



Degradación de pasturas y sistemas silvopastoriles predominantes en la Amazonía peruana

Pasture degradation and silvopastoral systems predominants in the Peruvian Amazon

Rafael Robles-Rodríguez^{1*}; Lucrecia Aguirre-Terrazas²; María Helena Souza de Abreu²; Cristobal Villanueva-Najarro³; Enrique Flores-Mariaza²

¹ Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria de la Selva, carretera central km. 1.21, 100601, Tingo María, Perú.

² Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina s/n, 15024, Lima, Perú.

³ Grupo de investigación GAMMA, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Cartago, Turrialba 30501 Costa Rica.

ORCID de los autores:

R. Robles-Rodríguez: <https://orcid.org/0000-0002-7696-2666>

L. Aguirre-Terrazas: <https://orcid.org/0000-0003-0674-9875>

M. H. Souza de Abreu: <https://orcid.org/0000-0002-1386-1294>

C. Villanueva-Najarro: <https://orcid.org/0000-0003-4218-7945>

E. Flores-Mariaza: <https://orcid.org/0000-0001-5418-1247>

RESUMEN

El objetivo fue estimar el nivel de degradación de pasturas en los sistemas ganaderos y seleccionar los sistemas silvopastoriles (SSP) con mayor predominancia para medir su influencia sobre el suelo, la disponibilidad y calidad de los pastos. Se realizó en el Distrito de José Crespo y Castillo, en Huánuco, Perú. Los resultados evidencian un 80% de degradación entre muy severo a severo en pasturas naturales, y los SSP predominantes fueron los sistemas de árboles dispersos en potreros de regeneración natural (76,5%) y las de cercas vivas (38,3%), siendo seleccionados: un sistema con árboles dispersos (SAD), un sistema con cercas vivas multiestratos (SCVM); y dos sistemas testigos: un sistema tradicional sin componente arbóreo (ST) y un SSP con plantación forestal y cercas vivas (SPFCV). Los resultados muestran que los SSP predominantes mejoran la fertilidad del suelo, la disponibilidad y calidad de los pastos a comparación del ST, y en menor intensidad comparado al SPFCV.

Palabras clave: Ecosistemas tropicales; sistemas ganaderos; disponibilidad de pasturas; calidad de pasturas; fertilidad del suelo.

ABSTRACT

The objective was to estimate the level of pasture degradation in livestock systems and to select the most predominant silvopastoral systems (SSP) to measure their influence on soil, pasture availability and quality. It was carried out in the District of José Crespo y Castillo, in Huánuco, Peru. The results show an 80% of degradation between very severe to severe in natural pastures, and the predominant SSP were: scattered trees of natural regeneration system (76.5%) and live fences system (38.3%), being selected: a scattered trees system (SAD), a multi-strata live fences system (SCVM); and two control systems: a traditional system without tree component (ST) and a SSP with forest plantation and live fences (SPFCV). The results show that the predominant SSP improved soil fertility, availability and quality of pasture compared to the ST, and to a lesser extent compared to the SPFCV.

Keywords: Tropical ecosystems; livestock systems; pasture availability; pasture quality; soil fertility.

1. Introducción

La actividad ganadera, que se desarrolla en la Amazonía peruana, presenta ciertas limitaciones debido a las condiciones climáticas, baja fertilidad de los suelos y bajos parámetros productivos (Echevarría, 2020) que no superan los 20 kilos de carne/ha/año, con una carga animal de 0,59 (FAO, 2006). La baja productividad animal depende directamente de la condición del suelo, y éste es caracterizado por presentar altos niveles de aluminio, fuertemente ácidos y altos rangos de compactación (Primavesi, 1982). Esta situación ha generado que un 60% y 80% de los pastos presenten un nivel significativo de degradación (Holmann et al., 2004; Betancourt et al., 2007; Días-Filho, 2015).

Este escenario convierte a la ganadería extensiva en una actividad con alto impacto al medio ambiente, con altas emisiones de gases de efecto invernadero, alto grado de degradación de los ecosistemas y suelos, contaminación del agua y reducción de la biodiversidad (Chará et al., 2017) además presenta una baja productividad animal (Murgueitio et al., 2011) y la convierten en una actividad no sostenibles (Steinfeld et al., 2006).

Existen en la actualidad estrategias sostenibles de producción ganadera, basadas en la aplicación de sistemas silvopastoriles (SSP) lo que involucra la incorporación del componente arbóreo y/o arbustivo en las pasturas, y que generan interacciones favorables tanto para el suelo, el pasto y el animal que se traducen en mayor rendimiento por unidad de área, mayor eficiencia en el uso de los recursos y una mayor provisión de servicios ecosistémicos (Chará et al., 2019).

Los SSP permiten mejorar la productividad de las pasturas y del ganado (Montagnini et al., 2015; Peri et al., 2016); proteger el suelo y mejorar la infiltración de agua (Ríos et al., 2007); incrementar la biodiversidad (Sáenz et al., 2007; Tobar et al., 2022); reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Mavisoy et al., 2023; Villanueva et al., 2023; Bretas et al., 2020) y aumentar el secuestro de carbono (Cárdenas et al., 2019; Ñamagua-Uyaguari et al., 2023).

Los SSP han demostrado ser una alternativa de producción ganadera sostenible y han sido promovidos durante décadas, pero muy pocos han sido adoptados, debido principalmente a factores económicos y sociales (Alvarado et al., 2023). El SSP de árboles dispersos en potreros permite una disponibilidad y una adecuada composición de las pasturas (Esquivel et al., 2018), sobre todo si son especies de regeneración natural que permiten la rehabilitación productiva

de la producción ganadera (Murgueitio et al., 2011) basado en la funcionalidad ecológica y soporte fundamental de la biodiversidad local (Calle & Murgueitio, 2020).

En la Amazonía peruana existen sistemas ganaderos con árboles dispersos con especies de regeneración natural dejados deliberadamente en los potreros, así como los cercos vivos utilizados para limitar sus propiedades (Echevarría et al., 2019; Vásquez et al., 2020). Sin embargo, estos SSP predominantes requieren de un manejo integral para optimizar sus funciones en las fincas (José et al., 2019).

En ese sentido, es importante definir cómo estos sistemas surgidos de forma espontánea influyen en la calidad del suelo (físico, químico y biológico), la producción, disponibilidad y calidad de pastos. En ese contexto, el objetivo del estudio fue determinar el nivel de degradación de las pasturas en los sistemas de producción ganadera y evaluar el efecto de los SSP predominantes sobre las características y fertilidad del suelo, la producción, disponibilidad y calidad del pasto.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

El presente estudio se realizó en el Distrito de José Crespo y Castillo (Aucayacu) de la Provincia de Leoncio Prado, Región de Huánuco, Perú, ubicada en un bosque muy húmedo-premontano tropical (bmh-PT), entre 520 a 3200 metros de altitud, con una temperatura media anual de 23,8 °C y una precipitación pluvial entre 2193 a 3760 mm anual.

El Distrito cuenta con 429 fincas ganaderas y una población estimada de 6004 cabezas de ganado vacuno (MINAGRI, 2013). Para determinar el tamaño muestral, se aplicó la fórmula de estimación a través de un muestreo aleatorio simple (Cochran, 1996) y se obtuvo un tamaño muestral de 68 fincas a un 95% de confianza, con una varianza calculada de una variable dicotómica (0,7 y 0,3) y un 10% de error de estimación.

2.2. Análisis de la degradación de las pasturas

Se visitaron las 68 fincas ganaderas para realizar la evaluación del estado de las pasturas, aplicando la metodología propuesta por León (2006), basada en una calificación visual por percepción. Se utilizaron dos tablas de evaluación, tanto para potreros con pastura natural y con pastura mejorada para determinar el índice de degradación (nivel de degradación). Para ello, se eligió un potrero representativo en cada finca, realizando un recorrido para su evaluación en un área

aproximada de una hectárea. Las tablas asignan un 50% de importancia a las características propias de la pastura (porcentaje de especies palatables: 20%, condición: 15% y disponibilidad: 15%), mientras que el otro 50% corresponde a la cobertura del área evaluada (porcentaje de malezas: 15%, porcentaje de suelo desnudo: 20% y presencia de erosión: 15%).

2.3. Sistemas silvopastoriles predominantes y sistemas testigos

Se identificaron y caracterizaron los SSP predominantes en las 68 fincas ganaderas. Las especies de árboles nativos de regeneración natural que se citan en los resultados fueron identificadas por observación participante con los productores. Para el estudio comparativo de los SSP predominantes se eligieron dos sistemas testigos: un sistema tradicional sin cobertura arbórea y con pastura natural (ST), y un SSP con plantación forestal de *Calycophyllum spruceanum* con una densidad de 186 árboles/ha. establecida el 2006, con cercas vivas y con franjas de pastura de *Echinochloa polystachya* asociada con *Pueraria phaseloides* (SPFCV). El SPFCV fue establecido por la Universidad Nacional Agraria de la Selva como un modelo piloto para el fomento de SSP (Figura 1).

2.4. Análisis de suelo en los SSP

Para el análisis físico y químico del suelo se utilizó el método del transecto, para ello, se tomaron 15 submuestras de suelo a 30 cm de profundidad dentro de un potrero seleccionado. Cada submuestra mantuvo una equidistancia entre 10 a 15 m. Se realizaron muestras para la densidad aparente y la temperatura del suelo a 15 y 30 cm de profundidad aledaño al sitio de submuestreo

del suelo. Asimismo, se evaluó el nivel de compactación con el uso de un penetrómetro.

La evaluación biológica del suelo se realizó aplicando la metodología propuesta por el Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) (Anderson & Ingram, 1993). Por cada sistema en estudio se tomaron 8 muestras (monolitos) en un transecto cada 10 m. Se tuvo 4 estratos de estudio sucesivos (hojarasca, 0 - 10 cm, 10 - 20 cm y 20 - 30 cm de profundidad). Como indicador de la actividad biológica en el suelo se evaluó la densidad (número de individuos/m²) y biomasa (g/m²) de las lombrices del suelo, como bioindicadores de la estabilidad y la fertilidad de los suelos en diversos usos de la tierra (Crespo, 2013).

2.5. Producción, disponibilidad y calidad del pasto en los SSP

Para determinar la producción de pastos se aplicó el método sistemático destructivo (Hargreaves & Kerr, 1992) realizando cuatro repeticiones cada mes por sistema durante un año. Se utilizó un marco de un metro cuadrado y se colectó la parte aérea herbácea a 5 cm de altura del suelo registrando el peso fresco.

Las muestras herbáceas fueron llevadas al Laboratorio de Pastos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para determinar la materia seca, y calcular la producción y disponibilidad (kg MS/ha/año), así como la carga animal (UA/ha/año). Para determinar la disponibilidad se consideró 70% de aprovechamiento por el animal de la producción total del pasto. Asimismo, se realizó el análisis proximal (Proteína cruda, ceniza, extracto etéreo y fibra cruda), incluyendo la fibra detergente ácida (FDA). La digestibilidad de la materia seca se calculó de manera indirecta (Van Soest, 1994).



Figura 1. Sistema tradicional con pastura natural (ST, a); SSP con plantación forestal, cercas vivas y pasto mejorado (SPFCV, b).

2.6. Análisis estadístico

Para el análisis de degradación de las pasturas, se realizó el análisis de conglomerados para el agrupamiento de fincas aplicando el método de promedio (Average linkage) y distancia Euclídea, con base a los índices de degradación de las pasturas. Para el análisis de los sistemas sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo y la producción, disponibilidad y calidad del pasto se utilizó el diseño completamente al azar a un 5% de nivel de significancia, considerando los cuatro sistemas ganaderos (2 SSP prevalentes y 2 Testigos) como tratamientos; asimismo, se aplicó la prueba Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) para la comparación entre medias (Di Rienzo et al., 2002). Se trabajó con el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

3. Resultados y discusión

3.1. Degradación de las pasturas

El 81% de fincas tienen pasto natural, compuesto principalmente por: *Axonopus compressus* y *Paspalum conjugatum*, mientras que el 32% de fincas tienen pasturas mejoradas, cuyas especies predominantes son: *Urochloa decumbens* (60% de presencia), *Urochloa brizantha* (30% de presencia) en suelos secos y *Echinochloa polystachya* (10% de presencia) en suelos inundables. Por otra parte, el 13% de fincas tienen ambas pasturas en sus potreros. La baja pro-

porción de las pasturas mejoradas en las fincas se debe, principalmente, a sus exigencias nutricionales y su rápida degradación (Holmann et al., 2004). El 80% de fincas con pastura natural se encuentran en un nivel de degradación entre severa y muy severa. El nivel de degradación muy severa se caracteriza por tener: una condición muy mala (aspecto y color); una disponibilidad muy pobre; y con presencia de malezas entre 16% a 35% del área de evaluación. Mientras que el 95,5% de fincas con pasturas mejoradas presentan una degradación moderada y leve (Tabla 1). Se identificaron cuatro grupos por su índice de degradación (Tabla 2). El tercer y cuarto grupo (44% y 24%, respectivamente) son fincas que tienen exclusivamente pasto natural, con una degradación entre severa a moderada.

La degradación de las pasturas no solo es la pérdida de la capacidad productiva herbácea (Stocking & Murnaghan, 2001), sino también, es un proceso de sucesión natural (Odum & Barret, 2005; Dias-Filjo, 2015).

La degradación en las pasturas está ligada fuertemente a la falta de un manejo adecuado como: la fertilización de sus pasturas, divisiones de potreros, sistema rotacional de pastoreo, manejo de carga apropiada, quemadas controladas, entre otras (Fonte et al., 2014). La degradación de las pasturas puede significar pérdidas de hasta 82 \$US/ha/año por reducciones en la productividad animal (Betancourt et al., 2007).

Tabla 1

Nivel de degradación de la pastura natural y mejorada

Pastura	Nivel de degradación			Fincas	
	Nivel	Rango Índice de degradación	Estado	Cantidad	%
Natural	1	1,0 – 1,5	Muy severa	9	16,4
	2	1,6 – 2,5	Severa	35	63,6
	3	2,5 – 3,0	Moderada	11	20,0
Mejorada	3	2,6 – 3,5	Moderada	4	18,2
	4	3,6 – 4,8	Leve	17	77,3
	5	4,9 – 5,0	Nulo	1	4,5

Tabla 2

Grupo de fincas por su nivel de degradación (Media y error estándar entre paréntesis)

Grupo	Fincas		Pasto natural		Pasto mejorado	
	Cantidad	%	Índice de degradación	Nivel de degradación	Índice de degradación	Nivel de degradación
1	13	19			4,13 (0,19) a	Moderada-leve
2	9	13	2,42 (1,14) a	Severa-moderada	4,10 (0,16) a	Moderada-leve
3	30	44	2,46 (0,04) a	Severa-moderada		
4	16	24	1,54 (0,05) b	Muy severa-severa		
	p-valor		< 0,0001		0,7453	

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según Prueba DGC al 5% de nivel de significancia.

3.2. Caracterización de los sistemas silvopastoriles predominantes

Existe una alta presencia de árboles dispersos de regeneración natural en potreros (76,5%), como producto del abandono de sus potreros, surgiendo primero malezas, arbustos y luego árboles como proceso de una sucesión secundaria. Estos árboles son dejados por los ganaderos por recibir algún beneficio (postes y leña) o para la alimentación de sus animales (frutales).

Las especies predominantes encontradas son frutales: *Psidium guajava* L. (guayaba), *Mauritia flexuosa* (aguaje), *Inga feuillei* (guaba), y entre maderables y no maderables: *Calycophyllum spruceanum* (capirona), *Guazuma crinita* (bolaina blanca), *Ceiba insignis* (huimba colorada), *Couma macrocarpa* (leche caspi), *Alseis peruviana* (palo blanco), y la *Attalea moorei* (shapaja).

Las cercas vivas existentes en las fincas (38,3%) son principalmente utilizadas para limitar sus propiedades con múltiples especies de regeneración natural (cercas vivas multiestratos) y como división de potreros con una o dos especies plantadas. Las especies predominantes encontrados en las cercas vivas son la *Erythrina* sp. (palo vivo), *Couma macrocarpa* (leche caspi), *Ficus* sp. (renaco), *Cecropia* sp. (cetico), *Miconia barbeyana cogniaux* (paliperro), *Mauritia flexuosa* (aguaje) y *Psidium guajava* L. (guayaba). Esta proporción es menor a los reportado por Harvey et al. (2005), donde encontraron que entre el 49% y el 89% de fincas ganaderas en Centro América tenían cercas vivas.

Se evidencia que el 30,9% de fincas tienen tanto cercas vivas como árboles dispersos en potreros. Las especies predominantes en ellas son las mismas descritas anteriormente. Por otra parte, el

16% de fincas tienen pasturas sin cobertura arbórea en sus potreros, por lo que son llamados sistemas tradicionales (ST).

Los arreglos de árboles dispersos y cercas vivas son los SSP tradicionales que predominan en la zona de estudio, tal como sucede en América Central (Harvey et al., 2008; Murgueitio et al., 2011), y en la Amazonía peruana (Echevarría et al., 2019; Vásquez et al., 2020).

3.3. Selección de los sistemas silvopastoriles predominantes

Se eligieron un SSP con cercas vivas multiestratos con pastura natural (torurco) asociada con *Calopogonium muconoides* (SCVM). Estos cercos vivos multiestratos tienen 20 años de establecidas para limitar su propiedad y presentan más de 20 especies de regeneración natural, generando distintos estratos. Asimismo, se eligió un SSP con árboles dispersos de regeneración natural de *Psidium guajava* L. de 10 años de establecida aproximadamente con una densidad de 106 árboles/hectárea, y con pastura natural asociada con *Calopogonium muconoides* (SAD) (Figura 2).

La fruta de *P. guajava* L. (guayaba) es muy apreciada por los animales para su consumo, así mismo, su propagación es facilitada por el propio animal a través de sus excretas. Los sistemas con árboles en potreros (SAD y SPFCV) tienen como componente arbóreo a la *P. guajava* L. (guayaba) y *C. spruceanum* (capirona) respectivamente. La radiación solar útil es de 43% en ambos sistemas, pero debido a una mayor densidad arbórea del SPFCV, ésta proporciona una sombra del 22,7%, siendo mayor que la generada por el SAD (13,3%; Tabla 3).



Figura 2. SSP con cercas vivas multiestratos (SCVM, c); SSP con árboles dispersos de guayaba (SAD, d).

Tabla 3

Características dasométricas de los componentes arbóreos en los SSP

Sistema	Dap (cm)	Altura (m)	Radiación solar útil %	Área dosel (m ²)		
				Individual	Hectárea	Dosel/ha (%)
SAD	9,87	7,11	43,0	12,45	1332,0	13,3
SPFCV	20,3	13,9	43,7	12,3	2271,8	22,7

SAD: Sistema de árboles dispersos; SPFCV: Sistema con plantación forestal y cercas vivas; Dap: Diámetro a la altura de pecho (1,3 m).

3.4. Características y fertilidad de los suelos en los sistemas seleccionados

Los suelos presentan una textura entre franco a franco arcillosa de tipo aluvial. Con respecto a la temperatura del suelo, el ST registra mayor temperatura del suelo (30 cm de profundidad) a comparación de los SSP (SCVM, SAD Y SPFCV). Esta diferencia es debido, a que la presencia de árboles genera un microclima y mantienen una menor temperatura del suelo (Landholm et al., 2019).

Esta menor temperatura del suelo reduce la evapotranspiración, mantiene la humedad y conserva el agua del suelo (Murgueitio et al., 2015), reduciendo el estrés hídrico de los pastos en la época de menor precipitación. Con respecto a la compactación del suelo, también se registran menores valores (libras/pulgada²) en suelos de los SSP (condición buena) a comparación del ST (condición regular) por efecto de los árboles que promueven la descompactación del suelo y la infiltración del agua en el suelo (Ibrahim et al., 2001; Tabla 4).

Los mayores contenidos de materia orgánica (MO), nitrógeno (N) y carbono (C) se encuentran en los sistemas que incorporan componentes arbóreos (SCVM, SAD y SPFCV), esto es debido a que los árboles incrementan el proceso fotosintético, con mayor captura de carbono en el sistema.

Otros estudios realizados informan que la introducción del componente arbóreo contribuye a aumentar las reservas de C y N en el suelo (Ibrahim et al., 2007; Pardon et al., 2017; Beuschel et al., 2019), trayendo mejoras en la agregación del suelo y en las propiedades físicas y químicas del suelo. Los SSP prevalentes (SCVM y SAD) presentan parámetros mayores al ST, pero menores al SPFCV.

Con respecto al carbono orgánico del suelo (COS) se observa mayor contenido en el SCVM seguidos del SAD; sin embargo, el SPFCV registra menor COS al igual que el ST. El COS es calculado a través del contenido de materia orgánica del suelo, la densidad aparente y por la profundidad de muestreo (30 cm de profundidad), por ello, al tener el SPFCV menor densidad aparente, logra una menor cantidad de COS.

Los cuatro sistemas no muestran diferencias en la relación C/N, coincidiendo con los trabajos en SSP con pinos reportados por de Abreu et al., (2020). El SAD con árboles de *P. guajava* L. (guayaba) presentó mayor densidad de lombrices de suelo, favorecida por la oferta de materia orgánica (frutos), las condiciones de temperatura y humedad del suelo (Hendricks, 2005), generando un microclima ideal para los organismos del suelo y el reciclaje de nutrientes (Manning et al., 2006).

Tabla 4

Parámetro físico, químico y biológico de los suelos en los sistemas

Parámetros	Sistemas				p-valor
	ST	SCVM	SAD	SPFCV	
Tipo de suelo	Aluvial	Aluvial	Coluvial	Aluvial	
Densidad aparente (g/cm ³)	1,4	1,6	1,5	1,3	
Temperatura del suelo a 30 cm (°C)	27,11 a	25,73 b	25,98 b	25,01 c	<0,0001
Compactación (psi)	229,13 a	186,00 b	200,00 b	187,75 b	0,0211
pH	4,59 b	4,65 b	4,89 b	5,77 a	0,0008
MO (%)	1,92 c	2,31 b	2,33 b	2,74 a	0,0012
N (%)	0,09 c	0,11 b	0,12 b	0,14 a	0,0009
C (%)	1,11 c	1,34 b	1,35 b	1,59 a	0,0012
Relación C/N	12,4	12,2	11,3	11,4	0,5311
COS (t C/ha)	36,47 c	64,79 a	51,75 b	35,3 c	<0,0001
Densidad lombrices (ind/m ²)	526 b	374 b	818 a	512 b	0,0168
Biomasa (g/m ²)	69,62	72,88	76,44	112,45	0,1219

3.5. Producción, disponibilidad y calidad del pasto en los sistemas seleccionados

El ST presenta menor producción y disponibilidad de pasto natural comparada con los otros sistemas (Tabla 5). El SPFCV que tiene pastura mejorada (*E. polystachya*) presentó mayor producción y disponibilidad de pasto, sin embargo, la producción de este pasto mejorado puede llegar de 20 a 35 t MS/ha/año (Da Cruz, 2000). Un factor limitante es la baja tolerancia a la sombra de este pasto que reduce su capacidad productiva (Samarakoon et al., 1990).

El sistema tradicional (ST) con pasto natural muestra una baja producción y disponibilidad de pasto y su respectiva carga animal (0,72) que no está lejos de la media en América Latina (Murgueitio et al., 2011). Mientras que los SSP predominantes (SCVM y SAD) también con pasto natural presentan un incremento de la producción y disponibilidad de hasta un 300% comparado con el ST, debido al efecto de la sombra arbórea a que es sometida (Samarakoon et al., 1990; Wong, 1990; Esquivel et al., 2018).

Los sistemas con componentes arbóreos presentan mejores características físicas y químicas del suelo (mayor contenido de materia orgánica y pH, menor compactación y temperatura del suelo, entre otros factores) que favorecen la agregación del suelo (Beuschel et al., 2019) y por ende en la productividad primaria herbácea sobre el ST.

La carga animal de los SSP predominantes se encuentran entre 2,08 a 2,3 UA, superando a lo reportado Da Cruz (2000), FAO (2006) y Murgueitio et al., (2011). Estos sistemas se encuentran cercanos a la productividad del SPFCV, quien presenta mayor capacidad de carga animal, debido a su mayor producción y disponibilidad de pasto. El ST muestra pastos con bajo contenido de proteína cruda, mayor contenido de fibra cruda y menor digestibilidad a comparación de los pastos de los SCVM, SAD y SPFCV (Tabla 6). Los SSP (SCVM, SAD y SPFCV) presentan una mayor calidad de pastos, coincidiendo con lo reportado por Samarakoon et al. (1990) y Mojardino et al. (2010). El contenido de proteína cruda y digestibilidad del SPFCV corresponde al contenido medio para pastura mejorada de *E. polystachya*, reportada por Díaz et al. (2021), que van desde 10% a 12% de proteína y 58% a 57% de digestibilidad de la materia seca. Los pastos naturales en los SSP predominantes (SCVM y SAD) versus los pastos naturales del ST incrementaron en un 2,04% y 2,10% de proteína respectivamente.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Samarakoon et al (1990), donde encontraron en pastos naturales (*Axonopus compressus*) un incremento de 1% a 3% de proteína, cuando recibió un 50% de sombra versus a pleno sol. La mayor fibra detergente ácida (FDA) en los pastos del ST, indican una baja digestibilidad de estos pastos.

Tabla 5
Disponibilidad de forraje y carga animal en los sistemas

Parámetros	Sistemas				p-valor
	ST	SCVM	SAD	SPFCV	
Proteína cruda (%)	7,63 (0,44) b	9,67 (0,25) a	9,73 (0,48) a	10,3 (0,5) a	0,0042
Ceniza (%)	12,63 (0,57) a	8,49 (0,58) b	7,52 (0,13) b	13,80 (2,65) a	0,0191
Extracto etéreo (%)	1,04 (0,15)	0,97 (0,10)	0,87 (0,09)	1,01 (0,11)	0,7609
Fibra cruda (%)	29,23 (1,16) a	24,70 (0,58) b	27,63 (0,26) a	24,70 (0,95) b	0,0039
Fibra Detergente Ácida (%)	41,67 (0,85) a	35,56 (1,02) b	37,55 (1,18) b	39,30 (1,12) b	0,0091
Digestibilidad (%)	56,44 (0,66) b	61,20 (0,79) a	59,65 (0,92) a	58,30 (0,87) a	0,0091

Tabla 6
Valor nutricional de los pastos en los sistemas (media y error estándar entre paréntesis)

Parámetros	Sistemas				p-valor
	ST	SCVM	SAD	SPFCV	
Producción de pasto (Kg MS/ha/año)	4505,20 c	13012,90 b	14362,20 b	19493,10 a	<0,0001
Disponibilidad de pasto (Kg MS/ha/año)	3153,60 c	9109,00 b	10053,50 b	13645,10 a	<0,0001
Carga animal (UA/ha/año)*	0,72 c	2,08 b	2,30 b	3,12 a	<0,0001

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticas (prueba DGC 5 % de nivel de significancia)

ST: sistema tradicional; SCVM= sistema con cercas vivas multiestratos; SAD= sistema con árboles dispersos; SPFCV= sistema con plantación forestal y cercas vivas.

* UA: 450 kg de peso vivo (PV); consumo UA: 12 kg de MS/día; MS= materia seca

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según Prueba DGC al 5% de significancia.

4. Conclusiones

Se evidencia que el 80% de las fincas con pasturas naturales presentan un nivel de degradación entre muy severo a severo a comparación de las pasturas mejoradas que presentan, en su mayoría, una degradación moderada y leve (95,5%). Asimismo, se evidencia la formación de cuatro grupos de fincas por sus índices de degradación, resultando el 24% de ellas (grupo 4) el que presentan niveles críticos de degradación.

Los SSP predominantes en la zona de estudio fueron los sistemas de árboles dispersos en potreros (SAD) (76,5%) y los de cercas vivas multiestratos (SCVM) (38,3%), ambos con especies nativas de regeneración natural.

Se evidencia que los SAD y SCVM presentan mayores niveles relacionados a las características físicas (temperatura y compactación), químicas (materia orgánica, nitrógeno y carbono orgánico del suelo) y biológicas (densidad de lombrices) del suelo a comparación del sistema tradicional, tomado como testigo. Esto permitió una mayor producción, disponibilidad y calidad de pasto, que conlleva una mayor capacidad de carga animal. Estos sistemas se encuentran cercanos a las condiciones de un sistema silvopastoral (SPFCV). Se debe promover los SAD y SCVM con especies nativas de regeneración natural que son predominantes en la zona de estudio, incorporando un plan de manejo integral adaptativo, para optimizar las funciones en términos de la recuperación de las pasturas degradadas, incremento y diversidad de la productividad, resiliencia y mitigación al cambio climático y conservación de la biodiversidad.

Agradecimientos

A las 68 familias ganaderas por compartir su realidad, experiencias y esperanzas.

Referencias bibliográficas

Alvarado, C. O., Barnes, A. P., Sepúlveda, I., et al. (2023). Examining factors for the adoption of silvopastoral agroforestry in the Colombian Amazon. *Scientific Reports*, 13, 12252. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39038-0>

Anderson, J., & Ingram, J. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility. A handbook of methods*. 2nd edition. CAB International. Wallingford, UK, pp. 221.

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.

Beuschel, R., Piepho, H.P., Joergensen, R.G. et al. (2019). Patrones espaciales similares de indicadores de calidad del suelo en tres sistemas de cultivo en hileras silvoarables basados en álamos en Alemania. *Biol Suelos Fértiles*, 55, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00374-018-1324-3>

Bretas, I. L., Paciullo, D. S. C., Alves, B. J. R., Martins, M. R., Cardoso, A. S., Lima, M. A., & F. H. M. (2020). Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on

Bracharia decumbens growing in monoculture or silvopasture with *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis*. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 295(5), 106896. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2020.106896>

Calle, Z., & Murgueitio, E. (2020). Árboles nativos para predios ganaderos. Especies focales del Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. CIPAV, Cali Colombia. 346 p.

Cárdenas, A., Moliner, A., Hontoria, C., et al. (2019). Ecological structure and carbon storage in traditional silvopastoral systems in Nicaragua. *Agroforest Syst*, 93, 229-239. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0234-6>

Cochran, W. G. (1996). *Técnicas de muestreo*. Ed. CECSA. México, pp. 505.

Chará, J., Rivera, J., Barahona, R., Murgueitio, E., Deblitz, C., Reyes, E., Martins, R., Molina, J., Flores, M., & Zuluaga, A. (2017). Intensive Silvopastoral Systems: Economics and Contribution to Climate Change Mitigation and Public Policies. En: Montagnini, F. (eds) *Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty*, Advances in Agroforestry, 12, 395-416.

Chará, J., Reyes, E., Peri, P., Otte, J., Arce, E., & Schneider, F. (2019). Silvopastoral systems and their contribution to improved resource use and sustainable development goals: Evidence from Latin America. FAO, CIPAV and Agri Benchmark, Cali, 60 p.

Crespo, G. (2013). Funciones de los organismos del suelo en el ecosistema de pastizal. *Revista Cubana de Ciencia agrícola*, 47(4), 329-334.

Da Cruz, W. (2000). Capacidad de carga y ganancia de peso de toretes cebuinos bajo pastoreo en (*Echinochloa polystachya*) en trópico húmedo. Tesis *Magister Scientiae*. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Huánuco, Perú, pp. 56

de Abreu, L. H. G., de Freitas, I. C., Santana, P. H. L., et al. (2020). Variation in soil carbon, nitrogen and microbial attributes within a silvopastoral system in the Brazilian Cerrado. *Agroforest Syst*, 94, 2343-2353. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00554-x>

Dias-Filho, M. (2015). *Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação*. 4. ed. Editor: Moacyr B. Dias-Filho ISBN: 9788591183104.

Díaz, M., Hernández, J., & Gómez, C. (2021). Enteric methane emissions by young Brahman bulls grazing tropical pastures at different rainfall seasons in the Peruvian jungle. *Tropical Animal Health and Production*, 53, 421. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02871-4>

Di Rienzo, J. A., Guzman, A. W., & Casanoves, F. A. (2002). Multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. *JABES*, 7, 129-142. <https://doi.org/10.1198/10857110260141193>

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada M., Robledo C. W. (2020). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Echevarría, M., Pizarro, D., & Gómez, C. (2019). Alimentación de ganadería en sistemas silvopastoriles en la Amazonia peruana. En el marco del proyecto Innovación en la evaluación de sistemas silvopastoriles de Selva Alta Peruana, como estrategia de adaptación y mitigación al cambio climático. La Molina, Lima, Perú, pp. 17.

Echevarría, M. (2020). Cincuenta años de investigación en alimentación del ganado con pastos en la Amazonia Peruana. Universidad Agraria La Molina. Lima Perú. pp. 104

Esquivel, M. J., Harvey, C., Finegan, B., Casanoves, F., Sharke, C. (2008). Effects of pasture management on the natural regeneration of neotropical trees. *J. Appl. Ecol.*, 45(1), 371-380. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01411.x>

Esquivel, H., Ibrahim, M., Harvey, C. A., & Benjamin, T. (2018). Árboles dispersos en potreros y su efecto en la disponibilidad y composición de la pastura. II Congreso Sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos.

FAO (2006). Informe pecuario. Subdirección de Políticas y Apoyo en Materia de Publicación Electrónica. FAO. Roma.

Fonte, S. J., Nesper, M., Hegglin, D., Velásquez, J. E., Ramírez, B., Rao, I. M., Bemasoni, S. M., Bünemann, E. K., Frossard, E., & Oberson, A. (2014). Pasture degradation impacts soil phosphorus storage via changes to aggregate-associated soil organic matter in highly weathered tropical soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 68, 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.09.025>

- Harvey, C. A., Villanueva, C., Villacís, J., Chacon, M., Muñoz, D., López, M., et al. (2005). Contribution of live fences to the ecological integrity of agricultural landscapes. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 111, 200–230. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.06.011>
- Harvey, C., Villanueva, C., Ibrahim, M., Gómez, R., López, M., Kunth, S., & Sinclair, F. (2008). Productores, árboles y producción ganadera en paisajes de América Central: Implicaciones para la conservación de la Biodiversidad. En Harvey, C; Sáenz, J. Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica. 197 – 224.
- Hargreaves, J. N., & Kerr, J. D. (1992). Botanal, A comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. Computational package. Tropical Agronomy Technical Memorandum No. 79. CSIRO, Canberra, Australia, pp. 83.
- 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.
- Holmann, F., Argel, P., Rivas, L., White, D., Estrada, R. D., Burgos, C., Pérez, E., Ramírez, G., & 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. CIAT, Cali, Colombia. Documento de Trabajo 196: pp. 34
- Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, F., & Rojas, J. (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 45, 27-36.
- Ibrahim, M., Franco, M., Pezo, D. A. et al. (2001). Promoting intake of *Cratylia argentea* as a dry season supplement for cattle grazing *Hypparrhenia rufa* in the subhumid tropics. *Agroforestry Systems*, 51, 167–175. <https://doi.org/10.1023/A:1010659405632>
- Iñamagua-Uyaguari, J. P., Fitton, N., & Smith, P. (2023). Planting trees in livestock landscapes to protect soil and water also delivers carbon sequestration. *Agroforest Syst*, 97, 1199–1214 <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00857-9>
- Jose, S., Walter, D., & Mohan Kumar, B. (2019). Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. *Agroforest Syst*, 93, 317–331 <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0065-2>
- Landholm, D. M., Pradhan, P., Wegmann, P., Romero, M. A., Suárez, J. C., & Kropp, J. P. (2019). Reducing deforestation and improving livestock productivity: greenhouse gas mitigation potential of silvopastoral systems in Caquetá. *Environmental Research Letters*, 14, 114007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3db6>
- León, J. A. (2006). Conocimiento local y razonamiento agroecológico para toma de decisiones en pasturas degradadas en El Petén, Guatemala. Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica.
- Manning, A. D., Fischer, J., & Lindenmayer, D. B. (2006). Scattered trees as keystone structures—implications for conservation. *Biol. Conserv.*, 132, 311–321. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.04.023>
- Mavisoy, H., Vallejos, A. R. R., Narváez-Herrera, J. P. et al. (2023). Using silvopastoral systems for the mitigation of greenhouse gas emissions from livestock in the Colombian Amazon. *Agroforest Syst*, 98, 337–352. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00912-5>
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). (2013). Resultados definitivos, IV Censo Nacional Agropecuario - 2012. Lima.
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., & Eibl, B. (2015). Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. Serie técnica. Informe técnico 402. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 454 p.
- Mojardino, M., Revell, D., & Pannell, D. J. (2010). The potential contribution of forage shrubs to economic returns and environmental management in Australian dryland agricultural systems. *Journal Agricultural Systems*, 103, 187-197. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.12.007>
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A., & Solorio, B. (2011). Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 261, 1654-1663. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.027>
- Murgueitio, E., Barahona, R., Chará, J. D., Flores, M. X., Mauricio, R. M., & Molina, J. J. (2015). The intensive silvopastoral systems in Latin America sustainable alternative to face climatic change in animal husbandry. *Cuban J of Agric Science*, 49(4), 541-554.
- Odum, E., & Barret, G. (2005). Fundamentos de ecología. Quinta edición 2008. Thomson/Brooks/ ISBN 0 534-42066-4, pp. 613.
- Pardon, P., Reubens, B., Reheul, D., Mertens, J., Frenne, P., Coussement, T., Janssens, P., & Verheyen, K. (2017). Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. *Agric Ecosyst Environ*, 247, 98–111. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.018>
- Peri, P. L., Dube, F., & Varella, A. C. (2016). Silvopastoral systems in the subtropical and temperate zones of South America: An overview. In: Peri, P., Dube, F., Varella, A. (eds) Silvopastoral Systems in Southern South America. Advances in Agroforestry, vol 11. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24109-8_1
- Primavesi, A. (1982). Manejo ecológico del suelo, la agricultura en regiones tropicales. Ed. El Ateneo, México. Pp. 495.
- Ríos, N., Cárdenas, A., Andrade, H., Ibrahim, M., Jiménez, F., Sancho, F., Ramírez, E., Reyes, B., & Woo, A. (2007). Estimación de la escorrentía superficial e infiltración en sistemas de ganadería convencional y en sistemas silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 45, 66-71
- Sáenz, J. C., Villatoro, F., Ibrahim, M., Fajardo, D., & Pérez, Y. M. (2007). Relación entre las comunidades de aves y la vegetación en agropaisajes dominados por la ganadería en Costa Rica, Nicaragua y Colombia. *Agroforestería en las Américas*, 52, 35-47.
- Samarakoon, S. P., Wilson, J. R., & Shelton, H. M. (1990). Growth, morphology, and nutritive value of shaded *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus* and *Pennisetum clandestinum*. *Journal of Agricultural Science*, 114, 161-169.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). Livestock's Long Shadow, Environmental Issues and Options. LEAD-FAO. Rome.
- Stocking, M., & Murnaghan, N. (2001). Handbook for the field assessment of land degradation. Earthscan Publications Ltd. Londres, pp. 169. <https://doi.org/10.4324/9781849776219>
- Tobar, D. E., Muriel, B., Andrade, H. J. et al. (2022). Land-use change influence ecosystem services in an agricultural landscape in Central America. *Agroforest Syst*, 96, 281–292. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00717-4>
- Van Soest, P. J. (1994) Nutritional Ecology of Ruminants. 2nd Edition, Cornell University Press, Ithaca, London, pp. 476. <https://doi.org/10.7591/9781501732355>
- Vásquez, H. V., Valqui, L., Castillo, M. S., Alegre, J., Gómez, C. A., Bobadilla, L. G., & Maicelo, J. L. (2020). Caracterización de Sistemas Silvopastoriles en la cuenca ganadera de Molinopampa, Zona Noroccidental del Perú. *Temas Agrarios* 25(1), 23-34. <https://doi.org/10.21897/rta.v25i1.1908>
- Villanueva, C., Moscoso, C., Detlefsen, G., Solís, J., & López, J. (2023). Contribución de la cobertura arbórea a la compensación de emisiones de gases de efecto invernadero de tambos del sureste de Guatemala. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 31(1), 93-102. <https://doi.org/10.53588/alpa.310105>
- Wong, C. C. (1990). Shade tolerance of tropical forages; A Review In: Forages for Plantation Crops. ACIAR proceedings N° 32. pp. 64-69.