

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO EN ÁREAS DE PASTOREO
LIBRE DE VARIAS EDADES DEL FUNDO RUIZ EN CODO DEL POZUZO

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

ABAD PRINCIPE, ROBER MILER

Asesor

Dr. FLORIDA ROFNER, NELINO

Tingo María – Perú

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO EN ÁREAS DE PASTOREO
LIBRE DE VARIAS EDADES DEL FUNDO RUIZ EN CODO DEL POZUZO

Autor : ABAD PRINCIPE, Rober Miler

Asesor : Dr. FLORIDA ROFNER, Nelino

Programa de investigación: Manejo y Conservación de Suelos

Líneas de investigación : Ciencias básicas del Suelo

Eje temático : Fundo Ruiz-Codo del Pozuzo

Lugar de ejecución : Pendencia y Tulumayo

Duración : 6 meses

Financiamiento : S/. 10 776,70

FEDU : No

Propio : Si

Otros : No

Tingo María – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 020-2022-FRNR-UNAS

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 31 de mayo del 2022 a horas 6:00 p. m. a través de la Sala Virtual de Conferencias Microsoft Teams de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

“PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO EN ÁREAS DE PASTOREO LIBRE DE VARIAS EDADÉS DEL FUNDO RUIZ EN CODO DEL POZUZO”

Presentado por el Bachiller: **ABAD PRINCIPE, Rober Miler**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 11 de Julio de 2022

Ing. M. Sc **JOSE LEVANO CRISOSTOMO**
PRESIDENTE

Dr. **ROBERTO OBREGON PEÑA**
MIEMBRO



Ing. M. Sc. **JOSE VICTOR QUIROZ RAMIREZ**
MIEMBRO

Dr. **NELINO FLORIDA ROFNER**
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, por todo lo bueno y malo que me ha pasado, por poner personas maravillosas en mi camino, orientarme por el buen camino, darme fuerza para seguir adelante y no desistir en los problemas que se presentaron, enseñándome a enfrentar y superar las limitaciones sin perder los buenos valores.

A mis queridos padres: Randolpho Abad Diego y Estela Príncipe Carrión por sus consejos, comprensión, amor, que me formaron como persona y permitieron lograr mis objetivos y metas. A mis hermanos Beder Príncipe Carrión, Clisman, Idelso, Marlit Leonela, Zenia Medalí, Deyler Antonio y Clisber Samir Abad Príncipe por el apoyo incondicional y porque de alguna manera me inspiraban cada día a seguir adelante, eran y son mi motor y motivo para seguir cumpliendo mis metas

A mi madrina Isabel Monsalve Gonzales quien en mi época universitaria siempre me brindarme su apoyo y me animaba cuando me sentía desanimado. También a las personas por incentivar me siempre a seguir adelante en especial a la Srta. Tec. Enf. Nancy Serna Vásquez y el Ing. Dalmacio César Laurencio Castro, por su apoyo y aportar en mi proyecto profesional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, tu amor y tu bondad no tienen fin, me permites disfrutar de todos mis logros que son resultado de tu ayuda, los obstáculos me sirven para mejorar como ser humano. La tesis ha sido una bendición en todo sentido y estaré agradecido, pues la meta está cumplida.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por haber permitido formarme, gracias a todos los docentes que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos, fueron ustedes con sus aportes, que hoy se ve reflejada en la culminación de mi paso por la universidad.

Al Dr. Nelino Florida Rofner, por el asesoramiento en la formulación del proyecto, la ejecución, redacción y sustentación de la tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Objetivo general.....	3
1.2. Objetivos específicos	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. La ganadería en el Perú.....	5
2.2. Degradación del suelo por el pastoreo libre	5
2.3. Pasto <i>Brachiaria brizantha</i>	8
2.4. Indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo.....	9
2.4.1. Textura.....	9
2.4.2. Resistencia a la penetrabilidad (Rp)	10
2.4.3. El potencial de hidrógeno (pH)	11
2.4.4. Materia orgánica (MO).....	12
2.4.5. El fósforo (P)	12
2.4.6. El potasio (K)	13
2.4.7. El calcio (Ca).....	14
2.4.8. El magnesio (Mg)	14
2.4.9. El aluminio (Al).....	15
2.4.10. La capacidad de intercambio catiónico (CIC)	16
2.5. Estado del arte.....	16
2.5.1. Antecedentes internacionales	16
2.5.2. Antecedentes nacionales.....	19
3.1. Ubicación.....	21
3.2. Características generales del área de estudio	21
3.3. Materiales y equipos	22

3.3.1. Materiales de campo	22
3.3.2. Materiales de laboratorio	22
3.3.3. Equipos de campo y laboratorio	22
3.4. Criterio y análisis del estudio	22
3.4.1. Tipo y nivel de investigación.....	22
3.4.2. Diseño de la investigación.....	22
3.5. Metodología.....	23
3.5.1. Sobre la evaluación de las áreas	23
3.5.2. Sobre las características del bosque secundario (BS).....	24
3.5.3. Sobre las características del pastizal con <i>B. brizantha</i>	24
3.5.4. Determinación de los indicadores físicos y químicos del suelo	25
3.5.5. Determinación de diferencias a través del análisis de varianza (ANOVA), comparaciones múltiples a través de HSD de Tukey y análisis de correlación de Pearson entre los indicadores evaluados.	26
3.6. Población y muestra.....	27
3.7. Variables en estudio.....	27
3.7.1. Independiente.....	27
3.7.2. Dependiente	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1. Indicadores físicos del suelo	28
4.2. Indicadores químicos del suelo.....	30
V. CONCLUSIONES	38
VI. PROPUESTAS A FUTURO	39
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
ANEXOS.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Degradación de un pastizal.	7
2. Resistencia a la penetrabilidad del suelo.....	11
3. Niveles de pH del suelo.....	11
4. Niveles de MO del suelo.	12
5. Niveles de fosforo en el suelo.	13
6. Niveles de K ⁺ en el suelo.	14
7. Niveles de Ca en el suelo.	14
8. Niveles de Mg en el suelo	15
9. Niveles de CIC del suelo.....	16
10. Descripción de los tratamientos.	23
11. Ubicación de los transectos de muestreo.	24
12. Indicadores evaluados.	25
13. Modelo del análisis de varianza.	26
14. Estadística general de los indicadores físicos del suelo.	28
15. Comparaciones múltiples HSD Tukey de los indicadores físicos	28
16. Correlación de Pearson para indicadores físicos.....	29
17. Estadística general de los indicadores químicos del suelo.....	31
18. Comparaciones múltiples HSD Tukey de los indicadores químicos	32
19. Correlación de Pearson para indicadores químicos	34
20. Análisis de varianza de la fracción arena.	47
21. Análisis post hoc del indicador arena.	47
22. Análisis de varianza de la fracción limo.	48
23. Análisis post hoc del indicador arena.	48
24. Análisis de varianza de la fracción arcilla.....	49
25. Análisis post hoc del indicador arcilla.	49

26. Análisis de varianza de la resistencia a la penetrabilidad.	50
27. Análisis post hoc del indicador Rp.	50
28. Análisis de varianza del potencial de hidrógeno.	51
29. Análisis de varianza de la materia orgánica.	51
30. Análisis post hoc de la MO.	52
31. Análisis de varianza del N.	52
32. Análisis post hoc del N.	53
33. Análisis de varianza del P.	53
34. Análisis post hoc del P.	54
35. Análisis de varianza del K.	54
36. Análisis post hoc del K.	55
37. Análisis de varianza del Ca.	55
38. Análisis post hoc del Ca.	56
39. Análisis de varianza del Mg.	56
40. Análisis post hoc del Ca.	57
41. Análisis de varianza del Al.	57
42. Análisis de varianza de la CIC.	58
43. Análisis post hoc del CIC.	58
44. Análisis de varianza de BC.	59
45. Análisis post hoc del CIC.	59
46. Análisis de varianza de AC.	60
47. Análisis post hoc del CIC.	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Producción regional a setiembre del 2021 en miles de toneladas.....	5
2. Triángulo para determinar las clases texturales.....	10
3. Localización geográfica del área de estudio, fundo Ruiz (C) Codo del Pozuzo-Puerto Inca (B) en la region Huanuco-Peru (A).....	21
4. Transectos según tratamiento para la extracción de muestras.....	23
5. Fundo Ruíz.....	61
6. Pasto Brachiaria de 40 años.....	61
7. Área de potreros y bosque secundario.....	62
8. Muestreo de suelos del fundo Ruiz.....	62
9. Lectura del Penetrómetro.....	63
10. Golpes para medir Rp.....	63
11. Reporte de Análisis de suelos (N° 1 - 8).....	64
12. Reporte de Análisis de suelos (N° 9 - 16).....	65
13. Reporte de Análisis de suelos (N° 17 - 24).....	66
14. Reporte de Análisis de suelos (N° 25 - 32).....	67
15. Reporte de Análisis de suelos (N° 33 - 40).....	68

RESUMEN

La crianza de ganado bovino es una actividad importante en Perú, extendida entre la costa, sierra y selva, con sistemas de producción diferenciados por el propósito, las condiciones edafoclimáticas y sin criterios técnicos en el manejo de las pasturas. Por ello, la investigación evaluó propiedades fisicoquímicas del suelo en áreas de pastoreo libre con diferentes edades de instalación del fundo Ruiz, en Codo del Pozuzo, región Huánuco. Investigación descriptiva comparativa-transversal, ajustada al Diseño Completo al Azar (DCA). Los tratamientos fueron: pasto *Brachiaria brizantha* de 10 años (PB10), 20 años (PB20), 30 años (PB30) y 40 años (PB40) de manejo bajo pastoreo libre y bosque secundario (BS). Se evaluaron indicadores físicos: textura, resistencia a la penetrabilidad (R_p), e indicadores químicos: pH, MO, N, P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , CIC, saturación de bases (%SB), acidez cambiante (%AC) y saturación de aluminio (%SAI). Se encontró diferencias para la fracción limo y resistencia a la penetrabilidad, este último, con tendencia de incremento en el tiempo. Los diferentes indicadores químicos evaluados presentan diferencias en la mayoría, excepto, el pH y Al^{3+} . Además, las áreas de pasturas tienen niveles fuertemente ácidos de pH, niveles bajos en K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CIC y niveles tóxicos de Al^{3+} . Se concluye que el pastoreo libre en el tiempo evidencia problemas físicos y químicos que pueden limitar la productividad de las pasturas, por un proceso de compactación, pérdida de bases cambiables e incremento de aluminio y acidez cambiante.

Palabra clave: *Brachiaria brizantha*, compactación, indicadores físicos, indicadores químicos, macronutrientes.

ABSTRACT

Cattle raising is an important activity in Peru, extended between the coast, mountains, and jungle, with production systems differentiated by purpose, edaphoclimatic conditions and without technical criteria in pasture management. Therefore, the research evaluated physicochemical properties of the soil in free grazing areas with different ages of installation of the Ruiz farm, in Codo Pozuzo, Huánuco region. Comparative-cross-sectional descriptive research, with statistical adjustment of Complete Random Design (CRD). The treatments were: *Brachiaria brizantha* grass areas of 10 years (PB10), 20 years (PB20), 30 years (PB30) and 40 years (PB40) managed under free grazing and secondary forest (BS). Physical indicators were evaluated: texture, resistance to penetrability (R_p), and chemical indicators: pH, OM, N, P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , CIC, base saturation (%BS), changeable acids (%CA) and aluminum saturation (%AIS). Differences were found for the silt fraction and resistance to penetrability, the latter with an increasing trend over time. The different chemical indicators evaluated present differences in the majority, except for pH and Al. In addition, the pasture areas have strongly acidic pH levels, low levels of K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CIC, and toxic levels of Al^{3+} . It is concluded that free grazing over time shows physical and chemical problems that can limit the productivity of pastures, due to a process of compaction, loss of exchangeable bases and increase in aluminum and exchangeable acidity.

Keywords: *Brachiaria brizantha*, compaction, physical indicators, chemical indicators, macronutrients.

I. INTRODUCCIÓN

La crianza de ganado vacuno es una actividad importante en Perú, extendida entre la costa, sierra y selva, con sistemas de producción diferenciados por el propósito y las condiciones edafoclimáticas. La población actual de vacunos alcanza una cifra de 5 599 893, con rendimiento medio de 142,16 kg Ind-1, en una extensión de pastos introducidos de 10 691 779 ha, y de pasto naturales 18 018 794 ha y 2 213 377 productores. La región Huánuco ocupa el segundo lugar en producción nacional con 22, 97 mil toneladas de ganado vacuno después de Cajamarca quien produce 24, 66 mil toneladas anuales (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego-MIDAGRI, 2021).

El desarrollo de pastos cultivados sin criterios técnicos ha mostrado crecimiento sostenido, aspecto que puede causar impactos adversos sobre la calidad del suelo y su potencial de producir forrajes altamente nutritivos para los bovinos. Por lo que, las investigaciones al respecto muestran que el pastoreo excesivo puede afectar principalmente los atributos físicos del suelo como consecuencia del pisoteo del ganado, la textura del suelo, el sistema de pastoreo, altura de manejo del pasto, cantidad de residuos vegetales y humedad del suelo, estos, pueden afectar la calidad integral de los suelos en el tiempo.

De la problemática antes expuesta se plantea el problema central a través de la interrogante ¿Cuál es el efecto del pastoreo libre de varias edades sobre propiedades fisicoquímicas de calidad del suelo en el fundo Ruiz, en Codo del Pozuzo – Puerto Inca – 2022?

La justificación teórica de la investigación se fundamenta en el potencial riesgo en la degradación o pérdida de la calidad del suelo por el pastoreo libre del ganado bovino en productores del valle del Codo del Pozuzo, tomando como caso el fundo “Ruiz”. La justificación del trabajo se fundamenta en la búsqueda de información que permita plantear alternativas de solución al potencial deterioro de la calidad del suelo en esta zona, buscando conocer técnica y científicamente los potenciales efectos del pastoreo libre sobre los indicadores de calidad del suelo y mejorar el equilibrio en los sistemas de producción de pasturas.

Los alcances de esta investigación contribuyen con nuevos conocimientos para la comunidad científica, información que es incorporada como material de enseñanza en las carreras afines a la conservación de suelos, así, aportar al conocimiento en la comunidad científica a través de la difusión en revistas científicas. Además, los nuevos conocimientos generados son alternativas que pueden ser consideradas por las instituciones que promueven la ganadería mejorada, como parte de los proyectos productivos de desarrollo alternativo en el

distrito, instituciones como: la Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas (DEVIDA), el Gobierno Regional de Huánuco (GOREHCO) y las asociaciones de ganaderos locales, etc.

En este contexto general, la investigación plantea como hipótesis “El pastoreo libre de diferentes edades, tiene efectos negativos significativos sobre propiedades fisicoquímicas de calidad del suelo del fundo Ruiz, en Codo del Pozuzo – Puerto Inca”. Los resultados permiten contrastar la hipótesis planteada, para ello, se desarrollan los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Evaluar propiedades fisicoquímicas del suelo en áreas de pastoreo libre de varias edades del fundo Ruiz, en Codo del Pozuzo.

1.2. Objetivos específicos

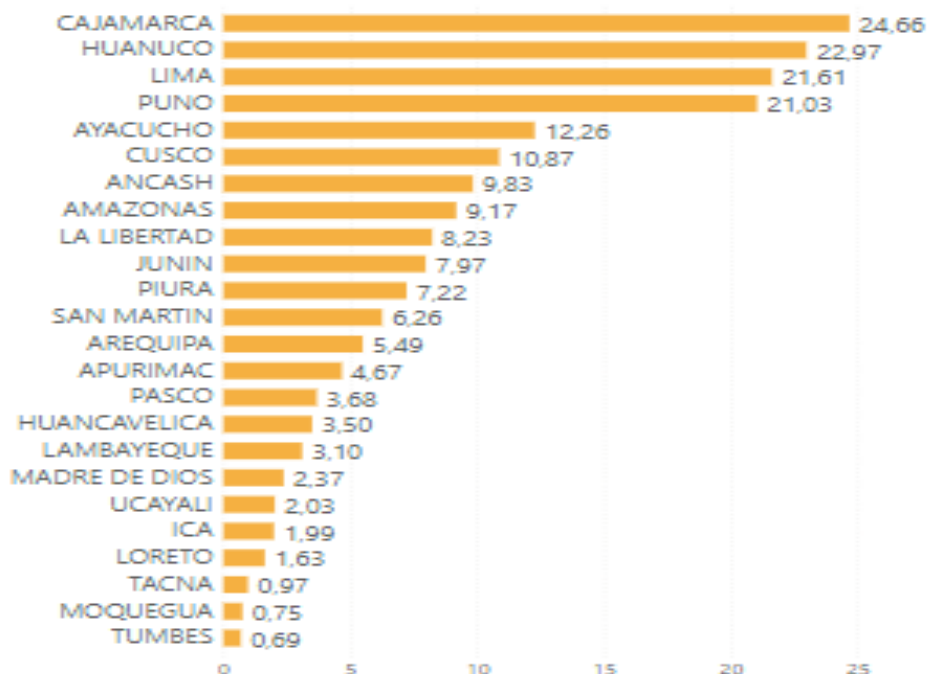
- Determinar indicadores físicos del suelo: textura y resistencia a la penetrabilidad, en áreas de pastoreo libre de varias edades del fundo Ruiz
- Determinar indicadores químicos del suelo: pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, H, Al, CIC, %SB y %AC en áreas de pastoreo libre de varias edades del fundo Ruiz
- Determinar diferencias a través del análisis de varianza (ANOVA) y las comparaciones múltiples a través de la diferencia honesta significativa (HSD) de Tukey y la relación entre los indicadores a través de la correlación de Pearson.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. La ganadería en el Perú

Es una actividad importante en el territorio peruano, extendida entre la costa, sierra y selva, con sistemas de producción diferenciados por el propósito y las condiciones edafoclimáticas. El 2020 la actividad pecuaria creció en 0,95 %, el crecimiento de la actividad pecuaria se produjo por incrementos en la producción de: ave de corral 2 %, leche fresca 1,47 %, huevos 1,85 % y cerdos en 2,35 %. Sin embargo, decreció para vacunos en -3,78 % (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2020).

La ganadería orientada a la producción de leche fresca si muestra un crecimiento de 1,47 %, destacando regiones como Cajamarca en 2,36 %, Arequipa 1,50 %, Lima 0,93 %, Puno 0,99 % y La Libertad 3,32 %, que en total aportaron el 63% de la producción peruana. Además, la población de vacunos en Perú alcanza al primer semestre del 2021 una población de 5 599 893, con rendimiento medio de 142,16 kg Ind-1, en una extensión de pastos introducidos de 10 691 779 ha, y de pasto naturales 18 018 794 ha y 2 213 377 productores (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2021).



Fuente: MIDAGRI (2021)

Figura 1. Producción regional a setiembre del 2021 en miles de toneladas.

2.2. Degradación del suelo por el pastoreo libre

Un pastizal degradado se considera a un área con cobertura de alguna especie de forrajes que presente algún grado de: aparición de plantas no deseadas, compactación de suelo, erosión

del suelo, pérdida de la calidad, cobertura del forraje y disminución en el rendimiento del ganado (Escalante, 2015). Además, un aspecto importante relacionado al deterioro en la calidad fisicoquímica del suelo es la degradación de los pastos y la reducción de su capacidad nutricional que puede estar asociado con varios factores, incluidas las clases de suelo, su manejo, especies forrajeras y condiciones climáticas. Así, los estudios para determinar cambios físicos y químicos en suelos bajo pastizales, después de la remoción de la vegetación original para el establecimiento de pastos, resultan de importancia para este sector (Cervelati et al., 2011).

Padilla et al. (2009) señala que el pastoreo libre en pastizales conduce a la pérdida del potencial productivo natural de los suelos, este proceso de degradación del recurso suelo genera cambios negativos en la productividad del bovino y genera pérdidas económicas. Según este mismo autor, las causas de la degradación son atribuidos: a) el uso indiscriminado de la quema, que puede afectar al forraje como al propio suelo, ya que elimina toda la cobertura y deja al suelo desprotegido hasta que rebrotan las hojas del forraje; esta acción puede impedir el retorno de la materia orgánica, exponer el suelo a la erosión y promover la compactación del suelo, b) las fuertes lluvias en el trópico durante períodos cortos en áreas sin coberturas también generan pérdida de la fertilidad del suelo por erosión, lixiviación y procesos de compactación.

Padilla et al. (2009) propone algunos indicadores, para considerar que un pastizal está en proceso de degradación: a) disminución de la cobertura del forraje principal, b) pequeño número de plantas invasoras, c) baja productividad y calidad del forraje, d) presencia de malezas, e) procesos erosivos por el clima y f) propagación de malezas y presencia de gramíneas nativas. Además, la Tabla 1, muestra los niveles de degradación al que puede alcanzar un pastizal.

Las mejores prácticas agropastoriles se considera que contribuyen a sistemas sostenibles debido a reducción de la perturbación del suelo y las plantas nativas, lo que resulta en retención de diversas especies de plantas que contribuyen a una alta producción primaria. Sin embargo, algunos productos agropastoriles prácticas, como mantener grandes rebaños de ganado dentro una pequeña área de pastoreo ejerce una alta presión de pastoreo en la planta especies y suelo (Kabana et al., 2021). Esta tendencia se observa principalmente en cultivos donde se adopta el sistema de integración agropecuaria sin criterios técnicos para el manejo de la pastura, pues cuando el pisoteo se realiza en suelo húmedo y el pastoreo es excesivo, se potencia el proceso de compactación, especialmente en suelos arcillosos (Da Costa et al., 2009). El pisoteo afecta la calidad del suelo (Sharrow, 2007).

Tabla 1. Degradación de un pastizal.

Nivel	% especies invasoras
Productiva	0,0 a 10,00
Leve	11,00 – 35,00
Moderada	36,00 – 60,00
Avanzada	61,00 – 100,00

Fuente: Padilla et al. (2009)

El efecto del pastoreo se evidencia principalmente sobre los atributos físicos del suelo (Navarro et al., 2019), como la compactación en texturas más arcillosas (Cervelati et al., 2011), con una reducción significativa en los rendimientos de los cultivos (Da Costa et al 2009). Los suelos afectados por el pisoteo del ganado, provoca la compactación, expresado por el aumento de la densidad, la R_p y la reducción del espacio poroso total, la macroporosidad y propiedades hidráulicas, que proporcionan menores capacidad para infiltrar agua en el suelo y aumentan la susceptibilidad a la erosión (Muller et al., 2001). La reducción se da incluso en pastos que se manejan adecuadamente, así, el grado de compactación que puede alcanzar un suelo será mayor cuando el suelo esté sujeto a un manejo inadecuado. Además, el grado de compactación causado por el pisoteo del ganado está influenciado por la textura del suelo, sistema de pastoreo, altura de manejo del pasto y cantidad de residuos vegetales en el suelo y humedad del suelo (Cervelati et al., 2011). En este sentido, Proffit et al. (1995) sugieren, para evitar la degradación, la remoción de animales del área cuando la humedad está por encima del límite de plasticidad.

Para aliviar la compactación, una alternativa es controlar la carga animal en relación con la cantidad de pasto producido y el mantenimiento de una adecuada cobertura vegetal en los suelos, con el fin de mitigar este efecto del pisoteo en la calidad física de los suelos, que puede ser temporal y reversible (Sarmiento et al., 2008), por ello, Flores et al. (2007) recomienda ajustar la carga animal al crecimiento de la pastura, con la permanencia de 1 t ha⁻¹ de materia seca para evitar cambios en la densidad del suelo. La capa más compactada por el tránsito animal es generalmente de 5 a 15 cm, y la presión ejercida sobre el suelo puede llegar a 350 kPa (Da Costa et al., 2009), esto puede generar cambios en las propiedades fisicoquímicas y conducir a la degradación del suelo y su capacidad para sostener la productividad biológica, calidad ambiental, salud de plantas y animales (Doran y Parkin, 1994). Por lo tanto, sería beneficioso que las áreas de campo nativo, al convertirse a sistemas de cultivo con producción de granos o para la agricultura y la ganadería, tuvieran la estructura del suelo preservada, que

depende fundamentalmente del sistema adoptado para el manejo de pastos y suelos.

Finalmente, la recuperación de los pastizales puede convertirse en un proceso lento y complicado, en el que deben evaluarse los factores químicos y físicos del suelo, la especie de forraje, taxonomía del suelo y el nivel de degradación de las áreas de pastoreo que se proponen restaurar (Padilla et al., 2009).

2.3. Pasto *Brachiaria brizantha*

En Brasil, Perú, Argentina, México, Uruguay, Colombia y Chile la ganadería es una actividad de gran participación en la economía social, basada en pequeñas áreas de producción con limitada y deficiente conexión al mercado, que utilizan tierras con potencial agrícola (Reategui, 2019). La *B. brizantha* en la actualidad se ha generalizado como sustituto de diferentes especies tradicionales de pastos, por su amplia variedad de genotipos, ha podido prosperar en diferentes tipos de bioclimas, con excelente capacidad productiva, de alta calidad y valor nutritivo para el ganado bovino (Cerdas y Vallejos, 2012). Las especies de gramíneas forrajeras, más difundidas, del género *Brachiaria* utilizada como principal forraje en la nutrición de bovinos son: *B. humidicola*, *B. brizantha*, *B. decumbens* y *B. ruziziensis* (Mármol, 2006).

B. brizantha stapf cv marandú, es originario de África tropical y fue introducido extensivamente con éxito en el trópico peruano desde 1986, su capacidad de cobertura del suelo y crecimiento dominante controlan con eficiencia la aparición de malezas, reduciendo notablemente los costos de producción (Salazar, 2010). Además, crece muy bien en suelos con buen drenaje y mediana fertilidad, tolera sequías prolongadas, es resistente al pastoreo y compite muy bien con las malezas. Sin embargo, no tolera suelos anegados por más de 30 días y el exceso de sombra, por falta de fotosíntesis y por competencia de nutrientes del suelo (Camasca, 2011; Cerdas y Vallejos, 2012; Reategui, 2019).

La *B. brizantha* (Marandú), gramínea perenne, estolonífera, con sistema radicular densa y profunda con rizomas cortos y numerosos. Forma macollos pronunciados y pueden crecer hasta 2 m de altura, con hojas erectas, alargadas y levemente pilosas de color verde intenso y con una excelente relación hoja-tallo, palatable y muy digestible (Cerdas y Vallejos, 2012). Además, crece bien en diferentes zonas del trópico, desde 0,00 m hasta los 1800 msnm, con lluvias acumuladas entre los 800 hasta 3500 mm/año, demostrando gran capacidad de adaptabilidad y diversas aptitudes a considerar en los sistemas de producción de pastos (Camasca, 2011).

2.4. Indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo

El suelo en su constitución física tiene las principales propiedades: textura, estructura, porosidad, densidad, densidad de partículas, humedad del suelo (humedad gravimétrica) y resistencia mecánica a la penetración radicular. Estas propiedades permitir una evaluación del estado de conservación del suelo (Oliveira, 2008; Cervelati et al., 2011), excepto textura y densidad de partículas.

Los estudios de atributos físicos pueden apuntar a una acción diferenciada de procesos de gestión, ya que son de gran importancia en el análisis del comportamiento de cultivos utilizados, ya que las características físicas y químicas del suelo son directamente afectado por el tipo de gestión al que se somete (Fernandes y Souza, 2001; García et al., 2012).

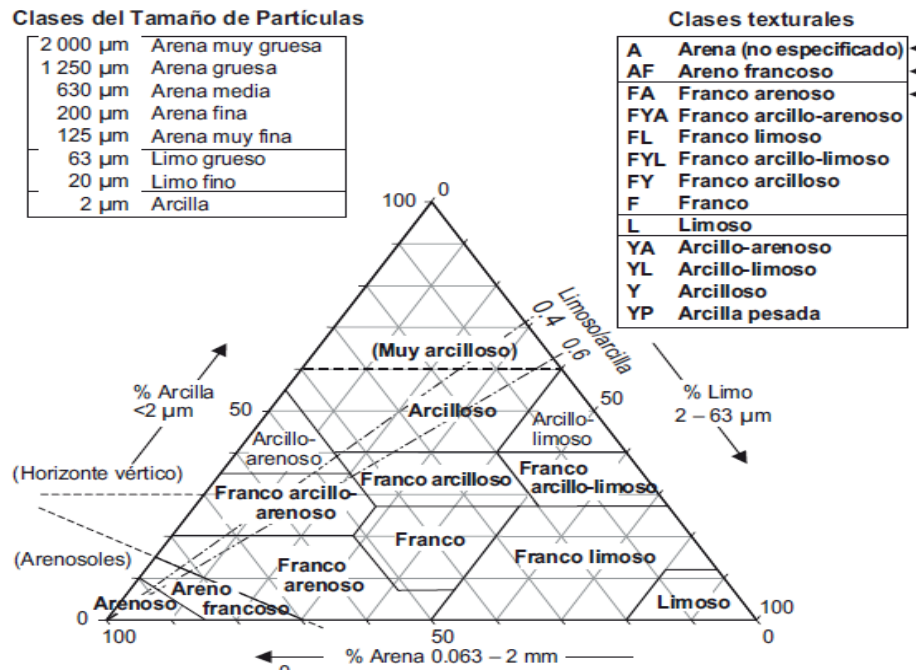
En las últimas décadas, cambios en los atributos que provocan la degradación del suelo se han detectado intensamente en áreas agrícolas, debido a diversos procesos que conducen al agotamiento de las características físicas, químicas y biológicas, señalando como responsable de la alteración excesiva del suelo en las áreas agrícolas, las prácticas agrícolas inadecuadas y sobrepastoreo. Estos procesos son responsables de varios factores que han contribuido a la reducción del potencial productivo del suelo, lo que ha afectado a la sostenibilidad del sistema (Azevedo y Sverzut, 2007).

2.4.1. Textura

La clase textural de un suelo es un indicador muy importante, por la estrecha relación que existe con los procesos de degradación y potencial de producción. Constituida por arena, limo y arcilla, fracciones minerales de diferentes dimensiones (Camacho et al., 2017). Las dimensiones de cada fracción han sido fijadas y estandarizadas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA] (Figura 2), metodología que agrupa a los suelos por su granulometría, en diferentes clases de textura (FAO, 2009). Además, siguiendo esta clasificación los suelos de textura arenosa son químicamente inertes y carecen de propiedades coloidales, físicamente tiene pésima estructuración, excesiva aireación y permeabilidad, y nula retención hídrica. Sin embargo, suelos de textura arcillosa presenta cualidades contrarias a los arenosos, excepto, que físicamente son impermeables y asfixiantes (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2012).

Este indicador físico tiene relación directa con la Da, la porosidad, la retención hídrica, aireación, drenaje y contenido de MO del suelo (Camacho et al., 2017; FAO, 2020). Además, los suelos de textura franco arenosos, al tener mayor espacio aéreo ponen a disposición de las

plantas mayor proporción de nitrógeno mineral, por la descomposición microbiana de la MO, sin embargo, este incremento en la mineralización genera incremento en la biomasa vegetal que luego se incorpora al sistema de producción, en ese sentido, no se puede aseverar que las texturas arenosas sean más sensibles a la degradación, más bien, permiten mantener buenos niveles de biomasa y hacer sostenible el sistema (Lacasta et al., 2006).



Fuente: FAO (2009)

Figura 2. Triángulo para determinar las clases texturales.

2.4.2. Resistencia a la penetrabilidad (R_p)

Es la resistencia mecánica que ofrece el suelo al movimiento de un cono de penetración, es un indicador que expresa la compactación y el endurecimiento de la capa superficial. Además, estos cambios en el suelo se producen al aplicar presión sobre las capas superficiales, tal como ocurre con el pisoteo del ganado bovino, personas y uso de maquinarias, pesada que generan incremento en la resistencia a la penetrabilidad (FAO, 2009).

Este indicador tiene relación directa con la densidad y la porosidad, la resistencia a la penetración está relacionada a la compactación y la degradación del suelo haciendo que se pierdan sus propiedades y disminución del rendimiento en la producción, por cambios en diferentes indicadores físicos, que conducen a incrementos en la R_p , densidad aparente y disminución de la macroporosidad (Demuner et al., 2013).

Tabla 2. Resistencia a la penetrabilidad del suelo.

Kg/cm ²	Nivel
<1.00	Muy suave
1,00 – 2,00	Suave
2,00 – 3,00	Duro
3,00 – 4,00	Muy duro
>4,00	Extremadamente duro

Fuente: Acuña (2020)

2.4.3. El potencial de hidrógeno (pH)

Es uno de los más importantes indicadores químicos que expresan la calidad de un suelo, aporta información importante sobre la fertilidad, ya que la variación en los niveles del pH puede modificar significativamente la solubilidad de los minerales, que están disponibles para los vegetales cuando se encuentran en la solución. En zonas con altas precipitaciones se genera el lavado de las bases y como consecuencia el suelo inicia un proceso de acidificación (pH entre 4,0 – 6,5), liberando grandes cantidades de Al y Mn que al ser absorbidos por las raíces provocan intoxicación y fijación de fosfatos. Altas concentraciones de H⁺ interfiere en la solubilidad, disponibilidad y absorción de nutrientes necesarios para la vida vegetal, pH <4 producen trastornos en el sistema radical por efectos directos del H⁺ (SAGARPA, 2012).

Tabla 3. Niveles de pH del suelo.

Nivel	pH
Fuertemente ácidos	<5,00
Medianamente ácidos	5,00 – 6,50
Neutros	6,50 – 7,30
Medianamente alcalinos	7,30 – 8,50
Fuertemente alcalinos	≥8,50

Fuente: SAGARPA (2012)

La disminución del pH en los suelos limita el desarrollo de los cultivos, por la limitada biodisponibilidad de los principales macronutrientes como Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y P, al mismo tiempo, esta condición facilita la solubilidad de elementos fitotóxicos, afectando el proceso normal de nutrición en las plantas, estos elementos son representados por aluminio y magnesio. Por lo tanto, el conocimiento de los niveles de pH en los suelos nos permite inferir y diagnosticar posibles problemas de nutrientes para un normal desarrollo de los cultivos (Rivera et al., 2018). En zonas tropicales donde los suelos presentan niveles de pH menores a 5,5, las posiciones de intercambio en los minerales son ocupadas por Al³⁺, esto, bloquea la retención y

por consiguiente se tienen bajos niveles de los principales macronutrientes K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} (Rosas et al., 2017).

2.4.4. Materia orgánica (MO)

La MO de los suelos es considerada en la agricultura tradicional como base de su fertilidad y tiene participación directa sobre indicadores fisicoquímicos, particularmente sobre los niveles de nitrógeno, este último importante en la nutrición de las plantas (Demuner et al., 2013). Además, estudios realizados en áreas tropicales han demostrado el importante papel que juega la materia orgánica sobre las propiedades edáficas que intervienen en la fertilidad del suelo, la materia orgánica es fundamental en la formación de agregados, que surgen como consecuencia de los flujos de energía con la interacción de la materia mineral entre sí y con compuestos orgánicos, estimulan la formación de estructuras más complejas y diversificadas, como macro agregados estables, con tamaño superior a 0,25 mm (Cunha et al., 2018).

Los niveles de MO que presenta un suelo son importantes para la nutrición de las plantas, por sus efectos directos e indirectos en la disponibilidad de principales macronutrientes como el N, P, S, además, de las funciones física que promueve una buena estructura del suelo a través de la formación de agregados, esto mejora las condiciones de aireación, retención de humedad, disminución de la erosión e incremento de la capacidad amortiguadora (SAGARPA, 2012).

Tabla 4. Niveles de MO del suelo.

Nivel	% MO
Muy bajo	MO < 0,50
Bajo	0,50 ≤ MO < 1,50
Medio	1,50 ≤ MO < 3,50
Alto	3,50 ≤ MO < 6,00

Fuente: SAGARPA (2012)

2.4.5. El fósforo (P)

Es parte de los elementos considerados esenciales para el desarrollo y ciclo vital de los vegetales. El fósforo es un componente primario de los sistemas responsables de la captación, almacenamiento y transferencia de energía, y forma parte de las estructuras macromoleculares más importantes, entre ellos, los ácidos nucleicos y fosfolípidos, en tal sentido, podemos afirmar que su participación en los sistemas vivos está generalizada en todos los procesos fisiológicos. Además, en los suelos se encuentra en forma de fosfatos, resulta necesario para el crecimiento, es escaso en el suelo y gran parte no está disponible para las plantas. (Fernández,

2007; SAGARPA, 2012). La superficie radicular las plantas que se desarrollan en el suelo, entran en contacto con sólo una pequeña cantidad de fósforo, que es tomado con rapidez, esto deja al suelo con deficiencia de este nutriente y se requiere su reposición para permitir el normal desarrollo de las plantas. El P es absorbido por las raíces a través del flujo de masas y está en función de la toma de agua por parte de la raíz, la cantidad de fósforo captado por los cultivos estará en función de su concentración en la solución del suelo (Fernández, 2007).

Existe una interacción entre P con el Ca y Al, esta se debe fundamentalmente a la formación de fosfatos de calcio de distintos grados de solubilidad, presentándose la retención de fósforo en las superficies de carbonato cálcico. Además, en suelos con bajos niveles de pH el P se precipita en forma de fosfatos de aluminio altamente insolubles, lo que genera bajos niveles de fosfatos en el suelo; también, la presencia de hidróxidos de aluminio eleva la fijación del P en su superficie, disminuyendo su biodisponibilidad. Altos niveles de Al en la solución del suelo conducen a una disminución en el desarrollo radicular, lo que supone una menor capacidad de asimilación del P (Fernández, 2007).

Tabla 5. Niveles de fosforo en el suelo.

Categoría	P (ppm)
Bajo	< 5,50
Medio	5,50-11,00
Alto	≥11,00

Fuente: SAGARPA (2012)

2.4.6. El potasio (K)

Se encuentra en el grupo de elementos esenciales para las plantas, el 90% del K total que la planta absorbe accede a la raíz por difusión. Los niveles en el suelo fluctúan entre 1 y 10 mg kg⁻¹, y puede disminuir por absorción, lixiviación y fijación en la superficie y aristas de los minerales de arcillas 2:1 (Havlin et al., 1999; Zúñiga et al., 2010).

Es un nutriente muy requerido por las plantas, es tomado del suelo en forma de ion K⁺, como consecuencia de la liberación del entorno o aristas de las arcillas (SAGARPA, 2012). Se presenta en cuatro fracciones: soluble, intercambiable, no intercambiable, y fijada en la matriz estructural de los minerales de arcilla. Por ello, los procesos productivos requieren importantes cantidades de K, ya que en los suelos generalmente se tienen niveles bajos para cubrir el requerimiento de los cultivos. Aunque los niveles de K total del suelo superen los 4 %, este tipo de K no necesariamente está en la forma disponible para las plantas (Aguado et al., 2002), lo que lleva al productor a utilizar fuentes potásicas externas.

Tabla 6. Niveles de K⁺ en el suelo.

Nivel	K (Cmol(+) kg-1)
Muy bajo	<0,20
Bajo	0,20 – 0,30
Medio	0,30 – 0,60
Alto	≥0,60

Fuente: SAGARPA (2012)

2.4.7. El calcio (Ca)

Catión metálico que forma parte de las bases cambiables y se encuentra dentro del grupo importante de nutrientes, este catión está relacionado directamente con cambios en la degradación del suelo por el fenómeno de salinización, es un elemento relativamente abundante particularmente en suelos de regiones semiáridas (SAGARPA, 2012), su concentración puede presentar grandes variaciones que van de 0.1 a 0.2 % en suelos ácidos y hasta 25 % en suelos alcalinos (Havlin et al., 1999).

El alto nivel de Ca en el suelo indica un pH casi neutro deseable para la mayoría de los vegetales, es común encontrar deficiencias de este elemento solo en condiciones de suelos ácidos, tóxicos en aluminio, por lo que, es conveniente tener altos niveles de Ca ya que infiere valores bajos de otros cationes como Mg y elementos tóxicos como Al en suelos ácidos y Na en suelos alcalinos (Bohn, 1993), esto, por la relación sinérgica que existe en relación con otros cationes de la solución suelo (Navarro y Navarro, 2003).

Tabla 7. Niveles de Ca en el suelo.

Nivel	Ca ²⁺ (Cmol (+) kg-1)
Muy bajo	<2,00
Bajo	2,00- 5,00
Medio	5,00- 10,00
Alto	≥10,00

Fuente: SAGARPA (2012)

2.4.8. El magnesio (Mg)

Es el segundo catión intercambiable más abundante en los suelos, su exceso y/o deficiencia no es muy común, sin embargo, los suelos ácidos y arenosos suelen presentar deficiencias de este elemento (Bohn, 1993).

Es parte de los elementos esenciales y ocupa el octavo lugar, con una concentración media de 2.1 %, las formas comunes se encuentran como constituyentes de minerales máficos y como ion intercambiable en la disolución. Los niveles del catión Mg²⁺ en el suelo varía según

el material de origen, minerales, textura, niveles de otros cationes, niveles de pH, el clima, la extracción por las plantas y los aportes externos de enmiendas calcáreas. Además, los bajos niveles del Al se producen en condiciones de suelos con pH bajos, alta proporción de arena, horizontes lavados y con baja CIC (Bohn, 1993; Havlin et al., 1999). Además, como elemento esencial el magnesio cumple funciones claves al forma parte de la clorofila, asociado a la fotosíntesis (SAGARPA, 2012).

Tabla 8. Niveles de Mg en el suelo

Nivel	Mg ²⁺ (Cmol (+) kg ⁻¹)
Muy bajo	<0,50
Bajo	0,50- 1,30
Medio	1,30- 3,00
Alto	≥3,00

Fuente: SAGARPA (2012)

2.4.9. El aluminio (Al)

Es el elemento metálico más abundante en la litosfera (7% en el suelo), en suelos se presenta en forma de ion intercambiable (Al³⁺) y su forma polimerizada e hidratada, es insoluble y generalmente no se encuentra disponible para participar en reacciones biogeoquímicas.

En condiciones de suelos ácidos (pH<5) su concentración en la solución es alta y es fuertemente retenida en la superficie de los coloides minerales, disminuyendo la carga negativa neta de los coloides y por tanto reduce la capacidad de intercambio de cationes del suelo (Bohn, 1993). Sin embargo, las zonas con altas precipitaciones pueden originan procesos intensos de alteración química y lavado de bases, que favorecen la solubilidad del Al³⁺ (May, 2015)

La toxicidad por aluminio es el primer factor que limita la producción de cultivos en suelos ácidos, debido a que el 50% de la tierra potencialmente arable es acida. Uno de los efectos tóxicos del Al³⁺ en el crecimiento y desarrollo de la planta ha sido atribuido a la ruptura de la homeostasis del Ca²⁺; causando inhibición de la toma de este por la raíz, bloqueando los canales de ingreso del calcio. En síntesis, la inhibición del crecimiento de la raíz podría deberse a los siguientes eventos: alteración de la capacidad del intercambio de cationes de la pared celular, cambios en el potencial de membrana reduciendo la toma de cationes, Inducción de estrés oxidativo, remplazo de Mg²⁺ o Fe³⁺ en reacciones celulares, interacción con el citoesqueleto, interferencia con vías de señalización y unión directa con el DNA o RNA: (Carreño y Chaparro, 2013).

2.4.10. La capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Estima las posiciones de carga de los filosilicatos, tanto las cargas permanentes, como las dependientes del pH. Estas posiciones con carga negativa retienen por fuerzas electrostáticas a los cationes. Además, es un indicador indirecto de la capacidad de resiliencia o buffer de los suelos, que es determinada por la cantidad y tipo de arcilla (Pérez et al., 2017)

La CIC es determinada por la cantidad de cationes que las superficies de los coloides pueden retener entre ellos: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4 , Al^{3+} , Fe^{2+} , etc. El nivel de CIC de un suelo indica capacidad para retener cationes, un suelo con baja CIC indica pobre capacidad de retención, como el caso de los suelos arenosos o con bajos niveles de MO. Por lo que, dependen tanto las partículas de arcilla como de las moléculas orgánicas, así, los cationes se atraen a estas partículas coloidales (SAGARPA, 2012). La CIC es la propiedad química responsable en gran medida de la fertilidad de los suelos y es responsable en gran medida de la producción mundial de alimentos (Bueno y Fernández, 2019).

Tabla 9. Niveles de CIC del suelo.

Nivel	CIC (Cmol (+) kg ⁻¹)
Muy alto	≥40,00
Alto	25,00 - 40,00
Medio	15,00 – 25,00
Bajo	5,00 – 15,00
Muy bajo	<5,00

Fuente: SAGARPA (2012)

2.5. Estado del arte

2.5.1. Antecedentes internacionales

Kavana et al. (2021) en el Serengeti Occidental, Tanzania”, evaluaron los efectos de diferentes actividades agropastoriles en las características del suelo, biomasa residual y el valor nutritivo en plantas herbáceas. En la época de floración la vegetación utilizada para pastoreo, la fibra detergente ácida, la digestibilidad in vitro de la materia seca, la digestibilidad in vitro de la materia orgánica, la energía metabolizable y el total de nutrientes digestibles en la biomasa herbácea residual fueron afectados ($P < 0.05$) por el tipo de uso del suelo. Por el contrario, la proteína cruda, la fibra detergente neutra y la lignina detergente ácida no fueron afectadas. El pH del suelo, la CIC, las concentraciones de CO y Ca^{2+} y la relación C: N fueron diferentes ($P < 0.05$) en los diferentes tipos de uso del suelo. Concluye que independiente del clima, la biomasa residual está determinada por la intensidad del pastoreo, la relación C: N del suelo y las concentraciones de Ca^{2+} y P en el suelo.

Manzani et al. (2021) en Andradina, São Paulo, Brasil. Evaluaron el efecto de niveles de Al en las ultraestructuras de tejidos radiculares y foliares de tres cultivares de *Urochloa brizantha* (cvs. Marandu, Paiaguás y Piatã). Los cultivares fueron afectados negativamente al aumentar la concentración de Al en el suelo. Las ultraestructuras radiculares sufrieron daños, principalmente los tejidos conductores y las células epidérmicas. También el desarrollo de los brotes y los tejidos foliares fueron afectados. Concluyen que las ultraestructuras de tejidos radiculares y foliares se vieron afectados en presencia de Al en el suelo en dosis superiores a 0.2 Cmol/dm^3 .

Aguilar y Kuan (2019), en Masaya Nicaragua. Encontraron diferencias para altura, diámetro del tallo, cobertura del pasto, materia seca. El mayor valor se obtuvo con el tratamiento sintético (200 kg N+70 kg P_2O_5 + 40 kg K_2O) a los 71 días después del trasplante. El mayor valor para materia seca presentó el tratamiento sintético (200 kg N+70 kg P_2O_5 + 40 kg K_2O) con $3\,611.07 \text{ kg ha}^{-1}$, seguido de 18 mil litros de biol con $2\,957.40 \text{ kg ha}^{-1}$. En proteína cruda los tratamientos a partir de los 43 días después del trasplante los que presentaron los mayores valores correspondieron al tratamiento sintético seguido de 10 mil litros de biol por ha^{-1} con 16.11 %. Para la variable FDN sus valores se mantienen en calidad media de acuerdo con los resultados. La variable FDA y DIVMS se mantuvo en el rango de calidad baja y para la variable remoción de nutrientes, la mayor extracción de nutrientes se presentó a los 71 días después del trasplante y lo presentaron el N y el K.

Reategui (2019), evaluó el efecto de dos presiones de pastoreo en la disponibilidad de forraje *Brachiaria Decumbens* en la Subestación Experimental Quilichao, del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cauca, Colombia. Se utilizaron novillos comerciales de la raza cebú, con peso promedio de 350 kg. Los resultados muestran que existen diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre presiones iniciales de pastoreo alta y baja. En ese sentido se concluye que a mayor disponibilidad inicial se tendrá mayor porcentaje de área foliar y tallos, pero menor porcentaje de material muerto, sin embargo, la relación hoja tallo disminuye conforme incrementa la disponibilidad inicial. Cunha et al. (2018) en Além Paraíba, Estado de Minas Gerais, Brasil. Analizaron atributos químicos como contenido de nutrientes, pH, acidez potencial (H^+Al) y contenido de carbono orgánico (TOC), y atributos físicos densidad del suelo (D_s), volumen poroso total (VTP) y estabilidad de los agregados. Los valores de saturación de bases fueron muy bajos en todas las áreas. Entre los rodales forestales, las áreas de mimosa y eucalipto proporcionaron la mayor adición de TOC al suelo. No hubo diferencia significativa para las variables D_s y VTP en ninguna de las capas analizadas. El atributo

químico que permitió una mejor diferenciación entre las áreas fue el contenido de carbono orgánico (COT). El área de pastizal fue la que más se asemejaba al bosque secundario en términos de estabilidad de agregados en los estratos, no hubo diferencias estadísticas entre áreas para las variables físicas estudiadas.

Navarro et al. (2018), evaluaron los contenidos totales de Carbono orgánico del suelo (COT), los contenidos de carbono en los ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y humina, así como la relación con la agregación en un Oxisol (Rhodic Eutrudox), Los resultados muestran semejanza entre sistemas PB y SDMM con incremento de COT, donde los valores de DMP y IEA fueron significativamente superiores en relación al SDSM y SC, esta agregación aumenta cuando la sucesión es maíz. Se encontró disminución del IEA por la reducción del DMP, el aumento de agregados de menor tamaño y por los menores valores de carbono orgánico en SC. Correlaciones significativas positivas fueron obtenidas entre COT y los índices de agregación (IEA y DMP) en los sistemas evaluados. En conclusión, los contenidos de carbono orgánico y los índices de agregación constituyen medidas para detectar cambios en la estabilidad del suelo, en función del uso.

Cerda y Vallejos (2012), en Guanacaste Costa Rica, evaluaron el comportamiento productivo de pastos tropicales Toledo *Brizantha*, *Transvala* y *Decumbens*, sometido a tres edades de corte: 20, 40 y 60 días. La producción de biomasa seca por hectárea varió en los diferentes pastos evaluados, en 2031,9 kg, 1968,88 kg, 1939,34 kg y 1424,0 kg MS ha⁻¹, en los pastos Toledo, *Brizantha*, *Transvala* y *Decumbens* respectivamente. El rendimiento de biomasa seca de los pastos fue influenciado por la edad, reportando valores de 437,64 kg a los 20 días, 2277,31 kg a los 40 días y de 2808,14 kg MS ha⁻¹ a los 60 días. Todos los pastos alcanzaron el mayor crecimiento del forraje a los 40 días con 64,98 kg, 59,44 kg, 55,43 kg y 47,89 kg MS ha⁻¹ día⁻¹, para Toledo, *Brizantha*, *Transvala* y *Decumbens*. En todos los parámetros evaluados *Decumbens* resultó ser inferior a los otros pastos.

Cervelati et al. (2011) evaluaron cambios en los atributos físicos del suelo causada por sistemas de pastoreo continuo y rotacional. Para evaluar el efecto de pisoteo de animales en los sistemas, se recolectaron anillos con muestras de suelo con estructura inalterada en las capas de 0.00 - 0.06 m 0.06 - 0,12 m antes y después del pastoreo para determinar la densidad y Resistencia del suelo a La penetración se determinó antes y después del pastoreo en las profundidades de 0.0 -0.1, 0.1 - 0.2, 0.2 - 0.3 y 0.3 - 0.4 m, con el penetrómetro de impacto. El pisoteo de animales solo alteró la microporosidad; el uso de diferentes sistemas de cultivo y pastoreo no promovió diferencias en el contenido de materia orgánica. Los suelos del pastoreo

convencional mostraron una mayor tendencia a la compactación del suelo evaluado por resistencia mecánica a la penetración de raíces.

2.5.2. Antecedentes nacionales

Sanchez (2019), en el distrito de Oxapampa – Pasco. Caracterizo los sistemas de producción de bovinos para proponer alternativas que permitan impulsar el desarrollo ganadero en Oxapampa- Pasco. La edad media de los productores que conduce el predio varía entre 41 y 60 años, con una carga familiar de 1 a 3 hijos, con grado de instrucción primaria y secundaria y con dedicación a la crianza entre 10 a 30 años. La extensión prevalente es de 1 a 20 hectáreas con una antigüedad de 1 a 20 años y por lo general no reciben fertilización, con escaso mantenimiento y con una soportabilidad de 1,02 UA/ha. En pastos cultivados prevalecen mayormente las gramíneas. La mayoría utiliza el sistema extensivo bajo pastoreo. Machos y hembras permanecen durante todo el año; solo con pequeño porcentaje de animales son inseminados. Los indicadores económicos de rentabilidad fueron VANE de S/. + 1 148 709,63; TIRE de 15,72% y una ratio B/C de S/. 1,46.

Yalli (2017), evaluó el impacto del pastoreo con vacas y llamas en la función hídrica en dos sitios ecológicos de pajonal, dominado por la asociación de *Festuca humilior* - *Carex ecuadorica* y otro por *Calamagrostis macrophylla* - *Stipa brachiphylla*, ambos bajo un régimen de pastoreo diferido. El área experimental fue diferida al inicio de lluvias hasta que las especies claves *F. humilior* y *C. macrophylla* diseminaron sus semillas. Se estudiaron los cambios ocurridos en biomasa, mantillo, densidad aparente del suelo, tasa de infiltración y humedad del suelo. Los resultados demostraron que en ambos sitios ecológicos hubo una mayor biomasa en los potreros pastoreados con llamas (1398 Kg MS ha⁻¹) en comparación con los vacunos (1226 Kg MS ha⁻¹).

Escalante (2015), en la asociación de ganaderos de Aucayacu-La Morada, evaluó factores que influyen en el estado actual de los pastos con la Escala Likert y los factores que afectan la degradación de los pastos. La mayor producción de biomasa verde y seca por hectárea presentó el grupo 2 con 48 000 kg GF/ha/año; y menor producción grupo 3 con 24 514 kg FB/ha/año y 4829 kg. En el grupo 1, el 42 % tenía evidencia de erosión, grupo 2 no hay evidencia de erosión en cambio en el grupo 3 100 % de fincas presenta erosión. En cuanto al estado de los pastos, el grupo 1 tiene leve degradación (42 %), el grupo 2 no hubo degradación, mientras, el grupo 3 presentó moderada 71,4 % y 28,6 % degradación severa.

Camasca (2011), en Tingo María, evaluó el efecto de diferentes abonos orgánicos en el

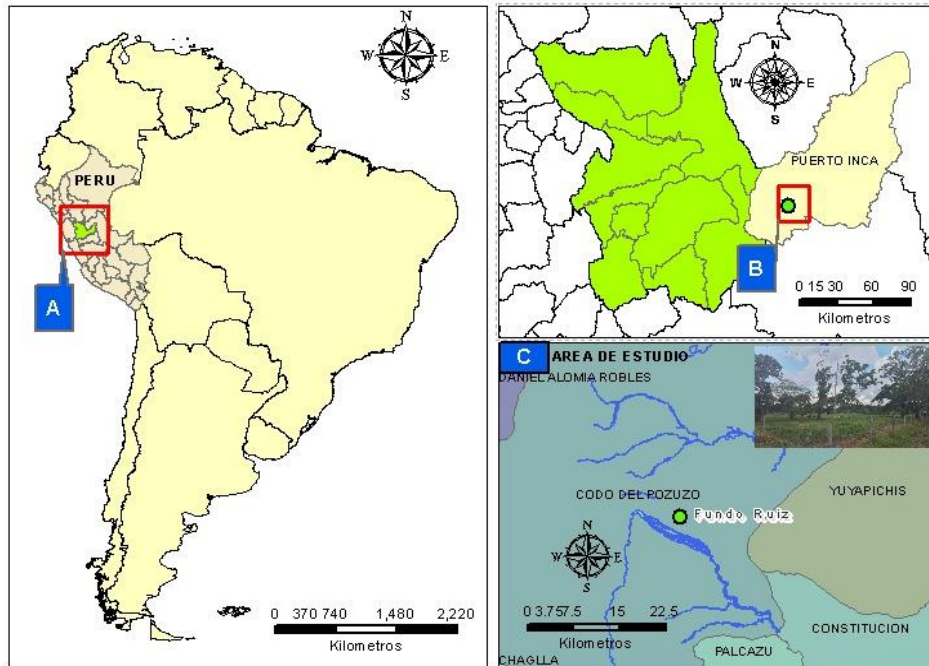
establecimiento del *Brachiaria brizantha* stapf cv marandú. Evaluó indicadores como altura de planta (AP), porcentaje de cobertura (PC), número de planta/m² (NP/m²), relación hoja-tallo (RTH), producción de forraje verde (PFV), producción de materia seca (PMS), y el costo de establecimiento del pasto (CEP). Encontró diferencias y mejor respuesta del estiércol de gallinaza para altura de planta (164.1 cm), porcentaje de cobertura (100 %), producción de forraje verde y materia seca con 4.70 kg/m² y 1.38 kg/m² respectivamente. Sin embargo, el tratamiento testigo, tuvo el más bajo costo de establecimiento. La fertilización con gallinaza presento los mejores resultados para todos los indicadores evaluados.

Salazar (2010), en Supte San Jorge - Tingo María, evaluó número de plantas (NP/m²), altura de planta (AP), porcentaje de cobertura (PC), producción de materia verde, (PMV), producción de materia seca (PMS), relación hoja y tallo, (RHT), costos del establecimiento. Los costos de establecimiento por hectárea de *B. brizantha*, en cada tratamiento resulto de 883.2, 1 633.2, 1 633.2, 1 476.2, nuevos soles. Concluye que el pasto *B. brizantha* (Richard) Stapf cv Marandú, con el uso de fertilizantes orgánicos ofrecen condiciones físicas, químicas y biológicas al suelo que le permite mayor sostenibilidad.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

La investigación se desarrolló en el Fundo Ruiz, de propiedad del Sr. Moisés Ruiz Witting, ubicado a 10 Km de la ciudad de Codo del Pozuzo (Figura 3), políticamente pertenece al distrito Codo del Pozuzo en la provincia de Puerto Inca, región Huánuco.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Localización geográfica del área de estudio, fundo Ruiz (C) Codo del Pozuzo-Puerto Inca (B) en la region Huanuco-Peru (A).

3.2. Características generales del área de estudio

Las características climatológicas que presenta la jurisdicción, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI] (2021), Codo del Pozuzo presenta medias de: 26,5 °C de temperatura, 84 % de humedad relativa y 3 400 mm de precipitación, con régimen bimodal, una seca (junio a setiembre) y otra lluviosa (octubre a mayo).

De acuerdo con la clasificación de zonas de vida y formaciones vegetales de Holdridge (2000), el área de estudio pertenece a bosque muy húmedo- Premontano Tropical (bmh-PT). También, según Pulgar (2014), Codo del Pozuzo pertenece a la ecorregión Omagua o Selva Baja.

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Materiales de campo

Machete, pala recta, wincha de 5m, bolsas de polietileno, costales de 50 Kg, etiquetas, plumones indelebles, guantes de goma y botas de jebe.

3.3.2. Materiales de laboratorio

Reactivos diversos, matraces de diferentes medidas volumétricas, probeta de diferentes medidas volumétricas, embudos de vidrio, tamices de 5 mm de diámetro, vasos de precipitación, tubos de ensayo, micropipetas, botellas de vidrio y papel filtro N° 40.

3.3.3. Equipos de campo y laboratorio

Penetrómetro de cono, cámara fotográfica digital, navegador GPS, balanza gramera y analítica, estufa, mufla, pH metro, bureta digital, espectrofotómetro de absorción atómica y espectro fotómetro UV - Visible.

3.4. Criterio y análisis del estudio

3.4.1. Tipo y nivel de investigación

Es de tipo aplicada, porque se recurrió a conocimientos establecidos en las ciencias agropecuarias para evaluar el impacto del pastoreo libre en la calidad del suelo, sustentado en Hernández et al. (2014), quien precisa que la investigación aplicada se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos teóricos a determinada situación concreta y constituye el primer esfuerzo para transformar los conocimientos científicos en tecnológicos.

Correspondió a un nivel de investigación descriptiva comparativa, porque se evaluó indicadores físicos y químicos de calidad del suelo, sometidos al pastoreo libre con manejo de pastos cultivados tipo *Brachiaria brizantha* con diferente periodo de instalación en la zona del Codo del Pozuzo. Sustentado en Hernández et al. (2014), quienes indican que la investigación no experimental es la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables para observar fenómenos tal y como se dan en un contexto natural para después analizarlos.

3.4.2. Diseño de la investigación

Correspondió a una investigación no experimental comparativa transversal, incluyó una parte descriptiva y otra comparativa en un momento determinado, con ajuste estadístico de diseño completamente aleatorizado (DCA), donde los tratamientos lo constituyeron las áreas de *B. brizantha* con diferentes edades y el bosque secundario como referencia (Tabla 10).

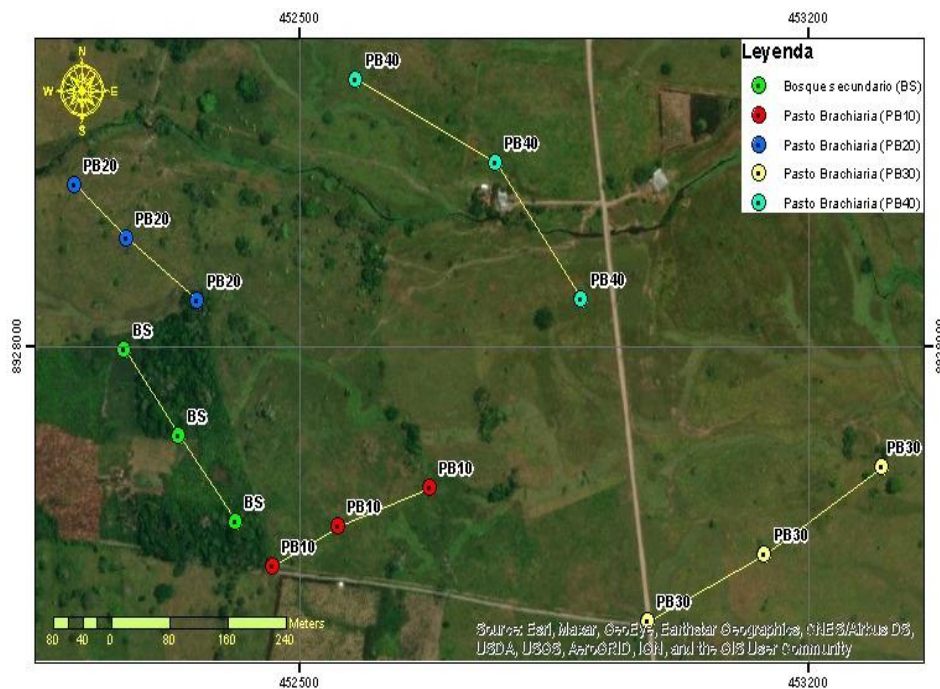
Tabla 10. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Descripción	Tipo de cobertura
Bs	Área sin pastoreo	Bosque secundario
PB10	Área con 10 años de pastoreo	B. brizantha
PB20	Área con 20 años de pastoreo	B. brizantha
PB30	Área con 30 años de pastoreo	B. brizantha
PB40	Área con 40 años de pastoreo	B. brizantha

3.5. Metodología

3.5.1. Sobre la evaluación de las áreas

La investigación realizó la coordinación respectiva con el propietario del fundo Ruiz, el Sr. Moisés Ruiz Witting y se registró: a) el manejo aplicado al área de pastoreo, b) la evaluación de la composición, edad y ubicación de las áreas con pastoreo libre presente en el fundo y, c) se estableció los transectos para el muestreo de suelos. Una vez registrado y definido estos ítems, se realizó el muestreo del suelo en las áreas (potreros) seleccionadas, de acuerdo con lo establecido en la Figura 3, tomándose 03 coordenadas al inicio, intermedio y final del transecto (Tabla 4) y 8 muestras con distanciamiento uniforme (entre 40 a 50 m entre puntos de muestreo) en cada transecto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Transectos según tratamiento para la extracción de muestras.

Tabla 11. Ubicación de los transectos de muestreo.

Tratamiento	Transecto	Coordenada (UTM)		Altitud (msnm)
		E	N	
BS	Inicio	452259	8927997	369
	Intermedio	452334	8927899	369
	Final	452413	8927800	369
PB10	Inicio	452464	8927748	369
	Intermedio	452554	8927795	369
	Final	452680	8927839	367
PB20	Inicio	452191	8928187	361
	Intermedio	452263	8928125	359
	Final	452361	8928053	363
PB30	Inicio	452980	8927685	366
	Intermedio	453141	8927763	361
	Final	453303	8927863	358
PB40	Inicio	452579	8928308	366
	Intermedio	452771	8928212	366
	Final	452889	8928055	365

En cada transecto (Figura 4) se tomó 08 muestras de suelo en estrato superficial de 0,00- a 0,15 m, siguiendo las recomendaciones de Sarmiento et al. (2008), Flores et al. (2007) y Da Costa et al. (2009), y se envió para sus análisis correspondientes al laboratorio de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

3.5.2. Sobre las características del bosque secundario (BS)

Es considerado como tratamiento control, es un área que sirve como división entre los poteros y como reserva de bosque en el fundo Ruiz, las especies más representativas son: *Maclobium acaciaefolium* Benth (pashaco blanco), *Inga ruiziana* G. Don (shimbillo), *Calycophyllum Spruceanum* (Bent.) Hook (capirona), *Polyscias murrayi* F. Muel (palo lápiz), *Ficus insípida* Willd (oje), *Uncaria guianensis* (Aubel) J.F.Gmel (uña de gato), *Himatanthus sucuuba* Woods (bellaco caspi), *Trema micrantha* Roemex & Schult. Blume (Atadijo) *Cecropia membranacea* Trécul (setico), *Cariniana periformis* Miers (cachimbo), *Ochroma pyramidale* Cav. Ex. Lamb (topa) y el *Euterpe oleracea* Mart. (huasai), entre otras especies.

3.5.3. Sobre las características del pastizal con *B. brizantha*

Corresponde a plantaciones de pastos cultivados de la especie *B. brizantha* (Richard) Stapf cv Marandú, introducidas al Perú en la década de los 80^s, en el fundo Ruiz todas las áreas fueron instaladas con esta especie desde el inicio, excepto el PB40, pastizal de 40 años, los cinco primeros años se cultivó el *Axonopus compressus* (pasto torourco), conocido como pasto

natural. Estos fueron cambiados por el *B. Brizantha* y es el único pasto que compone las más de 80 ha que tiene el fundo en la actualidad. Las áreas tienen un manejo clásico que incluye: tala y quema al inicio de la instalación de la pastura, dos cultivos de malezas al año, no se aplican fertilizantes, rotación mensual entre potreros y no se mecaniza o renuevan las áreas de pastoreo. Además, la carga animal del fundo es aproximadamente de 1,2 UA/ha. 1,2 UA/ha.

3.5.4. Determinación de los indicadores físicos y químicos del suelo

Se evaluó la textura y resistencia a la penetrabilidad, para su determinación se aplicó el método del hidrómetro de Bouyoucos para la textura y el método directo a través de un penetrómetro de cono para medir la resistencia a la penetrabilidad del suelo. Los indicadores químicos evaluados (Tabla 3) fueron: el pH, determinada con el método electrométrico en agua destilada con relación 1:2,5 debidamente calibrado con soluciones patrón de pH 4 y 7. El Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ fue extraída con acetato de amonio a pH 7 y determinadas por absorción atómica. El Al^{3+} e H^+ fue extraída con KCl, determinadas por titulación con solución de NaOH 0,05 mol L⁻¹. El contenido de P disponible por Olsen modificado extraído con solución de NaHCO_3 0,5 mol L⁻¹ a pH 8,5 y determinado por colorimetría. El contenido de MO por Walkley & Black y la CIC se determinó mediante saturación por acetato de amonio (CH_3COOH) a pH 7, los protocolos aplicados en las diferentes determinaciones están descritas en Bazán (2017).

Tabla 12. Indicadores evaluados.

Indicadores	Método de análisis
Textura	Bouyoucos
Resistencia a la penetrabilidad	Penetrómetro de cono
pH	Electrométrico
MO (%)	Walkley y Black
N (%)	Micro Kjeldahl
P (ppm)	Olsen modificado y lectura en Espectro UV-Vis
K (Cmol(+) kg ⁻¹)	
Ca (Cmol(+) kg ⁻¹)	
Mg (Cmol(+) kg ⁻¹)	Acetato de amonio y lectura en EAA
SB (%)	
AC (%)	
CIC	

Fuente. Elaboración propia

3.5.5. Determinación de diferencias a través del análisis de varianza (ANOVA), comparaciones múltiples a través de HSD de Tukey y análisis de correlación de Pearson entre los indicadores evaluados.

El diseño que se utilizó es completamente aleatorizado DCA en donde los tratamientos lo conforman las áreas con distintas edades de pastoreo libre, con tamaño muestral $n= 40$ (8 muestras por tratamiento). Los datos se sometieron al análisis de varianza (Tabla 13) y la prueba post-hoc de Tukey ($p<0,05$) para la comparación de medias entre los tratamientos. Para el procesamiento se utilizó el software IBM-SPSS 25.

Tabla 13. Modelo del análisis de varianza.

FV	GL	SC	CM	Valor de F
Bloques	$r - 1$	$\sum_{j=1}^r \frac{Y_{.j}^2}{t} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$		
Tiempo de pastoreo	$t - 1$	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_{i.}^2}{r} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$	SCtrat /gl trat	CMtrat/CMee
Error Exp.	$(t - 1)(r - 1)$	SCtotal - (SCtrat + SC bloque)	SCee /glee	
Total	$tr - 1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{tr}$		

Fuente: Elaboración propia

El modelo lineal es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \mathcal{E}_{ij} \quad (1)$$

Donde:

Y_{ij} = Observación

μ = Media general

T_i = Efecto del tiempo de pastoreo

β_j = Efecto de bloques

\mathcal{E}_{ij} = Error experimental

La relación que existe entre los indicadores físicos y químicos entre los diferentes tratamientos evaluados se determinó a través del coeficiente de correlación de Pearson, donde el factor principal es el coeficiente de determinación (r^2), definido por la siguiente expresión:

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2} \sqrt{\sum y^2}} \quad (2)$$

Según Hernández et al. (2014), el coeficiente r de Pearson puede variar de -1,00 a +1,00, donde la correlación es:

- -1.00 = Negativa perfecta.
- -0.90 = Negativa muy fuerte
- -0.75 = Negativa considerable
- -0.50 = Negativa media
- -0.25 = Negativa débil
- -0.10 = Negativa muy débil
- 0.00 = No existe correlación
- +0.10 = Positiva muy débil
- +0.25 = Positiva débil
- +0.50 = Positiva media
- +0.75 = Positiva considerable
- +0.90 = Positiva muy fuerte
- +1.00 = Positiva perfecta

3.6. Población y muestra

La población estuvo constituida por 80 hectáreas de pastos cultivados de *B. brizantha* para ganado bovino con fines de producción de carne en el fundo Ruiz. La muestra lo constituyen 4 potreros de pastos *B. brizantha* con diferentes edades de pastoreo (10, 20, 30 y 40 años); el tipo de muestra fue no probabilística y aleatoria, porque, los cuatro potreros y el bosque secundario fueron tomadas y muestreados al azar.

3.7. Variables en estudio

3.7.1. Independiente

- Áreas de pastoreo libre de 10, 20, 30, 40 años y bosque secundario

3.7.2. Dependiente

- Indicadores físicos del suelo
- Indicadores químicos del suelo

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Indicadores físicos del suelo

La Tabla 14, muestra el resultado general de los indicadores físicos evaluados, entre ellos la granulometría, representada por la fracción arena, limo y arcilla y, la resistencia a la penetrabilidad (Rp), mostrando diferencias la fracción arena, limo y la Rp.

Tabla 14. Estadística general de los indicadores físicos del suelo.

Indicador	Tratamiento					Estadísticos	
	BS	PB10	PB20	PB30	PB40	SE M	Sig
Arena (%)	54,25±0,89a	54,88±1,36ab	58,38±4,03b	55,5±1,77ab	57,38±3,74ab	7,20	0,02*
Limo (%)	29,25±1,28b	28,63±1,92b	24,5±3,38a	28,63±1,77b	26,38±3,29ab	6,14	0,002**
Arcilla (%)	16,38±0,74ab	16,5±0,76ab	17,25±0,71b	16,13±0,64a	16,38±0,92ab	0,57	0,057
Textura	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso	---	---
Rp (Kg cm ²)	0,98±0,12a	1,3±0,17b	1,55±0,19b	1,84±0,13c	2,39±0,23d	0,03	<0.001* *

Rp resistencia a la penetrabilidad, BS bosque secundario, PB pasto Brachiaria de 10, 20, 30 y 40 años de pastoreo libre, SEM cuadrado medio del error, Sig significancia estadística, * significativo, ** altamente significativo, las letras a-c, representan diferencias estadísticamente significativas entre los promedios evaluado mediante la prueba de Tukey (P < 0.05).

En las comparaciones múltiples (Tabla 15) se puede identificar que es el tratamiento PB20 el que muestra diferencias respecto al BS para la fracción arena y limo, y en caso de la Rp todas las áreas de pasto son diferentes al Bs.

Tabla 15. Comparaciones múltiples HSD Tukey de los indicadores físicos

Tratamiento		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
Arena	PB10	-0,6250	134,197	0,990
	PB20	-4,1250*	134,197	0,031
	PB30	-12,500	134,197	0,883
	PB40	-31,250	134,197	0,160
Limo	PB10	0,6250	123,960	0,986
	PB20	4,7500*	123,960	0,004
	PB30	0,6250	123,960	0,986
	PB40	28,750	123,960	0,163
Arcilla	PB10	-0,1250	0,37914	0,997
	PB20	-0,8750	0,37914	0,167
	PB30	0,2500	0,37914	0,964
	PB40	0,0000	0,37914	1,000
Rp	PB10	-0,3163*	0,08630	0,007
	PB20	-0,5625*	0,08630	0,000
	PB30	-0,8613*	0,08630	0,000
	PB40	-1,4038*	0,08630	0,000

El término de error es la media cuadrática (Error) = 7,204. * La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

El análisis de correlación (Tabla 16) muestra correlación significativa positiva débil entre los tratamientos y la fracción arena y muy fuerte con la Rp; esto explica que el manejo de pastoreo libre tiene relación positiva y a medida que pasa el tiempo de manejo de la pastura la Rp se incrementara. Además, se observa correlación negativa muy fuerte entre arena y limo, positiva débil entre arena y Rp, este último, evidencia que las fracciones del suelo que determina la clase textural (áreas franco arenoso) no son determinantes en los valores de la Rp, por lo que, este indicador puede incrementarse en el tiempo independientemente de la clase textural que presentan estas áreas.

Tabla 16. Correlación de Pearson para indicadores físicos

		Tratamiento	Arena	Limo	Arcilla	Rp
Tratamiento	Correlación de Pearson	1				
	Sig. (bilateral)					
	N	40				
Arena	Correlación de Pearson	0,329*				
	Sig. (bilateral)	0,038				
	N	40	40			
Limo	Correlación de Pearson	-0,278	-0,957**			
	Sig. (bilateral)	0,082	0,000			
	N	40	40	40		
Arcilla	Correlación de Pearson	-0,066	-0,006	-0,254		
	Sig. (bilateral)	0,687	0,970	0,113		
	N	40	40	40		
Rp	Correlación de Pearson	0,936**	0,352*	-0,307	-0,099	1
	Sig. (bilateral)	0,000	0,026	0,054	0,543	
	N	40	40	40	40	40

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral). **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Los resultados de los indicadores físicos evaluados muestran diferencias para la fracción limo y la Rp (Tabla 14), también, las comparaciones HSD revelan que es el tratamiento PB20, para limo y arena el que muestra diferencias respecto al BS y en caso de la Rp todas las áreas de pasto son diferentes al Bs (Tabla 15), finalmente, se tiene correlación significativa positiva muy fuerte entre los tratamientos y la Rp (Tabla 16).

Estos indicadores permiten una evaluación del estado de conservación del suelo (Oliveira, 2008; Cervelati et al., 2011). Asimismo, es relevante los cambios encontrados respecto a la Rp con tendencia de incremento sostenido en el tiempo (Tabla 14), por su estrecha relación con la compactación y la degradación del suelo haciendo que se pierdan sus propiedades y disminuya el rendimiento en la producción, por cambios en las propiedades físicas del suelo (Demuner et al., 2013). Además, el efecto del pastoreo se evidencia principalmente sobre los atributos físicos del suelo (Navarro et al., 2019), como la compactación en texturas más arcillosas (Cervelati et al., 2011), con una reducción significativa en los rendimientos de los cultivos (Da Costa et al., 2009). Las condiciones físicas de los suelos afectados por el pisoteo del ganado, provoca la compactación, expresado por el aumento de la densidad, la Rp y la reducción del espacio poroso total, la macroporosidad y propiedades hidráulicas, que proporcionan menor capacidad para infiltrar agua en el suelo y aumentar la susceptibilidad a la erosión (Müller et al., 2001).

Las áreas evaluadas son franco arenoso, contrario a lo afirmado por Da Costa et al. (2009), Cervelati et al. (2011) y Navarro et al. (2019), que la Rp se ve afectada por el pastoreo en suelos arcillosos, el trabajo, evidencia un proceso de compactación significativa en suelo franco arenoso. Es posible, explicar este resultado por: a) la alta presión de pastoreo, al mantener grandes rebaños de ganado dentro una pequeña área de pastoreo conocida como potrero, así lo evidenciaron Sanchez (2019) y Kabana et al. (2021), b) por la adopción de sistema de integración agropecuaria extensivo sin criterios técnicos para el manejo de la pastura (Sanchez, 2019), y c) porque el pisoteo se realiza en suelo húmedo (Da Costa et al., 2009). Este último, es muy importante explicaría la compactación registrada, ya que, el área de estudio presenta medias de precipitación anual de 3 400 mm.

4.2. Indicadores químicos del suelo

Los indicadores químicos muestran alteración frente al pastoreo libre, la Tabla 17, muestra diferencias en la mayoría de los indicadores evaluados, excepto, el pH y el Al, resultado atípico para la mayoría de los suelos bajo diferentes tipos de manejos y usos en nuestra zona subtropical.

Las comparaciones múltiples (Tabla 18), muestran que el P, K y Ca en todas las áreas de pastoreo son diferentes al BS. La MO solo el PB10 y PB30 son diferentes al BS; el PB20 del Mg y el PB30 de la CIC se muestran distinto al BS. El pH y Al no son diferentes al BS.

Tabla 17. Estadística general de los indicadores químicos del suelo

Indicador	Tratamiento					Estadísticos	
	BS	PB10	PB20	PB30	PB40	SEM	Sig
pH	4,77±0,18a	4,74±0,26a	4,60±,25a	4,81±0,30a	4,89±0,34a	0,073	0,307
MO (%)	3,10±0,61ab	4,00±0,52c	2,38±0,16a	4,12±0,74c	3,44±0,19bc	0,252	<0,001**
N (%)	0,16±0,03b	0,20±0,03c	0,12±0,01a	0,21±0,04c	0,17±0,01bc	0,001	<0,001**
P (%)	2,30±0,19a	4,92±0,47b	7,59±0,58c	9,20±0,14d	10,91±0,82e	0,257	<0,001**
K (%)	88,72±3,97b	100,45±4,02c	74,60±5,52a	108,48±3,71c	125,68±10,88d	38,91	<0,001**
Ca (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	1,84±0,12a	2,09±0,05bc	2,28±0,03c	1,60±0,06a	1,74±0,13ab	0,007	<0,001**
Mg(Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	0,29±0,01bc	0,31±0,01c	0,35±0,04d	0,26±0,01a	0,27±0,03ab	0,001	<0,001**
Al (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	2,12±0,48a	1,81±0,25a	1,91±0,42a	2,18±0,24a	2,04±0,21a	0,086	0,142
CIC	5,03±0,43bc	4,85±0,28ab	5,39±0,21c	4,46±0,27a	4,55±0,28a	0,092	<0,001**
SB (%)	42,54±4,13a	49,38±3,34b	48,63±2,39b	41,63±1,69a	44,00±2,67a	8,776	<0,001**
AC (%)	57,46±4,13b	50,63±3,34a	51,38±2,39a	58,38±1,69ab	56,00±2,67ab	8,774	<0,001**
SAI (%)	44,50±12,13ab	37,38±4,60a	36,13±5,77a	48,88±2,90b	44,63±2,33ab	43,071	0,002**

BS bosque secundario, PB pasto Brachiaria de 10, 20, 30 y 40 años de pastoreo libre, SEM cuadrado medio del error, Sig significancia estadística, * significativo, ** altamente significativo, las letras a-c, representan diferencias estadísticamente significativas entre los promedios evaluado mediante la prueba de Tukey (P < 0.05)

Tabla 18. Comparaciones múltiples HSD Tukey de los indicadores químicos

Tratamiento - BS		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
pH	PB10	0,0300	0,13547	0,999
	PB20	0,1700	0,13547	0,720
	PB30	-0,0388	0,13547	0,998
	PB40	-0,1225	0,13547	0,893
MO	PB10	-,8975*	0,25077	0,009
	PB20	0,7163	0,25077	0,052
	PB30	-1,0263*	0,25077	0,002
	PB40	-0,3450	0,25077	0,647
P	PB10	-2,6200*	0,25334	0,000
	PB20	-5,2900*	0,25334	0,000
	PB30	-6,8988*	0,25334	0,000
	PB40	-8,6088*	0,25334	0,000
K+	PB10	-11,7350*	311,887	0,005
	PB20	14,1337*	311,887	0,001
	PB30	-19,7600*	311,887	0,000
	PB40	-36,9663*	311,887	0,000
Ca ²⁺	PB10	-,2462*	0,04294	0,000
	PB20	-,4337*	0,04294	0,000
	PB30	0,2388*	0,04294	0,000
	PB40	0,1063	0,04294	0,120
Mg ²⁺	PB10	-0,0188	0,01132	0,473
	PB20	-0,0525*	0,01132	0,000
	PB30	0,0375*	0,01132	0,017
	PB40	0,0213	0,01132	0,348
Al ³⁺	PB10	0,3100	0,14622	0,235
	PB20	0,0850	0,14622	0,977
	PB30	-0,0600	0,14622	0,994
	PB40	0,0875	0,14622	0,974
CIC	PB10	0,1875	0,15125	0,729
	PB20	-0,3513	0,15125	0,162
	PB30	0,5738*	0,15125	0,005
	PB40	0,4875*	0,15125	0,022

El análisis de correlación (Tabla 19), muestra relación positiva significativa muy fuerte entre los tratamientos y el P, positiva media con el K y positiva débil con la SAl. También, se observa relación positiva muy fuerte entre la MO y el N, media con el K, débil con SAl y negativa débil con Ca, Mg y CIC. Además, el P muestra relación positiva media con el K y

negativa débil con la CIC. Relación media negativa entre el K y el Ca, Mg y CIC. Relación positiva considerable del Ca con el Mg y medio con la CIC y SB, finalmente relación positiva considerable entre el Al y la SAl y medio con la AC.

El resultado de los indicadores químicos evaluados revela que existen diferencias en la mayoría, excepto, el pH y Al (Tabla 17). Este comportamiento es ratificado en el análisis de comparaciones múltiples HSD de Tukey, donde el pH y Al de las áreas de pastoreo no son diferentes al BS, además, pone en evidencia que el P, K y Ca en todas las áreas de pastoreo son diferentes al BS. Sin embargo, la MO solo en PB10 y PB30 son diferentes al BS, el Mg en PB20 y la CIC en PB30 muestra diferencias respecto al BS. Finalmente, el análisis de correlación (Tabla 19) muestra relación positiva significativa muy fuerte entre los tratamientos y el P, entre la MO y el N, Relación positiva considerable del Ca con el Mg y entre el Al y la SAl.

El pH, no presenta diferencias y fluctúa entre 4,60 (PB20) y 4,89 (PB40), para SAGARPA (2012) corresponden a suelos fuertemente ácidos ($\text{pH} < 5$) y son típicos en zonas lluviosas, que provocan el lavado de bases y como consecuencia el suelo se acidifica (pH entre 4,0 – 6,5), provocando altas concentraciones de Al^{3+} y Mn solubles. Además, estos niveles de pH nos permiten inferir deficiencias y baja disponibilidad de nutrientes, que afectarían la absorción de K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} (Rivera et al., 2018; Rosas et al., 2017). Además de la alta pluviometría de la zona, la textura franca arenosa que presentan las áreas son las responsables de estos niveles de pH, ya que según SAGARPA (2012) los suelos arenosos son químicamente inertes y carecen de propiedades coloidales. Los resultados no muestran tendencias de disminución del pH en 40 años de manejo de pastoreo libre sobre el área, sin embargo, los niveles encontrados no son deseables y son contrarios a los resultados de Kavana et al. (2021) y Navarro et al. (2018), quienes encontraron diferencias para el pH en diferentes sistemas de uso que incluyen áreas de pastizal.

La materia orgánica (MO) y el nitrógeno (N), ambos presentan diferencias altamente significativas, y fluctúa entre 2,38 (PB20) y 4,12 % (PB30) para MO y 0,12 a 0,21 % para N, niveles que van entre medio y alto (2-4 y >4) según SAGARPA (2012). La MO es considerada base de la fertilidad y tiene influencia directa sobre indicadores, tanto físicos como químicos, particularmente sobre la formación de agregados estables y la disponibilidad de los principales macronutrientes como el N, P y S (Cunha et al., 2018; Demuner et al., 2013). Además, mejora las condiciones de aireación, retención de humedad, disminución de la erosión e incremento de la capacidad amortiguadora (SAGARPA, 2012).

Tabla 19. Correlación de Pearson para indicadores químicos

		T	pH	MO	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	CIC
	Correlación										
T	Sig. bilateral										
	N										
	Correlación	0,164									
pH	Sig. bilateral	0,313									
	N	40									
	Correlación	0,147	0,193								
MO	Sig. bilateral	0,366	0,232								
	N	40	40								
	Correlación	0,118	0,186	,997**							
N	Sig. bilateral	0,468	0,250	0,000							
	N	40	40	40							
	Correlación	0,981**	0,134	0,112	0,085						
P	Sig. bilateral	0,000	0,411	0,490	0,602						
	N	40	40	40	40						
	Correlación	0,633**	0,231	0,538**	,519**	,545**					
K ⁺	Sig. bilateral	0,000	0,151	0,000	0,001	0,000					
	N	40	40	40	40	40					
	Correlación	-,386*	-0,266	-,482**	-,467**	-0,293	-,704**				
Ca ²⁺	Sig. bilateral	0,014	0,098	0,002	0,002	0,066	0,000				
	N	40	40	40	40	40	40				
	Correlación	-,369*	-0,254	-,448**	-,436**	-0,297	-,655**	,831**			
Mg ²⁺	Sig. bilateral	0,019	0,114	0,004	0,005	0,063	0,000	0,000			
	N	40	40	40	40	40	40	40			
	Correlación	0,092	-0,077	0,119	0,114	0,064	0,006	-0,279	-0,176		
Al ³⁺	Sig. bilateral	0,574	0,639	0,465	0,483	0,694	0,972	0,081	0,278		
	N	40	40	40	40	40	40	40	40		
	Correlación	-,438**	-,433**	-,395*	-,380*	-,378*	-,678**	,678**	,641**	0,290	
CIC	Sig. bilateral	0,005	0,005	0,012	0,015	0,016	0,000	0,000	0,000	0,070	
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
	Correlación	-0,162	0,046	-0,291	-0,283	-0,097	-,347*	,738**	,593**	-,649*	0,013
%BC	Sig. bilateral	0,319	0,780	0,069	0,076	0,550	0,028	0,000	0,000	0,000	0,936
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	Correlación	0,162	-0,046	0,291	0,284	0,097	,347*	-,738**	-,593**	,649**	-0,01
%AC	Sig. bilateral	0,319	0,779	0,069	0,076	0,550	0,028	0,000	0,000	0,000	0,936
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	Correlación	,376*	0,177	0,370*	0,357*	0,315*	0,416**	-,694**	-,561**	,818**	-0,31
%SAI	Sig. bilateral	0,017	0,273	0,019	0,024	0,048	0,008	0,000	0,000	0,000	0,054
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

Tratamiento (T)

Los resultados de MO nos muestran niveles medios y altos con tendencia de incremento en el tiempo, al parecer, 40 años de pastoreo libre favorecen y mejoran los niveles de MO superando al BS. Este comportamiento ha sido evidenciado por otros investigadores (Navarro et al., 2018; Silva et al., 2015, Navarro et al., 2013; Carvalho et al., 2012), señalan que los sistemas de producción de pastos pueden superar al bosque nativo en MO por que el sistema radicular de las gramíneas que componen los pastos explora un mayor volumen de suelo en relación a los cultivos anuales y contribuye a elevar los contenidos de carbono orgánico del suelo en una forma más estable, sin embargo, estos autores advierten que este comportamiento de la MO no significa que el sistema de pastizales tenga efectos negativos sobre los demás indicadores de calidad del suelo.

Los cationes intercambiables Ca^{2+} y Mg^{2+} , se encontró valores entre 1,6 (PB30) a 2,28 (PB20) para Ca^{2+} y 0,26 (PB30) a 0,35 (PB20) para Mg^{2+} . Según SAGARPA (2012) corresponde a niveles muy bajo a bajo en Ca (<2 , 2-5 $\text{Cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$) y muy bajo en Mg ($<0,5$ $\text{Cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$). Estos son valores normales en suelos ácidos (Havlin et al., 1999) y es común encontrar deficiencias de estos elementos solo en condiciones de suelos ácidos, tóxicos en aluminio, (Bohn, 1993), esto, por la relación sinérgica entre los cationes de la solución suelo (Navarro y Navarro, 2003). Su exceso y/o deficiencia no es muy común, sin embargo, los suelos ácidos, arenosos, altamente lavados y con baja CIC suelen presentar mayores deficiencias de estos elementos (Havlin et al., 1999; Bohn, 1993).

En general, los resultados evidencian deficiencias de estos cationes y contrastan con los resultados de Cunha et al. (2018), reporta valores relativamente bajos de bases Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+} en estratos 0.00 – 0,05 m y 0,05 – 0,10 m al comparar, áreas bajo cobertura de bosques y pastizales. También, Kavana et al. (2021) encontraron niveles bajos y diferencias para el Ca^{2+} en diferentes tipos de uso del suelo, además concluye que independiente de las condiciones climáticas, la biomasa residual está determinada por la intensidad del pastoreo y las concentraciones de Ca en el suelo.

La capacidad de intercambio de cationes (CIC), se encontró valores entre 4,46 (PB30) a 5,39 (PB20), niveles muy bajos (<5 $\text{Cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$) y bajos (5-15 $\text{Cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$) según SAGARPA (2012). La CIC estima los sitios de carga en las arcillas, tanto cargas permanentes como dependientes del pH y está en función de la cantidad y tipo de arcilla y de las moléculas orgánicas (Pérez et al., 2017; SAGARPA, 2012). Suelo con baja CIC indica pobre capacidad de retención de cationes, como el caso de los suelos arenosos o con bajos niveles de MO, por

ello, es la propiedad química responsable de la fertilidad de los suelos y la producción mundial de alimentos (Bueno y Fernández, 2019).

Las áreas evaluadas presentan textura franca arenosa y alta pluviometría, por lo que, es razonable encontrar estos bajos niveles de CIC y de bases cambiables, aunque, se tienen niveles medios y altos de MO, probablemente sea este último el responsable de sostener la CIC y la fertilidad de dichos suelos. Trabajos previos revelan diferencias para este indicador (Kavana et al., 2021; Navarro et al., 2018) en comparación de áreas de pastizal y otros tipos de uso del suelo.

El aluminio (Al), no presentó diferencias (Tabla 17) con valores entre 1,81 (PB10) a 2,18 (PB30) $\text{Cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$, estos corresponden a niveles tóxicos para las plantas según Manzani et al. (2021). Este indicador está relacionado directamente con la acidez cambiante (AC) y la saturación de aluminio (SAI), que muestran diferencias y valores elevados que van de 50,63 (PB10) a 58,38 % (PB40) para AC y 36,13 (PB20) a 48,88 % (PB30) de SAI.

Los altos niveles de Al^{3+} encontrado pueden explicarse por altas precipitaciones en la zona, que pueden originar procesos intensos de alteración química y lavado de bases que favorecen la solubilidad del Al^{3+} (May, 2015) y condiciones de suelos ácidos ($\text{pH} < 5$), su concentración en la solución es alta y es fuertemente retenida en la superficie de los coloides minerales, disminuyendo la CIC del suelo (Bohn, 1993). Estas condiciones influyen en la baja disponibilidad de algunos nutrimentos como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y P (Rivera et al., 2018), tal como se observa en las áreas de pastizal evaluadas (Tabla 17). Finalmente, Manzani et al. (2021) advierte efectos negativos sobre las células epidérmicas de la raíz y los tejidos foliares del *Brachiaria* se pueden ver afectados por concentraciones altas de Al^{3+} .

Finalmente, el fundo Ruiz presenta un manejo tradicional de tala quema y manejo extensivo bajo pastoreo libre del ganado, en áreas de 10, 20, 30 y 40 años con una carga animal de $1,2 \text{ UA ha}^{-1}$ y los resultados pone en evidencia problemas físicos y químicos. Esto ya fue estudiado por Cervelati et al. (2011), quienes advierten que el pisoteo de animales puede causar alteraciones en la porosidad y compactación del suelo. También, Colmán et al. (2017) advierte cambios físicos que pueden limitar la productividad de las pasturas después de 25 años de manejo. Frente a ello, para aliviar la compactación, una alternativa es controlar la carga animal en relación con la cantidad de pasto producido con el fin de mitigar este efecto del pisoteo en la calidad de los suelos, así, ajustar la carga animal al crecimiento de la pastura como lo recomienda Flores et al. (2007) y Sarmiento et al. (2008). Además, frente a los cambios

fisicoquímicos negativos observados, Crespo (2009) sugiere considerar la fertilización orgánica e inorgánica según la necesidad del suelo y Padilla et al. (2009), hace algunas recomendaciones que incluyen: labores mecánicas al suelo considerando la época, el pasto y las malezas que se eliminan del ecosistema, aplicación de arado combinado con fertilización y la rehabilitación de pastizales con siembras nuevas.

V. CONCLUSIONES

1. La textura, en todas las áreas evaluadas presentan clase franca arenosa y la única fracción que muestra diferencias es el limo. La resistencia a la penetrabilidad va desde muy suave a duro, también, muestra diferencias con tendencia de incremento en el tiempo, y todas las áreas de pasto son diferentes al BS según la prueba HSD-Tukey para la Rp.
2. Los diferentes indicadores químicos evaluados presentan diferencias en la mayoría, excepto, el pH y Al. Las comparaciones múltiples HSD-Tukey del pH y Al^{3+} de las áreas de pastoreo no son diferentes al BS, y el P, K^+ y Ca^{2+} en todas las áreas de pastoreo son diferentes al BS. Además, se tienen niveles fuertemente ácidos de pH, entre medio y alto en MO y N, niveles muy bajo a bajo en Ca^{2+} , muy bajo en Mg^{2+} , niveles muy bajos y bajos en CIC y niveles tóxicos en Al^{3+} .
3. El fundo Ruiz presenta un manejo típico de tala quema y manejo extensivo bajo pastoreo libre del ganado, sin criterios técnicos para el manejo de la pastura en áreas de 10, 20, 30 y 40 años con una carga animal de $1,2 \text{ UA ha}^{-1}$, y los resultados en general pone en evidencia problemas físicos y químicos que pueden limitar la productividad de las pasturas, por un proceso de compactación, pérdida de bases cambiables e incremento de aluminio y acidez cambiabile.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Frente a los cambios fisicoquímicos producido por el pastoreo libre del ganado bovino, desarrollar investigación para determinar la carga animal en relación con la cantidad de pasto producido con el fin de mitigar el efecto del pisoteo en la calidad de los suelos, así, ajustar la carga animal al crecimiento de la pastura y conservar el recurso suelo.
2. Estudiar la aplicación de fertilización orgánica a través del compost, guano de islas y el bocashi, e inorgánica con dolomita y roca fosfórica, según la necesidad del suelo, para mejorar los niveles de bases cambiables, reducir la disponibilidad del Al^{3+} y permitir la sostenibilidad del agroecosistema.
3. Investigar la respuesta de la aplicación del arado combinado con fertilización orgánica y mineral, para revertir la compactación y mejorar la disponibilidad de nutrientes.
4. Evaluar la viabilidad de la rehabilitación de pastizales con siembras de especies forestales (Bolaina, capirona, marupa, etc.) y forrajes que aportan nitrógeno (Kudzu, Centrocema, maní forrajero, etc.) nuevas o combinación de especies como diferentes.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, G. (2021). *Indicadores fisicoquímicos del suelo con manejo tradicional de cultivos en la comunidad nativa de Chambira Picota- San Martin, 2019*. [Tesis posgrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1867>
- Aguado, L., Etchevers, J., Hidalgo, M., Galvis, S. y Aguirre, G. (2002). Dinámica del potasio en suelos agrícolas. *Agrociencia*, 36(01), 11-21. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236102>
- Aguilar, E. y Kuan, L. (2019). *Efecto de la fertilización con biol y sintética sobre la producción de materia seca y calidad del pasto Brachiaria brizantha cv. Marandú, finca El Plantel, Masaya 2017 – 2018*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional UNA. <https://repositorio.una.edu.ni/3949/1/tnf04a283f.pdf>
- Azevedo, E. y Sverzut, C. (2007). Alterações dos atributos físicos e químicos do solo sob pastagem no sudoeste do estado de Mato Grosso. *Revista de Agricultura Tropical, Cuiabá*, 9(1), 1-7.
- Bohn, H., McNeal, B. y O'Conor, G. (1993). Química del suelo. *Limusa*.
- Bueno, R. y Fernández, J. (2019). La capacidad de intercambio catiónico del suelo: una bóveda de nutrición clave en la producción de alimentos. *Ámbito Investigativo*. 4(1), 6-12. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1029&context=ai>
- Camacho, T., Forero, C., Ramírez, L. y Rubiano, Y. (2017). Evaluación de textura del suelo con espectroscopía de infrarrojo cercano en un oxisol de Colombia. *Colombia Forestal*, 20(1), 5-18. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.1.a01>
- Camasca, P. (2011). *Efecto de diferentes abonos orgánicos en el establecimiento del Brachiaria brizantha stapf cv marandú en la zona de Tingo María*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/785>
- Carreño, A. y Chaparro, G. (2013). Tolerancia al aluminio en especies vegetales: mecanismos y genes. *Universitas Scientiarum* 18(3): 283 – 310. doi: 10.11144/Javeriana.SC18-3.taev
- Carvalho, D., Rodrigues, C., Pillon, C., Filippini, J., Machado, R. y Oliveira, F. (2012). Distribución de la materia orgánica en clases de agregados en un latosol arcilloso rojo

- bajo forestación y pastizal. *Agrociencia*, 46(01), 231-241. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v46n3/v46n3a3.pdf>
- Cerdas, R., y Vallejos, E. (2012). Comportamiento productivo de varios pastos tropicales a diferentes edades de cosecha en Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes, Revista de las Sedes Regionales*, 13(26), 6-22. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66624662001>
- Cervelati, K., De Sousa, E. Neto, E., Sadayuki, E., Rocha, M. y Pereira, M. (2011). Efeito de diferentes sistemas de pastejo em atributos físicos do solo. *PUBVET, Londrina*, 5(22). <http://www.pubvet.com.br/uploads/f75d9e495ba2e3606626fe24edde259f.pdf>
- Colmán, P., Marques, A., Campos, S. y Cristiano A. (2018). Propiedades físicas de suelos en pasturas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú en el distrito de Jasy Cañy, Paraguay. *Acta Agron*, 67 (1), 414-419. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n3.68923>
- Crespo, G. (2009). Recuperación de la fertilidad del suelo en áreas ganaderas degradadas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(4), 355-360. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193014888005>
- Cunha, F. Da, Pereira, M., Leles, P., dos S. y Abel, E. L. da S. (2018). Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba - MG. *Ciência Florestal*, 28(1), 13–24. <https://doi.org/10.5902/1980509831569>
- Da Costa, A., Albuquerque, J., Mafra, A. y Rodrigues, F. (2009). Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 33 (2), 235-244. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000200001>
- Demuner, M., Cadena, Z. y Campos, S. (2013). Resistencia a la penetración en un suelo franco arcilloso a dos años de manejo con tres sistemas de labranza. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22, 68-71. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v22s1/rcta12513.pdf>
- Doran, J. y Parkin, T. (1994). Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.; Coleman, D.; Bezdicek, D. y Stewart, B., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, *Soil Science Society of America*, 35, 3-21.
- Escalante, M. (2015). *Estado de degradación de las pasturas de la asociación de ganaderos de Aucayacu-La Morada*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS, <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1313>
- Fernandes, H. y Souza, A. (2001). Compactação dos solos florestais: uma questão de estudo. *Revista Árvore, Viçosa*, 25(3), 387-392.

- Fernández, M. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, XLI, (2), 51-57. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223114970009>
- Flores, J., Anghinoni, I., Cassol, L., Carvalho, P., Leite, J. y Fraga, T. (2007). Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31 (4), 771-780. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000400017>
- García, Y., Ramírez, W. y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso *Pastos y Forrajes*. 35(2), 125-138. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v35n2/pyf01212.pdf>
- Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S. y Nelson, W. (1999). Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. 6. ed. Upper Saddle River (Estados Unidos), Prentice Hall. 499 p.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). Metodología de la Investigación. 6ª Edición. *Mc GRAW-HILL*. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI. (2020). *Producción Nacional. Informe técnico N° 06*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/informe-tecnico-produccion_abril-2020.pdf
- Jacobo S., Gonzales F., Pérez E. y Rojas R. (2013). *Fundamentos teóricos y metodológicos para la investigación científica en ciencias agrarias*. Universidad Nacional Hermilio Valdizan.
- Kavana, P., Mtengeti, E., Sangeda, A., Mahonge, C., Fyumagwa, R. y Bukombe, J. (2021). ¿Cómo afectan actividades agro-pastoriles el forraje y las características del suelo en Serengeti occidental, Tanzania? *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 9(1). 120 – 133. [http://dx.doi.org/10.17138/TGFT\(9\)120-133](http://dx.doi.org/10.17138/TGFT(9)120-133)
- Lacasta, D.C., Benítez, G. M., Maire, N. y Meco, R. (2006). Efecto de la textura del suelo sobre diferentes parámetros bioquímicos. *VII Congreso SEAE: Agricultura y Alimentación Ecológica: Trabajo 110*. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/16622/1/2006%20Bio-suelos.pdf>

- Leão, T., Silva, A., Macedo, M., Imhoff, S. y Euclides, V. (2003). Intervalo hídrico ótimo em sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28 (3), 423 -423. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000300002>
- Manzani L., De Oliveira G., Amaral H., Rodrigues J., Banos, G., Barbarotto, K., Geminiano G., Dos Santos, A., Barradas, L. y Monteiro P. (2021) Cambios en el crecimiento y en las ultraestructuras de tejidos radiculares y foliares de *Urochloa brizantha* cultivado en suelo con niveles tóxicos de aluminio. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 9(1), 23–33. [http://dx.doi.org/10.17138/TGFT\(9\)23-33](http://dx.doi.org/10.17138/TGFT(9)23-33)
- Mármol, J. 2006. *Manejo de pastos y forrajes en la ganadería de doble propósito*. X Seminario de Pastos y Forrajes. Universidad de Zulia, Venezuela. http://www.avpa.ula.ve/congresos/seminario_pasto_X/Conferencias/A1Jesus%20Faria%20Marmol.pdf
- May, T. (2015). pH, aluminio y factores ambientales en suelos bajo bosques de la Cordillera Central, República Dominicana. *Revista Geográfica Venezolana*, 56(1), 59-71. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347738680004>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego-MIDAGRI. (2021). *Perfil productivo y competitivo de las principales especies y productos pecuarios*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZjA5NjFjYTQtODM4My00YmE0LWIwYWItZTE1MzhiM2MyOGQwIiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9>
- Muller, M. (2001). Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 36(11), 1409-1418.
- Navarro, B. y Navarro, G. (2003). Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. *Ediciones Mundi–Prensa*.
- Navarro, L., Florida, N., & Navarro, M. (2018). Sustancias húmicas y agregación en oxisol (Rhodic Eutrudox) con pasto brachiaria y otros sistemas de uso. *Livestock Research for Rural Development*. 30 (8) <http://www.lrrd.org/lrrd30/8/nelino30137.html>
- Navarro, LL., Corá, E., y Junior, S. (2013). Influence of soil use on organic carbon and humic substances of an Oxisol in tropical systems. In: *Functions of Natural Organic Matter in*

- Changing Environment. Xu et al. Eds. Zhejiang University Press and Springer Science. pp. 401-405. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-5634-2_73
- Oliveira, N. (2008). *Avaliação dos atributos físicos do solo em três sistemas de uso e seus impactos na bacia hidrográfica do Rio Carapá em Colíder-MT*. [Dissertação Mestrado, em Ciências Ambientais, Universidade do Estado de Mato Grosso]. Repositório Institucional UNEMAT. <http://portal.unemat.br/media/oldfiles/prppg/docs/86>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Cuarta edición. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- Padilla, C., Crespo, G. y Sardiñas, Y. (2009). Degradación y recuperación de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(4), 351-354. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193014888004>
- Pérez, A., Galvis, A., Bugarín, R., Hernández, T., Vázquez, M. y Rodríguez, A. (2017). Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata (AgTU⁺ n). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(1), 171-177. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8n1/2007-0934-remexca-8-01-171.pdf>
- Proffit, A.; Bendotti, S. Howell, M. y Esatham, J. (1993). The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a redbrown earth. *Austr. J. Soil Res.*, 44,317-331.
- Reategui, K, Aguirre, N., Oliva, R. y Aguirre, E. (2019). Presión de pastoreo sobre la disponibilidad de forraje *Brachiaria decumbens*. *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 249-258. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.10>
- Rivera, E., Sánchez, M. y Domínguez, H. (2018). PH como factor de crecimiento en plantas. *RIC*. 4(Nº especial), 101-105.
- Rosas, P. G., Puentes, Y. J. y Menjivar, J. C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529-541. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:742
- Salazar, F. (2010). *Efecto de la fertilización orgánica en el establecimiento del PASTO Brachiaria brizantha (Richard) Stapf cv Marandú en Supte San Jorge - Tingo María*.

[Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/416>

Sánchez, J. (2019). *Caracterización de los sistemas de producción de vacunos para el desarrollo ganadero en el distrito de Oxapampa – Pasco* [Tesis de postgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3814>

Sarmiento, P., Andrade, L., Cristina, M., Bernardo, S., Prudencio de Campos, F., Centurion, J. Ferreira, M. (2008). Atributos químicos e físicos de um Argissolo cultivado com *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio, sob lotação rotacionada e adubado com nitrogênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, 183-193. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100018>

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación- SAGARPA. (2012). *Subíndice de Uso Sustentable del Suelo*. Recuperado de https://www.fao-evaluacion.org.mx/rn/ind_fin/suelos/Documento_metodologico_suelos.pdf

Sharrow, S. (2007). Soil compaction by grazing livestock in silvopastures as evidenced by changes in soil physical properties. *Agrofor. Syst.*, 71,215-223.

Silva, B., Teixeira, R., Wendling, B. y Alves, C. (2015). Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO₂ em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. *Rev. Ambient. Água*. 10(01), 660-675. <http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v10n3/1980-993X-ambiagua-10-03-00660.pdf>

Zúñiga, E., Martínez, J., Baca, G., Martínez, Á., Tirado, J., Kohashi, S. y Cruz, J. (2010). Efecto de la fertilización con potasio en un vertisol sobre la relación cantidad/intensidad (Q/I). *Terra Latinoamericana*, 28(4), 319-325. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000400003

ANEXOS

Anexo 1. Evaluaciones estadísticas

Tabla 20. Análisis de varianza de la fracción arena.

Variable dependiente: Arena

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	96,650 ^a	4	24,162	3,354	0,020
Intersección	125776,225	1	125776,225	17460,259	0,000
tratamiento	96,650	4	24,163	3,354	0,020
Error	252,125	35	7,204		
Total	126125,000	40			
Total, corregido	348,775	39			

a. $R^2 = 0,277$ (R^2 ajustada = 0,194)

Tabla 21. Análisis post hoc del indicador arena.

HSD Tukey^{a,b}

tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
BS	8	54,2500	
PB10	8	54,8750	54,8750
PB30	8	55,5000	55,5000
PB40	8	57,3750	57,3750
PB20	8		58,3750
Sig.		0,160	0,091

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00

b. Alfa = 0,05

Tabla 22. Análisis de varianza de la fracción limo.

Variable dependiente: Limo					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	126,850 ^a	4	31,713	5,160	0,002
Intersección	30195,025	1	30195,025	4912,613	0,000
tratamiento	126,850	4	31,712	5,160	0,002
Error	215,125	35	6,146		
Total	30537,000	40			
Total, corregido	341,975	39			

a. $R^2 = 0,371$ (R^2 ajustada = 0,299)

Tabla 23. Análisis post hoc del indicador arena.

HSD Tukey ^{a,b}			
tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
PB20	8	24,5000	
PB40	8	26,3750	26,3750
PB10	8		28,6250
PB30	8		28,6250
BS	8		29,2500
Sig.		0,561	0,163

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00

b. Alfa = 0,05

Tabla 24. Análisis de varianza de la fracción arcilla.

Variable dependiente: Arcilla					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	5,850 ^a	4	1,463	2,543	0,057
Intersección	10923,025	1	10923,025	18996,565	0,000
tratamiento	5,850	4	1,462	2,543	0,057
Error	20,125	35	0,575		
Total	10949,000	40			
Total, corregido	25,975	39			

a. $R^2 = 0,225$ (R^2 ajustada = 0,137)

Tabla 25. Análisis post hoc del indicador arcilla.

HSD Tukey ^{a,b}			
tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
PB30	8	16,1250	
BS	8	16,3750	16,3750
PB40	8	16,3750	16,3750
PB10	8	16,5000	16,5000
PB20	8		17,2500
Sig.		0,858	0,167

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00

b. Alfa = 0,05

Tabla 26. Análisis de varianza de la resistencia a la penetrabilidad.

Variable dependiente: Rp					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	9,216 ^a	4	2,304	77,348	0,000
Intersección tratamiento	103,845	1	103,845	3486,029	0,000
Error	9,216	4	2,304	77,348	0,000
Total	1,043	35	0,030		
Total, corregido	114,104	40			
	10,259	39			

a. $R^2 = 0,898$ (R^2 ajustada = 0,887)

Tabla 27. Análisis post hoc del indicador Rp.

HSD Tukey ^{a,b} Rp					
tratamiento	N	Subconjunto			
		a	b	c	d
BS	8	0,9825			
PB10	8		1,2988		
PB20	8		1,5450		
PB30	8			1,8438	
PB40	8				2,3863
Sig.		1,00	0,053	1,00	1,00

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00

b. Alfa = 0,05

Tabla 28. Análisis de varianza del potencial de hidrógeno.

Variable dependiente: pH					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,368 ^a	4	0,092	1,253	0,307
Intersección	905,733	1	905,733	12338,484	0,000
tratamiento	,368	4	0,092	1,253	0,307
Error	2,569	35	0,073		
Total	908,670	40			
Total, corregido	2,937	39			

a. $R^2 = 0,125$ (R^2 ajustada = 0,025)

Tabla 29. Análisis de varianza de la materia orgánica.

Variable dependiente: MO					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	16,069 ^a	4	4,017	15,971	0,000
Intersección	463,216	1	463,216	1841,548	0,000
tratamiento	16,069	4	4,017	15,971	0,000
Error	8,804	35	0,252		
Total	488,090	40			
Total, corregido	24,873	39			

a. $R^2 = 0,646$ (R^2 ajustada = 0,606)

Tabla 30. Análisis post hoc de la MO.

HSD Tukey ^{a,b} MO				
tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
PB20	8	2,3762		
BS	8	3,0925	3,0925	
PB40	8		3,4375	3,4375
PB10	8			3,9900
PB30	8			4,1188
Sig.		0,052	0,647	0,072

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00

b. Alfa = 0,05

Tabla 31. Análisis de varianza del N.

Variable dependiente: N					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,039 ^a	4	0,010	15,187	0,000
Intersección	1,159	1	1,159	1828,917	0,000
tratamiento	0,039	4	0,010	15,187	0,000
Error	0,022	35	0,001		
Total	1,220	40			
Total, corregido	0,061	39			

a. $R^2 = 0,634$ (R^2 ajustada = 0,593)

Tabla 32. Análisis post hoc del N.

HSD Tukey ^{a,b} N				
tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
PB20	8	0,1200		
BS	8		0,1563	
PB40	8		0,1700	0,1700
PB10	8			0,2000
PB30	8			0,2050
Sig.		1,000	0,809	0,062

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00

b. Alfa = 0,05

Tabla 33. Análisis de varianza del P.

Variable dependiente: P					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	375,008 ^a	4	93,752	365,190	0,000
Intersección	1949,374	1	1949,374	7593,366	0,000
tratamiento	375,008	4	93,752	365,190	0,000
Error	8,985	35	0,257		
Total	2333,367	40			
Total, corregido	383,993	39			

a. $R^2 = 0,977$ (R^2 ajustada = 0,974)

Tabla 34. Análisis post hoc del P.

HSD Tukey ^{a,b} P						
Tratamiento	N	Subconjunto				
		a	b	c	d	e
BS	8	2,2975				
PB10	8		4,9175			
PB20	8			7,5875		
PB30	8				9,1963	
PB40	8					10,9063
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00

b. Alfa = 0,05

Tabla 35. Análisis de varianza del K.

Variable dependiente: K					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	12033,111 ^a	4	3008,278	77,315	0,000
Intersección	396660,997	1	396660,997	10194,451	0,000
tratamiento	12033,111	4	3008,278	77,315	0,000
Error	1361,833	35	38,910		
Total	410055,941	40			
Total, corregido	13394,944	39			

a. $R^2 = 0,898$ (R^2 ajustada = 0,887)

Tabla 36. Análisis post hoc del K.

HSD Tukey ^{a,b} K					
tratamiento	N	Subconjunto			
		a	b	c	d
PB20	8	74,5825			
BS	8		88,7162		
PB10	8			100,4513	
PB30	8			108,4763	
PB40	8				125,6825
Sig.		1,000	1,000	0,098	1,000

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00

b. Alfa = 0,05

Tabla 37. Análisis de varianza del Ca.

Variable dependiente: Ca					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2,357 ^a	4	0,589	79,879	0,000
Intersección	145,657	1	145,657	19745,283	0,000
tratamiento	2,357	4	0,589	79,879	0,000
Error	,258	35	0,007		
Total	148,272	40			
Total, corregido	2,615	39			

a. $R^2 = 0,901$ (R^2 ajustada = 0,890)

Tabla 38. Análisis post hoc del Ca.

HSD Tukey ^{a,b} Ca					
tratamiento	N	Subconjunto			
		a	b	c	d
PB30	8	1,6025			
PB40	8		1,7350		
BS	8		1,8413		
PB10	8			2,0875	
PB20	8				2,2750
Sig.		1,000	,120	1,000	1,000

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00

b. Alfa = 0,05.

Tabla 39. Análisis de varianza del Mg.

Variable dependiente: Mg					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,039 ^a	4	0,010	19,270	0,000
Intersección	3,481	1	3,481	6796,932	0,000
tratamiento	0,039	4	0,010	19,270	0,000
Error	0,018	35	0,001		
Total	3,538	40			
Total, corregido	0,057	39			

a. $R^2 = 0,688$ (R^2 ajustada = 0,652)

Tabla 40. Análisis post hoc del Ca.

HSD Tukey ^{a,b} Mg					
tratamiento	N	Subconjunto			
		a	b	c	d
PB30	8	0,2550			
PB40	8	0,2713	0,2713		
BS	8		0,2925	0,2925	
PB10	8			0,3113	
PB20	8				0,3450
Sig.		0,609	0,348	0,473	1,000

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00

b. Alfa = 0,05

Tabla 41. Análisis de varianza del Al.

Variable dependiente: Al					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,631 ^a	4	0,158	1,845	0,142
Intersección	166,138	1	166,138	1942,547	0,000
tratamiento	0,631	4	0,158	1,845	0,142
Error	2,993	35	0,086		
Total	169,762	40			
Total, corregido	3,624	39			

a. $R^2 = 0,174$ (R^2 ajustada = 0,080)

Tabla 42. Análisis de varianza de la CIC.

Variable dependiente: CIC					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4,514 ^a	4	1,129	12,334	0,000
Intersección	943,035	1	943,035	10306,154	0,000
tratamiento	4,514	4	1,129	12,334	0,000
Error	3,203	35	0,092		
Total	950,752	40			
Total, corregido	7,717	39			

a. $R^2 = 0,585$ (R^2 ajustada = 0,538)

Tabla 43. Análisis post hoc del CIC.

HSD Tukey ^{a,b} CIC				
tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
PB30	8	4,4613		
PB40	8	4,5475		
PB10	8	4,8475	4,8475	
BS	8		5,0350	5,0350
PB20	8			5,3863
Sig.		0,102	0,729	0,162

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,000.

b. Alfa = ,05.

Tabla 44. Análisis de varianza de BC.

Variable dependiente: BC					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	403,832 ^a	4	100,958	11,503	0,000
Intersección	81837,353	1	81837,353	9324,719	0,000
tratamiento	403,832	4	100,958	11,503	0,000
Error	307,174	35	8,776		
Total	82548,358	40			
Total, corregido	711,005	39			

a. $R^2 = 0,568$ (R^2 ajustada = 0,519)

Tabla 45. Análisis post hoc del CIC.

HSD Tukey ^{a,b} BC			
tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
PB30	8	41,6250	
BS	8	42,5350	
PB40	8	44,0000	
PB20	8		48,6250
PB10	8		49,3750
Sig.		,505	,986

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,000.

b. Alfa = ,05.

Tabla 46. Análisis de varianza de AC.

Variable dependiente: AC					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	403,778 ^a	4	100,944	11,505	0,000
Intersección	119980,258	1	119980,258	13674,585	0,000
tratamiento	403,778	4	100,944	11,505	0,000
Error	307,089	35	8,774		
Total	120691,124	40			
Total, corregido	710,866	39			

a. $R^2 = 0,568$ (R^2 ajustada = 0,519)

Tabla 47. Análisis post hoc del CIC.

HSD Tukey ^{a,b} AC			
tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
PB10	8	50,6250	
PB20	8	51,3750	
PB40	8		56,0000
BS	8		57,4638
PB30	8		58,3750
Sig.		0,986	0,505

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00

b. Alfa = 0,05

Anexo 2. Evaluaciones de campo del fundo Ruiz



Figura 5. Fundo Ruíz.



Figura 6. Pasto *Brachiaria* de 40 años.



Figura 7. Área de potreros y bosque secundario.



Figura 8. Muestreo de suelos del fundo Ruiz.



Figura 9. Lectura del Penetrómetro.



Figura 10. Golpes para medir R_p .

Anexo 3. Reporte de análisis de suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531
Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología
analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: ABAD PRINCIPE ROBERT MILER

N°	CODIGO DEL LABORATORIO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	SECTOR	NOMBRE DE LA PARCELA	AREA (Has)	CULTIVO ANTERIOR	CULTIVO ACTUAL	RENDIMIENTO (Kg/Ha)	PROFUNDIDAD DE MUESTREO (cm)	DENSIDAD DE SIEMBRA	COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m.)
													LATITUD	LONGITUD	
1	S0009	HUANUCO	PUERTO INCA	CODO DE POZUZO	--	--	--	--	PASTO	--	--	--	--	--	--

N°	DATOS		ANALISIS MECANICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%			
	CODIGO DEL LABORATORIO	CODIGO DEL SOLICITANTE	Arena %	Arcilla %	Limo %							Textura	disponible		Ca	Mg	K					Na	Al	H
													ppm	ppm										
1	S0009	TE M1	55	16	29	Franco Arenoso	4.94	3.58	0.18	2.06	84.31	5.11	1.71	0.28	--	--	2.41	0.71	5.11	39	61	47		
2	S0010	TE M2	55	18	27	Franco Arenoso	4.59	3.50	0.17	2.23	89.26	5.10	1.85	0.30	--	--	2.12	0.84	5.10	42	58	42		
3	S0011	TE M3	53	16	31	Franco Arenoso	4.58	3.34	0.17	2.04	86.66	5.32	1.92	0.30	--	--	2.77	0.33	5.32	42	58	52		
4	S0012	TE M4	55	16	29	Franco Arenoso	5.06	3.42	0.17	2.35	96.31	3.70	0.17	0.28	--	--	2.45	0.79	3.70	12	88	66		
5	S0013	TE M5	54	17	29	Franco Arenoso	4.81	2.31	0.12	2.60	88.46	4.53	1.68	0.27	--	--	2.15	0.43	4.53	43	57	47		
6	S0014	TE M6	54	16	29	Franco Arenoso	4.71	2.70	0.14	2.39	92.21	4.63	1.89	0.30	--	--	2.00	0.44	4.63	47	53	43		
7	S0015	TE M7	53	16	31	Franco Arenoso	4.84	2.15	0.11	2.44	84.81	4.59	2.01	0.30	--	--	1.15	1.13	4.59	50	50	25		
8	S0016	TE M8	55	16	29	Franco Arenoso	4.60	3.74	0.19	2.27	87.71	5.75	1.94	0.31	--	--	1.93	1.57	5.75	39	61	34		

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
RECIBO 001-0641631
TINGO MARIA, 31 DE ENERO 2022

[Firma manuscrita]
Luis C. Manojón Mestas
JEFE



Figura 11. Reporte de Análisis de suelos (N° 1 - 8).



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: ABAD PRINCIPE ROBERT MILER

N°	CODIGO DEL LABORATORIO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	SECTOR	NOMBRE DE LA PARCELA	AREA (Has)	CULTIVO ANTERIOR	CULTIVO ACTUAL	RENDIMIENTO (Kg/Ha)	PROFUNDIDAD DE MUESTREO (cm)	DENSIDAD DE SIEMBRA	COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m.)
													LATITUD	LONGITUD	
1	S0009	HUANUCO	PUERTO INCA	CODO DE POZUZO	--	--	--	--	PASTO	--	--	--	--	--	--

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%									
	CODIGO DEL LABORATORIO	CODIGO DEL SOLICITANTE	Arena	Arcilla	Limo							Textura	1:1	%	%	disponible						Ca	Mg	K	Na	Al	H	Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al
			%	%	%											ppm	ppm													
9	S0017	T1 M1	53	16	31	Franco Arenoso	4.90	4.05	0.20	4.09	101.51	4.54	2.06	0.31	--	--	1.96	0.21	4.54	52	48	43								
10	S0018	T1 M2	55	17	28	Franco Arenoso	4.78	4.61	0.23	5.42	106.75	5.04	2.08	0.31	--	--	1.88	0.77	5.04	47	53	37								
11	S0019	T1 M3	55	17	28	Franco Arenoso	4.91	3.66	0.18	4.82	104.35	4.92	2.14	0.32	--	--	1.91	0.56	4.92	50	50	39								
12	S0020	T1 M4	55	16	29	Franco Arenoso	4.44	3.58	0.18	4.77	102.26	5.24	2.04	0.32	--	--	1.74	1.14	5.24	45	55	33								
13	S0021	T1 M5	53	16	31	Franco Arenoso	4.37	3.18	0.16	5.07	99.91	4.62	2.05	0.32	--	--	1.50	0.75	4.62	51	49	33								
14	S0022	T1 M6	55	16	29	Franco Arenoso	4.53	3.97	0.20	4.96	97.21	5.11	2.06	0.30	--	--	2.10	0.65	5.11	46	54	41								
15	S0023	T1 M7	57	18	25	Franco Arenoso	4.84	4.13	0.21	5.58	96.11	4.47	2.18	0.31	--	--	1.40	0.59	4.47	55	45	31								
16	S0024	T1 M8	56	16	28	Franco Arenoso	5.12	4.74	0.24	4.63	95.51	4.84	2.09	0.30	--	--	2.01	0.44	4.84	49	51	42								

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

RECIBO 001-0641631

TINGO MARIA, 31 DE ENERO 2022

Abad Principe Robert Miller
 Luis C. Mansilla Munera
 E.F.



Figura 12. Reporte de Análisis de suelos (N° 9 - 16).



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: ABAD PRINCIPE ROBERT MILER

N°	CODIGO DEL LABORATORIO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	SECTOR	NOMBRE DE LA PARCELA	AREA (Has)	CULTIVO ANTERIOR	CULTIVO ACTUAL	RENDIMIENTO (Kg/Ha)	PROFUNDIDAD DE MUESTREO (cm)	DENSIDAD DE SIEMBRA	COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m.)
													LATITUD	LONGITUD	
1	S0009	HUANUCO	PUERTO INCA	CODO DE POZUZO	--	--	--	--	PASTO	--	--	--	--	--	--

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%									
	CODIGO DEL LABORATORIO	CODIGO DEL SOLICITANTE	Arena	Arcilla	Limo							Textura	1:1	%	%	disponible						Ca	Mg	K	Na	Al	H	Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al
			%	%	%											ppm	ppm													
17	S0025	T2 M1	65	16	19	Franco Arenoso	4.68	2.70	0.14	8.22	79.32	5.57	2.23	0.35	--	--	2.15	0.84	5.57	46	54	39								
18	S0026	T2 M2	61	17	23	Franco Arenoso	4.63	2.38	0.12	7.28	75.07	5.50	2.27	0.36	--	--	2.02	0.85	5.50	48	52	37								
19	S0027	T2 M3	63	18	20	Franco Arenoso	4.56	2.46	0.12	8.13	70.27	5.57	2.26	0.36	--	--	2.42	0.54	5.57	47	53	43								
20	S0028	T2 M4	55	18	27	Franco Arenoso	4.33	2.31	0.12	6.62	78.42	5.32	2.31	0.37	--	--	1.98	0.66	5.32	50	50	37								
21	S0029	T2 M5	57	17	26	Franco Arenoso	4.62	2.38	0.12	8.22	63.02	5.16	2.24	0.36	--	--	1.85	0.72	5.16	50	50	36								
22	S0030	T2 M6	56	17	27	Franco Arenoso	4.21	2.15	0.11	7.66	78.87	5.50	2.28	0.26	--	--	2.00	0.96	5.50	46	54	36								
23	S0031	T2 M7	55	17	27	Franco Arenoso	4.71	2.23	0.11	7.38	76.77	4.31	2.30	0.37	--	--	0.98	0.67	4.31	62	38	23								
24	S0032	T2 M8	55	18	27	Franco Arenoso	5.03	2.40	0.12	7.19	74.92	5.01	2.31	0.33	--	--	1.90	0.47	5.01	53	47	38								

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
RECIBO 001-0641631
TINGO MARIA, 31 DE ENERO 2022

[Firma manuscrita]
Laboratorio de Análisis de Suelos



Figura 13. Reporte de Análisis de suelos (N° 17 - 24).



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km 1.21 - Tingo Maria - CELULAR 944407531

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: ABAD PRINCIPE ROBERT MILER

N°	CODIGO DEL LABORATORIO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	SECTOR	NOMBRE DE LA PARCELA	AREA (Has)	CULTIVO ANTERIOR	CULTIVO ACTUAL	RENDIMIENTO (Kg/Ha)	PROFUNDIDAD DE MUESTREO (cm)	DENSIDAD DE SIEMBRA	COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m.)
													LATITUD	LONGITUD	
1	S0009	HUANUCO	PUERTO INCA	CODO DE POZUZO	--	--	--	--	PASTO	--	--	--	--	--	--

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%						
	CODIGO DEL LABORATORIO	CODIGO DEL SOLICITANTE	Arena %	Arcilla %	Limo %							Textura	disponible		Ca	Mg	K					Na	Al	H	Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al
													1:1	%													
25	S0033	T3 M1	53	16	31	Franco Arenoso	4.94	4.61	0.23	9.26	110.70	4.13	1.57	0.26	--	--	2.00	0.30	4.13	44	56	48					
26	S0034	T3 M2	55	17	28	Franco Arenoso	4.91	4.85	0.24	9.17	110.15	4.31	1.60	0.27	--	--	1.88	0.57	4.31	43	57	44					
27	S0035	T3 M3	57	16	27	Franco Arenoso	4.87	4.45	0.22	9.36	103.60	4.54	1.62	0.27	--	--	2.12	0.53	4.54	42	58	47					
28	S0036	T3 M4	58	17	26	Franco Arenoso	4.94	4.13	0.21	9.26	107.90	4.53	1.59	0.25	--	--	2.30	0.39	4.53	41	59	51					
29	S0037	T3 M5	53	16	31	Franco Arenoso	4.81	3.82	0.19	9.12	111.75	4.05	1.51	0.25	--	--	1.90	0.39	4.05	43	57	47					
30	S0038	T3 M6	56	15	29	Franco Arenoso	4.07	4.29	0.21	9.23	109.30	4.75	1.59	0.25	--	--	2.50	0.41	4.75	39	61	53					
31	S0039	T3 M7	56	16	29	Franco Arenoso	4.94	4.34	0.22	9.28	112.20	4.80	1.71	0.23	--	--	2.45	0.42	4.80	40	60	51					
32	S0040	T3 M8	56	16	28	Franco Arenoso	4.96	2.46	0.12	8.89	102.21	4.58	1.63	0.26	--	--	2.31	0.38	4.58	41	59	50					

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
RECIBO 001-0641631
TINGO MARIA, 31 DE ENERO 2022

[Firma manuscrita]
Luis S. Arzola Mena
JEF



Figura 14. Reporte de Análisis de suelos (N° 25 - 32).



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: ABAD PRINCIPE ROBERT MILER

N°	CODIGO DEL LABORATORIO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	SECTOR	NOMBRE DE LA PARCELA	AREA (Has)	CULTIVO ANTERIOR	CULTIVO ACTUAL	RENDIMIENTO (Kg/Ha)	PROFUNDIDAD DE MUESTREO (cm)	DENSIDAD DE SIEMBRA	COORDENADAS		
													LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m.s.n.m.)
1	S0009	HUANUCO	PUERTO INCA	CODO DE POZUZO	--	--	--	--	PASTO	--	--	--	--	--	--

N°	DATOS		ANALISIS MECANICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%									
	CODIGO DEL LABORATORIO	CODIGO DEL SOLICITANTE	Arena	Arcilla	Limo							Textura	1:1	%	%	ppm	ppm					Ca	Mg	K	Na	Al	H	Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al
			%	%	%																									
33	S0041	T4 M1	53	18	29	Franco Arenoso	4.87	3.58	0.18	10.30	117.20	4.99	1.73	0.29	--	--	2.41	0.57	4.99	40	60	48								
34	S0042	T4 M2	55	16	29	Franco Arenoso	4.09	3.82	0.19	10.29	141.39	4.70	1.65	0.28	--	--	2.22	0.55	4.70	41	59	47								
35	S0043	T4 M3	57	16	28	Franco Arenoso	4.90	3.42	0.17	12.57	132.54	4.63	1.77	0.29	--	--	2.02	0.56	4.63	44	56	44								
36	S0044	T4 M4	56	17	27	Franco Arenoso	5.08	3.50	0.17	11.53	112.25	4.61	1.85	0.28	--	--	2.10	0.38	4.61	46	54	46								
37	S0045	T4 M5	55	17	28	Franco Arenoso	4.96	3.26	0.16	11.24	117.35	4.66	1.89	0.25	--	--	2.00	0.52	4.66	46	54	43								
38	S0046	T4 M6	58	16	26	Franco Arenoso	4.95	3.28	0.16	10.64	129.84	4.14	1.52	0.21	--	--	1.70	0.71	4.14	42	58	41								
39	S0047	T4 M7	60	15	25	Franco Arenoso	5.16	3.37	0.17	10.43	137.19	4.16	1.64	0.28	--	--	1.89	0.35	4.16	46	54	45								
40	S0048	T4 M8	65	16	19	Franco Arenoso	5.10	3.27	0.16	10.25	117.70	4.49	1.83	0.29	--	--	1.94	0.44	4.49	47	53	43								

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
RECIBO 001-0641631
TINGO MARIA, 31 DE ENERO 2022

[Firma manuscrita]
Luz G. Córdova Muroya
JEFE



Figura 15. Reporte de Análisis de suelos (N° 33 – 40).