

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Estrategias para la mitigación del impacto del sobrepastoreo en
las propiedades de los suelos en el establo Américo Abad,
Matucana, 2021

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORA

Marilyn Janira Mendoza Caja

ASESOR

Eskim Santiago Valverde Obregón

Lima, Perú

2023

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos del autor

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos del asesor

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (obligatorio)	

Datos del Jurado

Datos del presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos del segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos del tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma (Normal ISO 639-3)	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesoro).



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 015 - 2023/UCSS/FIA/DI

Siendo las 09:00 a.m. del día 24 de febrero de 2023, a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. René Alfredo Pinazo Herencia | presidente |
| 2. José Luis Sosa León | primer miembro |
| 3. José Víctor Ruiz Ccancce | segundo miembro |
| 4. Eskim Santiago Valverde Obregón | asesor |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Estrategias para la mitigación del impacto del sobrepastoreo en las propiedades de los suelos en el establo Américo Abad, Matucana, 2021**, que presenta la bachiller en Ciencias Ambientales, **Marilyn Janira Mendoza Caja**, cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

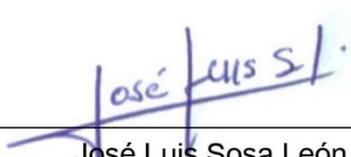
APROBAR

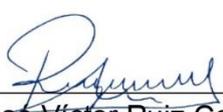
DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare **EXPEDITA** para conferirle el **TÍTULO** de **INGENIERO AMBIENTAL**.

Lima, 24 de febrero de 2023.


René Alfredo Pinazo Herencia
PRESIDENTE


José Luis Sosa León
1° MIEMBRO


José Víctor Ruiz Ccancce
2° MIEMBRO


Eskim Santiago Valverde Obregón
ASESOR

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Lima, 21 de julio del 2023

Señor(a),

Wilfredo Mendoza Caballero

Jefe del Departamento de Investigación/ Coordinador Académico de Unidad de Posgrado
Facultad / Escuela de Ingeniería Agraria - UCSS

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis** / informe académico/ trabajo de investigación/ trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con título: Estrategias para la mitigación del impacto del sobrepastoreo en las propiedades de los suelos en el establo Américo Abad, Matucana, 2021, presentado por Marilyn Janira Mendoza Caja con código de estudiante 2013200189 y DNI 74610228 para optar **el título profesional**/grado académico de Ingeniero Ambiental ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 3 %**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y **adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin**, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'E. Valverde', is positioned above a horizontal line.

Firma del Asesor

DNI N°: 45441025

ORCID: eskim.valverde.o@gmail.com

Facultad de Ingeniería Agraria

UCSS

(*) De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, **será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.**

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres Nilda y Miguel, así como también a mi hijo Pierre Antonio por su valioso apoyo y comprensión para ver cristalizada mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por haberme dado la vida y permitirme llegar a esta fase muy importante de mi formación profesional.

Asimismo, a mis progenitores Nilda y Miguel, a mis hijos Pierre y Valeria, por su comprensión mientras yo me dedicaba a mis estudios y a seguir creciendo profesionalmente.

De manera especial, agradecer a mi asesor Eskim Santiago Valverde Obregón, quien ha guiado con su paciencia, conocimiento y su rectitud como docente.

A los dueños del Establo Américo Abad por permitirme que realice los estudios de suelo para obtener un valioso aporte para mi investigación.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE APÉNDICES	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVOS	19
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	19
1.1. Antecedentes	19
1.2. Bases especializadas.....	25
1.2.1. Suelos.....	25
1.2.2. Propiedades de los suelos	27
1.2.3. Estándares de calidad ambiental para suelo.....	34
1.2.4. Pastoreo animal.....	36
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	44
2.1. Diseño de la investigación	44
2.2. Lugar y fecha.....	45
2.3. Población y muestra	46
2.4. Técnicas e instrumentos	46
2.5. Descripción de la investigación	47
2.6. Identificación de variables y su mensuración	48
2.7. Análisis de datos	50
2.8. Materiales y equipos	51
CAPÍTULO III. RESULTADOS	52
3.1. Reconocimiento edafológico.....	52
3.2. Determinación del tipo de sistema de pastoreo presente en la zona	52
3.3. Propiedades físicas, químicas y biológicas en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo américo abad.....	53
3.4. Nivel de correlación existente entre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos con distintas cargas de animales.....	73

3.5. Estrategias que contribuyen a un mejor uso de los suelos en Matucana, para favorecer el desarrollo sostenible de la actividad ganadera	78
CAPÍTULO IV. DISCUSIONES	80
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	85
CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES.....	86
REFERENCIAS	87
TERMINOLOGÍA	95
APÉNDICES	97

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Mediciones de conductividad eléctrica y las clases de salinidad para una suspensión de suelo: agua de 1:1	32
Tabla 2. Estándares de calidad ambiental para el suelo agrícola.....	35
Tabla 3. Sistema de pastoreo en el establo América Abad de Matucana	53
Tabla 4. Resistencia en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	54
Tabla 5. Textura en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	55
Tabla 6. Prueba de Tukey para el parámetro concentración de arena en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad.....	55
Tabla 7. Densidad aparente y real en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	58
Tabla 8. Prueba de Tukey para el parámetro densidad aparente en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad.....	58
Tabla 9. Porosidad en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	60
Tabla 10. Prueba de Tukey para el parámetro porosidad en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad.....	60
Tabla 11. Color de los suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	61
Tabla 12. Temperatura en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	61
Tabla 13. Prueba de Tukey para el parámetro temperatura en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad.....	62
Tabla 14. pH en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	63
Tabla 15. Capacidad de intercambio catiónico en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad.....	64
Tabla 16. Materia orgánica en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	65

Tabla 17. Conductividad eléctrica en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	66
Tabla 18. Nutrientes en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	67
Tabla 19. Propiedades biológicas en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	73
Tabla 20. Correlación existente entre las propiedades físicas de los suelos con distintas cargas de animales	74
Tabla 21. Correlación existente entre las propiedades físicas con las propiedades químicas y biológicas de los suelos con distintas cargas	75
Tabla 22. Correlación existente entre las propiedades químicas y biológicas de los suelos con distintas cargas	77

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio de la actividad ganadera y pastos para el consumo de animales	45
Figura 2. Mapa de localización de las cuatro zonas de estudio	46
Figura 3. Resistencia en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	54
Figura 4. Concentración de arena en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	56
Figura 5. Concentración de arcilla en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad.	56
Figura 6. Concentración de limo en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	57
Figura 7. Densidad aparente en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	59
Figura 8. Densidad real en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	59
Figura 9. Porosidad en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	61
Figura 10. Temperatura en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	62
Figura 11. pH en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	63
Figura 12. Capacidad de intercambio catiónico en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	64
Figura 13. Materia orgánica en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	65
Figura 14. Conductividad eléctrica en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	66
Figura 15. Fósforo en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	67

Figura 16. Potasio en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	68
Figura 17. Calcio en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	69
Figura 18. Magnesio en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	69
Figura 19. Aluminio en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	70
Figura 20. Hierro en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	71
Figura 21. Cobre en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	71
Figura 22. Zinc en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	72
Figura 23. Fijación de nitrógeno en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad	73

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo	97
Apéndice 2. Mapa Satelital de Matucana	98
Apéndice 3. Matriz de entrevista para recolección de información acerca del tipo de pastoreo. Establo Américo Abad, Matucana, 2021	98
Apéndice 4. Recolección de información sobre las propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo en el Establo Américo Abad, Matucana, 2021	100
Apéndice 5. Informes de laboratorios.....	103
Apéndice 6. Anexo fotográfico	105

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo desarrollar estrategias que contribuyan a la mitigación del impacto del sobrepastoreo en las propiedades de los suelos en el establo Américo Abad de la provincia de Matucana, distrito de Huarochirí. Para ello, se propuso un estudio no experimental, de alcance descriptivo y correlacional y de enfoque cuantitativo, en el cual se seleccionaron cuatro zonas: Grupo A de carga animal nula (0 UA/ha/año), Grupo B de carga animal media (5 a 25 UA/ha/año), Grupo C de carga animal alta (50 UA/ha/año) y Grupo D de carga animal muy alta (60 a 200 UA/ha/año) y cuatro tipos de profundidades: Profundidad A (0-5 cm), Profundidad B (5-10 cm), Profundidad C (10-15 cm) y Profundidad D (15-20 cm), tomándose una muestra en cada caso. Los resultados evidenciaron diferencias significativas en la composición de arena, la densidad aparente, la porosidad y la temperatura en suelos de distintas cargas de animales bovinos ($p < 0,05$) y que se determinaron múltiples correlaciones existentes entre las propiedades físicas, químicas y biológicas evaluadas, siendo las más importantes entre la porosidad y la densidad aparente ($\rho = -0,843$, $p < 0,05$) y la materia orgánica con la temperatura ($\rho = 0,523$, $p < 0,05$) y con las concentraciones de potasio ($\rho = 0,562$, $p < 0,05$), fósforo ($\rho = 0,547$, $p < 0,05$) y nitrógeno ($\rho = 0,568$, $p < 0,05$). La investigación demostró el efecto, de un lado, de la compactación del suelo por el peso de los animales y, del otro, de la cantidad de excretas desechadas en la cobertura vegetal. Así, se propusieron como estrategias el pastoreo racional, el empleo de prácticas de pasto sostenible, la regulación hídrica y la administración de suplementos energéticos en el ganado bovino.

Palabras claves: Sobrepastoreo, propiedades del suelo, nutrientes, compactación de la cobertura vegetal.

ABSTRACT

The objective of this research work was to develop strategies that contribute to the mitigation of the impact of overgrazing on the properties of the soils in the Américo Abad barn in the Matucana province, Huarochirí district. For this, a non-experimental study was proposed, with a descriptive and correlational scope and a quantitative approach, in which four zones were selected: Group A with zero animal load (0 AU/ha /year), Group B with average animal load (5 to 25 AU/ha/year), Group C of high stocking rate (50 AU/ha/year) and Group D of very high stocking rate (60 to 200 AU/ha/year) and four types of depths Depth A (0-5 cm), Depth B (5-10 cm), Depth C (10-15 cm) and Depth D (15-20 cm), taking a sample in each case. The results showed that significant differences in the composition of sand, apparent density, porosity and temperature in soils of different loads of bovine animals ($p < 0,05$) and that multiple correlations between physical and chemical properties were determined. and biological values evaluated, the most important being between porosity and apparent density ($\rho = -0,843$, $p < 0,05$) and organic matter with temperature ($\rho = 0,523$, $p < 0,05$) and with potassium concentrations ($\rho = 0,562$, $p < 0,05$), phosphorus ($\rho = 0,547$, $p < 0,05$) and nitrogen ($\rho = 0,568$, $p < 0,05$), demonstrating the effect, on the one hand, of soil compaction due to the weight of the animals and, on the other, of the amount of excreta discarded in the vegetation cover. Thus, rational grazing, the use of sustainable pasture practices, water regulation and administration of energy supplements in cattle.

Keywords: Overgrazing, soil properties, nutrients, plant cover compaction.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo al Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2017), el Perú depende en gran medida de la actividad agropecuaria y del uso de los recursos naturales. Además, ese organismo señala que la actividad ganadera se desarrolla en 1,8 millones de unidades agropecuarias en el país, concentrando el 40,2 % del valor bruto de la producción del sector. Sin embargo, la actividad pecuaria en el Perú se caracteriza por estar a cargo de pequeños y medianos agricultores que producen a bajos rendimientos, sin la previa evaluación de las propiedades del suelo.

Incluso, a nivel mundial se estima que la actividad ganadera concentra al menos un tercio de la superficie mundial (3,4 billones de hectáreas) representando un grave problema en la pérdida de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, dado el incremento de la presión para que esta actividad atienda las demandas de proteínas, que van en ascenso, en la población en general (Gómez *et al.*, 2019). Es así que, con la introducción de estos sistemas productivos, se degrada la calidad de los suelos, al generar que sus propiedades no pueden regenerarse de manera actual (Leyva *et al.*, 2018).

En primer término, la consecuencia directa del sobrepastoreo en los suelos se observa en el aumento de la compactación y la reducción de la materia orgánica contenida en él (Bonetti *et al.*, 2018). Asimismo, el incremento de la carga animal se ha asociado con cambios en la resistencia mecánica del suelo a la penetración, así como con variaciones en la distribución del espacio poroso (Costa y Drescher, 2018). Esto ocasiona una reducción en la capacidad de infiltración de los suelos, bajos niveles de disponibilidad de nutrientes, mayor toxicidad, aumento del nivel de acidez, etc. que afectan la biótica y necromasa edáfica y, por tanto, el rendimiento de los suelos (Álvarez-Arteaga *et al.*, 2020).

El presente estudio es una contribución para los productores agrícolas y autoridades en materia agrícola y ambiental, visto que permitirá el diseño de estrategias que contribuyan a un mejor uso de los suelos en pro del desarrollo sostenible de la actividad ganadera, la

cual es necesaria para el consumo de proteínas en el país. Cabe destacar que, el consumo per cápita de carne ha tenido una tendencia creciente en los últimos años; así en carne vacuna ha crecido en 0,8 % y en carne porcina en 0,5 % (MIDAGRI, 2017).

Además, la presente investigación ofrece conocimientos sobre cómo las alteraciones de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos se relacionan entre sí, lo que permite establecer el uso de estrategias para atender el efecto de la ganadería extensiva de pastoreo, en donde la crianza de los animales se realiza en ecosistemas naturales que han sido poco acondicionados por la actividad humana y, de esta manera, optimizar los recursos destinados a un adecuado manejo de los suelos.

En tal sentido, el objetivo del estudio fue desarrollar estrategias que contribuyan a la mitigación del impacto del pastoreo en las propiedades de los suelos en el establo Américo Abad de la provincia de Matucana, distrito de Huarochirí. Mientras que, los objetivos específicos fueron: a) analizar las diferencias de los valores de las propiedades físicas, químicas y biológicas en suelos sometidos a distintas cargas de ganado bovino doble propósito en el establo Américo Abad.; b) determinar el nivel de correlación existente entre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos con distintas cargas de animales; y, c) proponer estrategias que contribuyan a un mejor uso de los suelos en Matucana, para favorecer el desarrollo sostenible de la actividad ganadera.

Así, la investigación se estructuró en cuatro capítulos; el primero de ellos, denominado Marco Teórico contiene los antecedentes y la revisión literaria del tema de estudio. Luego, el segundo capítulo, referido a Materiales y Métodos, contienen los elementos metodológicos que han permitido alcanzar los objetivos del estudio. En el cuarto capítulo, se presentan los resultados con base a las mediciones realizadas y a la entrevista aplicada; por su parte, en el quinto capítulo se presentan las discusiones, que permitieron presentar las conclusiones y recomendaciones.

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar estrategias que contribuyan a la mitigación del impacto del pastoreo en las propiedades de los suelos en el establo Américo Abad de la provincia de Matucana, distrito de Huarochirí.

Objetivos específicos

- Analizar las diferencias de los valores de las propiedades físicas, químicas y biológicas en suelos sometidos a distintas cargas de ganado bovino doble propósito en el establo Américo Abad.
- Determinar el nivel de correlación existente entre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos con distintas cargas de animales.
- Proponer estrategias que contribuyan a un mejor uso de los suelos en Matucana, para favorecer el desarrollo sostenible de la actividad ganadera.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Internacionales

González (2019) elaboró el estudio denominado “Propiedades físicas y químicas del suelo bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central”. El objetivo del estudio consistió en evaluar cómo el pastoreo rotativo del ganado bovino incide sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. En este cuasiexperimento se aplicó un diseño completamente al azar, se aplicaron tres tratamientos diferentes de sistemas de pastoreo rotativo: intensivo, moderado y leve. Los indicadores físicoquímicos evaluados fueron resistencia mecánica del suelo a la penetración, contenido de agua, densidad aparente, porosidad total y velocidad de infiltración dentro de las propiedades químicas se analizaron el pH, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y concentraciones de fósforo, potasio, calcio y magnesio. Como resultado obtuvo diferencias significativas en la resistencia mecánica del suelo a la penetración y contenido de agua del suelo, así como variaciones en fósforo, potasio y CIC. Concluyó que el pastoreo rotativo puede ser una forma de evitar el impacto de la ganadería bovina en los suelos.

Chaverra (2017) presentó un trabajo titulado: “Evaluación del uso del sistema de producción ganadero intensivo limpio con Pastoreo Racional Voisin (PRV) en zona de ladera, sobre las características químicas y biológicas del suelo. Estudio de caso: finca Bendavales – Municipio de Versalles- Valle del Cauca”, Colombia. Su objetivo fue analizar cómo se ve afectado el suelo al implantarse un régimen de ganadería de manera intensiva limpia (SPGIL) con pastoreo racional Voisin (PRV) en una zona de ladera de una finca del Valle del Cauca. La metodología empleada fue de tipo mixta de alcance descriptivo-explicativo y diseño no experimental, corte retrospectivo transversal.

La muestra estuvo conformada por nueve hectáreas de la finca, de las cuales tres fueron los testigos y su recolección la realizaron en época de verano. Empleó la técnica de la observación directa, entrevista y análisis de suelo. Las variables evaluadas fueron químicas del suelo y los indicadores biológicos fueron analizados empleando el estadístico t-student, con la prueba de homogeneidad de varianzas Fisher, el IACS y la prueba Kruskal-Wallis para la comprobación de las hipótesis; la base de datos fue elaborado en el software Excel y se exportó al programa estadístico S.A.S. V.7. (Statistical Analysis System). Los resultados arrojaron que la actividad ganadera en el predio mostró recuperación del pasto en un promedio de 60 días, la presencia de dos clases de suelos, franco arenoso y franco arcillo arenoso, en tanto al comparar el sistema de ganadería intensivo con el extensivo, el pH, la CE y la CICE no presentaron diferencias significativas y tampoco para los indicadores microbiológicos. De esta manera concluyó que no se observaron diferencias significativas en los sistemas de producción en cuanto a los contenidos de carbono y de nitrógeno ($p > 0,05$) pero sí en materia orgánica, calcio, azufre, desarrollo de raíces y cobertura vegetal al observarse un $p \leq 0,05$ en la prueba de Kruskal – Wallis.

Medina (2016) desarrolló el estudio titulado: “Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. Remediaciones” presentado y publicado en Colombia. El propósito fue analizar los principales cambios producidos en la estructura interna de los suelos como resultado de su compactación por el pisoteo de animales. La investigación estuvo centrada en una revisión documental para el estudio de los cambios producidos en las propiedades de los suelos como resultante de la compactación por el pisoteo animal en suelos colombianos como categoría de análisis. Los resultados de la revisión mostraron que la densidad aparente para los tres niveles de profundidad (0-4 cm, 4-8 cm, 8-12 cm) aumentó de 0,02 mg/cm³ a 0,09 mg/cm³ al comparar suelos pastoreados y no pastoreados, presentándose la mayor diferencia en la capa de 4 a 8 cm, de la misma manera, reportó un aumento significativo de la resistencia a la penetración y obtuvo que el pisoteo de los animales generó una compactación del suelo en los primeros 15 cm explicando la notoria reducción en el movimiento del agua, el incremento en la densidad aparente y, por ende, los efectos desfavorables en la porosidad. Concluyó que el pastoreo genera dos tipos de afectaciones, la defoliación que tiene su origen en la ingesta de pasto en los animales, pero en especial cambios en las propiedades

ocasionadas por el pisoteo animal, repercutiendo en una disminución de la productividad de los suelos.

López y Tonguino (2015) desarrollaron un trabajo titulado: “Evaluación del efecto del pastoreo de la ganadería bovina en las propiedades físicas de los suelos del municipio San Francisco en el departamento del Putumayo en Colombia”. El objetivo fue evaluar el efecto del pastoreo de la ganadería bovina en las propiedades físicas de los suelos del municipio San Francisco en el departamento del Putumayo en Colombia. Usó la metodología aplicada experimental clasificando la zona en cuatro tratamientos, bosques secundarios (T0), chacras tradicionales (T1), fincas ganaderas con tiempo de uso menores a 10 años (T2) y fincas mayores de 20 años de uso (T3), en cada subzona realizaron cuatro repeticiones y aplicaron la tabla de Munsell para medir la variable propiedades físicas de los suelos, a través del color, el método organoléptico para la textura, la densidad aparente con el método del cilindro de volumen conocido y la densidad real con un picnómetro, la porosidad total, la humedad gravimétrica, la humedad volumétrica, la estabilidad de agregados mediante el método de Yoder y la resistencia a la penetración con un penetrógrafo. Los resultados arrojaron una densidad aparente entre 0,64 y 0,89 g/cc, la humedad gravimétrica osciló entre 68,01 y 113,02 %, la humedad volumétrica sea del 48,74 a 66,06 %, la estabilidad de agregados estuvo entre 0,88 y 0,99 SI y la resistencia a la penetración aumentó de 0,21 a 0,62 mpa, lo que indicó que el impacto del pastoreo no fue significativo en las propiedades físicas de los suelos ($p > 0,05$) salvo en la humedad volumétrica. Concluyeron que los factores densidad (aparente y real), porosidad, humedad y estabilidad de agregados explican en mayor medida la variabilidad en la calidad de los suelos en las dos capas de profundidad estudiadas (0 a 15 y de 15 a 30 cm).

Rivero et al. (2013) realizaron un estudio titulado: “Efecto del pastoreo de cerdos sobre las fracciones de nitrógeno, carbono y fósforo del suelo”, desarrollada en Venezuela. El objeto consistió en evaluar el efecto del pastoreo de cerdos en algunas variables químicas en un Molisol en Maracay – Venezuela, bajo condiciones isohipertérmicas. Aplicaron una metodología experimental, con ensayos para la evaluación de las propiedades químicas de los suelos, con un diseño completamente aleatorio bajo un diseño factorial 2x2, considerando dos criterios en el manejo de campo (con o sin cerdos) y dos profundidades

(0-5 y 5-10 cm). Evaluaron los niveles de nitrógeno, de carbono orgánico total oxidable (COT), carbono extraíble total (CET) de sustancias no húmicas (CSNH) y de múltiples mediciones de fósforos por medio del método de Kjeldahl, digestión húmeda y el método de Hedley, respectivamente, empleando el programa Statistix 8.0 para realizar el tratamiento estadístico de la información. Los resultados evidenciaron que las mediciones de nitrógeno en suelos con cerdos fueron mayores a los suelos sin esta actividad, no hubo diferencias significativas en profundidad. Fueron observadas diferencias significativas ($p=0,0371 \leq 0,05$) en COT y CET, con una disminución de COT a mayor profundidad, esta reducción estuvo asociada a un aumento del proceso de mineralización de las materias orgánicas que son aportes directos de las excretas de los cerdos; los niveles de fósforo oscilaron entre 1,8 y 13,1 mg.kg⁻¹, siendo muy pobres y presentando diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de los lotes con y sin cerdos. De esta manera concluyeron que las diferencias presentadas no constituyeron suficiente evidencia empírica para asegurar que los tratamientos de producción porcina afectaron las propiedades químicas de los suelos.

Monteverde et al. (2011) llevaron a cabo la investigación titulada: “Cerdos a campo e impactos sobre el suelo”, desarrollada y publicada en Uruguay. Tuvo como propósito estudiar el efecto acumulado en 12 años del sistema de producción de la Unidad de Producción de Cerdos. Emplearon una metodología experimental con una muestra de seis parcelas (con y sin cerdos) con dos niveles diferentes de profundidad (de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm) para estudiar las variables, propiedades físicas, químicas y biológicas. Adicionalmente utilizaron suelo con aptitud agrícola de escasa pendiente, con manejo animal típico del criadero sobre pasturas de alfalfa y mezcla de trébol rojo, blanco y achicoria con una duración de cinco años por pasturas. Los resultados demostraron un cambio en el ciclo del carbono; con una disminución de la materia orgánica de 4,7 % (zona testigo) a 3,9 % en el suelo con producción de cerdos, el nitrógeno (N) y el fósforo (P) fueron los elementos químicos que presentaron mayores alteraciones, el aumento de la salinidad de los suelos y en la cantidad de entradas de nutrientes resultó evidente y no hubo hallazgos o problemas de concentración de metales pesados, sin embargo, fue observada una reducción del pH. Concluyeron que para garantizar la sustentabilidad de la producción de cerdos a campo es necesario un ajuste de la carga animal, optimizar la movilidad espacial temporal del sistema productivo y el uso de dietas convencionales para animales con el fin de disminuir los contaminantes contenidos en las heces y orina.

Noguera y Vélez (2011) desarrollaron la investigación denominada: “Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo en diferentes usos”, presentada y publicada en Colombia. El objetivo fue determinar algunas propiedades físicas en tres sistemas silvopastoriles, Pichuelo (*Senna pistacifolia*) – pastura (*Pennisetum clandestinum*), Eucalipto (*Eucalyptus glóbulos*) – pastura (*Pennisetum clandestinum*), Campanillo (*Delostoma integrifolium*) – pastura (*Pennisetum clandestinum*), en un bosque y un lote de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), así como evaluar el porcentaje de materia seca para el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). La metodología fue experimental, desarrollada en suelos de la vereda de Trojayaco, municipio El Tambo, delimitado en 3 franjas, con 3 repeticiones de distintos niveles de profundidad (de 0-15 cm, de 15-30 cm y de 30-45 cm). La variable propiedades físicas del suelo fue estudiada por los parámetros densidad aparente (da), densidad real (dr), porosidad total (pt), conductividad hidráulica (k) y resistencia a la penetración (rp) los cuales fueron analizados a través de ANOVA Factorial, mientras que la materia seca fue a través del ANOVA Factorial aumentado; en tanto las variables con diferencias considerables fue evaluada con pruebas de comparación de medias de Tukey. Los resultados indicaron que las variables físicas de los suelos presentaron diferencias significativas entre distintos usos del suelo (pastoreo, sistema silvopastoril y bosque) para distintos niveles de profundidades (0-15 cm, 15-30 cm y 30-45 cm), la densidad aparente presentó diferencias entre usos ($p \leq 0,05$) siendo el mayor valor (1,17 g/cm³) en el bosque, esto mismo fue observado en la porosidad total con un $p < 0,05$ presentando el valor más alto en el bosque con 79,33 %, así como en la conductividad hidráulica ($p \leq 0,05$) y un valor de 4,95 cm h/1 en el bosque. Además, encontraron que la resistencia a la penetración más alta, es decir, determinó en el uso del suelo para pasto (pastura tipo *Pennisetum clandestinum*). Concluyeron que en los suelos dedicados al pastoreo fueron identificados los mayores valores en la porosidad total, en la conductividad hidráulica, en la densidad aparente y en la resistencia a la penetración.

Nacionales

Abad (2022) desarrolló el estudio “Propiedades fisicoquímicas del suelo en áreas de pastoreo libre de varias edades en el fundo Ruiz en Codo del Pozuzo”, con el objetivo de evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo en las áreas donde se realiza el pastoreo

en el referido funco. La metodología abarcó un diseño experimental con bloques completos al azar en pasto de diferentes edades, evaluándose indicadores físicos: textura, resistencia a la penetrabilidad (Rp) e indicadores químicos: pH, MO, N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, CIC, saturación de bases (% SB), acidez cambiante (% AC) y saturación de aluminio (% SAl). Se encontró que el pastoreo afectó el porcentaje de limo del suelo, así como la resistencia a la penetrabilidad (incidiendo negativamente sobre la compactación). Además, se observaron mayores niveles de acidez (pH alto en zonas de carga animal) y niveles inferiores de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, CIC y niveles tóxicos de Al³⁺. Este estudio concluyó que el mayor efecto de la ganadería bovina sobre el suelo se aprecia en su compactación.

Portillo (2021) realizó un estudio titulado: “Evaluación de amenazas por pastoreo al pastizal del humedal de la Comunidad Campesina Santa Clara de Chuiroc - Reserva Nacional de Junín”, Huancayo. El objetivo fue enfocado en determinar las afectaciones por pastoreo, al referido pastizal del humedal que se ubica en la Reserva Nacional de Junín. En esta indagación se usaron como indicadores el estado del pastizal, carga animal y tipo de pastoreo. El procedimiento de trabajo fue la transección al paso (Parker modificado). Los resultados demostraron que la condición del pastizal del humedal es pobre, con un puntaje de 35,67; además se encontró un exceso de ganado de 5,000 bovinos, lo que indica la existencia de sobrepastoreo en el humedal. Asimismo, se determinó la presencia de un 39,76 % de especies indicadoras de sobrepastoreo entre las que se pueden mencionar pacopaco (*Aciachne pulvinata*), hierba común (*Astragalus uniflorus*), paja blanca (*Calamagrostis rigescens*), hierba común (*Eleocharis albibracteata*), hierba común (*Phylloscirpus deserticola*) y hierba común (*Plantago tubulosa*).

Moya (2020) desarrolló el estudio titulado: “Recuperación de la calidad del suelo en una pastura degradada mediante sistemas agroforestales en Yurimaguas”. El objetivo fue orientado a evaluar cómo afecta las actividades ganaderas y agrícolas en las condiciones del suelo. La metodología abarcó un diseño experimental con bloques completos al azar con tres repeticiones, dos lugares de muestreo y dos profundidades. Las muestras SAF A, B y C, sostenían tres años con una cobertura de centrocema, el SAF D con cuatro años de edad presentó una cobertura nula y el tratamiento 0 fue una pastura degradada. El estudio fue realizado en época seca, los indicadores fueron la población de hongos, bacterias y

actino bacterias con un proporción de infección micorrízica, tasa de respiración basal, carbono de la biomasa microbiana, densidad aparente, contenido de humedad por gravimetría, porcentaje de materia orgánica y de fósforo, estadísticamente los datos fueron sometidos a evaluación de varianza (ANOVA), las medias se cotejaron empleando la prueba de comparación de medias HSD de Tukey y fue empleado el paquete agrícola de estadística R, versión 3.4.1. Los resultados confirmaron que el índice de calidad del suelo ponderado fue más alto para los SAF e inferior para la pastura, en los dos espacios y a profundidades variadas, las proporciones de colonización de HMA en las raíces de las distintas especies de las muestras SAF A, B, C y D no evidenciaron diferencias entre sí y fueron menores a los de la pastura, los SAF y las siembras de cobertura pueden modificar el estado microbiano del suelo en zonas tropicales. Concluyó que la importancia del índice de calidad del suelo fue mayor en los sistemas agroforestales, superando al pasto en los lugares de muestreo, revelando que éstos mejoraron la calidad del suelo.

1.2. Bases especializadas

1.2.1. Suelos

El suelo no es más que una composición de un cuerpo natural compuesto por sólidos (tanto minerales como materia orgánica), líquidos y gases que ocupa un espacio en la superficie de la tierra y que, además, se caracteriza por cumplir con cualquiera de estos requisitos o ambos: sus capas son distintas al material inicial que lo compone (en especial, rocas) o tiene la habilidad soportar plantas y animales (Soil Survey Staff, 2014). En este sentido, el suelo es un recurso natural no renovable, cuya formación y recuperación es lenta; constituyendo un elemento fundamental en la actividad agrícola, visto que suministra nutrimentos, agua y soporte a los sembradíos, intercediendo en los procesos del agua, nitrógeno, carbono y el fósforo (Renté Martí *et al.*, 2018).

Los suelos presentan estabilidad, mas no tienen resistencia y por ello, como materia sufre deformaciones, estas deformaciones o cambios son el resultado de adiciones, pérdidas, transformaciones y transferencias de materia y energía (Blanco *et al.*, 2017). El suelo culmina por ser el resultado acumulado de la acción constante de estos flujos de materia y energía de ese material originario (Luzio, 2010).

Se le atribuye a Docuchaev, el principio de que el suelo puede predecirse en respuesta a factores de tipo ambiental, a través de la expresión que el suelo es una función del clima, de organismos y material parental; luego Jenny en 1941, incluyó como variables independientes el relieve y el tiempo (Luzio, 2010). Como bien lo destaca la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2018), la erosión está deteriorando los suelos aceleradamente, ocasionando la extenuación de los nutrientes, la merma del carbono orgánico, el sellado de los suelos, entre otras amenazas, lo cual puede solventarse, pero solo al adoptar medidas que promocionen prácticas de usos sostenibles y tecnologías adecuadas.

El Ministerio del Ambiente (MINAM, 2012) señala que el suelo es un conjunto de capas, cuya parte superior es la superficie terrestre. Esta superficie terrestre es el límite superior del suelo (entre el suelo y la tierra) donde se observan aguas de niveles no tan profundos, plantas o materiales de ellas que no se han descompuesto; asimismo, el límite inferior suele ser el más difícil de definir visto que se refiere al cambio de roca dura a material biológico y no resulta fácil la medición la profundidad inferior de la actividad biológica; por lo antes expuesto, se fija como límite inferior de forma arbitraria los 200 cm desde la superficie.

El suelo se considera de vital importancia visto que sostiene las plantas que proveen de alimento, fibras, medicinas y otros requerimientos al ser humano; además de que filtra el agua y recicla las excretas (Kopittke *et al.*, 2019). En estos mismos términos, para conocer el desempeño del suelo en los sistemas ambientales, Doran y Parkin plantearon el concepto de calidad del suelo en 1994, que significa la capacidad que tiene el mismo para trabajar dentro de los parámetros de un ecosistema natural o manipulado, al tiempo que pueda sostenerse la obtención de plantas y animales, manteniendo o incrementando la calidad del aire y agua, para preservar la salud de los individuos y el hábitat, destilar, atenuar y neutralizar contaminantes, acopiar y reciclar nutrientes (Álvarez Arteaga *et al.*, 2020).

La implementación del concepto de calidad del suelo conlleva a la valoración de los parámetros y los procesos edáficos, destacando que los indicadores de la calidad, al compararse con valores referenciales, admiten la identificación de transformaciones en el suelo producidas por modificaciones en el uso y en las prácticas de manejo (Mei *et al.*, 2019). De esta forma, existen diversos métodos para calcular la calidad del suelo, partiendo de algunos que se basan en evaluaciones visuales cualitativas de las propiedades físicas, químicas y biológicas en campo (Xue *et al.*, 2010); así como aquellos métodos analíticos simples que desarrollan relaciones de causa efecto, de forma empírica, acerca de los diversos parámetros edáficos (Tellen y Yerima, 2018).

Los métodos basados en modelos estadísticos simples, que vinculan dos o más parámetros empleando pruebas de correlación lineal, regresión lineal sencilla y múltiple, para desarrollar modelos predictivos (Olivera *et al.*, 2018); así como, el desarrollo de índices basados en la elección y ponderación de un grupo ajustado de propiedades y características, conseguidos a través de métodos estadísticos multivariados (Teferi *et al.*, 2016).

1.2.2. Propiedades de los suelos

Las propiedades de los suelos van cambiando en distintas condiciones climáticas visto que la actividad biológica puede variar dependiendo de las estaciones del año; de esta manera, el suelo no es estático, por lo que su composición cambia en función del clima; sin embargo, estas propiedades se modifican por otros factores, entre ellos la actividad humana (Gelybó *et al.*, 2018).

Se clasifican los suelos en cuatro grandes grupos como lo son los suelos agrícolas (destinados a la producción de cultivos, pastos, sirve de hábitat para la ganadería e incluso el desarrollo de la flora y la fauna silvestre), los suelos comerciales (orientados a operaciones comerciales y de servicios), los suelos industriales o extractivos (en donde se desarrollara, desde la minería hasta la manufactura) y los suelos residenciales (ocupados con fines de construcción de viviendas) (MINAM, 2012).

Propiedades físicas de los suelos

Las propiedades físicas se refieren a aquellas características que son observables y pueden medirse sin que ello involucre una alteración química de la composición del suelo y están asociadas al movimiento del aire, al calor, el agua y las raíces y nutrientes (López y Estrada, 2015). Además, estas propiedades están relacionadas con la granulometría y la estructura, siendo ambos factores influenciados por el comportamiento del aire y del agua (Conti, 2007).

Las características físicas del suelo engloban:

- Profundidad. Esta propiedad permite conocer el volumen de suelo que les permite a las raíces anclarse y proveerse de aguas y nutrientes, estando limitada por la presencia de una roca dura continua (Novillo *et al.*, 2018).
- Textura. La textura representa la asignación de las proporciones de partículas individuales de arenas, limos y arcillas del suelo. De esta manera, se ha determinado que un suelo de textura gruesa suele presentarse mayor cantidad de arena y aquél que concentra una mayor proporción de arcilla se categoriza un suelo fino. Así, el mejor suelo contiene un 40 % de arenas, 40 % de limos y 20 % de arcillas; sin embargo, esta proporción se encuentra afectada por el movimiento del agua en el suelo (López y Estrada, 2015).

Esta tipología se denomina clase textural; de esta manera, si el suelo dispone cantidades equilibradas de arena, limo y arcilla se le denomina clase franca; aquellos de textura moderadamente gruesa se les denomina franco arenoso y moderadamente finos se les llama franco arcilloso limoso (Mendoza *et al.*, 2022).

La determinación de las partículas del suelo se usan el método de superficie específica y de análisis de distribución de tamaño de partículas. Los segundos son los más usados

y constan de la textura al tacto, el recuento microscópico, la tamización y la sedimentación (Conti, 2017).

- Densidad. Se corresponde con el peso por volumen de suelo y se encuentra directamente asociada a la porosidad. Esta densidad se mide en g/cm^3 y se clasifica en aparente, que no es más que la cantidad de masa de sólido existente por cada unidad del volumen que en total tiene el suelo, mientras que la densidad real se mide como la masa de todos los sólidos sin considerar el volumen que ocupan los poros (Novillo *et al.*, 2018).

El propósito de la medición de la densidad aparente es la estimación de la compactación, porosidad (total, macro y micro) y la humedad a saturación, los cuales restringen el crecimiento de la planta (López y Estrada, 2015). Para su medición se usan los métodos del cilindro, de la excavación o la bolsa plástico, del agregado o de la parafina y aquellos que usan radiaciones electromagnéticas (Novillo *et al.*, 2018).

La textura o el tamaño de las arenas, la estructura del suelo, la composición de la materia orgánica y el manejo de los suelos (como el exceso de labores, el uso de maquinaria pesada, el pisoteo de animales, entre otros) afectan la densidad aparente. Igualmente, manifiesta que mientras mayor sea este indicador mayor dureza se presentará en las capas u horizontes; siendo ello de origen antrópico (inducido por el uso dado al suelo) o natural (procesos pedogenéticos) (Conti, 2007).

En cambio, la densidad real refleja la composición mineralógica del sistema de suelo y su contenido de materia orgánica. Es decir, mientras sea mayor el contenido de material orgánico la densidad se reduce y adicionalmente, al no poseer una cantidad considerable de este material, la densidad del suelo es similar al del mineral que más abunda en él (Kranz *et al.*, 2020). Se ha adoptado como estándar la medida de $2,65 \text{ mg.m}^{-3}$ como la densidad real para los suelos minerales en general. Por otra parte, para la medición real se utiliza el método del picnómetro (Conti, 2007).

- Porosidad. También es conocida como espacio poroso, no es más el porcentaje del volumen de dicho suelo que no está ocupado por algún sólido y es capaz de conocerse mediante densidad aparente y densidad real (Zanor *et al.*, 2018), usando la ecuación siguiente.

$$\text{Porosidad} = (1 - \text{densidad aparente}/\text{densidad real}) * 100$$

En lo que se denomina espacio poroso, se distinguen dos tipos de poros en el cual el agua, los nutrientes, el aire y los gases pueden circular o no; uno de estos tipos es el macroporo (>250 μm) los cuales no retienen agua y permiten el drenaje, la aireación del suelo y representan el espacio donde crecen las raíces. El otro tipo de espacio es el microporo (<250 μm), retiene el agua que es parte esencial del nutriente de las plantas (López y Estrada, 2015).

- Color del suelo. El color del suelo es un parámetro que se identifica de manera muy fácil, constituyendo un aspecto fundamental para describir y clasificar los suelos. Es oportuno señalar que el color del suelo se asocia a la temperatura; así mientras más claros los suelos entonces la temperatura es más cálida, con un mayor contenido de material orgánico y menos posibilidad de retención de humedad (García *et al.*, 2020).

Por otro lado, el color del suelo se ve afectado por la edad del mismo, el relieve y los procesos pedogenéticos. Por ejemplo, un suelo joven tiene un color dominado por su materia originaria (si predominan rocas ácidas es más claro el suelo) o un suelo ubicado en relieve alto tendrá un tono más claro. La medición del color se puede realizar mediante la comparación con la tabla de colores de Munsell, la cual considera tres parámetros: matiz, luminosidad e intensidad (Kranz *et al.*, 2020).

- Temperatura del suelo. La temperatura del suelo varía en función del calor que absorbe en comparación con las pérdidas que se genera por la radiación y la evapotranspiración de la humedad del suelo; así depende por lo tanto del clima, el color del suelo, de la altitud, la cobertura del suelo, entre otros aspectos (Zanor *et al.*, 2018).

Propiedades químicas de los suelos

Se refieren a los parámetros que caracterizan el comportamiento de elementos, sustancias y componentes que están presentes en el suelo, pudiendo observarse cambios químicos que ocurren en el suelo. Entre estas propiedades destacan el Potencial de hidrógeno (pH), la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la conductividad eléctrica (CE), el contenido de material orgánico (MO) y de nutrientes o tóxicos (elementos presentes en el suelo) (Yáñez *et al.*, 2018).

A continuación, se describen cada una de ellas:

- Potencial de hidrógeno (pH). Siendo el indicador que representa la reserva, la movilidad, la solubilidad y la absorción de nutrientes en las plantas, el pH mide el grado de iones H^+ en las partículas del suelo, clasificándolo entre alcalino o ácido. Este valor oscila entre 3,5 a 9,5, pasando de muy ácido a muy alcalino; observándose que mientras más alcalino se inhibe en mayor medida la actividad de organismos en el suelo y, por lo tanto, la actividad agrícola (García *et al.*, 2020).
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). Se refiere al número de cargas negativas que se encuentra en la superficie de las arcillas e hidróxidos, que representan los minerales del suelo y en su materia orgánica. Así, como señalan estos autores, la CIC se mide por la cantidad de cationes presentes en toda la superficie; entre ellos, Ca^{++} , K^+ , Na^+ y otros, lo cual es fundamental para que el suelo disponga (real y potencialmente) de nutrientes que sirvan de alimento para las plantas (Restrepo *et al.*, 2018).

El CIC se mide en centimoles de carga por kg de suelo, esto es cmol/kg o también, en miliequivalentes de carga por 100 gramos de suelo (que se expresa como meq/100g); de esta manera, un CIC de 15 a 25 cmol/kg o meq/100g del suelo puede considerarse adecuado, siendo los suelos arenosos aquellos con más bajo valor (López y Estrada, 2015).

- Conductividad eléctrica. Esta propiedad, que sirve como un indicador de la salinidad del suelo, expresa la capacidad de transporte de corriente eléctrica que tiene la solución acuosa en ese suelo, lo cual es directamente proporcional a la cantidad de sales que están disueltas (ionizadas) en dicha solución, expresándose en miliSiemens por metro (mS/m) o también en dieciSiemens por metro (dS/m) (Yáñez *et al.*, 2018). En la Tabla 1, se presentan las mediciones de conductividad eléctrica y las clases de salinidad para una suspensión de suelo: agua de 1:1.

Tabla 1

Mediciones de conductividad eléctrica y las clases de salinidad para una suspensión de suelo: agua de 1:1

Conductividad eléctrica (dS/m a 25 °C)	Clase de salinidad
0–0,98	No salino
0,98–1,71	Muy ligeramente salino
1,71–3,16	Ligeramente salino
3,16–6,07	Moderadamente salino
>6,07	Fuertemente salino

Nota. Elaboración propia a partir de López y Estrada (2015). La tabla describe la clasificación de la salinidad, considerando la conductividad eléctrica; observando que, a mayor salinidad el suelo tendrá una mayor conductividad eléctrica.

- Materia orgánica (MO). Esta materia se corresponde con los restos vegetales y animales (en forma de desechos o de tejidos después de muertos) presentes en el suelo, los cuales se encuentran en dos formas: lábil que es de permanencia corta en el suelo y fácil de digerir por los microorganismos y recalcitrante (también conocida como humus) y contiene compuestos químicos más complejos como ácidos húmicos, fúlvicos y huminas, los cuales tienen una permanencia mayor en los suelos que la

materia lábil (Minervini *et al.*, 2018). Es importante señalar que la cantidad de humus participa en la regulación del pH, en el control de la lixiviación de nutrientes, el incremento en la cantidad de agua retenida, entre otras actividades de los suelos. En el caso especial, de los suelos con vocación agrícola la materia orgánica (MO) se ubica por debajo del 2 % (López y Estrada, 2015).

La MO se determina al multiplicar el contenido de carbono orgánico presente en la muestra por el factor de 1,724, que se refiere al promedio de MO contenido en 58 % de carbono. establecen que las concentraciones de carbono son indicadores ideales de medición de calidad y productividad del suelo (Hubbard *et al.*, 2013).

- Nutrientes en el suelo. Estas sustancias químicas son de significativa importancia en el desarrollo y crecimiento de las plantas, evitando que sufran enfermedades o sean atacadas por plagas y se distinguen entre macronutrientes como N, P, K, S, Mg y Ca y micronutrientes como Zn, Fe, Mn, Cl, Cu, B y Mo. Algunos de estos elementos dependiendo de su nivel de concentración pueden convertirse en tóxicos para el desarrollo de las plantas; como por ejemplo el nivel de Cu que para garantizar el cultivo agrícola debe encontrarse entre 4 y 6 $\mu\text{g/g}$ y presentará síntomas de toxicidad en especies animales si supera las 20 $\mu\text{g/g}$ (López y Estrada, 2015).

Propiedades biológicas de los suelos

Estas propiedades se relacionan con los organismos que viven en los suelos y la materia orgánica que generan en él; entre ellos destacan las bacterias, los hongos, los insectos, las raíces de plantas, entre otros. De esta manera, las actividades de estos organismos coadyuvan al movimiento del agua y de minerales que es un proceso trascendental en la descomposición de la MO, en el proceso de generación de nuevas sustancias partiendo de las sustancias húmicas, en el desarrollo del ciclo nutriente y en la fijación del nitrógeno (Paz-Ferreiro y Fu, 2016).

Los organismos que permanecen en el suelo, cuando consumen la materia orgánica (MO), crean una reserva de carbono que se renueva entre 1 y 3 años, donde el principal subproducto que se genera es el humus, siendo esta una sustancia de reserva de carbono estable en el suelo, visto que no es de fácil degradación. Para el desarrollo de nuevos nutrientes, se requiere evaluar las micorrizas o simbiosis entre plantas y hongos; en el cual las primeras proveen C y los últimos ayudan en el aumento de asimilación de nutrientes (en su mayor parte, fósforo) y de tolerancia en las épocas de sequías (Shekhovtseva y Maltseva, 2015).

La fijación biológica del nitrógeno requiere de un grupo de microorganismos presentes en los suelos, entre los cuales destacan *Azotobacter*, *Frankia*, *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Azolla* y las canobacterias como la *Rhizobiumleguminosa*. Estos microorganismos contribuyen en una cantidad que oscila entre un tercio y la mitad del nitrógeno fijado de la atmósfera, intercambiando C por N, siendo N el nutriente más limitante para las plantas (López y Estrada, 2015).

Otro elemento a considerar es el aumento de biomasa microbiana que está en el suelo en un tiempo determinado, el cual se usa como un indicativo de alerta temprano para evidenciar modificaciones en las propiedades del suelo que resultan de impactos provenientes del ecosistema agrícola (Paz-Ferreiro y Fu, 2016).

1.2.3. Estándares de calidad ambiental para suelo

El Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2017) mediante Decreto Supremo N°011-2017-MINAM de fecha 02 de diciembre de 2017 aprobó los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo que es aplicable a todos los proyectos y actividades que se desarrollan en el país y en el caso de los suelos agrícolas, se disponen de los estándares especificados en la Tabla 2 (el detalle completo se presenta en el Apéndice 1). A través de estos estándares es posible lograr identificar las condiciones del suelo, mediante niveles máximos permitidos de cada parámetro, clasificados entre orgánicos e inorgánicos. También se identifica el tipo de ensayo que debe emplearse.

Tabla 2*Estándares de calidad ambiental para el suelo agrícola*

Parámetros	Nivel máximo permitido en miligramos por kilogramo de materia seca (mg/kg MS)	Método de ensayo
<i>Orgánicos</i>		
Benceno	0,03	EPA 8260-B
Tolueno	0,37	EPA 8260-B
Etilbenceno	0,082	EPA 8260-B
Xileno	11	EPA 8260-B
Naftaleno	0,1	EPA 8260-B
Fracción de hidrocarburos F1 (C5-C10)	200	EPA 8015-B
Fracción de hidrocarburos F2 (C10-C28)	1 200	EPA 8015-M
Fracción de hidrocarburos F3 (C28-C40)	3 000	EPA 8015-D
Benzo(a) pireno	0,1	EPA 8270-D
Bifelinos policlorados - PCB	0,5	EPA 8270-D
Aldrin	2	EPA 8270-D
Endrín	0,01	EPA 8270-D
DDT	0,7	EPA 8270-D
Heptacloro	0,01	EPA 8270-D
<i>Inorgánicos</i>		
Cianuro libre	0,9	EPA-9013-A/APHA-AWWA-WEF 4500 CN F
Arsénico total	50	EPA 3050-B
Bario total	750	EPA 3050-B
Cadmio total	1,4	EPA 3050-B
Cromo VI	0,4	DIN 19734
Mercurio total	6,6	EPA 7471-B
Plomo total	70	EPA 3050-B

Nota. Elaboración propia a partir de MINAM (2017). La tabla señala los niveles máximos permitidos (NMP) para los diversos parámetros orgánicos e inorgánicos para el suelo agrícola, medidos en mg/kg MS; conforme a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), señalando también los métodos de ensayos correspondientes para medir cada de los parámetros.

1.2.4. Pastoreo animal

Definición de sistema de pastoreo

El pastoreo consiste en una actividad económica que se asocia al sistema de producción ganadera, para optimizar el uso de recursos impredecibles, mediante la movilización del ganado y la gestión eficiente de la tierra; este sistema suele ser algo complejo y lógico atado a un grupo de reglas ambientales, sociales y económicas (Manzano y Salguero, 2018). El sistema de pastoreo consiste en la manipulación o manejo que busca la armonía de un conjunto de elementos (animales, plantas, suelo, infraestructura y clima) con el propósito de la producción ganadera y con miras a preservar las condiciones del pastizal (Vásquez y De León, 2016).

El pastoreo es una actividad económica definida como un mecanismo de producción ganadera, que permite optimizar la flexibilidad para la producción en términos de recursos poco predecibles, centrado en la movilización de los animales y la gestión de la tierra; se caracteriza por ser lógico, de cierta complejidad, pues considera parámetros ambientales, sociales y económicos (Krätli *et al.*, 2015). En términos prácticos, el pastoreo consiste en alimentar al ganado mediante el pastizaje que crece en los suelos; de forma tal que se utiliza el campo para dejar al animal consumirlo (Vásquez y De León, 2016). El pastizal puede ser natural, el cual se refiere a los forrajes silvestres, compuestos por una amplia gama de plantas que son apetecibles para el animal, ubicadas en sabanas y bosques (Nallar *et al.*, 2017).

La pastura cultivada se refiere a plantas que han sido mejoradas genéticamente para ser cultivadas en grandes concentraciones; con la finalidad de obtener semilla y alimento para el ganado. Esta pastura requiere una inversión que viene acompañada de un manejo óptimo para que rinda los beneficios económicos esperados, lo cual no siempre es observado en la pastura natural (Krätli *et al.*, 2015).

La producción del pasto varía durante el año y es gestionada de forma tal que los animales visiten la pastura en distintas épocas del año, evitando el abuso de la zona, lo que implica la rotación del ganado (Nallar *et al.*, 2017). De allí, la necesidad de planificación de la

actividad del pastoreo enfocada en el logro de un mejor resultado, desde el punto de vista del negocio, la reducción de los riesgos y de los índices de variabilidad en la producción ganadera (leche, carne, lana, etc.), la prevención de los manejos que puedan generar efectos negativos en los pastizales, la prevención de la erosión que provoca la pérdida de los suelos y la recuperación de áreas degradadas (Vásquez y De León, 2016).

La European Forum on Nature Conservation and Pastoralism (EFNCP, 2015) señala que, el pastoreo móvil es un mecanismo de producción ganadera eficiente, especialmente, en cuanto al uso de recursos forrajeros, agua y energía; además, representa uno de los sistemas alimentarios de mayor sostenibilidad de la actualidad, caracterizado por el desplazamiento de los rebaños, siguiendo los pastos en base a la disponibilidad estacional. En este sentido, es fundamental el aporte del pastoreo móvil a la economía, la sociedad y la biodiversidad rural, logrando la integración de las tres dimensiones del desarrollo sostenible (económica, social y ambiental). Se destaca que el pastoreo móvil es un componente fundamental para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), representando un modelo apropiado de lo que se denomina “agricultura climáticamente inteligente” (FAO, 2022).

En el pastoreo se destaca la capacidad para lograr el equilibrio del territorio; observando que, el volumen de trabajadores necesarios para esta actividad y el elevado valor agregado de sus productos, favorecería a mantener a más personas en las zonas rurales, permitiendo que se mantengan vínculos sólidos en las comunidades, en donde además, se requieren de servicios básicos para lograr que los jóvenes y los profesionales deseen mantenerse en dichas comunidades, reduciendo la migración hacia zonas urbanas, contribuyendo a la lucha contra la desolación de las zonas agrícolas, lo que representa una problemática de muchas ciudades y centros poblados (Escribano *et al.*, 2015).

Las prácticas de pastoreo incorrectas parten por desestimar información acerca de las buenas prácticas que permiten beneficiar al ganado, la fauna, el suelo y las plantas, así como reducir el impacto ecológico del mismo, lo cual es producto del desconocimiento. Un pastoreo mal realizado puede ocasionar que las mejores especies se sobre utilicen continuamente, evitando que se produzca la semilla para su reproducción, produciendo la

desaparición de especies de plantas superiores, las cuales son sustituidas por otras especies invasoras, en donde, generando pérdida de vegetación de forma continua e invasión de plantas de menor calidad (Ibarra *et al.*, 2018).

La degradación de los suelos representa una de las mayores amenazas ambientales del planeta, dado el impacto sobre los ecosistemas, al generar una reducción de la biodiversidad, comprometiendo la producción de alimentos, así como la disposición de agua y el aumento de la emisión de gases de efecto invernadero (Koch *et al.*, 2013). En los suelos degradados, los efectos más notorios son los deterioros de sus elementos y propiedades, evidenciando pérdida en su conformación y en los agregados, reducción de la capacidad para la infiltración del agua, acidificación, acumulación de sales, aumento de la toxicidad, reducción de nutrientes, desgaste de biota y necromasa edáfica (Bonfante *et al.*, 2019).

Factores básicos del sistema de pastoreo

Todo sistema de pastoreo involucra cinco factores básicos, los cuales son: la carga animal, la especie animal, la época de pastoreo, la distribución del pastoreo y la frecuencia del pastoreo (Ramos, 2011).

- **Carga animal.** Considerado como el factor del pastoreo más importante, la carga animal determina los niveles de producción tanto de la pradera como del animal (Ramos, 2011). Con un menor número de carga animal es posible incrementar la producción por cada animal, visto que se reduce la competencia y hay una mayor selectividad del animal en cuanto a la especie que tenga mayores propiedades nutritivas (Carrera *et al.*, 2015). Esta selectividad es un comportamiento innato del animal durante el pastoreo, en la cual selecciona el pasto (tanto en especie como en parte de la planta) que cubra sus necesidades de nutrición abarcando la menor distancia durante su alimentación (Vásquez y De León, 2016).

Con una cantidad elevada de carga de animal que define el sobrepastoreo, van desapareciendo especies en el suelo, quedando desnudos y provocando una mayor

erosión de los mismos (Carrera *et al.*, 2015). El objetivo es distribuir o dispersar el ganado dentro del potrero o unidad de manejo, para garantizar que todas las plantas forrajeras tengan la misma probabilidad de ser consumida por el ganado, evitando que el sobrepastoreo permita el envejecimiento de las plantas y puedan crecer con normal desarrollo, sin afectar las propiedades de los suelos (Vásquez y De León, 2016). La carga animal está expresada por el número de animales adultos de 450 kg de peso (unidad animal) en una hectárea por año; esto es, UA/ha/año (Nallar *et al.*, 2017).

La cantidad de animales en la zona y el tipo de alimento que consume se relaciona con la cantidad de heces y orina que ellos depositan en el ambiente, estimándose que las vacas lecheras, por ejemplo, excretan entre el 70 y el 85 % del nitrógeno y entre el 58 y 75 % de fósforo que se almacenan en los suelos donde se desarrolla tal actividad. Esto obedece a que un bovino adulto defeca entre 10 y 15 veces al día, cubriendo diariamente entre 0,5 y 1,0 m² del área y excretando entre 5 y 6 % su peso vivo, así en un novillo se estima de 20 a 35 kg diarios de estiércol (Beltrán *et al.*, 2012).

La alimentación del animal se centra en nutrientes alto en nitrógeno (como proteína bacteriana y directa del alimento), al menos el 85 % de este se elimina en excretas y llega directamente al suelo. Esto altera la materia orgánica del suelo, así por cada 1,5 de carga animal se estima la incorporación de 300 kg de N/ha (0,01% del nitrógeno existente). En el caso de la orina, se estima entre 8 y 9 veces al día, con una cantidad promedio de 17,5 litros, lo cual afecta el nivel de humedad en el suelo y el pH del mismo, incrementado el nivel de acidez en los suelos (Morochó, 2012).

- Especie animal. La especie animal o tipo de ganado que comúnmente se asocia al pastoreo en el Perú son la ganadería bovina, porcina, ovina y de alpaca. La ganadería en el Perú se enfoca en el manejo de hatos de pequeña escala (58 % de los productores tienen menos de 5 hectáreas), siendo preponderante el manejo de ganado criollo (64 % de la población bovina) de bajo rendimiento, seguido de Brown Swiss con 18 % y Holstein con 11 % (MIDAGRI, 2017).

La alimentación del ganado bovino peruano se concentra en producción de forraje (avena, arveja, haba y otros), pastos cultivados (en especial, alfalfa), pastos naturales; así como alimento balanceado y demás concentraciones comerciales; en mayor medida, el ganado bovino es manejado mediante el pastoreo en pastos naturales (Quispe, 2016).

En el Perú, el 70 % de los cerdos son criados en pequeñas unidades y el resto en crianzas tecnificadas, las cuales se ubican en la Costa; de esta manera, el 74 % de la población porcina se ubican en hectáreas de menos de 5 ha, con tres gamas de sistemas de producción: de traspatio destinada al autoconsumo (ubicada en la Sierra y Selva del Perú), semi-intensiva de baja tecnología y productividad (desarrollada principalmente en la Costa) y la intensiva de alto rendimiento enfocada en la comercialización a gran escala, siendo Lima un ejemplo de ello (MIDAGRI, 2017).

En el país se desarrollan dos líneas de cerdos: criollos (con 67 % de la población) y mejorados (33 % del total). Además, la alimentación de ellos depende del nivel de tecnificación; así, en el caso de la crianza no tecnificada, los animales se alimentan de residuos (tanto de alimentos como de cosecha) mientras que, en la intensiva su dieta es más variada (maíz, soya, subproductos del trigo, suero de leche, entre otros) (MIDAGRI, 2020).

La ganadería ovina se caracteriza por la rusticidad y su alta resistencia a temperaturas muy variables, que se desarrolla en la sierra peruana; asimismo, poco más del 64 % de la producción se realiza en fincas con menos de 5 ha en tierras atomizadas y enfocadas en la agricultura familiar, en un sistema de producción extensivo bastante precario, donde los animales se exponen a las condiciones ambientales directamente (MIDAGRI, 2017).

El 81 % de esta ganadería son animales criollos; donde la sobrecarga en la Sierra peruana es tres veces más que la capacidad disponible ha ocasionado una degradación de las praderas alto andinas (Quispe, 2016).

- Época de pastoreo. Esto representa las estaciones del año donde se puede desarrollar el pastoreo, en algunas regiones esta actividad es factible durante todo el año mientras que, en otras solo es posible en determinadas épocas. En las épocas de lluvia es notorio un decremento del pasto (en cantidad y calidad), por lo que se requiere excluir del pastoreo a esas zonas en dicho momento; de igual manera, en el caso de las zonas de pastoreo continuo durante todo el año, se debe considerar que si el pasto está pasado de madurez puede afectar el sistema digestivo del animal (Ramos, 2011).
- Distribución del pastoreo. El problema del pastoreo no está asociado a la carga animal, sino a una precaria distribución de los animales, lo cual dependiendo de las condiciones del ecosistema (topografía, microclima, presencia de agua, etc.), puede corregirse con ciertas estrategias, como la delimitación del área a través de potreros, el pastoreo controlado, la habilitación de abrevaderos y otros componentes (Milera-Rodríguez *et al.*, 2019). Debe presentarse un grado de separación entre animales que permita el desarrollo sustentable de la actividad del pastoreo, que requiere de una planificación correcta en cuanto a la edad y tamaño del animal; en caso contrario, es normal que exista una alta concentración, lo cual como indican estos autores pudieran llegar a la compactación del suelo y, en definitiva, la erosión del mismo (Vásquez y De León, 2016).
- Frecuencia del pastoreo. Esta frecuencia está en función de la cantidad de potreros, en general, en los cuales se divide el pastizal, siendo relevante los períodos de descanso y de pastoreo en la determinación de la capacidad de soportabilidad del suelo. También debe considerarse la producción de forraje y el tiempo en el cual crece el pasto luego del pastoreo, lo cual también asegura una cantidad suficiente de alimento para el animal sin perjudicar la capacidad del pastizal (Vásquez y De León, 2016).

Tipos de sistemas de pastoreo

Dentro de los tipos de sistemas de pastoreo destacan: rotativo, diferido y racional.

- Pastoreo rotativo. Este tipo de pastoreo consiste en movilizar el ganado de un lugar a otro, varias veces al año; lo cual implica un proceso de sistematización del movimiento del ganado, de manera uniforme a lo largo de la pradera. Este tipo de pastoreo se caracteriza por ser ordenado, controlado y secuencial, basado en una planificación, lo cual aporta ciertas ventajas, como la garantía de un consumo de todo el material vegetal de manera equitativa sin necesidad de selección, reducción en la pérdida del forraje. Además, se evita el sobrepastoreo, se distribuye de manera más equitativa las heces y orina de los animales, se incrementa la productividad, entre otros beneficios (Milera-Rodríguez *et al.*, 2019). En cuanto a los inconvenientes que se presentan, es que este sistema de división es costoso y laborioso requiriendo infraestructuras como abrevaderos, cobertizos protectores y se debe cambiar anualmente el sistema de pastoreo (Batallas, 2019).
- Pastoreo diferido. Este tipo de pastoreo es similar al rotativo, solo que se establecen tiempos de descanso durante un tiempo particular, lo que permite una acumulación de forraje necesaria para atender a la población de animales y es utilizado en épocas de baja disponibilidad de mano de obra. De aplicarse correctamente este pastoreo, la regeneración del pasto es mayor, es posible la introducción de materia orgánica al suelo y se evita el uso del fuego como método en la regeneración de la pastura (Ramos, 2011).
- Pastoreo racional. Esta modalidad de pastoreo consiste en una forma productiva de tipo agroecológico, visto que es silvopastoril; así que, en ella se realiza la promoción de la diversidad de las especies (pastura y arbóreas) con la finalidad de lograr un equilibrio entre el suelo, la vegetación y el ganado. Este sistema requiere una división adecuada de los potreros en la pradera, con la finalidad de que el ganado camine mucho menos, alrededor de 2 km por día; para ello, se divide la pastura en una cantidad

suficiente de potreros que permita el consumo del pasto en un momento específico y un manejo del sistema que permite hacer ajustes en la carga animal, considerando la relación de consumo del pasto por ganado (Batallas, 2019).

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

El diseño correspondió a estudios no experimentales, tomando en cuenta lo señalado por Carrasco (2017), en estos estudios no se manipula la variable independiente, ni se establecen grupos experimentales ni de control; en efecto, las variables no fueron manipuladas, sino que fueron estudiadas en su contexto. Debe destacarse que, las condiciones de la carga de animal bovino en cada una de las zonas no fueron manipuladas por la investigadora, sino que correspondió a la forma en la cual funciona la finca; de esta manera, las características del lugar fueron aspectos que ya venían establecidas y que, de ninguna forma, representaron una intervención en el estudio.

En atención a lo anterior, el estudio se centró en comparar las propiedades físicas, químicas y biológicas en cada zona ante cargas de animales bovinos distintas, a través del levantamiento de los datos según fueron obtenidos sin cambiar la realidad presente. Asimismo, el enfoque fue cuantitativo, al respecto, Hernández *et al.* (2014) señalan que el método cuantitativo corresponde a aquel que emplea la recolección de datos para comprobar hipótesis, basados en la medición numérica y el análisis estadístico, que permiten establecer patrones de comportamiento y verificar las teorías.

En cuanto al alcance de la investigación, fue descriptiva, comparativo y correlacional; al respecto, los estudios descriptivos son propios de aquellos basados en la caracterización de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre éstos (Hernández *et al.*, 2014), visto que se analizaron las diferencias de los valores de las propiedades físicas, químicas y biológicas en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad.

Por su parte, los estudios correlacionales, según afirman Hernández *et al.* (2014) describen las relaciones existentes entre dos o más categorías, conceptos o variables, como en efecto, en el presente estudio se determinó el nivel de correlación existente entre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos con distintas cargas de animales.

2.2. Lugar y fecha

La evaluación se realizó en suelos del establo Américo Abad, del distrito Matucana, los cuales se caracterizaron por ser muy delgados, desarrollados en materiales de origen coluvial, filtrable y permeable, que proporcionaron la presencia de aguas subterránea en algunos puntos donde aumentaba, debido a que, el nivel del río Rímac era más bajo que el nivel de otros sectores de la ciudad (ver Apéndice 2). El estudio se desarrolló en la estación invierno-primavera (última semana de setiembre de 2021), con temperaturas entre los 13 y 22 °C, con muy pocas precipitaciones. Dicho establo, identificado en la Figura 1, tenía como coordenadas de localización latitud 12°50'18" S y longitud 75°58'35" W.

Figura 1

Mapa de localización de la zona de estudio de la actividad ganadera y pastos para el consumo de animales



Nota. Tomado de Google Earth 2021. Muestra el espacio físico donde se realizó el estudio, es decir, la toma de muestras para los ensayos y pruebas respectivas.

2.3. Población y muestra

La población del estudio estuvo comprendida por los suelos del estable América Abad en Matucana; en tanto, la muestra estuvo compuesta por cuatro parcelas del mencionado estable, con cuatro cargas animales, con un aproximado de 32 hectáreas y un total de 57 animales. Al respecto, siguiendo a Noguera y Vélez (2011); López y Tonguino (2015) y Chaverra (2017), se utilizó el muestreo no probabilístico a conveniencia o intencional, en el cual el investigador decide a su conveniencia, sobre la base de criterios distintos a los probabilísticos (Hernández *et al.*, 2014). De esta manera, partiendo de la necesidad de disponer de cuatro zonas con distintas cargas animales se seleccionó y se delimitaron los cuadrantes del estable América Abad que se utilizaron como muestra en el estudio, como se observa en la Figura 2.

Figura 2

Mapa de localización de las cuatro zonas de estudio



Nota. Tomado de Google Earth 2021. Muestra la división del espacio físico donde se ubicaron distintas cargas de animales, a efecto de realizar el estudio.

2.4. Técnicas e instrumentos

Las técnicas para la recolección de datos son las diversas herramientas usadas por los investigadores para obtener los datos requeridos en el estudio y así, dar cumplimiento a los objetivos definidos (Carrasco, 2017), en este sentido, las técnicas de recolección de la

información empleadas fueron la entrevista estructurada, constituida por preguntas cerradas con varias opciones de respuesta, y la observación de campo, la cual permitió recabar datos directamente de la naturaleza. Mientras que, los instrumentos son los recursos empleados por los investigadores para recolectar los datos que se encuentran relacionados a las variables de estudio (Hernández *et al.*, 2014), en este sentido, fueron usados como instrumentos cuestionario y la matriz de observación (ver Apéndice 3 y 4, respectivamente).

2.5. Descripción de la investigación

El método utilizado consistió en el análisis de suelo, para lo cual se aplicaron los siguientes pasos:

- **Reconocimiento edafológico:** mediante una inspección en la zona para identificar elementos como material madre, vegetación, topografía, pendiente, erosión, presencia de piedras, drenaje y uso de la tierra.
- **Entrevistas a agricultores para determinar el tipo de sistema de pastoreo presente en la zona:** mediante una entrevista al propietario del estable Américo Abad Aucallanchi, identificado con DNI N° 15452485; con la finalidad de identificar el tipo de sistema de producción ganadera presente en esa unidad de producción agrícola. De esta manera, se determinaron los factores básicos del sistema de pastoreo como la carga animal promedio o cantidad de animales adultos de 450 kg de peso en una hectárea por año (UA/ha/año); la especie animal (bovina o porcina, presentes en el estable); la época de pastoreo (identificación de estación donde más se presenta el pastoreo); la distribución del pastoreo (separación entre animales mediante delimitación de los suelos) y frecuencia del pastoreo.

Adicionalmente, se verificó que la dieta del ganado se compone de pancamel, afrecho, polvillo de arroz, maíz molido y sal molida.

- **Clasificación de grupos:** fueron clasificadas las zonas de estudio en cuatro, Grupo A de carga animal nula (0 UA/ ha/año), Grupo B de carga animal media con una cantidad de 12 animales bovinos (5 a 25 UA/ ha/año), Grupo C de carga animal alta con una cantidad de 20 animales bovinos (25 a 50 UA/ ha/año) y Grupo D de carga animal muy alta con 25 animales bovinos (60 a 200 UA/ ha/año).
- **Determinación de distintos niveles de profundidad:** fueron considerados cuatro tipos de profundidades. Profundidad A (0 - 5 cm), Profundidad B (5 - 10 cm), Profundidad C (10 - 15 cm) y Profundidad D (15 - 20 cm), tomando como referencia las investigaciones de López y Tonguino (2015), de Rivero *et al.* (2013) y de Monteverde *et al.* (2011).
- **Determinación de una muestra de cada grupo a cada nivel de profundidad:** fue seleccionada una muestra simple en cada parcela para cada nivel de profundidad.

2.6. Identificación de variables y su mensuración

En cuanto a las propiedades físicas de cada parcela, la medición fue realizada de la siguiente forma:

- **Profundidad (cm):** para la profundidad se utilizó una varilla metálica graduada (cm). Por otra parte, la resistencia (MPa) fue medida través de un penetrómetro de cono de 30° y una pesa de 1,5 kg; de manera tal, que se dejó caer la pesa 10 veces desde una altura de 1 m y se registró la profundidad de hincado en el suelo ante cada golpe, de acuerdo a los planteamientos de Kleyn (Rodríguez *et al.*, 2010).
- **Textura:** para la distribución de tamaño de partículas se utilizó el método de Bouyucos (%).

- **Densidad:** para la densidad aparente (mg/m^3), se utilizó la técnica del cilindro mediante el secado en una estufa a $105\text{ }^\circ\text{C}$ y se esperó que alcance un peso constante; mientras que para la densidad real (mg/m^3) se usó el picnómetro, tomándose como referencia el valor de $2,65\text{ mg}/\text{m}^3$, ya que según Plaster (2004), la mayoría de los suelos tienen esa densidad aproximada y corresponde al peso ponderado de las partículas minerales constituyentes más comunes y a un contenido bajo de materia orgánica.
- **Porosidad:** para la humedad, se aplicó el método de secado en estufa a $105\text{ }^\circ\text{C}$ (%). Para la conductividad, se utilizó la medición a través de infiltrómetro a tensión a disco y se usó de la ecuación de Wooding (cm/h). Para la retención de agua, se utilizó el método de cálculo descrito por Oliveira en 1968 (cm^3/m^3) (Rodríguez *et al.*, 2010).

Con relación a las propiedades químicas del suelo, fueron medidos los siguientes parámetros:

- **Potencial de hidrógeno:** para la medición del grado de iones H^+ , se utilizó el potenciómetro (nivel de pH).
- **Capacidad de Intercambio Catiónico:** para la medición de Ca^{++} , K^+ y Na^+ , se utilizó la extracción con acetato de amonio $\text{pH} 7$ y se expresaron en cmol/kg .
- **Conductividad eléctrica:** para la salinidad del suelo, se realizó la medición por electrométrico (dS/m a $25\text{ }^\circ\text{C}$).
- **Materia orgánica:** para la determinación se residuos vegetales y animales (%), se utilizó el método de Walkley-Black.

- **Nutrientes del suelo:** para la medición del fósforo, se utilizó el método de Bray II (mg/kg). Para la medición del potasio, calcio y magnesio se utilizó el método de acetato de amonio 1NpH7 (mg/kg). Para la medición del aluminio, se aplicó el método de KCI (mg/kg). Para la determinación de hierro, cobre y zinc, se empleó el método de extracción por DTPA (mg/kg).

Para las propiedades biológicas del suelo, se consideró como parámetro la fijación de nitrógeno (mg/kg), el cual se midió mediante el ensayo de reducción de acetileno (ARA).

2.7. Análisis de datos

Para el primer objetivo específico, fue realizado un análisis descriptivo con la finalidad de establecer las características de las propiedades de los suelos a estudiar en las áreas de mayor presión generada en el establo Américo Abad.

La contrastación de las hipótesis fue realizada por medio del análisis estadístico inferencial, para esto se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 5 %, en el cual se consideró, como fuente de variación, las cargas animales pastoreadas y las no pastoreadas. De igual modo, fue empleado el coeficiente de correlación de Spearman para la comprobación del segundo objetivo específico, empleándose un nivel de significancia del 5 %. Asimismo, se complementó el análisis con gráficos, tablas y pruebas post-hoc de Tukey ($p \leq 0,05$), para la comparación pareada de las medias de cada parámetro. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa SPSS versión 25 año 2017.

Con relación a las estrategias de mitigación, éstas son planificadas por el hombre para disminuir el efecto nocivo de una acción, que en este estudio está representado por el pastoreo. De acuerdo con los resultados obtenidos a través de la presente investigación, se propuso una serie de estrategias de pastoreo que, al ser implementadas por el dueño del establo, permitirán actuar sobre las debilidades, amenazas o vulnerabilidades encontradas,

con la finalidad de disminuir el impacto del pastoreo sobre el suelo y favorezca el crecimiento de pasto necesario para la alimentación de los animales.

Estas estrategias de mitigación fueron de dos tipos; estructurales, con la creación de establos definidos por tipo de animal; no estructurales, mediante una adecuada planificación de rotación del pastoreo, carga animal y tiempo de descanso de los suelos.

2.8. Materiales y equipos

Los materiales y equipos utilizados dentro de la tesis se presentan a continuación.

Materiales de campo

- Cámara fotográfica
- Palana
- Pico
- GPS
- Wincha
- Cuaderno
- Lapicero
- Casco
- chaleco
- Botas de caucho
- Guantes

Equipos

- Medidor de pH
- Conductímetro
- Penetrómetro 4 en 1, para suelo
- Penetrómetro 3 en 1, para suelo

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de cada uno de los objetivos planteados; sin embargo, previo a ello, se indican las características del sistema de pastoreo empleado en el establo América Abad de Matucana.

3.1. Reconocimiento edafológico

El material madre contaba con un horizonte O (que constituía la capa superficial del material orgánico y descompuesto); también, se observó el horizonte A, apreciándose la descomposición de humus, textura y color. En cuanto a la vegetación, se identificaron distintas plantas en las zonas laterales del estable, con un sembradío de alfalfa dentro del mismo.

El suelo del establo presentó una topografía ondulada, con una pendiente suave y uniforme, conformando lomas. Por otro lado, en el establo América Abad de Matucana se observó una erosión antrópica en la zona de la actividad ganadera que podía estar incidiendo en el desgaste y deterioro del suelo; además, se observó la presencia de piedras, no había drenaje y las tierras eran empleadas para la actividad agraria.

3.2. Determinación del tipo de sistema de pastoreo presente en la zona

Las características del sistema pastoreo presente en el establo América (Tabla 3), permitieron afirmar que se trató de una ganadería bovina, que implicaba un mayor peso sobre el suelo, con una carga alta (50-60 carga animal/ha) y un pastoreo rotativo (solo un día) y constante, durante todo el año; especialmente, cuando hay crías. De igual manera, se observó que la alimentación de los 57 animales presentes era variada, compuesta, principalmente por alfalfa, dado que esta planta crece de forma natural en la zona. Además, se pudo constatar la existencia de potreros que delimitan el área de pastoreo permitiendo

una distribución uniforme de la carga animal, a su vez que garantiza el orden en la movilización.

Tabla 3

Sistema de pastoreo en el establo América Abad de Matucana

Características	Descripción	Observación
Tipo de animal	Bovino	
Cantidad	57 animales	Tres en producción, visto que tienen terneros
Carga animal	Alta	50 a 60 carga animal por hectárea
Tipo de pastizal	Natural	Alfalfa
Época de pastoreo	Todo el año	En caso de que haya producción de leche
Distribución del pastoreo	Delimitada por potrero	Se ubican nueve adultos y un potrero
Frecuencia del pastoreo	Rotativo	Se deja un día
Alimentación de los animales	Pastos naturales, forraje (avena, haba, otros), alimentos balanceados, residuos de alimentos o cosechas, maíz, sorgo, subproductos de trigo, leche y derivados	

Nota. Elaboración propia con base a la entrevista realizada a Américo Abad Ucashendi, dueño del establo (2021). Para la entrevista se empleó un cuestionario, con preguntas estructuradas, que permitieron obtener los datos necesarios para describir las características del sistema de pastoreo en el lugar de estudio.

3.3. Propiedades físicas, químicas y biológicas en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

Dando respuesta al primer objetivo específico del estudio se analizaron las propiedades en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad, comenzando con las propiedades físicas y obtenidos mediante ensayo de laboratorio (Apéndice 5). Con base a éstos, se apreció lo siguiente:

- **Resistencia.** Como se detalla en la tabla 4, la resistencia del suelo disminuyó conforme la carga animal fue aumentando, pasando de 3,5 MPa en las zonas con carga animal nula (0 UA/ha/año) o Grupo A y con carga animal media (5 a 25 UA/ha/año) a 1,75 MPa o Grupo B en la zona con mayor carga animal (60 a 200 UA/ ha/año) denominada

como Grupo C; a pesar de ello, no existieron diferencias significativas en los cuatros grupos ($F= 2,538, p>0,05$).

Tabla 4

Resistencia en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

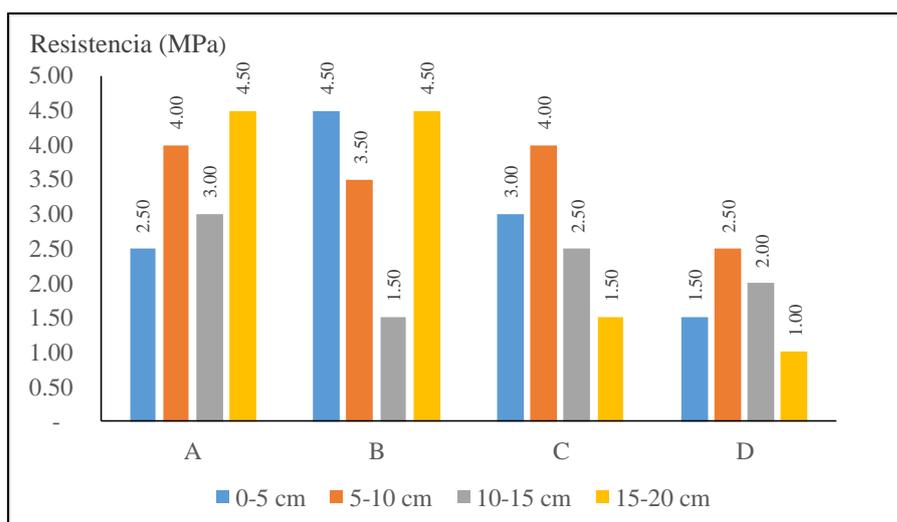
Propiedades físicas	Límites	Grupo				ANOVA	
		A	B	C	D	F	sig.
Resistencia (MPa)	-	3,5	3,5	2,75	1,75	2,538	0,106

Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (Apéndice 5).

Adicionalmente, se apreció que, generalmente, la resistencia era menor en el nivel de profundidad más bajo (0-5 cm) (Figura 3).

Figura 3

Resistencia en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad



Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (Apéndice 5) y muestra la resistencia en suelos de distintas cargas de animales, medido en Megapascal (MPa).

- **Textura.** Como se aprecia en la tabla 5, se aprecia que el suelo del Grupo A resultó ser franco arenoso (Fr.A.), mientras que en el resto de los grupos su textura era arena franca (A.Fr.). Asimismo, la concentración de arena en el suelo del Grupo A fue de 58,75 %, mientras que para el resto fue 75 % (Grupo C), 76,25 % (Grupo D) y 77,50 % (Grupo B), observándose diferencias significativas en los cuatros grupos ($F= 9,030, p<0,05$) y niveles superiores al valor recomendado de 40 % para suelos donde se desarrollan actividades agrícolas.

La concentración de arcilla no presentó diferencia en suelos a distintas cargas animales ($F= 0,437$, $p>0,05$), siendo menor en el Grupo B con 5 %, estando todos los valores bastante distanciados del 40 % de concentración recomendado para suelos orientados a la actividad agrícola.

No existieron diferencias significativas en la concentración de limo en suelos a distintas cargas animales ($F= 2,333$, $p>0,05$), siendo menor en el Grupo B con 15 %, dichos niveles se acercan al 20 % recomendado para suelos agrícolas, destacando que en el Grupo C se satisface ese nivel.

Tabla 5

Textura en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

Propiedades físicas	Límites	Grupo				ANOVA	
		A	B	C	D	F	sig.
Textura	-	Fr.A.	A.Fr.	A.Fr.	A.Fr.	-	
Arena (%)	40,00	58,75	77,50	75,00	76,25	9,030	0,002*
Arcilla (%)	40,00	7,00	5,00	7,50	6,25	0,437	0,730
Limo (%)	20,00	16,25	15,00	20,00	17,50	2,333	0,126

Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (Apéndice 5).

(*) Significancia al 5%.

Fr.A= franco arenoso; A.Fr.= arena franca.

En la tabla 6 se muestran los resultados de la prueba de Tukey, la cual permitió comprobar que existe una menor concentración de arena en la zona con la menor carga animal, mientras que el resto de las zonas no presentaron diferencias significativas entre sí.

Tabla 6

Prueba de Tukey para el parámetro concentración de arena en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

Grupo	Subconjunto para $\alpha= 0,05$	
	1	2
A	58,75	
C		75,00
D		76,25
B		77,50
sig.	1,000	0,929

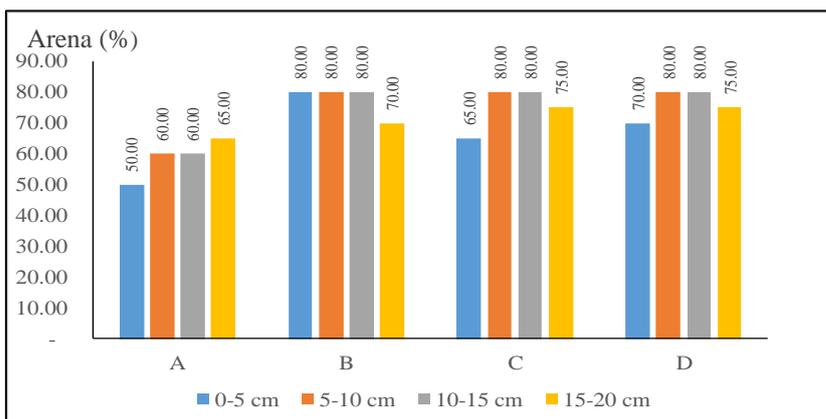
Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (Apéndice 5).

α = nivel de significancia fijado

La concentración de arena en los suelos de los grupos B, C y D fue más alta a profundidades de 5-10 cm y de 10-15 cm, disminuyendo a una profundidad de 15-20 cm (Figura 4).

Figura 4

Concentración de arena en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

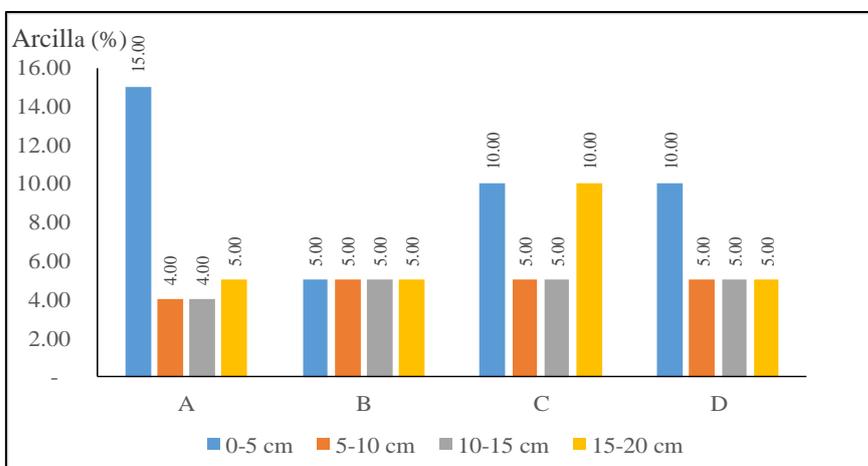


Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5) y muestra la concentración de arena en suelos de distintas cargas de animales, medida en porcentaje (%).

Seguidamente, en el menor nivel de profundidad (0-5 cm) se registraron los menores niveles para concentración de arcilla en suelos de distintas cargas de animales (Figura 5).

Figura 5

Concentración de arcilla en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

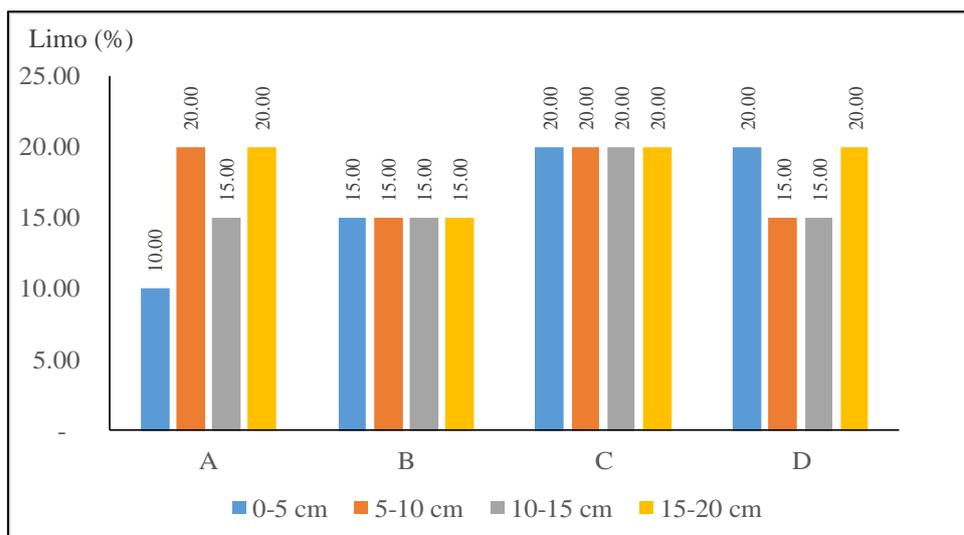


Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (Apéndice 5) y muestra la concentración de arcilla en suelos de distintas cargas de animales, medida en porcentaje (%).

Por otro lado, la concentración de limo en suelos a distintas cargas animales tuvo poca variación con respecto al nivel de profundidad (Figura 6).

Figura 6

Concentración de limo en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad



Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (Apéndice 5) y muestra la concentración de limo en suelos de distintas cargas de animales, medida en porcentaje (%).

- **Densidad.** En cuanto a la densidad aparente (mg/m^3), como se aprecia en la tabla 7, evidenció diferencias significativas en las cuatro zonas ($F= 9,920$, $p<0,05$), registrándose el menor valor en el Grupo B con $1,14 \text{ mg}/\text{m}^3$ y el mayor en el Grupo C con $1,53 \text{ mg}/\text{m}^3$.

La densidad real no presentó diferencia en suelos a distintas cargas animales ($F= 0,208$, $p>0,05$), siendo menor en el Grupo D con $2,27 \text{ mg}/\text{m}^3$ y mayor en el Grupo C con $2,33 \text{ mg}/\text{m}^3$, estando todos los valores por debajo del $2,65 \text{ mg}/\text{m}^3$ recomendado para suelos agrícolas, destinados a la actividad agrícola.

Tabla 7

Densidad aparente y real en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

Propiedades físicas	Límites	Grupo				ANOVA	
		A	B	C	D	F	sig.
Densidad aparente (mg/m ³)	-	1,20	1,14	1,44	1,53	9,920	0,001*
Densidad real (mg/m ³)	2,65	2,31	2,28	2,33	2,27	0,209	0,888

Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (Apéndice 5).

(*) Significancia al 5%.

Sobre el parámetro densidad aparente, las diferencias significativas en las cuatro zonas ($F=9,920$, $p<0,05$), se verificaron con los resultados de la prueba de Tukey (Tabla 8).

Tabla 8

Prueba de Tukey para el parámetro densidad aparente en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

Grupo	Subconjunto para $\alpha=0,05$		
	1	2	3
B	1,14		
A	1,20	1,20	
C		1,44	1,44
D			1,53
sig.	0,913	0,053	0,748

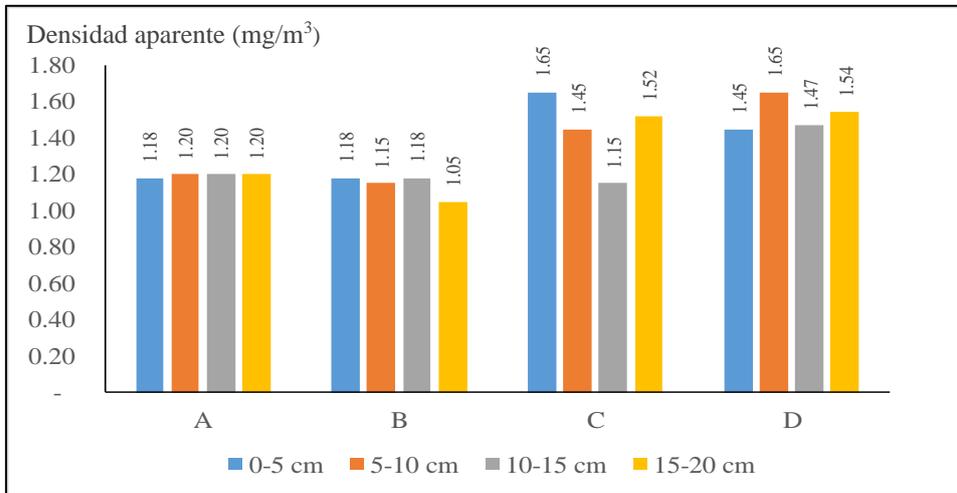
Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (Apéndice 5).

α = nivel de significancia fijado

También, se apreció poca variabilidad de la densidad aparente en los distintos grupos con respecto a los niveles de profundidad (Figura 7).

Figura 7

Densidad aparente en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

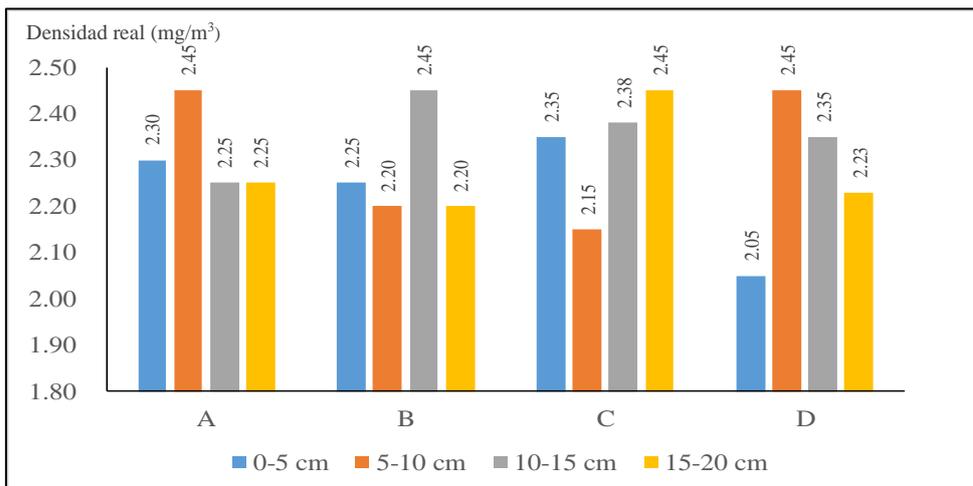


Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5) y muestra la densidad aparente de distintas cargas de animales, medida en mg/m³.

Adicionalmente, no se apreció un patrón en el comportamiento de la densidad real en suelos, en función a los niveles de profundidad (Figura 8).

Figura 8

Densidad real en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad



Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5) y muestra la densidad real de distintas cargas de animales, medida en mg/m³.

- **Porosidad.** Al evaluar la porosidad en la Tabla 9, se evidenciaron diferencias significativas en las cuatro zonas ($F= 10,123$, $p<0,05$), registrándose el menor valor en el Grupo D con 32,50 % y el mayor en el Grupo B con 49,75 %.

Tabla 9

Porosidad en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

Propiedades físicas	Límites	Grupo				ANOVA	
		A	B	C	D	F	sig.
Porosidad (%)	-	48,25	49,75	38,00	32,50	10,123	0,001*

Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (Apéndice 5).

(*) Significancia al 5%.

En cuanto a los resultados de la prueba Tukey para la porosidad (Tabla 10), verificaron las diferencias significativas en las cuatro zonas ($F= 10,123$, $p<0,05$), con menor valor en el Grupo D con 32,50 % y mayor valor en el Grupo B con 49,75 %.

Tabla 10

Prueba de Tukey para el parámetro porosidad en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

Grupo	Subconjunto para $\alpha= 0,05$		
	1	2	3
D	32,50		
C	38,00	38,00	
A		48,25	48,25
B			49,75
sig.	0,469	0,068	0,976

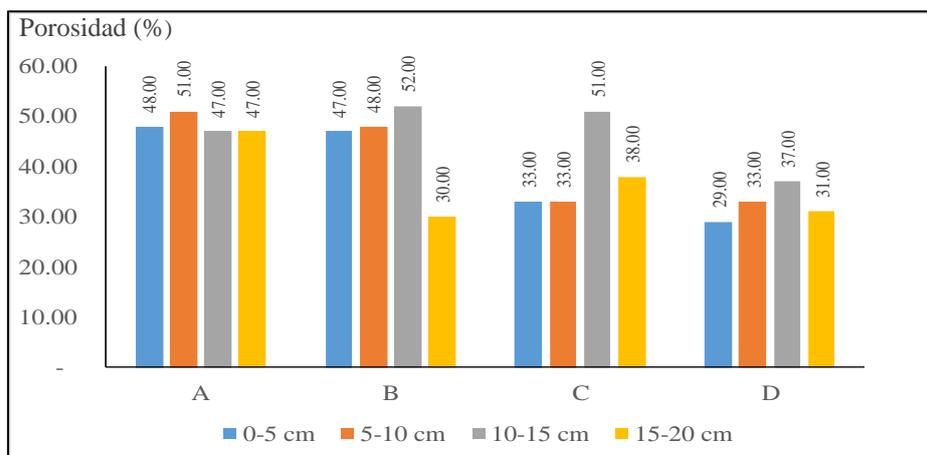
Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5).

α = nivel de significancia fijado

Asimismo, para el nivel de profundidad mayor, el valor de la porosidad fue el más bajo en cada zona con distintas cargas animales (Figura 9).

Figura 9

Porosidad en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad



Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (Apéndice 5). Muestra la porosidad en suelo de distintas cargas de animales, medida en porcentajes (%).

- **Color.** Con relación al color, se apreció en los cuatro grupos predominancia del marrón, siendo rojizo para el Grupo A y oscuro para el Grupo B, como se detalla en la tabla 9.

Tabla 11

Color de los suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

Propiedades físicas	Límites	Grupo			
		A	B	C	D
Color del suelo	-	Marrón rojizo	Marrón oscuro	Marrón	Marrón

Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (Apéndice 5).

- **Temperatura.** En cuanto a la temperatura, tal como se observa en la Tabla 12, se apreciaron diferencias significativas en las cuatro zonas ($F= 10,095$, $p<0,05$), registrándose el menor valor en el Grupo A con 63,65 % y el mayor en el Grupo D con 81,58 %.

Tabla 12

Temperatura en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

Propiedades físicas	Límites	Grupo				ANOVA	
		A	B	C	D	F	sig.
Temperatura (°F)	-	63,65	66,65	69,30	81,58	10,095	0,001*

Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (Apéndice 5).

(*) Significancia al 5%.

En cuanto a la temperatura, las diferencias significativas en las cuatro zonas se evidencian en la Tabla 13, con los resultados de la prueba de Tukey, respecto a los Grupos A, B y C fueron inferiores a las del Grupo D.

Tabla 13

Prueba de Tukey para el parámetro temperatura en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

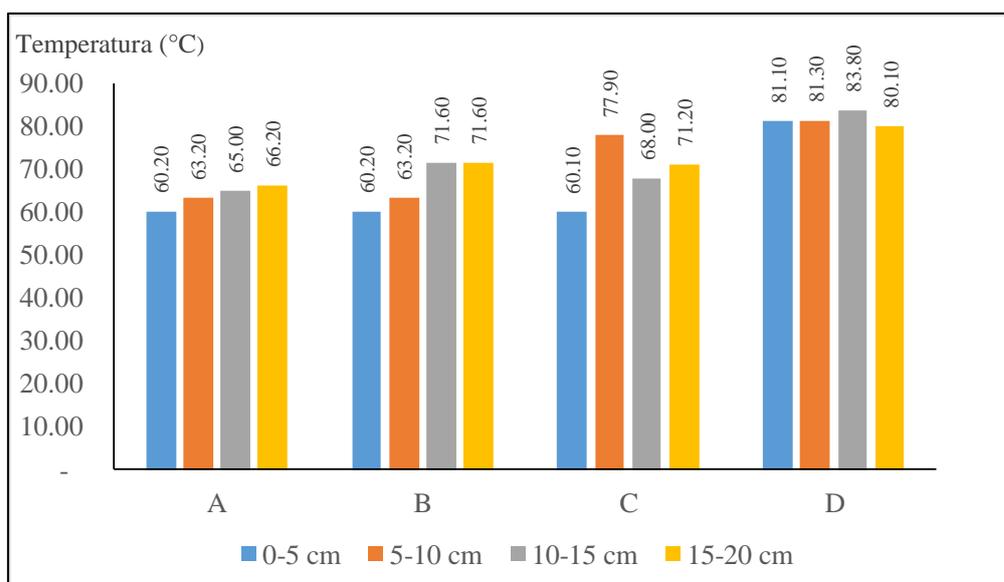
Grupo	Subconjunto para $\alpha= 0,05$	
	1	2
A	63,65	81,58
C	66,65	
D	69,30	
B		
sig.	0,408	1,000

Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5). La Prueba de Tukey permitió realizar las comparaciones estadísticas de las diversas pruebas sobre el parámetro temperatura en suelos de distintas cargas de animales.

De esta forma, en todas las zonas con cargas de animales, la temperatura fue menor en el nivel de profundidad más bajo (0-5 cm) (Figura 10).

Figura 10

Temperatura en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad



Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5) y muestra la porosidad en suelo de distintas cargas de animales, medida en porcentajes (%).

Seguidamente, se presentan los resultados de las propiedades químicas en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad. Con base a estos resultados se apreció lo siguiente:

- **Potencial de hidrógeno (pH).** El pH, como se detalla en la tabla 14, para distintos niveles de carga animal no presentó diferencias significativas ($F= 1,863$, $p>0,05$), observando que, los cuatro niveles estudiados presentaron valores de pH que exceden el rango recomendado para suelos destinados a la producción agrícola, siendo que el menor valor se obtuvo en el grupo B, con 7,76, mientras que los grupos C y D registraron valores de 8,91 en ambos casos.

Tabla 14

pH en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

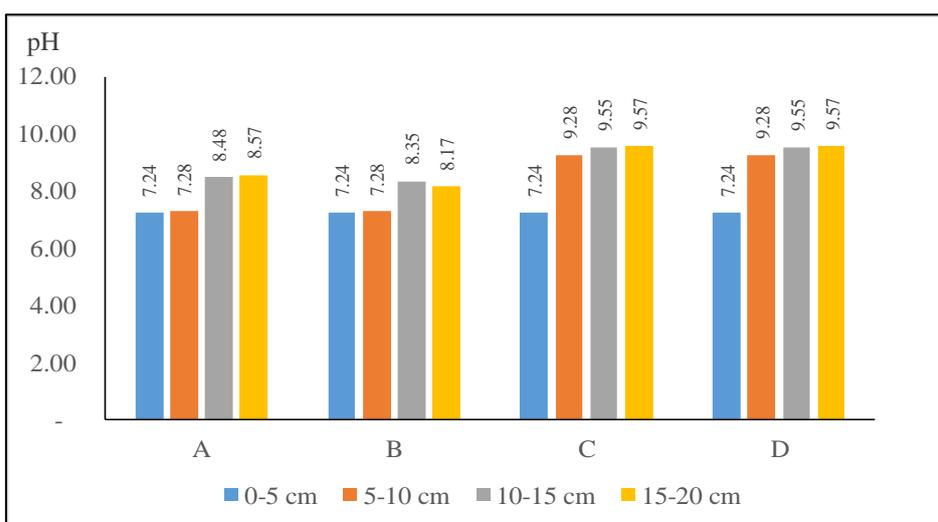
Propiedades químicas	Límites	Grupo				ANOVA	
		A	B	C	D	F	sig.
pH	6,00 – 7,00	7,89	7,76	8,91	8,91	1,863	0,190

Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5).

Adicionalmente, se apreció que el valor del pH en cada grupo fue aumentando conforme se incrementaba en el nivel de profundidad (Figura 11).

Figura 11

pH en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad



Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5) y muestra el pH en suelo de distintas cargas de animales, medida en unidades de pH

- **Capacidad de intercambio catiónico.** Como se aprecia en la tabla 15, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) para distintos niveles de carga animal no presentó diferencias significativas ($F= 0,518$, $p > 0,05$), registrándose el valor más bajo en el Grupo B con 3,02 cmol/kg y el más alto en el Grupo C con 4,42 cmol/kg. Además, los cuatros grupos excedieron el rango recomendado de 15 a 25 cmol/kg en el nivel de dicho parámetro.

Tabla 15

Capacidad de intercambio catiónico en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

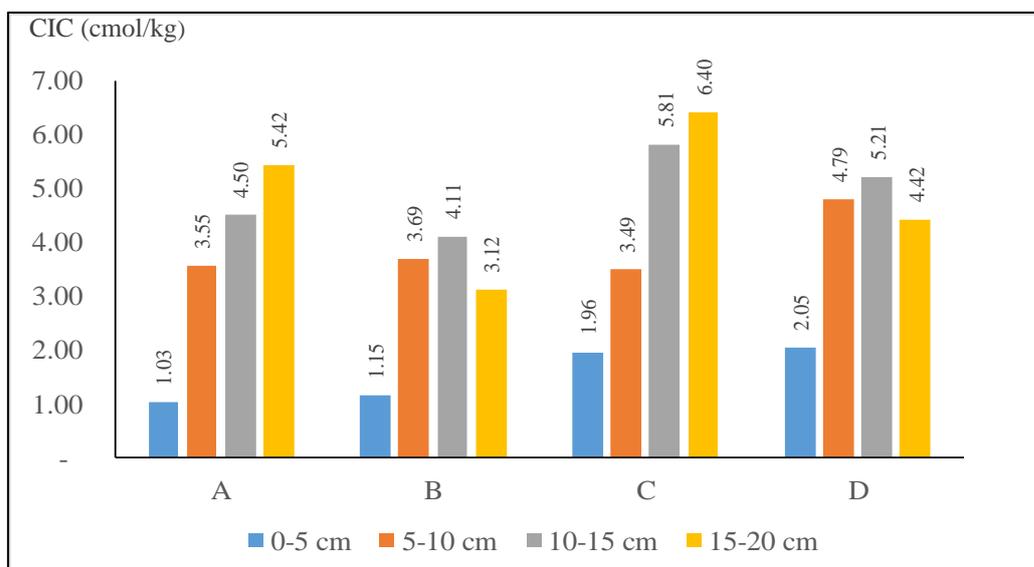
Propiedades químicas	Límites	Grupo				ANOVA	
		A	B	C	D	F	sig.
CIC (cmol/kg)	15,00-25,00	3,63	3,02	4,42	4,12	0,518	0,678

Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5).

Por otro lado, el valor de la capacidad de intercambio catiónico para distintos niveles de carga animal fue más bajo para niveles de profundidad inferiores (Figura 12).

Figura 12

Capacidad de intercambio catiónico en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad



Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5) y Muestra la capacidad de intercambio catiónico en suelo de distintas cargas de animales, medida en cmol/kg.

- **Materia orgánica del suelo.** En cuanto a la materia orgánica del suelo, como se aprecia en la tabla 16, no se presentaron diferencias significativas para distintos niveles de carga animal tampoco ($F= 0,301$, $p>0,05$), registrándose el valor más bajo en el Grupo A con 20,24 % y el más alto en el Grupo C con 29,31 %; así, en cada grupo se excedió el máximo recomendado de 2 %.

Tabla 16

Materia orgánica en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

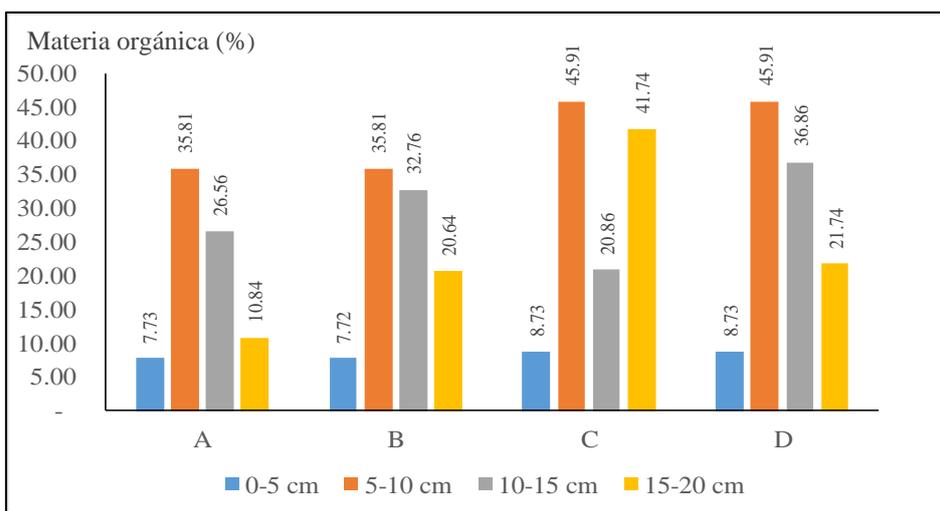
Propiedades químicas	Límites	Grupo				ANOVA	
		A	B	C	D	F	sig.
Materia orgánica (%)	< 2,00	20,24	24,23	29,31	28,31	0,301	0,824

Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5). Las unidades de medidas se encuentran expresadas en cada una de las propiedades químicas estudiadas.

En tanto, en el nivel de profundidad de 5-10 cm, alcanzó (para cada grupo), el máximo valor de materia orgánica en suelos de distintas cargas de animales (Figura 13).

Figura 13

Materia orgánica en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad



Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5) y muestra la materia orgánica en suelo de distintas cargas de animales, medida en porcentaje (%).

- **Conductividad eléctrica.** En cuanto a la conductividad eléctrica, como se aprecia en la tabla 17, no se presentaron diferencias significativas para distintos niveles de carga animal tampoco ($F= 0,301, p>0,05$), registrándose el valor más bajo en el Grupo A con 20,24 % y el más alto en el Grupo C con 29,31 %; así, en cada grupo se excedió el máximo recomendado de 2 %.

Tabla 17

Conductividad eléctrica en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

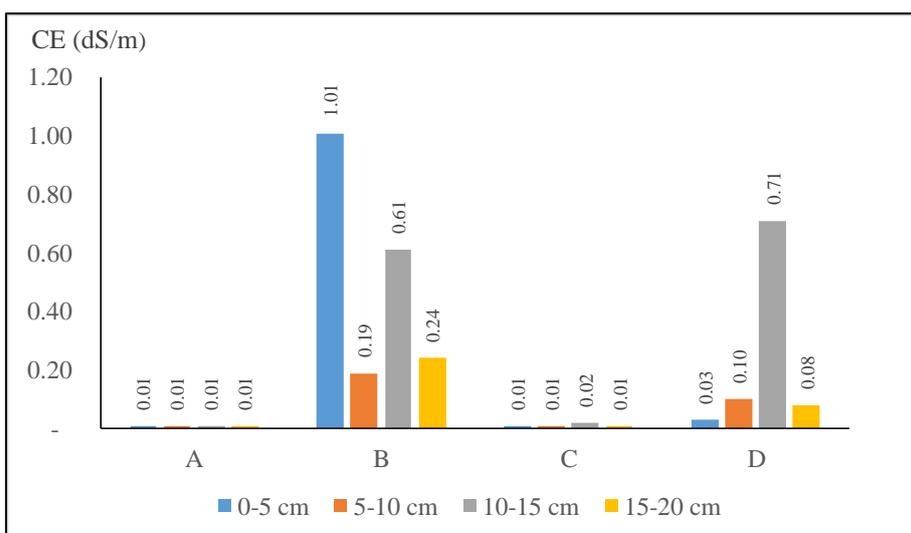
Propiedades químicas	Límites	Grupo				ANOVA	
		A	B	C	D	F	sig.
Conductividad eléctrica (dS/m a 25 °C)	< 1,71	0,01	0,51	0,01	0,23	3,640	0,045

Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5). Las unidades de medidas se encuentran expresadas en cada una de las propiedades químicas estudiadas.

De acuerdo a lo observado, no se apreció un patrón determinado en el comportamiento de conductividad eléctrica en suelos de distintas cargas de animales, en términos de la profundidad (Figura 14).

Figura 14

Conductividad eléctrica en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad



Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5). Muestra la conductividad eléctrica en suelo de distintas cargas de animales, medida en deciSiemens por metro (dS/m).

- **Nutrientes en el suelo.** Con relación a los nutrientes en el suelo, como se aprecia en la tabla 18, los niveles de fósforo no presentaron diferencias significativas para distintos niveles de carga animal ($F= 0,008$, $p>0,05$), registrándose el valor más bajo en el Grupo B con 7 355,21 mg/kg y el más alto en los Grupos C y D con 7 720,36 mg/kg; así, en cada grupo se excedió el límite recomendado de menos de 12 mg/kg.

Tabla 18

Nutrientes en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

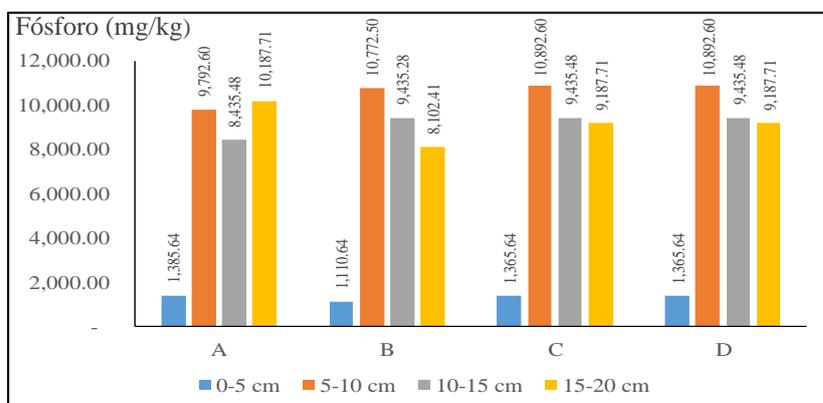
Propiedades químicas	Límites	Grupo				ANOVA	
		A	B	C	D	F	sig.
Nutrientes en el suelo							
Fósforo (mg/kg)	< 12,00	7 450,36	7 355,21	7 720,36	7 720,36	0,008	0,999
Potasio (mg/kg)	80,00-90,00	15 150,53	22 878,36	22 636,83	22 636,83	0,331	0,803
Calcio (mg/kg)	< 4,00	19 832,29	19 535,79	22 365,79	19 865,79	0,117	0,948
Magnesio (mg/kg)	6,00-7,00	10 139,03	10 413,30	11 265,37	10 515,37	0,495	0,692
Aluminio (mg/kg)	2,00-5,00	7 838,00	7 790,73	8 148,58	8 148,63	0,004	1,000
Hierro (mg/ kg)	5,00-10,00	9 389,09	9 631,62	9 669,09	12 144,09	0,206	0,891
Cobre (mg/ kg)	1,00-20,00	41,93	41,31	48,93	44,43	0,119	0,947
Zinc (mg/ kg)	3,00-10,00	123,80	150,83	126,75	129,00	0,176	0,846

Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5). Las unidades de medidas se encuentran expresadas en cada una de las propiedades químicas estudiadas.

Por otro lado, se evidenció que en el nivel de profundidad de 5-10 cm, se alcanzó (para cada grupo), el máximo valor de fósforo en suelos de distintas cargas de animales y en el nivel de profundidad de 0-5 cm, se obtuvo el menor valor (Figura 15).

Figura 15

Fósforo en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

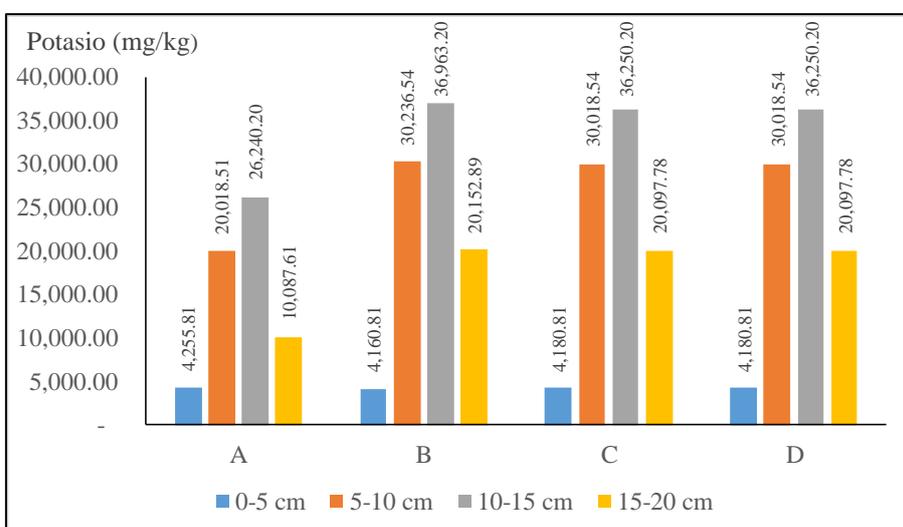


Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5) y muestra la cantidad de Fósforo en suelo de distintas cargas de animales, medida en miligramos por kilo (mg/kg).

En cuanto al potasio en el suelo, no se presentaron diferencias significativas para distintos niveles de carga animal tampoco ($F= 0,331, p>0,05$), registrándose el valor más bajo en el Grupo A con 15 150,53 mg/kg y el más alto en los Grupos C y D con 22 636,83 mg/kg; así, en cada grupo, este indicador no se ubicó en el intervalo recomendado de 80 a 90 mg/kg (Tabla 18). Así, se evidenció que en el nivel de profundidad de 10-15 cm, se alcanzó (para cada grupo), el máximo valor en el potasio en suelos de distintas cargas de animales y en el nivel de 0-5 cm, se registró el menor valor (Figura 16).

Figura 16

Potasio en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

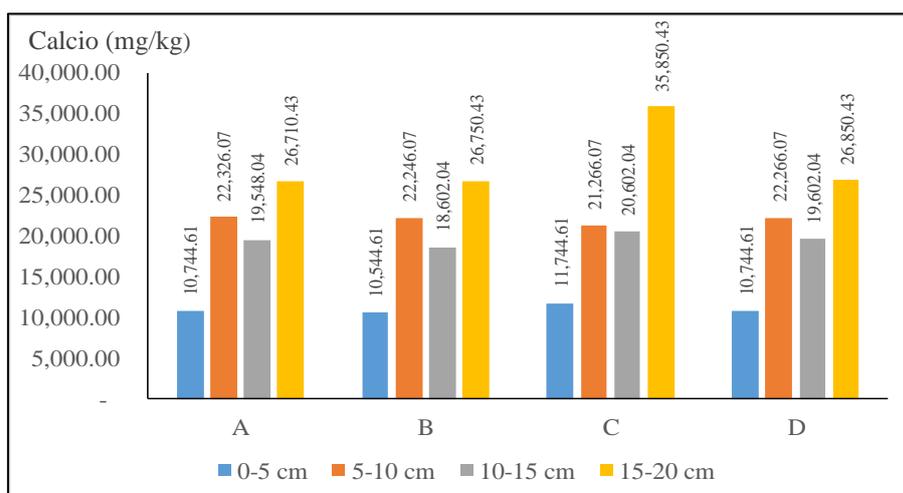


Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5) y muestra la cantidad de Potasio en suelo de distintas cargas de animales, medida en miligramos por kilo (mg/kg).

En los niveles de calcio, no se presentaron diferencias significativas para distintos niveles de carga animal tampoco ($F= 0,117, p>0,05$), registrándose el valor más bajo en el Grupo B con 19 535,79 mg/kg, y el más alto en el Grupo C con 22 365,79 mg/kg; así, en cada grupo, este indicador excedió el máximo recomendado de 4 mg/kg (Tabla 18). Luego, se evidenció que en el nivel de profundidad de 15-20 cm, se alcanzó (para cada grupo), el máximo valor en el calcio en suelos de distintas cargas de animales y en el nivel de 0-5 cm, se registró el menor valor (Figura 17).

Figura 17

Calcio en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

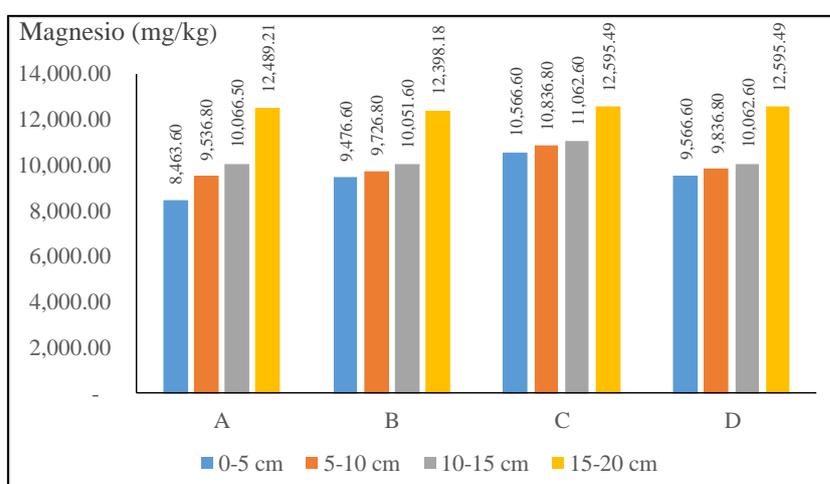


Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5) y muestra la cantidad de Calcio en suelo de distintas cargas de animales, medida en miligramos por kilo (mg/kg).

Con relación al magnesio, no se presentaron diferencias significativas para los distintos niveles de carga animal ($F= 0,495$, $p>0,05$), registrándose el valor más bajo en el Grupo A con 10 139,03 mg/kg y el más alto en el Grupo C con 11 265,37 mg/kg; así, en cada grupo, este indicador no se ubicó en el intervalo recomendado de 6 a 7 mg/kg (Tabla 18). Asimismo, se evidenció que, a mayor nivel de profundidad, el valor de magnesio en suelos de distintas cargas de animales se incrementó (Figura 18).

Figura 18

Magnesio en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

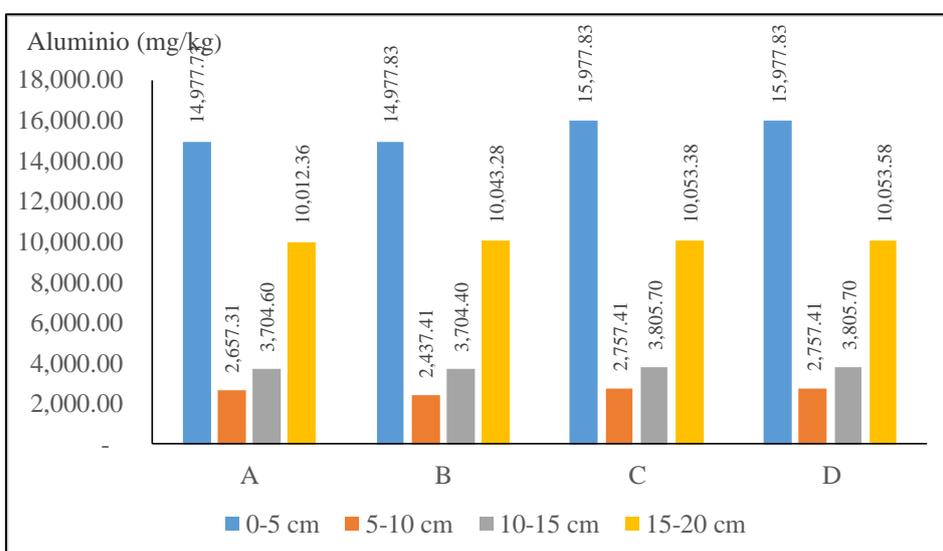


Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5) y muestra la cantidad de Magnesio en suelo de distintas cargas de animales, medida en miligramos por kilo (mg/kg).

En los niveles de aluminio no se presentaron diferencias significativas para distintos niveles de carga animal ($F= 0,004$, $p>0,05$), registrándose el valor más bajo en el Grupo B con 7 790,73 mg/kg y el más alto en los Grupos C y D con 8 148,58 mg/kg así, en cada grupo, este indicador no se ubicó en el intervalo recomendado de 2 a 5 mg/kg (Tabla 18). En este mismo sentido, se evidenció que en el nivel de profundidad de 0-5 cm, se alcanzó (para cada grupo), el máximo valor en aluminio en suelos de distintas cargas de animales y en el nivel de 15-20 cm, se registró el menor valor (Figura 19).

Figura 19

Aluminio en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

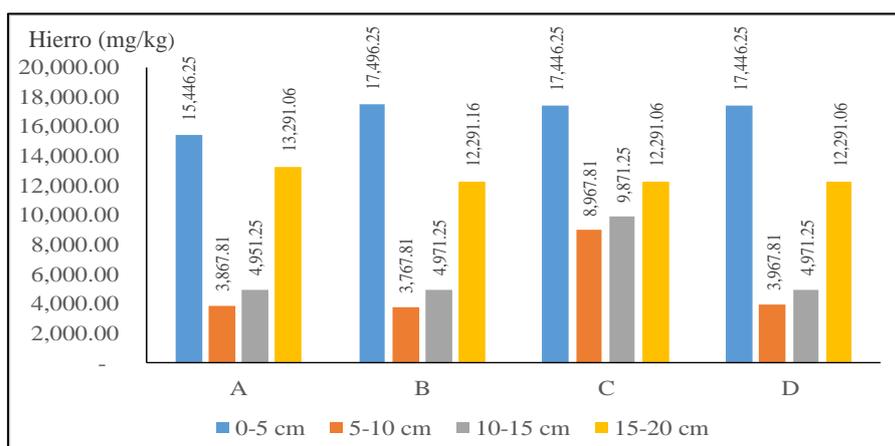


Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5) y muestra la cantidad de Aluminio en suelo de distintas cargas de animales, medida en miligramos por kilo (mg/kg).

En los niveles de hierro no se presentaron diferencias significativas para distintos niveles de carga animal ($F= 0,206$, $p>0,05$), registrándose el valor más bajo en el Grupo A con 9 389,09 mg/kg y el más alto en el Grupo D con 12 144,09 mg/kg así, en cada grupo, este indicador no se ubicó en el intervalo recomendado de 5 a 10 mg/kg (Tabla 18). Luego, se evidenció que en el nivel de profundidad de 0-5 cm, se alcanzó (para cada grupo), el máximo valor en hierro en suelos de distintas cargas de animales, y en el nivel de 15-20 cm, se registró el menor valor (Figura 20).

Figura 20

Hierro en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

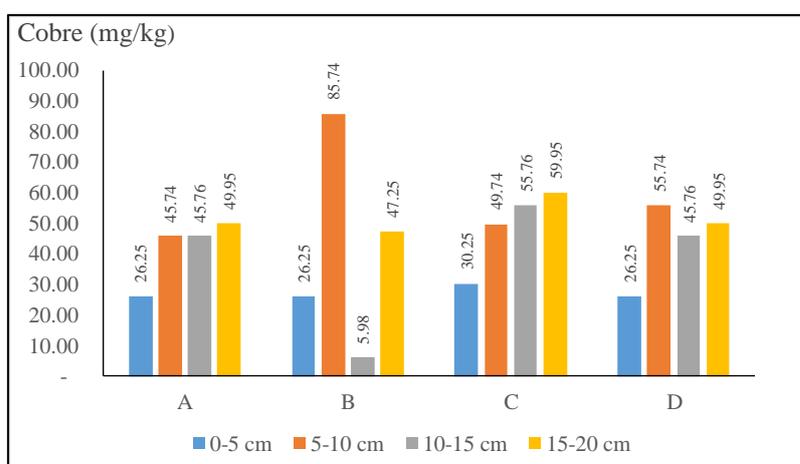


Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5) y muestra la cantidad de Hierro en suelo de distintas cargas de animales, medida en miligramos por kilo (mg/kg).

En los niveles de cobre no se presentaron diferencias significativas para distintos niveles de carga animal ($F= 0,119$, $p>0,05$), registrándose el valor más bajo en el Grupo B con 41,31 mg/kg y el más alto en el Grupo C con 48,93 mg/kg así, en cada grupo, este indicador no se ubicó en el intervalo recomendado de 1 a 2 mg/kg (Tabla 18). Se evidenció también que, generalmente, en el nivel de profundidad de 0-5 cm, se alcanzó (para cada grupo), el valor más bajo de cobre en suelos de distintas cargas de animales (Figura 21).

Figura 21

Cobre en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad

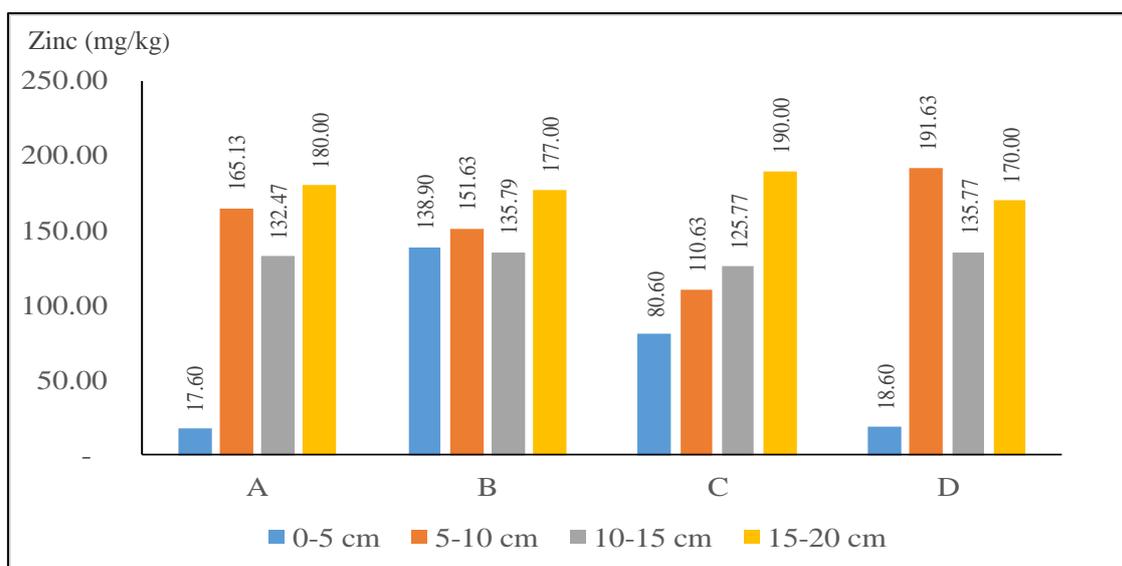


Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5) y muestra la cantidad de cobre en suelo de distintas cargas de animales, medida en miligramos por kilo (mg/kg).

En el caso del zinc, no se presentaron diferencias significativas en los niveles de cobre para distintos niveles de carga animal ($F= 0,176, p>0,05$), registrándose el valor más bajo en el Grupo A con 123,80 mg/kg y el más alto en el Grupo B con 150,83 mg/kg así, en cada grupo, este indicador no se ubicó en el intervalo recomendado de 3 a 10 mg/kg (Tabla 18). Por otro lado, generalmente, en el nivel de profundidad de 0-5 cm, se alcanzó (para cada grupo), el valor más bajo de zinc en suelos de distintas cargas de animales (Figura 22).

Figura 22

Zinc en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo Américo Abad



Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5). Muestra la cantidad de Zinc en suelo de distintas cargas de animales, medida en miligramos por kilo (mg/kg).

En cuanto a las propiedades biológicas del suelo, se aprecia en la Tabla 19 que no se presentaron diferencias significativas en la fijación de nitrógeno para distintos niveles de carga animal tampoco ($F= 0,270, p>0,05$), registrándose el valor más bajo en el Grupo B con 11 525 mg/kg y el más alto en el Grupo D con 14 550 mg/kg así, en cada grupo, este indicador no se ubicó en el intervalo recomendado de 100 a 150 mg/kg.

Tabla 19

Propiedades biológicas en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo
Américo Abad

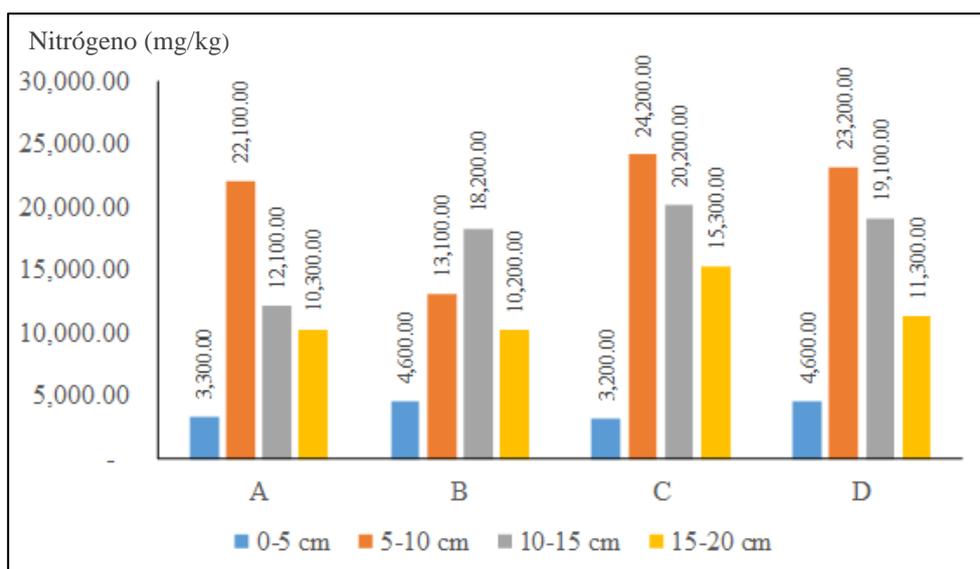
Propiedades biológicas	Límites	Grupo				ANOVA	
		A	B	C	D	F	sig.
Fijación de nitrógeno (mg/kg)	100-150	11 950	11 525	15 725	14 550	0,270	0,846

Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5). Esta prueba permitió realizar las comparaciones estadísticas de la fijación de nitrógeno ante distintas cargas de animales.

Adicionalmente, el nivel de nitrógeno más bajo se alcanzó en el nivel de profundidad de 0-5 cm para cada grupo (Figura 23).

Figura 23

Fijación de nitrógeno en suelos de distintas cargas de animales bovinos en el establo
Américo Abad



Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5). Muestra la cantidad de nitrógeno que se fija en suelo a distintas cargas de animales, medida en miligramos por kilo (mg/kg).

3.4. Nivel de correlación existente entre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos con distintas cargas de animales

En la Tabla 20, se presentan las correlaciones entre las propiedades físicas evaluadas en el estudio. Así, solo encontró un correlación significativa e indirecta entre la densidad aparente y la porosidad ($\rho = -0,843, p < 0,05$).

Tabla 20

Correlación existente entre las propiedades físicas de los suelos con distintas cargas de animales

Matriz de correlación	1	2	3	4	5	6	7	8
Resistencia (MPa)								
Arena (%)	-0,144							
Arcilla (%)	-0,370	-0,109						
Limo (%)	-0,093	-0,078	0,043					
Densidad aparente (mg/m ³)	-0,430	-0,037	0,219	0,396				
Densidad real (mg/m ³)	-0,260	0,039	-0,067	-0,044	0,211			
Porosidad (%)	0,336	-0,025	-0,370	-0,401	-	0,267		
Temperatura (°F)	-0,482	0,449	-0,074	0,092	0,343	-0,088	-0,315	

Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5).

(*) Significancia al 5%

1= resistencia, 2= arena, 3= arcilla, 4= limo, 5= densidad aparente, 6= densidad real, 7= porosidad y 8= temperatura

En la Tabla 21, se presentan las correlaciones entre las propiedades físicas con el resto de las propiedades (químicas y biológicas) evaluadas en el estudio. De esta manera, se obtuvieron correlaciones significativas y directas ($p < 0,05$) entre temperatura y pH ($\rho = 0,597$), conductividad eléctrica y concentración de arena ($\rho = 0,662$), temperatura y materia orgánica ($\rho = 0,523$), concentración de potasio y de arena ($\rho = 0,587$), concentración de magnesio y de limo ($\rho = 0,520$), concentración de aluminio y de arcilla ($\rho = 0,649$), y concentración de hierro y arcilla ($\rho = 0,642$). Por otro lado, se determinó una relación significativa e inversa entre concentración de nitrógeno y de arcilla ($\rho = 0,511$).

Tabla 21

Correlación existente entre las propiedades físicas con las propiedades químicas y biológicas de los suelos con distintas cargas de animales

Matriz de correlación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Resistencia (MPa)	-0,384	-0,296	-0,081	-0,197	0,103	-0,246	0,007	-0,126	-0,194	0,065	0,022	0,128	-0,085
Arena (%)	0,380	0,280	0,662*	0,431	0,392	0,587*	0,005	0,062	-0,326	-0,258	0,299	0,179	0,511*
Arcilla (%)	-0,235	-0,292	-0,140	-0,359	-0,439	-0,398	-0,260	-0,026	0,649*	0,642*	-0,143	-0,338	-0,533*
Limo (%)	0,293	0,272	-0,481	0,086	0,134	-0,214	0,364	0,520*	0,139	0,164	0,272	0,050	0,148
Densidad aparente (mg/m ³)	0,312	0,190	-0,266	0,325	0,074	-0,193	0,145	0,230	0,197	0,040	0,073	0,110	0,105
Densidad real (mg/m ³)	0,244	0,415	-0,073	0,297	0,173	0,236	0,106	-0,047	-0,214	-0,301	-0,001	0,287	0,362
Porosidad (%)	-0,103	0,046	0,176	0,053	0,109	0,358	0,094	-0,136	-0,407	-0,296	-0,040	0,160	0,144
Temperatura (°F)	0,597*	0,422	0,352	0,523*	0,356	0,475	0,310	0,302	-0,167	-0,240	0,198	0,235	0,482

Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5).

(*) Significancia al 5%

1= pH, 2= capacidad de intercambio catiónico, 3= conductividad eléctrica, 4= materia orgánica, 5= fósforo, 6= potasio, 7= calcio, 8= magnesio, 9= aluminio, 10= hierro, 11= cobre, 12= zinc, 13= nitrógeno.

En la Tabla 22, se presentan las correlaciones entre las propiedades químicas y biológicas evaluadas en el estudio. De esta manera, se observó lo siguiente:

- Se obtuvieron correlaciones significativas y directas ($p < 0,05$) entre pH con la capacidad de intercambio catiónico ($\rho = 0,848$); con la materia orgánica ($\rho = 0,643$) y con las concentraciones de fósforo ($\rho = 0,523$), de potasio ($\rho = 0,575$), de calcio ($\rho = 0,669$), de magnesio ($\rho = 0,727$), de cobre ($\rho = 0,654$) y de nitrógeno ($\rho = 0,619$).
- Se encontró una relación significativa y directa ($p < 0,05$) entre la capacidad de intercambio catiónico y la materia orgánica ($\rho = 0,563$) y con las concentraciones de fósforo ($\rho = 0,547$), de potasio ($\rho = 0,562$), de calcio ($\rho = 0,590$), de magnesio ($\rho = 0,600$), de cobre ($\rho = 0,668$) y de nitrógeno ($\rho = 0,568$). Además, se determinó que la materia orgánica se relacionó directamente con las concentraciones de fósforo ($\rho = 0,780$), de potasio ($\rho = 0,678$), de calcio ($\rho = 0,530$), de cobre ($\rho = 0,606$) y de nitrógeno ($\rho = 0,877$), pero indirectamente con las concentraciones de aluminio ($\rho = -0,755$) y de hierro ($\rho = -0,796$).
- La concentración de fósforo se relacionó de manera directa con la de potasio ($\rho = 0,636$), de cobre ($\rho = 0,606$) y de nitrógeno ($\rho = 0,830$), pero indirectamente con las concentraciones de aluminio ($\rho = -0,851$) y de hierro ($\rho = -0,750$). En cambio, la concentración de potasio se relacionó directamente con la de nitrógeno ($\rho = 0,724$) y de manera indirecta con las concentraciones de aluminio ($\rho = -0,715$) y de hierro ($\rho = -0,740$).
- La concentración de calcio se relacionó directamente con la de magnesio ($\rho = 0,692$), de cobre ($\rho = 0,738$) y de zinc ($\rho = 0,781$), mientras que la de magnesio con la de cobre ($\rho = 0,568$). Además, las concentraciones de aluminio y cobre se relacionaron directamente ($\rho = 0,568$), también las de aluminio y de hierro ($\rho = 0,933$) y las de cobre y de zinc ($\rho = 0,548$). En cambio, la concentración de nitrógeno se relacionó de manera indirecta con las de aluminio ($\rho = -0,818$) y de hierro ($\rho = -0,778$).

Tabla 22*Correlación existente entre las propiedades químicas y biológicas de los suelos con distintas cargas*

Matriz de correlación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
pH													
Capacidad de intercambio catiónico (cmol/kg)	0,848*												
Conductividad eléctrica (dS/m a 25 °C)	-0,020	-0,068											
Materia orgánica (%)	0,643*	0,563*	-										
Fósforo (mg/kg)	0,523*	0,547*	0,028	0,780*									
Potasio (mg/kg)	0,575*	0,562*	0,309	0,678*	0,636*								
Calcio (mg/kg)	0,669*	0,590*	0,171	0,530*	0,517*	0,249							
Magnesio (mg/kg)	0,727*	0,600*	0,215	0,237	0,180	0,221	0,692*						
Aluminio (mg/kg)	-0,301	-0,379	0,029	0,755*	0,851*	0,715*	-0,349	0,071					
Hierro (mg/kg)	-0,375	-0,455	0,046	0,796*	0,750*	0,740*	-0,368	0,053	0,933*				
Cobre (mg/kg)	0,654*	0,668*	0,134	0,524*	0,606*	0,378	0,738*	0,568*	-0,399	-0,410			
Zinc (mg/kg)	0,465	0,524*	0,197	0,407	0,398	0,139	0,781*	0,393	0,314	-0,308	0,548*		
Nitrógeno (mg/kg)	0,619*	0,568*	0,017	0,877*	0,830*	0,724*	0,401	0,128	0,818*	0,778*	0,433	0,305	

Nota. Elaboración propia, basado en el Informe de ensayo de laboratorio (ver Apéndice 5).

(*) Significancia al 5 %

1= pH, 2= capacidad de intercambio catiónico, 3= conductividad eléctrica, 4= materia orgánica, 5= fósforo, 6= potasio, 7= calcio, 8= magnesio, 9= aluminio, 10= hierro, 11= cobre, 12= zinc, 13= nitrógeno.

3.5. Estrategias que contribuyen a un mejor uso de los suelos en Matucana, para favorecer el desarrollo sostenible de la actividad ganadera

Para mejorar el uso de los suelos en el establo Américo Abad en Matucana se recomendó:

- Empleo del pastoreo rotacional en varias parcelas. Al respecto, se debe delimitar el establo, en al menos cuatro parcelas (en la actualidad solo existen dos), que permitan mejorar la gestión del pasto, lo cual requiere de una inversión importante para la instalación de las vallas. De esta manera, se incrementaría la densidad de la población y el efecto sobre el suelo será menor, porque la carga animal por hectárea será más bajas, llegando a reducirla a la mitad (de 25 a 30). Además, se debe aumentar el ciclo de pastoreo a dos días (en la actualidad, es de uno), garantizando que cada potrero tenga un descanso de 28 días, con lo cual las plantas mejorarán su rendimiento y calidad.
- Aplicar prácticas de pasto sostenible. En este caso, se recomienda elaborar una hoja de planificación del pastoreo, con lo cual se pueda monitorear los patrones de lluvia con el crecimiento del pasto, para fijar los ciclos en cada temporada (lluvias y períodos secos). Por otra parte, se sugiere la siembra de pastos más productivos, realizando para ello el análisis de las condiciones de clima y disponibilidad de agua, con base al estudio del suelo que se presentó en el estudio, por lo que se requiere reducir los niveles de metales pesados en el suelo.
- Además, en aras de mejorar la gestión y utilización de los residuos de pastos en el área de pastoreo, se propone un control de la capa de residuos vegetales en el suelo, el cual genera un ambiente favorable para la presencia de plagas y enfermedades, limitando el crecimiento de las raíces del pasto sembrado. Visto así, se propone una aireación del suelo de manera continua y aplicación de un abonado superficial, que consiste en emplear una capa fina de abono de buena calidad, que no exceda los 1/8 a 1/4 de pulgada, incorporando la cantidad precisa de microorganismos que contribuyan a la descomposición de los residuos de pastos.

- Se sugiere aplicar procedimientos de regulación hídrica, con la intención de retener las cantidades excesivas de agua en el suelo o liberarlas en los momentos de sequía, aprovechando las inclinaciones del terreno, podría garantizarse la cantidad de carbono orgánico fundamental para el suelo y la vegetación. Esto amerita determinar el coeficiente de regulación hídrica y el índice de retención y regulación hídrica para determinar la proporción de las precipitaciones que son infiltradas en los suelos. De acuerdo a esto, se deben diseñar canales superficiales que permitan el flujo constante del agua, evitando su concentración en determinadas zonas.
- Incluir la suplencia energética en los animales a través de suplementos que contribuyan en su crecimiento con un menor consumo de pasto, lo cual permitirá disminuir el tiempo de pastoreo sin afectar la cantidad total de materia seca consumida, esto ayudará a disminuir la frecuencia de rotación previniendo situaciones de sobrepastoreo.

CAPÍTULO IV. DISCUSIONES

Los resultados del presente trabajo de investigación demostraron, en primer lugar, una afectación de la composición de arena, porosidad y temperatura del suelo del establo América en Matucana, observándose diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las zonas que son sometidas a diferentes cargas de animales, con lo que se pudo demostrar que el contenido de arena del suelo se eleva a medida que aumenta la carga animal a la que está sometido. En relación a esto, se encontró que, la capacidad de intercambio catiónico se ve disminuida a medida que se incrementa el contenido de arena, obteniendo valores inferiores al rango de 15-25 cmol/kg. Por otra parte, los suelos analizados presentaron niveles de pH que exceden los valores recomendados para suelos destinados a la producción agrícola, los cuales se incrementan a medida que aumenta la carga de animales. Asimismo, los valores de pH se ven influenciados por el hidrogeno liberado por las altas concentraciones de calcio, magnesio y potasio presentes en los suelos estudiados.

4.1.La alta composición de arena en el suelo, observada en los suelos con mayores cargas, ocasiona una baja capacidad de retención hídrica en el mismo, lo cual como destacan López y Estrada (2015) reduce la circulación de nutrientes, aire y gases, denotándose una baja porosidad y niveles de densidad por debajo a lo recomendado de $2,65 \text{ mg/m}^3$. Al respecto, la reducción de la densidad real observada a mayores niveles de carga animal, también fue reportada por Medina (2016) y Abad (2022), explicándose que el pastoreo de los animales genera una compactación del suelo en los niveles de profundidad más bajos (menos de 15 cm); de hecho, en la presente investigación se comprobó que esto ocurre a una profundidad de 0-5cm. Dicha compactación, es lo que ocasiona una importante reducción en el movimiento del agua, afectando la densidad aparente (en este caso aumenta de 1,20 a $1,53 \text{ mg/m}^3$, como resultado del pastoreo) y, por ende, los efectos desfavorables en la porosidad.

Esta relación inversa entre porosidad y densidad aparente, también fue constatada en el presente estudio ($\rho = -0,843$, $p < 0,05$). De igual modo, Noguera y Vélez (2011) también comprobaron que los sistemas de producción ganadero inciden sobre la porosidad y la densidad aparente, lo que López y Tonguino (2015) consideran que son la causa importante de una baja calidad de los suelos. Esto, en términos de lo señalado por Cubas y Olivos (2019), pone en riesgo el hábitat de la fauna y flora del sector, requiriéndose incentivar iniciativas de sistemas de producción que cumplan con la legislación de protección de la biodiversidad, el mantenimiento de los paisajes singulares y la conservación de especies en peligro.

En cuanto a la textura, se aprecia que en el Grupo A (con 0 carga animal), el suelo es franco arenoso, mientras que para el resto es arena franca, evidenciando que en la cantidad de arena aumenta conforme se incrementa la carga animal, generando una textura más gruesa, lo que para López y Estrada (2015), evidencia el impacto del pastoreo animal. Además, se aprecia que la temperatura del suelo aumenta conforme se incrementa la cantidad de animales, esto es el resultado de que la carga animal ocasiona una pérdida de la cobertura vegetal que expone la capa del suelo a mayor radiación solar, dado que el suelo desnudo se calienta más rápido.

4.2. Con relación a las propiedades químicas del suelo del establo Américo Abad, no se apreciaron diferencias significativas en las mismas ante diferentes cargas de animales bovinos ($p > 0,05$); lo que coincide, parcialmente, con los resultados obtenidos por Chaverra (2017), quien tampoco observó diferencias significativas en el pH y la conductividad eléctrica en el suelo estudiado, pero sí determinó discrepancias en los contenidos de carbono y de nitrógeno. Por su parte, estudios como los de Rivero *et al.* (2013) demostraron que la actividad ganadera afecta significativamente la cantidad de carbono orgánico total oxidable y de carbono extraíble total, visto que luego de que los animales se alimentan del pasto, entonces las raíces y plantas mueren ya que son descompuestas por los microorganismos, quedando estos tejidos ricos en carbono en el suelo, formándose una materia orgánica que añade carbono orgánico al suelo.

Al detallar el análisis, se aprecia que los niveles de pH, para cada grupo no se ubica en el rango de 6 a 7 recomendado para suelos destinados a la producción agrícola y que dicho valor se incrementa conforme es mayor la cantidad de animales, denotando, tal como describen López y Estrada (2015) y González (2019) suelos más alcalinos que inhiben el desarrollo de microorganismos y la capacidad de las raíces de las plantas de absorber los nutrientes. Este incremento en el pH, no coincide con lo encontrado por Monteverde *et al.* (2011), cuyo estudio encontró un incremento en dicho parámetro, siendo la principal diferencia que allí la ganadería desarrollada era porcina. En este caso, la ausencia de cambios en el pH obedece a la dieta suministrada al ganado bovino, que consiste mayormente en productos orgánicos.

Estos valores altos en el pH, se asocia en gran medida por el hidrógeno liberado en las altas concentraciones de calcio ($\rho= 0,669$, $p<0,05$), magnesio ($\rho= 0,727$, $p<0,05$) y potasio ($\rho= 0,575$, $p<0,05$) observada en los suelos del establo Américo de Matucana; tal como indican Monteverde *et al.* (2011), de hecho, se observaron correlaciones positivas entre el pH y estos nutrientes. Otro factor que se relaciona con el nivel de alcalinidad en estos suelos es la alta presencia de nitrógeno ($\rho= 0,619$, $p<0,05$) y cobre ($\rho= 0,654$, $p<0,05$).

En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico, se encontró que, en cada zona, los valores estaban por debajo del rango de 15-25 cmol/kg, lo cual obedece a la alta concentración de arena del suelo que, según López y Estrada (2015), es fundamental para que el suelo contenga la cantidad de nutrientes para el crecimiento adecuado de las plantas. Por otra parte, los valores de la conductividad eléctrica reflejan que los suelos del establo son no salinos, ya que en todos los casos son inferiores a 0,98, siendo una de las características favorables para la vegetación.

En relación a la materia orgánica presente en el suelo, se observa que la misma excede la cantidad de 2 % recomendable para el desarrollo de la agricultura, siendo un valor que es mayor para las zonas con mayor carga animal. Esto demuestra, según indica López y Estrada (2015), una alta presencia de residuos provenientes de los productos

excretados por los animales en potreros. Cabe destacar, que la mayor parte de los nutrientes consumidos por el ganado retorna al pastizal en forma de heces y orina, lo cual como se ha observado es bastante alto.

Lo anterior explica también los altos contenidos de fósforo, potasio, calcio y magnesio presentes en los suelos del establo, incluso en el Grupo A, donde no hay carga animal en la actualidad, pero que ha sido utilizado para la actividad ganadera con anterioridad, lo cual explica los valores. Por otro lado, también se observó una relación directa entre la materia orgánica presente en el suelo y su temperatura ($\rho = 0,523$, $p < 0,05$), lo cual denota que debido al proceso de descomposición de dicha materia requiere de modificaciones térmicas, necesarias en el proceso de mineralización.

Otro resultado del estudio es que se observaron altas concentraciones de metales pesados (aluminio, hierro, cobre y zinc), lo cual no coincide con los resultados determinados por Monteverde *et al.* (2011), identificándose en ese caso que no hubo hallazgos o problemas de concentración de metales pesado. Estas altas concentraciones de minerales, en particular la del cobre se relaciona directamente con los niveles de pH ($\rho = 0,654$, $p < 0,05$), de capacidad de intercambio catiónico ($\rho = 0,668$, $p < 0,05$) y materia orgánica ($\rho = 0,524$, $p < 0,05$), esto explica porque no crecen otras plantas en la zona, visto los niveles de toxicidad en el suelo.

En cuanto a las propiedades biológicas evaluadas en el presente estudio, solo se consideró la fijación de nitrógeno en el suelo, encontrándose niveles muy altos de dicho nutriente para todos los grupos evaluados, independientemente de la carga animal, lo que se origina por la cantidad de excretas de animales que reciben constantemente. Es importante, indicar, que no se aprecian diferencias significativas en este parámetro según tipo de carga animal ($p < 0,05$), lo cual no coincide con los resultados de Chaverra (2017) y Monteverde *et al.* (2011). De igual modo, se comprobó que la alta presencia de nitrógeno se asocia con la textura del suelo, directamente con la concentración de arena ($\rho = 0,511$, $p < 0,05$) e indirectamente con la de arcilla ($\rho = -0,533$, $p < 0,05$). Además, es el elemento que se relaciona con la

mayor cantidad de propiedades químicas; directamente con el pH ($\rho = 0,619$, $p < 0,05$), capacidad de intercambio catiónico ($\rho = 0,568$, $p < 0,05$), materia orgánica ($\rho = 0,877$, $p < 0,05$), fósforo ($\rho = 0,830$, $p < 0,05$) y potasio ($\rho = 0,724$, $p < 0,05$) e indirectamente con las concentraciones de aluminio ($\rho = -0,818$, $p < 0,05$) y de hierro ($\rho = -0,778$, $p < 0,05$).

4.3. En función de estos resultados, se propusieron estrategias basadas en el pastoreo racional, el empleo de prácticas de pasto sostenible, la regulación hídrica y la suplencia energética de los animales, las cuales, como señala Alva (2018), contribuye en la restauración ecológica, coadyuvando a la formación de la cobertura vegetal del área, mejorando así las condiciones bióticas (composición de la flora y fauna) y abióticas (protección del suelo y agua).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

1. Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo presentaron diferencias significativas respecto a las distintas cargas de animales, evidenciando que, al incrementarse la cantidad de animales de pastoreo se genera un aumento en el contenido de arena del suelo, además de una mayor compactación. Esto repercute de forma negativa en la circulación del agua y nutrientes, afectando la cobertura vegetal y exponiendo la superficie del suelo.
2. El nivel de correlación significativa entre la porosidad y la densidad aparente resulta del grado de compactación del suelo, lo que limita el movimiento del agua. De igual manera, la correlación significativa entre la materia orgánica y la temperatura viene dada por el aumento de la temperatura a medida que se incrementa el tiempo de descomposición de la materia orgánica. Además, esto se encuentra relacionado con las concentraciones de potasio, fósforo y nitrógeno, producto del alto porcentaje de fertilizantes utilizados y de la cantidad de excreta que deposita el ganado bovino en la tierra.
3. Se puede hacer un mejor uso del suelo del establo Américo Abad en Matucana a través de la implementación de las estrategias propuestas, entre las que se destacan: el pastoreo racional, con lo cual se debe invertir en vallas que permitan distribuir equitativamente el ganado y ampliar los ciclos de pastoreo; el empleo de prácticas de pasto sostenible, la regulación hídrica con el apoyo de canales superficiales que permitan el flujo del agua en el suelo y la suplencia energética de los animales que reduzcan el consumo de pasto.

CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES

1. Indagar sobre el impacto de las propiedades físicas de los suelos del establo Américo Abad en Matucana sobre el desarrollo de distintas especies de plantas.
2. Desarrollar estudios que permitan hacer uso de compuestos naturales para reducir los niveles de concentraciones de potasio, fósforo y nitrógeno en suelos destinados a la actividad ganadera.
3. Investigar sobre el efecto conjunto de las estrategias de mitigación propuestas sobre las propiedades de los suelos del Establo Américo Abad, a través de un estudio experimental, de tipo longitudinal, en donde se evalúen constantemente las mejoras en la calidad del suelo.
4. Estudiar la composición florística en términos de la compactación de los suelos.

REFERENCIAS

- Abad, R. (2022). *Propiedades físicoquímicas 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]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2171>
- Alva, E. (2018). *Restauración ecológica inicial de áreas degradadas de la Comunidad Nativa Tayuntsa Distrito de Nieva – Amazonas con especies nativas "Tornillo" (Cedrelinga catenaeformis) y "Moena" (Aniba amazónica)* [Trabajo de grado, Universidad de Lambayeque]. Repositorio Institucional de la Universidad de Lambayeque. <http://repositorio.udl.edu.pe/handle/UDL/129>
- Álvarez, G., Ibáñez, A., Orozco, M., y García, B. (2020). Regionalización de indicadores de calidad para suelos degradados por actividades agrícolas y pecuarias en el altiplano central de México. *Revista de Estudios Territoriales*, 22(2). <https://www.redalyc.org/journal/401/40165706001/40165706001.pdf>
- Batallas, C. (2019). El sistema de pastoreo intensivo en la alimentación de vacas lecheras. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*, 3(3), 1–20. <http://www.revistaecuadorianadecienciaanimal.com/index.php/RECA/article/view/174>
- Beltrán, M., Álvarez, G., Pinos, M., García, J., y Castro, R. (2017). Abonos obtenidos del compostado de heces de ganado bovino de leche vs. fertilizante en la producción de triticale (X *Triticum secale* Wittmack). *Rev. Fac. Cienc. Agrar.*, 49(1), 95–104. <http://www.scielo.org.ar/pdf/refca/v49n1/v49n1a08.pdf>
- Blanco-Penedo, I., Xercavins, A. y Roca-Fernández, A. (2017). Pastoreo y bienestar animal, dos piezas clave para la sostenibilidad de la producción de leche. *Revista AFRIGA*, 23 (127), 90-100. doi.10.13140/RG.2.2.13074.66243
- Bonetti, J., Paulino, H., Souza, E., Carneiro, M. y Caetano, J. (2018). Soil physical and biological properties in an integrated crop-livestock system in the Brazilian Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53(11), 1239–1247. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018001100006>
- Bonfante, A., Terribile, F., y Bouma, J. (2019). Refining physical aspects of soil quality and soil health when exploring the effects of soil degradation and climate change on biomass production: an Italian case study. *Soil*, 5(1), 1–14. <https://doi.org/doi.org/10.5194/soil-5-1-2019>

- Carrasco, S. (2017). *Metodología de la investigación*. Lima, Perú: San Marcos.
- Carrera, R., Fierro, J., y Ordoñez, N. (2015). *Manual de pastoreo*. Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja. doi.10.13140/RG.2.1.2938.0087
- Chaverra, A. (2017). *Evaluación del uso del Sistema de producción ganadero intensivo limpio con Pastoreo Racional Voisin (PRV) en zona de ladera, sobre las características químicas y biológicas del suelo. Estudio de caso: finca Bendavales – Municipio de Versalles- Valle del Cauca* [Tesis de maestría, Universidad de Manizales]. Repositorio Institucional Universidad de Manizales. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/3284>
- Conti, M. (2007). *Principios de Edafología*. Argentina: Editorial Facultad de Agronomía.
- Costa, L., y Drescher, M. (2018). Implications of agricultural management on the epigeic fauna and soil physical properties of a clayey Oxisol. *Revista Ceres*, 65(5), 443–449. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201865050009>
- Cubas, G. y Olivos, F. (2019). *Propuesta de creación del área de conservación privada El Edén en el centro poblado la Otra Banda - distrito de Zaña - Chiclayo - Lambayeque – 2018* [Trabajo de grado, Universidad de Lambayeque]. Repositorio Institucional de la Universidad de Lambayeque. <http://repositorio.udl.edu.pe/handle/UDL/198>
- Escribano, A., Gaspar, P., Mesias, F., y Escribano, M. (2015). The contribution of organic livestock to sustainable rural development in sensitive areas. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences (IJRSAS)*, 1(1), 21–34. <https://orgprints.org/id/eprint/29518/>
- European Forum on Nature Conservation and Pastoralism EFNCP. (2015). *Europe's wood pastures: condemned to a slow death by the CAP?* <https://www.efncp.org/download/brussels2011b/Wood-pastures-EPbooklet.pdf>
- García, H., Sequeira, J., y Álvarez, C. (2020). Manejo y características de los suelos agrícolas de colonia Providencia, Nueva Guinea, 2017. *Revista Universitaria Del Caribe*, 24(01), 78–97. <https://doi.org/10.5377/ruc.v24i01.9913>
- Gelybó, G., Tóth, E., Farkas, C., Horel, Á., Kása, I., y Bakacsi, Z. (2018). Potential impacts of climate change on soil properties. *Agrokémia És Talajtan*, 67(1), 121–141. <https://doi.org/10.1556/0088.2018.67.1.9>

- Gómez, J., Cobos, F., y Hasang, E. (2019). Sostenibilidad de los sistemas de producción de ganadería extensiva. *Journal of Science and Research*, 4(CIES2019), 180–195. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/798>
- González, E. (2019). *Propiedades físicas y químicas del suelo bajo diferentes sistemas de pastoreo rotativo del ganado bovino en el Chaco Central* [Tesis presentada como requisito para la obtención del título de Magister Scientiae en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial]. Universidad Nacional de Asunción. <https://repositorio.conacyt.gov.py/handle/20.500.14066/3550>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Hubbard, R., Strickland, T., y Phatak, S. (2013). Effects of cover crop systems on soil physical properties and carbon/nitrogen relationships in the coastal plain of southeastern USA. *Soil and Tillage Research*, 126, 276–283. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.07.009>
- Ibarra, F., Martín, F., Martín, M., Moreno, S., y Retes, R. (2018). Cambios de vegetación y costos asociados con el continuo sobrepastoreo del ganado en el pastizal mediano abierto de Cananea, Sonora, México. *I Congreso Iberoamericano y XXXI Internacional En Administración de Empresas Agropecuarias – 2018*. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/6314>
- Koch, A., McBratney, A., Adams, M., Field, D., Hill, R., Crawford, J., y Zimmermann, M. (2013). Soil Security: Solving the Global Soil Crisis. *Global Policy*, 4(4), 434–441. <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12096/full>
- Kopittke, P., Menzies, N., Wang, P., McKenna, B., y Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- Kranz, C., McLaughlin, R., Johnson, A., Miller, G., y Heitman, J. (2020). The effects of compost incorporation on soil physical properties in urban soils – A concise review. *Journal of Environmental Management*, 261, 110209. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110209>
- Krätli, S., Kaufmann, B., Roba, H., Hiernaux, P., Li, W., Easdale, M., y Hülsebusch, C. (2015). *A House Full of Trap Doors: Identifying barriers to resilient drylands in the toolbox of pastoral development*. IIED Discussion Paper, IIED, London and Edinburgh. <https://pubs.iied.org/10112iied>

- Leyva, S., Baldoquín, A., y Reyes, M. (2018). Propiedades de los suelos en diferentes usos agropecuarios, Las Tunas, Cuba. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 36. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.81>
- López, A. y Tonguino, E. (2015). *Evaluación del efecto del pastoreo de la ganadería bovina en las propiedades físicas de los suelos del municipio San Francisco en el departamento del Putumayo en Colombia*. Instituto Tecnológico de Putumayo.
- López, M. y Estrada, H. (2015). Propiedades del suelo. *Bioagrobiencias*, 8(1), 3-11. <https://xdoc.mx/preview/ropiedades-fisicas-quimicas-y-biologicas-5e77ca8cb1966>
- Luzio, W. (2010). *Suelos de Chile*. Chile: Impreso MAVAL.
- Manzano, P. y Salguero, C. (2018). *Pastoreo Móvil en el Mediterráneo: Argumentos y evidencias para una reforma política y para combatir el cambio climático*. España: Mediterranean Consortium for Nature & Culture. https://trashumanciaynaturaleza.org/wp-content/uploads/2021/05/MediterraneanConsortiumForNatureAndCulture_MobilePastoralismMotherDocument_Spanish_13Feb2018_ForWeb-1.pdf
- Medina, C. (2016). Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. Remediaciones. *Revista Colombiana de Ciencias Administrativas*, 8(1), 88-93. <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/download/229/270>
- Mei, N., Yang, B., Tian, P., Jiang, Y., Sui, P., Sun, D., Zhang, Z., y Qi, H. (2019). Using a modified quality index to evaluate densely tilled soils with different yields in Northeast China. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 13867–13877. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3946-2>
- Mendoza, L., Vera, V., Giler, J., y Simbaña, K. (2022). Características fisicoquímicas de suelos de uso agrícola y forestal. Caso: San Pablo de Tarugo, Chone – Ecuador. *Rev. Cient. Cien. Nat. Ambien*, 15(2), 334–341. <https://revistas.ug.edu.ec/index.php/cna/article/view/1599>
- Milera-Rodríguez, M., Machado-Martínez, R., Amaro, O., Hernández-Chávez, M., y Sánchez-Cárdenas, S. (2019). Pastoreo racional intensivo como alternativa para una ganadería baja en emisiones. *Pastos y Forrajes*, 42(1), 3–12. <https://www.redalyc.org/journal/2691/269159592001/html/>

- Ministerio del Ambiente MINAM (2012). *Glosario de términos*. Perú: Ministerio del Ambiente
- Ministerio del Ambiente MINAM (2017). Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.
- Ministerio de Agricultura y Riego MIDAGRI (2017). *Plan Nacional de Desarrollo Ganadero 2017-2027*. Perú: Ministerio de Agricultura y Riego
- Ministerio de Agricultura y Riego MIDAGRI. (2020). Panorama y perspectivas de la producción de carne de cerdo en el Perú. Perú: Ministerio de Agricultura y Riego
- Minervini, M., Morrás, H., y Taboada, M. (2018). Efectos del fuego en la matriz del suelo. Consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas. *Ecología Austral*, 28(1), 12–27. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/2541>
- Monteverde, S., Del Pino, A. y Lladó, B. (2011). *Cerdos a campo e impactos sobre el suelo*. En N. Barlocco y A. Vadell. (Ed.). Producción de Cerdos a Campo. Aportes para el desarrollo de tecnologías apropiadas para la producción familiar (56-60). Montevideo, Uruguay:PimesolS.A. <https://www.upc.edu.uy/images/documents/extension/Publicacion%2015%20anos%20UPC.pdf>
- Morocho, M. (2012). *Alternativas de manejo para reducir el impacto contaminante de las excretas bovinas en los establos lecheros* [Tesis previa a la obtención del título de ingeniero zootecnista]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2111>
- Moya, M. (2020). *Recuperación de la calidad del suelo en una pastura degradada mediante sistemas agroforestales en Yurimaguas* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4571>
- Nallar, R., Mollericona, J, y Rolon, W. (2017). *Manual para la gestión de una ganadería sostenible*. USA: Editor: Wildlife Conservation Society.
- Noguera, M. y Veléz, J. (2011). Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo en diferentes usos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28 (1), 40-52. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104116>

- Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., Nabel, V., Albán, K., y Morales, F. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, 23(2), 177–187. https://www.researchgate.net/publication/329046726_Propiedades_fisicas_del_suelo_en_diferentes_sistemas_agricolas_en_la_provincia_de_Los_Rios_Ecuador
- Olivera Viciedo, D., Hernández, A., Rodríguez, M., Lizcano, R., Calero, A., y Peña, K. (2018). Effects of land-use change on Nitisols properties in a tropical climate. *Revista de La Facultad Nacional de Agronomía*, 71(3), 8601–8608. <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/rfnam.v71n3.67786>
- Organización para la Agricultura y la Alimentación FAO (2018). *Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse*. Noticias. <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>
- Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2022). *La agricultura climáticamente inteligente*. <https://www.fao.org/climate-smart-agriculture/overview/es/>
- Paz-Ferreiro, J., y Fu, S. (2016). Biological Indices for Soil Quality Evaluation: Perspectives and Limitations. *Land Degradation & Development*, 27(1), 14–25. <https://doi.org/10.1002/ldr.2262>
- Portillo, S. V. (2021). *Evaluación de amenazas por pastoreo al pastizal del humedal de la Comunidad Campesina Santa Clara de Chuiroc - Reserva Nacional de Junín*, 2018
- Plaster, E. J. (2004). *La ciencia del suelo y su manejo*. Ed. Paraninfo. México
- Quispe, J. (2016). El Bovino criollo del Altiplano Peruano: Origen, producción y perspectivas. *Journal of High Andean Research*, 18(3), 1–15. <https://www.semanticscholar.org/paper/El-Bovino-criollo-del-Altiplano-Peruano%3A-Origen%2C-y-Coaquira/0fe5596b89677f7535689a296b74bae02565efc6>
- Ramos, V. (2011). *Manejo y mejoramiento de pasturas naturales altoandinas*. Bolivia: Fundación Suyana.
- Renté, O., Nápoles, M., Pablos P., y Vargas, B. (2018). Efecto de Canavalia ensiformis (L) en propiedades físicas de un suelo fluvisol diferenciado en Santiago de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 39(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000200008

- Restrepo, D., García, A., y Combatt, E. (2018). Espectroscopia de infrarrojo en el análisis de la capacidad de intercambio catiónico de los suelos – Una revisión. *Journal of Science with Technological Applications*, 5(1), 55–65. https://www.researchgate.net/publication/333970200_Infrared_spectroscopy_in_the_analysis_of_cation_exchange_capacity_of_soils_-_A_review#:~:text=La%20espectroscopia%20de%20infrarrojo%20ha%20sido%20importante%20para,la%20actualidad%20han%20aportado%20informaci%C3%B3n%20relevante%20para%20la
- Rivero, C., Cabrales, E., Santana, G., Rivas, M., Pulido, M., Rey, J. C., y Araque, H. (2013). Efecto del pastoreo de cerdos sobre las fracciones de nitrógeno, carbono y fósforo del suelo. *Temas Agrarios*, 18(1), 23. <https://doi.org/10.21897/rta.v18i1.706>.
- Rodríguez, M., Pulido, M., Rey, J., Lobo, D., Araque, H. y Rivero, C. (2010). Efecto del pisoteo en sistemas de producción de cerdos a campo sobre algunas propiedades del suelo. *Agronomía Tropical*, 60, 119-130. https://www.researchgate.net/publication/262647861_Efecto_del_pisoteo_en_sistemas_de_produccion_de_cerdos_a_campo_sobre_propiedades_del_suelo
- Satélites.pro (2021). *Mapa Satelital de Matucana*. https://satellites.pro/mapa_de_Peru#-11.851407,-76.384174,17
- Shekhovtseva, O., y Maltseva, I. (2015). Physical, chemical, and biological properties of soils in the city of Mariupol, Ukraine. *Eurasian Soil Science Volume*, 48, 1393–1400. <https://doi.org/10.1134/S1064229315120145>
- Soil Survey Staff (2014). *Keys to Soil Taxonomy*. Natural Resources Conservation Service. USA: Department of Agriculture. Twelfth Edition.
- Teferi, E., Bewket, W., y Simane, B. (2016). Effects of land use and land cover on selected soil quality indicators in the headwater area of the Blue Nile basin of Ethiopia. *Environ Monit Asses*, 188(83). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10661-015-5086-1>
- Tellen, V., y Yerima, B. (2018). Effects of land use change on soil physicochemical properties in selected areas in the North West region of Cameroon. *Environmental Systems Research*, 7(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s40068-018-0106-0>

- Vásquez, R. y De León, R. (2016). El pastoreo de los animales en los pastizales de Coahuila. *Bordeando el Monte*, 38, 3-8. https://sma.gob.mx/wp-content/uploads/2021/09/Bordeando_38.pdf
- Wilson, M. (2017). *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina*. Ediciones INTA.
- Xue, Y., Liu, S., Hu, Y., y Yang, J. (2010). Soil quality assessment using weighted fuzzy association rules. *Pedosphere*, 20, 334–341. [https://doi.org/doi:10.1016/S1002-0160\(10\)60022-7](https://doi.org/doi:10.1016/S1002-0160(10)60022-7)
- Yáñez, M., Cantú, I., y González, H. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en las propiedades químicas de un vertisol. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(4), 369. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.349>
- Zanor, G., López, M., Martínez, R., Ramírez, L., Gutiérrez, S., y León, M. (2018). Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de un suelo agrícola mezclado con lombricompostas de dos efluentes de biodigestor. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 19(4), 1–10. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n4.036>

TERMINOLOGÍA

Clima. Consiste en la condición atmosférica de la zona y generalmente se asocia a la temperatura y la precipitación media anual (Luzio, 2010).

Degradación. Se refiere al proceso en el cual se descompone una materia a través de medios físicos, químicos o biológicos (MINAM, 2012).

Degradación de pastura. Evidencia de pérdida de cobertura de pasto, invasión de maleza y aparición de termiteros en los postreros (Nallar *et al.*, 2017).

Ecosistema. Es un sistema bastante complejo y altamente dinámico en donde interactúan distintas comunidades (vegetales, animales y de microorganismos) con su medio no viviente (MINAM, 2012).

Estándar de Calidad Ambiental. Se refiere a aquella medida que indica el grado de elementos o sustancias de un determinado parámetro (físico, químico y biológico) presente en el suelo que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente (MINAM, 2012).

Gestión ambiental. Se refiere al conjunto de actividades enfocadas en el correcto uso y aprovechamiento adecuado de todos los recursos y servicios ambientales en una propiedad (Nallar *et al.*, 2017).

Indicador. Representa el valor de un parámetro que da información de su comportamiento y describe el estado de un fenómeno (Wilson, 2017).

Minerales. Son los sólidos que están formados por elementos inorgánicos que constituyen la corteza terrestre (Conti, 2007).

Parámetro. Se entiende como parámetro a todo elemento o sustancia del suelo que defina su calidad o una propiedad (MINAM, 2012).

Producción animal. Ciencia que aplica conocimientos biológicos, técnicas productivas y sistemas de producción con la finalidad de optimizar la calidad y cantidad de los productos de origen animal (Nallar *et al.*, 2017).

Riesgo. Es la probabilidad de que un contaminante ocasione efectos contraindicados en un ente (MINAM, 2012).

Suelo superficial. Es el límite superior del suelo, con el cual tiene bordeado el aire, las aguas poco profundas, las plantas o materiales vegetales (Soil Survey Staff, 2014).

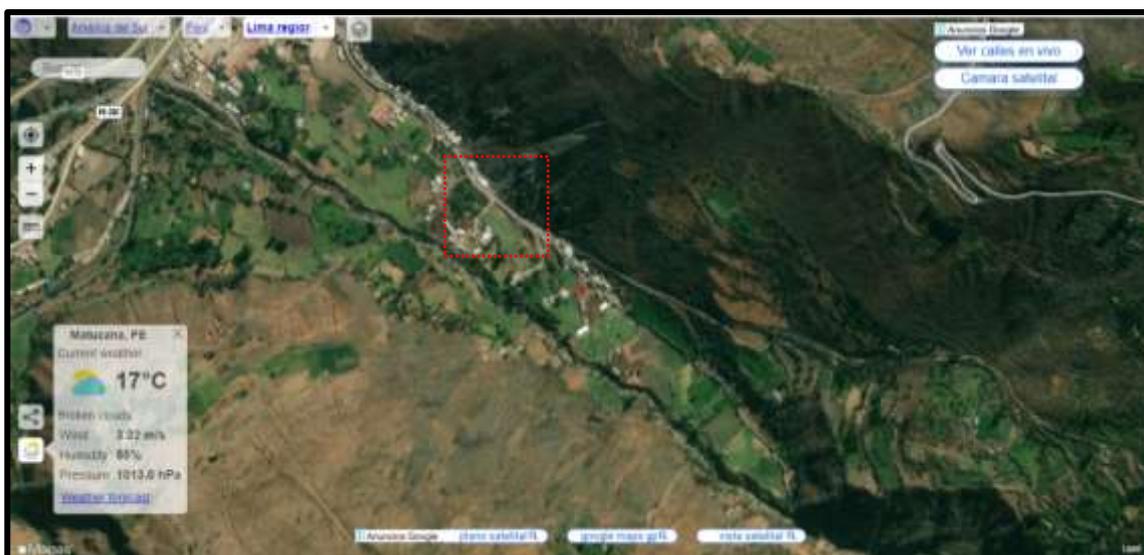
APÉNDICES

Apéndice 1. Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo

Parámetros en mg/kg PS ⁽²⁾	Usos del Suelo ⁽³⁾			Métodos de ensayo ^{(1),(4)}
	Suelo Agrícola ⁽¹⁾	Suelo Residencial/ Parques ⁽⁴⁾	Suelo Comercial ⁽²⁾ / Industrial/ Extractivo ⁽⁴⁾	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 ⁽⁴⁾ EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos ⁽¹⁾⁽⁴⁾	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fración de hidrocarburos F1 ⁽¹⁾⁽⁴⁾ (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fración de hidrocarburos F2 ⁽¹⁾⁽⁴⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fración de hidrocarburos F3 ⁽¹⁾⁽⁴⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB ⁽¹⁾⁽⁴⁾	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloretileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁾⁽⁴⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ⁽¹⁾⁽⁴⁾
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F ó ASTM D7237 y ó ISO 17690:2015

Nota. Tomado de MINAM (2017)

Apéndice 2. *Mapa Satelital de Matucana*



Nota. Tomado de Satélites.pro (2021). Detalle de la ubicación de la zona de estudio.

Apéndice 3 *Cuestionario para recolección de información acerca del tipo de pastoreo. Establo Américo Abad, Matucana, 2021*

Presentación:

Este cuestionario tiene como finalidad recopilar información relevante para desarrollar el trabajo de investigación titulado: **“Estrategias para la mitigación del impacto del sobrepastoreo en las propiedades de los suelos en el Establo Américo Abad, Matucana, 2021”**

Nombre y Apellido del entrevistado: _____

Cargo: _____

Nombre y Apellido del entrevistador: _____

Fecha: _____

Instrucciones: Agradezco responder las siguientes preguntas con objetividad. Marque con una x o coloque la información que se le solicita a continuación:

1. A animales adultos en el establo Américo Abad:

Tipo de animal	SI	NO	Cantidad	Observación
Bovino				
Porcino				
Ovino				
Alpaca				

2. Carga animal en el establo Américo Abad:

Carga animal/hectárea	Marcar X	Observación
Baja (5 a 25)		
Moderada (25 a 50)		
Alta (50 a 60)		
Muy alta (mayor a 60)		

3. Tipo de pastizal en el establo Américo Abad:

Tipo de pastizal	Marcar X	Observación
Natural		
Cultivado		

4. Época de Pastoreo en el establo Américo Abad:

Descripción	Marcar X	Observación
Todo el año		
Verano (21dic/20 mar)		
Otoño (20mar/21jun)		
Invierno (21jun/22 sep)		
Primavera (22 sep/21 dic)		

5. Distribución del pastoreo en el establo Américo Abad:

Descripción	Marcar X	Observación (indique cantidad de potreros)
Libre		
Delimitada por potreros		
Libre por tipo de animales		
Delimitada por tipo de animales		

6. Frecuencia del pastoreo en el establo Américo Abad:

Tipo de sistema de pastoreo	Marcar X	Observación (tiempo de descanso)
Rotativo		
Diferido		
Racional		

7. Alimentación de los animales en el establo Américo Abad:

Fuente de alimentos	Bovinos	Porcinos	Ovino	Alpaca
Pastos naturales				
Pastos Cultivados				
Forrajes (avena, haba, otros)				
Alimentos balanceados				
Concentrados comerciales				
Residuos de alimentos o cosechas				
Maíz, Soja, subproductos de trigo				
Leche y sus derivados				

Apéndice 4. *Recolección de información sobre las propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo en el Establo Américo Abad, Matucana, 2021*

1. Definición de los cuadrantes del fundo para el presente estudio:

Grupo A: Cero (0) carga animal

Grupo B: Carga animal de 5 a 25 AM ha-1

Grupo C: Carga animal de 50 a 60 AM ha-1

Grupo D: Carga animal de 60 a 200 AM ha-1

2. Matriz de observación para reconocimiento edafológico, aplicada a todo el establo:

Elementos	Descripción
Material madre	
Vegetación	
Topografía	
Pendiente	
Erosión	
Presencia de dunas o piedras	
Drenajes	
Uso de la tierra	

3. Matriz para registro de mediciones de las propiedades físicas del suelo

3.1. Medición de la profundidad del suelo:

Profundidad												
Medición Nro.	Grupo A			Grupo B			Grupo C			Grupo D		
	M-1	M-2	M-3									
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Lectura: profundidad en cm: profundidad A de 0 a 5, profundidad B de 5 a 10, profundidad C de 10 a 15 y profundidad D de 15 a 20 cm.

M= muestra

3.2. Medición de la resistencia:

Resistencia												
Medición Nro.	Grupo A			Grupo B			Grupo C			Grupo D		
	M-1	M-2	M-3									
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

3.3 Medición de la porosidad del suelo:

Porosidad				
Elemento	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D
Humedad				
Conductividad				
Retención de agua				

4.4. Medición de otras propiedades físicas del suelo:

Otras propiedades del suelo				
Elemento	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D
Textura				
Densidad aparente				
Densidad real				
Color de la tierra				

Lectura: textura en % y densidad en mg/m^3

4. Mediciones de las propiedades químicas del suelo:

Elemento	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D
pH				
Conductividad Eléctrica (CE)				
Capacidad de Intercambio catatónico (CIC)				
Contenido de materia orgánica (MO)				

Lectura: CIC: meq/100gr, CE: dS/m, MO: %

4.1 Mediciones de nutrientes:

Nutrientes del suelo				
Elemento	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D
Fosforo				
Potasio				
Calcio				
Magnesio				
Aluminio				
Hierro				
Cobre				
Zinc				

5. Medición de propiedades biológicas del suelo:

Fijación de Nitrógeno				
Elemento	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D
Nitrógeno (N)				

Lectura: fijación de nitrógeno (kgN/ha)

Apéndice 5. Informes de laboratorios

Punto 1

Three laboratory report templates for Punto 1. Each report includes the ALAB and IAS logos at the top. The reports are titled 'INFORME DE RESULTADOS' and contain a table with columns for 'MUESTRA', 'MÉTODO', 'RESULTADO', 'UNIDAD', 'LÍMITE', 'COMENTARIOS', and 'FECHA'. The data rows are filled with various sample and method identifiers.

Punto 2

Three laboratory report templates for Punto 2. Each report includes the ALAB and IAS logos at the top. The reports are titled 'INFORME DE RESULTADOS' and contain a table with columns for 'MUESTRA', 'MÉTODO', 'RESULTADO', 'UNIDAD', 'LÍMITE', 'COMENTARIOS', and 'FECHA'. The data rows are filled with various sample and method identifiers.

Punto 3

Three laboratory report templates for Punto 3. Each report includes the ALAB and IAS logos at the top. The reports are titled 'INFORME DE RESULTADOS' and contain a table with columns for 'MUESTRA', 'MÉTODO', 'RESULTADO', 'UNIDAD', 'LÍMITE', 'COMENTARIOS', and 'FECHA'. The data rows are filled with various sample and method identifiers.

Punto 4

ALAB **IAS**

REPORTE DE RESULTADOS - 30-01-2024

3. RESULTADOS

DESCRIPCIÓN	2023	2022	2021	2020	2019
INGRESOS	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
EXPENSAS	(80,00)	(80,00)	(80,00)	(80,00)	(80,00)
RESULTADO	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00

ALAB S.A. - INSTITUTO ALAB DE ANÁLISIS QUÍMICO S.A.

ALAB **IAS**

REPORTE DE RESULTADOS - 30-01-2024

3. RESULTADOS

DESCRIPCIÓN	2023	2022	2021	2020	2019
INGRESOS	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
EXPENSAS	(80,00)	(80,00)	(80,00)	(80,00)	(80,00)
RESULTADO	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00

ALAB S.A. - INSTITUTO ALAB DE ANÁLISIS QUÍMICO S.A.

ALAB **IAS**

REPORTE DE RESULTADOS - 30-01-2024

3. RESULTADOS

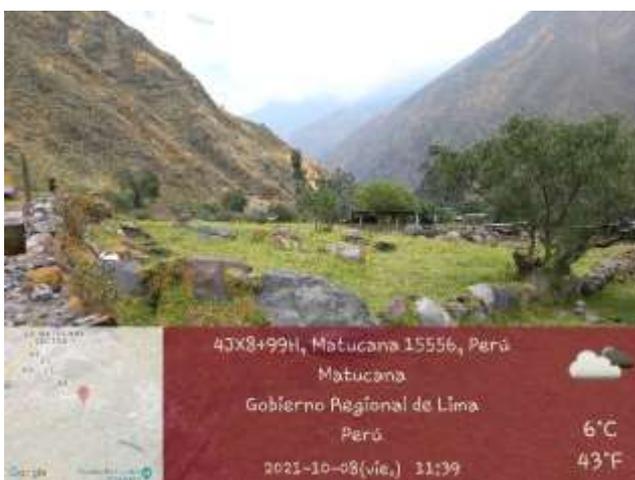
DESCRIPCIÓN	2023	2022	2021	2020	2019
INGRESOS	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
EXPENSAS	(80,00)	(80,00)	(80,00)	(80,00)	(80,00)
RESULTADO	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00

ALAB S.A. - INSTITUTO ALAB DE ANÁLISIS QUÍMICO S.A.

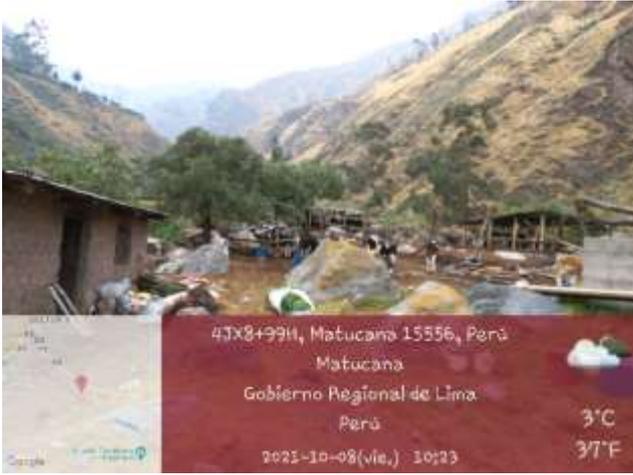
Apéndice 6. Anexo fotográfico



Zona A



Zona B



Zona C



Zona C





Zona D

Materiales



Penetrometro 3 en 1 –para suelo



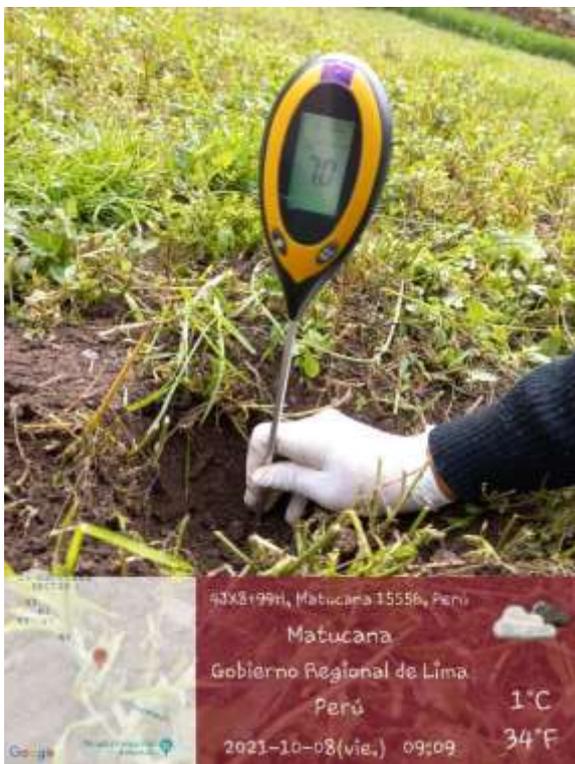
Penetrometro 4 en 1- para suelo

- wincha, pico, guantes





Toma de muestra, conductímetro, humedad, temperatura



Toma de muestra de pH, humedad, temperatura