienen mayor actividad, con 31 % de la superficie de pastos a nivel nacional. Por otro lado, los principales cultivos en la Amazonía son los siguientes: el maíz (*Zea maíz*), yuca (*Manihot esculenta*), arroz (*Oriza sativa*), cítricos (*Citrus*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), plátano (*Musa paradisiaca*), pijuayo (*Bactris gasipaes*) y la palma aceitera (*Elaeis guineensis*) (Bustamante 2010).

2.7 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS

Las características físicas de un suelo determinan la relación entre este, aire, agua, materia orgánica y plantas, por lo que proporcionan información relativa a la aireación y al estado hidrológico del suelo, tal como ingreso de agua y capacidad de almacenamiento en la zona de raíces. Además, muestran cómo lo anterior afecta la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento de la planta. Las propiedades físicas, también, proporcionan información relacionada con la capacidad del suelo para soportar esfuerzos físicos asociados con la salpicadura de gotas de lluvia o entradas rápidas de agua que contribuyen a la desagregación, dispersión y erosión. La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad (Bautista *et al.* 2004).

2.7.1 Estructura

La estructura de suelos se refiere a la organización natural de las partículas del mismo en unidades discretas agregadas o peds que resultan de procesos pedogenéticos. Los agregados están separados entre sí mediante poros o vacíos. Es preferible describir la estructura del suelo cuando se encuentre en condición seca o ligeramente húmeda. Para la descripción de esta estructura, se debe tomar un terrón grande del perfil, de varias partes del horizonte si es necesario, más que solamente una observación de la estructura del suelo in situ.

La estructura del suelo se describe en términos de grado, tamaño, y tipo de agregados. Cuando un horizonte contenga de más de un grado, tamaño o tipo, los diferentes tipos de agregados se deben describir por separado e indicar sus relaciones (FAO 2009).

Esta estructura, en relación a la estabilidad de sus agregados, es una propiedad muy importante, porque la disposición de las partículas minerales del suelo va a determinar el

movimiento del agua, transferencia de calor, aireación, densidad de volumen y porosidad (Alegre *et al.* 1997).

La formación de los agregados se da por dos fenómenos importantes que son la floculación y la cementación. Cuando el suelo está floculado, las fuerzas de repulsión están suprimidas y las fuerzas de atracción cohesivas atraen las partículas; los agentes de cementación actúan y los mantienen en estado de atracción, formando así los agregados. En este caso la materia orgánica actúa como un agente cementante, sin presentar los inconvenientes de otra materia cementantes tales como el aluminio, sílice, óxido de hierro, etc. (Alegre *et al.* 1997).

2.7.2 Resistencia a la penetración

La resistencia del suelo a la penetración es la fuerza que éste opone a un instrumento de prueba y su valor es un índice integrado de la compactación del suelo, del contenido de humedad, de la textura, del tipo de arcilla mineral presente, del contenido de materia orgánica y de la estructura del suelo. Por lo anterior, en su medición, se deben considerar estas características.

Esta propiedad del suelo es muy importante para las plantas y su valor nos proporciona información del impedimento mecánico que tendrán las partes vegetales subterráneas para crecer. Conviene que la resistencia del suelo a la penetración se mantenga por debajo de 1Mpa para un buen crecimiento vegetal, aunque existen especies vegetales que requieren valores más bajos que el mencionado (Narro 1994).

2.7.3 Textura

La textura es una de las características más importantes del suelo, debido a que no cambia y determina la capacidad de absorción y de almacenamiento del agua, la facilidad de cultivarlo, la cantidad de aire (vital para el crecimiento radicular) e influencia para la fertilidad.

La textura del suelo ha sido dividida en varios grupos texturales con el propósito de describir los horizontes del suelo. Para la mayoría de los propósitos, se emplea la escala USDA; así como la del grupo textural, determinado por la proporción de partículas menores de 2mm de diámetro (Buol *et al.* 1990).

2.7.4 Densidad aparente (DA)

La densidad aparente de los suelos se define como la masa de una unidad de volumen de suelo seco (105°C). Este volumen incluye tanto sólidos como los poros, por lo que la

densidad aparente refleja la porosidad total del suelo. Valores de densidad aparentemente bajos indican, generalmente, una condición porosa del suelo. La densidad aparente es un parámetro importante para la descripción de la calidad del suelo y la función del ecosistema. Los valores de densidad aparente altos indican un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida y cambios indeseables en la función hidrológica, como la reducción de la infiltración del agua (FAO 2009).

Por otro lado, la densidad aparente del suelo es uno de los indicadores primordiales de las características del mismo, así como la porosidad, el grado de aireación, compactación y la capacidad de infiltración. Asimismo, los factores que afectan son la textura, estructura y la presencia de materia orgánica. Por tanto, los suelos de textura arenosa, por lo general, son de densidades mayores que los suelos más finos; mientras son menores los suelos de estructuras bien definido.

La densidad aparente es la relación entre la masa del suelo seco (105° por 24 horas) y el volumen total, en donde son parte los espacios porosos del suelo. Evaluado como se encuentra en el perfil del suelo, en este volumen, no solo son parte las partículas de suelo, sino también involucra los espacios de aire y materia orgánica. El valor de DA depende de la estructura, la textura y el grado de compactación. En suelos con clase textural arenosa, oscilan entre 1.6 g/cm^3 a 1.9 g/cm^3 , para texturas francas cercanas a 1.2 g/cm^3 , para texturas arcillosas cercanas a 1.0 g/cm^3 , para suelos ricos en humus varían entre 0.7 a 1.0 g/cm^3 y en suelos agrícolas promedio, cultivados, podrían tener una DA de 1.3 a 1.35 g/cm^3 (Calvache 2009 y Donoso 1994).

Las partículas de arcilla están compuestas por poros extremadamente pequeños y abundantes; mientras que las partículas de arena generan poros más grandes y en menos cantidad.

Las partículas de arcilla normalmente son planas y tienden a unirse en forma desordenada. En tal sentido, son más eficientes en ocupar una unidad de volumen las partículas esféricas (forma aproximada de arenas y limos), que resulta así en un empaquetamiento más denso que el de las partículas planas. Una gran proporción de limo, que no promueve la agregación, provoca un aumento de la densidad aparente al comprimirse los poros generados entre las partículas de arena; en cambio, un incremento en las proporciones de arcillas y materia

orgánica aumenta el volumen de pequeños poros y promueve la agregación, lo que favorece la estructura y provoca una disminución de la densidad aparente (Sposito 2008).

2.7.5 Consistencia

Se refiere al grado de cohesión o adhesión de la masa del suelo. Incluye las propiedades del suelo como la friabilidad, plasticidad, adhesividad, resistencia a la compresión. Depende, en gran medida, de la cantidad y tipo de arcilla, materia orgánica y contenido de humedad del suelo (FAO 2009).

2.8 SISTEMAS SILVOPASTORILES (SS)

Los sistemas silvopastoriles son sistemas de uso de la tierra diversificados y multiestratificados, donde se desarrollan de forma asociada, árboles y pasturas, que son explotados con fines de producción animal y cuya finalidad es incrementar la productividad en forma sostenible y obtener, además, otros beneficios (Montagnini *et al.* 1992 y Mijaíl *et al.* 2005).

Los SS asocian el componente arbóreo a los pastos o pueden permitir la integración con animales y, cuando se incluye también cultivos temporales, en esos casos, son llamados sistemas agrosilvopastoriles. Hipotéticamente, estos SS incrementan la eficacia del uso de los recursos naturales por presentar una complementariedad entre los diferentes componentes (Montagnini *et al.* 1992 citados por Oliva 2016).

En las regiones tropicales húmedas, la integración del ganado con cultivos arbóreos intenta reproducir los beneficios ecológicos proporcionados por el bosque original, que contribuye a reducir los impactos ecológicos recurrentes de la tala de los bosques para la formación de pasturas (Payne 1985 citado por Oliva 2016).

2.8.1 Tipos de Sistemas Silvopastoriles

Hay muchas posibles combinaciones de plantas leñosas perennes con pasturas herbáceas y animales, lo que genera diferentes tipos de sistemas silvopastoriles. El diseño de estos sistemas está orientado a obtener un beneficio económico, social o ecológico de las interacciones entre todos los componentes (Sargarpa 2008). Entre las opciones silvopastoriles que se pueden encontrar en sistemas de producción ganadera, destacan las siguientes:

- **Árboles y arbustos dispersos en potreros**

El sistema de leñosas perennes dispersas en potreros puede ocurrir en forma natural, ya sea porque la vegetación clímax de un sitio dado está constituida por la combinación de árboles y arbustos con pasturas, o como resultado de procesos de sucesión vegetal tendientes a una vegetación clímax de bosque. Cualquiera que sea el caso, bajo condiciones naturales, el arreglo espacial y la densidad de las leñosas estarán determinados por las condiciones agroecológicas del sitio y por las especies de árboles, arbustos y pasturas presentes en dicho ecosistema (Atta Krah 1993 citado por Pezo e Ibrahim 1998).

- **Cercas vivas**

Esta es una de las prácticas más utilizadas en las áreas tropicales. Consiste en el establecimiento de árboles o arbustos para la delimitación de potreros o propiedades. Su establecimiento es hasta un 50% más barato que el de las cercas convencionales. Por otro lado, las cercas reducen la presión que existe sobre el bosque para la obtención de postes y leña. Los bancos forrajeros son áreas en las cuales las especies forrajeras se cultivan en bloque compacto y a alta densidad. Si la especie empleada es un arbusto o árbol, el banco forrajero se constituye en una opción silvopastoril. El objetivo de esta alternativa es maximizar la producción de biomasa nutritiva. Si el forraje de la especie utilizada contiene más del 15% de proteínas cruda, el sistema se denomina “banco de proteína” y, si además presenta altos niveles de energía digerible, recibe el nombre de “banco energético-proteínico” (Sargarpa 2008).

- **Plantas leñosas perennes en callejones**

El cultivo en callejones es un sistema agroforestal en el cual se establecen hileras de plantas leñosas perennes con cultivos anuales sembrados en los espacios entre las hileras. Lo más común es utilizar leguminosas de rápido crecimiento. Esta porción se considera silvopastoril cuando las plantas leñosas son sometidas regularmente a podas con propósitos forrajeros, o bien cuando el cultivo entre las hileras de leñosas es alguna especie forrajera (Sargarpa 2008).

2.8.2 Sistemas silvopastoriles con especies

- SS con Aliso (*Alnus Acuminata*)

El Aliso es fijador de nitrógeno en el suelo a través de los nódulos nitrificantes que presenta en la raíz, y que vuelve disponible para la alimentación de la misma planta, así como de las especies de pastos que se encuentran alrededores.

La cantidad de nitrógeno fijado anualmente en el aliso (*Alnus* sp.) en simbiosis con bacterias del género *Frankia* varía según las especies, el clima y las técnicas aplicadas por los agricultores y/o investigadores, pero puede encontrarse en promedio de 60 a 320 kg de N/ha/año y, en algunos casos, podría llegar a los 780 kg de N en un período de cinco años en condiciones de campo. Esta capacidad varía con las condiciones climáticas (Brozek y Wanic 2002).

- Pino (*Pinus patula*)

La especie *Pinus patula*, en zonas altoandinas de la región Amazonas, se ha reportado mayor acumulación de materia orgánica en los suelos, lo que indicó mayor cantidad de carbono en esos suelos (Oliva *et al.* 2015). Mientras otros autores (Urrego 1997; Scholes y Nowichi 1998 citados por Oliva *et al.* 2015) indican que la presencia de pino incrementa la acidez del suelo y, asociada con esta, se alteran procesos edáficos como los siguientes: hidrólisis ácida, lixiviación de cationes básicos, nitrificación y actividad fúngica.

- Pona (*Ceroxylon peruvianum*)

En el Perú, se han reportado 33 géneros y 155 especies mayormente de porte arbóreo o arbustivo. El género *Ceroxylon* se distribuye a lo largo de los bosques montanos andinos, que van desde los 800 hasta los 3500 m.s.n.m (Galeano *et al.* 2008), Millán (2006). Recientemente, la exploración, en los andes peruanos, resultó en una nueva e interesante información del género y en el descubrimiento de nuevas especies entre las que se encuentra *Ceroxylon* del Perú, el *C. peruvianum* Galeano, Sanin & Mejía (Galeano *et al.* 2008).

- Eucalipto (*Eucalyptus torrelliana*)

El género *Eucalyptus* es una especie adaptable a una gran diversidad de hábitat, desde el nivel del mar hasta los 2 300 m.s.n.m. Se ha encontrado, en diferentes tipos de suelos, desde ácidos hasta alcalinos (Rokich y Bell 1995 citados por Granados y López 2007).

Las especies del género *Eucalyptus* tienen gran capacidad de adaptabilidad (plasticidad) a las diversas condiciones del suelo y del clima (Rokich y Bell 1995 citados por Granados y

López 2007). Son capaces de colonizar ambientes con suelos pobres en nutrientes, estrés hídrico y alta insolación (Granados-Sánchez y López-Ríos 2007), por lo cual, han sido utilizados en conjunto con otras especies con fines de rehabilitación, debido a que protegen el suelo, y pueden aumentar el contenido de materia orgánica y nutrientes (Harmand *et al.* 2004).

Cuanto más húmedo es el clima, más altos son los árboles de Eucalyptus y mayor es la superficie foliar por hectárea. Además, la posición vertical de las hojas permite el paso de la luz hacia los suelos, por lo cual la estructura arbustiva suele estar bien desarrollado (Granados y López 2007).

- Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*)

El género *Cedrelinga* se desarrolla primordialmente en terrenos de ladera que planicies. Requieren suelos con buen drenaje, residuales y arcillosos, caracterizados por su contenido de materia orgánica y su alta acidez, se adapta mejor en suelos con bajo niveles de fertilidad, fijados principalmente por el aluminio (Burgos 1954 citado por Rojas 2015).

IIAP 1992 citado por Rojas 2015, indica que encontraron especie de *Cedrelinga* en terrazas altas con un mayor desarrollo en las laderas. En la llanura aluvial o fluvial, su crecimiento es más lento por los suelos más pesados.

- Guaba (*Inga edulis*)

En el Perú, la especie *Inga edulis* está ampliamente distribuido en toda la Amazonía, generalmente, a menos de 2500 m.s.n.m. Se desarrolla en bosques tropicales no inundados y con buen drenaje. Asimismo, puede resistir inundaciones periódicas (Catie 1992 citado por Rodríguez 2011).

- Álamo (*Populus alba*)

La especie *Populus alba* es de rápido crecimiento y de fácil propagación vegetativa, que se encuentran en diferentes tipos de suelos, siendo relativamente tolerante a la salinidad y contaminación en general. Se adaptan mejor a zonas templadas y subtropicales (Delgado 2014).

Además, este requiere suelos sueltos, bien aireados, profundos, con bajo contenido de arcilla, principalmente de clase textural franca a franco arenoso, y no susceptibles de sufrir

encharcamientos frecuentes, que provoquen asfixia radicular, pero con capacidad de retención de agua. El pH debe situarse próximo a la neutralidad (6-8 pH), con contenido de materia orgánica mayor a 2% (Sixto *et al.* 2010).

2.9 EFECTO DE LA GANADERÍA SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

La ganadería puede representar gran importancia en el mantenimiento de la fertilidad del suelo, en particular los sistemas de producción bovina, debido a sus excretas, pueden renovar una fracción sustancial de los nutrientes del suelo y, por lo tanto, reducir la necesidad de aplicar fertilizantes inorgánicos (Sadeghian *et al.* 2004). A pesar de la dificultad para estimar los beneficios económicos, se considera valioso el incremento en la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y el mejoramiento de la retención de agua (Young 1988 citado por Sadeghian 2004). Sin embargo, varios autores han demostrado que el pisoteo del ganado ocasiona cambios en las propiedades físicas del suelo, pero esto depende del suelo, de la especie cultivada y de las condiciones de manejo. Pinzón y Amézquita (1991) encontraron una disminución en la porosidad y cambios en la relación suelo-agua-aire, debido a una mayor compactación en los primeros 15 cm del suelo por el excesivo pisoteo. Este efecto fue más drástico en praderas de *Homolepis aturensis* que en praderas de *Brachiaria decumbens*. Al respecto, (Sánchez *et al.* 1989 citado por Sadeghian *et al.* 2004) encontraron que la densidad aparente puede ser un buen indicador del estado de compactación del suelo, los valores para este parámetro fueron más bajos a medida que disminuyó el número de animales por hectárea (Martínez 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO

3.1.1 Ubicación y superficie

La presente investigación se llevó a cabo en los predios ganaderos de 3 zonas bajo sistemas silvopastoriles, los cuales se encuentran distribuidos en las regiones de San Martín (distrito Soritor) y Amazonas (provincias de Chachapoyas y Rodríguez de Mendoza), en donde se obtuvo mayor diversidad de escenarios. En ellos, se evaluó los diferentes sistemas de producción ganaderos (sistemas silvopastoriles).

En el departamento de Amazonas, se encuentran los centros poblados de Molinopampa, Santa Cruz del Tingo, Puma Hermana y San José, ubicados en el distrito de Molinopampa, perteneciente a la provincia de Chachapoyas, con una altitud de 2 400 m. aproximadamente. Según el Censo Nacional (INEI 2007), el distrito de Molinopampa tiene una población de 2 501 habitantes, y una superficie de 333.86 km². Por otro lado, en el Valle de Huayabamba, se encuentran los siguientes distritos: Mariscal Benavides, Longar y Huambo, perteneciente a la provincia de Rodríguez de Mendoza con una altitud máxima de 1 774 m. Según el Censo Nacional (INEI 2007), Mariscal Benavides tiene una población de 1 496 habitantes, Huambo tiene 3 168 habitantes y en Longar tiene 1747 habitantes.

En el departamento de San Martín, se encuentra el distrito de Soritor, perteneciente a la provincia de Moyobamba con una altitud de 860 m., ubicado al noreste de la faja sub andina de la Cordillera de los Andes, en la zona denominada Alto Mayo. La extensión del territorio es de 3 772.31 km², y tiene 23 000 habitantes aproximadamente, 80% de los cuales son pobladores migrantes de otras regiones.

3.1.2 Clima

Las provincias de Chachapoyas y Rodríguez de Mendoza pertenecientes al departamento de Amazonas, presentan un clima lluvioso, semi cálido y húmedo, y la temperatura promedio se encuentra entre 17°C y 19°C sobre las planicies.

La provincia de Rodríguez de Mendoza está comprendida dentro de un clima subtropical húmedo, caracterizado por presentar temperaturas con promedio anual que varía entre 18 a 22°C y el promedio anual de precipitación es de 1 500 a 2 000 mm.

La provincia de Moyobamba, perteneciente al departamento de San Martín, tiene un clima templado subtropical húmedo durante todo el año, donde se encuentra el distrito de Soritor, con una temperatura que oscila entre 21°C y 25°C y una humedad relativa entre 78% y 90%.

3.1.3 Zonas de vida

Ecológicamente de acuerdo a la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales según Holdridge (1982), el distrito de Molinopampa y la región San Martín se encuentran dentro de la formación vegetal bosque húmedo- Tropical (bh-T) y bosque muy húmedo- Tropical (bmh-T); y en la provincia de Rodríguez de Mendoza, se encuentra la formación bosque húmedo- Tropical (bh-T), bosque muy húmedo- Tropical (bmh-T) y bosque seco-Tropical (bs-T), de acuerdo a las regiones naturales del Perú corresponde a Selva Alta y Yunga (INRENA 1995).

3.1.4 Geología Regional

a. Rodríguez de Mendoza y Molinopampa

En los distritos de Mariscal Benavides, Longar y Huambo, pertenecientes a la provincia de Rodríguez de Mendoza, se presenta una geología representada por rocas cuaternarias. En estas, se encuentran materiales sedimentarios no consolidados como son depósitos fluviales-aluviales. Están ubicados en el fondo de laderas bajas de los valles, el cual está constituido por calizas, arenas, arcillas, limos y gravas, saturados con agua (Castro 2010).

En el distrito de Molinopampa, la geología predominante está constituida por rocas sedimentarias de piedras calizas, la cual abarca desde conglomerados, polimícticos moderadamente consolidadas, a gravas y gravillas de formación variada. Además, se aprecia intercalaciones de arenas y limoarcillas. Estas, a su vez, pueden estar acumuladas en formas lenticulares y depósitos aluviales subrecientes; constituyen, también, sedimentitas fluvial aluviales, que han sido depositadas desde el Pleistoceno superior hasta inicios del Holoceno (Rodríguez *et al.* 2012).

b. Provincia de Moyobamba

El Distrito Soritor, perteneciente a la provincia de Moyobamba, está constituido por depósitos aluviales subrecientes, el cual está constituido por sedimentitas fluvioaluviales semiconsolidadas a inconsolidadas, que han sido depositadas desde el Pleistoceno superior hasta inicios del Holoceno. Estas acumulaciones se desarrollaron en un ambiente de dinámica fluvial activa, relacionada siempre a las fluctuaciones de los lechos de los ríos y a los procesos de inundación, que, en terrenos depresionados, dejaban indicios de sedimentos. Además, afloran secuencias de conglomerados monomícticos de naturaleza cuarzosa subredondeados a redondeados. Adicionalmente, se evidencia arenisca de grano grueso con estratificación sesgada gris amarillento que se intercalan con conglomerados (Castro 2007).

3.2 EQUIPOS Y MATERIALES

3.2.1 Materiales utilizados

Todos los materiales y equipos utilizados en el proceso de investigación fueron financiados por el Proyecto PNIA Innovación en la evaluación de Sistemas Silvopastoriles de Selva Alta Peruana como estrategia de adaptación y mitigación al cambio climático (Contrato 010-2015-INIA-PNIA/UOMSI/IE). A continuación, se muestran los materiales y equipos utilizados durante la investigación.

- **Equipos**

- Balanza digital, estufa, Sistema de Posicionamiento Global (GPS), cámara digital y penetrómetro de bolsillo

- **Materiales**

- Bolsas ziploc, franela, cinta adhesiva y costal
- Cilindros, comba, pala, pico, cuchillo y tijera
- Stickers, cuaderno de apuntes, lápiz, plumón indeleble, tableros de madera y papel bond.
- Wincha métrica
- Botas y ponchos de agua.

3.2.2 Descripción de la distribución de los sistemas silvopastoriles (SS)

El proyecto PNIA, de acuerdo a lo publicado por Pizarro *et al.* (2019), seleccionó diez (10) sistemas silvopastoriles, en los cuales se consideraron las especies de árboles más frecuentes, la antigüedad de los SS, el tamaño y el arreglo de los SS. Asimismo, se seleccionaron los SS

para el levantamiento de información y, a su vez, diagnosticar las condiciones en que se encuentran los suelos de dicha zona de estudio.

Para el distrito de Molinopampa, se identificó cuatro sistemas silvopastoriles con tres (03) repeticiones y un campo abierto para cada sistema, las especies identificadas oscilan entre 10 a 15 años, la cual se detalla en el Cuadro 1. Asimismo, las coordenadas de los puntos de muestreo del distrito de Molinopampa se muestran en el Anexo 4 y en el Anexo 7 la ubicación de los puntos.

Cuadro 1. Sistemas silvopastoriles del distrito de Molinopampa

Nº	Arreglo del SS	Ubicación	Especie predominante
1	Pino (<i>Pinus patula</i>) en callejones	Molinopampa Santa Cruz del Tingo Puma hermana	Ovillo (<i>Dactylis glomerata</i>)
2	Ciprés (<i>Cupressus sempervirens L.</i>) en cerco vivo	Santa Cruz del Tingo Puma hermana	Rye grass (<i>Lolium multiflorum</i>) Ovillo (<i>Dactylis glomerata</i>)
3	Pona (<i>Ceroxylon peruvianum</i>) dispersos en potreros	Puma hermana	Ovillo (<i>Dactylis glomerata</i>)
4	Aliso (<i>Alnus acuminata</i>) en callejones	San José de Dallavoz	Rye grass (<i>Lolium multiflorum</i>)

Fuente: Seleccionado por el Proyecto PNIA



SS Aliso en callejones



SS Ciprés en cerca viva



SS Pino en callejones



SS Pona disperso en potreros

Figura 1. Sistemas Silvopastoriles de Molinopampa

En Rodríguez de Mendoza, se han identificado tres (03) sistemas silvopastoriles (SS), las especies implementadas por los agricultores tienen 28 años aproximadamente, los cuales se muestran en el Cuadro 2. Las coordenadas de los puntos de muestreo del Valle de Huayabamba se muestran en Anexo 5 y, en el Anexo 8, la ubicación de los puntos.

Cuadro 2. Sistemas silvopastoriles del Valle de Huayabamba – Rodríguez de Mendoza

Nº	Arreglo del SS	Ubicación	Distrito	Especie predominante
1	Álamo (<i>Populus alba</i>) disperso en potreros	Michina	Mariscal Benavides	<i>Brachiaria mutica</i>
		Cruzyaco		
		Aranjuez	Longar	
2	Guaba (<i>Inga edulis</i>) en cerca viva	Aranjuez	Longar	<i>Brachiaria mutica</i>
		Maraypampa		
3	Eucalipto (<i>Eucalyptus Torrelliana</i>) en cerca viva	Huambo	Huambo	<i>Brachiaria mutica</i>

Fuente: Seleccionado por el Proyecto PNIA



SS Guaba en cerca viva



SS Eucalipto en cerca viva



SS Álamo disperso en potreros

Figura 2. Sistemas Silvopastoriles del Valle Huayabamba

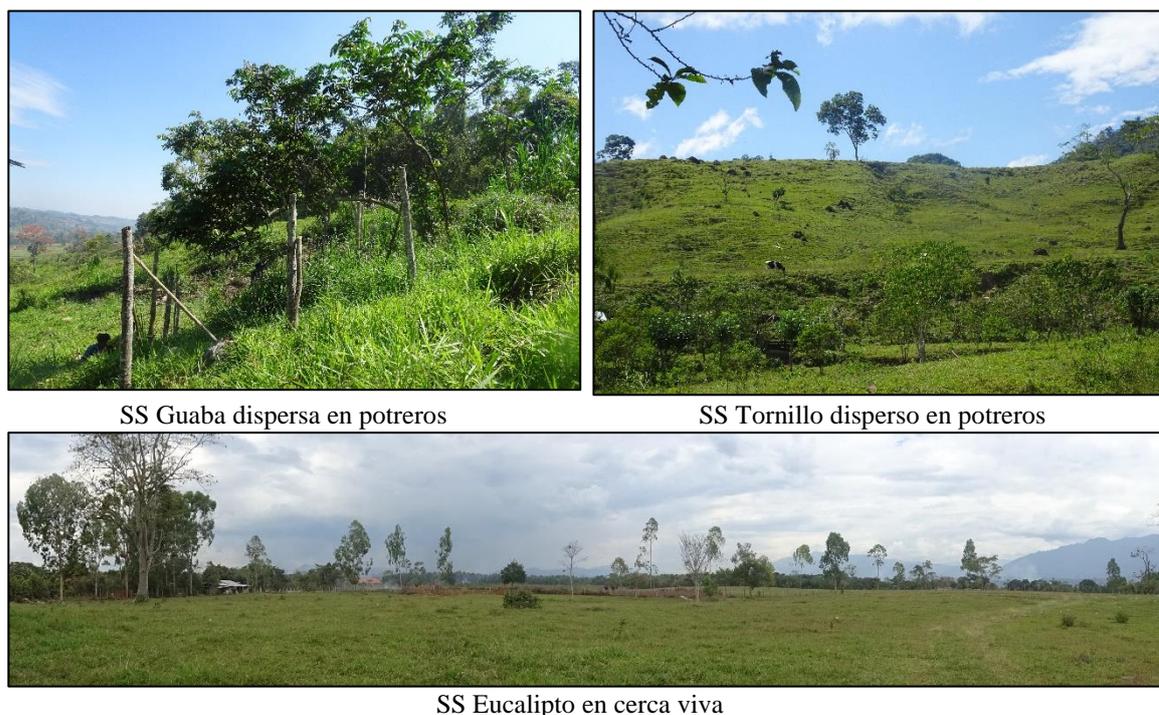
Para el distrito de Soritor, se han considerado tres sistemas silvopastoriles de los cuales las especies evaluadas tienen aproximadamente 14 años, como se muestra en el Cuadro 3. Las

coordenadas de los puntos de muestreo del distrito de Soritor se muestran en Anexo 6 y, en el Anexo 9, la ubicación de los puntos.

Cuadro 3. Sistemas silvopastoriles de Soritor

N° Arreglo del SS	Ubicación	Especie predominante	Tipo de ganado
1	Guaba (<i>Inga edulis</i>) dispersa en potreros Soritor Nueva esperanza Soritor Nueva Esperanza Soritor Pomalca	<i>Brachiaria decumbens</i>	Lechero
2	Eucalipto (<i>Eucalyptus Torrelliana</i>) en cercas vivas Soritor San José Soritor Los Claveles Soritor Sector atunrumy	<i>Brachiaria decumbens</i>	Engorde
3	Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) dispersos en potrero Soritor San marcos Soritor Nueva esperanza	<i>Brachiaria decumbens</i>	Leche Engorde

Fuente: Seleccionado por el Proyecto PNIA



SS Guaba dispersa en potreros

SS Tornillo disperso en potreros

SS Eucalipto en cerca viva

Figura 3. Sistemas Silvopastoriles de Soritor

3.3 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

En las diferentes zonas de estudio, se analizaron las condiciones en las que se encuentran las propiedades físicas y químicas del suelo dentro de los diversos sistemas silvopastoriles (SS), ya establecidos en los potreros de agricultores. Las propiedades físicas del suelo evaluadas como el color, estructura, densidad aparente (g/cm^3), contenido de humedad (%), porosidad (%) y resistencia mecánica (kg/cm^2) se usaron para determinar el nivel de compactación en

los suelos. Las propiedades químicas fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

El estudio se realizó en tres fases: la primera de gabinete, que consistió en la recopilación de antecedentes de la zona en estudio; la segunda de campo, que consistió en la toma de muestras en los diferentes sistemas silvopastoriles; y, por último, la fase de análisis e interpretación de datos.

3.3.1 Determinación de las propiedades físicas de los suelos en campo

Para determinar las propiedades físicas de los suelos, se realizó el reconocimiento de la zona en estudio; se identificaron las diferentes unidades fisiográficas; se documentaron con fotos las características de los perfiles de suelo en la provincia de Chachapoyas y Huayabamba en febrero de 2017 (época lluviosa) y julio de 2018 (época seca); se colectaron las muestras de suelos de las calicatas a la profundidad de 0-30 cm y se procedió a evaluar las propiedades físicas (contenido de humedad del suelo, densidad aparente, resistencia mecánica y porosidad), y propiedades químicas a las profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm de profundidad.

En el distrito de Soritor, se realizó el muestreo de suelos en agosto de 2017 (época seca).

Las diferentes metodologías utilizadas para la determinación de propiedades físicas del suelo, que son utilizadas como indicadores de los procesos de compactación se detallan a continuación:

Los indicadores para evaluar los procesos de compactación fueron las siguientes:

A. Densidad aparente (DA): para evaluar la DA se usaron cilindros metálicos de 100 cm³ de volumen (FAO 2009), tomando dos muestras por cada horizonte del perfil del suelo, en un volumen conocido sin alterar el perfil de muestra. En seguida, se procedió al pesado en húmedo y después el secado de la muestra en la estufa por 48 horas a 105 °C y luego se volvió a pesar obteniendo el peso seco del suelo. La densidad aparente fue determinada dividiendo la masa de suelo seco sobre el volumen del cilindro, como se observa en la siguiente fórmula.

$$Da = \frac{Ms}{Vt}$$

Donde:

Da= densidad aparente (g/cm³)

Ms= masa de suelo seco (gr)

Vt = volumen total del cilindro (cm³)

B. Resistencia mecánica (RM): la RM fue evaluada con un equipo manual tipo penetrómetro de bolsillo, con intervalos de 5 cm hasta los 30 cm de profundidad del perfil del suelo. Esta variable se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm²).

C. Humedad del suelo: se utilizó el método gravimétrico (Porta *et al.* 2003) en las mismas muestras que se evaluó la densidad aparente tomándose dos muestras a diferentes profundidades, en cada uno de los sistemas silvopastoriles (bajo sombra y campo abierto), las muestras fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, donde se realizó el secado del suelo en una estufa, y se obtuvo el peso fresco y peso seco de la muestra, para luego calcular el porcentaje de humedad de la siguiente manera:

$$\% H^{\circ} = \left(\frac{(Psh - Pss)}{Pss} \right) \times 100$$

Donde:

%H= Porcentaje de humedad gravimétrica

Psh= Peso de suelo húmedo (g)

Pss= Peso de suelo seco (g)

D. Porosidad total. - Se determinó mediante los datos de densidad aparente, y densidad real (FAO 2009).

$$\% Pt = \left[1 - \left(\frac{Dap}{Dr} \right) \right] \times 100$$

Donde:

% Pt= Porcentaje de porosidad total

Dap= Densidad aparente

Dr= Densidad real (2.65 g/cm³)

3.3.2 Fase de laboratorio

3.3.2.1 Determinación del análisis químico de caracterización del suelo

La posible alteración de los suelos por uso ganadero puede estar condicionada por los factores mencionados anteriormente, de ahí la importancia de sus análisis, que recolectaron dos muestras a dos profundidades en cada calicata. Con base en ello, se analizó las variables de caracterización mostrados en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Variables que influyen en las propiedades químicas evaluadas

Propiedades químicas	Método de determinación
Físicas	
Textura del suelo	% arena, limo y arcilla-Hidrómetro
Densidad aparente (g/cm ³)	Extracción de suelo no disturba con cilindros de volumen conocido. Secado en estufa a 105°C por 24 horas
Contenido de humedad	Gravimétrico
Porosidad total	(1-Da/2.65)*100
Resistencia mecánica	Penetrómetro
Químicas	
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
pH	Medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: relación 1:1
Fósforo disponible	Método de Olsen modificado. Extracto NaHCO ₃ 0.5 M, pH 8.5
Potasio disponible	Extracción con acetato de amonio (CH ₃ -COONH ₄) N, pH 7.9
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Saturación con acetato de amonio (CH ₃ -COOCH ₄) N; pH 7.0
Ca ⁺² Mg ⁺² Na ⁺ , K ⁺ Cambiables	Reemplazamiento con acetato de amonio (CH ₃ -COOCH ₄) N; pH 7.0 cuantificación por fotometría de llama y/o absorción atómica
Al ⁺³ +H ⁺	Método de Yuan. Extracción con KCl, N

Fuente: Bazán (2017)

3.3.2.2 Identificación de información complementaria

Para un mejor diagnóstico de las zonas en estudio, se consideró información complementaria, que será de gran importancia para el desarrollo de dicho proyecto con la identificación de la fisiografía del paisaje, color de los suelos en perfiles seleccionados.

3.3.3 Fase de interpretación

3.3.3.1 Análisis estadístico

A. Factores del diseño experimental

- Época
 - Lluviosa y seca
- Profundidad
 - 0-15 cm
 - 15-30 cm
- Los niveles en los sistemas silvopastoriles
 - Zona Molinopampa: Ciprés (*Cupressus sempervirens* L.), Pona (*Ceroxylon peruvianum*), Pino, Aliso (*Alnus acuminata*).
 - Zona Rodríguez de Mendoza: Álamo (*Populus alba*), Eucalipto (*Eucalyptus Torrelliana*), Guaba (*Inga edulis*).
 - Zona Soritor: Eucalipto (*Eucalyptus Torrelliana*), Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), Guaba (*Inga edulis*).

B. Unidad experimental

- Los Potreros de los agricultores

C. Unidad observacional

- Las calicatas

D. Replicas por tratamiento: Tres potreros por cada sistema silvopastoril

E. Variables evaluadas

- Densidad aparente
- Resistencia mecánica
- Contenido de humedad del suelo
- Porosidad total
- Reacción del suelo (pH)
- Materia orgánica
- Fósforo disponible

- Potasio disponible
- Capacidad de Intercambio Catiónico

F. Diseño estadístico

Diseño 1

El diseño estadístico utilizado fue un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial, el cual fue evaluado en el distrito de Molinopampa y la provincia de Rodríguez de Mendoza para las propiedades químicas, mientras el distrito de Soritor se ha utilizado para las propiedades físicas y químicas. Dentro de ello, se realizó tres repeticiones en cada sistema silvopastoril. Asimismo, el primer factor fue la localización de los muestreos bajo sombra y entre árboles, y el segundo factor fue el sistema silvopastoril, y, por último, el otro factor fue la profundidad de la que se tomó la muestra. El modelo aditivo lineal utilizado por cada zona fue el siguiente:

$$Y_{ijkm} = \mu + S_i + P_j + A_k + (S^*P)_{ij} + (S^*A)_{ik} + (P^*S^*A)_{ijk} + e_{ijkm}$$

Donde

- Y_{ijkm} = Medida observacional en el suelo
- μ = Media de cada una de las propiedades físicas y químicas del suelo
- S_i = Efecto sombra
- P_j = Efecto profundidad
- A_k = Efecto arreglo de sistemas silvopastoriles
- $(S^*P)_{ij}$ = Sombra por profundidad
- $(S^*A)_{ik}$ = Sombra por arreglo
- $(P^*S^*A)_{ijk}$ = Profundidad por sombra por arreglo
- e_{ijkm} = Error

Diseño 2

El diseño estadístico utilizado fue un Diseño de Bloques Completamente al Azar con arreglo factorial, el cual fue evaluado en Molinopampa y la provincia de Rodríguez de Mendoza, para las propiedades físicas del suelo. Para ello, se realizó tres repeticiones en cada sistema silvopastoril. Asimismo, el primer factor fue la localización de los muestreos bajo sombra y entre árboles, y el segundo factor fue el sistema silvopastoril, finalmente, el otro factor fue la profundidad a la que se tomó la muestra, mientras se bloqueó por época (Lluviosa y seca). El modelo aditivo lineal utilizado por cada zona fue el siguiente:

$$Y_{ijkm} = \mu + S_i + P_j + A_k + E_l + (S^*P)_{ij} + (S^*A)_{ik} + (P^*S^*A)_{ijk} + e_{ijkm}$$

Donde

- Y_{ijkm} = Medida observacional en el suelo

μ = Media de cada una de las propiedades físicas y químicas del suelo
 S_i = Efecto sombra
 P_j = Efecto profundidad
 A_k = Efecto arreglo de sistemas silvopastoriles
 E_l = Época
 $(S*P)_{ij}$ = Sombra por profundidad
 $(S*A)_{ik}$ = Sombra por arreglo
 $(P*S*A)_{ijk}$ = Profundidad por sombra por arreglo
 e_{ijklm} = Error

Para la evaluación se utilizó el análisis de variancia (ANVA) para cada uno de los parámetros evaluados. También, la comparación de medias entre tratamientos se realizó mediante la Prueba de Tukey ($P < 0.05$). Asimismo, el programa utilizado fue el Software RStudio versión 1.2 para los análisis estadísticos de las variables en estudio. Los resultados de los análisis estadísticos de los diferentes parámetros evaluados se observan en los anexos 1 al 3.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO EN LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES (SS)

4.1.1 Distrito de Molinopampa

En el análisis de variancia, no se encontraron diferencias significativas entre los factores evaluados, por lo que se le hizo la comparación por efectos principales en SS, sombra y profundidad. Sin embargo, durante las épocas lluviosas y secas, sí influyó entre las propiedades físicas del suelo (Cuadro 6).

En el Cuadro 5, se muestra las variables físicas del suelo en época lluviosa y seca, donde se indica que hubo diferencias significativas con respecto al SS *Alnus acuminata* versus el SS *Ceroxylon peruvianum* en la densidad aparente (g/cm^3), contenido de humedad (%) y porosidad total (%) del suelo.

Cuadro 5. Variables físicas evaluadas entre Sistemas Silvopastoriles en Molinopampa en dos épocas.

Sistemas	Densidad aparente (g/cm^3)		% Humedad		% Porosidad	
	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca
Aliso (<i>Alnus acuminata</i>) en callejones	1.02 ^a	1.20 ^a	48.90 ^b	36.40 ^c	60.60 ^b	57.27 ^b
Ciprés (<i>Cupressus sempervirens</i> L.) en cerca viva	0.98 ^{ab}	1.00 ^b	52.70 ^b	45.15 ^b	64.34 ^b	61.01 ^a
Pino (<i>Pinus patula</i>) en callejones	0.99 ^{ab}	1.01 ^b	55.67 ^{ab}	48.12 ^b	64.23 ^b	60.90 ^a
Pona (<i>Ceroxylon peruvianum</i>)PDP	0.83 ^b	0.94 ^b	70.45 ^a	62.91 ^a	68.16 ^a	64.83 ^a

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

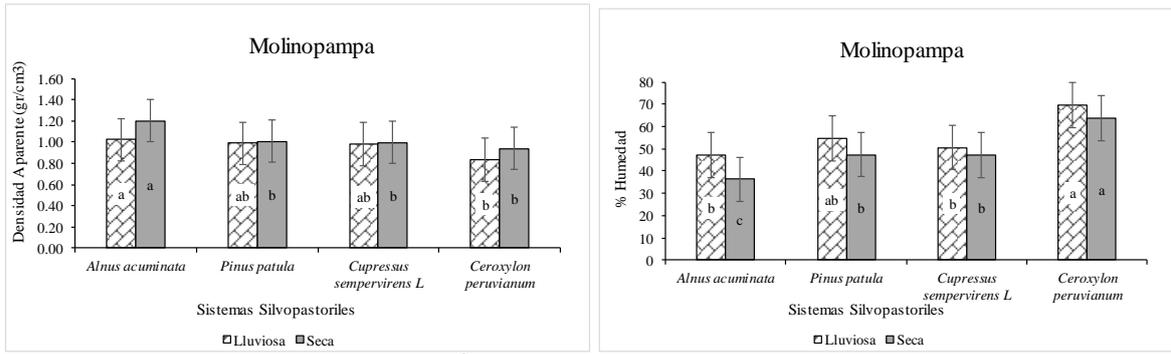


Figura 4. Densidad aparente (g/cm^3) y porcentaje de humedad en el suelo en época lluviosa y seca en Molinopampa.

En el Cuadro 6, se puede apreciar la diferencia de la densidad aparente, contenido de humedad y porosidad total evaluadas bajo sombra y en campo abierto.

Cuadro 6. Fisiografía y propiedades físicas del suelo evaluadas en época lluviosa y seca para los diferentes arreglos silvopastoriles en Molinopampa.

Especies de árboles	Elementos del paisaje	Material parental	Arreglos	Prof. (cm)	Densidad aparente (g/cm ³)		Contenido de humedad (%)		Porosidad (%)		Estructura	Textura	Color
					Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca			
Aliso (<i>Alnus acuminata</i>)	Terraza media	Aluvial subreciente	Callejón	0-15	0.95	1.04	51.24	43.70	64.23	60.91	Granular fino débil	Fr.	Oscuro a rojizo oscuro
				15-30	1.17	1.26	41.22	33.67	55.70	52.37	Masivo y bloque subangular fina débil	Fr. Ar.	Gris oscuro
			Campo abierto	0-15	0.89	0.98	59.57	52.03	66.43	63.10	Granular medio débil	Fr.	Pardo grisáceo muy oscuro
				15-30	1.17	1.25	43.55	36.00	56.03	52.70	Masivo y granular fino débil	Fr. Ar.	Gris oscuro
			Cerca viva	0-15	0.81	0.90	53.37	45.83	69.27	65.95	Granular fina débil	Fr. A.	Negro a pardo oscuro
				15-30	1.13	1.22	38.04	30.49	57.31	53.99	Bloque subangular fino débil, masivo	Fr.	Gris a gris oscuro
Ciprés (<i>Cupressus sempervirens</i> L.)	Ladera de colina baja	Coluvio aluvial	Campo abierto	0-15	0.82	0.91	69.91	62.37	68.88	65.55	Granular fino débil	Fr.	Pardo oscuro a gris muy oscuro
				15-30	1.01	1.10	49.46	41.92	61.88	58.56	Bloque subangular fino débil y masivo	Fr. Ar.	Gris, amarillo pardusco a pardo amarillento
			Callejón	0-15	0.77	0.86	63.34	55.80	70.91	67.58	granular fino débil	Fr.	Negro a pardo oscuro
				15-30	1.22	1.31	38.11	30.57	53.99	50.66	Bloque subangular media moderado, masiva	Fr.	Gris pardo claro y gris verdoso
Pino (<i>Pinus patula</i>)	Ladera de colina baja	Coluvio aluvial	Campo abierto	0-15	0.80	0.89	65.81	58.27	69.79	66.47	Granular fina débil	Fr. A.	Gris muy oscuro y pardo grisáceo oscuro
				15-30	1.00	1.09	55.40	47.86	62.21	58.89	Masivo	Fr.	Pardo y gris oscuro
			Disperso en potreros	0-15	0.77	0.86	77.88	70.33	70.87	67.54	Granular fino débil	Fr.	Gris muy oscuro y oscuro
				15-30	0.99	1.08	58.88	51.34	62.48	59.15	Masivo	Fr.	Gris y pardo muy pálido
Pona (<i>Ceroxylon peruvianum</i>)	Ladera de colina baja	Coluvio aluvial	Campo abierto	0-15	0.70	0.79	78.14	70.59	73.63	70.31	Granular fino débil	Fr.	Pardo oscuro, gris muy oscuro
				15-30	0.91	1.00	66.90	59.36	65.65	62.33	Masivo	Fr.	Gris oscuro

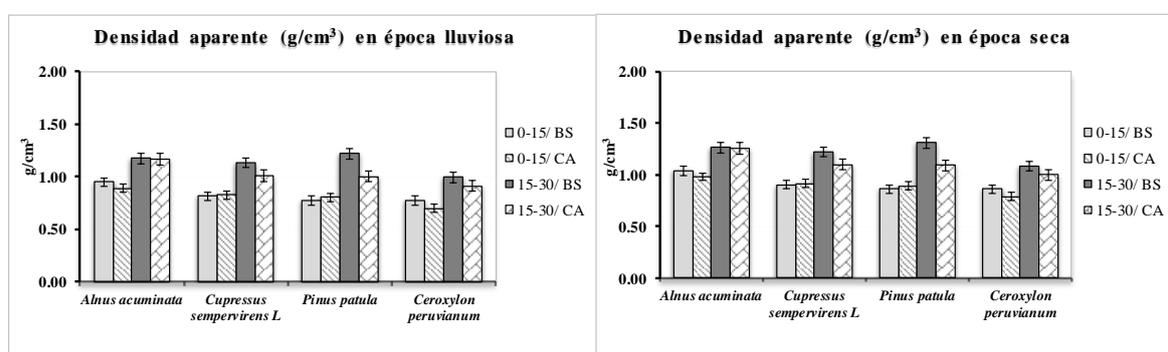
P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Densidad aparente (DA)

En el cuadro 6 y figura 5, se aprecia la densidad aparente del suelo, la cual fue ligeramente mayor en los SS Aliso (*Alnus acuminata*) y Ciprés (*Cupressus sempervirens* L.) con valores que oscilan entre 0.90 a 1.04 g/cm³ y menor en el SS Pino (*Pinus patula*) y Pona (*Ceroxylon peruvianum*) con un valor de 0.77 g/cm³ en el primer horizonte, con una clase textural franco, granular fino débil. Asimismo, cada vez que se profundiza aumenta la densidad aparente del suelo. Los valores bajos de densidad aparente del suelo que han sido influenciados por los altos niveles de humedad y los restos vegetales como hojarascas de los árboles y raíces de los pastos se acumulan sobre la superficie del suelo y se van descomponiendo. Además, podría ser por el sistema radicular que presenta cada especie. El SS Pona (*Ceroxylon peruvianum*) es una especie con un sistema radicular de raíces finas abundantes sobre el horizonte A, el cual mejora la estructura del suelo y aireación con aumento de la porosidad total. Asimismo, según Donoso 1994 citado por Gutiérrez 2010, indica que los valores bajos de densidad aparente corresponden a suelos porosos, con buen drenaje, bien aireados y con buena penetración de las raíces, lo que permite su buen desarrollo.

Los valores bajos de densidad aparente del suelo se deben a la época de muestreo, dado que fueron evaluados durante la temporada lluviosa (febrero, 2017); por tanto, podrían influir en el análisis de las propiedades físicas como la densidad aparente, resistencia mecánica, contenido de humedad y la porosidad del suelo. Estas evaluaciones de densidad aparente, tomadas con altas humedades, no pueden ser representativas para indicar los grados de compactación. Por eso, los valores tomados durante la época seca con niveles de humedad fueron más representativos para diagnosticar la compactación del suelo.

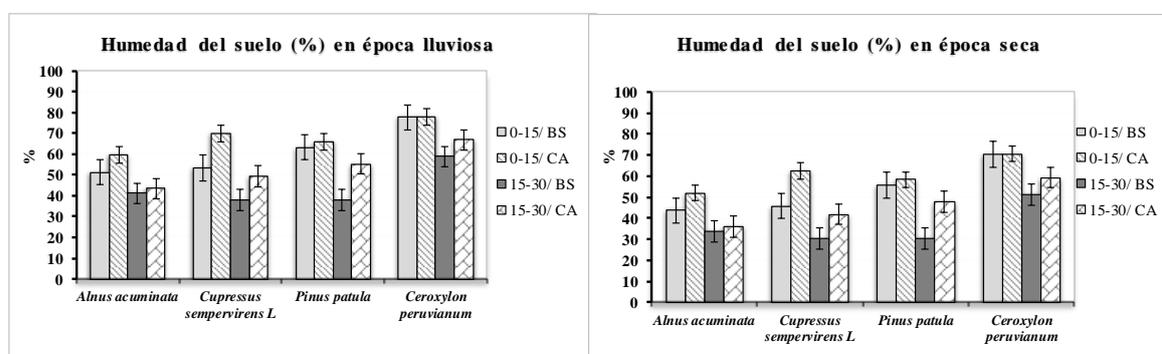


BS: Bajo sombra/CA: Campo abierto

Figura 5. Densidad aparente (g/cm³) evaluado en época lluviosa y seca en Molinopampa

Humedad del suelo (H)

En el distrito de Molinopampa, se ha determinado el contenido de humedad en los suelos (Cuadro 6 y Figura 6) durante la época lluviosa en los caseríos Santa Cruz del Tingo, Puma hermana y San José de Dallavoz, donde los valores de humedad del suelo bajo la copa de los árboles, y campo abierto fueron muy altos y casi saturados, oscilando entre 51.24 % a 77.88 % en el primer horizonte y que no son valores que se podrían usarse como indicador de compactación. Mientras en época seca (julio, 2018), los valores fueron relativamente menores (43.70%) en el primer horizonte del SS *Alnus acuminata*, mientras en el SS *Ceroxylon peruvianum* se determinó mayor acumulación de agua en el suelo, evaluado en las dos épocas de muestreo.



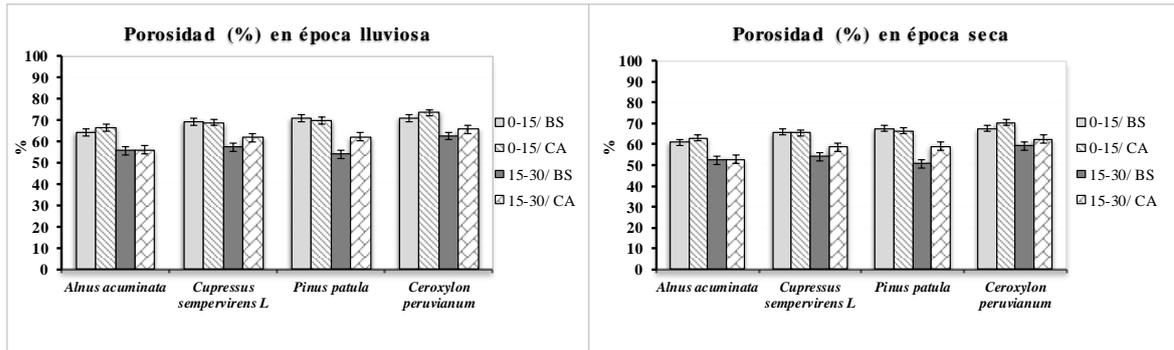
BS: Bajo sombra/CA: Campo abierto

Figura 6. Humedad del suelo (%) en época lluviosa y seca en Molinopampa

Porosidad Total (PT)

En la figura 7, se muestra el porcentaje de porosidad en el suelo bajo la copa de los árboles de los SS aliso (*Alnus acuminata*), ciprés (*Cupressus sempervirens L.*), pona (*Ceroxylon peruvianum*), pino (*Pinus patula*) y campo abierto, en donde se obtuvo valores en un rango que va desde 64.23% a 70.91 % en el primer horizonte de época lluviosa y, en campo abierto, valores que van desde 66.43% a 73.63%. Estos niveles de humedad son casi saturados y los suelos están expuestos a mayor compactación por el pastoreo y las pisadas del ganado vacuno (Pinzón y Amézquita 1991).

La evaluación realizada, en época seca, se reportó valores ligeramente menores y que, por la textura franco arcillosa, todavía mantienen altos niveles de humedad, pero pueden reducirse los niveles de compactación si se tiene regulada la carga animal (Sánchez *et al.* 1989; Arévalo *et al.* 1998).



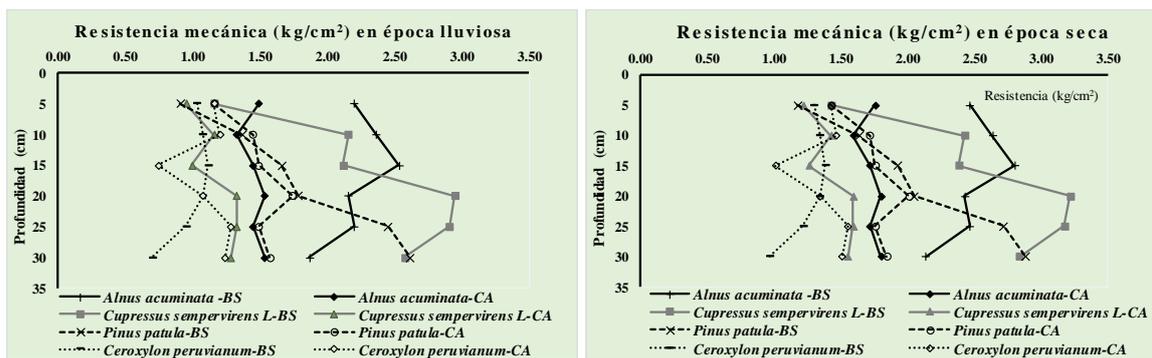
BS: Bajo sombra/CA: Campo abierto

Figura 7. Porosidad (%) del suelo en época lluviosa y seca

Resistencia mecánica (RM)

En la Figura 8, se muestra la RM como indicador de la compactación en relación a la profundidad del suelo en los diversos sistemas silvopastoriles evaluados en el distrito de Molinopampa, especialmente en los caseríos Santa Cruz del Tingó, Puma hermana y San José de Dallavoz, donde se han comparado los SS Aliso (*Alnus acuminata*) y Ciprés (*Cupressus sempervirens L.*). Estadísticamente, no se han encontrado variaciones a diferentes profundidades del perfil del suelo. Asimismo, los SS Aliso (*Alnus acuminata*) y Pino (*Pinus patula*) no registraron diferencias, mientras el SS Pona (*Ceroylon peruvianum*) disperso en potreros presentó menor RM y por ende menor compactación.

Se encontró una mayor variación a la profundidad de 15 a 25 cm en los SS Ciprés (*Cupressus sempervirens L.*) y Aliso (*Alnus acuminata*) evaluado en época lluviosa y seca.



BS: Bajo sombra/ Ca: Campo abierto

Figura 8. Resistencia mecánica (kg/cm²) del suelo en época lluviosa y seca en Molinopampa.

4.1.2 Provincia Rodríguez de Mendoza

En el análisis de variancia, no se encontraron diferencias significativas entre los factores evaluados, por lo que se le realizó la comparación por efectos principales en los SS, sombra y profundidad. Sin embargo, durante las épocas (lluviosa y seca) y profundidad, sí influyó entre las propiedades físicas del suelo (Cuadro 8).

En el Cuadro 7, se muestran las diferencias entre SS evaluados en época lluviosa y seca. Se determinó que no hubo diferencias significativas entre los SS para densidad aparente, contenido de humedad y porosidad. Sin embargo, en la densidad aparente del suelo, en época seca, se ha observado diferencia significativa de *Populus alba* vs *Eucalyptus torrelliana*.

Cuadro 7. Variables físicas evaluadas entre los sistemas silvopastoriles en Huayabamba (Rodríguez de Mendoza).

Sistemas	Densidad aparente (g/cm ³)		% Contenido de humedad		% Porosidad	
	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca
Álamo (<i>Populus alba</i>) disperso en potreros (ADP)	1.00	1.09 ^b	58.08	37.92	62.38	55.58
Eucalipto (<i>Eucalyptus torrelliana</i>) en cerca viva (ECV)	1.01	1.25 ^a	59.46	39.30	61.87	55.07
Guaba (<i>Inga edulis</i>) en cerca viva (GCV)	1.02	1.23 ^a	60.95	40.79	61.60	54.80

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia.

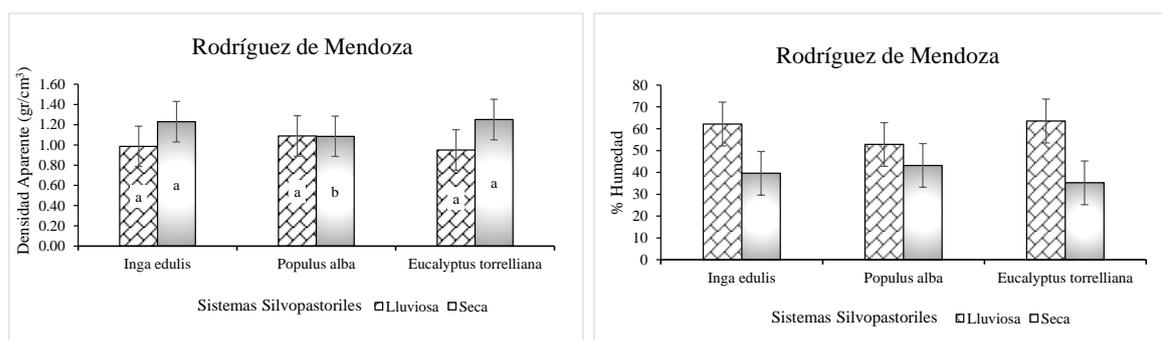


Figura 9. Comparación de densidad aparente y contenido de humedad del suelo en época lluviosas y seca

En el Cuadro 8, se muestran los resultados de densidad aparente, contenido de humedad y porosidad del suelo en época lluviosa y seca, donde no se han identificado diferencias estadísticas significativas entre campo abierto y bajo sombra.

Cuadro 8. Fisiografía y propiedades físicas del suelo evaluadas en época lluviosa y seca para los diferentes arreglos silvopastoriles en Huayabamba (Rodríguez de Mendoza)

Especies de árboles	Elementos del paisaje	Material parental	Arreglos	Prof. (cm)	Densidad aparente (g/cm ³)		Contenido de humedad (%)		Porosidad (%)		Estructura	Textura	Color	
					Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca				
Álamo (<i>Populus alba</i>)	Terraza baja	Aluvial reciente	Disperso en potreros	0-15	0.92	1.10	58.12	37.96	65.44	58.63	Granular débil	fino,	Fr.	Gris muy oscuro
				15-30	1.08	1.26	50.11	29.95	59.20	52.40	Masiva		Fr.	Gris
			Campo abierto	0-15	0.87	1.05	69.83	49.67	67.09	60.29	Granular débil	fino,	Fr. A.	Gris muy oscuro
				15-30	1.12	1.30	54.26	34.10	57.78	50.98	Masivo		Fr. A	Gris rosado
			Cerca viva	0-15	1.00	1.18	59.38	39.22	62.38	55.58	Granular medio moderado	fino y	Fr.	Gris oscuro a pardo oscuro
				15-30	1.15	1.33	47.01	26.85	56.69	49.89	Masiva		Ar.	Gris a rojizo
Eucalipto (<i>Eucalyptus torrelliana</i>)	Terraza baja	Aluvial reciente	Campo abierto	0-15	0.82	1.00	74.24	54.08	69.18	62.38	Granular débil	fino,	Fr.	Pardo grisáceo muy oscuro
				15-30	1.08	1.26	57.21	37.05	59.21	52.41	Masiva		Ar.	Pardo grisáceo y rojo amarillento
			Cerca viva	0-15	0.92	1.10	68.34	48.18	65.31	58.51	Granular débil	fino,	Fr.	Gris oscuro
				15-30	1.14	1.32	50.40	30.24	56.95	50.15	Masiva		Fr.	Gris y rojo amarillento
			Campo abierto	0-15	0.88	1.06	71.33	51.17	66.86	60.06	Granular débil	fino,	Fr.	Gris oscuro
				15-30	1.13	1.31	53.73	33.57	57.29	50.49	Masiva		Fr.	Gris y rojo amarillento

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Densidad aparente (DA)

En el cuadro 8 y la figura 10, se muestran los resultados de la DA en el suelo y no se encontraron diferencias significativas entre los SS Álamo (*Populus alba*), Guaba (*Inga edulis*) y Eucalipto (*Eucalyptus torrelliana*). Estos valores fueron muy variables que, a pesar de no haber diferencias significativas, se presentaron diferencias numéricas. La DA registró valores que oscilan entre 1.10 a 1.18 g/cm³ en los SS Eucalipto (*Eucalyptus torrelliana*), Álamo (*Populus alba*) y Guaba (*Inga edulis*), evaluados en el primer horizonte (0-15 cm) del suelo en época seca, con una clase textural franca. Asimismo, coincidimos con lo que indica la FAO (2009), donde los suelos deberían tener una densidad aparente de 1.1 a 1.2 g/cm³. Estas diferencias, posiblemente, se deben a que son suelos porosos, bien aireados, además, por la acumulación de restos vegetales sobre la superficie del suelo (Alegre *et al.* 2017).

Por otro lado, durante la evaluación en época lluviosa (febrero 2017), se reportaron valores bajos en las propiedades físicas del suelo tales como la densidad aparente, resistencia mecánica y altos en el contenido de humedad. Estos pueden ser afectados por el exceso de humedad en el suelo, lo que produce hinchamiento en las partículas del suelo y la baja infiltración del agua; además, la zona evaluada se encuentra sobre depósitos aluviales de material parental aluvial que constantemente se inundan (Castro 2010).

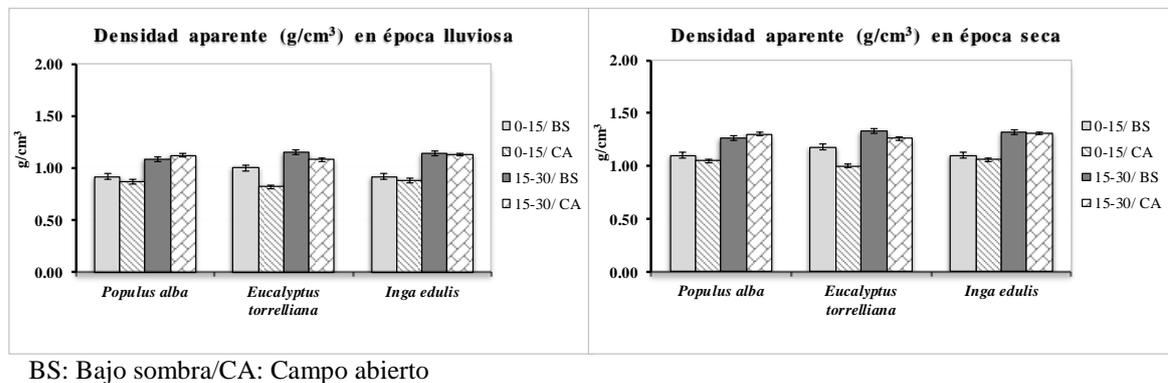


Figura 10. Densidad aparente (g/cm³) del suelo en época lluviosa y seca en Huayabamba

Humedad del suelo (H)

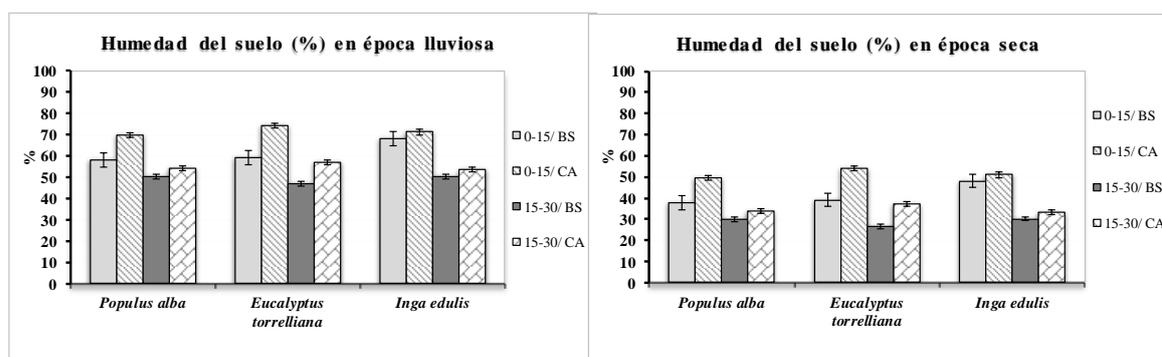
En el cuadro 8 y figura 11, se muestran las propiedades físicas de los SS Álamo (*Populus alba*), Eucalipto (*Eucalyptus torrelliana*) y Guaba (*Inga edulis*), las cuales no presentaron diferencias significativas en el contenido de humedad del suelo y estos índices de humedad fueron muy altos y variaron entre 58.12 a 68.34 %, debido a que fue evaluado durante la

época más lluviosa, lo cual puede influir en la evaluación de los indicadores físicos que determinan los procesos de compactación, pero, en las evaluaciones en la época seca, fueron más representativas por lo niveles adecuados de humedad del suelo.

El SS Eucalipto es una especie alelopática que expulsa sustancias químicas que inhibe el crecimiento de otras especies bajo la copa de los árboles. Además, extrae gran cantidad de agua, por su alta tasa de evapotranspiración, debido a esto es que podría observarse un menor contenido de humedad en el suelo, tal como lo indica UNCIEP, 2004.

Buckman (1980) indica que los suelos arenosos se encuentran entre 35 a 50% de porosidad, y clasifican como suelos livianos, mientras que los suelos pesados varían de 40 al 60%. Es importante mencionar que los suelos presentes en los SS son de tipo medios a pesados.

La Guaba (*Inga edulis*) tiene mayor contenido de humedad en los suelos. Esto podría deberse a que es una leguminosa fijadora de nitrógeno que se encuentra asociado simbióticamente con microorganismos fijadores de nitrógeno del suelo (*Rhizobium* y *Frankia*). También, forma simbiosis con hongos (micorrizas) y aumenta la materia orgánica de calidad que genera la retención de más agua. Con base en estas asociaciones se da la fijación de nitrógeno atmosférico, mejora la absorción de agua y aumenta la fertilidad de los nutrientes del suelo (Ferrari y Wall 2004).

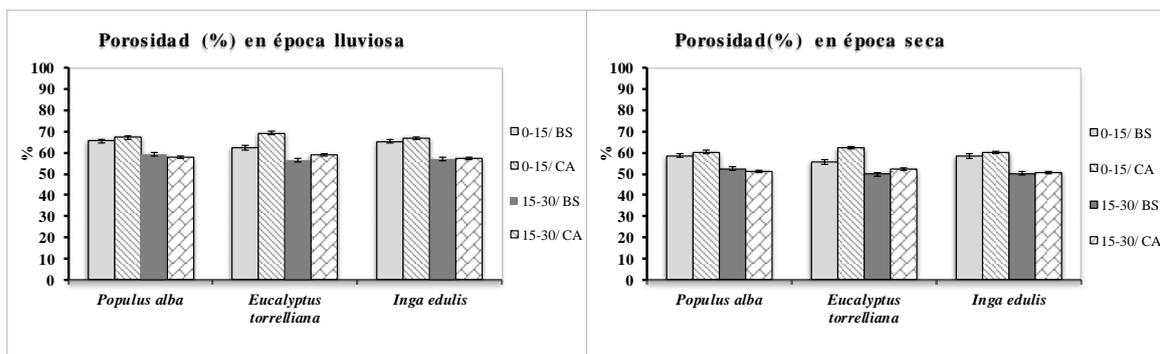


BS: Bajo sombra/CA: Campo abierto

Figura 11. Humedad del suelo (%) en época lluviosa y seca en Huayabamba

Porosidad total (PT)

En la figura 12, se muestran los rangos de PT en época lluviosa de 65 a 69% a la profundidad de 0-15 cm fueron mayores que en la época seca, porque se puede haber sobre estimado este índice de PT al evaluar la densidad aparente y, en las épocas secas, estos fueron menores fluctuando de 58 a 62%, pero todavía altos, porque son suelos de textura pesada y la H fue todavía alta. Los niveles de humedad fueron mayores a una profundidad de 15-30 cm.

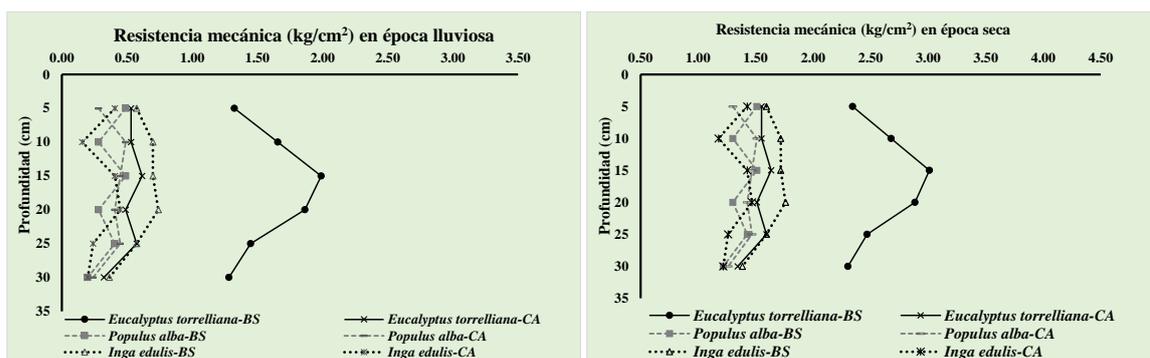


BS: Bajo sombra/CA: Campo abierto

Figura 12. Porosidad (%) del suelo en época lluviosa y seca en Huayabamba

Resistencia mecánica (RM)

En la Figura 13, se muestra la RM hasta los 30 cm de profundidad en intervalos de 5 cm en los SS *Populus alba* e *Inga edulis*. No se encontraron diferencias significativas en la RM del suelo a diferentes profundidades del perfil del suelo, mientras que en el SS *Eucalyptus torrelliana* sí se ha observado diferencia significativa ($p < 0.05$), con respecto a los otros sistemas evaluados. El SS *Eucalyptus torrelliana* presenta un sistema radicular profundo y pocas raíces finas en la capa superficial del suelo, lo que genera una mayor compactación, que aumentó la DA y disminuyó la PT, lo cual también es indicado por Alegre y Lara 1991, quienes encontraron en suelos tropicales que el incremento de la DA y RM disminuyen la PT del suelo. Dichas alteraciones limitan significativamente el crecimiento de las raíces.



BS: Bajo sombra/ Ca: Campo abierto/ Da: Densidad aparente

Figura 13. Resistencia mecánica (Kg/cm²) del suelo en época lluviosa y seca

4.1.3 Distrito de Soritor

Para el análisis de variancia no se encontraron diferencias significativas entre los factores evaluados, por lo que se le realizó la comparación por efectos principales en los SS, sombra y profundidad (Cuadro 10).

En el Cuadro 9, se muestran las diferencias entre SS evaluados. Asimismo, se pudo determinar que no hubo diferencias significativas entre los SS para densidad aparente, contenido de humedad y porosidad.

Cuadro 9. Variables físicas evaluadas entre los sistemas silvopastoriles en Soritor.

Sistemas	Densidad aparente (g/cm ³)	% Contenido de humedad	% Porosidad
Eucalipto (<i>Eucalyptus torrelliana</i>)	1.37	24.80	48.39
Guaba (<i>Inga edulis</i>)	1.28	33.21	51.86
Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>)	1.30	24.97	50.97

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia.

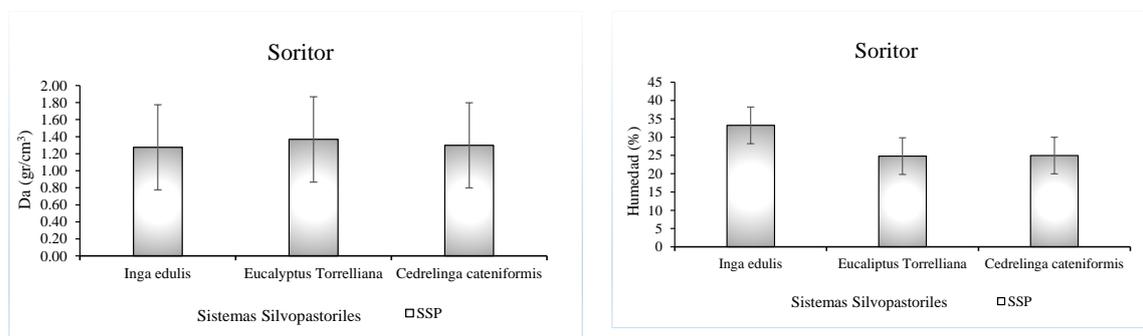


Figura 14. Comparación de densidad aparente y humedad del suelo (%) en Soritor

En el Cuadro 10, se registra los SS de Guaba (*Inga edulis*), Eucalipto (*Eucalyptus torrelliana*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) evaluados en Soritor, los cuales indican que no hubo diferencias significativas en la DA, H y PT del suelo en ninguna de las dos posiciones de evaluación en sombra y campo abierto.

Cuadro 10. Fisiografía y propiedades físicas del suelo evaluadas en época seca para los diferentes arreglos silvopastoriles en Soritor.

Especies de árboles	Elementos del paisaje	Material parental	Arreglos	Prof. (cm)	D.A (g/cm ³)	H (%)	PT (%)	Estructura	Textura	Color
Eucalipto (<i>Eucalyptus torrelliana</i>)	Terraza media	Aluvial subciento	CV	0-15	1.34	23.18	49.39	Granular fino y medio, débil	Fr.	Gris oscuro
				15-30	1.44	22.49	45.70	masiva	Fr.	Pardo
			CA	0-15	1.32	26.06	50.18	Granular fino y grueso, moderada	Fr.	Gris oscuro
				15-30	1.37	27.46	48.30	Bloque sub angular, masiva	Fr. Ar. A	Amarillo rojizo
Guaba (<i>Inga edulis</i>)	Ladera de colina baja	Coluvio aluvial	DP	0-15	1.16	34.15	56.35	Granular medio débil	Fr. Ar	Pardo a pardo oscuro
				15-30	1.36	31.74	48.74	bloque sub angular, masiva	Fr. Ar.	Pardo rojizo

Especies de árboles	Elementos del paisaje	Material parental	Arreglos	Prof. (cm)	D.A (g/cm ³)	H (%)	PT (%)	Estructura	Textura	Color	
Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>)	Colina baja	Coluvio aluvial	CA	0-15	1.20	37.72	54.67	Granular medio	fino y	Fr. Ar. A.	Pardo grisáceo oscuro
				15-30	1.39	29.23	47.67	Masiva		Fr.	Pardo grisáceo
			DP	0-15	1.20	20.39	54.78	Granular medio, muy fino y suelto de débil a moderado		Fr. A.	Gris muy oscuro
				15-30	1.31	16.87	50.59	Masiva		Fr. A.	Pardo
			CA	0-15	1.30	31.97	51.05	Granular medio y suelto, débil		Fr. A.	Gris muy oscuro
				15-30	1.39	30.64	47.47	Masiva		Fr. A.	Rojo débil

CV: Cerca viva/ DP: Disperso en potreros/ CA: Campo abierto

P<0.05, según la prueba de Tukey

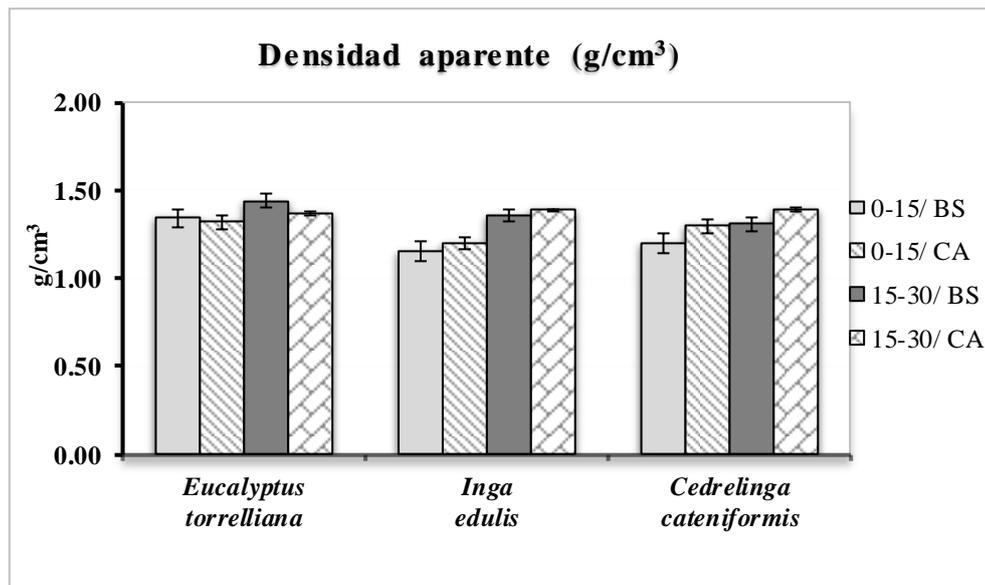
Fuente: Elaboración propia

Densidad aparente (DA)

En la Figura 15, se muestra el valor más alto de densidad aparente en SS *Eucalyptus torrelliana* con 1.44 g/cm³ en el primer horizonte, seguido los SS *Cedrelinga cateniformis* e *Inga edulis*, con valores entre 1.31 a 1.36 g/cm³ en el primer horizonte.

El Eucalipto es una especie que tiene un sistema radicular principal muy profundo, pivotante (se profundiza de forma vertical) y con 50 % de raíces finas en los primeros 20 centímetros del perfil del suelo. Además, extrae gran cantidad de agua debido a su alta tasa de evapotranspiración. Simultáneamente, es una especie alelopática que inhibe el crecimiento de otras especies. Por lo tanto, es posible que esta especie no sea favorable para el mejoramiento del suelo donde encontramos mayor densidad aparente (1.37 g/cm³) (Pérez 2010).

Los valores altos de densidad aparente en el suelo, podría indicar un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida y una disminución en la infiltración del agua. Además, indica la FAO (2009), que la densidad aparente por debajo de 1.3 g/cm³ es considerado bajo, indicando una buena condición porosa del suelo.



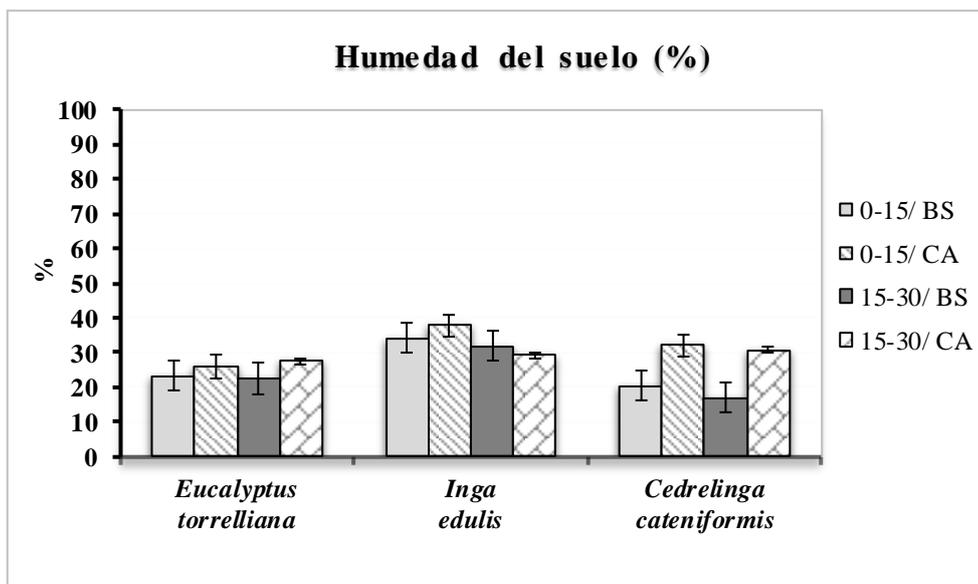
BS: Bajo sombra/ CA: Campo abierto

Figura 15. Densidad aparente bajo sombra y campo abierto en Soritor

Humedad del suelo (H)

En la figura 16, se muestra la H del SS *Inga edulis* con 34.45 %, seguido del SS *Cedrelinga cateniformis* con un valor 20.39 % y el valor más bajo se registró en el SS Eucalipto con 23.18 %, mientras la PT osciló entre 49.39 % a 56.35 %, evaluados en el primer horizonte. Además, se ha observado que, a medida que se va profundizando en el suelo la H y la PT, disminuía.

La especie *Inga edulis* es una planta que presenta un sistema radicular superficial no muy profundo y con raíces finas abundantes. Además, la contribución de los restos orgánicos de las especies vegetales, que constantemente son acumuladas sobre la superficie del suelo, ayuda a retener mayor humedad. Mientras, el *Eucalyptus torrelliana* es una especie que consume grandes cantidades de agua, debido a su alta tasa de evapotranspiración. En paralelo, absorbe selectivamente los nutrientes del suelo, exigidos para su desarrollo (Nandi *et al.* 1991 citados por Carimentrand *et al.* 2002).

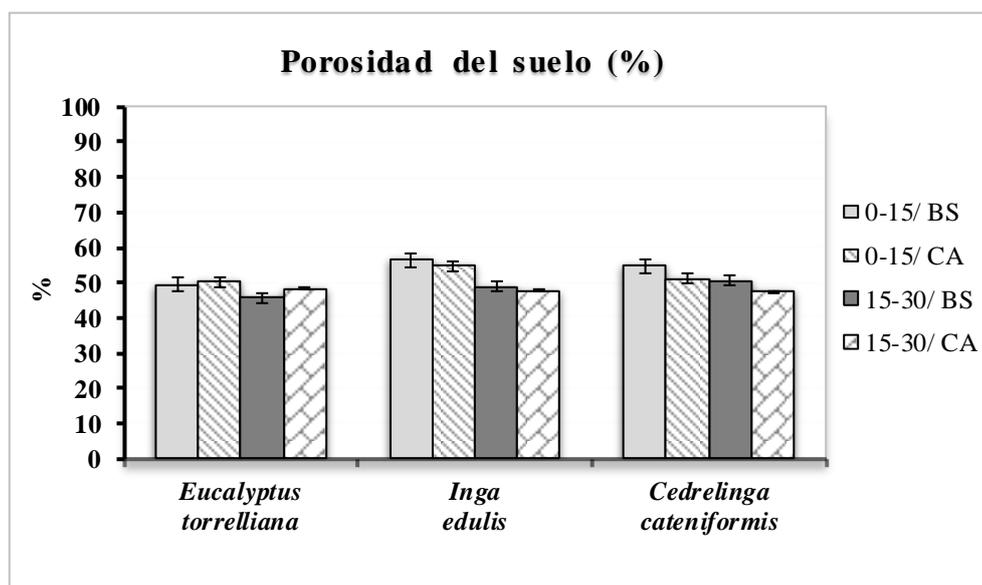


BS: Bajo sombra/ CA: Campo abierto

Figura 16. Humedad del suelo (%) bajo sombra y campo abierto

Porosidad total (PT)

En la Figura 17, se muestra la porosidad total (PT) del suelo bajo sombra y campo abierto, la cual registró mayor PT en la superficie de 0-15 cm que a la profundidad de 15-30 cm. Por lo tanto, esta podría estar relacionada indirectamente a la profundidad, es decir, a mayor profundidad, menor PT. Por otro lado, se ha evidenciado que la PT fue menor en el SS de *Eucalyptus torrelliana* por presentar valores altos de DA y siguieron las mismas tendencias de la DA, en donde fueron mayores las PT en la *Inga edulis* y *Cedrelinga cateniformes*, dado que ambas son leguminosas fijadoras de nitrógeno del suelo.



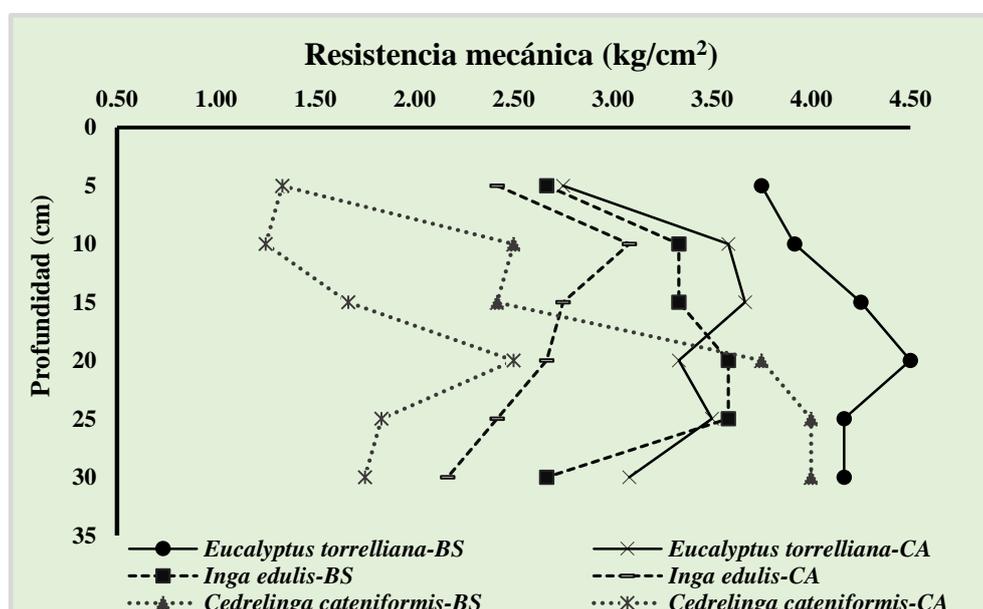
BS: Bajo sombra/ CA: Campo abierto

Figura 17. Porosidad (%) del suelo bajo sombra y campo abierto en Soritor

Resistencia mecánica (RM)

En la Figura 18, se muestran los resultados de RM del suelo en los diversos SS evaluados. Se observó que el SS Guaba (*Inga edulis*), Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) y Eucalipto (*Eucalyptus torrelliana*) no registran diferencias significativas; sin embargo, presentaron diferencias numéricas con respecto a los otros sistemas. *Eucalyptus torrelliana* es una planta alelopática que produce sustancias químicas que inhiben la germinación y el crecimiento de otras plantas, lo que deja descubierto bajo la copa de los árboles. Además, utilizan gran cantidad de agua, la cual sería un indicador en el incremento de la compactación del suelo (Carimentrand *et al.* 2002).

Los SS *Cedrelinga cateniformis* e *Inga edulis* son leguminosas fijadora de nitrógeno por presentar nodulos en sus raíces (Alegre 2015), por lo que se acumuló la humedad en el suelo. Por otro lado, el campo abierto (CA) tuvo menor el grado de compactación, mientras bajo la copa de los SS fue mayor. Esto probablemente se debe a que los arboles son utilizados por los animales como refugio y existe un mayor sobrepastoreo (Alegre y Lara 1991).



BS: Bajo sombra/ Ca: Campo abierto/

Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Resistencia mecánica (kg/cm²) del suelo en Soritor

La compactación se da por el aumento de la densidad aparente, lo cual se debe a la presión ejercida en el suelo. Esta puede darse por fuerzas mecánicas, la atracción de los suelos cuando están secos y la pérdida de su estructura. En las ganaderías convencionales, el

problema fundamental es la compactación del suelo, y esto se debe al sobrepastoreo o carga animal, el cual genera estratos duros en el perfil del suelo. Por consiguiente, se reduce la porosidad, la humedad, aireación del suelo y velocidad de infiltración del agua y, en consecuencia, baja la productividad de los suelos (Mendoza y Reyes 2010).

Por otro lado, Pinzón y Amezcua (1991) mencionan que la compactación del suelo es producida por el pisoteo de los bovinos, principalmente, en la primera capa del suelo y esto se produce cuando existe el sobrepastoreo. Esto se logró observar en las evaluaciones realizadas.

4.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD GANADERA DENTRO DE LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES

4.2.1 Distrito de Molinopampa

En la Figura 19, se muestra el análisis químico del suelo en los diferentes SS Aliso (*Alnus acuminata*), Ciprés (*Cupressus sempervirens* L.), Pino (*Pinus patula*) y Pona (*Ceroxylon peruvianum*), evaluados en el distrito de Molinopampa.

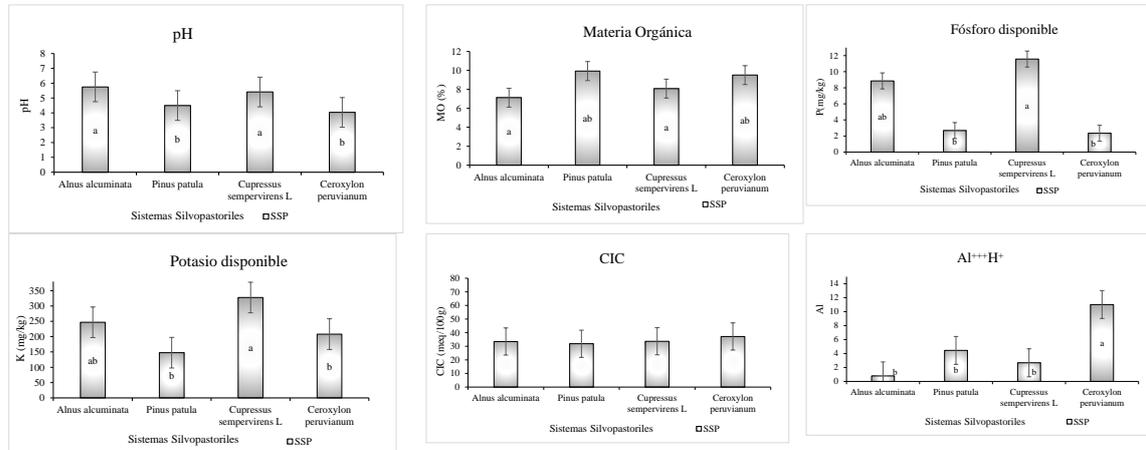


Figura 19. Propiedades químicas del suelo en Molinopampa

En el Cuadro 11, se muestra el análisis químico del suelo en los diferentes SS Aliso (*Alnus acuminata*), Ciprés (*Cupressus sempervirens* L.), Pino (*Pinus patula*) y Pona (*Ceroxylon peruvianum*) y diferentes profundidades del suelo, evaluados en el distrito de Molinopampa.

Cuadro 11. Variables de propiedades químicas en los SS en diferentes posiciones en Molinopampa.

Sistemas Silvopastoriles	Arreglo	Prof. (cm)	pH	M.O (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Arcilla	Textura	CIC NH ₄ ⁺ Ac (meq/100g)	Al ⁺⁺⁺ +H ⁺	CICe
Aliso (<i>Alnus acuminata</i>)	C	0-15	5.22	10.96	12.23	282.67	23	Fr.	35.57	0.57	29.13
		15-30	5.37	2.52	13.13	226.33	33	Fr. Ar.	30.29	2.50	29.02
	CA	0-15	5.95	11.61	7.17	242.33	25	Fr.	36.16	0.10	35.43
		15-30	6.44	3.42	2.90	236.00	38	Fr. Ar.	31.79	-	-
Ciprés (<i>Cupressus sempervirens</i> L.)	CV	0-15	5.34	12.67	15.35	453.67	9	Fr. A.	37.33	1.40	23.03
		15-30	5.87	2.95	9.93	311.00	27	Fr.	31.47	4.97	21.58
	CA	0-15	5.30	13.71	11.57	348.00	15	Fr.	37.60	1.20	25.07
		15-30	5.12	3.00	9.43	198.67	32	Fr. Ar.	28.27	3.13	16.16
Pino (<i>Pinus patula</i>)	C	0-15	4.27	16.07	2.83	174.67	11	Fr.	37.87	4.47	8.15
		15-30	4.47	3.90	3.10	71.00	22	Fr.	23.15	4.60	6.38
	CA	0-15	4.67	15.31	2.83	240.67	9	Fr. A.	36.27	2.00	10.68
		15-30	4.56	4.46	1.93	103.67	24	Fr.	30.03	6.73	10.36
Pona (<i>Ceroxylon peruvianum</i>)	DP	0-15	4.04	13.25	2.87	294.00	13	Fr.	35.20	8.10	13.31
		15-30	4.17	2.97	2.43	160.67	27	Fr.	27.79	13.17	15.61
	CA	0-15	3.77	15.23	2.27	222.67	16	Fr.	45.33	9.10	13.61
		15-30	4.09	6.59	1.80	155.33	17	Fr.	40.37	13.70	16.17

C: Callejones/ CV: Cerca Viva/ DP: Disperso en potreros

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 11, se muestran los análisis químicos del SS Ciprés (*Cupressus sempervirens* L.), Pona (*Ceroxylon peruvianum*) y Pino (*Pinus patula*), los cuales evidenciaron una reacción extremadamente ácida en comparación con el SS Aliso (*Alnus acuminata*), los cuales presentaron una reacción fuertemente ácida en el primer horizonte del suelo.

Los contenidos de materia orgánica (M.O) en el primer horizonte de 0-15 cm de profundidad fueron muy altos y fluctuaron de 10.06 a 16.07% y no se presentaron diferencias significativas entre los SS de Ciprés, Pona, Pino y Aliso. El SS Pino fue el que presentó una alta acumulación de MO con un promedio de 16.07 % en el primer horizonte del suelo. Según García et al 2012, la acumulación de restos vegetales en descomposición, bajo la copa de los árboles, aumenta la fertilidad en los suelos. Asimismo, el contenido de carbón orgánico (%) en el suelo se relaciona con la cantidad y disponibilidad de nutrientes; de la misma forma, el porcentaje de materia orgánica proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico (Borges et al. 2012).

Otra de las especies, que posiblemente mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo, es la especie Aliso, dado que presenta un sistema radicular no muy profundo, amplio y extendido. Asimismo, presenta nódulos asociados en simbiosis con bacterias filamentosas

fijadoras de nitrógeno atmosférico (*Frankia alnii*). Asimismo, se incrementó la fertilidad del suelo por la acumulación de materia orgánica. Finalmente, las hojas del aliso son ricas en nitrógeno y de rápida descomposición, que es incorporado al suelo como materia orgánica (Sánchez *et al.* 2009).

Se encontró una fluctuación de los niveles de fósforo disponible (P) de medio a alto de en los SS Aliso y Ciprés con valores de 12.23 mg/kg a 15.35 mg/kg respectivamente; mientras que los SS Pino y Pona obtuvieron niveles bajos en el horizonte superficial con valores de 2.83 mg/kg y 2.87 mg/kg de P respectivamente.

El Potasio disponible (K) en los suelos principalmente en el SS Ciprés presentó un nivel alto de K con un promedio de 454 ppm y un nivel medio fue reportado para la especie pino con un valor 175 ppm.

Para la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) en el suelo, no hubo diferencias significativas entre los SS en ninguna posición dentro del campo. La CICE, en el SS Aliso y Ciprés, fue alta en el primer horizonte con valores entre 23.03 meq/100 g a 29.13 meq/100 g respectivamente. En los SS con Pino y Pona, estos valores de CICE fueron de bajos a medio con valores entre 8.15 meq/100 g a 13.31 meq/100 g respectivamente. Según Chuquiruna 1989, el incremento de la CIC, se debe principalmente a la presencia de la materia orgánica y a la arcilla, lo más alto en todos los sistemas (Cuadro 11). Las arcillas, en los suelos, están generalmente cargadas negativamente y atraen, retienen y liberan cationes. Asimismo, la materia orgánica presenta cargas negativas para atraer cationes y, también, retienen mucha agua.

Por otro lado, diversos estudios de investigación realizados en SS, están enfocados principalmente en el incremento de la fertilidad del suelo. Para esto, es necesaria la asociación de pastizales y árboles, los cuales mejoran gradualmente el sistema suelo y pastizales por la incorporación de restos vegetales de los árboles (Crespo y Fraga 2006).

4.2.2 Rodríguez de Mendoza (Huayabamba)

En los Sistemas Silvopastoriles del valle de Huayabamba, se han evaluado las propiedades químicas del suelo (reacción del suelo, materia orgánica, potasio y capacidad de intercambio catiónico), con lo que se obtuvo diferencias significativas entre los SS. Esto se debe a que

cada especie arbórea tiene comportamiento independiente en el suelo, como se puede observar en la figura 20.

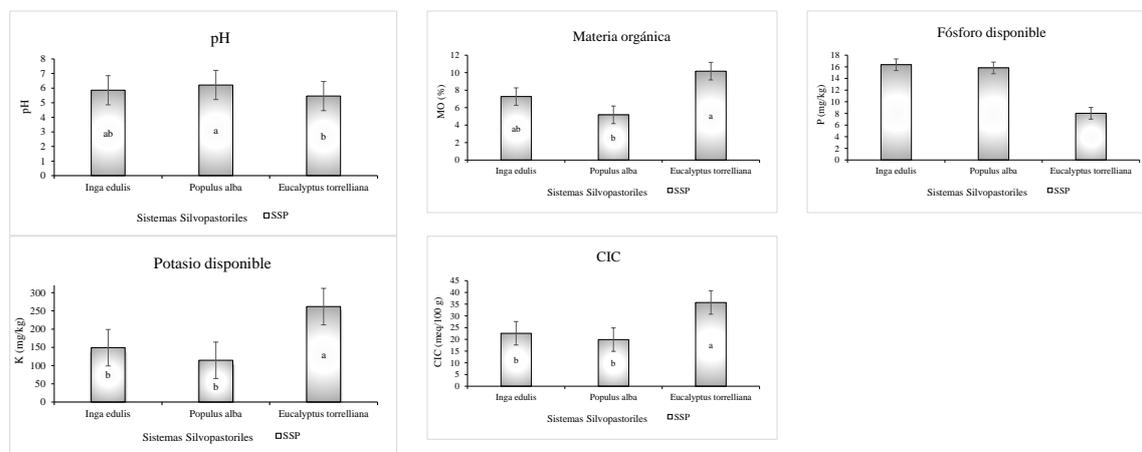


Figura 20. Propiedades químicas del suelo en Rodríguez de Mendoza (Huayabamba)

En el Cuadro 12, se muestran los resultados de las propiedades químicas de los SS a diferentes posiciones en Huayabamba.

Cuadro 12. Variables de las propiedades químicas de suelos en los SS a diferentes posiciones en Huayabamba.

Sistemas Silvopastoriles	Arreglos	Prof. (cm)	pH	M.O (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Arcilla	Textura	CIC NH ₄ ⁺ Ac (meq/100g)
Álamo (<i>Populus alba</i>)	DP	0-15	6.97	7.69	24.33	166.33	19	Fr.	20.96
		15-30	6.69	2.48	11.07	73.00	18	Fr.	15.57
	CA	0-15	5.73	7.62	15.07	131.00	13	Fr. A.	25.17
		15-30	5.46	2.91	12.80	87.67	15	Fr. A	17.81
Eucalipto (<i>Eucalyptus torrelliana</i>)	CV	0-15	5.19	15.30	14.13	282.67	26	Fr.	38.40
		15-30	5.41	3.39	3.40	188.67	45	Ar.	30.08
	CA	0-15	5.64	17.20	10.70	373.33	25	Fr.	41.23
		15-30	5.58	4.79	3.87	202.67	43	Ar.	33.17
Guaba (<i>Inga edulis</i>)	CV	0-15	5.81	10.13	7.83	165.67	15	Fr.	27.20
		15-30	5.78	3.09	6.37	95.33	21	Fr.	16.32
	CA	0-15	5.61	11.70	20.83	226.00	19	Fr.	24.48
		15-30	6.22	4.13	30.40	109.33	29	Fr.	22.35

DP: Disperso en potreros/ CV: Cerca viva/ CA: Campo abierto

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: elaboración propia

La reacción del suelo, en el primer horizonte evaluado en la época lluviosa (febrero), fue neutra (6.97 pH) para el SS Álamo (*Populus alba*), una reacción moderadamente ácida (5.81 pH) en el SS Guaba (*Inga edulis*) y una reacción fuertemente ácida (5.19 pH) para la especie Eucalipto (*Eucalyptus torrelliana*). Esto indica que el Eucalipto es una especie que acidifica

el suelo porque extrae grandes cantidades de calcio, y, de esa manera, desciende el pH y esto lo reportó Pérez (2010). También, presentan una reacción ácida porque la materia orgánica durante el proceso de descomposición libera iones de hidrógeno que acidifican el suelo. Por otro lado, la reacción neutra del suelo, donde se encuentra establecido la especie álamo, se debe al material parental que ha sido transportado de la parte más alta de la cuenca y fueron depositados en la parte baja del valle, el cual pertenece a la formación chonta que está constituido por materiales de calizas (Castro 2010).

La concentración de materia orgánica (MO) se presentó en niveles altos con rangos que fluctuaron desde 7.69% a 15.30 %. Esta alta acumulación de MO se debe a que el muestreo fue realizado sobre un paisaje de llanura aluvial, donde constantemente se va acumulando restos vegetales y son transportados por los afluentes hacia las partes bajas de la cuenca. Asimismo, podría deberse a la acumulación del excremento de los vacunos que se encuentran en los sistemas silvopastoriles.

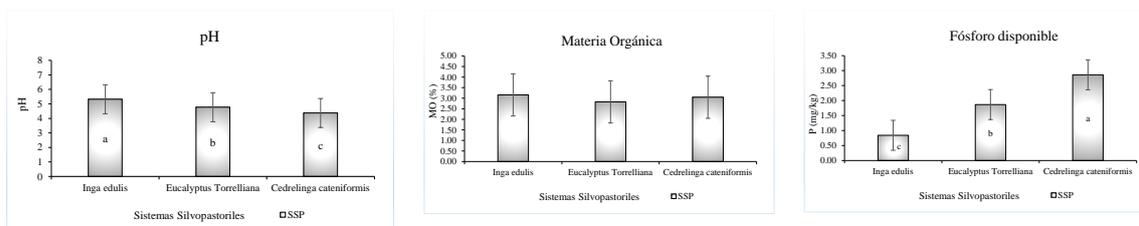
El SS Eucalipto obtuvo un nivel alto (283 ppm) de K y la especie Guaba y Álamo un nivel medio de K con 167 ppm de K en el suelo.

La CIC fue alta, la cual varió de 20.96 a 38.40 meq/100 g de suelo.

En los potreros, se han evidenciado alto contenido de calcio en los suelos. Esto probablemente se debe a que la zona evaluada no tiene buen drenaje; por ende, el calcio está siendo retenido en la zona, dado que no se ha evidenciado lixiviación.

4.2.3 SORITOR

En distrito de Soritor, se han evaluado las propiedades químicas del suelo en SS obteniendo diferencias significativas como se observa en la figura 21.



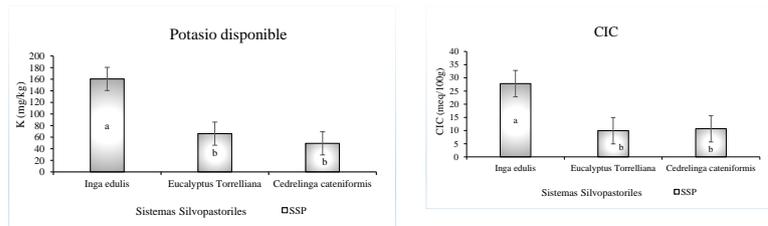


Figura 21. Propiedades químicas del suelo en Soritor

En el Cuadro 13, se muestran los análisis químicos de los SS de Eucalipto (*Eucalyptus torrelliana*), Guaba (*Inga edulis*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), los cuales presentan reacciones extremadamente ácidas a fuertemente ácidas que va desde 3.97 a 5.46 pH.

Cuadro 13. Variables de propiedades químicas en los SS a diferentes posiciones en Soritor.

Sistemas Silvopastoriles	Arreglos	Prof.	pH	M.O (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Arcilla	Textura	CIC NH ₄ ⁺ Ac (meq/100g)	Al ⁺⁺ ++H ⁺	CICe
Eucalipto (<i>Eucalyptus torrelliana</i>)	CV	0-15	4.70	4.00	2.93	68.67	20	Fr.	12.48	0.0	-
		15-30	4.75	1.60	1.4	52.67	25	Fr.	11.05	0.0	-
	CA	0-15	4.78	4.18	2.03	78.00	19	Fr.	8.05	0.0	-
		15-30	4.88	1.53	1.10	65.33	29	Fr. Ar. A	8.22	0.0	-
Guaba (<i>Inga edulis</i>)	DP	0-15	5.36	4.42	0.93	106.00	30	Fr. Ar	27.09	6.70	16.28
		15-30	5.09	1.43	0.97	96.33	37	Fr. Ar.	31.68	9.40	18.31
	CA	0-15	5.46	5.28	0.77	316.33	25	Fr. Ar. A	25.33	0.23	14.72
		15-30	5.38	1.48	0.70	123.33	35	Fr.	27.15	1.73	16.53
Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>)	DP	0-15	3.97	4.24	3.33	67.33	8	Fr. A.	12.43	1.40	6.72
		15-30	4.14	1.82	1.67	39.00	10	Fr. A.	10.51	2.80	3
	CA	0-15	4.71	3.69	4.30	48.33	7	Fr. A.	10.24	0.73	2.54
		15-30	4.69	2.44	2.13	43.00	11	Fr. A.	9.65	1.13	2.14

CV: Cerca viva/ DP: Disperso en potreros/ DA: Campo abierto

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

El SS Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) presentó el nivel más bajo (3.97 pH) de acidificación en los suelos, debido a que es una especie que se adapta a suelos ácidos con altos contenidos de Al intercambiable y puede crecer en condiciones de baja disponibilidad de P (3 mg/kg) y K (67 mg/kg). Además, es una especie leguminosa que aporta biomasa de buena calidad, y se asocia con micorrizas y bacterias fijadoras de N, los cuales son abastecidos en forma lenta conforme se va descomponiendo la materia orgánica (Alegre 2015).

Mientras, el eucalipto, también, presentó pH bajos en el suelo. Esto probablemente debe ser por los ácidos orgánicos producidos por la descomposición de la hojarasca del *Eucalyptus torrelliana* (Nandi *et al.* 1991 citados por Carimentrand *et al.* 2002).

El porcentaje de materia orgánica (MO), en un nivel medio en el suelo con promedios de 4.2%, no presentaron diferencias significativas en los SS de Guaba, Eucalipto y Tornillo.

Para Céspedes (2003), el Eucalipto (*Eucalyptus torrelliana*) aporta menor cantidad de residuos orgánicos al suelo, con base a que son más resistentes a la biodegradación y esto, a la vez, disminuye la fertilidad del suelo.

El potasio disponible (K), en los SS, presentó un nivel de concentración bajo con valores que oscila entre 0.93 mg/kg a 3.33 mg/kg en el primer horizonte.

V. CONCLUSIONES

Con base en la evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo, realizadas en los diferentes potreros y sitios se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. Los SS establecidos por los agricultores sí tienen influencia sobre las propiedades físicas del suelo, que mejoran la densidad aparente, humedad, resistencia mecánica y porosidad. De los tres sitios estudiados, el SS *Alnus acuminata* (aliso) presentó mejor comportamiento, mientras que el *Eucalytus torrelliana* (eucalipto) posiblemente no sea favorable para el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo (distrito Soritor), donde encontramos mayor densidad aparente, otros factores que podrían afectar el sistema como competencia por agua y acciones alelopáticas.
2. Las especies establecidas, en los potreros de los agricultores, sí tuvo influencia sobre las propiedades químicas del suelo. Los que mejor se comportaron fueron el *Cupressus sempervirens L.* (ciprés) y *Alnus acuminata* (aliso), los cuales mejoraron la fertilidad del suelo por ser especies que fijan nitrógeno y tienen hojarascas de buena descomposición con materia orgánica de buena calidad, mientras que el *Eucalyptus Torrelliana* (eucalipto) tuvo baja fertilidad del suelo porque se observó una mayor escorrentía y erosión del suelo en estas zonas.
3. Los potreros evaluados en el valle de Huayabamba presentaron un paisaje de llanura aluvial reciente, que constantemente son cubiertas por las crecientes, debido a que se producen estacionalmente durante la época lluviosa. Por ello, se encuentran inundados y dificultan el manejo de los sistemas silvopastoriles.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar un manejo adecuado de los suelos. Para ello, es necesario establecer sistemas silvopastoriles que sean adecuados para cada zona y con carga animal adecuada y el mantenimiento anual de los pastos con manejo rotativo para no afectar el suelo.
2. La especie *Alnus acuminata* (aliso), establecida por los agricultores, fue la que mejor respondió a las condiciones del lugar, debido a que presenta mejores indicadores de suelo y mayor productividad de pastos. Con base en ello, sería recomendable replicar esta especie sobre otros potreros de Molinopampa, dado que fomentará mejoras en cuanto a la producción y productividad.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alegre, J. y Lara, P. 1991. Efecto de los Animales en Pastoreo sobre las Propiedades Físicas de Suelos en la Región Tropical Húmeda de Perú. Pasturas Tropicales CIAT Volumen 13 (1): 18-23.

Alegre, J; Lao P; Silva, C y Schrevens, E. 2017. Recovering degraded lands in the Peruvian amazon by cover crops and sustainable agroforestry systems. Peruvian Journal of Agronomy: 1(1):1-7 ISSN (Electronic version). DOI: <http://dx.doi.org/20.21704/pja.v1i1.1005>

Alegre, J. 2015. Sistema agroforestal de multiestratos: Recuperación de suelos degradados en la Amazonia. LEISA Volumen 31 N° 1 pp 28-30.

Arévalo L., Alegre C., Bandy D.E. and Szott L. 1998. The effect of cattle grazing on soil physical and chemical properties in a silvopastoral system in the Peruvian Amazon. Agroforestry System 40/2 pp 109/124.

Bazán, R. 2017. Manual para el Análisis Químico de Suelos, Agua y Planta. UNALM. 74 p.

Bautista, C; Etchevers, B; Del Castillo, R y Gutiérrez, C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. Consultado el 20 de octubre del 2016. Disponible en: <http://www.bibliocolabora.es/ConexionWeb/verDocumento.do?idRepo=13&idEle=1>

Borges, J; Barrios, M; Sandoval, E; Bastardo, Y y Oswaldo, M. 2012. Características físico-químicas del suelo y su asociación con macroelementos en áreas destinadas a pastoreo en el estado Yaracuy. Bioagro. 24(2):121 - 126.

Brozek, S y Wanic, T. 2002. Impact of forest litter of *Alnus glutinosa* (L) Gaerth, *Alnus incana* (L) Moench, *Alnus viridis* (Chaix) Lam. Et Dc, *Abies alba* Mill and *Fagus sylvatica* L. on chosen soil properties. Department of forest Soil Science, Agricultural Universities.

Buol, S; Hole, F y McCracken, R. 1990. Génesis y Clasificación de Suelos. 2da edición. México. 417 pág.

Buckman, H. y Prada, N. 1980. Naturaleza y propiedades de los suelos. Ed. U.T.E.H.A. México 589 Pág.

Bustamante, M. 2010. Cambio climático en el Perú. Amazonía. Consultado el 18 de agosto de 2016. Disponible en: <http://www.fundacionmjbustamante.com/wp-content/uploads/2012/06/Cambio-Climatico-Amazonia.pdf>

Calvache, M. 2009. Física de Suelos. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas 123 pág.

Carimentrand, L; Lugo, L y Lozada, J. 2002. Efectos inducidos en los suelos, por las plantaciones de Eucalipto en el estado portuguesa, Venezuela. Rev. For. Lat. Vol. 17. 17 N° 31.

Castro, w. 2010. Geología, Informe Temático. Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del Departamento de Amazonas, convenio entre IIAP y el Gobierno Regional de Amazonas. Iquitos- Perú.

Castro, w. 2007. Geología del Departamento de San Martín. Proyecto de Zonificación Ecológica y Económica, convenio entre IIAP y el Gobierno Regional de San Martín. Iquitos- Perú.

Céspedes, C. 2003. Impacto de las plantaciones de eucalipto en el suelo en el departamento de Paysandú Uruguay. 160 pág.

Chuquiruna, S. A. 1989. Efectos de diversos abonos orgánicos sobre el mejoramiento de las propiedades del suelo y el rendimiento de papa. Tesis para optar el título de ing. Agrónomo. Lima- Perú. 116 pág.

Crespo, G. y Fraga, S. 2006. Avances en el reciclaje de los nutrientes en sistemas silvopastoriles. IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible. Cuba. 5 pág.

Delgado, K. 2014. Evaluación de la Capacidad Fitorremediadora del álamo blanco (*Populus alba* L.) en suelo de mina “La Blanca” Hgo. Tesis para obtener el Título de Biólogo. México, D.F. 57 pág. Consultado el 24 de octubre de 2019. Disponible en: https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wpcontent/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_karen_delgado.pdf

De Graff, J. 1993. Soil Conservation and Sustainable Land Use: An Economic Approach. Amsterdam, NL. Royal Tropical Institute.

Donoso, C. 1994. Ecología forestal. El bosque y su medio ambiente: Chile: Editorial Universitaria.

Ferrari, A. y Wall, L. 2004. Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata, AG. 105 (2). Consultado el 02 de febrero de 2018. Disponible en: http://nutriciondebovinos.com.ar/MD_upload/nutriciondebovinos_com_ar/Archivos/Utilizaci%C3%B3n_de_%C3%A1rboles_fijadores_de_nitr%C3%B3geno_www.pdf

Diéguez, J. 1992. Cambios en la vegetación natural y el suelo por exclusión del uso en la ganadería. Coto de Caza. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae Piura. Perú.

Galeano, G., Sanin, M. & Mejia, K. 2008. Novedades en el género *Ceroxylon* (Arecaceae) del Perú, con la descripción de una nueva especie. Las palmeras en América del Sur. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

García, Y; Ramírez, W; Sánchez, S. 2012. Indicadores de calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes* 35(2): 125-138.

Granados, D y López, R. 2007. Fitogeografía y ecología del género *Eucalyptus*. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, vol. 13, N° 2. Universidad Autónoma Chapingo, México.

Gutiérrez, A.M. 2010. La densidad aparente en suelos forestales. Consultado el 11 de diciembre de 2017. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>

Holdridge, R. 1982. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, C.R. Centro Científico Tropical. 216 p.

Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad de la República (UNCIEP). 2004. *Impactos de las Plantaciones de Eucaliptos en el Suelo*. Uruguay.

Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). 1995. *Mapa Ecológico del Perú*. Ministerio de Agricultura. Lima. 271 p.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2007. *Censos Nacionales XI de Población y VI de Vivienda*. Consultado el 08 de setiembre de 2016. Disponible en: <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>

Gardi, C; Angeli, M; Barceló, S; Comerma, J; Cruz, C; Encina, A; Jones, A; Krasilnikov, P; Mendoca, M; Muñiz, O; Schad, P; Vara, M y Vargas, R. 2014. *Atlas de suelos de America Latina y el Caribe*. Comisión Europea- Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg. 176 pág.

Martínez, A. 1991. *La pobreza como causa de la degradación ambiental. Un comentario al Informe Brundtland*. Consultado el 05 de setiembre de 2016. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/DocumentsAnalisi/article/viewFile/41522/52349>

Martínez, M. 2011. Factores que influyen en las decisiones de los productores agropecuarios para adopción de prácticas de conservación de suelo y agua y su relación con la pobreza en las microcuencas Guior, Guatemala y Ocote Tuma, Nicaragua. 95 p. Consultado el 05 de setiembre de 2016. Disponible en:

<http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/bitstreammin/handle/11554/8051/256pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Martínez, J. 2013. Producción y descomposición de hojarasca en sistemas silvopastoriles de estratos múltiples y su efecto sobre propiedades biorgánicas del suelo en el valle medio del Río Sinú. Consultado el 04 de noviembre de 2016. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/11621/1/64557713.2014.pdf>

Mendoza, B. y Reyes, O.A. 2010. Caracterización del estado actual de los suelos del departamento de Leon en base a sus características físicas y sistemas de producción. Revisado el 11 de diciembre de 2017 en línea: <file:///C:/Users/YESSI/Downloads/217579.pdf>

Mijail, A.; Sotelo, M.; Ramírez, F.; Ramírez, I.; López, A. y Siria, I. 2005. Conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles de matiguás y río blanco, dpto. de matagalpa, Nicaragua. III Foro Latinoamericano de Pastos y Forrajes. I Congreso Internacional de Producción Animal Tropical. Palacio de Convenciones, La Habana, Cuba.

Ministerio del Ambiente (MINAM). 2015. Cuantificación y análisis de la deforestación en la Amazonía Peruana en el período 2010-2011-2013-2014. Consultado el 05 de setiembre de 2016. Disponible en: http://geoservidor.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Documentos/Memoria_Descriptiva_Cambios_Cobertura_Bosque_2014.pdf

Montagnini, F.1992. Sistemas Agroforestales: Principios y aplicaciones en los Trópicos. 2ª. Ed. Organización para Estudios Tropicales. San José, Costa Rica. 622 pág.

Oliva, S. 2016. Influencia de factores socioeconómicos y ambientales sobre la adopción de tecnologías silvopastoriles por productores ganaderos, Distrito de Molinopampa, Amazonas.

Tesis para obtener el grado de M. Sc. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. 102 pág.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2009. Guía para la descripción de suelos. Roma. 99 pág.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2018. Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales. Bogotá, Colombia. Revisado el 29 de octubre de 2020 en línea: <http://www.fao.org/3/i8864es/I8864ES.pdf>

Peña, C. y Cardona, G. 2010. Dinámica de los Suelos Amazónicos. Procesos de degradación y alternativas para su recuperación. Instituto Sinchi. Bogotá, Colombia.

Pérez, A. 2010. Impacto de las plantaciones de eucalipto en el suelo. Universidad de la Republica Oriental. Biodiversidad. Uruguay.

Pezo, D. y Ibrahim, M. 1998. Sistemas Silvopastoriles. Módulo de Enseñanza Agroforestal N° 2. CATIE-GTZ. Costa Rica. Consultado el 25 de noviembre de 2016. Disponible en: http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4025/Sistemas_silvopastoriles.pdf;jsessionid=E94EA892B0323BA39008AA0C7BB672B0?sequence=1

Pinzón, A. y Amézquita, E. 1991. Compactación de suelos por el pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. Pasturas Tropicales. Consultado el 12 de setiembre de 2016. Disponible en: http://www.tropicalgrasslands.info/public/journals/4/Elements/DOCUMENTS/1991-vol13-rev1-2-3/Vol13_rev2_91_art4.pdf

Pizarro, D.; Vásquez, H.; Bernal, W.; Fuentes, E.; Alegre, J.; Castillo, M. y Gómez, C. 2019. Assessment of silvopasture systems in the northern Peruvian Amazon. Agroforestry Systems, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00381-9>.

Porta, J., López, M., Toquero, C. 2003. Edafología para la Agricultura y el medio ambiente. 3era edición. Mundi- prensa. Barcelona. Madrid. 929 pág.

Rodríguez, J. 2011. Efecto de las diferentes profundidades de remoción del suelo e incorporación de biomasa vegetal en el crecimiento de Guaba (*Inga edulis*) en suelos degradados de Supte San Jorge, Tingo María. Tesis para obtener el grado de Ingeniero. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 86 pág.

Rodríguez, R; Cueva, E; Giraldo, E y Sánchez, E. 2012. Geología de los cuadrángulos de Chachapoyas (13h) – boletín n° 147. INGEMMET. Revisado el 23 octubre de 2016. Disponible en: <http://es.calameo.com/read/0008201299c23009bb228>

Rojas, N. 2015. Efecto de diferentes tipos de sustratos en el crecimiento inicial de Tornillo (*Cedrelinga cateniformes* Dukee), Tingo Maria. Tesis para obtener el grado de Ingeniero. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. Revisado el 25 de octubre de 2019. Disponible en http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1050/TS_PRN_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sadeghian, S; Rivera, J y Gómez, M. 2004. Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. Consultado el 04 de noviembre de 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/agrofor1/Siavosh6.htm>

Sánchez, L., Amado, M., Criollo, P., Carvajal, T., Roa J., Cuesta, A., Conde, A. Umaña, A., Bernal, L. & Barreto, L. 2009. “El aliso (*Alnus acuminata* H.B.T.) como alternativa silvopastpril en el manejo sostenible de praderas en el trópico alto colombiano. CORPOICA. Colombia. 56 pág.

Sánchez, P., Castilla, C., Alegre, J. 1989. Grazing pressure effects on the pasture degradation process. Documento N° 42511 CIAT. 182-187 pág.

Sixto, H. Hernández, J. Ciria, P. Carrasco, E y Cañellas, I. 2010, Manual de Cultivo de *Populus* ssp. para la Producción de Biomasa con fines energéticos. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid- España. Revisado el 24 de octubre de 2019. Disponible en:

[http://www.inia.es/gcontrec/pub/Manual_de_cultivos_de_Populus_spp__\(baja_resolucion-interiores\)_1281085926750.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/Manual_de_cultivos_de_Populus_spp__(baja_resolucion-interiores)_1281085926750.pdf)

Sposito, G. 2008. *The Chemistry of Soils*. New York: Oxford University Press, Inc.

Villavicencio, R. y Chávez, S. 2000. *Aplicando el desarrollo participativo de tecnología. Manual para técnicos*. Centro IDEAS. Lima- Perú.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Análisis Estadísticos de Molinopampa.

A. Propiedades Físicas

A.1 Análisis de varianza de Densidad Aparente del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	0.103	0.103	4.919	0.02943	*
Profundidad	1	1.633	1.633	78.245	0.00000	***
Arreglo	3	0.482	0.161	7.698	0.00014	***
Época	1	0.187	0.187	8.939	0.00372	**
Sombra: Profundidad	1	0.043	0.043	2.082	0.15295	
Sombra: Arreglo	3	0.013	0.004	0.204	0.89352	
Profundidad: Arreglo	3	0.037	0.012	0.593	0.62133	
Sombra: Profundidad: Arreglo	3	0.078	0.026	1.248	0.29817	
Error	79	1.649	0.021			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Fuente: Elaboración propia

Arreglo Época Lluviosa	Promedio	Error Estándar	GL	Límite Inferior	Límite Superior
<i>Alnus acuminata</i> (AC)	1.02	0.03	79	0.98	1.11
<i>Cupressus sempervirens</i> L. (CCV)	0.98	0.03	79	0.88	1.01
<i>Pinus patula</i> (PC)	0.99	0.03	79	0.88	1.01
<i>Ceroxylon peruvianum</i> (PDP)	0.83	0.03	79	0.78	0.91

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Arreglo Época Seca	Promedio	Error Estándar	GL	Límite Inferior	Límite Superior
<i>Alnus acuminata</i> (AC)	1.13	0.03	79	1.07	1.20
<i>Cupressus sempervirens</i> L. (CCV)	1.03	0.03	79	0.97	1.10
<i>Pinus patula</i> (PC)	1.04	0.03	79	0.97	1.10
<i>Ceroxylon peruvianum</i> (PDP)	0.93	0.03	79	0.87	1.00

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

A.2 Análisis de variancia de Contenido de Humedad del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	1666.500	1666.500	8.367	0.00493	**
Profundidad	1	6114.700	6114.700	30.702	0.00000	***
Arreglo	3	6405.400	2135.100	10.720	0.00001	***
Época	1	1366.000	1366.000	6.859	0.01057	*
Sombra: Profundidad	1	49.300	49.300	0.247	0.62037	
Sombra: Arreglo	3	365.400	121.800	0.612	0.60946	
Profundidad: Arreglo	3	99.100	33.000	0.166	0.91904	
Sombra: Profundidad: Arreglo	3	463.600	154.500	0.776	0.51092	
Error	79	15734.100	199.200			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Fuente: Elaboración propia

Arreglo Época Lluviosa	Promedio	Error Estándar	GL	Límite Inferior	Límite Superior
<i>Alnus acuminata</i> (AC)	48.895	3.221	79	42.484	55.306
<i>Cupressus sempervirens</i> L. (CCV)	52.695	3.221	79	46.284	59.105
<i>Pinus patula</i> (PC)	55.666	3.221	79	49.256	62.077
<i>Ceroxylon peruvianum</i> (PDP)	70.450	3.221	79	64.040	76.861

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Arreglo Época Seca	Promedio	Error Estándar	GL	Límite Inferior	Límite Superior
<i>Alnus acuminata</i> (AC)	36.401	3.221	79	30.210	42.732
<i>Cupressus sempervirens</i> L. (CCV)	45.150	3.221	79	38.740	51.561
<i>Pinus patula</i> (PC)	48.122	3.221	79	41.711	54.533
<i>Ceroxylon peruvianum</i> (PDP)	62.906	3.221	79	56.495	69.317

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

A.3 Análisis de Varianza de Porosidad del Suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	146.260	146.260	4.920	0.0294	*
Profundidad	1	2325.950	2325.950	78.240	0.0000	***
Arreglo	3	686.310	228.770	7.695	0.0001	***
Época	1	265.740	265.740	8.939	0.0037	**
Sombra: Profundidad	1	61.880	61.880	2.082	0.1530	
Sombra: Arreglo	3	18.140	6.050	0.203	0.8938	

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Profundidad: Arreglo	3	52.870	17.620	0.593	0.6216	
Sombra: Profundidad: Arreglo	3	111.330	37.110	1.248	0.2979	
Error	79	2348.540	29.730			

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Arreglo Época Lluviosa	Promedio	Error Estándar	GL	Límite Inferior	Límite Superior
<i>Alnus acuminata</i> (AC)	60.598	1.244	79	58.122	63.075
<i>Cupressus sempervirens</i> L. (CCV)	64.338	1.244	79	61.861	66.815
<i>Pinus patula</i> (PC)	64.227	1.244	79	61.750	66.704
<i>Ceroxylon peruvianum</i> (PDP)	68.159	1.244	79	65.682	70.636

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Arreglo Época Seca	Promedio	Error Estándar	GL	Límite Inferior	Límite Superior
<i>Alnus acuminata</i> (AC)	57.271	1.244	79	54.794	59.748
<i>Cupressus sempervirens</i> L. (CCV)	61.010	1.244	79	58.534	63.487
<i>Pinus patula</i> (PC)	60.899	1.244	79	58.423	63.376
<i>Ceroxylon peruvianum</i> (PDP)	64.831	1.244	79	62.355	67.308

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

A.4 Análisis de variancia de Resistencia Mecánica del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	19.531	19.5313	17.2875	4.48E-05	***
Profundidad	5	8.091	1.6182	1.4323	0.213273	
Arreglo	3	26.984	8.9945	7.9612	4.42E-05	***
Época	1	5.147	5.1467	4.5554	0.033832	*
Sombra: Profundidad	5	2.771	0.5542	0.4905	0.783214	
Sombra: Arreglo	3	16.168	5.3895	4.7703	0.003005	**
Profundidad: Arreglo	15	12.115	0.8077	0.7149	0.768541	
Sombra: Profundidad: Arreglo	15	8.415	0.561	0.4965	0.941163	
Error	239	270.02	1.1298			
Total	287	369.242				

Fuente: Elaboración propia

B. Propiedad Químicas

B.1 Análisis de variancia de Reacción (pH) del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	0.245	0.245	0.582	0.4513	
Profundidad	1	0.439	0.439	1.041	0.3152	
Arreglo	3	23.028	7.676	18.211	0.0000	***
Sombra: Profundidad	1	0.043	0.043	0.101	0.7526	
Sombra: Arreglo	3	2.924	0.975	2.312	0.0948	.
Profundidad: Arreglo	3	0.122	0.041	0.097	0.9613	
Sombra: Profundidad: Arreglo	3	0.516	0.172	0.408	0.7480	
Error	32	13.488	0.422			
Total	47	40.806				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	5.7475	12	<i>Alnus acuminata</i> (AC)
A	5.4083	12	<i>Cupressus sempervirens</i> L. (CCV)
B	4.4942	12	<i>Pinus patula</i> (PC)
B	4.0175	12	<i>Ceroxylon peruvianum</i> (PDP)

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad
A	5.0125	24	15-30 cm
A	4.8213	24	0-15 cm

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Ubicación
A	4.9883	24	Fuera de la copa del Árbol
A	4.8454	24	Bajo la copa del árbol

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

B.2 Análisis de variancia de Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	138.180	138.180	2.254	0.143114	
Profundidad	1	634.820	634.820	10.353	0.002957	**
Arreglo	3	182.400	60.800	0.992	0.409215	
Sombra: Profundidad	1	13.150	13.150	0.214	0.646474	
Sombra: Arreglo	3	279.580	93.190	1.520	0.228182	
Profundidad: Arreglo	3	52.670	17.560	0.286	0.834899	
Sombra: Profundidad: Arreglo	3	54.930	18.310	0.299	0.826115	
Error	32	1962.100	61.320			
Total	47	3317.830				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	37.173	12	<i>Ceroxylon peruvianum</i> (Pona)
A	33.667	12	<i>Cupressus sempervirens</i> L. (Ciprés)
A	33.453	12	<i>Alnus acuminata</i> (Áliso)
A	31.827	12	<i>Pinus patula</i> (Pino)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad
A	37.667	24	0-15 cm
B	30.393	24	15-30 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Ubicación
A	35.727	24	Fuera de la copa del Árbol
A	32.333	24	Bajo la copa del árbol

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

B.3 Análisis de variancia de Materia Orgánica del Suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	12.100	12.100	1.129	0.2960	
Profundidad	1	1169.600	1169.600	109.092	0.0000	***
Arreglo	3	60.460	20.150	1.880	0.1528	

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra: Profundidad	1	0.920	0.920	0.086	0.7716	
Sombra: Arreglo	3	14.150	4.720	0.440	0.7259	
Profundidad: Arreglo	3	16.120	5.370	0.501	0.6842	
Sombra: Profundidad: Arreglo	3	3.170	1.060	0.099	0.9602	
Error	32	343.080	10.720			
Total	47	1619.600				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	9.935	12	<i>Pinus patula</i> (Pino)
B	9.513	12	<i>Ceroxylon peruvianum</i> (Pona)
B	8.083	12	<i>Cupressus sempervirens</i> L. (Ciprés)
B	7.126	12	<i>Alnus acuminata</i> (Áliso)

P<0.05, según la prueba de Tukey
Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad
A	13.600	24	0-15 cm
B	3.728	24	15-30 cm

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes
P<0.05, según la prueba de Tukey
Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Ubicación
A	9.166	24	Fuera de los árboles
A	8.162	24	Bajo la copa de los árboles

P<0.05, según la prueba de Tukey
Fuente: Elaboración propia

B.4 Análisis de variancia de Fósforo Disponible del Suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	90.610	90.613	1.420	0.2423	
Profundidad	1	29.060	29.063	0.455	0.5047	
Arreglo	3	757.450	252.483	3.955	0.0166	*
Sombra: Profundidad	1	1.780	1.783	0.028	0.8683	
Sombra: Arreglo	3	100.880	33.626	0.527	0.6671	
Profundidad: Arreglo	3	23.100	7.699	0.121	0.9473	
Sombra: Profundidad: Arreglo	3	27.350	9.115	0.143	0.9335	

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Error	32	2042.730	63.835			
Total	47	3072.960				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	11.571	12	<i>Cupressus sempervirens</i> L. (Ciprés)
B	8.858	12	<i>Alnus acuminata</i> (Áliso)
B	2.675	12	<i>Pinus patula</i> (Pino)
B	2.342	12	<i>Ceroxylon peruvianum</i> (Pona)

P<0.05, según la prueba de Tukey
Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad
A	7.14	24	0-15 cm
A	5.583	24	15-30 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey
Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Ubicación
A	7.735	24	Fuera de los árboles
A	4.988	24	Bajo la copa de los árboles

P<0.05, según la prueba de Tukey
Fuente: Elaboración propia

B.5 Análisis de variancia de Potasio Disponible del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	9633.000	9633.000	0.784	0.38252	
Profundidad	1	118803.000	118803.000	9.669	0.00392	**
Arreglo	3	205332.000	68444.000	5.570	0.00343	**
Sombra: Profundidad	1	1083.000	1083.000	0.088	0.76847	
Sombra: Arreglo	3	38425.000	12808.000	1.042	0.38713	
Profundidad: Arreglo	3	21731.000	7244.000	0.590	0.62635	
Sombra: Profundidad: Arreglo	3	4926.000	1642.000	0.134	0.93931	
Error	32	393195.000	12287.000			
Total	47	793128				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	327.83	12	<i>Cupressus sempervirens</i> L. (Ciprés)
B A	246.83	12	<i>Alnus acuminata</i> (Áliso)
B	208.17	12	<i>Ceroxylon peruvianum</i> (Pona)
B	147.50	12	<i>Pinus patula</i> (Pino)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad
A	282.33	24	0-15 cm
B	182.83	24	15-30 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Ubicación
A	246.75	24	Bajo la copa de los árboles
A	218.42	24	Fuera la copa de los árboles

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

B.6 Análisis de variancia de Aluminio Hidrógeno del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	2.710	2.708	0.167	0.68512	
Profundidad	1	89.650	89.653	5.544	0.02484	*
Arreglo	3	712.010	237.336	14.678	3.48E-06	***
Sombra: Profundidad	1	0.040	0.041	0.003	0.96023	
Sombra: Arreglo	3	8.840	2.947	0.182	0.90767	
Profundidad: Arreglo	3	23.400	7.801	0.482	0.69684	
Sombra: Profundidad: Arreglo	3	21.090	7.031	0.435	0.72954	
Error	32	517.440	16.170			
Total	47	1375.18				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	11.017	12	<i>Ceroxylon peruvianum</i> (Pona)
B	4.45	12	<i>Pinus patula</i> (Pino)
B	2.675	12	<i>Cupressus sempervirens</i> L. (Ciprés)
B	0.792	12	<i>Alnus acuminata</i> (Áliso)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad
A	6.100	24	15-30 cm
B	3.367	24	0-15 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey
Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Ubicación
A	4.971	24	Bajo la copa de los árboles
A	4.496	24	Fuera la copa de los árboles

P<0.05, según la prueba de Tukey
Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Análisis Estadísticos de Rodríguez de Mendoza.

A. Propiedades Físicas

A.1 Análisis de variancia de Densidad Aparente del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	0.046	0.046	1.273	0.26370	
Profundidad	1	0.847	0.847	23.486	0.00001	***
Arreglo	2	0.005	0.003	0.073	0.93007	
Época	1	0.585	0.585	16.201	0.00016	***
Sombra:						
Profundidad	1	0.026	0.026	0.712	0.40222	
Sombra: Arreglo	2	0.049	0.025	0.683	0.50901	
Profundidad:						
Arreglo	2	0.004	0.002	0.053	0.94861	
Sombra:						
Profundidad:	2	0.005	0.003	0.070	0.93226	
Arreglo						
Error	59	2.129	0.036			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Arreglo de Época Lluviosa	Promedio	Error Estándar	GL	Límite Inferior	Límite Superior
<i>Populus alba</i> (Álamo) ADP	1.00	0.04	59	0.907	1.087
<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto) ECV	1.01	0.04	59	0.921	1.100
<i>Inga edulis</i> (Guaba) GCV	1.02	0.04	59	0.928	1.107

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo de Época Lluviosa
A	1.089	12	<i>Populus alba</i> (Álamo)
A	1.026	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo de Época Lluviosa
A	1.010	12	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad de Época Lluviosa
A	1.15739	18	15-30
B	0.85935	18	0-15

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Arreglo de Época Seca	Promedio	Error Estándar	GL	Límite Inferior	Límite Superior
<i>Populus alba</i> (Álamo) ADP	1.09	0.04	59	1.088	1.267
<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto) ECV	1.25	0.04	59	1.101	1.280
<i>Inga edulis</i> (Guaba) GCV	1.23	0.04	59	1.108	1.287

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo de Época Seca
A	1.250	11	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)
A	1.229	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)
B	1.086	12	<i>Populus alba</i> (Álamo)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad Época Seca
A	1.255	17	15-30 cm
B	1.121	18	0-15 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

A.2 Análisis de variancia del Contenido de Humedad del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	1116.700	1116.700	5.025	0.02877	*
Profundidad	1	3918.200	3918.200	17.630	0.00009	***
Arreglo	2	98.700	49.400	0.222	0.80150	
Época	1	7315.600	7315.600	32.917	0.00000	***
Sombra: Profundidad	1	70.600	70.600	0.318	0.57522	
Sombra: Arreglo	2	263.300	131.700	0.592	0.55625	
Profundidad: Arreglo	2	107.600	53.800	0.242	0.78574	

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra: Profundidad: Arreglo	2	47.900	23.900	0.108	0.89806	
Error	59	13112.400	222.200			

Fuente: Elaboración propia

Arreglo Época Lluviosa	Promedio	Error Estándar	GL	Límite Inferior	Límite Superior
ADP	58.08	3.51	59	51.050	65.112
ECV	59.46	3.51	59	52.431	66.493
GCV	60.95	3.51	59	53.918	67.980

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo Época Lluviosa
A	59.46	12	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)
A	60.95	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)
A	58.08	12	<i>Populus alba</i> (Álamo)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad Época Lluviosa
A	71.139	18	0-15 cm
B	47.857	18	15-30 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Arreglo Época Seca	Promedio	Error Estándar	GL	Límite Inferior	Límite Superior
<i>Populus alba</i> (Álamo) ADP	37.92	3.51	59	30.890	44.952
<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto) ECV	39.30	3.51	59	32.271	46.334
<i>Inga edulis</i> (Guaba) GCV	40.79	3.51	59	33.758	47.820

P<0.05

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo Época Seca
A	37.92	11	<i>Populus alba</i> (Álamo)
A	40.79	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)
A	39.30	12	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad Época Seca
A	42.450	18	0-15 cm
A	36.003	17	15-30 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey
Fuente: Elaboración propia

A.3 Análisis de variancia de Porosidad del Suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	65.430	65.430	1.273	0.26370	
Profundidad	1	1206.730	1206.730	23.486	0.00001	***
Arreglo	2	7.460	3.730	0.073	0.93007	
Época	1	832.420	832.420	16.201	0.00016	***
Sombra: Profundidad	1	36.580	36.580	0.712	0.40222	
Sombra: Arreglo	2	70.190	35.100	0.683	0.50901	
Profundidad: Arreglo	2	5.430	2.710	0.053	0.94861	
Sombra: Profundidad: Arreglo	2	7.220	3.610	0.070	0.93226	
Error	59	3031.480	51.380			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Arreglo Época Lluviosa	Promedio	Error Estándar	GL	Límite Inferior	Límite Superior
<i>Populus alba</i> (Álamo)	62.38	1.69	59	58.996	65.758
<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)					
ECV	61.87	1.69	59	58.486	65.247
<i>Inga edulis</i> (Guaba) GCV	61.60	1.69	59	58.221	64.982

P<0.05

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad Época Lluviosa
A	81.669	18	0-15 cm
B	56.325	18	15-30 cm

P<0.05, según la prueba de tukey

Fuente: Elaboración propia

Arreglo Época Seca	Promedio	Error Estándar	GL	Límite Inferior	Límite Superior
<i>Populus alba</i> (Álamo) ADP	55.58	1.69	59	52.196	58.957
<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)					
ECV	55.07	1.69	59	51.685	58.447
<i>Inga edulis</i> (Guaba) GCV	54.80	1.69	59	51.421	58.182

P<0.05

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad Época Seca
A	57.712	18	0-15 cm
B	52.584	18	15-30 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

A.4 Análisis de variancia de Resistencia Mecánica del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	11.003	11.003	24.3058	1.87E-06	***
Profundidad	5	2.373	0.475	1.0484	0.3908	
Arreglo	2	19.758	9.879	21.8231	3.30E-09	***
Época	1	56.273	56.273	124.3134	< 2.2e-16	***
Sombra: Profundidad	5	0.315	0.063	0.1392	0.9829	
Sombra: Arreglo	2	11.741	5.871	12.9688	5.50E-06	***
Profundidad: Arreglo	10	0.746	0.075	0.1648	0.9983	
Sombra: Profundidad: Arreglo	10	1.227	0.123	0.2712	0.9867	
Error	179	81.029	0.453			
Total	215	184.465				

Fuente: Elaboración propia

B. Propiedad Químicas

B.1 Análisis de variancia de Reacción del suelo (pH)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	0.645	0.645	1.152	0.29385	
Profundidad	1	0.009	0.009	0.016	0.90181	
Arreglo	2	3.454	1.727	3.082	0.06435	.
Sombra: Profundidad	1	0.034	0.034	0.060	0.8086	
Sombra: Arreglo	2	4.292	2.146	3.830	0.03601	*
Profundidad: Arreglo	2	0.489	0.244	0.436	0.65148	
Sombra: Profundidad: Arreglo	2	0.334	0.167	0.298	0.74506	
Error	24	13.448	0.560			
Total	35	22.704				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	6.214	12	<i>Populus alba</i> (Álamo)

Tukey Agrupamiento		Media	N	Arreglo
B	A	5.857	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)
B		5.456	12	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)

P<0.05, según la prueba de Tukey
Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento		Media	N	Profundidad
	A	5.8578	18	15-30 cm
	A	5.8267	18	0-15 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey
Fuente: Elaboración propia

B.2 Análisis de variancia de Materia Orgánica del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	9.810	9.810	0.589	0.4502	
Profundidad	1	596.580	596.580	35.849	0.0000	***
Arreglo	2	150.940	75.470	4.535	0.0214	*
Sombra: Profundidad	1	0.070	0.070	0.004	0.9475	
Sombra: Arreglo	2	3.530	1.770	0.106	0.8997	
Profundidad: Arreglo	2	80.960	40.480	2.432	0.1092	
Sombra: Profundidad: Arreglo	2	0.510	0.260	0.015	0.9847	
Error	24	399.390	16.640			
Total	35	1241.790				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento		Media	N	Arreglo
	A	10.168	12	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)
B	A	7.263	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)
B		5.175	12	<i>Populus alba</i> (Álamo)

P<0.05, según la prueba de Tukey
Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento		Media	N	Profundidad
	A	11.606	18	0-15 cm
	B	3.464	18	15-30 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey
Fuente: Elaboración propia

B.3 Análisis de variancia de Fósforo Disponible del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	176.000	176.000	0.745	0.3966	
Profundidad	1	156.200	156.250	0.662	0.424	
Arreglo	2	521.800	260.900	1.105	0.3476	
Sombra: Profundidad	1	168.100	168.130	0.712	0.4072	
Sombra: Arreglo	2	901.800	450.880	1.909	0.1701	
Profundidad: Arreglo	2	305.400	152.680	0.646	0.5328	
Sombra: Profundidad: Arreglo	2	25.300	12.660	0.054	0.9479	
Error	24	5668.900	236.200			
Total	35	7923.500				

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	16.358	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)
A	15.817	12	<i>Populus alba</i> (Álamo)
A	8.025	12	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad
A	15.483	18	0-15 cm
A	11.317	18	15-30 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

B.4 Análisis de variancia de Potasio Disponible del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	6267	6267	1.726	0.2014	
Profundidad	1	86534	86534	23.828	0.0001	***
Arreglo	2	142463	71231	19.614	0.0000	***
Sombra: Profundidad	1	1332	1332	0.367	0.5504	
Sombra: Arreglo	2	6413	3207	0.883	0.4266	
Profundidad: Arreglo	2	6237	3119	0.859	0.4363	
Sombra: Profundidad: Arreglo	2	6561	3281	0.903	0.4185	
Error	24	87158	3632			
Total	35	342965				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	272.36	12	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)
B	149.08	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)
B	114.50	12	<i>Populus alba</i> (Álamo)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

B.5 Análisis de variancia de Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	61.470	61.470	1.077	0.3098	
Profundidad	1	443.800	443.800	7.775	0.0102	*
Arreglo	2	1722.860	861.430	15.091	0.0001	***
Sombra: Profundidad	1	12.390	12.390	0.217	0.6455	
Sombra: Arreglo	2	4.250	2.130	0.037	0.9635	
Profundidad: Arreglo	2	6.130	3.060	0.054	0.9478	
Sombra: Profundidad: Arreglo	2	47.960	23.980	0.420	0.6617	
Error	24	1369.960	57.080			
Total	35	3668.820				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	35.720	12	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)
B	22.587	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)
B	19.880	12	<i>Populus alba</i> (Álamo)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad
A	29.573	18	0-15
B	22.551	18	15-30

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Análisis Estadísticos de Soritor

A. Propiedades Físicas

A.1 Análisis de variancia de Densidad Aparente del suelo

Fuente (0-15 cm)	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	0.008	0.008	0.306	0.591	
Arreglo	2	0.069	0.035	1.408	0.282	
Sombra: Arreglo	2	0.011	0.005	0.220	0.806	
Error	12	0.295	0.025			

Fuente: Elaboración propia

Fuente (15- 30 cm)	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	0.001	0.001	0.036	0.853	
Arreglo	2	0.009	0.004	0.178	0.840	
Sombra: Arreglo	2	0.018	0.009	0.358	0.706	
Error	12	0.296	0.025			

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	1.36759	12	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)
A	1.29924	12	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Tornillo)
A	1.27574	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

A.2 Análisis de variancia de Contenido de Humedad del suelo

Fuente (0-15 cm)	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	162.730	162.727	1.263	0.283	
Arreglo	2	451.170	225.583	1.751	0.215	
Sombra: Arreglo	2	70.040	35.022	0.272	0.767	
Error	12	1546.330	128.861			

Fuente: Elaboración propia

Fuente (15-30 cm)	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	131.680	131.678	1.073	0.321	
Arreglo	2	154.170	77.085	0.628	0.550	
Sombra: Arreglo	2	199.240	99.622	0.811	0.467	
Error	12	1473.290	122.774			

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	33.209	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)
A	24.968	12	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Tornillo)
A	24.798	12	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

A.3 Análisis de variancia de Porosidad del Suelo

Fuente (0-15 cm)	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	10.700	10.699	0.306	0.591	
Arreglo	2	98.570	49.286	1.408	0.282	
Sombra: Arreglo	2	15.380	7.692	0.220	0.806	
Error	12	420.050	35.004			

Fuente: Elaboración propia

Fuente (15-30 cm)	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	1.260	1.256	0.036	0.853	
Arreglo	2	12.480	6.239	0.178	0.840	
Sombra: Arreglo	2	25.160	12.582	0.358	0.706	
Error	12	421.650	35.138			

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	51.859	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)
A	50.972	12	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Tornillo)
A	48.393	12	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad
A	52.738	18	0-15 cm
B	48.078	18	15-30 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Ubicación
A	50.925	18	Bajo la copa de los árboles
A	49.890	18	Fuera la copa de los árboles

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

A.4 Análisis de variancia de Resistencia Mecánica del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	21.7800	21.7801	21.4572	1.57E-05	***
Profundidad	5	10.9420	2.1884	2.1560	0.06844	.
Arreglo	2	33.9070	16.9537	16.7024	1.10E-06	***
Sombra: Profundidad	5	3.4210	0.6843	0.6741	0.64438	
Sombra: Arreglo	2	2.1160	1.0579	1.0422	0.35794	
Profundidad: Arreglo	10	9.6200	0.9620	0.9478	0.49582	
Sombra: Profundidad: Arreglo	10	3.8700	0.3870	0.3813	0.95096	
Error	72	73.0830	1.0150			
Total	107	158.7390				

Fuente: Elaboración propia

B. Propiedad Químicas

B.1 Análisis de variancia de Reacción (pH) del Suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	0.893	0.893	5.414	0.02874	*
Profundidad	1	0.000	0.000	0.001	0.97084	
Arreglo	2	5.401	2.701	16.372	0.00003	***
Sombra: Profundidad	1	0.001	0.001	0.005	0.94496	
Sombra: Arreglo	2	0.498	0.249	1.509	0.24144	
Profundidad: Arreglo	2	0.128	0.064	0.387	0.68356	
Sombra: Profundidad: Arreglo	2	0.059	0.030	0.179	0.83708	
Error	24	3.959	0.165			
Total	35	10.938				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	5.322	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)
B	4.776	12	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)
C	4.377	12	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Tornillo)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad
A	4.8272	18	0-15 cm
A	4.8222	18	15-30 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Ubicación
A	4.9822	18	Fuera la copa de los árboles
B	4.6672	18	Bajo la copa de los árboles

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

B.2 Análisis de Variancia de Materia orgánica del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	0.297	0.297	0.121	0.7308	
Profundidad	1	60.14	60.14	24.531	0.0000	***
Arreglo	2	0.668	0.334	0.136	0.8733	
Sombra: Profundidad	1	0.003	0.003	0.001	0.9739	
Sombra: Arreglo	2	0.334	0.167	0.068	0.9344	
Profundidad: Arreglo	2	3.682	1.841	0.751	0.4827	
Sombra: Profundidad: Arreglo	2	1.561	0.781	0.318	0.7303	
Error	24	58.839	2.452			
Total	35	125.524				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

P<0.05

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	3.155	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)
A	3.047	12	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Tornillo)
A	2.828	12	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad
A	4.302	18	0-15 cm
B	1.717	18	15-30 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Ubicación
A	3.1006	18	Fuera la copa de los árboles
A	2.9189	18	Bajo la copa de los árboles

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

B.3 Análisis de Varianza de Fósforo Disponible del Suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	0.010	0.010	0.013	0.9090	
Profundidad	1	10.028	10.028	13.375	0.0012	**
Arreglo	2	24.404	12.202	16.275	0.0000	***
Sombra: Profundidad	1	0.000	0.000	0.000	1.0000	
Sombra: Arreglo	2	2.752	1.376	1.835	0.1813	
Profundidad: Arreglo	2	5.557	2.779	3.706	0.0396	*
Sombra: Profundidad: Arreglo	2	0.465	0.233	0.310	0.7363	
Error	24	17.993	0.750			
Total	35	61.209				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

P<0.05

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	2.858	12	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Tornillo)
B	1.867	12	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)
C	0.842	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad
A	2.3833	18	0-15 cm
B	1.3278	18	15-30 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Ubicación
A	1.872	18	Bajo la copa de los árboles
A	1.839	18	Fuera la copa de los árboles

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

B.4 Análisis de variancia de Potasio Disponible del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1	14925.000	14925.000	2.121	0.15822	
Profundidad	1	17556.000	17556.000	2.495	0.12727	
Arreglo	2	86075.000	43038.000	6.117	0.00713	**
Sombra: Profundidad	1	6162.000	6162.000	0.876	0.35865	
Sombra: Arreglo	2	27852.000	13926.000	1.979	0.16007	

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Profundidad: Arreglo	2	14716.000	7358.000	1.046	0.36688	
Sombra: Profundidad: Arreglo	2	19451.000	9726.000	1.382	0.27026	
Error	24	168851.000	7035.000			
Total	35	355588.000				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

P<0.05

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	160.5	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)
B	66.17	12	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)
B	49.42	12	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Tornillo)

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad
A	114.11	18	0-15 cm
A	69.94	18	15-30 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Ubicación
A	112.39	18	Fuera la copa de los árboles
A	71.67	18	Bajo la copa de los árboles

P<0.05, según la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

B.5 Análisis de variancia de Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Probabilidad (>F)	Significancia
Sombra	1.000	68.780	68.780	1.033	0.3196	
Profundidad	1.000	1.720	1.720	0.026	0.8735	
Arreglo	2.000	2449.240	1224.620	18.390	0.0000	***
Sombra: Profundidad	1.000	0.010	0.010	0.000	0.9923	
Sombra: Arreglo	2.000	7.310	3.660	0.055	0.9467	
Profundidad: Arreglo	2.000	34.910	17.460	0.262	0.7716	
Sombra: Profundidad: Arreglo	2.000	9.020	4.510	0.068	0.9347	
Error	24.000	1598.200	66.590			
Total	35	4169.19				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Arreglo
A	27.813	12	<i>Inga edulis</i> (Guaba)
B	10.707	12	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Tornillo)
B	9.950	12	<i>Eucalyptus torrelliana</i> (Eucalipto)

P<0.05, según la prueba de Tukey
 Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Profundidad
A	16.376	18	15-30 cm
A	15.938	18	0-15 cm

P<0.05, según la prueba de Tukey
 Fuente: Elaboración propia

Tukey Agrupamiento	Media	N	Ubicación
A	17.539	18	Bajo la copa de los árboles
A	14.774	18	Fuera la copa de los árboles

P<0.05, según la prueba de Tukey
 Fuente: Elaboración propia

Anexo 4. Ubicación de los puntos de muestreos Molinopampa.

Fecha de Muestreo	N° Calicata	Este	Norte	Altitud (msnm)	Zona de Muestreo
21/02/2017	DI1	216 661	9 305 278	2 193	Bajo Sombra
21/02/2017	DI2	216 656	9 305 237	2 192	Campo abierto
21/02/2017	DII3	216 424	9 305 406	2 199	Bajo Sombra
21/02/2017	DII4	216 430	9 305 410	2 199	Entre callejones
21/02/2017	DII5	216 427	9 305 405	2 194	Campo abierto
21/02/2017	JM6	216 253	9 305 703	2 241	Bajo Sombra
21/02/2017	JM7	216 283	9 305 723	2 240	Campo abierto
27/02/2017	TH8	209 832	9 311 463	2 474	Bajo Sombra
27/02/2017	TH9	209 848	9 311 563	2 454	Campo abierto
27/02/2117	PV10	210 901	9 311 074	2 446	Bajo Sombra
27/02/2117	PV11	210 939	9 311 077	2 446	Campo abierto
27/02/2117	TH12	210 482	9 310 940	2 455	Bajo Sombra
27/02/2117	TH13	210 449	9 310 920	2 456	Campo abierto
27/02/2017	IE14	204 004	9 313 036	2 442	Bajo Sombra
27/02/2017	IE15	204 048	9 313 069	2 434	Campo abierto
28/02/2017	JC16	215 447	9 308 765	2 387	Bajo Sombra
28/02/2017	JC17	215 395	9 308 714	2 381	Campo abierto
28/02/2017	PG18	215 229	9 308 691	2 416	Bajo Sombra
28/02/2017	PG19	215 207	9 308 631	2 417	Campo abierto

Fecha de Muestreo	N° Calicata	Este	Norte	Altitud (msnm)	Zona de Muestreo
28/02/2017	PG20	215 162	9308 607	2 424	Bajo Sombra
28/02/2017	PG21	215 191	9 308 612	2 418	Campo abierto
28/02/2017	EZ22	214 715	9 308 937	2 483	Bajo Sombra
28/02/2017	EZ23	214 686	9 308 940	2 490	Campo abierto
28/02/2017	JM24	214 749	9 309 182	2 485	Bajo Sombra
28/02/2017	JM25	214 739	9 309 191	2 490	Campo abierto

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5. Ubicación de los puntos de muestreos – Valle de Huayabamba (Rodríguez de Mendoza)

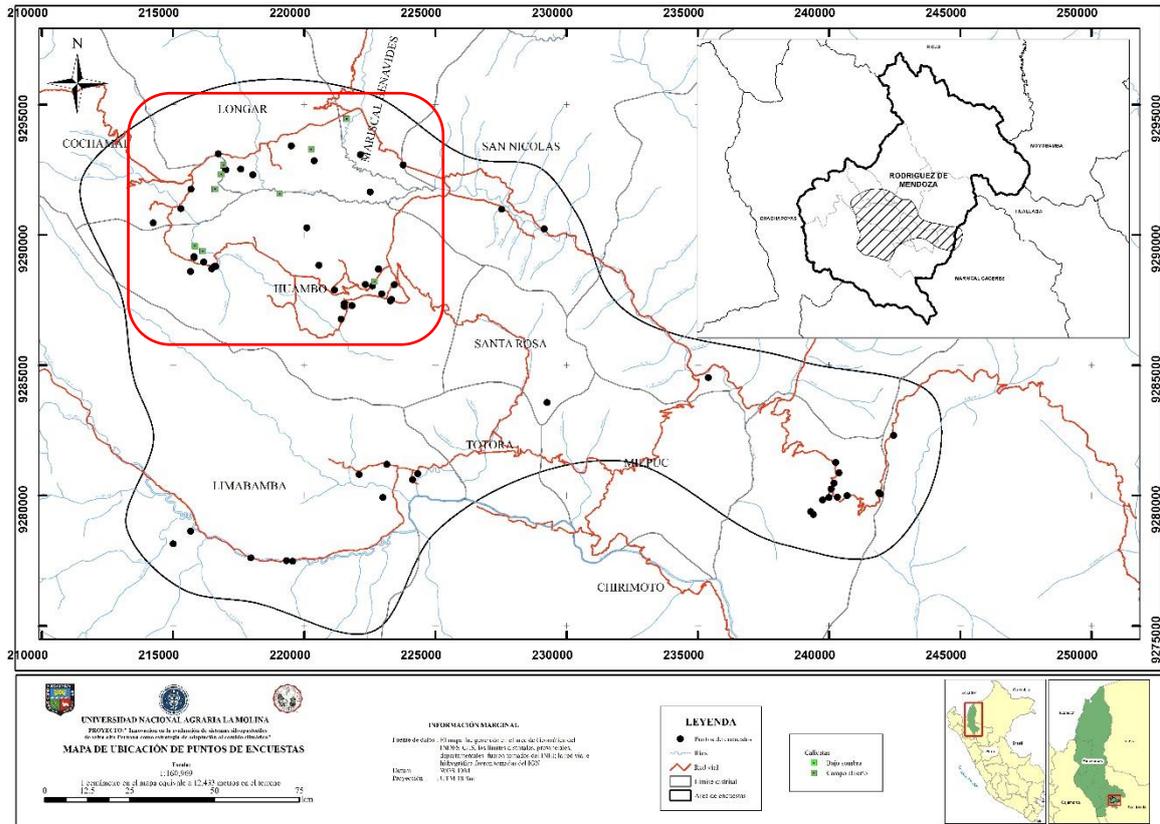
Fecha de muestreo	N° Calicata	Este	Norte	Altitud (msnm)	Zona de muestreo
22/02/2017	WR1	216 921	9 292 678	1 586	Bajo sombra
22/02/2017	WR2	216 929	9 292 680	1 586	Campo abierto
23/02/2017	MR3	220 261	9 293 284	1 571	Bajo sombra
23/02/2017	MR4	220 262	9 293 292	1 569	Campo abierto
23/02/2017	MA5	222 688	9 288 220	1 562	Bajo sombra
23/02/2017	MA6	222 687	9 288 214	1 564	Campo abierto
24/02/2017	CV7	219 074	9 291 578	1 566	Bajo sombra
24/02/2017	CV8	219 072	9 291 581	1 562	Campo abierto
24/02/2017	WR9	216 593	9 291 762	1 565	Bajo sombra
24/02/2017	WR10	216 603	9 291 761	1 567	Campo abierto
24/02/2017	MQ11	216 836	9 292 324	1 576	Bajo sombra
24/02/2017	MQ12	216 848	9 292 323	1 579	Campo abierto
24/02/2017	AT13	215 851	9 289 562	1 575	Bajo sombra
24/02/2017	AT14	215 826	9 289 583	1 575	Campo abierto
25/02/2017	PV15	216 134	9 289 381	1 570	Bajo sombra
25/02/2017	PV16	216 136	9 289 383	1 570	Campo abierto
25/02/2017	FF17	221 618	9 294 468	1 572	Bajo sombra
25/02/2017	FF18	221 621	9 294 451	1 573	Campo abierto

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6. Ubicación de los puntos de muestreos – Moyobamba (Soritor)

Fecha de muestreo	N° Calicata	Este	Norte	Altitud (msnm)	Zona de muestreo
14/08/2017	DA1	266 268	9 313 316	938.4	Bajo sombra
14/08/2017	DA2	266 217	9 313 356	926.5	Campo abierto
15/08/2017	JS3	265 540	9 313 112	923.2	Bajo sombra
15/08/2017	JS4	265 499	9 313 114	932.1	Campo abierto
15/08/2017	AG5	265 557	9 316 294	903	Bajo sombra
15/08/2017	AG6	265 545	9 316 290	899.7	Campo abierto
15/08/2017	CM7	268 230	9 322 204	889.6	Bajo sombra

Anexo 8. Mapa de Ubicación de puntos de muestreo en Huayabamba (Rodríguez de Mendoza)



Fuente: Elaborado por UNTRM

Anexo 10. Panel fotográfico de los puntos de evaluación



a. Punto de muestreo del SS Aliso en callejones



b. Punto de muestreo del SS Ciprés en cerca viva



c. Punto de muestreo del SS Guaba en cerca viva



d. Punto de muestreo del SS Pino en callejones



e. Resistencia mecánica



f. Pesado de las muestras



g. Secado de las muestras



h. Toma de muestra para Da