

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA MENCIÓN: GESTIÓN DE SUELOS Y AGUA



CALIDAD DEL SUELO EN CUATRO SISTEMAS DE USO DE PASTO EN CUATRO DISTRITOS DE LA PROVINCIA DE LEONCIO PRADO

Tesis

Para optar el grado académico de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA,
MENCIÓN: GESTIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

GIANYRA ELIZABETH REYNA SOTO

Tingo María – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIDAD DE POSGRADO
DIRECCIÓN



“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS
Nro. 002-2022-UPG-FRNR-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 06:20 p.m. del viernes 15 de febrero de 2022, reunidos virtualmente vía Microsoft Teams, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

**“CALIDAD DEL SUELO EN CUATRO SISTEMAS DE USO DE PASTO
EN CUATRO DISTRITOS DE LA PROVINCIA DE LEONCIO PRADO”**

A cargo de la candidata al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión de Suelos y Agua **GIANRYA ELIZABETH REYNA SOTO**.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**.

Acto seguido, a horas 07:30 p.m. el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

.....
Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
Presidente del Jurado

.....
Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLORZANO
Miembro del Jurado

.....
Dr. JOSÉ KALION GUERRA LU
Miembro del Jurado

.....
Ing. MS.c. JOSÉ DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
Asesor

.....
Ing. MS.c. RAFAEL RENE ROBLES RODRÍGUEZ
Asesor



**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO, INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA**

1. DATOS GENERALES DE POSGRADO

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Escuela de Posgrado	: EPG - UNAS
Maestría	: Ciencias en Agroecología
Mención	: Gestión de suelos y agua
Título de Tesis	: Calidad del suelo en cuatro sistemas de uso de pasto en cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado
Autor	: Gianyra Elizabeth Reyna Soto
Asesor(es)	: <i>M.Sc.</i> José Dolores Lévano Crisóstomo <i>M.Sc.</i> Rafael René Robles Rodríguez
Programa de investigación	: Gestión de Cuencas Hidrográficas
Línea de Investigación	: Gestión y conservación del Recurso Suelo
Eje temático de investigación	: Desarrollo de indicadores de calidad y degradación del suelo
Lugar de ejecución	: Cuatro distritos de la Provincia de Leoncio Prado - Huánuco
Duración	: Fecha de inicio: noviembre 2018 : Fecha término: abril 2021
Financiamiento	: Precio S/. 7,824.30 nuevos soles
FEDU	: No
Propio	: Si
Otros	: No

DEDICATORIA

Con un grato sentimiento de felicidad, dedico este proyecto de tesis a mis padres, Roger Reyna Grández y Elizabeth Soto Meléndez, por el apoyo incondicional en cada etapa de mi vida personal y profesional, además, por formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores.

A mis abuelitas, Nilda Meléndez Valera y Josefina Grández Paredes, por el amor constante y los consejos de vida que me brindan.

A mis familiares y amigos, que, de alguna manera, a lo largo de mi vida, han aportado de manera positiva en mis metas personales y académicas.

AGRADECIMIENTO

Durante la ejecución de este proyecto de investigación, diversas personas contribuyeron de forma directa e indirecta, a quienes deseo expresar mi sincero reconocimiento.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), por brindarme la oportunidad de seguir formándome como profesional y por brindarme los servicios necesarios para sacar adelante este proyecto, asimismo, a la facultad de Recursos Naturales Renovables, profesores y trabajadores, por su apoyo en mi formación superior.

A mis asesores, el Ing. *M.Sc.* José Dolores Lévano Crisóstomo y el Ing. *M.Sc.* Rafael René Robles Rodríguez, quienes me brindaron su apoyo, amistad, confianza y consejos en la ejecución de este proyecto.

A los miembros del jurado, Dr. Lucio Manrique de Lara, Dr. José Wilfredo Zavala Solorzano, Dr. José Kalion Guerra Lu, por la revisión técnica y científica de la presente investigación.

A mis amigos y colegas, que, con su amistad, apoyo y solidaridad, contribuyeron de forma personal y moral en el logro de mis objetivos.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA	16
2.1. Características de las pasturas tropicales	16
2.2. Causas de la degradación de las pasturas.....	16
2.3. Efectos de la degradación de las pasturas.....	17
2.4. Macrofauna del suelo.....	17
2.5. Factores que afectan la macrofauna del suelo	18
2.5.1. Clima	18
2.5.2. Características del suelo	18
2.5.3. Labores culturales en los suelos	18
2.6. Macrofauna en un bosque primario	19
2.7. Indicadores de fauna y monitoreo biológico de la calidad del suelo	19
2.8. Lombriz de tierra como bioindicador de calidad del suelo.....	20
2.9. La calidad y salud del suelo.....	21
2.9.1. La materia orgánica del suelo	21
2.9.2. Lombrices de tierra.....	21
2.9.3. Rol de los microorganismos del suelo.....	22
2.10. Indicadores de la calidad del suelo	22
2.10.1. Indicadores físicos	24
2.10.2. Indicadores químicos.....	24
2.10.3. Indicadores biológicos.....	24
2.11. Conceptos de términos edafológicos	25
2.11.1. Textura del suelo	25

2.11.2.	Resistencia a la penetración del suelo	25
2.11.3.	Densidad aparente del suelo	25
2.11.4.	Materia orgánica	26
2.11.5.	Potencial de hidrogeno del suelo (pH)	26
2.11.6.	Conductividad eléctrica (CE)	27
2.11.7.	NPK extraíbles del suelo	27
2.11.8.	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	27
2.12.	Trabajos realizados en la calidad del suelo	28
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1.	Lugar de ejecución.....	31
3.1.1.	Época de evaluación	34
3.2.	Materiales y métodos	34
3.2.1.	Materiales y equipos	34
3.2.2.	Metodología.....	35
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
4.1.	tipificación de los sistemas de producción ganadera en base al nivel de degra- dación de sus pasturas en cuatro distritos de la provincia de leoncio prado.....	56
4.1.1.	Tipificación de los sistemas de producción ganadera	56
4.1.2.	Caracterización de los sistemas de producción ganadera.....	58
4.2.	Determinación de las características físicas, químicas y biológicas del suelo en cuatro sistemas ganaderos según su nivel de degradación de sus pasturas	63
4.2.1.	Selección de fincas de los grupos identificados	63
4.2.2.	Características de las fincas seleccionadas	64
4.2.3.	Evaluación de biomasa de los pastos.....	77

4.2.4. Características físicas del suelo de los sistemas de producción ganadero.....	79
4.2.5. Características químicas del suelo de los sistemas de producción ganadero.....	88
4.2.6. Características biológicas del suelo de los sistemas de producción ganadera.....	94
4.3. Indicadores de calidad del suelo con los sistemas de producción ganadera.....	99
4.3.1. Índices de calidad del suelo.....	99
4.3.2. Análisis de correlación entre los indicadores de calidad del suelo.....	106
4.4. Propuestas de gestión para mejorar la calidad del suelo en las fincas evaluadas.....	109
V. CONCLUSIONES.....	112
VI. RECOMENDACIONES.....	113
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	114
VIII. ANEXOS.....	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Fincas ganaderas en los distritos de la provincia de Leoncio Prado	36
2. Tabla del Nivel de degradación en pasturas naturales	40
3. Tabla de niveles de degradación en pasturas mejoradas	41
4. Indicadores de calidad del suelo	51
5. Indicadores de calidad del suelo relacionadas a las propiedades físicas.....	52
6. Indicadores de calidad del suelo relacionadas a las propiedades químicas del suelo.	52
7. Indicadores de calidad del suelo relacionadas a las propiedades biológicas.	53
8. Medias de los índices de degradación de las pasturas evaluadas.....	58
9. Análisis de varianza entre los grupos conformados según los índices de degradación para los dos tipos de pasturas	60
10. Características evaluadas de las pasturas naturales en los grupos	60
11. Características evaluadas de las pasturas mejoradas en los grupos	62
12. Fincas seleccionadas por grupo conformado	64
13. Algunas características de las fincas seleccionadas de cada grupo tipificado	65
14. Características dasométricas de las especies arbóreas de la Finca 1	68
15. Características dasométricas de la guayaba de la Finca 2.....	70
16. Especies arbustivas encontradas en la cerca viva de la Finca 3	72
17. Características dasométricas de los parches de la Finca 3	75
18. Pesos medios de biomasa (g/m ² y kg/ha) y porcentaje medio de materia seca (%MS) de pasto en las fincas evaluadas (media ± error estándar).....	77
19. Temperatura de suelo a dos profundidades y compactación del suelo	79
20. Valores de los tenores de macronutrientes en los cuatro suelos correspondientes a los sistemas de producción ganadera (media ± error estándar).	90
21. Tenores de las bases cambiables (Cmol(+)/Kg) en los suelos de los cuatro sistemas de producción ganadera evaluados (media ± error estándar)	90

22. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe) de los cuatros suelos de los sistemas de producción ganadero (media \pm error estándar)	91
23. Porcentajes de bases y ácidos cambiabiles (%) y saturación de aluminio (%) de los cuatro suelos correspondientes a los sistemas de producción ganadera (media \pm error estándar).....	92
24. Promedio de densidad (individuos.m-2) y biomasa (g.m-2) de lombrices de suelo en diferentes sistemas de producción ganadera (Media \pm error estándar).....	94
25. Densidad y biomasa de lombrices por estrato y sistema.....	97
26. Valores de los indicadores de los cuatro suelos evaluados	100
27. Valores de los indicadores de calidad del suelo con base a sus características físicas.....	101
28. Valores de los indicadores de calidad del suelo con base a sus características químicas	102
29. Valores de los indicadores de calidad del suelo con base a sus características biológicas	103
30. Índice general de la calidad el suelo en las cuatro fincas evaluadas.....	104
31. Análisis de correlación entre los indicadores de calidad del suelo	106
32. Propuestas técnicas para la mejora de la calidad del suelo	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de ubicación del estudio.....	32
2. Diagrama del desarrollo metodológico – Elaboración propia.....	38
3. Toma de submuestras de suelo en un transecto	43
4. Evaluación para determinar la densidad aparente (A) , y la evaluación de la compactación del suelo con ayuda del penetrómetro (B).	44
5. Evaluación del suelo a través de una calicata, en las cuatro fincas de estudio	45
6. Marcación del transecto en cada finca seleccionada.	46
7. Estratos de evaluación.....	46
8. Colección de lombrices por estrato	47
9. Método del botanal a través de un transecto con cinco muestras de evaluación.	48
10. Cosecha de la biomasa verde sobre el metro cuadrado.....	49
11. Puesta de las muestras a la estufa.....	50
12. Dendograma de agrupamiento de las 68 fincas evaluadas con base a los niveles de degradación de sus pasturas.	56
13. Porcentaje de fincas en los grupos conformados	57
14. Nivel de degradación, según los índices de degradación.....	59
15. Mapa de ubicación de la Finca 1	67
16. Características de la Finca 1. Pasturas mejoradas con degradación leve, con árboles dispersos en potreros (capirona) y cerco vivo	67
17. Mapa de ubicación de la Finca 2.....	69
18. Características de la Finca 2. Pasturas naturales con degradación leve-severa, árboles dispersos (guayaba) y sin cercas vivas.	69
19. Evaluación de las especies arbóreas de la Finca 2	70
20. Mapa de ubicación de la Finca 3.....	71
21. Características de la Finca 3. Pasturas naturales con degradación severa y con cercas vivas.....	72
22. Imágenes de los tres parches de evaluación	74
23. Mapa de ubicación de la Finca 4.....	75

24. Características de la Finca 4. Pasturas naturales con degradación muy severa.....	76
25. Disponibilidad de biomasa (kg/ha) de pasto en las fincas evaluadas.....	77
26. Descripción de perfil de una calicata en el suelo de la Finca 1, con leve degradación de pastos, ubicado en Tulumayo.....	80
27. Descripción de perfil de una calicata en el suelo de la Finca 2, con leve-severa degradación de pastos, ubicado en 7 de octubre, Pucayacu.....	81
28. Descripción de perfil de una calicata en el suelo de la Finca 3, con severa degradación de pastos, ubicado en La Victoria, José Crespo y Castillo.....	82
29. Descripción de perfil de una calicata en el suelo de la Finca 4, con muy severa degradación de pastos, ubicado en La Victoria, José Crespo y Castillo.	83
30. Nivel de compactación de los suelos en los cuatro sistemas de producción ganadera	84
31. Densidad (ind.m-2) de lombrices en cuatro diferentes suelos	95
32. Proceso de trazado, muestreo, conteo, pesado e identificación de las lombrices en los sistemas evaluados	96
33. Densidad (individuos.m-2) por estrato y sistema evaluado.	98
34. Dinámica de la densidad de lombrices en los estratos evaluados	98
35. Gráfico radial de los indicadores de calidad del suelo de las características físicas entre las Fincas evaluadas	101
36. Gráfico radial de los indicadores de calidad del suelo de las características químicas entre las fincas evaluadas.....	102
37. Gráfico radial de los indicadores de calidad del suelo de las características biológicas entre las fincas evaluadas.....	103
38. Valores de los indicadores de la calidad del suelo.....	104
39. Índice general de valoración de calidad del suelo	105
40. Regresión lineal entre indicadores de calidad del suelo.....	107
41. Regresión lineal de indicadores de calidad del suelo.....	108

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en sistemas de producción ganaderas existentes en cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, con el objetivo de determinar la calidad del suelo, basado a la construcción y valoración de indicadores de calidad tanto físicas, químicas y biológicas del suelo. Se determinó el nivel de degradación de pastos, bajo la metodología propuesta por León (2006) en 68 sistemas ganaderos. Se utilizó análisis de conglomerados para formar cuatro grupos, de acuerdo con las escalas de degradación, entre leve, el grupo 1 (19% de sistemas); entre leve y severa, el grupo 2 (13% de sistemas); entre severa, el grupo 3 (44% de sistemas) y entre muy severa, que corresponde al grupo 4 (24% de sistemas). Se seleccionaron una finca representativa por grupo, donde se realizaron evaluaciones físicas, química y biológicas del suelo. A cada uno de los indicadores propuestos se asignó una valoración de calidad, aplicando la metodología propuesta por Araujo et al. (2008), asignado valores entre 1 a 10 (1 como peor condición y 10 como condición ideal). Se obtuvo un índice general para cada finca resultando que la finca 1 (degradación leve) logra una calidad moderada (valor 6.1), las fincas 2 y 3 (degradación entre leve y severa) logran una calidad media (valor 5.7 para ambos), y la finca 4 (degradación muy severa) presenta una calidad inadecuada (valor 4.4). Resultando que existe una clara dependencia de los indicadores de calidad de suelos con el nivel de degradación de sus pasturas.

Palabras clave: Sistemas ganaderos, pasturas degradadas, indicadores de calidad del suelo

ABSTRACT

The present research work was carried out with existing livestock production systems within four districts of the Leoncio Prado province, Huánuco region, Peru, with the objective of determining the quality of the soil, based on the construction and valuation of physical, chemical and biological quality indicators for the soil. The degradation levels of the grass for sixty eight livestock systems was determined using the methodology proposed by Leon (2006). A cluster analysis was used to form four groups according to the scale of degradation: group 1 – slight (19% of the systems), group 2 – slight to severe (13% of the systems), group 3 – severe (44% of the systems), and group 4 which corresponded to very severe (24% of the systems). A farm from each group was selected as a representative in order to carry out physical, chemical, and biological evaluations of the soil. For each of the proposed indicators a value of the quality was assigned, applying the method proposed by Araujo et al. (2008); values from one to ten were assigned (one being the worst condition and ten being the ideal condition). A general index for each farm was obtained, where the results were that farm one (slight degradation) achieved a “moderate” quality level (value of 6.1), farms two and three (slight to severe degradation) achieved an “average” quality level (value of 5.7 for both), and farm four (severe degradation) presented an “inadequate” quality level (value of 4.4). The results showed that a clear dependence exists between the quality indicators for the soil and the level of degradation of the pastures.

Keywords: livestock systems, degraded pastures, soil quality indicators

I. INTRODUCCIÓN

La ganadería es la actividad humana que ocupa una mayor superficie de tierra. En total, a la producción ganadera se destina el 70% de la superficie agrícola y el 30% de la superficie terrestre del planeta (FAO 2007).

La degradación de pasturas en América Tropical se está convirtiendo en una amenaza, pues se estima que entre un 50-80% de las áreas de pasturas están degradadas (Días-Filho 2007, Betancourt et al. 2007), causada principalmente por el sobrepastoreo, la compactación y la erosión resultantes de la acción del ganado.

La degradación de pasturas tiene implicaciones importantes tanto ecológicas (por ejemplo: reducción en la captura de carbono, erosión y compactación de suelos, pérdida de biodiversidad, problemas de calidad y cantidad hídrica), como sociales (mayores distancias recorridas con los animales) y económicas (menores ingresos por vaca y por hectárea). Esta degradación puede ser caracterizada por la intensa disminución de la vegetación del área, provocada por la degradación del suelo, por razones de naturaleza química (pérdida de nutrientes y acidificación), física (erosión y compactación) y biológica (pérdida de la materia orgánica) estaría perdiendo la capacidad de sustentar una producción vegetal significativa.

La calidad de los suelos está en función directa del manejo de los suelos que corresponden al manejo de las pasturas. Debido al inadecuado manejo que reciben los suelos de pasturas, la calidad del suelo está deteriorada, llegando incluso a generar la formación de suelos degradados, es decir, condiciones donde la calidad física, biológica y química del suelo es baja, lo cual reduce su capacidad productiva de las pasturas.

El manejo inadecuado de los suelos contribuye a la pérdida gradual de su fertilidad, debido a la sensibilidad de comunidades de organismos edáficos ante el manejo del suelo, los cambios en la cobertura y la transformación de la vegetación, así como el efecto negativo de las perturbaciones impuestas por los sistemas de cultivo (Crespo 2002).

Existen pocos estudios referentes a la calidad de los suelos en pasturas en el trópico, más aún, de los distritos de Pucayacu, José Crespo y Castillo, Pueblo nuevo y Santo Domingo de Anda, que corresponden a la mayor población de ganado vacuno de la provincia de Leoncio Prado. Este estudio determinará la calidad de los suelos en fincas ganaderas, y que permitirán generar indicadores de calidad de suelos.

De todo lo expuesto, se plantea la siguiente interrogante. ¿En qué medida los sistemas de uso de pasto de acuerdo con el tipo de sistema de producción agropecuaria influyen en la calidad de los suelos? La hipótesis que nos planteamos es que la calidad de los suelos depende directamente del sistema de usos de pastos.

Para lograr dicha investigación se propone los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la calidad del suelo en cuatro sistemas de uso de pasto en cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Tipificar los sistemas de producción ganadera en base al nivel de degradación de sus pasturas, en cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado.
2. Determinar las características físicas, químicas y biológicas del suelo en cuatro sistemas ganaderos según su nivel de degradación de sus pasturas.
3. Construir los indicadores de calidad del suelo en cada tipo de sistema ganadero.
4. Proponer estrategias de gestión de suelos para mejorar la calidad en los grupos identificados.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características de las pasturas tropicales

Según el CIAT (2005) el 60% del área en pasturas existente en América Tropical se encuentra actualmente degradada. “Alegre (2014), reporta que en la existe 60 millones de hectáreas de bosques en la Amazonía Peruana que aún no han sido deforestadas y 10 millones que vienen siendo degradadas por efectos de la tumba y quema que ejerce el sobrepastoreo, el manejo inadecuado de los cultivos y la agricultura migratoria.

Según Pérez (2014) serán consideradas como pasturas en degradación cuando una pradera tropical presenta índices por encima del 20% sin población vegetal deseada, dominio de malezas por encima del 10% de la superficie, suelos con mucha compactación, encharcamientos por escasez de drenaje y posiblemente inexistencia de filtración de agua, formando escorrentía y presente lenta recuperación de la pastura.

Las pasturas mejoradas usualmente son degradadas después de cinco a siete años que se establecen (Holmann, et al. 2004), donde las pasturas con un nivel superior de degradación, presentan una inferior calidad nutricional de la biomasa comestible (Betancourt et al. 2007).

2.2. Causas de la degradación de las pasturas

Según Staff (2014) las causas de la degradación de las pasturas se deben comúnmente al sobrepastoreo, la compactación, la quema indiscriminada, al excesivo uso de herbicidas, presencia de minerales tóxicos en el suelo, así mismo Brown (2003), y Padilla y Sardiñas (2003) indican que las causas son las fuertes sequías, la agresividad de plantas invasoras, la baja fertilidad de los suelos, el ataque de plagas y enfermedades, la baja adaptación de las especies introducidas, la ausencia de leguminosas, la escaso manejo de pasturas, las políticas inadecuadas de desarrollo de los pastos y la transferencia de tecnologías pecuarias.

En praderas de gramíneas solas, la principal causa de degradación es la deficiencia de nitrógeno disponible en el suelo (Robbins *et al.* 1986, citado por Rincón 2006), que se manifiesta en la planta con clorosis o amarillamiento foliar y escaso vigor.

2.3. Efectos de la degradación de las pasturas

Según Staff (2014) dentro de los efectos de la degradación de las pasturas se menciona la disminución en la producción de biomasa del forraje y su calidad nutricional, el aumento de especies no deseables, reducción de ciertas áreas de la especie establecida, además, la pérdida en la capacidad de carga animal por unidad de superficie, menor ganancia en la producción de leche y/o carne por animal/día y los costos de mantenimiento son parecidos o mayores a los ingresos que se obtienen con la producción.

2.4. Macrofauna del suelo

Dentro de este grupo se encuentran los animales con más de 2 mm de ancho de cuerpo (Linden *et al.* 1994) pertenecientes a distintos Filos, Clases y Órdenes. La mayor parte de estos se identifica porque tienen un prolongado ciclo biológico (un año o más), una tasa de reproducción baja, con movimientos pausados y escasa capacidad de dispersión (Gassen y Gassen 2006).

La macrofauna varía en su composición, abundancia y diversidad, dependiendo que tan perturbado se encuentre el suelo a causa de los cambios del uso de tierras, de este modo se puede estimar valores de estas comunidades como bioindicadores de alteración o calidad ambiental (Pashanasi 2001; Lavelle y Spain 2001).

Según Gonzáles *et al.* (2001) señalan que las mejoras en la agregación se deben a la redistribución de los microorganismos y de la materia orgánica, producción de pelotas fecales y mezcla de suelo con partículas orgánicas.

Según Hendricks (2005) indica que la distribución de la fauna es determinada por la estructura del suelo, existe una relación visible y positiva con el tamaño y el número de poros y la tipología de animales que en él habitan. Los invertebrados más grandes invaden los poros del suelo que están llenos de aire. La mayor parte de organismos del suelo tienen preferencia por los ambientes húmedos. Mientras tanto, cuando existe escasez de agua se

introducen a las zonas del perfil y presentan una disposición más agregada (Verhoef y Van Selm 2003).

2.5. Factores que afectan la macrofauna del suelo

Existen características que intervienen en escalas establecidas de tiempo y espacio, los cuales determinan la cantidad y calidad de la entrada de restos orgánicos al suelo, de este modo, el bienestar de los microorganismos y macroinvertebrados que participan en escalas locales se ve afectado (Lavelle et al. 1993, citados por Lavelle 2002).

2.5.1. Clima

El autor menciona además que el factor con mayor impacto a largo plazo en el proceso de la evolución ha sido el clima, determinando de este modo la característica y la estructura de las comunidades vegetales, la abundancia y la distribución de los invertebrados

2.5.2. Características del suelo

Las características físico-químicas del suelo causan un efecto directo sobre la fauna que habita en él, por el contenido de humedad y materia orgánica, el pH, la estructura del suelo y la aeración e indirectamente en la consecuencia que presentan en la vegetación (Dubs et al. 2004). g

2.5.3. Labores culturales en los suelos

Cuando un sistema natural se altera para ejecutar una actividad agrícola, en su mayoría estas alteraciones se dan en las propiedades que presenta el suelo y en la biota (diversidad, biomasa y abundancia) que lo habita. Las comunidades vigentes se van a determinar por la magnitud de la variación provocada relacionada al ecosistema natural y por la destreza de adaptación que tienen los organismos a esta variación (Brown et al. 2001).

La macrofauna se encuentra relacionada al manejo, debido a la preparación del suelo, continuidad de cultivos, incorporación de materia orgánica fresca, etc., resultante de las alteraciones físicas producidas por la dispersión de residuos y la vegetación que en este se encuentran (Lavelle y Spain 2001).

2.6. Macrofauna en un bosque primario

Según Luna et al. (2010) la sombra es un elemento importante en el desarrollo en la comunidad de lombrices. Posiblemente en los lugares donde existe sombra, asociada a la presencia de árboles, se aun lugar donde existan una importante producción de materia orgánica, lo que vendría a ser una condición importante para el desarrollo de una comunidad de lombrices. Estos seres por lo general se encuentran en la parte superior del suelo, sin embargo, en invierno se introducen a partes más profundas para escabullirse de las heladas, ya que por la presencia de árboles en este ecosistema la temperatura suele ser menor. En el bosque las lombrices suelen utilizar más energía para producir individuos de mayor tamaño y que sean saludables, que crecer en cantidad, si lo diferenciamos con otros sistemas de uso de tierra.

2.7. Indicadores de fauna y monitoreo biológico de la calidad del suelo

Los indicadores que han sido frecuentemente usados son los índices de diversidad. La ventaja que estos tienen es que gran parte de la información se representa de manera simple por un índice, es por esta razón que en algunos casos nos conduce a resultados erróneos específicamente en agroecosistemas alterados por la labranza y la cosecha de pasto (Purvis 1980 citado por Zerbino 2005).

La macrofauna del suelo se manifiesta de acuerdo al manejo de escalas en meses o años, es por esta razón que sobresale como indicador biológico por su potencial (Lavelle y Spain 2001). Se puede emplear como indicador de calidad de suelo a la diversidad y la abundancia de las comunidades de organismos y la importancia relativa de los grupos con un valor significativo (lombrices y termitas).

Muchos autores han propuesto su uso como indicadores de calidad o alteración ambiental, por su sensibilidad y rápida respuesta a los cambios de cobertura, cambios de vegetación, comportamiento ante diferentes variables ambientales y las actividades ecológicas que realizan. (Lavelle 2003).

Lok (2005) indicó que los organismos de la macrofauna optan por residuos vegetales que presentan una relación C/N comparativamente bajo, con mayor acceso y

descomposición, de esta manera manifiestan su alta selectividad a la vegetación existente en el suelo. Las plantas y los desechos orgánicos administran alimentos y hábitats para fauna del suelo, y el contenido apropiado de materia orgánica no solo beneficia a las propiedades fisicoquímicas, sino que además suministra una fuente de energía que incentiva la actividad en los invertebrados existentes en el suelo.

Las disimilitudes entre la composición y en la proporción de los grupos funcionales de las comunidades de la macrofauna, mencionan que la tipología, la riqueza de especies vegetales y el manejo son condiciones que impactan en estos organismos (Altieri 2002, Dubs et al. 2004), ya que determinan los recursos disponibles y tienen un efecto en las interacciones entre los herbívoros, sus controladores y los detritívoros (Moore et al. 2004).

2.8. Lombriz de tierra como bioindicador de calidad del suelo

Se le ha otorgado mayor importancia en los últimos años a la diversidad de la biota del suelo dentro del funcionamiento global del ecosistema. Es así que existen muchos estudios que muestran de manera clara la sensibilidad que tienen las comunidades de organismos del suelo frente al manejo del suelo, los cambios en la cobertura y la modificación de la vegetación, además de un efecto extremadamente contrario a las alteraciones aplicadas por los sistemas de cultivo (De Aquino et al. 2008).

Por lo anteriormente mencionado se puede concluir que, determinados organismos son considerados como bioindicadores de la fertilidad y la estabilidad del suelo, principalmente las lombrices de tierra (George 2006), y consiguen instituir el estado de los suelos en algunos usos de tierra.

La mayor parte de la biomasa animal en muchos ecosistemas terrestres está representada por las lombrices de tierra, de este modo al ser numerosas pueden procesar hasta 250 toneladas de suelo al año, por hectárea a través de sus cuerpos. Este gran trabajo contribuye de significativamente en las propiedades físicas, químicas y biológicas, y concede a las lombrices un rol importante en el reciclado de nutrientes, aceleran el proceso de descomposición de la materia orgánica y la modificación de su estructura, al mismo tiempo tiene resultados significativos en las comunidades vegetales que viven sobre la superficie del suelo (Domínguez et al. 2009).

2.9. La calidad y salud del suelo

2.9.1. La materia orgánica del suelo

Por lo general existe tres distintos tipos de MO en los suelos: 1) organismos vivos, 2) MO activa muerta y 3) materiales bien descompuestos (humus) y relativamente estables. La parte viva de la MO del suelo se encuentra conformado por comunidades diversas de organismos, que incluye a los virus, bacterias, hongos, protozoarios, artrópodos de tamaño pequeño y mediano, nematodos, lombrices de tierra, considerando como fitoparásitos a algunos de estos organismos. Un gran número de organismos edáficos se alimentan de residuos vegetales, materiales orgánicos como también de otros organismos edáficos sin causar inconvenientes dentro de los cultivos. Por el contrario, son muy esenciales en el proceso de ciclaje de nutrimentos, controlan de plagas, la producción de humus y fortalecen los agregados del suelo (Domínguez et al. 2009).

Los organismos edáficos se sitúan en distintas posiciones de la cadena alimentaria. Las fuentes de alimentos y los hábitos de consumo crean una dependencia interna entre organismos en los distintos niveles de la cadena alimentaria. De esta manera existen consumidores primarios, secundarios y terciarios. Los consumidores primarios del suelo son los primeros organismos que aprovechan los restos orgánicos como fuente de energía. A diversos hongos, bacterias, nematodos y algunas lombrices de tierra se les considera consumidores primarios. Las actividades nutricionales de estos consumidores promueven el consumo de desechos por parte consumidores secundarios”. Por ejemplo, la excreta de las lombrices de tierra es más ricos en nutrientes que el suelo circundante, y por lo tanto representa una fuente de nutrientes para los organismos ubicados en el nivel superior de la cadena alimentaria (Moore et al. 2004).

2.9.2. Lombrices de tierra

Del mismo modo que los nematodos, las lombrices de tierra obedecen a las alteraciones en el suelo y contribuyen de significativamente en los procesos del suelo, por este motivo son empleados como especie indicadora práctica para asesorar los efectos de varias actividades de manejo de suelos o impactos de actividades producidos por el hombre sobre la calidad del suelo (Neher 2001). Estos dos grupos de invertebrados se encuentran participando en diversos niveles de la cadena alimentaria y se ven influenciadas

en el ciclo de nutrientes y algunos cambios en la estructura del suelo a diferentes escalas y se ven reflejadas en diversos niveles de alteraciones en el entorno físico-químico del suelo. Se puede indicar la calidad y fertilidad del suelo con la presencia y diversidad de estos dos grupos. Gracias a los nematodos podemos observar variación a nivel de micrositio (poros, agua del suelo y población microbial), sin embargo, por medio de las lombrices podemos observar variación en estos factores además en factores a gran escala como la alteración física de suelo (laboreo) y disminución en la cantidad de materia orgánica existente.

Las lombrices alteran de manera significativa la estructura del suelo y sus propiedades hidrológicas durante el proceso de alimentación y amadrigado, además, contribuyen significativamente a la mineralización de los nutrientes del suelo. En suelos donde existe problemas de compactación, estas vías son de gran importancia para captar nutrientes en los distintos horizontes del suelo. Materiales inorgánicos y orgánicos son comidos, trasladados y expulsados por las lombrices y como resultado de estas actividades las propiedades del suelo se ven afectadas (Lavelle 2003).

Son organismos fáciles de muestrear y relativamente grandes. Algunas especies de lombrices de tierra dejan evidencia física de su existencia en el suelo, los que pueden ser usados para establecer la importancia de estos en un sistema en particular. No obstante, una limitante de la lombriz de tierra como indicador es su inexistencia en algunos tipos de suelos, tal como sucede en los suelos con ecosistemas áridos.

2.9.3. Rol de los microorganismos del suelo

La descomposición de la materia orgánica de las plantas y de los animales proporcionan energía fundamental para el desempeño del ecosistema suelo. Es así que los restos orgánicos se convierten en biomasa o son mineralizados a H₂O, CO₂, N mineral, P y otros nutrientes. Los nutrientes retenidos en la biomasa microbial son emitidos secuencialmente cuando los microbios son consumidos por micro herbívoros tales como protozoarios y nematodos (Bloem et al. 1997, citado por Nielsen y Winding 2002).

2.10. Indicadores de la calidad del suelo

El suelo es uno de los recursos más significativos para la vida en el planeta, ya que es el origen principal para la explotación agropecuaria y forestal. La producción de

alimentos está sujeto a un porcentaje elevado de la utilidad que se les dé a los suelos (Martin y Adad 2006).

Según Atlas y Bartha (2002) y Nannipieri et al. (2003), el suelo es un sistema estructurado, heterogéneo y discontinuo, fundamental e irremplazable, que se desarrolla en función a una mezcla de materia orgánica, minerales y nutrientes capaces de soportar el crecimiento los microorganismos y organismos más grandes.

La formación del suelo es un proceso complejo que implica cambios físicos, químicos y biológicos de la roca madre. Los físicos involucran la disminución en el tamaño de partículas sin tener alguna variación en su composición, y son producidos por ciclos de hielo-deshielo, lluvia y otros efectos ambientales. Los químicos se originan por la dispersión de las partículas minerales de las rocas; su alteración o destrucción y la resíntesis a compuestos sólidos estables corresponden primordialmente, a la acción del agua, el oxígeno, el dióxido de carbono y los compuestos orgánicos (Budhu 2007).

En cuanto a los cambios biológicos se deben a la comunidad que en él habita: microbiota (bacterias, actinomicetes, hongos y algas), microfauna (protozoos y algunos nemátodos), mesofauna (artrópodos, anélidos, nemátodos y moluscos), macrofauna (invertebrados) y flora (plantas), y el 80-90% de estos procesos son reacciones en donde participa la microbiota (Nannipieri et al. 2003, Porta et al. 2003). Estos cambios biológicos son: la degradación y el aporte de materia orgánica, la producción de CO₂ en la respiración, la intervención en la movilidad de los ciclos biogeoquímicos de los elementos y los efectos mecánicos de los animales y las plantas, así como el fraccionamiento de las rocas por las raíces, entre otros (Porta et al. 2003).

La expresión “calidad de suelo” se empezó a utilizar al conocer las funciones que este tenía (Martin y Adad 2006), y son las siguientes: 1. Promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible). 2. Atenuar los contaminantes ambientales y los patógenos (calidad ambiental). 3. Favorecer la salud de las plantas, los animales y los humanos.

El concepto más actual de calidad del suelo se basa en algunas de las funciones que este presenta y no en un uso exclusivo solamente, aunque esta definición aún se encuentra en proceso de evolución (Singer y Ewing 2000). El Comité para la Salud del

Suelo de la Soil Science Society of America resumió este concepto como la capacidad que presenta el suelo para sostener la salud humana y el hábitat, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, sostener la productividad de las plantas y los animales y funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado.

Para que esta definición sea eficaz se debe contar con variables que sean útiles para evaluar la condición del suelo. De allí surge la necesidad de contar con indicadores de calidad de suelo. Se entiende por indicadores de la calidad de suelo como una herramienta de medición al que le corresponde brindar información de las propiedades, los procesos y las características del suelo.

2.10.1. Indicadores físicos

Las características físicas del suelo al no poder mejorarse fácilmente, son necesarias en la evaluación de la calidad de este recurso (Singer y Ewing 2000). Las características del suelo que se han sugerido como indicadores de calidad son: La estructura, la densidad aparente, la estabilidad de los agregados, la infiltración, la profundidad del suelo superficial, la capacidad de almacenamiento del agua y la conductividad hidráulica saturada (Carter 2002, Sánchez-Maranon et al. 2002, Dexter 2004).

2.10.2. Indicadores químicos

Los indicadores químicos son las condiciones químicas que están vinculadas a la relación suelo-planta, capacidad amortiguadora del suelo, calidad del agua, disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos. Algunos de estos indicadores son: el pH, la conductividad eléctrica, el carbono orgánico total, el carbono orgánico lábil, los cambios en la materia orgánica, el nitrógeno total, el nitrógeno mineralizable, la disponibilidad de nutrimentos, la capacidad de absorción de fosfatos, la capacidad de intercambio de cationes (Dexter 2004).

2.10.3. Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos se componen de varios elementos que afectan la calidad del suelo, como la abundancia y los subproductos de los macroinvertebrados (Wolters, 2000). Incluye funciones como la tasa de respiración, el ergosterol y otros subproductos de los hongos, la tasa de descomposición de residuos

vegetales, el N y el C de la biomasa microbiana (Karlen et al. 2007). Se propuso la relación C microbiano versus C orgánico del suelo, debido a que la biomasa microbiana es más sensible al cambio que el C total, para evidenciar cambios anticipados en la dinámica de la materia orgánica.

2.11. Conceptos de términos edafológicos

2.11.1. Textura del suelo

Según FAO (2018) la textura está comprendida relativamente por partículas de diferente tamaño de arcilla, limo y arena. La textura está relacionada la porción de agua y aire que concentra el suelo, a la velocidad con que el agua se introduce en el suelo y lo traspasa, y con la facilidad con que se puede trabajar el suelo.

2.11.2. Resistencia a la penetración del suelo

La resistencia a la penetración es un indicador que se determina por nivel de compactación que tiene un suelo. La compactación limita la cantidad de agua y aire que disponen las raíces, además del crecimiento radicular (Herrick y Jones 2002). Para calcular la resistencia a la penetración se debe medir la resistencia del suelo al movimiento de un cono de penetración y luego dividir el resultado entre la profundidad de penetración.

2.11.3. Densidad aparente del suelo

La densidad aparente está definida como la masa de suelo por unidad de volumen (g. cm^{-3} o t. m^{-3}). Representa la compactación del suelo, refiriéndose a la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller y Hakansson 2010). Es un modo de estimar la resistencia que tiene el suelo respecto a la elongación de las raíces. De mismo modo es usado para realizar conversiones de datos expresados en concentraciones a masa o volumen, cálculos aplicados en fertilidad y fertilización de cultivos extensivos. La densidad aparente se modifica con el contenido de materia orgánica y con la textura del suelo; puede tener variaciones estacionales como consecuencia de la labranza y por la humedad existente en el suelo especialmente en los suelos con arcillas expandentes (Taboada y Álvarez 2008). El método del cilindro, es el método más usado para determinar la densidad aparente en nuestro país. Sin embargo, tiene una desventaja, y es que se puede presentar variación en el resultado por el tamaño del cilindro, siendo mayor la densidad cuando menor es el tamaño del cilindro,

debido a que no se captan los poros con mayor diámetro. Pero, generalmente, esta metodología tiene poca variabilidad, su determinación es sencilla y de fácil repetición.

2.11.4. Materia orgánica

Según la FAO (2018) la materia orgánica (restos de plantas y animales) está compuesta por carbohidratos, ligninas y proteínas. Los microorganismos son los encargados de descomponer la materia orgánica en dióxido de carbono y los restos con mayor resistencia en humus. Los microbios pueden atrapar el nitrógeno del suelo en el proceso de descomposición. La materia orgánica y el humus retienen nutrientes del suelo. Además, corrigen la estructura del suelo, sueltan suelos arcillosos, protegen a los suelos ante la erosión e incrementan la capacidad de retención de agua y nutrientes en suelos toscos o arenosos. El contenido de materia orgánica del suelo está relacionado con el clima, la vegetación, la textura del suelo, el drenaje de este y su labranza. Los suelos minerales que presentan mayor contenido de materia orgánica son comúnmente los suelos de praderas vírgenes. Los que presentan menor cantidad de materia orgánica son los suelos de bosques y aquellos de climas cálidos.

2.11.5. Potencial de hidrogeno del suelo (pH)

Según la INTAGRI (2018) el pH es un parámetro que permite identificar si la solución del suelo es ácida o alcalina, refiriéndose a la solución del suelo donde las raíces de las plantas adquieren los nutrientes que son importantes para su crecimiento y desarrollo. La escala de medida del pH se encuentra entre los valores de 0.0 a 14.0. Además, el pH es un indicador de varias propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo que están fuertemente relacionadas con la disposición de los nutrientes fundamentales para las plantas. El pH ubicado en un rango específico permite que la mayor parte de nutrientes conserven su disponibilidad máxima. Se pueden presentar problemas por debajo de dicho rango como: deficiencia de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre o magnesio; sin embargo, por encima de este rango, se reduce la disponibilidad de micro nutrientes (hierro, manganeso, cobre o zinc). Cada especie se adapta a un determinado rango de pH, siendo este sea el principal criterio en relación a la dinámica de los nutrientes que serán absorbidos por sus raíces y que intervienen en la productividad.

2.11.6. Conductividad eléctrica (CE)

Según INTAGRI (2018) La conductividad eléctrica es la estimación de la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo. También se define como la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, siendo el valor más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través de este. Lo que significa que, a mayor CE, mayor es la concentración de sales. Se recomienda que la CE sea baja, menor a 1dS m^{-1} ($1+5$ v/v) en lo posible. Una CE baja facilita el manejo de la fertilización y nos evita problemas en el cultivo por fitotoxicidad. Por tal motivo al formular un sustrato, se debe tener en cuenta la CE de los componentes para evaluar el porcentaje a utilizar en la mezcla sin acrecentar la CE final del sustrato formulado.

2.11.7. NPK extraíbles del suelo

Según la FAO (2018) la cantidad de nutrimentos que presenta el suelo va a establecer el potencial que tiene este para alimentar los cultivos que se van a desarrollar en este. Al cultivar el suelo hace que se consuman los nutrimentos de este y pasen a ser parte de las plantas. Por lo que es fundamental fertilizar el suelo, para restaurar los nutrimentos que han extraído.

Según INTAGRI (2018) los nutrientes generalmente se dividen en macronutrientes y micronutrientes según la cantidad requerida por cada cultivo y su existencia en la planta, pero no se debe asumir que los micronutrientes son menos importantes para el desarrollo adecuado del cultivo porque se requieren en cantidades más pequeñas. Las deficiencias de micronutrientes rara vez se consideran, en cambio, se les otorga más consideración a los macronutrientes NPK (nitrógeno, fósforo y potasio), lo que resulta en deficiencias graves, daños a los cultivos y retraso en el desarrollo de los cultivos. De ahí que los micronutrientes también se conozcan como oligoelementos (pequeñas cantidades, pero imprescindibles).

2.11.8. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Según INTAGRI (2018) esta propiedad química del suelo se define como la cantidad total de cargas negativas que están disponibles sobre la superficie de las partículas en el suelo. Asimismo, se refiere al número total de cationes intercambiables que un suelo en particular puede o es capaz de retener (cantidad total de carga negativa). Conocer

la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de un suelo es elemental, ya que este valor nos indica el potencial de un suelo para intercambiar o retener nutrientes. Además, la CIC afecta directamente la cantidad y frecuencia con la que se va a aplicar los fertilizantes. La mayor influencia sobre la CIC proviene de la materia orgánica y las arcillas del suelo. La arcilla tiene una capacidad de 10-150 cmol(+)/kg, en cambio, la materia orgánica tiene una capacidad de 200-400 cmol(+)/kg, siendo una CIC más alta. Los cmol(+)/kg = meq/100g. Además de provocar un incremento en la CIC, el aporte de materia orgánica también mejora las propiedades físicas del suelo, mejora la estructura del suelo, incrementa la infiltración de agua, suministra de nutrientes a la planta y reduce las pérdidas por erosión. Generalmente los suelos con CIC alta, son suelos con altos contenidos de arcilla y/o materia orgánica. Una CIC alta brinda mayor capacidad de retención de nutrientes, que por lo general los hace más fértiles.

2.12. Trabajos realizados en la calidad del suelo

La macrofauna del suelo se evaluó en pastizales mejorados donde coexisten diferentes especies vegetales, dando como resultado que las comunidades de macroinvertebrados son caracterizadas por su alta biomasa y rica taxonomía (Azevedo et al. 2000, Decaens et al. 2001). Generalmente, se acepta que en las pasturas monoespecíficas se albergan unidades de invertebrados con diversidad baja.

En otro trabajo de Zerbino (2005) sobre animales de pastoreo, solo los organismos que vivían por encima del suelo se vieron afectados; sin embargo, en condiciones de sobrepastoreo, los detritívoros y los depredadores se vieron afectados negativamente y los herbívoros de las raíces se vieron favorecidos.

Por otro lado, en un trabajo similar, Morris (2000) encontró que el impacto del pisoteo sobre los invertebrados era más importante que el corte de la vegetación. Del mismo modo, identificó al pastoreo como otra técnica que afectaba a la macrofauna del suelo, cuyas consecuencias se producían por el corte de la vegetación, el pisoteo y la presencia de estiércol. Además, indica que el aumento de la intensidad de pastoreo estuvo asociado a una reducción de la diversidad de fauna en el suelo debido a la simplificación de la vegetación y el desvanecimiento de capas residuales.

En un trabajo que se realizó por Lavelle y Spain (2001) indican que las poblaciones son más cuantiosas y presentan más biomasa en rotaciones de cultivos y pasturas que en agricultura continua; debido a que en pasturas cultivadas se produce un mantillo de calidad alta y existe una mayor contribución de materia orgánica que beneficia su actividad.

Según Soca et al. (2006), el contenido de humedad por lo general favorece a la rápida colonización de excretas; sin embargo, en sistemas tradicionales (soló con pasto) la sequedad en el suelo y la influencia directa de la temperatura ambiental conducen a la creación de las costras y endurecen el excremento, lo que limita a su desvanecimiento en el pastizal a causa de la fauna coprófaga.

Los sistemas silvopastoriles proveen situaciones edafoclimáticas que benefician al desarrollo de una variada y rica fauna del suelo; los que están plasmados en estudios elaborados por Sánchez y Reinés (2001), los que percibieron un incremento en la cantidad de individuos por metro cuadrado y en los índices ecológicos: diversidad de especies, abundancia proporcional de organismos en el suelo, equitatividad y dominancia, obteniendo mejor resultado los sistemas silvopastoriles comparados con áreas de pastos en monocultivo.

Asimismo, un trabajo realizado por Feijóo et al. (2004) demostraron que el microclima (temperatura y humedad del suelo) formado por la existencia de árboles en pasturas aportan mayor beneficio a la actividad biológica de la macrofauna del suelo, lo que produce una mayor mineralización y disponibilidad de nitrógeno en el suelo.

Diversos autores que realizaron estudios en sistemas silvopastoriles concluyen que la mayor presencia de individuos de la fauna edáfica bajo escenarios silvopastoriles están relacionadas directamente con la presencia de especies arbóreas, los que brindan entornos adecuados de humedad y temperatura, mayor contenido de materia orgánica y deposición de hojarasca, aspectos que se acentúan en pastizales con la presencia de gramíneas y leguminosas, creando escenarios para una intensa actividad biológica en el suelo (Sánchez y Reinés 2001, Rodríguez et al. 2002, Alonso 2003, Harvey 2003).

En un trabajo realizado por Larink y Schrader (2000) los órdenes con mayor representación en las unidades o silvopastoreo, fue el orden Haplotáxida, que reúne a las lombrices de tierra, seguido de Coleóptera; estos ordenes son muy importantes en los

procesos biológicos principales que se originan en un pastizal y como consecuencia influyen en el reciclaje de nutrientes.

Huamanyauri (2011) encontró que las órdenes con mayor número de individuos en pastizales mejorados con árboles y sin árboles son la Haplotáxida, Isóptera, isópoda e Hymenóptera, y en cuanto a los sistemas de pastizales sin árboles y pastura sobrepastoreada los órdenes con mayor número fueron Haplotáxida, Hymenóptera, y coleóptera.

Los resultados obtenidos por Soca et al. (2006), permite confirmar que la presencia de especies arbóreas en los sistemas ganaderos impulsa el desarrollo de la fauna edáfica, la cual perjudica la fuente de incubación de muchas enfermedades del ganado y juega un rol importante en la acelerada descomposición de las excretas; esto no solo mejora la asociación de nutrimentos al ecosistema, además reduce las pérdidas debido a la volatilización del nitrógeno presente en estos.

Sánchez y Reinés (2001) mencionaron que las prácticas de manejo del suelo en su mayoría, aparte de los efectos en el pH en el suelo, impactan negativamente en la macrofauna. Debido a que las comunidades de la macrofauna de este son muy perceptibles a los cambios de la cobertura del suelo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente estudio se realizó:

- **UBICACIÓN POLÍTICA:** Ex distrito José Crespo y Castillo, hoy dividido en cuatro distritos (José Crespo y Castillo, Pucayacu, Pueblo Nuevo y Santo Domingo de Anda), provincia de Leoncio Prado, región de Huánuco (Figura 1).
- **UBICACIÓN GEOGRÁFICA:** Se encuentra ubicada a 8°55'53" latitud Sur y a 76°07'50" de longitud oeste.
- **FACTORES CLIMÁTICOS:** La temperatura media anual es 23.8°C, siendo la máxima 30.9°C y 18.6 °C la mínima, por otro lado, tenemos que la precipitación pluvial anual varía entre 2,193 a 3,760 mm (SENAMHI 2017).

Se encuentra en una zona considerada como bosque muy húmedo-premontano tropical (bmh-PT). y se encuentra a una altitud de 540 msnm.

- **FISIOGRAFÍA:** Se consideró el mapa geológico del cuadrángulo de Huánuco (escala 1:100,000) para tomar las características fisiográficas y edáficas del área de influencia, elaborado por el INGEMMET, obteniendo la siguiente distribución fisiográfica:

Valles Aluviales.- Caracterizada por su sección transversal en forma de "V", presenta pendientes moderadas que varían de 0% - 10%, ubicadas en un fondo plano relleno de abundantes depósitos fluviales y aluviales consolidados compuestos por limos, arenas y gravas. Esta formación fisiográfica se presenta en la zona central de Sur a Norte del territorio distrital y significa aproximadamente el 71% del territorio (márgenes del río Huallaga), son los suelos con mayor potencial productivo.

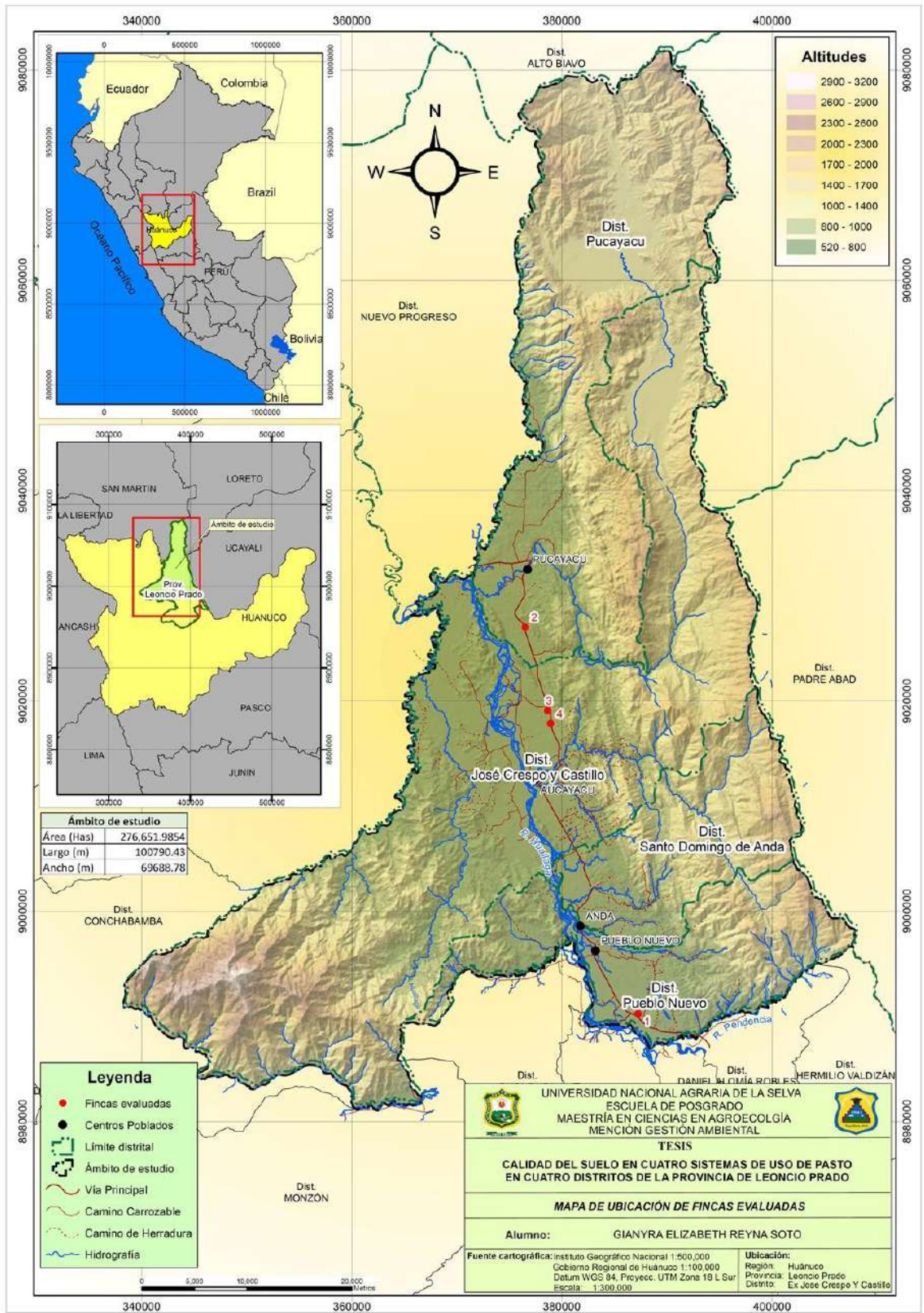


Figura 1. Mapa de ubicación del estudio

Valles Plenipénicos.- Se caracteriza por presentar colinas alargadas con pendientes poco pronunciadas entre 5% - 12% que sobresalen en la zona Este y Oeste del territorio. Sus cotas varían desde 200 msnm. Hasta los 500 msnm. Esta formación fisiográfica contiene una mayor diversidad biótica.

Paisaje Colinoso.- Este paisaje se caracteriza por su pendiente que va desde moderadamente empinada (10% de pendiente) hasta empinada (> 55%) en la Cordillera Azul que se desplaza de Este a Norte en la zona alta Oriental del distrito colindante con los distritos de Hermilio Valdizán y Contamana en los departamentos de Huánuco y Ucayali. Está constituido por elevaciones de la superficie que llegan hasta los 1,200 msnm. Mayormente está comprendida por tierras asociadas para pastoreo y protección, las tierras agrícolas aparecen como pequeñas manchas dispersas dentro de grandes extensiones de tierras. Los rasgos geomorfológicos que relacionan esta zona con la llanura aluvial son los abanicos aluviales formados por los ríos tributarios del río Huallaga.

Por las características fisiográficas y de relieve que tienen, han sido utilizados como localización de asentamientos humanos en el nivel inferior de las colinas. En estas zonas con mejores tierras y con mejor accesibilidad se fueron afianzando y desarrollando un número significativo de poblados que concentra una proporción importante de la poblacional rural.

- **ACTIVIDADES ECONÓMICAS:** La agricultura es la principal actividad económica de la provincia de Leoncio Prado, representado en promedio de 65.72% de la PEA, con 65% de una agricultura de subsistencia, bajo nivel tecnológico, de rendimiento y un casi nulo sistema de información. La actividad comercial muestra niveles importantes en dos distritos de la provincia: en Rupa Rupa donde representa 24.30% de la PEA y en el distrito de José Crespo y Castillo, donde esta actividad representa 40% de la PEA, según el Censo del 2012. El sector manufacturero es incipiente, que absorbe apenas el 5% de la oferta laboral. El sector turismo, a pesar de las bondades de nuestra provincia, tiene muchas limitaciones de infraestructura vial, de servicios, de capacitación y de puesta en valor de los atractivos turísticos, aunque se han venido incrementando esta actividad en los últimos años.

3.1.1. Época de evaluación

Las evaluaciones se realizaron a un grupo muestral de fincas de ganaderos ubicadas en el área de estudio, durante la época de estación seca (2019), para luego una vez seleccionadas las fincas de evaluación según su nivel de degradación, se realizó las evaluaciones propias del trabajo de campo durante los meses de enero y febrero del 2020.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

Los equipos necesarios para el desarrollo del trabajo fueron:

- GPS
- Cámara fotográfica
- Penetrómetro
- Fotosensor
- Geotermómetros
- Laptop
- Impresora
- Balanza analítica
- Tijera podadora
- Pala plana
- Metro cuadrado
- Tubo muestreador
- Tubos de densidad aparente

- Cuadrante de 0.25x0.25x0.10m (metal)
- Machete
- Wincha 50 metros
- Wincha 5 metros

Los materiales necesarios para el desarrollo del trabajo de investigación fueron:

- Bolsas de polietileno
- Plumones indelebles
- Pilas doble A
- Fichas de encuestas - Papel bond
- Bolsas de papel
- Envases de plástico

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Cálculo del tamaño muestral

Según la Información del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) del último Censo Nacional Agropecuario (INEI 2012), el lugar de estudio corresponde al ex-distrito José Crespo y Castillo y que presenta una mayor presencia de fincas ganaderas de la provincia de Leoncio Prado (Tabla 1).

Tabla 1. Fincas ganaderas en los distritos de la provincia de Leoncio Prado

DISTRITOS	Fincas ganaderas	Número de animales
José Crespo y Castillo	429	6 004
Rupa Rupa	130	1 469
Daniel Alomía Robles	192	1 872
Hermilio Valdizán	54	463
Padre Felipe Luyando	64	615
Mariano Dámazo Beraún	210	1 393

Fuente: IV Censo Nacional Agropecuario 2012

De acuerdo con el documento del IV censo agropecuario (2012) El distrito de José Crespo y Castillo presentaba 429 fincas ganaderas y una población estimada de 6 004 cabezas. Para determinar el tamaño muestral se aplicó la fórmula de estimación a través de un muestreo aleatorio simple (Ecuación 1):

$$n = \frac{Z^2 pqN}{(N-1)E^2 + Z^2 pq} \quad (1)$$

Donde:

n = Tamaño muestral

Z = Nivel de confianza (95%= 1,96)

pq = varianza (0,3x0,7)

N = la población conocida (429)

E = nivel de error de estimación (10% = 0,10)

La varianza calculada, corresponde a una pre-encuesta realizada inicialmente a 10 fincas escogidas aleatoriamente, basado a una pregunta dicotómica (con respuesta afirmativa y negativa, es decir SI y NO) de peculiar interés en la caracterización de las fincas. La pregunta fue: “si cuentan con más de tres potreros en sus

parcelas”; de los cuales se obtuvieron que tres fincas de las 10 cuentan con más de tres potreros, y siete fincas restantes no. Para ello, la respuesta positiva (p) tuvo un valor de 0,3 y la respuesta negativa (q) tuvo un valor de 0,7 estos valores se reemplazaron en la Ecuación 1.

Se consideró un tamaño muestral de 68 fincas empleando un nivel de confianza del 95%, para una varianza calculada con una variable dicotómica (0,3, 0,7) y un 10% de error de estimación. De este modo, ocupó 68 fincas para el muestreo inicial. Se elaboró una metodología para determinar el nivel de degradación de sus pasturas de las 68 fincas.

3.2.2.2. Metodología para el desarrollo del estudio

Para cumplir el objetivo general se ha propuesto desarrollar un proceso metodológico basado en esquematizar el proceso de intervención y diagnóstico de una cuenca, calificando la cuenca como unidad de planificación y la finca como unidad de intervención (Robles-Rodríguez 2005) describiéndolo en la Figura 2.

En la primera etapa se realizó las coordinaciones institucionales, con la municipalidad del distrito de José Crespo y Castillo y la Municipalidad provincial de Leoncio Prado (Gerencia de Desarrollo económico), la agencia agraria del Ministerio de Agricultura, la unidad de extensión de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. De este modo se realizó reuniones independientes para exponer los objetivos del trabajo de investigación, del mismo modo el alcance e importancia en la región, recibiendo sus consideraciones e involucrar su participación.

En la segunda etapa se realizó el diagnóstico de las fincas ganaderas del distrito de José Crespo y Castillo, a través de una metodología basado en determinar el nivel de degradación de sus pasturas.

Posteriormente, se procedió a la tipificación y caracterización de las fincas, procediendo a formar cuatro grupos de sistemas ganaderos de acuerdo con el nivel de degradación, cumpliendo el primer objetivo específico. En la tercera se realizó el trabajo de evaluación del suelo, que corresponde a la evaluación de sus características físicas, químicas y biológicas de los sistemas ganaderos seleccionados de cada tipo de sistema encontrado, de este modo se efectuó el segundo objetivo específico.

Metodología para el desarrollo del estudio

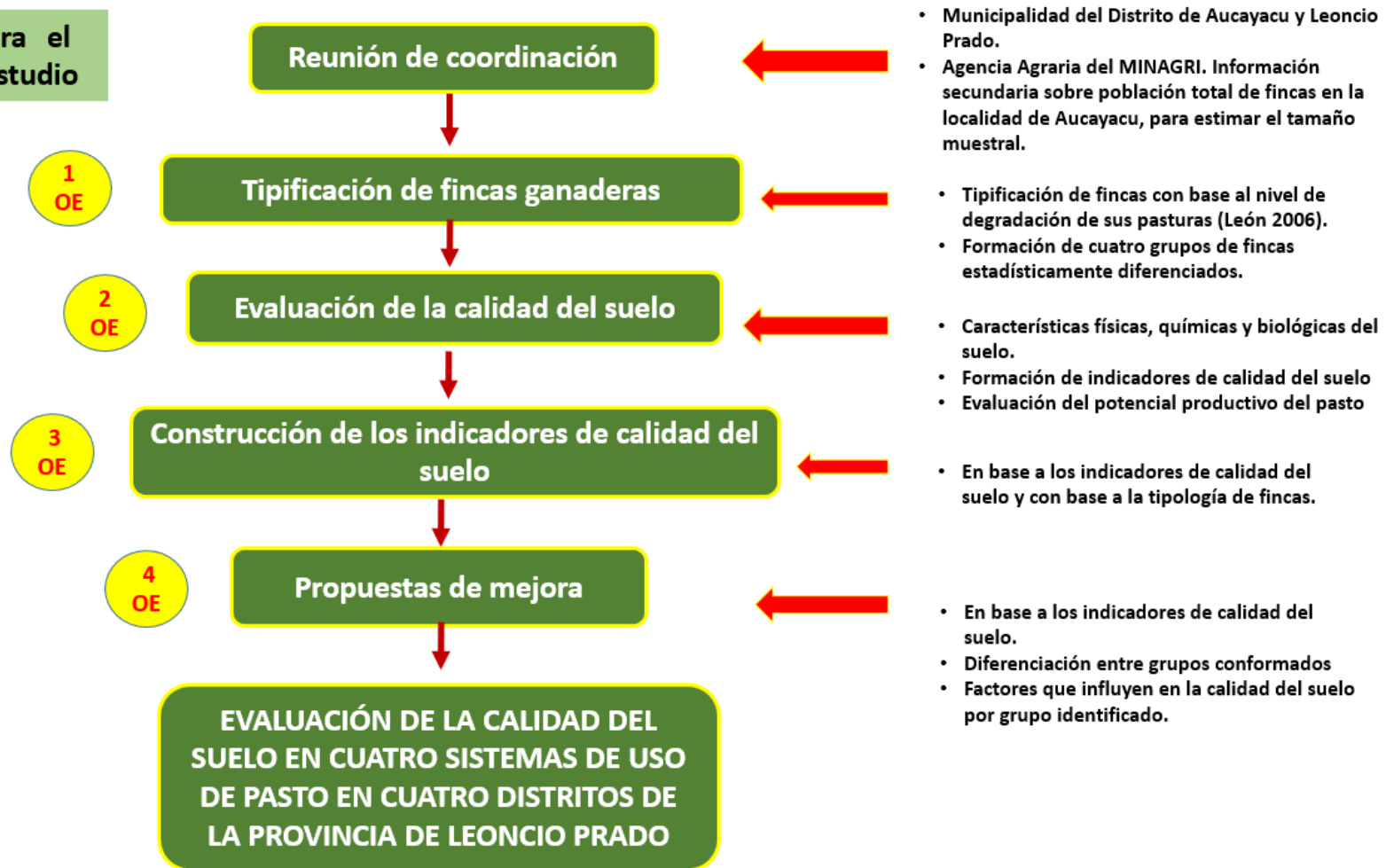


Figura 2. Diagrama del desarrollo metodológico – Elaboración propia

La cuarta etapa consistió en construir los indicadores de calidad del suelo en las cuatro fincas que corresponden con los tipos de sistemas (tercer objetivo específico). La quinta etapa consiste en generar las propuestas de mitigación por cada grupo de sistema encontrado, basado en los indicadores de calidad y salud del suelo, cumpliendo con el cuarto objetivo específico.

El trabajo metodológico se dividió en tres fases:

Fase de pre-campo

Para la evaluación de la degradación de pasturas, se manejó dos tablas de degradación, basada en una calificación visual *in situ* de pasturas naturales y pasturas mejoradas en las 68 fincas.

Tabla de degradación para las pasturas naturales

En la tabla de degradación para pasturas naturales, para las características propias de las pasturas se le otorgó el 50% de importancia, que puede ser la más importante a nivel técnico para el manejo de los animales, fundamentalmente para la alimentación del animal. Estas características fueron; cantidad de especies palatables del área en evaluación, disponibilidad y condición de la pastura *in situ*. El 50% restante le pertenece a la cobertura del área evaluada, en las que se consideran efectos de manejo y algunas condiciones propias de la superficie de suelo, entre estas están: Malezas, Suelo desnudo y Erosión.

Para identificar fácilmente los niveles de degradación se concedió una escala numérica de 1.0 a 3.0. El rango de la puntuación acumulada es el resultado de la multiplicación de cada una de las características que se hace mención, por el porcentaje de importancia (ver Tabla 2), donde un rango de puntuación acumulada de 2.6 a 3.0 resultara una degradación Moderada, su extremo es un rango entre 1.0 a 1.5 con una degradación Muy Severa. De este modo, tomamos como ejemplo un resultado de 2.0, este se encuentra en un nivel de degradación Severa.

Tabla 2. Tabla del Nivel de degradación en pasturas naturales

NIVELES DE DEGRADACIÓN PARA EVALUAR PASTURAS NATURALES		Rango de la puntuación acumulada			
Moderada		2.6 - 3.0			
Severa		1.6 - 2.5			
Muy severa		1.0 - 1.5			
Características de las pasturas naturales (50%)					
Sp. palatables	Escala *A (20%)	Condición de pastura	Escala *B (15%)	Disponibilidad	Escala *C (15%)
> 60%	3	Regular	3	Media	3
30-59%	2	Malo	2	Pobre	2
< 19%	1	Muy malo	1	Muy pobre	1
Cobertura del área evaluada 1 ha o potrero (50%)					
Maleza	Escala *D (15%)	Suelo desnudo	Escala *E (20%)	Erosión	Escala *F (15%)
<5%	3	No hay 0%	3	Apariciones	3
6-15%	2	Espacios pequeños	2	Laminar	2
16-35%	1	Manchas aisladas	1	Surcos o cárcavas	1

* A, B, C, D, E, F; representan el % de importancia que se debe multiplicar por el puntaje otorgado en cada escala

Fuente: León 2006.

Tabla de degradación para las pasturas mejoradas

Las pasturas mejoradas o sembradas poseen un manejo más complejo por sus particularidades como, por ejemplo, en la exigencia de nutrimentos del suelo, tasas altas de rebrote, entre otras. A causa de ello se elaboró 5 niveles de degradación, que tienen como condición el manejo que se realiza, además de otras características relacionadas a esta.

El rango de puntuación acumulada correspondió a niveles de degradación nula, Leve, Moderada, Severa, Muy Severa, (ver Tabla 3). Del mismo modo que las pasturas naturales, el 50% fue otorgada a las características de la pastura mejorada, y el otro 50%

a la cobertura del área evaluada. Las características propias de las pasturas, abarcó las especies mejoradas del área muestreada, Disponibilidad y Condición de la pastura in situ. La cobertura del área evaluada estuvo comprendida por las Malezas, Suelo desnudo y Erosión.

Tabla 3. Tabla de niveles de degradación en pasturas mejoradas

NIVELES DE DEGRADACIÓN PARA EVALUAR PASTURAS MEJORADAS O SEMBRADAS		Rango de la puntuación acumulada			
Nulo	4.9 - 5.0				
Leve	3.6 - 4.8				
Moderada	2.6 - 3.5				
Severa	1.5 - 2.5				
Muy severa	1.0 - 1.5				
Características de las pasturas mejoradas					
Sp. Mejoradas	Escala *A (20%)	Condición de pastura	Escala *B (15%)	Disponibilidad	Escala *C (15%)
> 81%	5	Excelente	5	Muy alta	5
51-80%	4	Bueno	4	Alta	4
41-50%	3	Regular	3	Media	3
20-40%	2	Malo	2	Pobre	2
< 19%	1	Muy Malo	1	Muy pobre	1
Cobertura del área evaluada 1 ha					
Malezas	Escala *D (15%)	Suelo desnudo	Escala *E (20%)	Erosión	Escala *F (15%)
<5%	5	No hay 0%	5	NO	5
6-15%	4	Espacios pequeños	4	Indicios	4
16-35%	3	Manchas aisladas	3	Apariciones	3
36-55%	2	Manchas localizadas	2	Laminar	2
> 56%	1	Completamente desnudo >10%	1	Surcos o cárcavas	1

* A, B, C, D, E, F; representan el % de importancia que se debe multiplicar por el puntaje otorgado en cada escala

Fuente: León 2006.

Fase de campo

Con las tablas para medir la degradación de pasturas se recorrieron cada potrero en 68 fincas elegidas aleatoriamente. Con el uso de estas tablas se pudo determinar los estados de degradación que manifiestan las pasturas, a través de los índices de degradación, en las 68 fincas del estudio.

Tipificación de los grupos de sistemas ganaderos

Con base a los índices de degradación se efectuó un agrupamiento de familias ganaderas el cual se empleó estadística multivariada (Escobar y Berdegué 1990) empleando la técnica de Análisis de Conglomerado (AC) lo que permitió verificar y agrupar fincas según sus índices de degradación. De esta manera se logró la tipificación de tipos de fincas o sistemas ganaderos. Se eligió cuatro diferentes tipos de sistemas, basado en el nivel de degradación de sus pasturas, considerando la selección desde una escala desde la menos degradada a una muy degradada. Se utilizó el dendograma como gráfico determinante para el agrupamiento.

Caracterización de los grupos de sistemas ganaderos

Una vez identificados los cuatro grupos de sistemas ganaderos, a través del análisis multivariado, estas fueron evaluadas como grupo, resaltando las características predominantes de cada grupo con respecto a sus niveles de degradación de sus pasturas para poder diferenciarlos entre los grupos formados. Se utilizaron estadística descriptiva, gráficos y tablas que detallan mejor estas características entre los grupos.

Evaluación física y química del suelo

Para la toma de muestras de suelo, se eligió un potrero de cada finca, posteriormente se realizó el recorrido aplicando el método de muestreo de suelos (zig-zag) y cada 20 metros aproximadamente, se tomó una submuestra de suelo, limpiando la superficie del terreno y depositándola en un balde (Figura 3); acumulando un total de 20 submuestras por tipo de sistema ganadero, que fueron tomadas entre 20 y 30 cm de profundidad. Luego de tener todas las submuestras en el balde se mezclaron homogéneamente y se tomó 1 kg aproximadamente, para luego codificarlo para su identificación. Las muestras previamente identificadas fueron enviadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía, en la Universidad Nacional Agraria de la Selva para

el análisis físico-químico de los suelos de los cuatro tipos de sistemas seleccionados con base a su nivel de degradación de sus pasturas.



Figura 3. Toma de submuestras de suelo en un transecto

Asimismo, en los parámetros físicos se evaluó la textura, densidad aparente y resistencia a la penetración (Figura 4). En los parámetros químicos se evaluará los macro y micronutrientes. Además, se incluirá la CIC (capacidad de intercambio catiónico), que resulten del análisis del laboratorio del suelo.



Figura 4. Evaluación para determinar la densidad aparente (A), y la evaluación de la compactación del suelo con ayuda del penetrómetro (B).

En cada finca seleccionada se realizó una caracterización del suelo de cada finca, con la ayuda de una calicata y la ficha técnica de campo de levantamiento de suelo. (Figura 5).



Figura 5. Evaluación del suelo a través de una calicata, en las cuatro fincas de estudio

Evaluación biológica del suelo

Para determinar la fertilidad biológica del suelo se aplicó la metodología propuesta para el muestreo de la macrofauna del suelo por el tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) (Anderson e Ingram 1993). El área de la unidad básica de muestreo es un monolito de 25 cm x 25 cm x 30 cm de profundidad, a lo largo de un transecto elegido al azar dentro del sistema ganadero de cada tipo de finca identificado (Figura 6).

Por cada sistema en estudio se tomó ocho muestras (monolitos) entre cada 10 metros del transecto. Cada monolito contiene cuatro estratos sucesivos (hojarasca, 0-10, 10-20 y 20-30 cm), tal como se describe en la Figura 7. Se colectó todas las lombrices considerándose como unidades a las propias lombrices y los huevos de lombrices.

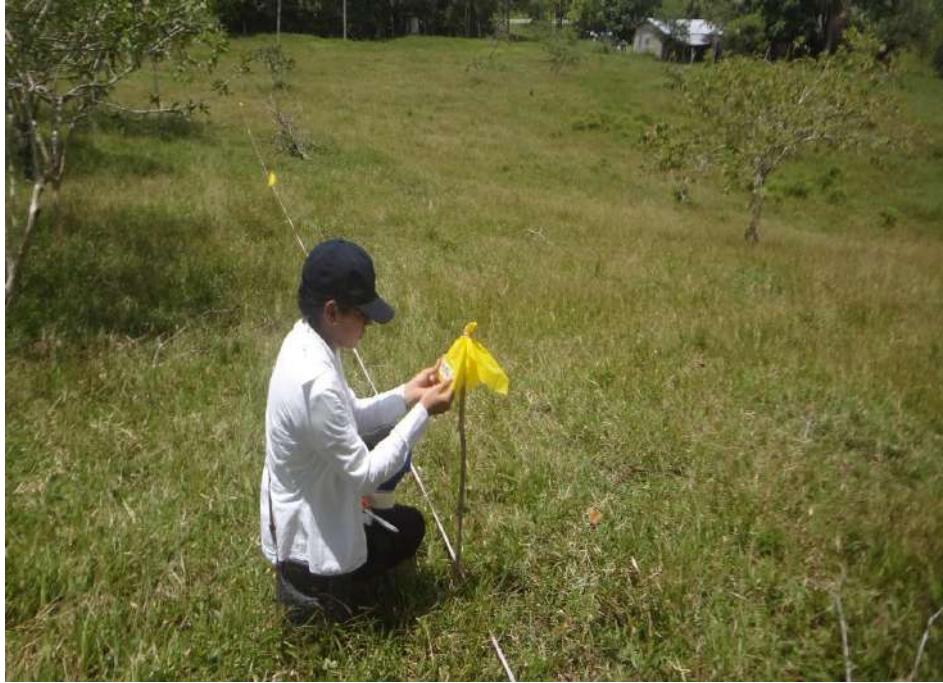


Figura 6. Marcación del transecto en cada finca seleccionada.

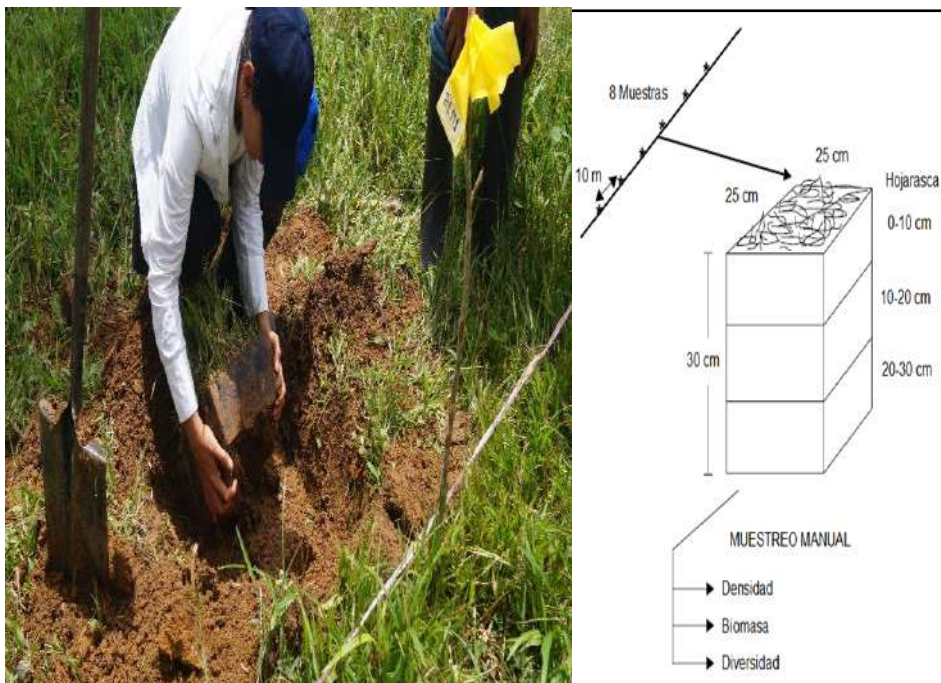


Figura 7. Estratos de evaluación.

La densidad se estimó cuantitativamente (número de lombrices. m^{-2}) y por estrato (hojarasca, 0-10, 10-20 y 20-30 cm), tal como se ilustra en la Figura 8. Dado que para cada muestreo se empleó un cuadrado de 25 cm de lado, lo que representa $1/16 \text{ m}^2$, los datos de cada punto de muestreo se multiplicaron por 16 para obtener las unidades de

número de individuos por m^2 (ind. m^{-2}), tanto por estrato, por monolito y por sistema (Correia y Oliveira 2000).



Figura 8. Colección de lombrices por estrato

La biomasa con la ayuda de una balanza analítica, se determinó mediante el pesado fresco de los individuos por estrato (hojarasca, 0-10, 10-20 y 20-30 cm) de cada monolito. posteriormente, se sumó la biomasa de lombrices de los cuatro estratos para obtener la biomasa total por monolito, y este dato lo podremos extrapolar a gramos por metro cuadrado (g/m^2), multiplicándolo por el factor 16. Se pesó en gramos de peso fresco

(g.m⁻²) primero por estrato y luego la sumatoria de estratos (8) para determinar el total de biomasa por sistema. Luego se comparó las biomásas entre los tipos de sistemas ganaderos evaluados.

Se logró identificar una sola especie de acuerdo con su clasificación taxonómica en las cuatro fincas ganaderas. Por lo que no se pudo determinar diversidad en esta evaluación.

Evaluación de la producción potencial del cultivo (Kg.Ha⁻¹)

Para determinar la producción potencial del cultivo, que en realidad corresponde al rendimiento de la pastura en materia seca por hectárea, se realizó un muestreo sistemático destructivo, aplicando el método del BOTANAL (Ibrahim et al. 2007) que consistió en trazar una recta imaginaria dentro del potrero de cada finca, llamado transecto, sobre la cual cada 50 metros se tomaron muestras con un marco de un metro cuadrado, teniendo cinco repeticiones (Figura 9) para determinar el promedio y su desviación estándar de la biomasa en materia verde expresada en Kg.Ha⁻¹.

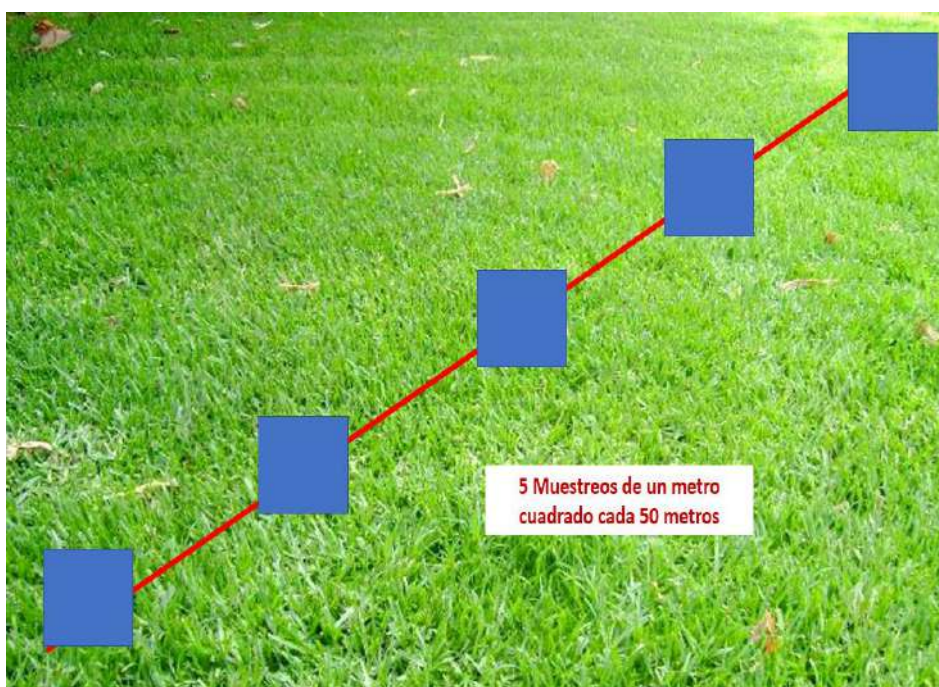


Figura 9. Método del botanal a través de un transecto con cinco muestras de evaluación.

Por lo tanto, en cada finca evaluada se tomaron cinco muestras con un marco de un metro cuadrado, cosechándose con una tijera podadora la biomasa aérea (herbácea) simulando el pastoreo a 5 cm sobre la superficie del metro cuadrado (Figura 10),

registrándose el peso como materia verde a la que se pesó con una balanza digital y/o tipo reloj de capacidad de 5 kg, logrando cinco repeticiones, de las cuales serán extrapoladas a Kg.Ha^{-1} .



Figura 10. Cosecha de la biomasa verde sobre el metro cuadrado

Para la determinación de la materia seca se ocupó las muestras frescas obtenidas de cada repetición y estas fueron puestas en bolsas de papel pesadas y codificadas, para ser llevadas al Laboratorio de Pastos de la Facultad de Zootecnia – UNAS. Fueron pesadas y puestas en una estufa a 70°C por tres días hasta lograr peso constante (Figura 11). Posteriormente fue pesada para determinar el porcentaje de materia seca, aplicando las fórmulas descritas a continuación, así como la extrapolación a toneladas por hectárea (Kg.Ha^{-1}).



Figura 11. Puesta de las muestras a la estufa

Fórmula 1. Determinación del porcentaje de la materia seca del pasto.

$$\% \text{ MS} = (\text{MS}_{\text{ submuestra}} / \text{MV}_{\text{ submuestra}}) * 100$$

Donde:

%MS: Porcentaje de la materia seca (valor en %)

MS submuestra: Peso de la submuestra seca (kg)

MV submuestra: Peso de la submuestra en verde (Kg)

100: Factor para obtener el porcentaje

Fórmula 2. Disponibilidad en materia seca (Kg.Ha⁻¹)

$$\text{Disponibilidad en materia seca (Kg.Ha}^{-1}\text{)} = \text{MVH}_{\text{ muestra}} * (\% \text{ MS}) * 10$$

Donde:

MVH muestra: Materia verde herbácea de la muestra expresada en g m⁻²

% MS: Porcentaje de la materia seca de la muestra.

10: Factor para convertir g m⁻² a kg.ha⁻¹

Por lo tanto, se determinó la disponibilidad de la pastura expresada en Kg.Ha⁻¹ tanto en materia verde como en materia seca para cada sistema evaluado.

Fase de gabinete

Construcción de indicadores de calidad del suelo

Tabla 4. Indicadores de calidad del suelo

CALIDAD DEL SUELO	INDICADORES	Unidad
FÍSICOS	Textura	lectura
	Resistencia a la penetración vertical del suelo	Psi (libras/pulgada ²)
	Densidad Aparente	g/cm ³
QUÍMICOS	Materia orgánica	%
	pH	lectura
	N	%
	P	ppm
	K	ppm
	CIC	Cmol/kg
	Suma de bases	Cmol/kg
	Saturación de aluminio	%
BIOLÓGICOS	Densidad lombrices	Individuos/m ²
	Producción primaria neta	kg MS/m ²
	Diversidad de especies vegetales	especies/ha

Adaptado de George (2006)

Con los datos tomados en campo, se generó los indicadores de calidad del suelo (Tabla 4) para los tres ámbitos (físico-químico-biológico). Se identifican tres indicadores para la calidad física del suelo; ocho indicadores para la calidad química del suelo y tres indicadores para la calidad biológica del suelo.

La validación de los indicadores en campo se realizó adecuando la metodología basada en Altieri (2002), Altieri y Nicholls (2002). Se empleó la Metodología propuesta por Araujo et al. (2008), en base a la percepción de los indicadores que muestran un nivel de estado. La metodología consiste en que para cada indicador fuera evaluado en una condición entre menos deseado a moderado, podría recibir valores entre 1 a 5; entre moderado y deseado, podría recibir valor entre 5 a 10. Es decir, 1 simboliza la peor condición, la menos deseada, mientras que 10 simboliza la condición ideal, la deseada. Ello conlleva a generar las siguientes Tablas:

Tabla 5. Indicadores de calidad del suelo relacionadas a las propiedades físicas.

CALIDAD	INDICADORES	VALOR	CARACTERÍSTICA
FÍSICOS	Textura	1	suelos arcillosos
		5	otros
		10	suelos francos
	Resistencia a la penetración vertical del suelo	1	> 300 psi: condición pobre
		5	200-300 psi: condición regular
		10	0-200 psi: Condición buena
	Densidad Aparente	1	> 1.6 g/cm ³
		5	1-1.5 g/cm ³
		10	< 1.0 g/cm ³ son ideales

Tabla 6. Indicadores de calidad del suelo relacionadas a las propiedades químicas del suelo.

CALIDAD	INDICADORES	VALOR	CARACTERÍSTICA
QUÍMICOS	Materia orgánica	1	0 - 2 %: bajo
		5	2-4 %: medio
		10	>4 %: alto
	pH	1	< 5: bajo
		5	5 - 6: medio
		10	6-7: óptimo
	N	1	0-0.1: bajo
		5	0.1-0.2: medio
		10	> 0.2: alto
	P	1	0-7: bajo
		5	7-14: medio
		10	> 14: alto
	K	1	0-100: bajo
		5	100-240: medio
		10	> 240: alto
	CIC	1	0-4: bajo
		5	4-8: moderadamente bajo
		10	> 8: moderado
	Bases cambiables	1	0-5: baja fertilidad
		5	5-12: fertilidad media
		10	> 12: fertilidad alta
	Saturación de aluminio	1	25-60: alto requiere encalado
		5	10- 25: óptimo
		10	0 - 10: baja

Tabla 7. Indicadores de calidad del suelo relacionadas a las propiedades biológicas.

CALIDAD	INDICADORES	VALOR	CARACTERÍSTICA
BIOLÓGICOS	Densidad lombrices	1	< 300: bajo
		5	300-600: medio
		10	> 600: alto
	Producción primaria neta	1	0.05-0.15: bajo
		5	0.15-0.30: medio
		10	> 0.3: alto
	Diversidad de especies vegetales	1	0-5: baja diversidad
		5	5-15: media diversidad
		10	> 15: alta diversidad

Propuestas de mejora

Con base a los resultados de los indicadores de calidad del suelo encontradas en las cuatro fincas que representan los cuatro tipos de sistemas de producción ganadera, se propusieron algunas propuestas técnicas que tienden a mejorar las características propias del suelo tanto físicas, químicas como biológicas. Para cada tipo de sistema que se identificó fueron generadas distintas propuestas técnicas basados en su realidad. Las propuestas fueron descritas por componente y mostradas mediante Tablas.

3.2.2.3. Análisis estadísticos

Para el diagnóstico de fincas

Muestreo aleatorio simple

Para el cálculo del tamaño de muestra se determinó por medio de la siguiente ecuación (Cochran 1996):

$$n = \frac{Z^2 pqN}{(N - 1)E^2 + Z^2 pq}$$

Donde:

N: es el tamaño de la población (429 fincas)

Z: nivel de confianza 95%

E: error muestral deseado 10%

p: 0,3 (varianza de acierto preencuesta: fincas con más de tres potreros)

q: 0,7 (varianza de error preencuesta: fincas que no tienen más de tres potreros)

n: tamaño de la muestra (68 fincas)

Se tuvo un tamaño muestral de 68 fincas con un nivel de confianza del 95% y un nivel de error del 10%.

Análisis multivariado para la tipificación de fincas

El análisis estadístico consistió en la aplicación de técnicas de estadística multivariada. La definición de los grupos (tipologías de fincas) se realizó mediante un Análisis de Conglomerados. Las variables cualitativas se analizaron a través de Tablas de Contingencia, y las variables cuantitativas con Tablas de Pruebas T de Student. El software empleado fue el Infostat Versión 2020 (Di Rienzo et al. 2020).

Se incluye estadística descriptiva para representar con mayor detalle la caracterización de los tipos de fincas.

Para determinar diferencias entre tipos de sistemas

Para el análisis de las variables dependientes, como densidad y biomasa de lombrices y los tenores fisicoquímicos del suelo.

Para ello se define la variable independiente:

- Tipos de sistemas

El modelo estadístico fue un diseño completamente al azar, según el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Es la variable bajo consideración;

μ = Media total;

S_i = Efecto del i-ésimo tipo de sistema;

E_{ijk} = término experimental del error.

Se utilizó la prueba de media DGC para determinar diferencias significativas entre los tipos de sistemas. El software empleado fue el Infostat Versión 2020 (Di Rienzo et al. 2020).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Tipificación de los sistemas de producción ganadera en base al nivel de degradación de sus pasturas en cuatro distritos de la provincia de Leoncio Prado

4.1.1. Tipificación de los sistemas de producción ganadera

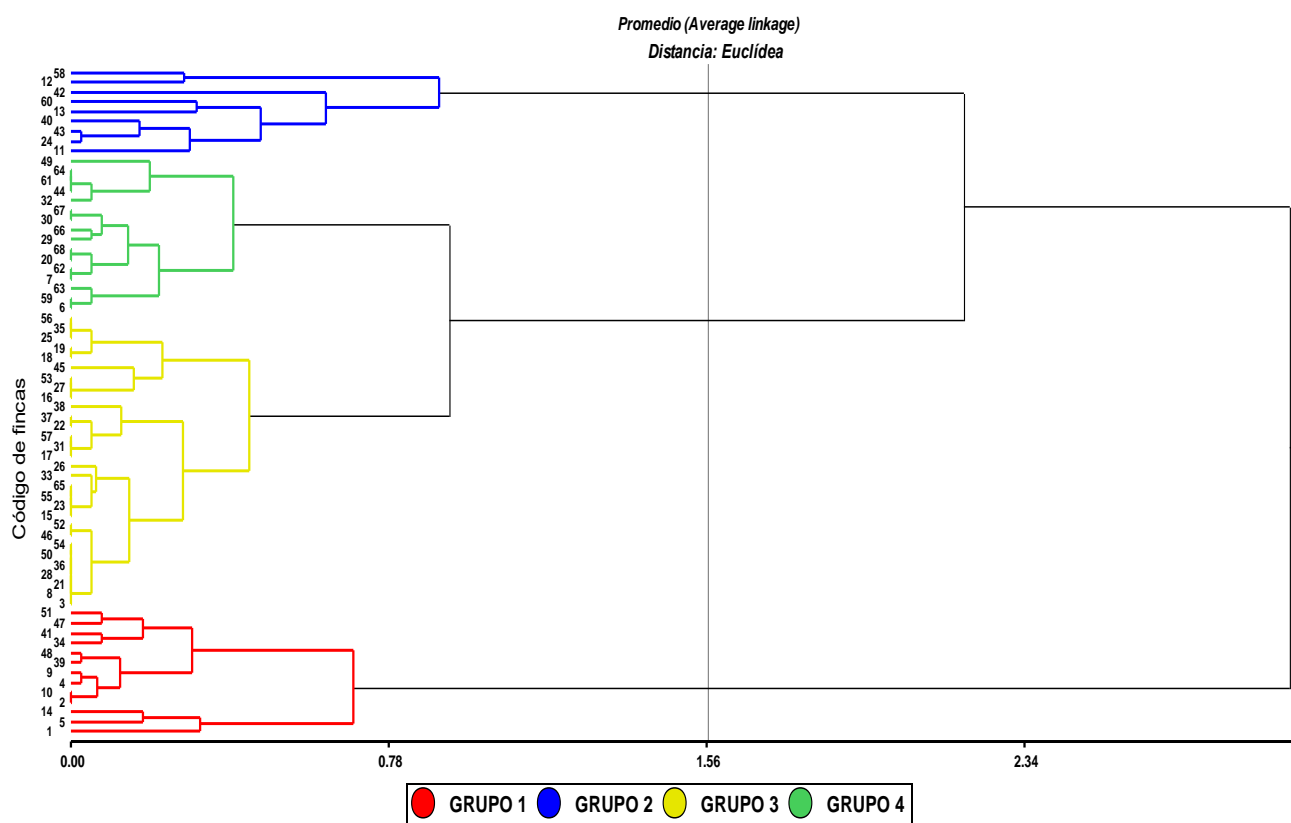


Figura 12. Dendrograma de agrupamiento de las 68 fincas evaluadas con base a los niveles de degradación de sus pasturas.

La Figura 12 detalla el dendrograma donde se representa la formación de cuatro grupos estadísticamente diferenciados, para lo cual se realizó un análisis de conglomerados o agrupamiento con las 68 fincas seleccionadas al azar, con

base a los índices de degradación calculados, tanto para las pasturas naturales y las mejoradas. Se estandarizaron estas variables para su procesamiento. El agrupamiento se realizó utilizando la distancia Euclídea por el método Promedio (Average Linkage), logrando obtener una alta correlación cofenética (0,96).

Se realizó la tipificación de las fincas sobre la base de los índices de degradación de sus pasturas, sugeridas por León (2006), de un total de 68 fincas elegidas aleatoriamente, aplicando estadística multivariada, específicamente el análisis de conglomerado, con el método del promedio (Average Linkage) y distancia de Euclídea, lográndose determinar cuatro grupos claramente diferenciados. Este método sugerido por Pardos et al. (1999); Macedo et al. (2003); Rapey et al. 2001 y Paz et al. (2003), permite definir grupos diferenciados, donde el análisis para su caracterización es mucho más sencillo.

El primer grupo (color rojo) está formado por 13 fincas, mientras que el segundo grupo (color azul) está formado por 9 fincas, el tercer grupo (color amarillo) está conformado por 30 fincas y, por último, el cuarto grupo (color verde) conformado por 16 fincas.

La Figura 13 describe los porcentajes que representa cada grupo conformado.

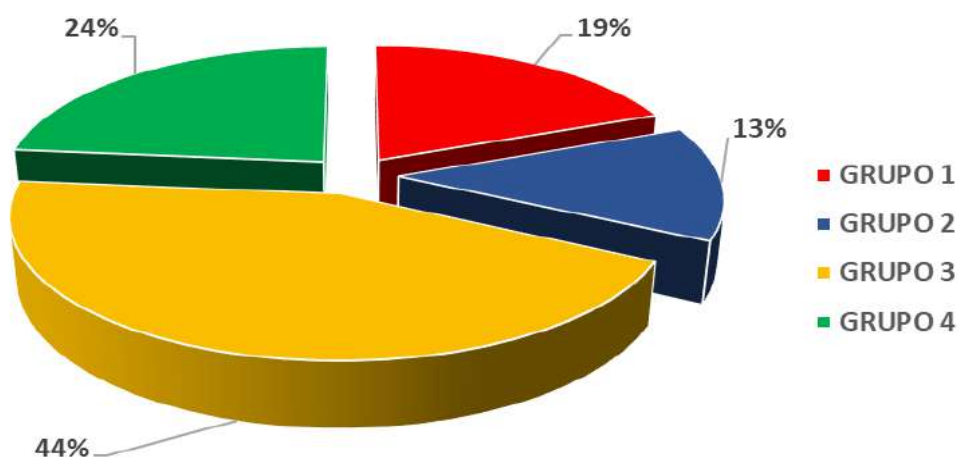


Figura 13. Porcentaje de fincas en los grupos conformados

4.1.2. Caracterización de los sistemas de producción ganadera

Cada grupo formado presenta características particulares. Dentro de las 68 fincas evaluadas, algunas presentaban como piso forrajero solo pasturas naturales; otras fincas presentaban solo pasturas mejoradas y algunas tanto pasturas naturales y mejoradas a la vez. Para cada tipo de pasturas se evaluaron tablas de degradación con seis indicadores que medían las características propias de la pastura y su cobertura. De ella se lograba obtener un índice de degradación, que para las pasturas naturales van desde 1 a 3 (degradación muy severa, severa y moderada) y para las pasturas mejoradas de 1 a 5 (degradación muy severa, severa, moderada, leve y nula).

De acuerdo con los niveles de degradación, medidos a través de los índices de degradación, fueron clasificados los grupos formados. La Tabla 8 y la Figura 14 muestran los índices de degradación para cada grupo y los niveles de degradación de las pasturas. Se puede observar que el grupo 1 de fincas, que representa el 19% de fincas tiene solo pasto mejorado, con un índice de 4,13 que la clasifica como una degradación leve. El grupo 2 con una representación del 13% de las fincas, presentan tanto pasto natural y pasto mejorada, es decir ambas pasturas; para la pastura natural presenta un índice medio de 2,42 que la clasifica como degradación severa, mientras que para la pastura mejorada que tiene presenta un índice de 4,10 que la clasifica como una degradación leve. El grupo 3 con 44% de las fincas evaluadas, presentan solo pastura natural, con un índice de 2,47 que la clasifica como degradación severa; y por último el grupo 4, que representa el 24% de las fincas presenta un índice de 1,57, que la clasifica como una pastura con una degradación muy severa.

Tabla 8. Medias de los índices de degradación de las pasturas evaluadas

GRUPO	% Fincas	PASTO NATURAL		PASTO MEJORADO	
		Promedio	Error estándar	Promedio	Error estándar
1	19			4,13	± 0,19
2	13	2,42	± 0,14	4,10	± 0,14
3	44	2,47	± 0,04		
4	24	1,57	± 0,05		

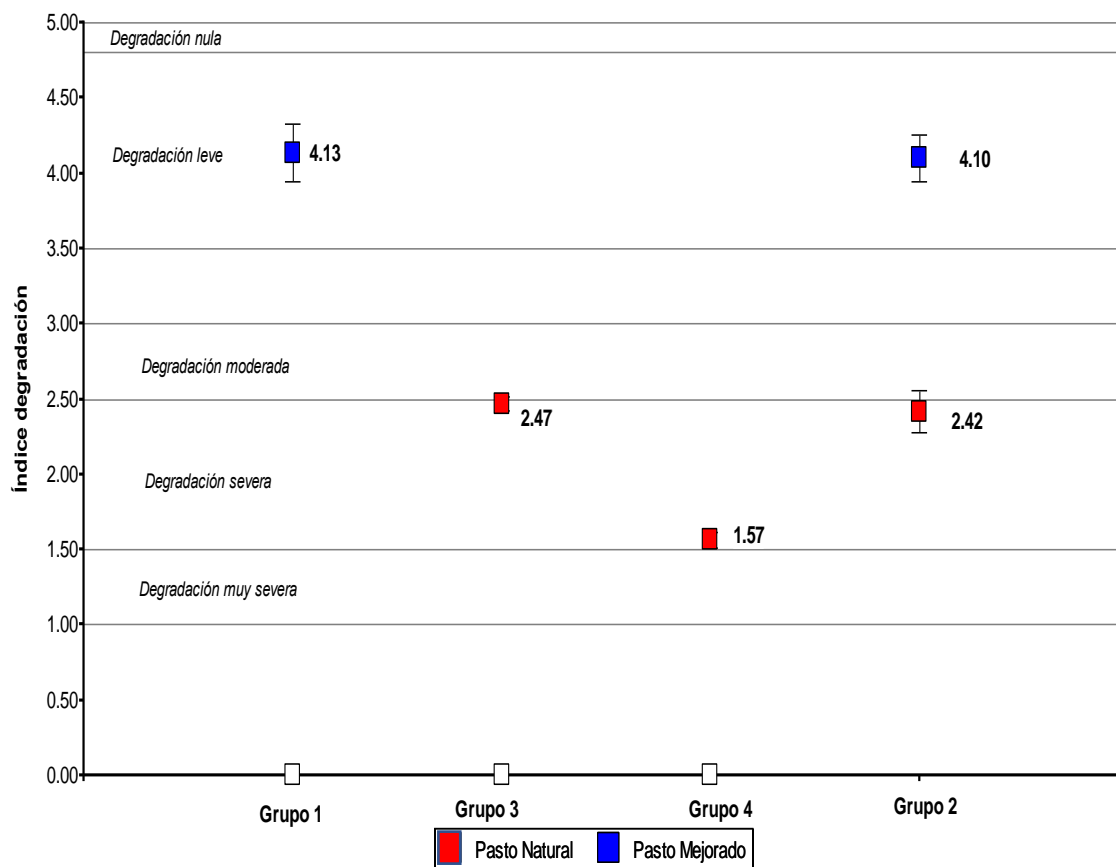


Figura 14. Nivel de degradación, según los índices de degradación.

Como puede verse en la Tabla 9 al analizar las fincas que cuentan con pasto natural (grupos 2, 3 y 4) se evidencia una clara diferenciación estadística entre ellas ($p\text{-valor} < 0,0001$) con respecto al índice de degradación, resultando que las fincas de los grupos 2 y 3 se comportan estadísticamente similar con una diferencia hacia las fincas del grupo 4.

Los grupos identificados y diferenciados estadísticamente se basan sobre los índices de degradación que lograron tener. La Tabla 8 y Figura 14, describen los índices de degradación tanto del pasto natural como del pasto mejorado. Según León (2006) al aplicar los seis indicadores para cada tipo de pasto se determina su condición actual; resultando que para el grupo 1, presentan una degradación leve; el grupo 2 presentan una degradación entre leve y severa; el grupo 3 presentan una degradación severa y, por último, el grupo 4 presentan una degradación muy severa.

Cuando se analiza el resultado con las pasturas mejoradas, en la misma Tabla 9, no se logra determinar ninguna diferencia estadística ($p\text{-valor}=0,7453$) entre las fincas de los grupos 1 y 2, que son las que cuentan con pasto mejorado en sus

potreros. En otras palabras, estas fincas presentan una misma condición de nivel de degradación.

Tabla 9. Análisis de varianza entre los grupos conformados según los índices de degradación para los dos tipos de pasturas

GRUPOS	Pasto natural	Pasto mejorado
Grupo 1		4,13 ± 0,10 A
Grupo 2	2,42 ± 0,08 A	4,10 ± 0,11 A
Grupo 3	2,47 ± 0,04 A	
Grupo 4	1,57 ± 0,06 B	
p-valor = <0,0001 **		p-valor = 0,7453 NS

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas, según prueba DGC (5%).

La Tabla 10 muestra las seis características evaluadas en las pasturas naturales. Los grupos que tienen pasturas naturales son las fincas de los grupos 2, 3 y 4. Cada variable fue evaluado con base a tres niveles, siendo 1 la menos deseada y 3 la más deseada.

Tabla 10. Características evaluadas de las pasturas naturales en los grupos

CARACTERÍSTICAS	Nivel	Variable	Inferencia Chi- cuadrado	Grupo 2 (13%)	Grupo 3 (44%)	Grupo 4 (24%)
Especies palatables	1	< 19%	0,0001 **	11,11%	0,00%	50,00%
	2	30-59%		44,44%	53,33%	50,00%
	3	> 60%		44,44%	46,67%	0,00%
Condición	1	Muy malo	<0,0001 **	11,11%	3,33%	62,50%
	2	Malo		11,11%	40,00%	25,00%
	3	Regular		77,78%	56,67%	12,50%
Disponibilidad	1	Muy pobre	<0,0001 **	11,11%	0,00%	73,33%
	2	Pobre		22,22%	46,68%	26,67%
	3	Media		66,67%	53,33%	0,00%
Malezas	1	16-35%	0,0072 *	44,44%	46,67%	100,00%
	2	6-15%		44,44%	40,00%	0,00%
	3	<5%		11,11%	13,33%	0,00%
Suelo desnudo	1	Manchas aisladas	0,0009 *	0,00%	0,00%	31,25%
	2	Espacios pequeños		33,33%	30,00%	50,00%
	3	No hay 0%		66,67%	70,00%	18,75%
Erosión	1	Surcos o cárcavas	0,0035 *	0,00%	3,33%	6,25%
	2	Laminar		44,44%	10,00%	62,50%
	3	Apariciones		55,56%	86,67%	31,25%

** = Altamente significativo; * = significativo

Con respecto a las especies palatables presentes en la pastura, se observa que las fincas del grupo 2 un 89% de ellas presentan especies palatables desde 30 a mayores de 60% en sus potreros, similar situación resulta para las fincas del grupo 3, que cuenta con el 100.0% de especies palatables entre 30 a mayores de 60%; mientras que para las fincas del grupo 4, el 50% de ellas presentan menos del 19% de especies palatables en sus potreros. De igual manera para la condición de la pastura, mientras que para las fincas de los grupos 2 y 3 el 77,78% y el 56,67% de ellas respectivamente presentan una condición regular; sin embargo, para las fincas del grupo 4 el 73,33% de ellas presentan una disponibilidad muy pobre. Se observa, asimismo, que existe una clara influencia de los niveles de cada característica sobre los grupos conformados (p -valor $<0,05$).

La Tabla 10 describe que los grupos 2, 3 y 4 son las que presentan pasturas naturales y dentro de ellas las del grupo 4, presentan solo un 50% de especies palatables (en sus potreros), además de tener una condición muy mala, una pobre disponibilidad, una alta presencia de malezas, un tercio del área son suelos desnudos y un alto porcentaje de erosión laminar. Estas características lo describen Pérez (2014), Brown (2003) y Padilla y Sardiñas (2003) como características de pasturas degradadas.

Con respecto a las características de las pasturas mejoradas solo dos grupos de fincas fueron evaluadas (grupo 1 y 2). La Tabla 11, muestra las seis características con cinco niveles de evaluación, siendo 1 el menos deseado y 5 el más deseado. De acuerdo con ello, se tiene que para las especies palatables, en las fincas del grupo 1 el 76.9% de ellas presentan desde 51 a más de 81% de especies palatables, similar comportamiento se observa en las fincas del grupo 2, donde el 100% de las fincas logran presentar desde 51 a más del 81% de especies palatables en los potreros. La siguiente característica Condición, presentan los mayores porcentajes de fincas con las mejores condiciones, tal es así para las fincas del grupo 1, el 61.5% de ellos, presentan una condición buena mientras que el 44% de las fincas del grupo 2 presentan también esta condición buena. El resto de las variables presentan similar comportamiento, logrando determinar que no existe una evidencia estadística de la influencia de los niveles de las variables sobre los dos grupos evaluados (p -valor $>0,05$) que presentan pastos mejorados.

Tabla 11. Características evaluadas de las pasturas mejoradas en los grupos

CARACTERÍSTICAS	Nivel	Variable	Inferencia Chi- cuadrado	Grupo 1 (19%)	Grupo 2 (13%)
Especies palatables	1	< 19%	0,2941 NS	7,69%	0,00%
	2	20-40%		0,00%	0,00%
	3	41-50%		15,38%	0,00%
	4	51-80%		23,08%	55,56%
	5	>81%		53,85%	44,44%
Condición	1	Muy malo	0,6003 NS	0,00%	0,00%
	2	Malo		7,69%	0,00%
	3	Regular		15,38%	33,33%
	4	Bueno		61,54%	44,44%
	5	Excelente		15,38%	22,22%
Disponibilidad	1	Muy pobre	0,7804 NS	0,00%	0,00%
	2	Pobre		7,69%	0,00%
	3	Media		38,46%	44,44%
	4	Alta		23,08%	33,33%
	5	Muy alta		30,77%	22,22%
Malezas	1	>56%	0,3523 NS	7,69%	0,00%
	2	36-56%		7,69%	0,00%
	3	16-35%		7,69%	33,33%
	4	6-15%		30,77%	44,44%
	5	<5%		46,77%	22,22%
Suelo desnudo	1	Completamente desnudo	0,4358 NS	0,00%	0,00%
	2	Manchas localizadas		0,00%	0,00%
	3	Manchas aisladas		0,00%	11,11%
	4	Espacios pequeños		53,85%	55,56%
	5	No hay 0%		46,15%	33,33%
Erosión	1	Surcos o cárcavas	0,6368 NS	0,00%	0,00%
	2	Laminar		0,00%	0,00%
	3	Apariciones		7,69%	11,11%
	4	Indicios		38,46%	55,56%
	5	No		53,85%	33,33%

NS = No significativo

Para el grupo de fincas con pasturas mejoradas lo describe la Tabla 11, que indica que solo los grupos 1 y 2 tienen en sus fincas dichas pasturas. Aunque bajo los mismos indicadores estos presentan una degradación leve, es importante indicar lo

señalado por Holmann et al (2004), que no solo las pasturas nativas son propensas a la degradación, sino también las pasturas mejoradas, y que muchas de ellas se degradan en solo 5 a 7 años de ser establecidas.

La degradación encontrada en los sistemas de producción ganadera es que todas (el 100%) de ellas se encuentran en un nivel de degradación (desde leve a muy severa). Solo el 19% de las fincas en estudio presentan una degradación leve; un 13% en una degradación entre leve y severa; un 44% de fincas presentan una degradación severa y el 24% una degradación muy severa. Estos niveles de degradación coinciden con los trabajos mostrados por León (2006) en Centroamérica y por el CIAT (2005), el cual indica que el 60% de las pasturas existentes en América tropical se encuentran degradadas. Lo dramático de esta situación, lo señala Betancourt et al (2007), que la degradación de las pasturas significa una oferta de menor calidad nutritiva de la biomasa comestible para el ganado, originando menor conversión de carne y leche, y por ende de menor ingreso a la finca.

4.2. Determinación de las características físicas, químicas y biológicas del suelo en cuatro sistemas ganaderos según su nivel de degradación de sus pasturas

4.2.1. Selección de fincas de los grupos identificados

Se seleccionaron cuatro fincas para la evaluación de sus pastos que corresponden a cada grupo identificado como resultado de la tipificación (Tabla 12).

Luego de determinar los grupos estadísticamente diferenciados, se inició la selección de una finca por grupo. La Tabla 12 describe las cuatro fincas que corresponden a las características de cada grupo, es así como la finca 1 corresponde al grupo 1 y así sucesivamente.

Tabla 12. Fincas seleccionadas por grupo conformado

Fincas	Nivel de degradación	Sector	Distrito	Propietario	Ubicación geográfica (UTM 18 L)	
					X	Y
Finca 1	Leve	Santa Lucía	Pueblo Nuevo	Félix Tuanama Zootecnia-UNAS	387216	8990009
Finca 2	Leve y severa	7 de Octubre	Pucayacu	Floirán Espinoza Agüero	376370	9027071
Finca 3	Severa	La Victoria	José Crespo y Castillo	Edgar Alejo Nieves	378784	9019365
Finca 4	Muy severa	La Victoria	José Crespo y Castillo	Gloria Trinidad Torres	378959	9017782

4.2.2. Características de las fincas seleccionadas

La Tabla 13 describe algunas características que las diferencian, en los rubros de características sociales, técnicas, de recursos con que cuentan y sobre todo del nivel de degradación de sus pasturas. La principal característica que las diferencian es el nivel de degradación de sus pasturas y la complejidad de su sistema silvopastoril. La finca del grupo 1, es aquella que presenta una degradación leve, tiene pasturas mejoradas, tiene árboles dispersos en los potreros, así como cercas vivas, a comparación de la finca del grupo 4, que presenta una degradación muy severa de sus pasturas, no presenta árboles dispersos en sus potreros ni cercas vivas. Las fincas de los grupos 2 y 3 se encuentran en el nivel intermedio. Es decir, la escala de complejidad del sistema silvopastoril inicia con la finca del grupo 1 siendo esta un sistema más complejo (refiriéndonos a más componentes del sistema de pastos) y termina con la finca del grupo 4, que es un sistema menos complejo, debido a que solo posee pastura natural sin presencia de árboles ni cercas vivas.

Otra característica importante es que la actividad ganadera va pasando de generación en generación, no reciben asistencia técnica y solo se basa en su autoaprendizaje.

Tabla 13. Algunas características de las fincas seleccionadas de cada grupo tipificado

	Características	Finca 1	Finca 2	Finca 3	Finca 4
Sociales	Edad del productor (años)	60	32	34	43
	Nivel de educación	Secundaria	Secundaria	Superior	Superior
	Años dedicado a la ganadería	25	18	27	40
	Aprendió la ganadería	Por si solo	De sus padres	De sus padres	De sus padres
	Pertenece a una organización	No	No	No	No
	Recibe asistencia técnica	No	No	No	No
Técnicas	Fertiliza sus pasturas	No	No	No	No
	Infraestructura ganadera	Si	No	Si	Si
	Número de potreros	12	2	1	7
	Cercas vivas	Si	No	Si	No
Recursos	Área total (ha)	50.0	35	160	146
	Área pasto mejorado (ha)	30	7	0	0
	Área Pasto Natural (ha)	0	10	60	90
	Área de cultivos agrícolas (ha)	0	10	40	41
	Área de conservación (ha)	20	8	60	15
	Árboles dispersos en potreros	Si	Si	Si	No
	Total, de animales	18	16	136	49
	Naciente de agua	No	Si	No	No
Nivel de Degradación	Leve	Leve y severa	Severa	Muy severa	

La Tabla 13 describe las características sociales, técnicas y de sus propios recursos entre las fincas. Podemos ver que para las características sociales se describe la edad del productor y como se observa, el ganadero de la finca 1 tiene 60 años, mientras que para las fincas 2 y 3 son jóvenes (32 y 34 años) y de la finca 4 es de una edad media.

Los años de experiencia corresponden de similar comportamiento, mayores años de experiencia se encuentran en las fincas 3 y 4, mientras que los productores de las fincas 1 y 2 presentan menores años de experiencia. Según Ochoa (2015) un importante capital de los productores corresponde a la experiencia de la actividad que realiza y corresponde a innumerables acciones de pruebas de acierto y error.

La edad y la experiencia en la actividad fue descrito como una fortaleza por Macera et al. (1999), porque permite una retroalimentación de sus propias actividades.

El nivel de educación si permite resaltar que las fincas 3 y 4 tienen estudios superiores y los de las fincas 1 y 2 solo estudios de secundaria. Según Acosta et al. (2014) la educación recibida o formada influye de manera directa cuando tienen dificultades para comprender los procesos ecológicos y las estrategias adaptativas sugeridas. Esto influye directamente sobre el nivel de sostenibilidad (Altieri 2002).

Todas las fincas no reciben atención técnica ni pertenecen a una organización de ganaderos. Esta situación explica que sus conocimientos sobre ganadería o han sido transmitidas por sus padres o por sí mismos. Según Casasola et al. (2006) y Prabhu (2000) las condiciones técnicas obedecen a su propio interés del ganadero y las limitantes que cuentan.

Con respecto al tamaño de finca y área de pastos son las fincas 3 y 4 las de mayor área (160 y 146 ha respectivamente), mientras que las fincas 1 y 2 tienen menores áreas (50.0 y 35 ha respectivamente). El tamaño de finca, según Daniel (2000) permite al productor tener ventajas sobre los recursos naturales, basados en Altieri (2002) que la sostenibilidad ecológica se sostiene en mantener el capital natural constante.

Sin embargo, estos resultados no coinciden con los resultados obtenidos en la finca 3 y 4, que cuentan con mayores años de experiencia, pero presentan mayor degradación en sus pasturas, además, pese a tener estudios superiores y grandes extensiones en área de terreno no han podido lograr sostenibilidad en sus parcelas.

A continuación, se muestran los detalles de cada finca seleccionada.

Finca 1

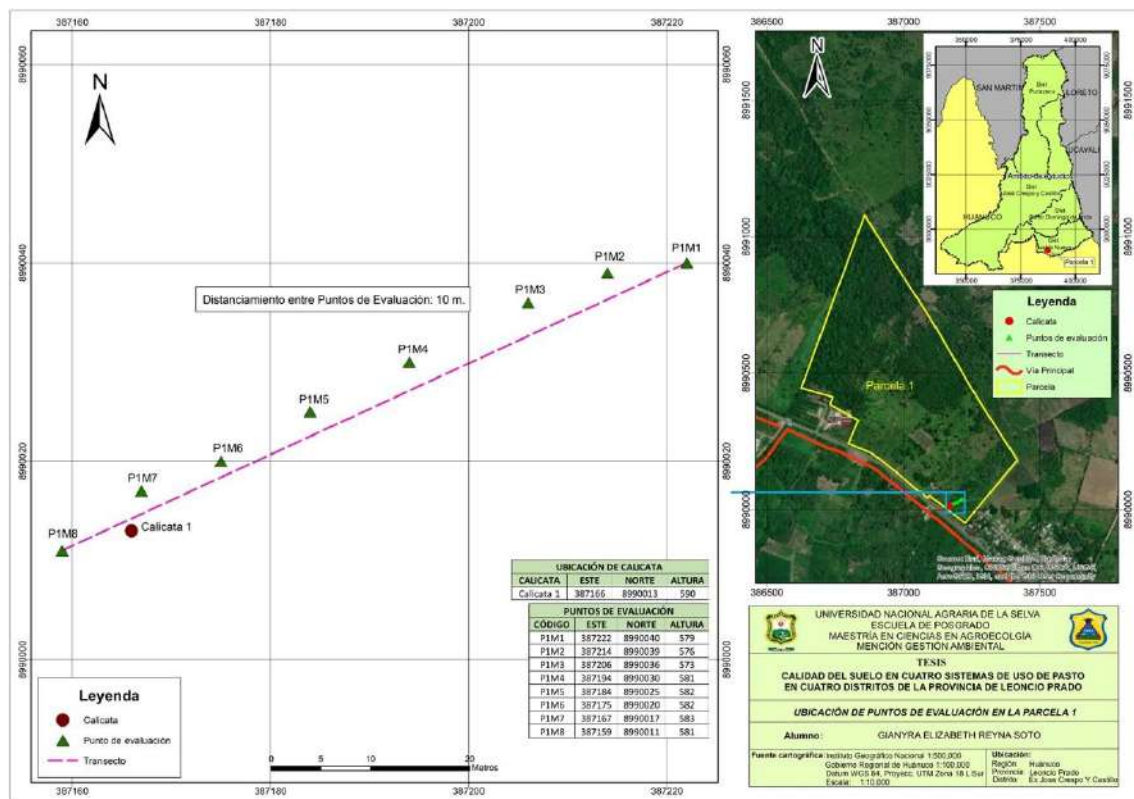


Figura 15. Mapa de ubicación de la Finca 1



Figura 16. Características de la Finca 1. Pasturas mejoradas con degradación leve, con árboles dispersos en potreros (capirona) y cerco vivo

La Finca 1, ubicado en Tulumayo (Distrito de Pueblo Nuevo) está establecido con pasto mejorado *Echinochloa polystachya* HITCH (pasto Camerún o pasto alemán) y una leguminosa *Pueraria phaseoloides* (kudzu). Sobre esta pastura se encuentra una plantación de árboles de *Calycophyllum spruceanum* Benth (capirona) establecida el 2006 (hace 15 años) a una densidad de 6 x 9 metros, haciendo una densidad total de 185 árboles por hectárea. Esta especie arbórea tiene un diámetro a la altura de pecho (Dap) de 2,3 cm en promedio y una altura media de 13,9 metros. La característica arbórea de esta especie es su raleado dosel que permite el ingreso de la radiación fotosintéticamente activa (RAFA) en un 43,7% en promedio; el área que cubre el dosel en una hectárea representa en 22,7% (Tabla 14).

Este potrero está rodeado o cercado con *Erytrina* sp (cerca viva o erytrina) Que produce sombra y sirve como cortina rompevientos. La hectárea que ocupa este potrero existe 400 metros lineales de cerco vivo, existiendo en cada 100 metros (lo evaluado) 70 especies, haciendo un total de 280 árboles de Erytrina. Esta especie establecida también hace 15 años, presenta un diámetro a la altura de pecho de 13,52 cm en promedio y una altura media de 5,27 m. su dosel genera un sombreado del 19,4% de una hectárea. Con respecto a la radiación solar, inhibe su ingreso y solo es aprovechable un 19,6% del total (ver Tabla 14).

Tabla 14. Características dasométricas de las especies arbóreas de la Finca 1

ESPECIE	Dap (cm)	Altura (m)	Radiación solar (umol.m ² /seg)			Área dosel (m ²)		
			Interno	Externo	radiación útil (%)	individual	hectárea	dosel/ha (%)
Capirona	20,3	13,9	330,2	755,0	43,7	12,28	2 271,8	22,7
Erytrina	13,52	5,27	247,8	1 262,4	19,6	6,94	1 943,2	19,4

Finca 2

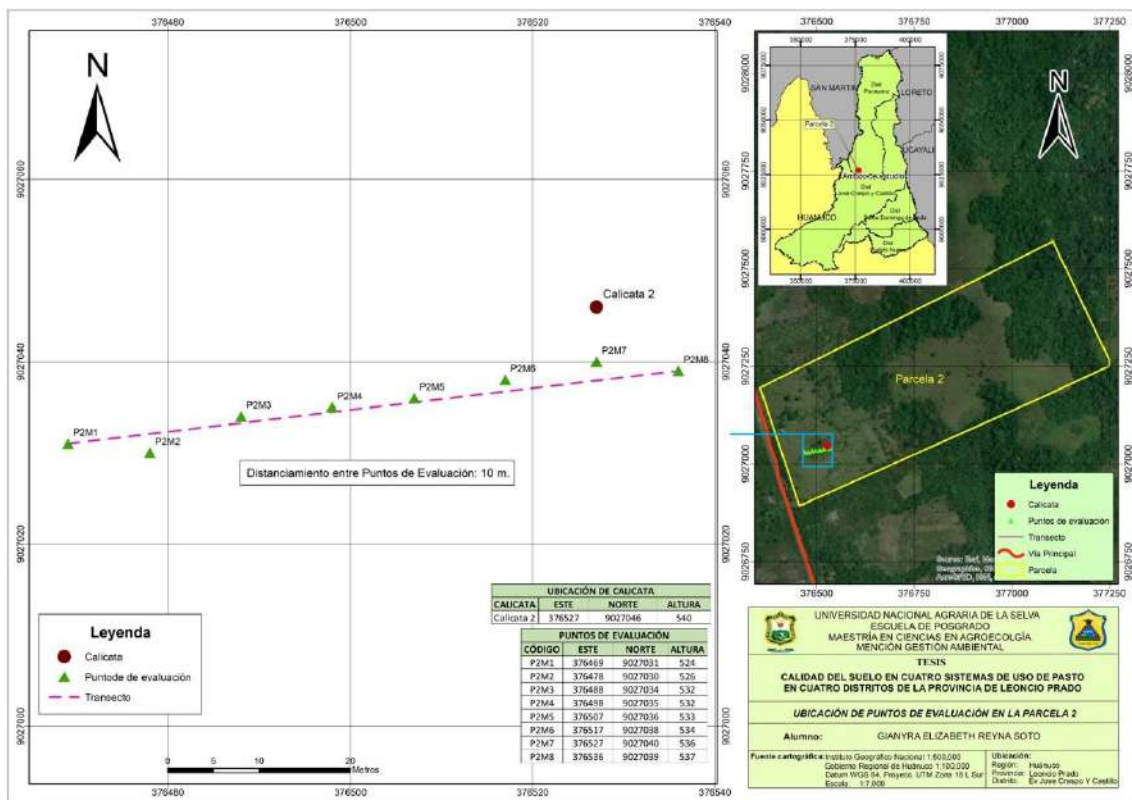


Figura 17. Mapa de ubicación de la Finca 2.



Figura 18. Características de la Finca 2. Pasturas naturales con degradación leve-severa, árboles dispersos (guayaba) y sin cercas vivas.

La Finca 2, ubicada en “7 de octubre”, Distrito de Pucayacu, está establecida con *Axonopus compressus* (pasto natural) asociados con una leguminosa *Calopogonium muconoides* (calopogonium). La característica importante de este sistema de producción ganadera es la distribución de árboles de regeneración natural con especies de *Psidium guajava* L. (guayaba) distribuidas aleatoriamente haciendo en una hectárea, una densidad de 107 árboles frutales. Lo interesante de este sistema es que agrupa 11 especies distintas de árboles, siendo principalmente la guayaba, pero existen especies de cítricos como *Citrus sinensis* (naranja), *Citrus jambhiri* L. (limón rugoso), *Citrus aurantiifolia* (limón dulce) y otras especies no frutales, como *Vochysia vismiifolia* (cedrillo), *Ceiba insignis* (Huimba colorada), *Schefflera morototoni* (aceite caspi), *Alseis peruviana* (palo blanco), *Ocotea sp.* (palta moena), *Terminalia oblonga* (yacushapana) y *Miconia sp.* (miconia). Los detalles dasométricos se describen en la Tabla 15.



Figura 19. Evaluación de las especies arbóreas de la Finca 2

Tabla 15. Características dasométricas de la guayaba de la Finca 2

ESPECIE	Dap (cm)	Altura (m)	Radiación solar ($\mu\text{mol.m}^2/\text{seg}$)			Área dosel (m^2)		
			Interno	Externo	% radiación útil	individual	hectárea	% de dosel/ha
Guayaba	9,87	7,11	423,52	984,61	43,0	12,45	1 332,15	13,3

Finca 3

La Finca 3, ubicada en “La Victoria”, distrito de José Crespo y Castillo, está establecida con *Axonopus compressus* (pasto natural) asociados con una leguminosa *Calopogonium muconoides* (calopogonium).

La característica principal de este sistema de producción ganadera es que la hectárea evaluada solo posee una cerca viva multiestrato de múltiples especies. Para su evaluación se consideraron tres segmentos denominados “parches”, y en cuyos segmentos se encontraron 21 especies distintas (Tabla 16).

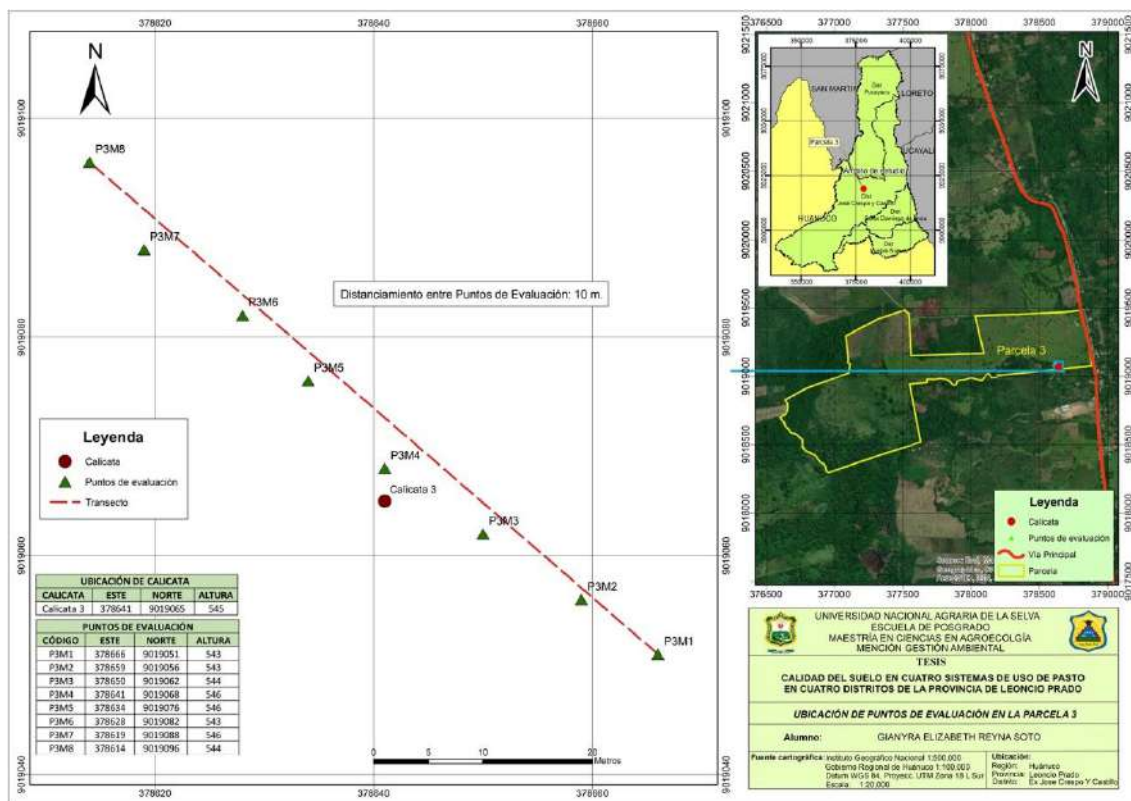


Figura 20. Mapa de ubicación de la Finca 3.



Figura 21. Características de la Finca 3. Pasturas naturales con degradación severa y con cercas vivas.

Tabla 16. Especies arbustivas encontradas en la cerca viva de la Finca 3

PARCHE N° 1		
NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA
<i>Guarea sp.</i>	Requia	Meliaceae
<i>Cecropia sp.</i>	Cetico	Cecropiaceae
<i>Inga sp.</i>	Poroto Shimbillo	Fabaceae
<i>Ocotea sp.</i>	Palta Moena	Lauraceae
<i>Couma macrocarpa</i>	Leche Caspi	Apocynaceae
<i>Erythrina sp.</i>	Erythrina	Fabaceae
<i>Ficus sp.</i>	Renaco	Moraceae
<i>Virola sp.</i>	Cumala	Myristicaceae
<i>Miconia sp.</i>	Rifari	Melastomatacea
<i>Rubiacea sp.</i>	Rubiacie	Rubiaceae
<i>Xanthosoma sp.</i>	Patiquina	Araceae
<i>Polystichum sp</i>	Helechos	Dryopteridaceae
<i>Bauhinia sp.</i>	Pata de buey	Fabaceae
PARCHE N° 2		
NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA
<i>Cecropia sp.</i>	Cetico	Cecropiaceae
<i>Miconia barbeyana Cogniaux</i>	Paliperro	Melastomatacea
<i>Brosimum parinarioides Ducke</i>	Caucho masha	Moraceae
<i>Ocotea sp.</i>	Palta Moena	Lauraceae
<i>Rubiacea sp.</i>	Rubiacie	Rubiaceae
<i>Piper aduncum</i>	Matico	Piperacea

PARCHE N° 3		
NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA
<i>Mauritia flexuosa</i>	Aguaje	Areceaceae
<i>Brosimum parinarioides</i> <i>Ducke.</i>	Caucho masha	Moraceae
<i>Triplaris sp.</i>	Tangarana	Fabaceae
<i>Guarea sp.</i>	Requia	Meliaceae
<i>Inga sp.</i>	Shimbillo	Fabaceae
<i>Bauhinia sp.</i>	Pata de buey	Fabaceae
<i>Polystichum sp</i>	Helechos	Dryopteridaceae
<i>Ficus sp.</i>	Ficus	Moraceae
<i>Albizia sp.</i>	Pashaquillo	Fabaceae
<i>Gynerium sagittatum</i> <i>(Aublet)</i>	Caña brava	Poaceae



Figura 22. Imágenes de los tres parches de evaluación

El detalle dasométricos de los parches se describen en la Tabla 17. Es importante indicar que este cerco multiestrato tiene una alta cobertura de sombra llegando a ingresar hasta un 4% de radiación fotosintéticamente activa como máximo, eso indica que debido a la poca radiación que ingresa no prospera el pasto, debido a que el pasto natural no es tolerante a altas densidades de sombra.

Tabla 17. Características dasométricas de los parches de la Finca 3

Parche	Longitud (m)	Altura (m)	Ancho (m)	Radiación solar ($\text{umol.m}^2/\text{seg}$)		
				Interno	Externo	% radiación util
Parche 1	22,90	7,85	7,34	21,67	722,67	3,0
Parche 2	20,10	6,34	9,24	16,33	1796,33	0,9
Parche 3	39,22	6,67	7,33	64,00	1591,67	4,0

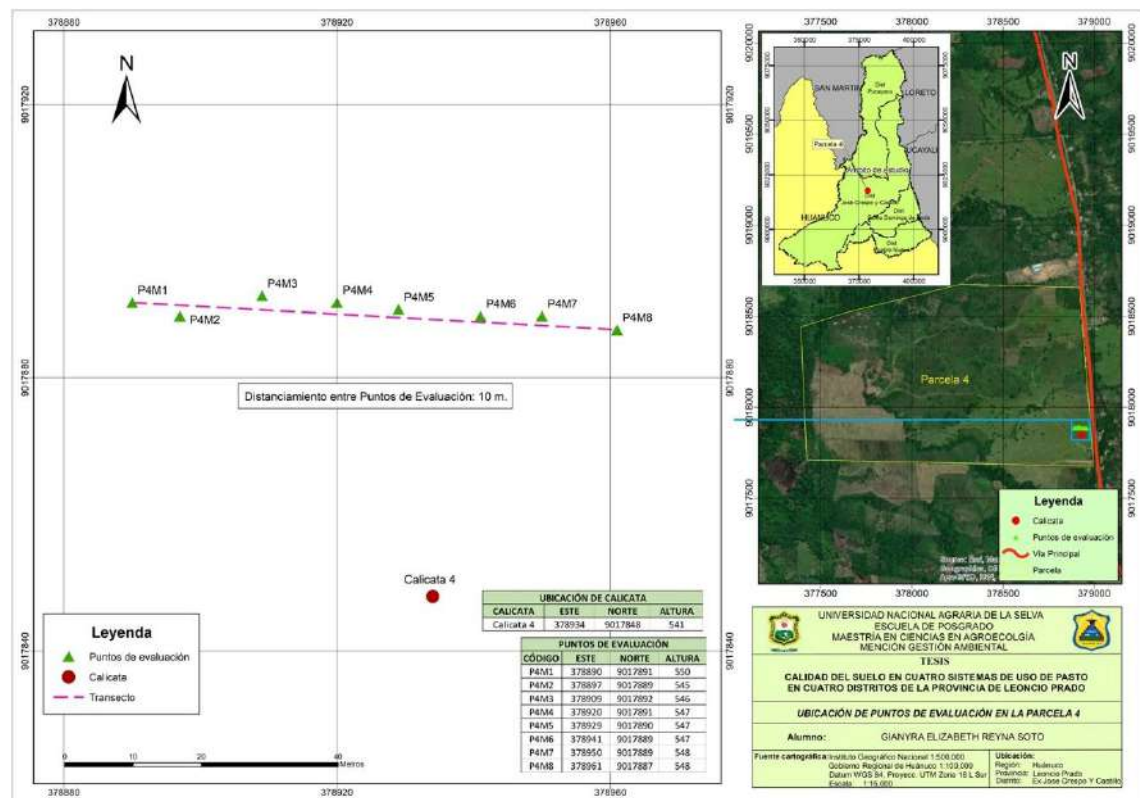
Finca 4**Figura 23.** Mapa de ubicación de la Finca 4



Figura 24. Características de la Finca 4. Pasturas naturales con degradación muy severa.

La Finca 4, ubicada en “La Victoria”, distrito de José Crespo y Castillo, es el sistema de producción ganadera que solo posee *A. compressus* (pasto natural). Su condición de degradación es muy severa. En la hectárea de evaluación no existe ninguna especie arbórea ni arbustiva.

Es importante indicar que cada finca de acuerdo a su nivel de degradación integra sus componentes bióticos, de tal manera que ante un escenario de degradación muy severa (finca 4), presenta solo pasto forrajero en su sistema (sistema de monocultivo convencional); ante un escenario de degradación severa (finca 3) presenta pasto asociado (gramínea y leguminosa) y cercos vivos; ante un escenario de degradación entre leve y severa (finca 2) presentan un pasto asociado, y árboles dispersos de regeneración natural (frutales de guayaba); y ante una degradación leve (finca 1) presentan una asociación de pasto mejorado con leguminosa, árboles dispersos (capirona) y cercos vivos (*erythrina*). Por ello, la condición de la degradación de las pasturas depende directamente de los componentes bióticos que la integran, tal como lo indican Sánchez y Reinés (2001), que los sistemas silvopastoriles (pasturas y especies arbóreas juntas) proporcionan condiciones edafoclimáticas que favorecen la calidad del suelo, con respecto a los pastos de monocultivos.

4.2.3. Evaluación de biomasa de los pastos

La disponibilidad de pasto se evaluó con respecto a la biomasa disponible, medido en g/m^2 y extrapolado a kg/ha . La Tabla 18, detalla los resultados encontrados. La finca 1 que presenta una degradación leve, con pasturas mejoradas presenta la mayor disponibilidad de biomasa que las otras fincas, estadísticamente diferenciadas ($p\text{-valor} < 0,05$); mientras que las fincas 2 y 3 presentan una disponibilidad de biomasa estadísticamente similar, siendo estas las que presentan una degradación leve y severa.

Tabla 18. Pesos medios de biomasa (g/m^2 y kg/ha) y porcentaje medio de materia seca (%MS) de pasto en las fincas evaluadas (media \pm error estándar)

FINCAS	Biomasa		%MS
	(g/m^2)	kg/ha	
FINCA 1	165,0 \pm 13,65 A	1 650,0 \pm 136,5 A	22,3 \pm 0,44 A
FINCA 2	104,4 \pm 13,19 B	1 043,8 \pm 131,9 B	23,0 \pm 0,58 A
FINCA 3	101,2 \pm 12,75 B	1 011,4 \pm 127,4 B	24,0 \pm 0,76 A
FINCA 4	53,3 \pm 7,38 C	533,6 \pm 73,8 C	23,9 \pm 0,46 A
P-valor	0,0013	0,0013	0,2095

Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias estadísticas según prueba de medias DGC al 5% de nivel de significancia.

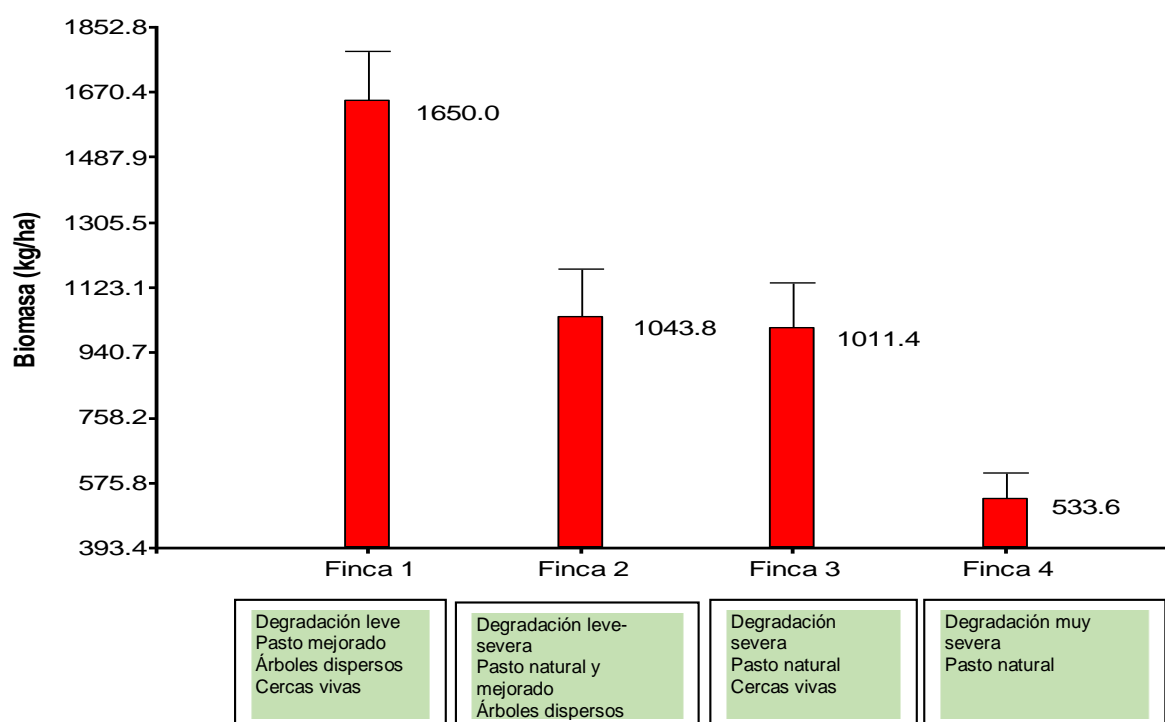


Figura 25. Disponibilidad de biomasa (kg/ha) de pasto en las fincas evaluadas.

Mientras que la Finca 4, es la finca que presenta una degradación muy severa y de allí su baja disponibilidad de biomasa, que resulta menor de todas las fincas. Por otra parte, el porcentaje de materia seca es similar entre las pasturas de las fincas, es decir, no se logra identificar diferencias estadísticas (p -valor $>0,05$) entre ellas. En la Figura 25 se describe gráficamente estas diferencias de la disponibilidad de pastos en los cuatros sistemas de producción ganadera.

La Tabla 18 describe la biomasa encontrada en cada finca. Como se observa, la biomasa encontrada está directamente relacionada con el nivel de degradación de las pasturas, por ende, la finca 1 presenta mayor biomasa (1 650 kg MS/ha) que la finca 4 (533.6 kgMS/ha). Esto coincide con lo indicado por Azevedo et al. (2000) y Decaens et al. (2001), que indica que los pastos mejorados producen mayor biomasa por unidad de terreno, sin embargo, Staff (2014) que señala que la reducción de la biomasa, la pérdida de la calidad nutricional del mismo, la reducción de la capacidad de carga animal por unidad de superficie son efectos de la degradación.

Por otra parte, Acosta et al. (2014) y Alonso (2003) describen claramente las condiciones favorables para asegurar la sostenibilidad de los sistemas ganaderos recayendo principalmente en la condición de la pastura que se refleja con su disponibilidad (materia seca por hectárea). La producción de la biomasa de fincas con pasturas degradadas, según Betancourt et al. (2007), es mínima, del cual soporta menos de una unidad animal por hectárea. Esta situación genera un impacto en lo económico y social. Asimismo, según Días-Filho (2007) bajo esta condición, la relación suelo pasto se encuentra limitada por los escasos nutrientes disponibles en el suelo.

Con respecto a la finca 1, 2 y 3, que presentan mayor diversidad de plantas en sus pasturas, se confirma lo mencionado por Harvey (2003) e Ibrahim et al. (2007), cuando señalan que la diversidad existente en una finca promueve el reciclaje de nutrientes y la acumulación de materia orgánica en el suelo, estimulando una mayor producción de biomasa en sus pasturas.

Los resultados encontrados sobre la condición de la degradación de las pasturas y su producción con la biomasa coinciden con lo mencionado por León (2006), en la que señala que existe una estrecha relación del nivel de degradación de la pastura con la disponibilidad de biomasa de esta.

4.2.4. Características físicas del suelo de los sistemas de producción ganadero

Caracterización del suelo

Esta caracterización se realizó mediante la construcción de una calicata en los cuatro suelos de producción ganadera. Los resultados se muestran en las figuras 26 al 29.

Temperatura y compactación del suelo

La temperatura evaluada resultó de dos profundidades (15 y 30 cm) teniendo como repetición cada monolito de evaluación (8 monolitos por sistema). Por otra parte, la compactación se realizó con el penetrómetro cuya unidad está expresada en libras por pulgada al cuadrado (psi en sus siglas en inglés). Los resultados se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Temperatura de suelo a dos profundidades y compactación del suelo

FINCA	Nivel de degradación de pasturas	Temperatura del suelo (°C)						Compactación (psi)		
		15 cm			30 cm					
Finca 1	Leve	25,79	± 0,37	B	25,01	± 0,09	C	187,75	± 4,42	B
Finca 2	Leve-severa	26,03	± 0,27	B	25,98	± 0,12	B	200,00	± 9,94	B
Finca 3	Severa	26,16	± 0,63	B	25,73	± 0,31	B	186,00	± 9,35	B
Finca 4	Muy severa	27,83	± 0,48	A	27,11	± 0,14	A	229,13	± 14,59	A
p-valor		0,0156			<0,0001			0,0211		

Letras diferentes en las mismas columnas indican diferencias estadísticas, según prueba DGC al 5 % de nivel de significancia

La Tabla 12 indica que con respecto a la temperatura de suelo a dos profundidades de evaluación (15 y 30 cm) muestran diferencias estadísticas (p-valor <0,05) entre los sistemas de producción ganadera evaluados, mostrando mayor temperatura en las dos profundidades. La Finca 4, que representa al sistema con un nivel muy severa de degradación de sus pasturas, sin presencia de árboles, a comparación de las otras fincas. Solo a 30 cm de profundidad. La Finca 1, que representa al sistema con una leve degradación de pasturas y con presencia de árboles (capirona a una densidad de 6 x 9 metros, presenta la menor temperatura que el resto de las fincas.

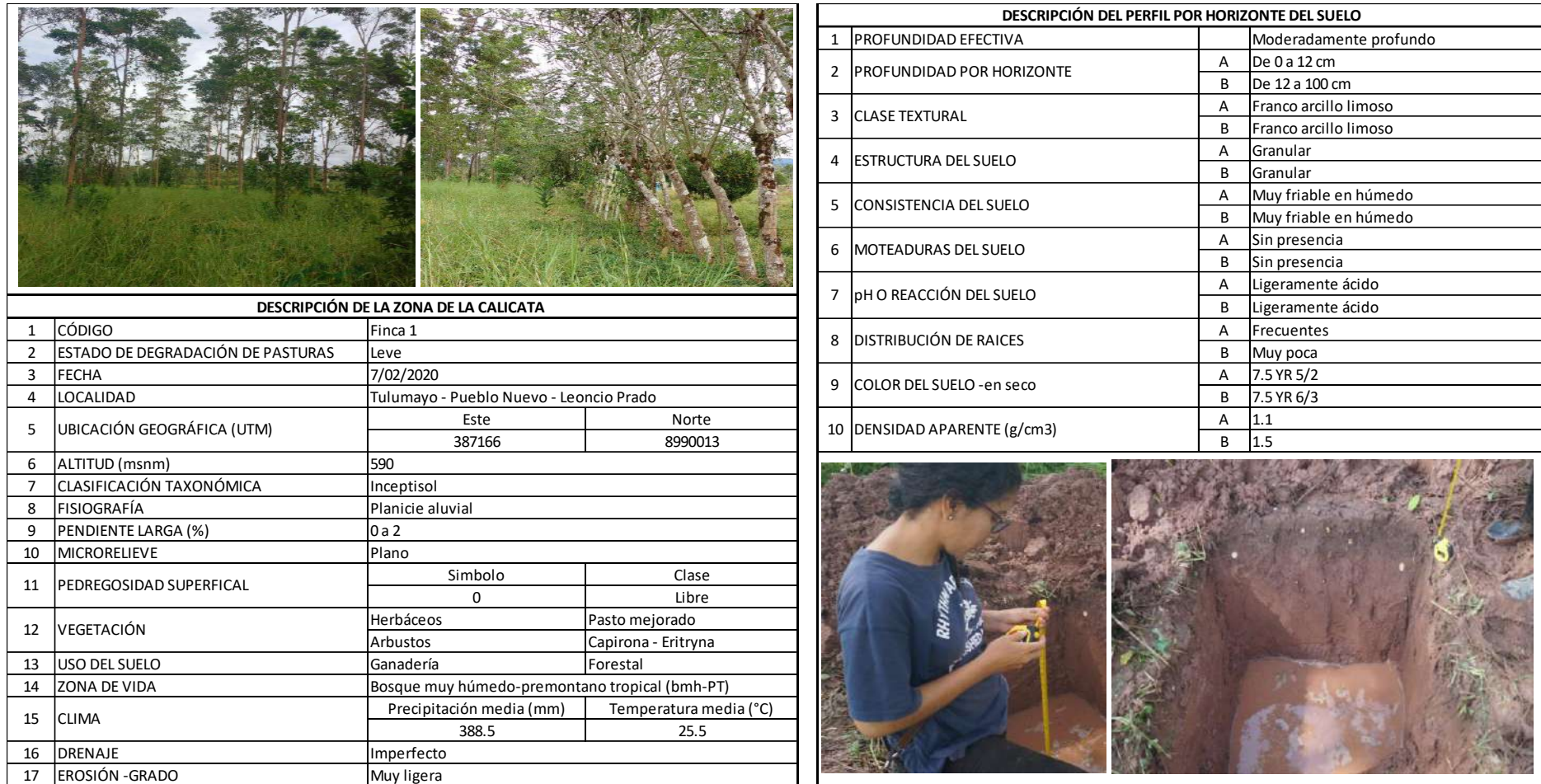


Figura 26. Descripción de perfil de una calicata en el suelo de la Finca 1, con leve degradación de pastos, ubicado en Tulumayo.

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE LA CALICATA			DESCRIPCIÓN DEL PERFIL POR HORIZONTE DEL SUELO		
1	CÓDIGO	Finca 2	1	PROFUNDIDAD EFECTIVA	Poco profundo
2	ESTADO DE DEGRADACIÓN DE PASTURAS	Leve - severa	2	PROFUNDIDAD POR HORIZONTE	A De 0 a 19 cm
3	FECHA	22/01/2020			B De 19 a 43 cm
4	LOCALIDAD	7 de Octubre - Pucayacu - Leoncio Prado			BA De 43 a 63 cm
5	UBICACIÓN GEOGRÁFICA (UTM)	Este Norte 376527 9027046			C De 63 a 112 cm
6	ALTITUD (msnm)	540	3	CLASE TEXTURAL	A Franca
7	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	Inceptisol			B Franco arcilloso
8	FISIOGRAFÍA	Colina baja			BA Franca
9	PENDIENTE LARGA (%)	8 a 15			C Arcillosa
10	MICRORELIEVE	Ondulado suave	4	ESTRUCTURA DEL SUELO	A Granular
11	PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL	Símbolo Clase 0 Libre			B Granular
12	VEGETACIÓN	Herbáceos Pasto natural Arbustos Guayaba			BA Granular
13	USO DEL SUELO	Pastoreo extensivo Frutal			C Granular
14	ZONA DE VIDA	Bosque muy húmedo-premontano tropical (bmh-PT)	5	CONSISTENCIA DEL SUELO	A Friable en húmedo
15	CLIMA	Precipitación media (mm) Temperatura media (°C) 538.9 26.1			B Friable en húmedo
16	DRENAJE	Moderado			BA Friable en húmedo
17	EROSIÓN -GRADO	Muy ligera			C Friable en húmedo
6	pH O REACCIÓN DEL SUELO	A Fuertemente ácido	7	DISTRIBUCIÓN DE RAICES	A Frecuentes
		B Fuertemente ácido			B Frecuentes
		BA Fuertemente ácido			BA Poca
		C Fuertemente ácido			C Muy poca
8	COLOR DEL SUELO -en seco	A 10 YR 6/6	9	DENSIDAD APARENTE (g/cm3)	A 1.4
		B 10 YR 8/4			B 1.3
		BA 7.5 YR 5/6			BA 1.5
		C 7.5 YR 5/8			C 1.5

Figura 27. Descripción de perfil de una calicata en el suelo de la Finca 2, con leve-severa degradación de pastos, ubicado en 7 de octubre, Pucayacu.





 		DESCRIPCIÓN DEL PERFIL POR HORIZONTE DEL SUELO	
1	PROFUNDIDAD EFECTIVA		Moderadamente profundo
2	PROFUNDIDAD POR HORIZONTE	A	De 0 a 22 cm
		B1	De 22 a 54 cm
		B2	De 54 a 98 cm
3	CLASE TEXTURAL	A	Franca
		B1	Franco arcilloso
		B2	Franco arcilloso arenoso
4	ESTRUCTURA DEL SUELO	A	Granular
		B1	Granular
		B2	Granular
5	CONSISTENCIA DEL SUELO	A	Muy friable en húmedo
		B1	Muy friable en húmedo
		B2	Muy friable en húmedo
6	MOTEAJURAS DEL SUELO	A	Ninguna
		B1	Muchas
		B2	Muchas
7	pH O REACCIÓN DEL SUELO	A	Fuertemente ácido
		B1	Fuertemente ácido
		B2	Fuertemente ácido
8	DISTRIBUCIÓN DE RAICES	A	Frecuentes
		B1	Poca
		B2	poca
9	COLOR DEL SUELO -en seco	A	10 YR 6/4
		B1	7.5 YR 6/6
		B2	7.5 YR 6/4
10	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	A	1.4
		B1	1.6
		B2	1.7
		 	
DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE LA CALICATA			
1	CÓDIGO	Finca 3	
2	ESTADO DE DEGRADACIÓN DE PASTURAS	Severa	
3	FECHA	29/01/2020	
4	LOCALIDAD	La Victoria - Aucayacu - Leoncio Prado	
5	UBICACIÓN GEOGRÁFICA (UTM)	Este	Norte
		378641	9019065
6	ALTITUD (msnm)	545	
7	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	Inceptisol	
8	FISIOGRAFÍA	Planicie coluvio-aluvial	
9	PENDIENTE LARGA (%)	0 a 2	
10	MICRORELIEVE	Plano	
11	PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL	Simbolo	Clase
		0	Libre
12	VEGETACIÓN	Herbáceos	Pasto natural
		Arbustos	Cercos vivos
13	USO DEL SUELO	Pastoreo extensivo	
14	ZONA DE VIDA	Bosque muy húmedo-premontano tropical (bmh-PT)	
15	CLIMA	Precipitación media (mm)	Temperatura media (°C)
		538.9	26.1
16	DRENAJE	Bueno	
17	EROSIÓN -GRADO	Muy ligera	

Figura 28. Descripción de perfil de una calicata en el suelo de la Finca 3, con severa degradación de pastos, ubicado en La Victoria, José Crespo y Castillo.

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE LA CALICATA			
1	CÓDIGO	Finca 4	
2	ESTADO DE DEGRADACIÓN DE PASTURAS	Muy severa	
3	FECHA	24/01/2020	
4	LOCALIDAD	La Victoria - Aucayacu - Leoncio Prado	
5	UBICACIÓN GEOGRÁFICA (UTM)	Este	Norte
		378934	9017848
6	ALTITUD (msnm)	540	
7	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	Inceptisol	
8	FISIOGRAFÍA	Planicie aluvial	
9	PENDIENTE LARGA (%)	0 a 2	
10	MICRORELIEVE	Plano	
11	PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL	Símbolo	Clase
		0	Libre
12	VEGETACIÓN	Herbáceos	Pasto natural
13	USO DEL SUELO	Pastoreo extensivo	
14	ZONA DE VIDA	Bosque muy húmedo-premontano tropical (bmh-PT)	
15	CLIMA	Precipitación media (mm)	Temperatura media (°C)
		538.9	26.1
16	DRENAJE	Imperfecto	
17	EROSIÓN -GRADO	Muy ligera	

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL POR HORIZONTE DEL SUELO		
1	PROFUNDIDAD EFECTIVA	Moderadamente profundo
2	PROFUNDIDAD POR HORIZONTE	A De 0 a 19 cm
		C De 19 a 56 cm
3	CLASE TEXTURAL	A Franca
		C Franco arcilloso
4	ESTRUCTURA DEL SUELO	A Granular
		C Granular
5	CONSISTENCIA DEL SUELO	A Friable en húmedo
		C Muy friable en húmedo
6	MOTEAJURAS DEL SUELO	A Abundantes
		C Muchas
7	pH O REACCIÓN DEL SUELO	A Ligeramente ácido
		C Ligeramente ácido
8	DISTRIBUCIÓN DE RAICES	A Frecuentes
		C Pocas
9	COLOR DEL SUELO -en seco	A 10 YR 5/4
		C 10 YR 5/4
10	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	A 1.3
		C 1.5




Figura 29. Descripción de perfil de una calicata en el suelo de la Finca 4, con muy severa degradación de pastos, ubicado en La Victoria, José Crespo y Castillo.

Con respecto a la compactación del suelo (Figura 30) que describe la mismo Tabla, el sistema de la finca 4 presentó mayor compactación que el resto de las fincas, estadísticamente diferenciados (p -valor $<0,05$). Los valores de compactación se ajustan a un rango de valoración. Ese rango considera que una compactación entre 0 a 200 psi, una condición buena para el cultivo; mientras que los valores entre 200 y 300 psi, una condición regular para el cultivo, por presentar una compactación moderada.

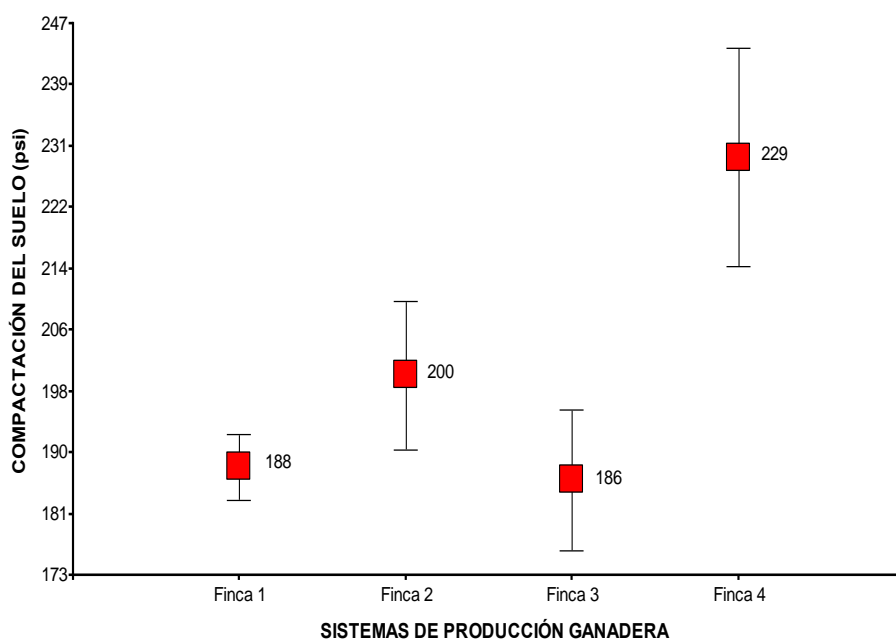


Figura 30. Nivel de compactación de los suelos en los cuatro sistemas de producción ganadera

Por otra parte, la Tabla 19 describe la temperatura del suelo a 15 y a 30 cm de profundidad, así como la resistencia a la penetración vertical del suelo que determina el grado de compactación. Como puede observarse la finca 4, que solo cuenta con pastos y ninguna especie arbórea, presenta mayor temperatura y compactación a comparación de la finca 1 que cuenta con una asociación de pastos y árboles dispersos y cercos vivos.

Estos resultados coinciden con lo indicado por Feijoó et al. (2004) donde señala que la presencia de árboles en pasturas genera temperaturas favorables en el suelo para la actividad biológica del suelo, lo cual significa mayor mineralización y disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Asimismo, Herrick y Jones (2002) señala que el nivel de compactación del suelo limita el crecimiento radicular y la cantidad de agua y aire disponible para los pastos, del cual se desprende la baja producción de biomasa. Tanto Harvey (2003) como Alonso (2003) indican que una de las ventajas de la presencia de árboles en potreros es la reducción de la compactación del suelo, es por lo que la Finca 1, presenta menor compactación del suelo.

Asimismo, el nivel de compactación es un factor determinante de la característica física del suelo, según Alegre (2014) porque promueve la escorrentía, generando pérdidas de nutrientes según Altieri (2002). Inclusive, tal como afirman Carter (2002) y Dexter (2004), el nivel de compactación es un indicador de calidad del suelo.

Los trabajos de George (2006) y Gonzáles et al. (2001), demostraron que el nivel de compactación de suelo está directamente relacionado a la calidad del suelo, por lo que fueron considerados como indicadores de calidad del suelo. Los resultados logrados coinciden con los trabajos realizados por los mencionados autores en cuanto a la existencia de una relación directa sobre el nivel de compactación del suelo con la calidad del suelo. Se logró determinar mayor compactación del suelo en fincas con características de suelos degradados, a lo mismo encontrado en el presente trabajo.

La mayor temperatura del suelo logrado en la finca 4, es descrita como una característica de los sistemas ganaderos convencionales por Ibrahim et al. (2007), mientras que para fincas con estrategias silvopastoriles promueven una menor temperatura del suelo asegurando el hábitat de la macrofauna del suelo y evitando mayor pérdida de agua del suelo.

Las figuras de 26 al 29 describen las características de las calicatas realizadas en cada suelo, además se complementa con los siguientes resultados:

FINCA 1:

- **H_zA:** de 0 a 12cm, de color 7.5YR 5/2 (marrón) en húmedo, estructura granular, textura franco arcillo arenoso, con pH ligeramente ácido (6.41), con contenido medio de materia orgánica y nitrógeno (2.12% y 0.11%), con contenido medio de fósforo (10.09 ppm), contenido medio de potasio (155.42 ppm), con una CIC bajo (8.15 Cmol(+)/Kg).
- **H_zB:** de 12 a 100 cm, de color 7.5YR 6/3 (marrón claro) en húmedo, estructura granular, textura franco arcillo arenoso, con pH neutro (6.82), con contenido bajo de materia orgánica y nitrógeno (2.12% y 0.11%), con contenido medio de fósforo (7.53 ppm), contenido bajo de potasio (50.43 ppm), con una CIC bajo (6.33 Cmol(+)/Kg).

FINCA 2:

- **H_zA:** de 0 a 19 cm, de color 10YR 6/6 (amarillo parduzco) en húmedo, estructura granular, textura franca, con pH fuertemente ácido (4.83), con contenido medio de materia orgánica y nitrógeno (3.28% y 0.16%), con contenido medio de fósforo (13.71 ppm), contenido medio de potasio (123.2 ppm), con una CICe moderadamente bajo (5.16 Cmol(+)/Kg). Con fertilidad baja. Requieren encalado.
- **H_zB:** de 19 a 43 cm, de color 10YR 8/4 (marrón muy pálido) en húmedo, estructura granular, textura franco arcilloso, con pH fuertemente ácido (4.91), con contenido bajo de materia orgánica y nitrógeno (1.84% y 0.09%), con contenido medio de fósforo (12.5 ppm), contenido bajo de potasio (91.96 ppm), con una CICe moderado (8.05 Cmol(+)/Kg). Con fertilidad baja. Requieren encalado.
- **H_zBA:** de 43 a 63 cm, de color 7.5YR 5/6 (marrón oscuro) en húmedo, estructura granular, textura franca, con pH fuertemente ácido (4.93), con contenido bajo de materia orgánica y nitrógeno

(1.49% y 0.07%), con contenido medio de fósforo (8.33 ppm), contenido bajo de potasio (60.22 ppm), con una CICE moderado (9.86 Cmol(+)/Kg). Con fertilidad media. Requieren encalado.

- **H_zC:** de 63 a 112 cm, de color 7.5YR 5/8 (marrón oscuro) en húmedo, estructura granular, textura arcillosa, con pH fuertemente ácido (4.51), con contenido bajo de materia orgánica y nitrógeno (1.01% y 0.05%), con contenido bajo de fósforo (6.81 ppm), contenido bajo de potasio (50.73 ppm), con una CICE moderado (8.14 Cmol(+)/Kg). Con fertilidad baja. Requieren encalado.

Finca 3:

- **H_zA:** de 0 a 22 cm, de color 10YR 6/4 (marrón amarillento claro) en húmedo, estructura granular, textura franca, con pH fuertemente ácido (4.83), con contenido medio de materia orgánica y nitrógeno (3.28% y 0.16%), con contenido medio de fósforo (11.46 ppm), contenido bajo de potasio (83.96 ppm), con una CICE moderado (8.73 Cmol(+)/Kg). Con fertilidad media. Requieren encalado.
- **H_zB1:** de 22 a 54 cm, de color 7.5YR 6/6 (amarillo rojizo) en húmedo, estructura granular, textura franco arcilloso, con pH fuertemente ácido (4.6), con contenido bajo de materia orgánica y nitrógeno (1.36% y 0.07%), con contenido medio de fósforo (8.33 ppm), contenido bajo de potasio (61.22 ppm), con una CICE moderado (9.68 Cmol(+)/Kg). Con fertilidad baja. Requieren encalado.
- **H_zB2:** de 54 a 98 cm, de color 7.5YR 6/4 (marrón claro) en húmedo, estructura granular, textura franco arcilloso arenoso, con pH fuertemente ácido (4.42), con contenido bajo de materia orgánica y nitrógeno (1.05% y 0.05%), con contenido medio de fósforo (7.34 ppm), contenido bajo de potasio (54.23 ppm), con una CICE moderado (9.57 Cmol(+)/Kg). Con fertilidad baja. Requieren encalado.

Finca 4:

- **H_zA:** de 0 a 19 cm, de color 10YR 5/4 (marrón amarillento) en seco, estructura granular, textura franca, con pH fuertemente ácido (4.83), con contenido medio de materia orgánica y nitrógeno (3.37% y 0.17%), con contenido medio de fósforo (7.34 ppm), contenido medio de potasio (110.95 ppm), con una CICE moderadamente bajo (4.62 Cmol(+)/Kg). Con fertilidad baja. Requieren encalado.
- **H_zC:** de 19 a 56 cm, de color 10YR 5/4 (marrón amarillento) en seco, estructura granular, textura franca, con pH fuertemente ácido (4.47), con contenido bajo de materia orgánica y nitrógeno (1.66% y 0.08%), con contenido bajo de fósforo (2.11 ppm), contenido bajo de potasio (92.21 ppm), con una CICE moderada (9.41 Cmol(+)/Kg). Con fertilidad baja. Requieren encalado.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la caracterización de cada calicata por finca, se puede observar que la Finca 1, presenta un mejor suelo de acuerdo a sus propiedades físicas y químicas en referencia a las otras fincas evaluadas, requiriendo muchas más acciones para poder mejorar estas propiedades y de este modo mejorar su calidad.

4.2.5. Características químicas del suelo de los sistemas de producción ganadero

Macronutrientes

Según la Tabla 20, los tenores de pH describen suelos ácidos para los cuatro tipos de suelos que corresponden a cada sistema de producción ganadera, sin embargo, cabe destacar que para el suelo de la Finca 1, este resulta moderadamente ácido, mientras que el resto de los sistemas describen suelos fuertemente ácidos. Con respecto al contenido de Materia orgánica (%), los tenores indican también diferencias estadísticas (p-valor <0,05) entre los cuatro tipos de suelos, teniendo un contenido medio para los suelos de las fincas 1, 2 y 3, teniendo el suelo de la finca 4 un tenor bajo. Para el tenor de Nitrógeno (%), tiene el mismo resultado que la materia orgánica. Para el contenido de fósforo (ppm), se observará que existen diferencias estadísticas (p-valor <0,05), mostrando mayor fósforo en el suelo de la finca 3 que en el resto de los suelos de las

demás fincas. Para el contenido de potasio (ppm) no se logra identificar diferencias estadísticas ($p\text{-valor} > 0,05$) entre los tipos de suelos de los sistemas de producción ganadera.

Micronutrientes

La Tabla 21 indica los tenores de las bases cambiables del suelo (Cmol(+)/Kg) donde puede verse que para el contenido de calcio no resulta significativo ($p\text{-valor} > 0,05$) entre los tipos de suelo; mientras que para magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na) y aluminio (Al), si resultan diferencias estadísticas ($p\text{-valor} < 0,05$) entre los tipos de suelos que corresponden a los cuatro sistemas de producción ganadera. Según los análisis de suelo (anexos), solo el suelo de la Finca 1 presentan tenores de K y Na y no presentan tenores de aluminio ni de hidrógeno.

Tabla 20. Valores de los tenores de macronutrientes en los cuatro suelos correspondientes a los sistemas de producción ganadera (media \pm error estándar).

FINCA	Nivel de degradación de pastos	pH		MO (%)		N (%)		P (ppm)		K (ppm)						
Finca 1	Leve	5,77	$\pm 0,16$	A	2,74	$\pm 0,08$	A	0,14	$\pm 0,01$	A	10,31	$\pm 0,32$	B	104,6	$\pm 4,92$	A
Finca 2	Leve -severa	4,89	$\pm 0,09$	B	2,33	$\pm 0,03$	B	0,12	$\pm 0,01$	B	10,17	$\pm 0,43$	B	86,21	$\pm 0,66$	A
Finca 3	Severa	4,65	$\pm 0,06$	B	2,31	$\pm 0,03$	B	0,11	$\pm 0,01$	B	13,46	$\pm 0,16$	A	112,3	$\pm 7,36$	A
Finca 4	Muy severa	4,59	$\pm 0,17$	B	1,92	$\pm 0,15$	C	0,09	$\pm 0,01$	C	10,55	$\pm 0,51$	B	80,88	$\pm 21,16$	A
P-valor		0,0008			0,0012			0,0009			0,0008			0,2476		

Letras diferentes en las mismas columnas indican diferencias estadísticas, según prueba DGC al 5 % de nivel de significancia

Tabla 21. Tenores de las bases y ácidos cambiables (Cmol(+)/Kg) en los suelos de los cuatro sistemas de producción ganadera evaluados (media \pm error estándar)

FINCA	Ca		Mg		K		Na		Al		H							
Finca 1	4,7	$\pm 0,33$	A	0,73	$\pm 0,05$	A	0,2	$\pm 0,03$	A	0,12	$\pm 0,03$	A	0	C	0	A		
Finca 2	3,09	$\pm 0,75$	A	0,45	$\pm 0,02$	B	0		B	0		B	2,56	$\pm 0,06$	A	0,08	$\pm 0,03$	A
Finca 3	4,15	$\pm 1,02$	A	0,78	$\pm 0,03$	A	0		B	0		B	1,79	$\pm 0,09$	B	0,11	$\pm 0,02$	A
Finca 4	1,89	$\pm 0,57$	A	0,45	$\pm 0,04$	B	0		B	0		B	2,75	$\pm 0,23$	A	0,09	$\pm 0,04$	A
P-valor		0,0953		0,0002		0,0001		0,0007		<0,0001		0,0968						

Letras diferentes en las mismas columnas indican diferencias estadísticas, según prueba DGC al 5 % de nivel de significancia

La Tabla 20 describe los tenores de macronutrientes encontrados en el suelo de las cuatro fincas. Con respecto al pH del suelo, la finca 1 presenta mayor valor que el resto de las fincas, mientras que para la finca 4 presenta el menor valor (fuertemente ácido). De igual manera se observa en los tenores de materia orgánica y nitrógeno. La mayor disponibilidad de materia orgánica en el suelo tiende a elevar el pH de este, tal como lo señala Luna et al. (2010), en que considera la sombra proporcionada por los árboles, una fuente de mayor materia orgánica y por ende mejor pH del suelo. Es importante indicar, con respecto al pH del suelo, lo mencionado por INTAGRI (2018), que estos influyen sobre la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas y que existe un rango muy estrecho para una eficiente disponibilidad.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe)

La Tabla 22 detalla los valores medios encontrados, donde al no encontrar diferencias estadísticas se muestran la media con su error estándar. Con respecto a los resultados de CIC sus tenores son calificados como moderadamente bajos para los cuatro tipos de suelos. De igual manera resulta para la capacidad de intercambio catiónico efectiva, que se refiere a la CIC que posee el suelo a un pH determinado, debido a ello solo se reduce en el suelo de la Finca 1.

Tabla 22. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe) de los cuatros suelos de los sistemas de producción ganadero (media \pm error estándar)

FINCA	Nivel de degradación de las pasturas	CIC (Cmol(+)/Kg)	
		CIC (Acetato de amonio)	CIC (efectiva)
Finca 1	Leve	5,74 \pm 0,44	-
Finca 2	Leve - severa	-	6,19 \pm 0,66
Finca 3	Severa	-	6,83 \pm 1,11
Finca 4	Muy severa	-	5,18 \pm 0,53

Bases cambiables, ácidos cambiables y saturación de aluminio

Tabla 23. Porcentajes de bases y ácidos cambiables (%) y saturación de aluminio (%) de los cuatro suelos correspondientes a los sistemas de producción ganadera (media \pm error estándar).

FINCA	Bases cambiables		Ácidos cambiables		saturación de aluminio	
Finca 1	100	A	0	C	0	C
Finca 2	55,96 \pm 6,25	C	44,04 \pm 6,25	A	42,63 \pm 5,74	A
Finca 3	71,26 \pm 3,01	B	28,74 \pm 3,01	B	27,20 \pm 3,01	B
Finca 4	43,83 \pm 7,03	C	56,17 \pm 7,03	A	54,27 \pm 7,05	A
P-valor	0,0002		0,0002		0,0002	

Letras diferentes en las mismas columnas indican diferencias estadísticas, según prueba DGC al 5 % de nivel de significancia

Según la Tabla 23, tanto las bases cambiables, los ácidos cambiables y la saturación de aluminio del suelo resultan significativos (p -valor $<$ 0,05) para los cuatro tipos de suelos evaluados. Solo el suelo de la Finca 1, presenta 100% de bases cambiables, sin presentar tenores de aluminio ni hidrógeno. Es por esta razón que el suelo de esta finca presenta una mejor condición con respecto a los suelos de las otras fincas evaluadas, además, se observa que el suelo de la Finca 4, presenta menor bases cambiables y mayores ácidos cambiables que el resto de los suelos, esto contribuye a que es el suelo que presenta mayor saturación de aluminio que el resto de los suelos evaluados.

La Tabla 23 muestran las bases cambiables, acidez cambiante y la saturación de aluminio del suelo. Tal como se observa, se obtienen mayores bases cambiables (mayor fertilidad del suelo) en la Finca 1 comparado con la finca 4; contrariamente a los porcentajes de acidez cambiante del suelo, donde la finca 4 presenta valores altos y que se requiere acciones de encalado para evitar alguna toxicidad por presencia alta de aluminio. Estos resultados coinciden con FAO (2018) donde señala que la materia orgánica mejora la estructura del suelo, mejora la capacidad de retención de nutrientes y agua; así mismo USDA (1999) indican que la disponibilidad de nutrientes depende del pH del suelo.

Interpretación del análisis de suelo

Los suelos de la Finca 1, que describía para sus pasturas una degradación leve, son suelos francos, con un pH moderadamente ácido (5,77), con un contenido medio de

materia orgánica y nitrógeno (2,74% y 0,14% respectivamente). Tiene un contenido medio tanto para los tenores de fósforo y potasio (10,331 y 104,6 ppm respectivamente).

En cuanto a su capacidad de intercambio catiónico (CIC) es moderadamente bajos (5,74 Cmol(+)/Kg). La relación calcio y magnesio (Ca/Mg) es normal, considerado óptimo en algunos casos, del mismo modo la relación potasio y magnesio (K/Mg) resulta normal, eso quiere decir que los tenores de calcio, magnesio y potasio son adecuados. La suma de bases describe un suelo, en términos generales, de fertilidad media. Con respecto a la saturación de aluminio del suelo, en este caso, es bajo (0%), por lo que tiene una adecuada saturación de bases.

Los suelos de la Finca 2, que describía para sus pasturas una degradación leve-severa, son suelos francos fuertemente ácidos (pH = 4,89), con tenores medios de materia orgánica y nitrógeno (2,33 y 0,12 % respectivamente). Con respecto al contenido de fósforo presenta un contenido medio (10,17 ppm), mientras que para los tenores de potasio presenta un contenido bajo (86,21 ppm). Presenta un CICE moderadamente bajo (6,19 Cmol(+)/Kg). La relación Ca/Mg es normal (6,87), mientras que la relación K/Mg (0) es deficiente en potasio (k). La suma de bases describe un suelo de baja fertilidad. Con respecto a saturación de aluminio del suelo (42,63%) es alto y requiere encalar el suelo.

Los suelos de la Finca 3, que describía para sus pasturas una degradación severa, son suelos francos fuertemente ácidos (4,65 pH). Los tenores de materia orgánica y nitrógeno presentan un contenido medio (2,31 y 0,11 % respectivamente), al igual que los tenores de fósforo y potasio (13,46 y 112,29 ppm). Este suelo tiene un CICE moderadamente bajo (6,83 Cmol(+)/Kg). La relación Ca/Mg es normal (5,32) y la relación K/Mg es deficiente en potasio (0). De acuerdo con las sumas de bases, en términos generales, es un suelo de baja fertilidad. Con respecto a la saturación de aluminio del suelo se considera alto (27,20%) y requiere actividades de encalamiento.

Los suelos de la Finca 4, que describía para sus pasturas una degradación muy severa, son suelos francos fuertemente ácidos (4,59 pH). Los tenores de materia orgánica y nitrógeno son bajos (1,92 y 0,09 %); mientras que para el tenor de fosforo presenta un contenido medio (10,55 ppm) y un contenido bajo para el tenor de potasio (80,88 ppm). Al igual de que los otros suelos evaluados, presenta un CICE moderadamente bajo (5,18

Cmol(+)/Kg). La relación Ca/Mg (4,2) describe una deficiencia de calcio, mientras que la relación k/mg describe una deficiencia de potasio. De acuerdo con la suma de bases, en términos generales, describe un suelo con características de baja fertilidad. Con respecto a la saturación de aluminio del suelo (54,27%) es alto y requiere acciones de encalamiento.

4.2.6. Características biológicas del suelo de los sistemas de producción ganadera

Densidad (ind.m⁻²) y biomasa (g.m⁻²) de lombrices en los suelos de producción ganadera

La densidad y biomasa evaluada se describe en el Tabla 24. Como puede observarse, existe diferencias estadísticas (p-valor<0,05) para la densidad de lombrices encontradas en los cuatro tipos de suelos, que corresponden a cuatro distintos sistemas de producción ganadera, resaltando la finca 2 con mayor densidad de lombrices que el resto de las otras fincas, mostrando estas últimas, similitud en sus densidades (Figura 31).

Con respecto a la biomasa no se logra identificar diferencias estadísticas (p-valor>0,05) entre los tipos de suelos.

Tabla 24. Promedio de densidad (individuos.m⁻²) y biomasa (g.m⁻²) de lombrices de suelo en diferentes sistemas de producción ganadera (Media ± error estándar)

FINCA	Nivel de degradación pasturas	Densidad (ind.m ⁻²)	Biomasa (g.m ⁻²)
Finca 1	Leve	512 ± 51 B	112,45 ± 16,90 A
Finca 2	Leve-severa	818 ± 153 A	76,44 ± 15,31 A
Finca 3	Severa	374 ± 53 B	72,88 ± 14,30 A
Finca 4	muy severa	526 ± 75 B	69,62 ± 7,30 A
P-valor		0,0168	0,1219

Letras diferentes en las mismas columnas indican diferencias estadísticas, según prueba DGC al 5 % de nivel de significancia

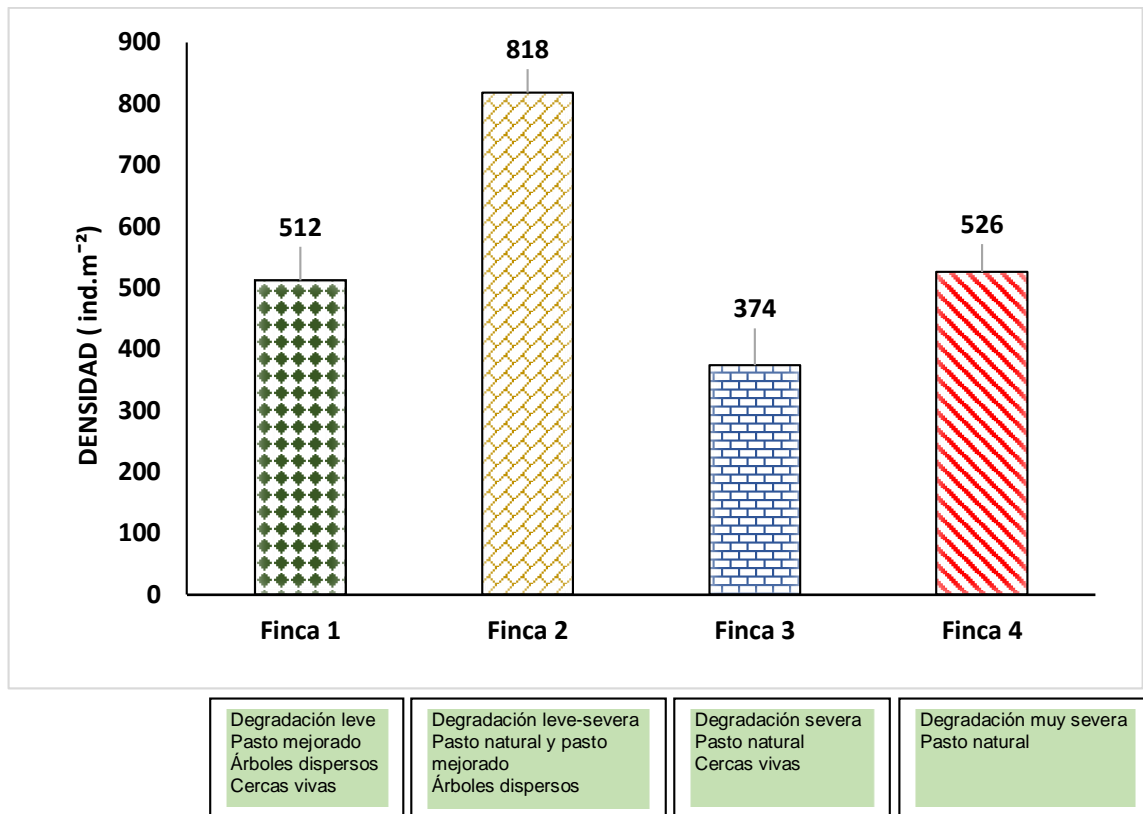


Figura 31. Densidad (ind.m⁻²) de lombrices en cuatro diferentes suelos



Figura 32. Proceso de trazado, muestreo, conteo, pesado e identificación de las lombrices en los sistemas evaluados

La Figura 32 describe todo el proceso realizado en cada uno de los cuatro sistemas evaluados. Según la metodología del TSBF, la densidad consistió en contar huevos y lombrices, considerándose cada huevo como un individuo. Del total de muestras enviadas al laboratorio, todas corresponden a la especie: *Eisenia foetida*, comúnmente llamada “lombriz de estiercol” o “lombriz roja californiana” (ver anexo).

Evaluación de la densidad y biomasa por estrato

La metodología de evaluación de las lombrices se basó a la recomendada por TSBF, del cual asigna cuatro estratos: hojarasca, de 0-10 cm, de 10-20 cm y de 20-30 cm. Como se observa en la Tabla 25, solo se pudo encontrar lombrices en los estratos de 0-10 cm y de 10-20 cm, en el resto de los estratos no se encontraron ninguna lombriz. De acuerdo con ello, en el estrato de 0-10 cm la finca 2 presenta mayor número de lombrices que el resto de las fincas, estadísticamente diferenciados (p -valor $<0,05$), sin embargo, en el estrato de 10-20 cm resulta la finca 1 con mayor densidad que la finca 2 estadísticamente diferenciado (p -valor $<0,05$) también. Es en este estrato que tanto la finca 3 y la finca 4 no presenta presencia de lombrices. Las Figuras 33 y 34 describen mejor estos resultados.

Con respecto a la biomasa no se logra identificar diferencias estadísticas (p -valor $>0,05$) en el estrato de 0-10 cm, pero si en el segundo estrato (p -valor $<0,05$).

Tabla 25. Densidad y biomasa de lombrices por estrato y sistema

Estrato	FINCA	Densidad (ind.m ⁻²)		Biomasa (g.m ⁻²)	
0-10 cm	Finca 1	432 ± 47	B	96,74 ± 14,54	A
	Finca 2	806 ± 150	A	76,06 ± 15,25	A
	Finca 3	374 ± 53	B	69,62 ± 14,30	A
	Finca 4	526 ± 75	B	72,88 ± 7,30	A
	p-valor	0,0115		0,4772	
10-20 cm	Finca 1	80 ± 18	A	15,71 ± 4,87	A
	Finca 2	12 ± 12	B	0,38 ± 0,38	B
	Finca 3	0	B	0	B
	Finca 4	0	B	0	B
	p-valor	<0,0001		0,0001	

Letras diferentes en las mismas columnas indican diferencias estadísticas, según prueba DGC al 5 % de nivel de significancia

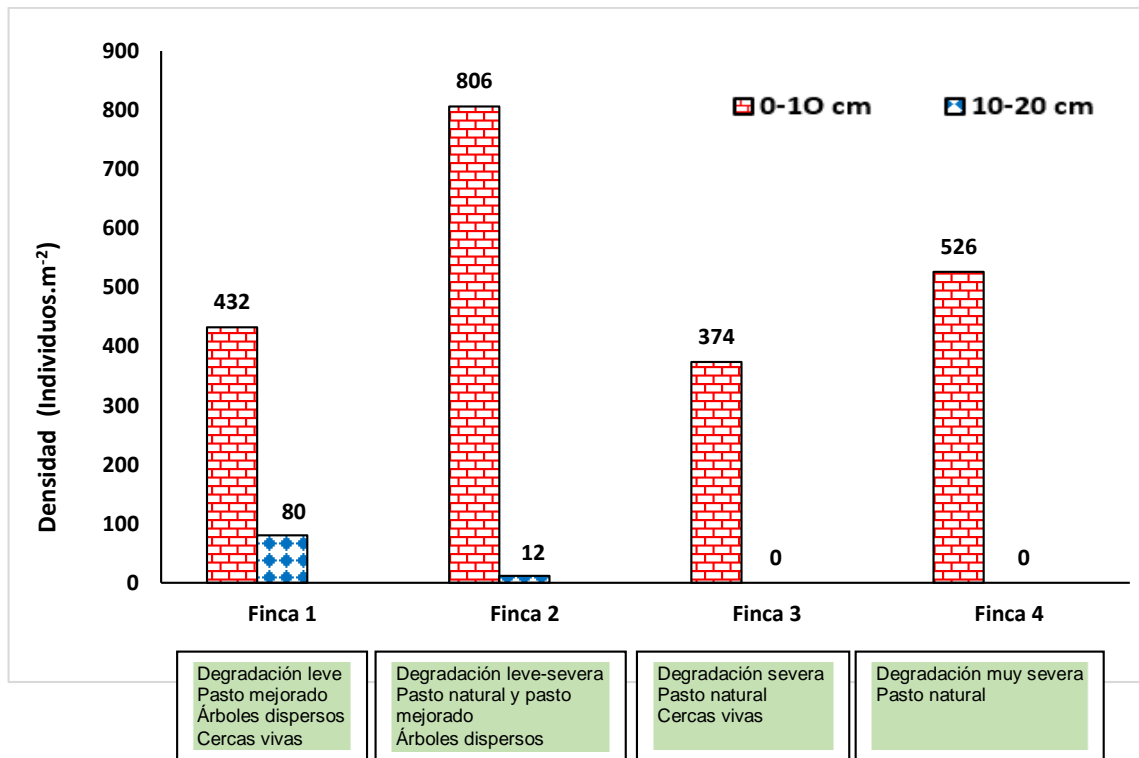


Figura 33. Densidad (individuos.m⁻²) por estrato y sistema evaluado.

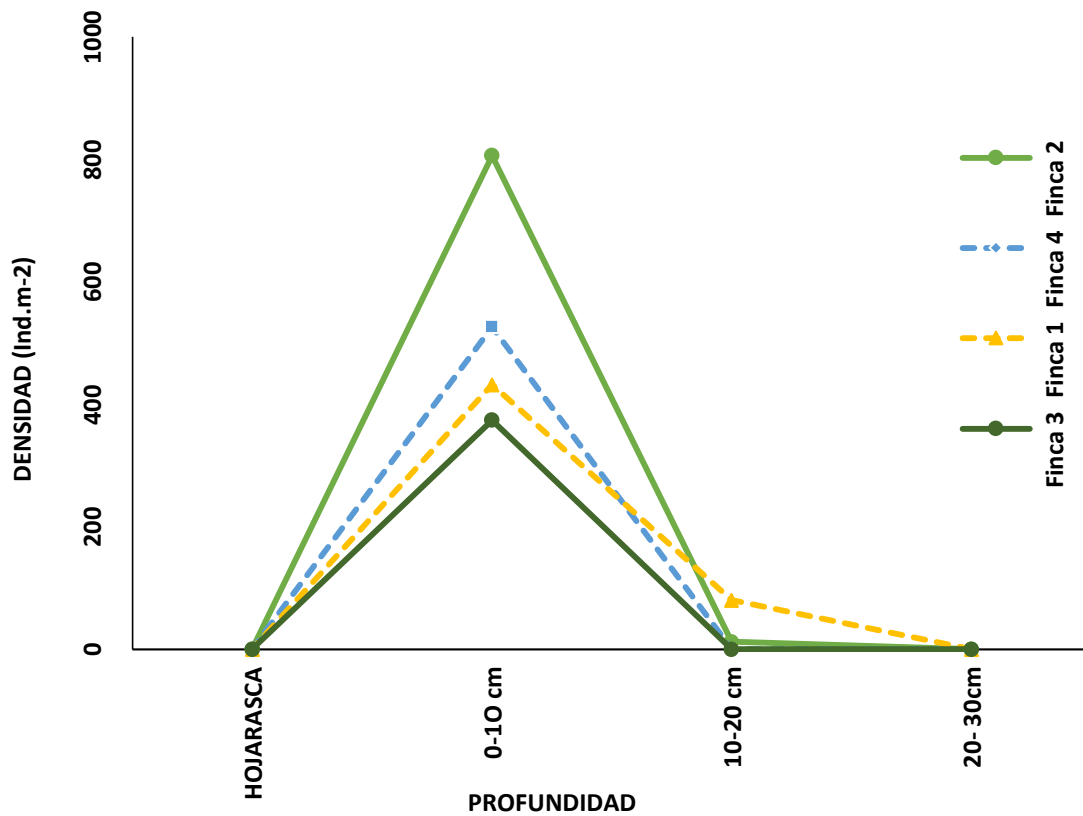


Figura 34. Dinámica de la densidad de lombrices en los estratos evaluados

La Tabla 24 muestra la densidad y biomasa de las lombrices del suelo. Como puede observarse la mayor densidad de lombrices tiene la finca 2, que tienen especies de guayaba en sus pasturas. Esta especie frutal ofrece alta disponibilidad de materia orgánica al suelo. El resto de las fincas presentan densidades estadísticamente similares. Esta mayor disponibilidad de lombrices en este tipo de sistemas con árboles frutales como la guayaba, coincide con lo señalado por Gassen y Gassen (2006) que la disponibilidad de materia orgánica en un cultivo está directamente relacionada con la población de la macrofauna del suelo; asimismo Hendricks (2005) la cual indica que estas especies prefieren ambientes húmedos; asimismo Dominguez et al. (2009) indica que las lombrices pueden procesar 250 toneladas de suelo por hectárea al año, influyendo de forma significativa en las propiedades físicas y químicas del suelo, modifica la estructura del suelo, acelera la descomposición de la materia orgánica y del reciclado de nutrientes.

Las cantidades encontradas en este trabajo coinciden con lo señalado por USDA (1999) sobre sistemas ganaderos que se lograron encontrar hasta 750 lombrices por metro cuadrado, a lo que también, señala Lavalle y Spain (2001) que existen mayores poblaciones de lombrices en cultivos rotativo y pasturas que en agricultura continua. Del mismo modo, el trabajo de Huamanyauri (2011) encontró mayor densidad de lombrices en pasturas mejoradas con árboles. Sin embargo, con respecto a la biomasa de las lombrices no existen diferencias estadísticas entre las fincas.

4.3. Indicadores de calidad del suelo con los sistemas de producción ganadera

4.3.1. Índices de calidad del suelo

La Tabla 26 describe los indicadores logrados después de la evaluación física, química y biológica del suelo. Estos valores son detallados en los capítulos anteriores. Con base a estos valores se construyó los índices de calidad para los tres ámbitos.

Tabla 26. Valores de los indicadores de los cuatro suelos evaluados

ÁMBITO	INDICADORES	Unidad	FINCA 1	FINCA 2	FINCA 3	FINCA 4
FÍSICOS	Textura	lectura	Franco	Franco	Franco	Franco
	Resistencia a la penetración vertical	psi	187,75	200,00	186,00	229,13
	Densidad Aparente	g/cm ³	1,10	1,40	1,40	1,30
QUÍMICOS	Materia orgánica	%	2,74	2,33	2,31	1,92
	pH	lectura	5,77	4,89	4,65	4,59
	N	%	0,14	0,12	0,11	0,09
	P	ppm	10,31	10,17	13,46	10,55
	K	ppm	104,60	86,21	112,30	80,88
	CIC	CMol(+)/Kg	5,74	6,19	6,83	5,18
	Bases cambiables	CMol(+)/Kg	5,74	3,54	4,93	2,34
	Saturación de aluminio	%	0,00	42.63	27.20	54.27
BIOLÓGICOS	Densidad lombrices	Individuos/m ²	512,00	818,00	374,00	526,00
	Producción primaria neta	kg MS/m ²	0,165	0,104	0,101	0,053
	Diversidad de especies vegetales	especies/ha	5	13	23	1

Los indicadores de calidad del suelo están integrados por características físicas, químicas y biológicas del suelo que describen una condición o calidad en un determinado momento, por ello se les llaman indicadores de calidad. La Tabla 26 describe tres indicadores físicos del suelo; ocho indicadores químicos y tres indicadores biológicos. Según Carter (2002), Sanchez – Maranon et al. (2002) y Dexter (2004), los indicadores físicos propuestos son la estructura del suelo, la densidad aparente, la estabilidad de agregados, la infiltración, la profundidad del suelo, la capacidad de almacenamiento de agua y la conductividad hidráulica saturada, por ello la resistencia a la penetración vertical del suelo que mide la compactación tiene relación directa con la infiltración y su capacidad de almacenamiento de agua.

Para los indicadores químicos del suelo, Dexter (2004) propuso los nutrientes NPK disponibles, el pH del suelo, la conductividad eléctrica, la capacidad de intercambio catiónico, la materia orgánica y sus relaciones de los micronutrientes. Los indicadores biológicos fueron considerados la densidad y biomasa de lombrices como indicador

biológico principalmente (Karlen et al. 2007). Las lombrices son consideradas por excelencia indicadores biológicos de calidad de suelo según De Aquino et al. (2008) debido a que estos seres son sensibles al cambio; lo cual concuerda con Lavalle (2003), que menciona que, las lombrices son adecuados indicadores biológicos de calidad del suelo, debido a su susceptibilidad y rápida respuesta ante los cambios en la cobertura, la transformación de la vegetación, el comportamiento ante distintas variables ambientales y la actividad biológica que desempeñan.

Indicadores de calidad del suelo con respecto a las características físicas

La Tabla 27 y la Figura 35 describen los valores calificados de acuerdo con la metodología propuesta. Como se puede observar la finca 1 describe mayores valores de calidad que las demás fincas.

Tabla 27. Valores de los indicadores de calidad del suelo con base a sus características físicas

ÁMBITO	INDICADORES	FINCA 1	FINCA 2	FINCA 3	FINCA 4
FÍSICOS	Textura	10	10	10	10
	Resistencia a la penetración Vertical	8	5	8	4
	Densidad Aparente	6	5	5	5
Promedio		8,0	6,7	7,7	6,3

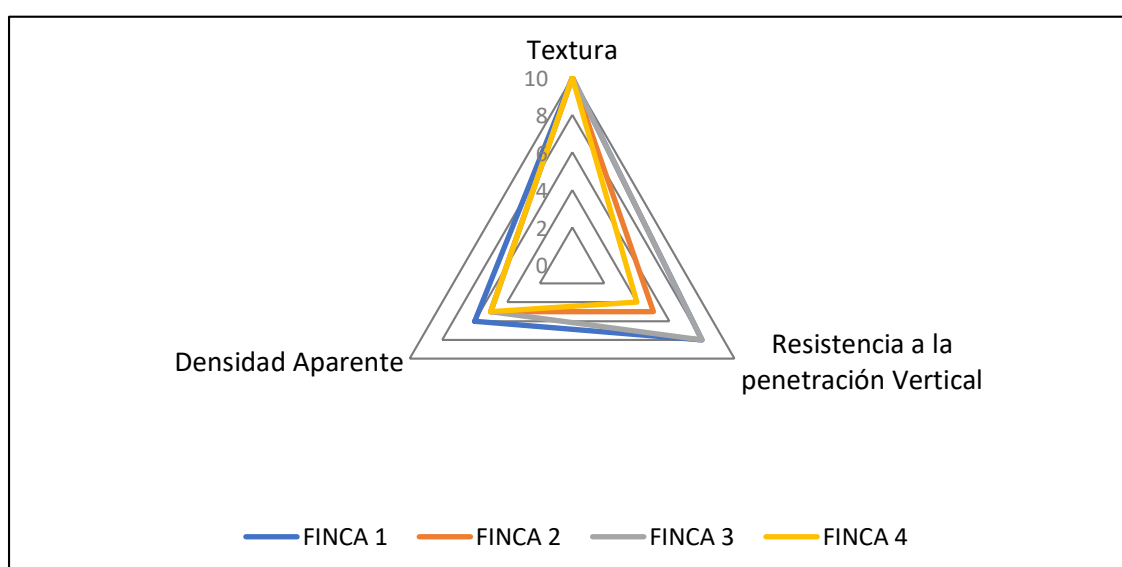


Figura 35. Gráfico radial de los indicadores de calidad del suelo de las características físicas entre las Fincas evaluadas

La Tabla 27 describe los valores asignados a cada indicador de las características físicas, donde se puede apreciar que la resistencia a la penetración vertical del suelo es mayor en la finca 4, por ello su valoración menor a 5 (siguiendo la metodología de Araujo 2008).

Indicadores de calidad del suelo con respecto a las características químicas

Los valores obtenidos con respecto a las características químicas del suelo se describen en la Tabla 28 y Figura 36.

Tabla 28. Valores de los indicadores de calidad del suelo con base a sus características químicas

ÁMBITO	INDICADORES	FINCA 1	FINCA 2	FINCA 3	FINCA 4
QUÍMICOS	Materia orgánica	6	5	5	4
	pH	5	3	3	3
	N	6	5	5	3
	P	5	5	5	5
	K	5	3	5	3
	CIC	5	6	6	5
	Bases cambiables	5	3	3	2
	Saturación de aluminio	10	5	3	5
	Promedio		5,88	4,38	4,38

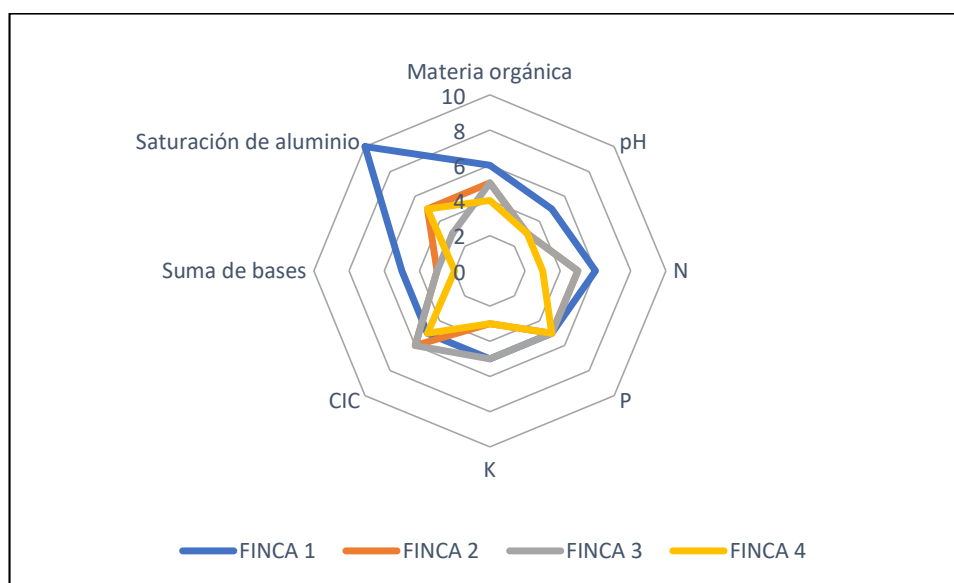


Figura 36. Gráfico radial de los indicadores de calidad del suelo de las características químicas entre las fincas evaluadas

Indicadores de calidad del suelo con respecto a las características biológicas

Con respecto a los valores de calidad asignadas al ámbito biológico del suelo, los resultados se describen en la Tabla 29 y Figura 37.

Tabla 29. Valores de los indicadores de calidad del suelo con base a sus características biológicas

ÁMBITO	INDICADORES	FINCA	FINCA	FINCA	FINCA
		1	2	3	4
BIOLÓGICOS	Densidad lombrices	6	9	5	6
	Producción primaria neta	5	4	3	2
	Diversidad de especies vegetales	2	5	7	1
Promedio		4,33	6,00	5,00	3,00

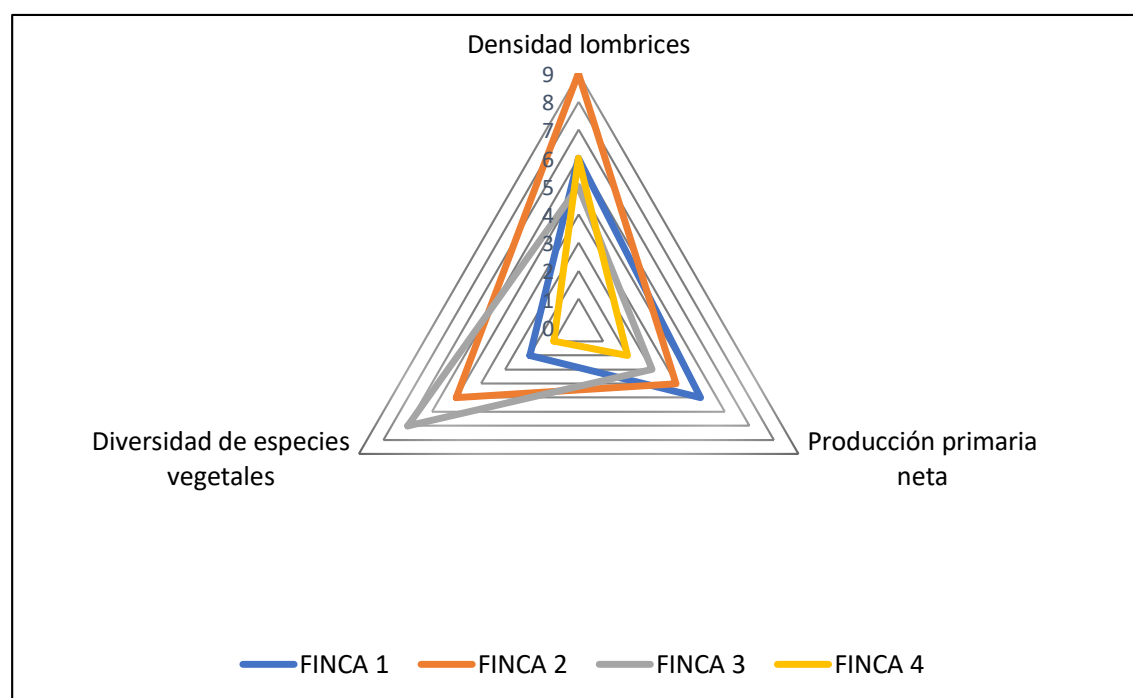


Figura 37. Gráfico radial de los indicadores de calidad del suelo de las características biológicas entre las fincas evaluadas

Índice general de los indicadores de calidad con base a los tres ámbitos de estudio

El resumen general de cada ámbito permite construir el índice general que valora la calidad del suelo en los cuatro sistemas de producción ganadera (Tabla 30 y Figura 38).

Tabla 30. Índice general de la calidad el suelo en las cuatro fincas evaluadas

Indicadores de calidad	FINCA 1	FINCA 2	FINCA 3	FINCA 4
Físicos	8,0	6,7	7,7	6,3
Químicos	5,9	4,4	4,4	3,8
Biológicos	4,3	6,0	5,0	3,0
Índice general	6,1	5,7	5,7	4,4

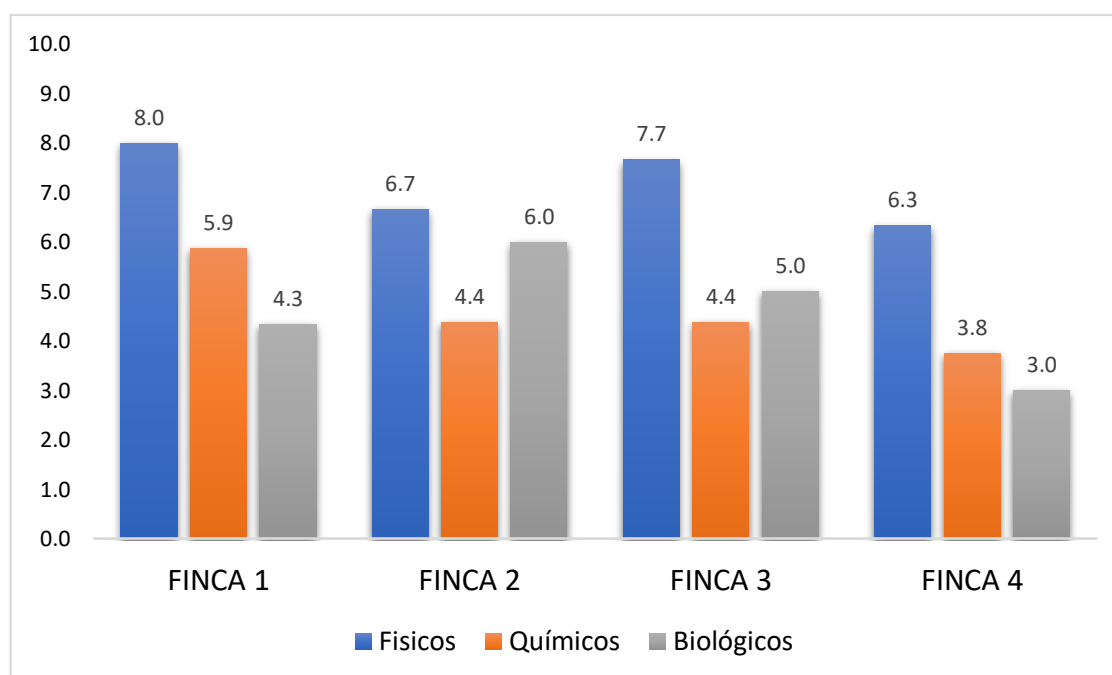


Figura 38. Valores de los indicadores de la calidad del suelo

Como puede observarse, con respecto a los indicadores físicos del suelo, las cuatro fincas superan el valor medio (valor 5). Con respecto a los indicadores químicos del suelo en los cuatro tipos de suelo correspondientes a los cuatro sistemas de producción ganadera evaluados, la Finca 1 supera la condición media (valor de 5), estando la Finca 4 con menor valor de calificación que el resto de las fincas. Para los indicadores biológicos, resulta

que la finca 2 supera el nivel medio (valor 5) y la finca 3 asume el valor medio, mientras que las fincas 1 y 4 presentan los menores valores de calidad.

La Figura 39 describe el índice general de los indicadores de calidad con base a los tres ámbitos de estudio. Como puede observarse, la Finca 1 logra una condición del suelo superior que el resto de las fincas, superior a la condición media, sin embargo, las fincas 2 y 3 también superan la condición media, pero en menor grado. La finca 4 resulta con un valor de calidad general inferior a la calidad media, considerándose un suelo con limitantes tanto físicas, químicas y biológicas.

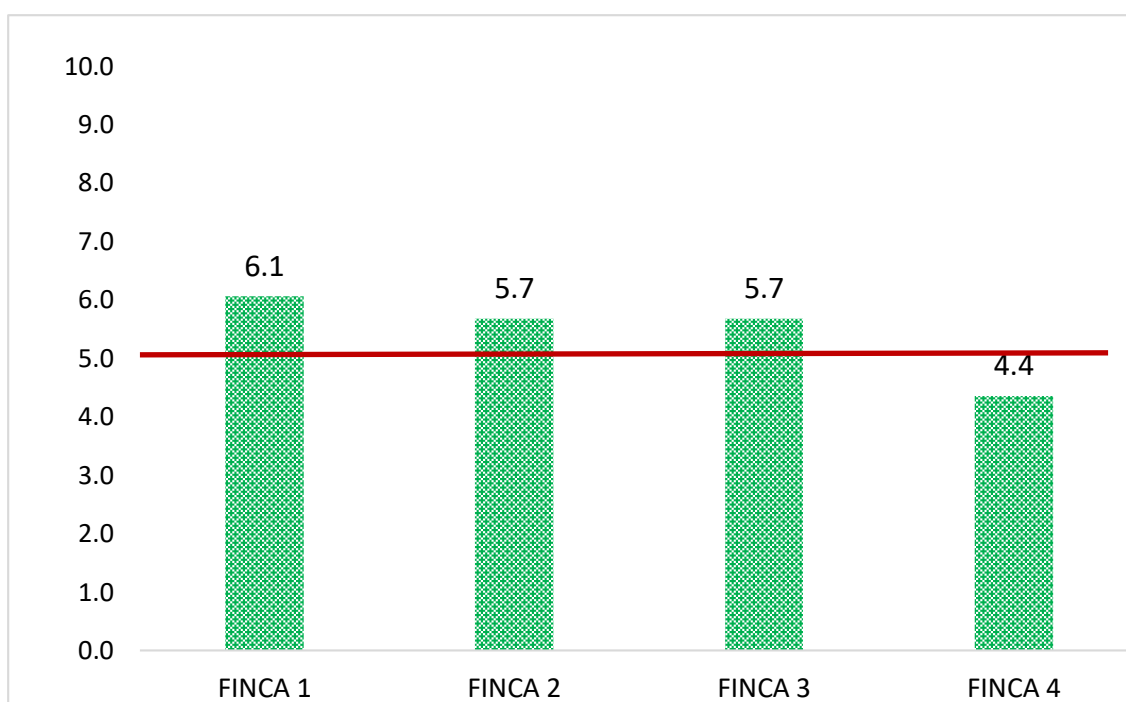


Figura 39. Índice general de valoración de calidad del suelo

Los resultados logrados, en términos generales, de los indicadores de calidad del suelo se muestran en la Tabla 30, donde el índice general (promedio general de los valores asignados a cada indicador), muestra que solo la finca 4 tiene un índice general menor al valor medio (valor 5), eso quiere decir que, en términos generales, la finca 4 presenta una condición de calidad inadecuada. Las fincas 2 y 3 presentan una condición de calidad media; mientras que la finca 1, presenta una condición de calidad moderada. Estos resultados describen que las fincas seleccionadas por su nivel de degradación tienen una

relación directa con su calidad del suelo, es decir, a menor degradación, mayor calidad del suelo, y viceversa. Este resultado vuelve a ratificar lo dicho por Sánchez y Reines (2002), en la cual señala que los sistemas con árboles integrados a sus pasturas proporcionan condiciones edafoclimáticas que favorecen al suelo.

4.3.2. Análisis de correlación entre los indicadores de calidad del suelo

Se evaluaron 14 indicadores de calidad para evaluar el grado de correlación o dependencia que tienen entre ellas. La Tabla 31 describe que solo existen cuatro pares de indicadores con alta correlación, que indica el grado de dependencia entre ellas.

Tabla 31. Análisis de correlación entre los indicadores de calidad del suelo

Regresora	Dependiente	Coefficiente de Pearson	p-valor
Materia orgánica	N	0,98	0,0151
Materia orgánica	Producción primaria neta	1	0,002
CIC	Diversidad de especies vegetales	0,99	0,0052
Suma de bases	Saturación de aluminio	-0,95	0,0495

La Tabla 31 muestra la correlación existente entre los indicadores y las figuras 40 y 41 las regresiones lineales correspondientes. Se demuestra que existe una correlación alta y positiva entre el contenido de materia orgánica (%) y nitrógeno (%) del suelo, así como para la producción primaria neta (biomasa). Tal como lo indica INTAGRI (2018b) la materia orgánica mejora la fertilidad del suelo y por ende la producción del suelo.

La figura 41 muestra las regresiones que existen entre CIC con la diversidad de especies y la suma de bases con la saturación de aluminio del suelo. Demuestra que a mayor saturación de bases se reduce la saturación de aluminio del suelo, lo cual es mucho mejor y garantiza una fertilidad adecuada del suelo.

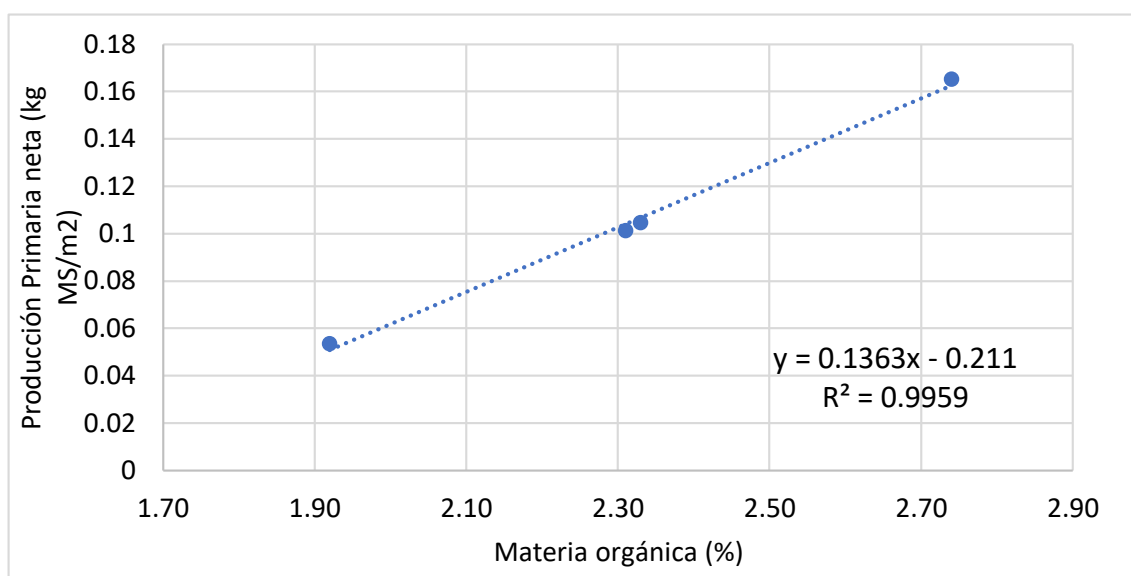
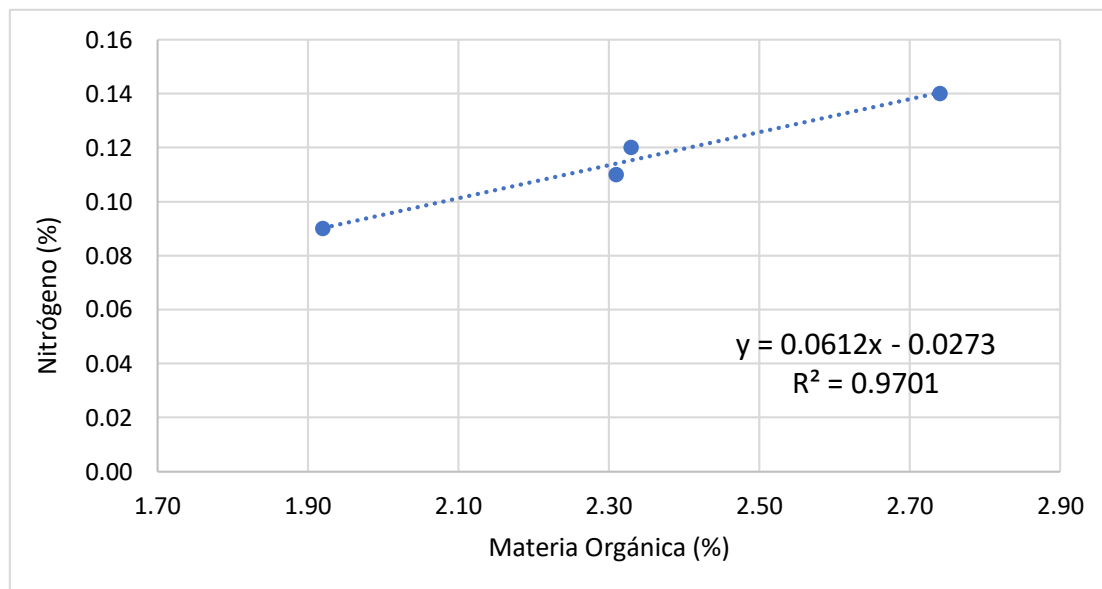


Figura 40. Regresión lineal entre indicadores de calidad del suelo

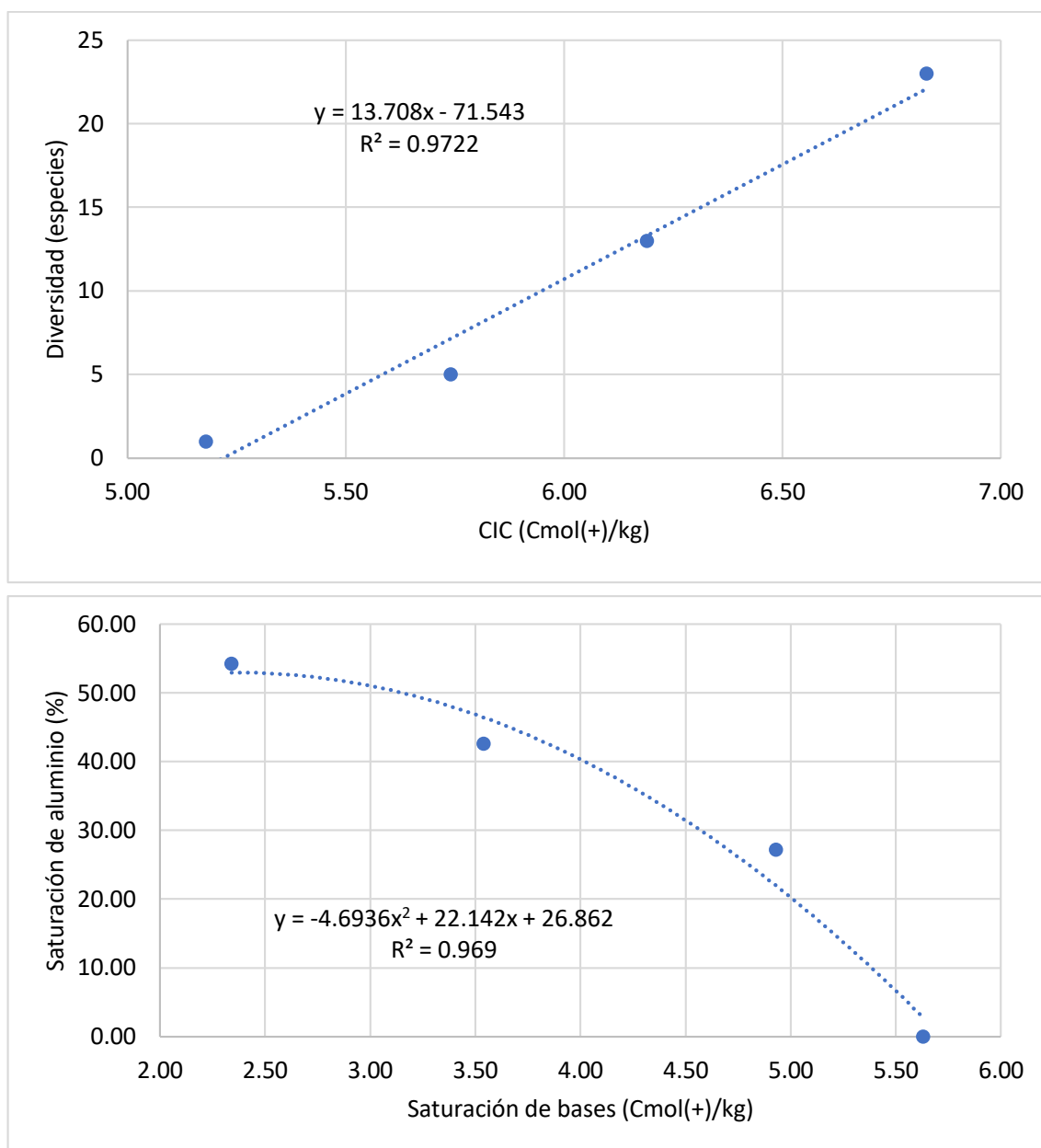


Figura 41. Regresión lineal de indicadores de calidad del suelo

La Figura 40 describe la regresión lineal entre el contenido de la materia orgánica (regresora) y el contenido de nitrógeno, así como la producción primaria neta (dependientes). Se observa en ambos casos, una pendiente positiva, que indica que a medida que se incrementa el % de materia orgánica, también se incrementa el contenido de nitrógeno y la producción primaria neta. Ambas ecuaciones de predicción se detallan en la misma figura, siendo necesario hacer notar los altos valores de su coeficiente de determinación que indican la confiabilidad del modelo.

La Figura 41 describe la regresión del CIC y la diversidad de especies que tienen el mismo comportamiento que en la figura anterior. La regresión entre la suma de bases cambiables y la saturación de aluminio del suelo presenta una regresión de un modelo cuadrático de pendiente negativa, es decir conforme aumenta la suma de bases, se reduce la saturación de aluminio del suelo. En ambos casos tienen las ecuaciones predictoras tienen alta confianza.

4.4. Propuestas de gestión para mejorar la calidad del suelo en las fincas evaluadas

Con base a los resultados de las Tablas 27, 28 y 29 se construyen las alternativas de gestión para mejorar algunos indicadores que recibieron una valoración baja. La Tabla 32 describe en términos generales algunas propuestas para su implementación que mejorarán la calidad del suelo. Se debe recordar que la fertilidad del suelo depende de las características físicas, químicas y biológicas y que estas se encuentran estrechamente vinculados entre ellas, tal es así que cualquier afectación a uno de estos ámbitos, afecta a los otros.

En general, se ha comprobado que el sistema de producción ganadera con especies asociados de pastos (mejorado y leguminosas), con árboles dispersos y con cercas vivas presentan mejores índices de calidad del suelo, y a la vez, se ha demostrado que la finca con solo pasto como componente herbáceo, presenta el menor índice de calidad del suelo; por lo tanto, la recomendación precisa es recomendar la incorporación de especies arbóreas y arbustivas, así como cercos vivos donde no los haya.

La incorporación de materia orgánica es fundamental para la recuperación de la fertilidad del suelo, que también por su característica, mejora el pH del suelo; si bien es necesario en algunas fincas (Fincas 2, 3 y 4) el encalamiento es para reducir la saturación de aluminio del suelo que puede convertirse en tóxico. Asimismo, la incorporación de fertilizantes (roca fosfórica y cloruro de potasio), mejorará la disponibilidad de nutrientes, sobre todo, de las bases cambiables.

Tabla 32. Propuestas técnicas para la mejora de la calidad del suelo

ÁMBITOS	INDICADORES	FINCA 1	FINCA 2	FINCA 3	FINCA 4
FÍSICOS	Textura				
	Resistencia a la penetración vertical del suelo		Incorporar cercas vivas	Incorporar especies arbustivas dentro de los potreros	Incorporar especies arbustivas en los potreros, establecer cercas vivas y asociar con leguminosas sus pasturas
	Densidad Aparente				
QUÍMICOS	Materia orgánica	Incorporar materia orgánica a razón de 20 t/ha			
	pH	Encalamiento			
	N	Incorporar materia orgánica a razón de 20 t/ha			
	P	Incorporar roca fosfórica a razón de 2 t/ha			
	K	Incorporar fuentes de potasio (KCl) a razón de 60 kg/ha			
	CIC				
	Suma de bases				
BIOLÓGICOS	Saturación de aluminio	Encalamiento			
	Densidad lombrices				
	Producción primaria neta				
	Diversidad de especies vegetales	Establecer variedad de especies arbustivas	Establecer cercas vivas	Establecer especies arbustivas en potreros	Establecer diversas especies de vegetales arbustivos y de pastos

La Tabla 32 muestra las propuestas técnicas para la mejora de la calidad del suelo. Con base al entendimiento que la fertilidad del suelo depende de sus características físicas, químicas y biológicas y con base a los resultados de los indicadores de calidad del suelo, descritas anteriormente se detalla que cualquier afectación al suelo sea biológico o físico alterará las condiciones del suelo, debido a que se encuentran fuertemente correlacionados.

Se recomienda la incorporación o establecimiento de especies arbóreas dispersas en potreros para las fincas 3 y 4, además para la finca 4, establecer cercos vivos como también establecer una pastura asociada gramínea y leguminosas. Esta incorporación de árboles cumple muchos objetivos, desde incorporar mayor materia orgánica al suelo, conservar la humedad del suelo, generar microclima bajo el árbol, actuar como bomba de

nutrientes, así como descompactar el suelo. Según Feijóo et al. (2004) los árboles mejoran la humedad y la temperatura del suelo, que son factores climáticos que afectan la macrofauna del suelo (Lavalle et al. 1993, citado por Lavalle 2002), así como la incorporación de materia orgánica al suelo, sabiendo que la materia orgánica mejora el pH del suelo y ésta la disponibilidad de nutrientes por la planta, favoreciendo la macrofauna del suelo, encargada de la mineralización de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Por otra parte, como lo menciona Soca et al. (2006) para que las excretas de los animales sean aprovechadas por la macrofauna del suelo, ésta requiere que exista una humedad adecuada, que muy bien la puede proporcionar los árboles.

La incorporación de materia orgánica al suelo tiende a mejorar la estructura, la capacidad de intercambio catiónico, mejoran las propiedades físicas, se mejora la infiltración (se reduce la compactación), mejora la estructura, haciendo más fértiles los suelos, según lo señalado por INTAGRI (2018b) y la FAO (2018). La cantidad adecuada va desde 10 a 20 toneladas por hectárea, a razón de 2 kilos de materia orgánica por metro cuadrado.

El aporte de nutrientes como fósforo, a través de roca fosfórica, y potasio, a través de cloruro de potasio, servirán para mejorar la disponibilidad de nutrientes, una vez se haya incrementado el pH del suelo con el aporte de la materia orgánica, tal como lo señala FAO (2018) de que la cantidad de nutrientes que contiene el suelo va a determinar el potencial que tiene éste para alimentar los cultivos.

Actividades de encalamiento se sugiere para las fincas 2, 3 y 4, con el propósito de elevar el pH del suelo más rápidamente, debido a que si el pH del suelo es menor a 5 la disponibilidad de absorción de los nutrientes por las plantas es escasa.

La búsqueda de la calidad del suelo y sobre todo entenderla se basa en sus conceptos iniciales propuestos por Singer y Ewing (2000), donde se entiende por calidad del suelo como la capacidad para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de las plantas y los animales, mantener y mejorar la calidad del aire y el agua y sostener la salud humana y el hábitat.

V. CONCLUSIONES

- La calidad del suelo depende directamente del sistema de usos de sus pastos, es decir, el nivel de degradación de los pastos es un buen indicador de la calidad de los suelos.
- Se encontró cuatro grupos de fincas que corresponden a cuatro niveles de degradación de sus pasturas (leve, leve-severa, severa, y muy severa), obteniendo que el 68% de las fincas en el ex distrito de José Crespo y Castillo presentan pasturas en un nivel de degradación de severa a muy severa.
- La finca 1 que corresponde a un sistema con pastura asociada (pasto mejorado y leguminosa) y árboles en potreros (capirona) con cercas vivas presenta mayor valor de sus características físicas, químicas y biológicas; siendo la finca 4, con pastura natural (monocultivo) sin árboles ni cercas vivas que presenta los menores valores.
- Los indicadores de calidad del suelo demuestran que la finca 1 con degradación de sus pasturas leve, presenta una condición de suelo moderado (superior a la condición media); mientras que la finca 4, con un nivel de degradación muy severa presenta una calidad de suelo inadecuada; las fincas 2 y 3 presentan una condición de calidad de suelo media.
- Se proponen estrategias para mejorar la calidad del suelo, siendo la finca 4 la que tendrá que disponer de mayores acciones.

VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar las características físicas, químicas y biológicas en la época seca, para poder diferenciar el efecto climatológico sobre dichas características.
- Establecer las propuestas de mejora de la calidad del suelo para los grupos de fincas en estudio y su posterior monitoreo de evaluación, basado solo en los indicadores propuestos.
- Promover el establecimiento de árboles en potreros porque garantiza una mejor calidad del suelo.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Acosta, A; Ibrahim, M; Pezo, D. 2014. Hacia un desarrollo ganadero climáticamente inteligente. (En línea) En. Lineamientos de política para el desarrollo sostenible del sector ganadero. Ciudad de Panamá. Oficina Subregional de la FAO para Mesoamérica. Ciudad de Panamá. FAO. Consultado junio 2021. Disponible en <http://www.fao.org/3/ai3764s.pdf>
- Alegre, O. 2014. Sistema agroforestal multiestrato. Recuperación de suelos degradados en la Amazonía. Rev. Agroecológica LEISA. V. 31. n. 1. 5 p.
- Alonso, J. 2003. Factores que intervienen en la producción de biomasa de un sistema silvopastoril (*Leucaena leucocephala* vs Perú) y guinea (*Panicum maximum* vs Likoni). Resumen de tesis presentada en opción al grado de Dr. en Ciencias Agrícolas. ICA. La Habana, Cuba. 35 p.
- Altieri, M.A. 2002. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Guafba: Agropecuaria. 592 p.
- Altieri, M.A; Nicholls, C.I. 2002. Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. Manejo de plagas y agroecología: 64: 17-24.
- Anderson, J; Ingram, J. 1993. Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. 2nd edition. CAB International. Wallingford, UK. 221 p.
- Araujo, et al. (2008). Indicadores de sustentabilidade para afericao da qualidade do solo w da saúde do cultivo. Boletín Técnico N° 193. Iih'wus, Bahía. 19 p.
- Atlas, R; Bartha, R. 2001. Ecología microbiana y microbiología ambiental. 4ta. ed. Addison Wesley. Madrid, España. 677 p.

- Azevedo, V; Lima, D; Correia, E; Aquino, A. 2000. Fauna do solo em diferentes sistemas de plantio e manejo no planalto medio do Rio Grande do Sul. *Biodinâmica do solo*. 65 p.
- Betancourt, H; Pezo, D; Cruz, J; Beer, J. 2007. Impacto bioeconómico de la degradación de pasturas en fincas de doble propósito en El Chal, Petén, Guatemala. *Pastos y Forrajes*. 30(1): 169-175.
- Budhu, M. 2007. *Soil mechanics and foundations*. 2da. ed. John Wiley & Sons Inc. New Jersey, USA. 634 p.
- Brown, G; Pasini, A; Benito, N; De Aquino, A; Correia, M. 2001. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no tillage agroecosystems: A preliminary analysis. Report presented in the "International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems". Montreal, Canadá, 8-10 November, 2001. 20 p.
- Brown, L. 2003. Pastos mundiales se deterioram solo pressao crescente. [En línea]. Consultado: 20 junio 2021. Disponible: <http://www.wwluma.org.br>.
- Carter, R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal*. 94:38
- Casasola, F; Ibrahim, M; Ramírez, E; Villanueva, C; Sepúlveda, C; Araya, J. 2006. Pago por servicios ambientales y cambios de uso de la tierra en paisajes denominados por la ganadería de Nicaragua y Costa Rica. 2006, *Rev. Agroforestería en las Américas*. (45):79-85
- CIAT. 2005. *Informes anuales*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 34 p.
- Cochran, W.G. 1996. *Técnicas de muestreo*. Ed. CECSA. México 505 p.
- Correia, M; Oliveira, L. 2000. *De fauna de solo: Aspectos gerais e metodológicos*. Seropedica. Embrapa. *Agrobiologica*. 112 p.

- Crespo, G. 2002. Avances en el conocimiento del reciclaje de los nutrientes en los sistemas silvopastoriles. Conferencia Curso Internacional Silvopastoreo. EEPF “Indio Hatuey”. Cuba. 178 p.
- Daniel, O. 2000. Definição de indicadores de sustentabilidade para sistemas agroflorestais. 150f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil.
- De Aquino, A.M. *et ál.* 2008. Diversidade da macrofauna edáfica no Brasil. Em: Biodiversidade do solo en Ecosistemas Brasileiros. (Eds. Fátima M.S. Moreira, J.O. Siqueira y Lijbert Brussaard). Ed. UFLA. Lavras, Brasil. 143 p.
- Decaens, T; Lavelle, P; Jiménez, J; Escobar, G; Rippstein, G; Schneidmadl, J; Sanz, J; Hoyos, P; Thomas, R. 2001. Impact of land management on soil macrofauna in the eastern plains of Colombia. pp 19-41.
- Dexter, A.R. 2004. Soil physical quality. Part I. Theory, effect of soil texture, density and organic matter, and effect on root growth. *Geoderma*. 120:201
- Dias-Filho, M.B. 2007. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 3. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 190 p.
- Di Rienzo, J.A; Casanoves, F.; Balzarini, M.G; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C.W. InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Consultado: 12 junio 2021. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- Domínguez, J. *et ál.* 2009. The role of earthworms on the decomposition of organic matter and nutrient cycling. *Ecosistemas*. 18 (2):20.
- Dubs, F; Lavelle, P; Brennan, A; Eggleton, P; Haimi, J; Ivits, E; Jones, D; Keating, A; Moreno, A; Scheidegger, C; Sousa, P; Szel, G; Watt, A. 2004. Soil macrofauna response to soil, habitat and landscape features of land use intensification: an European gradient study. 252 p.
- Escobar, G; Berdegue, J. 1990. Tipificación de sistemas de producción agrícola. Red Internacional de Metodología de Investigación de Sistemas de Producción (RIMISP). Edit. Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural. Santiago de Chile. 282 p.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2007. Ganadería y deforestación. Políticas Pecuarias – 3. Consultado junio 2021. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0262s/a0262s00.pdf>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2018. El suelo es un recurso no renovable. Consultado 12 junio 2021. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4373s.pdf>
- Feijóo, M; Buitrago, A; Calderón, P; Gil, D; Zúñiga, M; Camargo, J. 2004. Quantifying soil macroinvertebrates under different land use systems in Colombia. 2nd International Symposium on Silvopastoral Systems. Universidad Autónoma. Mérida, Yucatán, México. 88 p.
- Gassen, D; Gassen, F. 2006. Plantío direto o caminho do futuro. Passo Fundo, Aldeia Sul. 207 p.
- George, A. 2006. Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica. Tesis como requisito para optar por el grado de Magister Scientiae en Agricultura Ecológica. Turrialba, Costa Rica. 118 p.
- González, G; Ley, R.E; Schmidt S.K; Zou, X; Seastedt, T.R. 2001. Soil ecological interactions comparisons between tropical and subalpine forests. *Ecologia*. 128: 549-556.
- Harvey, C. 2003. La conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles. Curso Internacional sobre ganadería y medio ambiente. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 21 p.
- Hendricks, D. 2005. Animals and Soil in Arizona. In Hendricks, D.M. (Ed.) *Arizona Soils*. Tucson, University of Arizona. Editor Haney, R.A. Jr. pp 55-62.
- Herrick, J.E; Jones, T.L. 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1320–1324.
- Holmann, F., Argel, P., Rivas, L., White, D., Estrada, R., Burgos, C., Pérez, E., Ramírez, G. y Medina, A. 2004. ¿Vale la pena recuperar pasturas degradadas? Una evaluación

de los beneficios y costos desde la perspectiva de los productores y extensionistas pecuarios en Honduras. Cali, Colombia. (Documento de Trabajo No. 196). 34 p.

Huamanyauri, L. 2011. Macrofauna del suelo en diferentes usos de la tierra en sistemas ganaderos en el distrito de José Crespo y Castillo. Tesis Ing. Zoot. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Zootecnia. 86 p.

Hünemeyer, J.A. et al. 2007. Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica. 157 p.

Ibrahim, M., Villanueva, C. P., Casasola, F. 2007. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en Centro América. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 87 p.

INEI. 2012. IV Censo Agropecuario 2012. Sistema de consulta de resultados censuales. Tablas estadísticas [Internet]. Consultado: 09 junio 2021]. Disponible en: <http://www.inei.gob.pe>.

INTAGRI. 2018. Disponibilidad de nutrimentos y pH del suelo. Consultado: 09 junio 2021. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/disponibilidad-de-nutrimentos-y-el-ph-del-suelo>

INTAGRI. 2018b. La capacidad de intercambio catiónico del suelo. Consultado: 09 junio 2021. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>

Karlen, D.L. et al. 2007. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. Soil Science Society of America J. 61:4

Keller, T.; Hakansson, I. 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. Geoderma 154: 398-406

Larink, O; Schrader, S. 2000. Rehabilitation of degraded compacted soil by earthworms. Advances in Geo Ecology. 32:284

- Lavelle, P; Spain, A.V. 2001. Soil Ecology. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 654 p.
- Lavelle, P. 2002. Functional domains in soils. *Ecological Research* 17:441-450.
- Lavelle, P. 2003. Soil macrofauna. In: *Trees, crops and soil fertility. Concepts and research methods.* (Eds. G. Schroth and F.L.Sinclair). CABI Publishing. UK. 303 p.
- León, J.A. 2006. Conocimiento local y razonamiento agroecológico para toma de decisiones en pasturas degradadas en El Petén, Guatemala. Tesis Mg. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 114 p
- Linden, D.R; Hendrix, P.F; Coleman, D.C; Van Vilet, P. 1994. Faunal indicators of soil quality. In Doran, J.W.; Jones, A.J. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable Environment.* pp 91-106.
- Lok, S. 2005. Determinación y selección de indicadores del sistema suelo-pasto en pastizales dedicados a la producción de ganado vacuno. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 98 p.
- Luna, G; Sequeira, K; Torrez, M; Taleno, E; Serrano, I; González, M. 2010. Abundancia y biomasa de lombrices de tierra en dos ecosistemas intervenidos del bosque tropical húmedo, Bluefields. *Ciencia e interculturalidad.* Vol. 6. 131 p.
- Macedo, R; Galina, M.A; Zorrilla, J.M; Palma, J.M; Pérez, J. 2003. Análisis de un sistema de producción tradicional en Colima, México. *Archivos de Zootecnia.* Vol 52. N° 200. Pag. 463-474.
- Masera, O; Astier, M; López-Ridaura, S. 1999. Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales. *El Marco de Evaluación MESMIS.* Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, México. 109 p.
- Martin, N; Adad, I. 2006. Generalidades más importantes de las ciencias del suelo. En: *Disciplina Ciencias del Suelo.* Tomo I. Pedología. Universidad Agraria de La Habana. Cuba. 504 p.

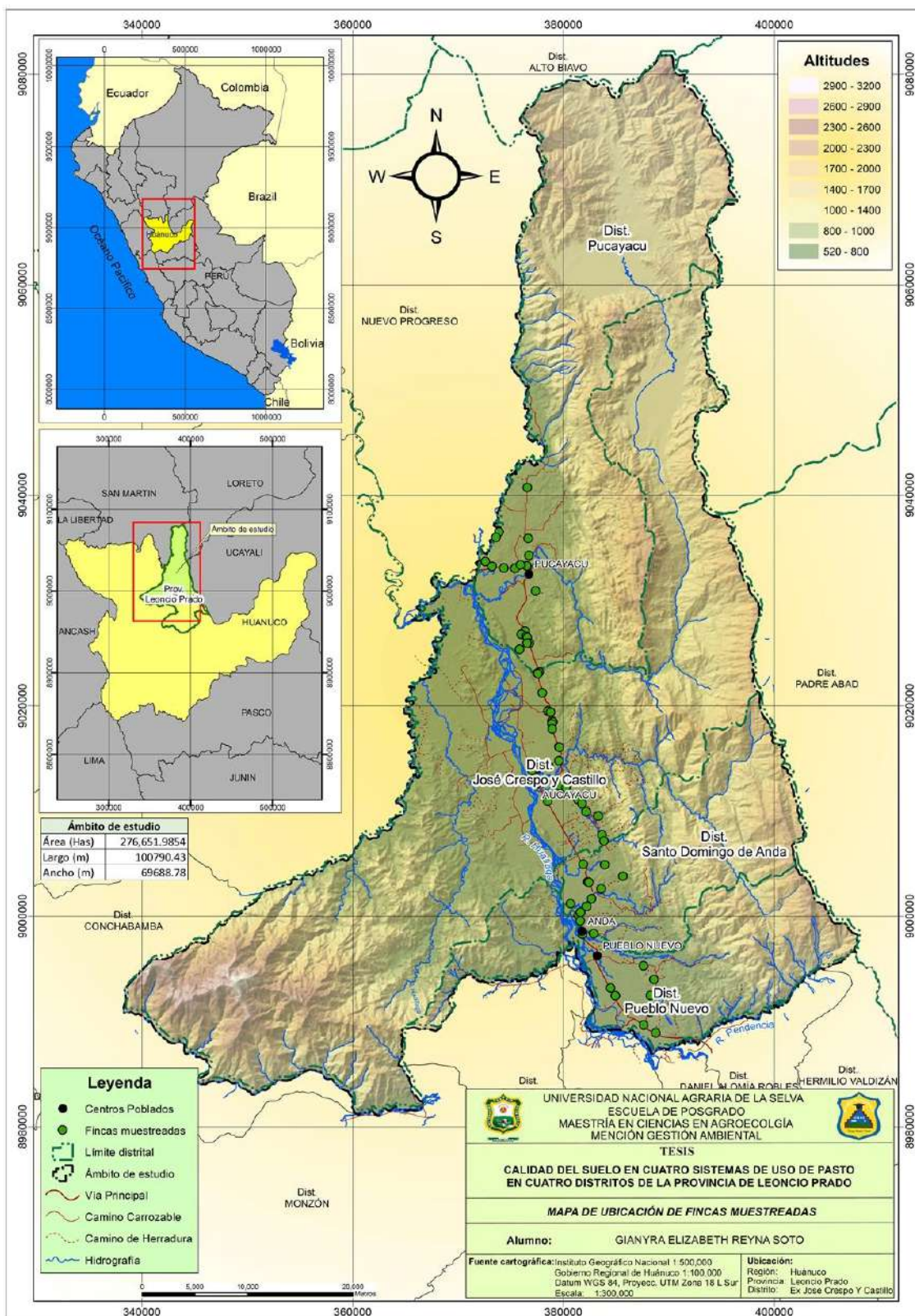
- Moore, J; Berlow, E; Coleman, D; Ruiter, P; Dong, Q; Hastings, A; Johnson, N; McCann, K; Melville, K; Morin, P; Nadelhoffer, K; Rosemond, A; Post, D; Sabo, J; Scow, K; Vanni, M; Wall, D. 2004. Detritus, trophic dynamics and biodiversity. *Ecology Letters* 7:584-600.
- Morris, M. 2000. The effects of structure and its dynamics on the ecology and conservation of arthropods in British grasslands. *Biological Conservation* 95:129-142.
- Nannipieri, P. et ál. 2003. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*. 54:655
- Neher, DA. 2001. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology* 33(4):161-168.
- Nielsen, MN; Winding, A. 2002. Microorganisms as indicators of soil health. National Environmental Research Institute (NERI), Denmark. Technical Report N° 388. 82 p
- Nicholls, C.I. 2003. Método agroecológico rápido y de fácil acceso para estimar la calidad del suelo y la salud del cultivo en Viñedos. 19 p.
- Ochoa, J. 2015. Aplicando los capitales de la comunidad para mejorar la adaptación y mitigación al cambio climático en fincas ganaderas de la Subcuenca Sixe Higuito, Región Trifinio. Magister Scientiae en Sistemas Agrícolas Sostenibles. s.l., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Padilla, C; Sardiñas, Y. 2003. Degradación de Pastizales. Memorias del curso para ganado bovino en el trópico. *Rev. Redalyc*. V. 43, n. 4-5 p.
- Pardos, L; Sáez, E; González, J.M; Allueva, A. 1999. Caracterización técnica de explotaciones ovinas aragonesas mediante métodos estadísticos multivariantes. *SEOC*. XXII.
- Pashanasi, B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia Peruana. *Folia Amazónica*. 12:75

- Paz, R; Lipshitz, H; Álvarez, R; Usandivaras, P. 2003. Diversidad y Análisis económico en los sistemas de producción lecheros caprinos en el área de riego del Río Dulce-Santiago del Estero-Argentina. ITEA Vol. 99 A N° 1. Pág. 10-40.
- Pérez, P. 2014. Estrategias para la renovación de praderas degradadas en la hacienda los Pulpitos. Tesis. Ing. Industrial Pecuario. Caldas, Colombia. Corporación Universitaria Lasallista. 76 p.
- Porta, J. et al. 2003. Edafología: para la agricultura y el medio ambiente. 3ra. ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 929 p.
- Prabhu, R. 2000. El potencial de los indicadores: indicadores con sensibilidad social. Revista Forestal Centroamericana, Turrialba, CR. 6: 29-52.
- Rapey, H; Lifran, R; Valadier, A. 2001. Identifying social, economic and technical determinants of silvopastoral practices in temperate uplands: results of a survey in the Massif central region of France. Agricultural Systems N° 69. Pág. 119-135.
- Rincón, A. 2006. Factores de degradación y tecnología de recuperación de praderas en los llanos orientales de Colombia. Meta, Colombia. Ed. 2da. Edit. Guadalupe Ltda. 30 p.
- Robles, R. 2005. Planificación agroconservacionista de fincas como contribución al manejo integrado de la microcuenca del Río Uruca, Costa Rica. Tesis *M.Sc.* CATIE. Turrialba, Costa Rica. 196 p.
- Rodríguez, I; Crespo, G.; Rodríguez, C.; Castillo, E; Fraga, S. 2002. Comportamiento de la macrofauna del suelo en pastizales con gramíneas naturales o intercaladas con *leucaena* para la ceba de toros. Rev. cubana Cienc. agríc. 36:181.
- Sánchez, S; Reinés, M. 2001. Papel de la macrofauna edáfica en los ecosistemas ganaderos. Pastos y Forrajes. 24:191
- Sánchez-Maranon, M. et al. 2002. Soil quality in Mediterranean mountain environments: effects of land use change. Soil Science Society of America Journal. 66:948



- SENAMHI. (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2017. Boletín Agrometeorológico. Dirección Zonal 10. Consultado 15 junio 2021. Disponible en: <http://www.senamhi.gob.pe/load/file/04410SENA-14.pdf>
- Singer, M.J; Ewing, S. 2000. Soil quality. In: Handbook of soil science. Ed. M.E. Sumner. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 271 p.
- Soca, M; Simón, L; Roque, E; Soca, M; García, D. 2006. Influencia de la macrofauna edáfica en la desaparición de las excretas en un sistema silvopastoril. 145 p.
- Staff, E. 2014. Causas y efectos de la degradación de las praderas. [En línea]: Consultado: junio 2021. Disponible: <http://deterioro-pastizales.blogspot.pe/>.
- Taboada, M.A.; Alvarez, C.R. 2008. Fertilidad física de los suelos. 2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- USDA. 1999. Guía para la elaboración de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura de lo Estados Unidos. Washington. 88 p.
- Verhoef, H; Van Selm, A. 2003. Distribution and population dynamics of Collembola in relation to soil moisture. *Holarctic Ecology* 6:387:394 p.
- Wolters, V. 2000. Invertebrate control of soil organic matter stability. *Biology and Fertility of Soils*. 31 (1):1
- Zerbino, M. 2005. Evaluación de la densidad, biomasa y Diversidad de la macrofauna del Suelo en diferentes sistemas de Producción. Tesis para obtener el grado de Magister en Ciencias Ambientales. Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay. 92 p.

VIII. ANEXOS

8.1. Mapa de ubicación de fincas muestreadas



8.2. Datos meteorológicos enero 2020


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Tingo María
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
Gabinete de Meteorología y Climatología


"Año de la Universalización de la Salud"

Tingo María, 13 de octubre de 2020


ESTACIÓN : TULUMAYO

PERIODO : ENERO DE 2020

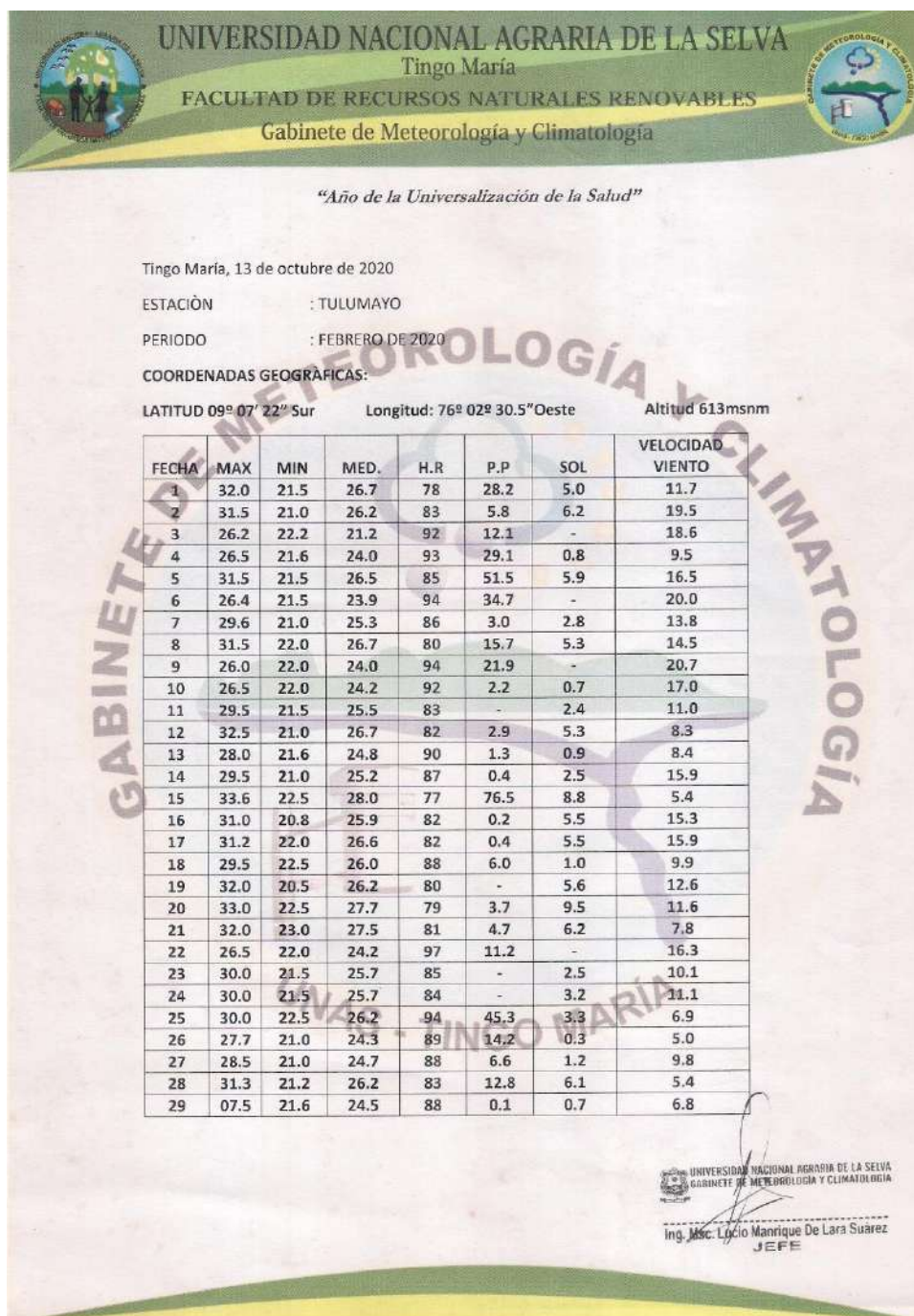
COORDENADAS GEOGRÁFICAS:

LATITUD 09° 07' 22" Sur Longitud: 76° 02' 30.5" Oeste Altitud 613msnm

FECHA	MAX	MIN	MED.	H.R	P.P	SOL	VELOCIDAD VIENTO
1	27.5	22.0	24.7	90	31.9	-	4.3
2	27.3	21.0	24.1	87	46.5	0.6	20.4
3	31.5	20.0	25.7	80	7.4	4.8	21.3
4	31.5	21.7	26.6	85	21.5	3.8	26.2
5	32.5	22.0	27.2	81	0.8	6.5	12.0
6	32.5	23.0	27.7	83	-	6.5	20.3
7	29.5	23.5	26.5	94	22.6	3.5	12.5
8	27.5	22.4	24.9	87	108.8	2.1	14.0
9	31.0	21.0	26.0	84	3.5	4.4	20.0
10	33.5	21.0	27.2	79	2.0	7.5	16.6
11	30.0	22.5	26.2	86	1.5	2.7	14.5
12	32.0	21.5	26.7	84	39.0	6.1	10.5
13	31.0	21.5	26.2	85	94.3	4.1	15.0
14	31.2	21.5	26.3	86	30.2	4.9	6.2
15	28.0	21.5	24.7	89	5.5	1.4	2.4
16	30.5	21.5	26.0	85	4.6	3.0	18.0
17	34.0	21.0	27.5	80	7.1	8.1	4.0
18	26.5	21.5	24.0	91	3.7	1.1	20.0
19	30.5	21.0	25.7	87	0.2	4.2	9.1
20	32.0	21.5	26.7	82	3.0	6.7	17.7
21	25.5	22.0	23.7	95	3.6	-	12.0
22	29.5	22.2	25.8	89	32.5	0.4	10.0
23	27.6	22.0	24.8	92	0.2	0.3	9.6
24	32.6	21.2	26.9	80	7.2	6.1	8.5
25	32.0	22.0	27.0	87	12.6	4.3	9.6
26	30.5	21.0	25.7	78	4.4	5.4	12.2
27	34.2	21.5	27.8	79	-	10.2	10.6
28	33.5	22.5	28.0	78	42.0	5.8	6.0
29	30.0	21.5	25.7	84	2.3	2.2	9.5
30	31.9	22.0	26.9	82	-	3.7	4.2
31	33.0	21.5	27.2	80	-	7.6	17.0


 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 GABINETE DE METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA
 Ing. Msc. Lucio Manrique De Lara Suárez
 JEFE

8.3. Datos meteorológicos febrero 2020



8.4. Análisis químico de suelos


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - WhatsApp 941531359
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología
 analisisdesuelosunas@hotmail.com




ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: REYNA SOTO GIANRYA ELIZABETH										PROCEDENCIA: JOSE CRESPO Y CASTILLO - HUANUCO															
N°	DATOS			ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%			
	COD LAB	SECTOR	REF	Arena %	Arcilla %	Limo %							Textura	disponible		Ca	Mg	K					Na	Al	H
														ppm	ppm										
1	S0595	7 DE OCTUBRE	P1M1	39	26	35	Franco	4.71	2.36	0.12	9.53	84.96	---	3.22	0.42	--	--	2.50	0.11	6.26	58.22	41.78	40.02		
2	S0596	7 DE OCTUBRE	P1M2	41	26	33	Franco	5.01	2.28	0.11	10.98	87.21	---	1.73	0.49	--	--	2.69	0.11	5.02	44.19	55.81	53.62		
3	S0597	7 DE OCTUBRE	P1M3	43	26	31	Franco	4.96	2.36	0.12	10.01	86.46	---	4.33	0.45	--	--	2.50	0.02	7.30	65.48	34.52	34.25		
4	S0598	KM8	P2M1	49	18	33	Franco	4.75	2.36	0.12	13.77	124.95	---	6.18	0.76	--	--	1.95	0.15	9.04	76.77	23.23	21.57		
5	S0599	KM8	P2M2	49	16	35	Franco	4.53	2.28	0.11	13.38	112.45	---	3.00	0.75	--	--	1.80	0.10	5.65	66.39	33.61	31.84		
6	S0600	KM8	P2M3	49	16	35	Franco	4.67	2.28	0.11	13.22	99.46	---	3.26	0.83	--	--	1.63	0.07	5.79	70.61	29.39	28.18		
7	S0601	KM7	P3M1	35	18	47	Franco	4.54	2.84	0.14	10.26	59.22	---	3.04	0.53	--	--	2.50	0.10	6.17	57.84	42.16	40.54		
8	S0602	KM7	P3M2	33	18	49	Franco	4.31	2.80	0.14	11.54	55.73	---	1.27	0.38	--	--	2.54	0.16	4.35	37.91	62.09	58.41		
9	S0603	KM7	P3M3	39	20	41	Franco	4.91	2.58	0.13	9.85	60.22	---	1.37	0.43	--	--	3.20	0.02	5.01	35.73	64.27	63.87		
10	S0604	7 DE OCTUBRE	P1Hz A	41	26	33	Franco	4.83	3.28	0.16	13.71	123.20	---	1.48	0.57	--	--	3.10	0.02	5.16	39.56	60.45	60.06		
11	S0605	7 DE OCTUBRE	P1Hz B	37	32	31	Franco Arcilloso	4.91	1.84	0.09	12.50	91.96	---	4.12	0.43	--	--	3.49	0.01	8.05	56.51	43.49	43.36		
12	S0606	7 DE OCTUBRE	P1Hz BA	33	20	47	Franco	4.93	1.49	0.07	7.37	60.22	---	4.60	0.61	--	--	4.60	0.05	9.86	52.83	47.17	46.66		
13	S0607	7 DE OCTUBRE	P1Hz C	31	48	21	Arcilloso	4.51	1.01	0.05	6.81	55.73	---	1.78	0.36	--	--	5.80	0.20	8.14	26.27	73.73	71.27		
14	S0608	KM8	P2Hz A	37	16	47	Franco	4.91	3.28	0.16	11.46	83.96	---	4.06	2.08	--	--	2.50	0.10	8.73	70.22	29.78	28.63		
15	S0609	KM8	P2Hz B1	31	34	35	Franco Arcilloso	4.60	1.36	0.07	8.33	61.22	---	3.55	0.43	--	--	5.68	0.02	9.68	41.10	58.90	58.69		
16	S0610	KM8	P2Hz B2	51	30	19	Franco Arcillo Arenoso	4.42	1.05	0.05	7.34	54.23	---	2.69	0.38	--	--	6.44	0.06	9.57	32.09	67.91	67.29		
17	S0611	KM7	P3Hz A	43	12	45	Franco	4.48	3.37	0.17	9.79	110.95	---	1.67	0.35	--	--	2.20	0.40	4.62	43.72	56.28	47.62		
18	S0612	KM7	P2Hz C	33	34	33	Franco Arcilloso	4.47	1.66	0.08	2.11	92.21	---	3.34	0.44	--	--	5.20	0.43	9.41	40.16	59.84	55.27		

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
RECIBO 001 N° 0610440
TINGO MARIA, 05 DE OCTUBRE 2020


 Ing. Luis C. Maspalla Miraya
 JEFF





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - WhatsApp 941531359
Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología
analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: REYNA SOTO GIANRYA ELIZABETH										PROCEDENCIA: JOSE CRESPO Y CASTILLO - HUANUCO													
N°	DATOS			ANÁLISIS MECÁNICO				pH	MO.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+) / kg						CICe	% Bas. Camb.	% Ac. Camb.	% Sat. Al
				Arena	Arcilla	Limo	Textura							1:1	%	%	disponible						
	%	%	%	ppm	ppm	ppm																	
19	S0777	TULUMAYO	P4HzA	25	28	47	Franco Arcillo Limoso	6.41	212	011	10.09	155.42	8.15	6.64	0.88	0.43	0.20	--	--	--	100	0	0
20	S0778	TULUMAYO	P4HzB	17	34	49	Franco Arcillo Limoso	6.82	074	004	7.53	50.43	6.33	5.43	0.62	0.14	0.13	--	--	--	100	0	0
21	S0779	TULUMAYO	P4M1	25	26	49	Franco Arcillo Limoso	6.10	209	010	10.74	113.87	6.25	5.07	0.79	0.24	0.17	--	--	--	100	0	0
22	S0780	TULUMAYO	P4M2	29	26	45	Franco	5.60	204	010	10.50	102.84	6.10	4.99	0.77	0.22	0.12	--	--	--	100	0	0
23	S0781	TULUMAYO	P4M3	27	26	47	Franco	5.62	162	008	9.69	97.10	4.88	4.04	0.64	0.13	0.07	--	--	--	100	0	0

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
RECIBO 001 N°061040
TINGO MARIA, 15 DE OCTUBRE 2020


 M. C. Manuella Minaya
JEFF



MÉTODOS ANALÍTICOS

01. pH método del potenciómetro, relación suelo - agua 1:1
02. C.E: Conductímetro – Extracto Acuoso
03. Materia orgánica: Método de Walkley y Black
04. Nitrógeno Total: Micro Kjeldahl
05. Fosforo disponible: Método de Olsen modificado. Extracto de NHCO_3 0.5M, pH 8.5
06. Potasio Disponible: Método de acetato de amonio 1N, pH 7.0
07. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): Método de acetato de amonio 1N, pH 7.0
Ca Mg K Na : Absorción atómica
08. C.I.C efectiva: Desplazamiento con KCl 1N (Suelos en pH < 5.5)
Aluminio más Hidrógeno: Método de Yuan.
09. Densidad Aparente, Densidad Real, Porcentaje de Porosidad: Método de la Probeta
10. Humedad Relativa, Capacidad de Campo: Método de la Probeta
11. Determinación de elementos menores Hierro, Cobre, Zinc y Manganeso: Método Melich III – EAA
12. Determinación del Boro: Método de la Azometina – H
13. Cadmio y Plomo disponible: Método EDTA – EAA
14. Cadmio Total: Extracción USEPA 3050 – EAA
15. Cadmio Soluble: Lectura directa de la solución en el espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Interpretación de Salinidad	Rango (dS/m)
No salino	0-2
Muy ligeramente salino	2-4
Ligeramente salino	4-8
Moderadamente salino	8-16
Fuertemente salino	> 16

Interpretación de Potasio Disponible	Rango (Kg K_2O /ha)	Rango (ppm)
Bajo	< 300	< 100
Medio	300-600	100-240
Alto	> 600	> 240

INTERPRETACIÓN DEL pH

Según Scheffer y Schachtschabel	pH en KCl	UNALM	pH en agua
Extremadamente ácido	< 4.0	Fuertemente ácido	< 5.5
Fuertemente ácido	4.0 - 4.9	Moderadamente ácido	5.5 - 6.0
Medianamente ácido	5.0 - 5.9	Ligeramente ácido	6.1 - 6.5
Ligeramente ácido	6.0 - 6.9	Neutro	7.0
Neutro	7.0	Ligeramente alcalino	7.2- 7.8
Ligeramente alcalino	7.1 - 8.0	Moderadamente alcalino	7.9- 8.4
Mediana alcalino	8.1 - 9.0	Fuertemente alcalino	> 8.5
Fuertemente alcalino	9.1 - 10		
Extremadamente alcalino	> 10		

Interpretación de Carbonato de Calcio	Rango (%)
Bajo	< 1
Medio	1-5
Alto	5-15
Muy alto	> 15

Interpretación de Materia Orgánica	Rango (%)
Bajo	< 2
Medio	2-4
Alto	> 4

Interpretación de Nitrógeno Total	Rango (%)
Bajo	< 0.1
Medio	0.1-0.2
Alto	> 0.2

Interpretación de Fósforo Disponible	Rango (ppm)
Bajo	< 7
Medio	7-14
Alto	> 14



GRACIAS POR LA CONFIANZA Y PREFERENCIA

8.5. Clasificación taxonómica de lombrices



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
Facultad de Agronomía
LABORATORIO DE ENTOMOLOGIA



"Año de la Universalidad de la Salud"

EL JEFE DEL LABORATORIO DE ENTOMOLOGIA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA – TINGO MARIA, INFORMA:

QUE LA CLASIFICACION TAXONOMICA DE LAS 1115 MUESTRAS DE LOMBRICES ENVIADAS POR LA SRTA. GIANRYA ELIZABETH REYNA SOTO, ES LA SIGUIENTE:

Reino	: Animalia
Sub-reino	: Metazoa
Filo	: Protostomia
Grupo	: Annelida
Clase	: Clitellata
Sub-clase	: Oligochaeta
Orden	: Crassicitellata
Sub-orden	: Lumbricina
Familia	: Lumbricidae
Sub-familia	: Lumbricinae
Género	: <i>Lumbricus</i>
Especie	: <i>Eisenia foetida</i> Savigny, 1826
Nombres comunes	: "Lombriz roja californiana", "lombriz de estiércol"

SIN OTRO PARTICULAR, QUEDO DE USTED.

TINGO MARIA, 18 DE NOVIEMBRE DE 2020.

Blgo. M. Sc. José Luis GIL BACILIO
Jefe del Laboratorio de Entomología
Celular: 937514633

Archivo.

8.6. Análisis de varianza de variables físicas del suelo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
T 15		32	0.31	0.23	4.91

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	20.74	3	6.91	4.11	0.0156
FINCA	20.74	3	6.91	4.11	0.0156
Error	47.14	28	1.68		
Total	67.88	31			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=1.3991

Error: 1.6835 gl: 28

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 4	27.83	8	0.46 A
Finca 3	26.16	8	0.46 B
Finca 2	26.03	8	0.46 B
Finca 1	25.79	8	0.46 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

T 30

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
T 30		32	0.7	0.67	2.01

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18.25	3	6.08	22.27	<0.0001
FINCA	18.25	3	6.08	22.27	<0.0001
Error	7.65	28	0.27		
Total	25.9	31			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.5636

Error: 0.2731 gl: 28

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 4	27.11	8	0.18 A
Finca 2	25.98	8	0.18 B
Finca 3	25.73	8	0.18 B
Finca 1	25.01	8	0.18

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Compactación

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Compactación		32	0.29	0.21	14.42

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9538.09	3	3179.36	3.8	0.0211
FINCA	9538.09	3	3179.36	3.8	0.0211
Error	23440.38	28	837.16		
Total	32978.47	31			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=31.2003

Error: 837.1563 gl: 28

FINCA	Medias	n	E.E.	
Finca 4	229.13	8	10.23	A
Finca 2	200	8	10.23	B
Finca 1	187.75	8	10.23	B
Finca 3	186	8	10.23	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

8.7. análisis de varianza de la densidad y biomasa de lombrices

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
DP1		32	0.32	0.25	48.19

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	880408	3	293469.33	4.42	0.0115
FINCA	880408	3	293469.33	4.42	0.0115
Error	1857696	28	66346.29		
Total	2738104	31			

Test:DGC Alfa=0.05

PCALT=277.7558

Error: 66346.2857 gl: 28

FINCA	Medias	n	E.E.	
Finca 2	806	8	91.07	A
Finca 4	526	8	91.07	B
Finca 1	432	8	91.07	B
Finca 3	374	8	91.07	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
DP2		32	0.57	0.53	133.75

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	35424	3	11808	12.48	<0.0001
FINCA	35424	3	11808	12.48	<0.0001
Error	26496	28	946.29		
Total	61920	31			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=33.1716

Error: 946.2857 gl: 28

FINCA	Medias	n	E.E.	
Finca 1	80	8	10.88	A
Finca 2	12	8	10.88	B
Finca 4	0	8	10.88	B
Finca 3	0	8	10.88	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
----------	---	----------------	-------------------	----

DPT 32 0.3 0.23 47.21

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	836760	3	278920	4.03	0.0168
FINCA	836760	3	278920	4.03	0.0168
Error	1939872	28	69281.14		
Total	2776632	31			

Test:DGC Alfa=0.05

PCALT=283.8327

Error: 69281.1429 gl: 28

FINCA	Medias	n	E.E.	
Finca 2	818	8	93.06	A
Finca 4	526	8	93.06	B
Finca 1	512	8	93.06	B
Finca 3	374	8	93.06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BP1	32	0.08	0	47.53

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3589.29	3	1196.43	0.85	0.4772
FINCA	3589.29	3	1196.43	0.85	0.4772
Error	39303.01	28	1403.68		
Total	42892.3	31			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=40.4007

Error: 1403.6791 gl: 28

FINCA	Medias	n	E.E.	
Finca 1	96.74	8	13.25	A
Finca 2	76.06	8	13.25	A
Finca 4	72.88	8	13.25	A
Finca 3	69.62	8	13.25	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BP2	32	0.52	0.47	171.8

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1458.48	3	486.16	10.17	0.0001

FINCA	1458.48	3	486.16	10.17	0.0001
Error	1338.28	28	47.8		
Total	2796.76	31			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=7.4550

Error: 47.7957 gl: 28

FINCA	Medias	n	E.E.		
Finca 1	15.71	8	2.44	A	
Finca 2	0.38	8	2.44		B
Finca 4	0	8	2.44		B
Finca 3	0	8	2.44		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
BPT		32	0.18	0.1	46.89

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9534.97	3	3178.32	2.11	0.1219
FINCA	9534.97	3	3178.32	2.11	0.1219
Error	42245.88	28	1508.78		
Total	51780.85	31			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=41.8859

Error: 1508.7813 gl: 28

FINCA	Medias	n	E.E.		
Finca 1	112.45	8	13.73	A	
Finca 2	76.44	8	13.73	A	
Finca 4	72.88	8	13.73	A	
Finca 3	69.62	8	13.73	A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

8.8. Análisis de varianza de las características químicas del suelo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
pH		12	0.87	0.81	4.6

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.7	3	0.9	17.15	0.0008
FINCA	2.7	3	0.9	17.15	0.0008
Error	0.42	8	0.05		
Total	3.12	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.4733

Error: 0.0525 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.	
Finca 1	5.77	3	0.13	A
Finca 2	4.89	3	0.13	B
Finca 3	4.65	3	0.13	B
Finca 4	4.59	3	0.13	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
MO		12	0.85	0.79	6.47

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.02	3	0.34	15	0.0012
FINCA	1.02	3	0.34	15	0.0012
Error	0.18	8	0.02		
Total	1.2	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.3107

Error: 0.0226 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.	
Finca 1	2.74	3	0.09	A
Finca 2	2.33	3	0.09	B
Finca 3	2.31	3	0.09	B
Finca 4	1.92	3	0.09	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
N		12	0.86	0.81	6.64

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.80E-03	3	9.40E-04	16.19	0.0009
FINCA	2.80E-03	3	9.40E-04	16.19	0.0009
Error	4.70E-04	8	5.80E-05		
Total	3.30E-03	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.0158

Error: 0.0001 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.	
Finca 1	0.14	3	4.40E-03	A
Finca 2	0.12	3	4.40E-03	B
Finca 3	0.11	3	4.40E-03	B
Finca 4	0.09	3	4.40E-03	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
p		12	0.87	0.82	5.87

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22.01	3	7.34	17.21	0.0008
FINCA	22.01	3	7.34	17.21	0.0008
Error	3.41	8	0.43		
Total	25.42	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=1.3489

Error: 0.4264 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.	
Finca 3	13.46	3	0.38	A
Finca 4	10.55	3	0.38	B
Finca 1	10.31	3	0.38	B
Finca 2	10.17	3	0.38	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
k		12	0.39	0.16	20.7

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1991.19	3	663.73	1.68	0.2476
FINCA	1991.19	3	663.73	1.68	0.2476
Error	3159.79	8	394.97		
Total	5150.98	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=41.0548

Error: 394.9736 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 3	112.29	3	11.47 A
Finca 1	104.6	3	11.47 A
Finca 2	86.21	3	11.47 A
Finca 4	80.88	3	11.47 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Ca		12	0.53	0.35	35.82

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13.79	3	4.6	3	0.0953
FINCA	13.79	3	4.6	3	0.0953
Error	12.27	8	1.53		
Total	26.07	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.5587

Error: 1.5342 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 1	4.7	3	0.72 A
Finca 3	4.15	3	0.72 A
Finca 2	3.09	3	0.72 A
Finca 4	1.89	3	0.72 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Mg		12	0.9	0.86	10.35

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.29	3	0.1	24.4	0.0002
FINCA	0.29	3	0.1	24.4	0.0002
Error	0.03	8	3.90E-03		
Total	0.32	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.1290

Error: 0.0039 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 3	0.78	3	0.04 A
Finca 1	0.73	3	0.04 A
Finca 2	0.45	3	0.04 B

Finca 4 0.45 3 0.04 B
 Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
k1	12	0.93	0.9	59.59

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.09	3	0.03	33.8	0.0001
FINCA	0.09	3	0.03	33.8	0.0001
Error	0.01	8	8.60E-04		
Total	0.09	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.0605

Error: 0.0009 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 1	0.2	3	0.02 A
Finca 3	0	3	0.02 B
Finca 2	0	3	0.02 B
Finca 4	0	3	0.02 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Na	12	0.87	0.82	83.33

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.03	3	0.01	17.28	0.0007
FINCA	0.03	3	0.01	17.28	0.0007
Error	5.00E-03	8	6.20E-04		
Total	0.04	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.0516

Error: 0.0006 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 1	0.12	3	0.01 A
Finca 3	0	3	0.01 B
Finca 2	0	3	0.01 B
Finca 4	0	3	0.01 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Al	12	0.97	0.96	12.34

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14.15	3	4.72	98.16	<0.0001
FINCA	14.15	3	4.72	98.16	<0.0001
Error	0.38	8	0.05		
Total	14.53	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.4528

Error: 0.0481 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.		
Finca 4	2.75	3	0.13	A	
Finca 2	2.56	3	0.13	A	
Finca 3	1.79	3	0.13		B
Finca 1	0	3	0.13		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
H		12	0.53	0.35	68.76

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.02	3	0.01	2.97	0.0968
FINCA	0.02	3	0.01	2.97	0.0968
Error	0.02	8	2.30E-03		
Total	0.04	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.0994

Error: 0.0023 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.		
Finca 3	0.11	3	0.03	A	
Finca 4	0.09	3	0.03	A	
Finca 2	0.08	3	0.03	A	
Finca 1	0	3	0.03	A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Bases camb		12	0.9	0.86	12.63

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5290.83	3	1763.61	24.09	0.0002
FINCA	5290.83	3	1763.61	24.09	0.0002
Error	585.71	8	73.21		

Total 5876.54 11

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=17.6756

Error: 73.2134 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.		
Finca 1	100	3	4.94	A	
Finca 3	71.26	3	4.94		B
Finca 2	55.96	3	4.94		C
Finca 4	43.83	3	4.94		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Acido camb		12	0.9	0.86	26.54

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5290.83	3	1763.61	24.09	0.0002
FINCA	5290.83	3	1763.61	24.09	0.0002
Error	585.71	8	73.21		
Total	5876.54	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=17.6756

Error: 73.2134 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.		
Finca 4	56.17	3	4.94	A	
Finca 2	44.04	3	4.94	A	
Finca 3	28.74	3	4.94		B
Finca 1	0	3	4.94		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
sat alum		12	0.9	0.86	26.72

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4957.1	3	1652.37	24.04	0.0002
FINCA	4957.1	3	1652.37	24.04	0.0002
Error	549.82	8	68.73		
Total	5506.92	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=17.1255

Error: 68.7270 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.
-------	--------	---	------

Finca 4	54.27	3	4.79	A	
Finca 2	42.63	3	4.79	A	
Finca 3	27.2	3	4.79		B
Finca 1	0	3	4.79		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CIC		12	0.26	0 21.13

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.39	3	1.46	0.91	0.4761
FINCA	4.39	3	1.46	0.91	0.4761
Error	12.79	8	1.6		
Total	17.18	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.6120

Error: 1.5987 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 3	6.83	3	0.73 A
Finca 2	6.19	3	0.73 A
Finca 1	5.74	3	0.73 A
Finca 4	5.18	3	0.73 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CICe		12	0.26	0 21.13

Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.56	3	1.52	0.96	0.457
FINCA	4.56	3	1.52	0.96	0.457
Error	12.67	8	1.58		
Total	17.24	11			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.6000

Error: 1.5841 gl: 8

FINCA	Medias	n	E.E.
Finca 3	6.83	3	0.73 A
Finca 2	6.19	3	0.73 A
Finca 1	5.63	3	0.73 A
Finca 4	5.18	3	0.73 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

8.9. Panel fotográfico



Construcción del transecto en la parcela 1



Colección y conteo de lombrices por estratos



Colección de lombrices por estrato



Colección y conteo de lombrices por estrato



Muestreo de suelos



Construcción de transecto en la parcela 3



Registro de pesos para el cálculo de densidad aparente



Registro de pesos para el cálculo de densidad aparente



Observación de lombrices por el estereoscopio



Toma de datos del color del suelo por perfiles