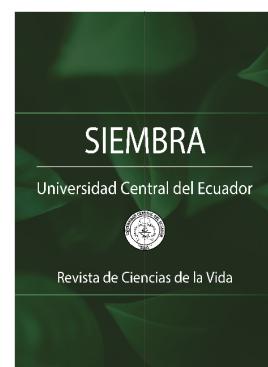


Evaluación de escenarios para la intensificación del manejo de pastos y pastoreo en microcuencas frágiles de alta montaña Andina

Assessment of scenarios for intensifying pasture management and grazing in fragile micro-watersheds of high Andean mountains

Jorge Eduardo Grijalva-Olmedo¹, Paola Mercedes Palate Moreta²,
Roy Roger Vera-Vélez³, Raúl Armando Ramos Veintimilla⁴,
Jean-François Tourrand⁵, Arnulfo Portilla-Narváez⁶



Siembra 12 (1) (2025): e7017

Recibido: 01/08/2024 / Revisado: 24/09/2024 / 23/10/2024 / Aceptado: 24/12/2024

¹ Universidad Central del Ecuador, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Jerónimo Leyton y Gato Sobral s/n. Quito, Ecuador.

✉ jgrijalva@uce.edu.ec

✉ <https://orcid.org/0000-0001-8301-531X>

² Universidad Central del Ecuador, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Jerónimo Leyton y Gato Sobral s/n. Quito, Ecuador.

✉ pao_90palate@hotmail.com

✉ <https://orcid.org/0009-0008-9099-0787>

³ University of Saskatchewan, Department of Plant Sciences. 51 Campus Drive, SK S7N 5A8. Saskatoon, Canada.

✉ roy.vera@usask.ca

✉ <https://orcid.org/0000-0002-4716-4390>

⁴ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales. Riobamba, Ecuador.

✉ raul.ramos@espoch.edu.ec

✉ <https://orcid.org/0000-0001-5181-1039>

⁵ Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement-CIRAD. Francia.

✉ tourrand@cirad.fr

✉ <https://orcid.org/0000-0001-7874-8877>

⁶ Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Jerónimo Leyton y Gato Sobral s/n. Quito, Ecuador.

✉ apportilla@uce.edu.ec

✉ <https://orcid.org/0000-0001-8665-1848>

*Autor de correspondencia: jgrijalva@uce.edu.ec

Resumen

Las poblaciones indígenas en las laderas andinas de Ecuador utilizan sus tierras principalmente para el pastoreo de ovejas y ganado. La respuesta animal depende exclusivamente de la calidad del forraje y de las condiciones físicas y químicas del suelo. El objetivo de esta investigación fue evaluar dos escenarios para la intensificación de pastizales basados en ballica perenne (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*), utilizados con intervalos de descanso de 45 y 60 días, en sitios situados entre 3.000-3.400 m s.n.m para el pastoreo de ovejas y vacas. Estos escenarios se compararon con un pastizal natural basado en una comunidad vegetal compuesta por *Stipa ichu*, *Holcus lanatus*, *Rumex acetocella* y *Paspalum* sp., utilizado en un sistema tradicional con períodos de descanso de 60-75 días en sitios situados entre 3.500-3.700 m s.n.m. en la microcuenca del río Chimborazo. Se realizaron muestreos de suelo en ambos sitios para determinar el perfil de fertilidad del suelo. En cuanto al componente forrajero, se determinó la composición química, la capacidad de carga animal, la producción de leche y las emisiones estimadas de CH_4 entérico. En el suero de oveja, se analizó el perfil de Ca, P, Mg y la actividad de las enzimas AST, ALT y FA. Los datos se analizaron utilizando ANOVA y Tukey al 5% como prueba de comparación de medias. Los resultados mostraron mejores propiedades químicas y físicas del suelo a menor altitud. La intensificación del manejo de pastizales y del pastoreo mediante la utilización de períodos de descanso de 45 días o menos aparentemente representa opciones productivas y de bajas emisiones.

Palabras clave: pastoreo rotacional, herbívoros, emisiones, rumiantes.

Abstract

In the Andean hillsides of Ecuador, indigenous populations use land mainly for grazing sheep and cattle. Animal response depends exclusively on the quality of forage and the soil's physical and chemical conditions. The objective of this research was to evaluate two scenarios for intensifying pastures based on perennial ryegrass (*Lolium perenne*) and



white clover (*Trifolium repens*), used at rest periods of 45- and 60 days in sites between 3,000-3,400 m a.s.l. used for grazing sheep and cows. These scenarios were compared with a natural grassland based on a plant community composed of *Stipa ichu*, *Holcus lanatus*, *Rumex acetocella*, and *Paspalum sp.*, used in a traditional system with rest periods of 60-75 days in sites between 3,500-3,700 m a.s.l. in the Chimborazo River micro-watershed. Soil sampling was conducted at both sites to determine the soil fertility profile. Regarding the forage component, chemical composition, animal carrying capacity, milk production, and estimated enteric CH₄ emissions were determined. In sheep serum, Ca, P, and Mg profiles, and the activity of AST, ALT, and FA enzymes were analyzed. The data were analyzed using ANOVA and Tukey 5% as a means comparison test. The results showed a better physicochemical property of the soil at the lower altitude. The intensification of pasture management and grazing through the utilization of rest periods of 45 days or less may represent a productive and low-emission option.

Keywords: rotational grazing, herbivores, emissions, ruminants.

1. Introducción

La importancia de la tenencia de animales para las comunidades indígenas a lo largo de la región interandina ha sido ampliamente documentada (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2022; Simbaña Pulupa y Tayupanta Escobar, 2014). La crianza de ganado vacuno y ovino es esencial para la economía y la fuerza laboral familiar, así como para la cosmovisión de las comunidades (Mugnier et al., 2021). Se ha observado con frecuencia que los animales demuestran un mayor grado de resiliencia en comparación con los cultivos, lo que los convierte en una solución sostenible frente a desafíos económicos. Además, cumplen un rol fundamental al proporcionar estiércol, tracción animal y proteína para la dieta diaria de las familias campesinas (Palate Moreta, 2022; Pulido, 2018).

Sin embargo, la transición de los sistemas tradicionales de uso de la tierra, conocidos como “chacra”, que proveían alimentos para las familias locales, hacia pastizales destinados al pastoreo de ganado vacuno y ovino, ha sido identificada como un fenómeno socioambiental reciente. La disminución de la productividad agrícola, causada por la erosión y degradación de las laderas, junto con la escasa disponibilidad de tierras cultivables debido a un proceso constante de división de tierras, ha alterado el equilibrio de las prácticas productivas; en consecuencia, las familias se han visto obligadas a adoptar la ganadería, especialmente la crianza de vacas y ovejas, como medio de subsistencia (Grijalva et al., 2013; Yáñez-Yáñez et al., 2017).

Se han observado problemas ambientales en comunidades indígenas a lo largo de la extensa región andina, los cuales se atribuyen a la agricultura intensiva en terrenos de ladera, al uso indiscriminado de agroquímicos que contribuyen a la contaminación del suelo y del agua, y a la pérdida de suelo. Además, las prácticas tradicionales de manejo del ganado afectan la vegetación natural y contribuyen a la erosión del suelo, factores que finalmente conllevan a una baja productividad y al incremento de la pobreza rural (Bustamante, 2017; Espinosa et al., 2022). Las praderas del ecosistema de páramo son frecuentemente utilizadas para el pastoreo de ovejas bajo un sistema de pastoreo continuo, con especies vegetales nativas o naturalizadas de bajo rendimiento y valor nutricional, lo que repercute negativamente en el desarrollo animal. Las estadísticas muestran que la mortalidad ovina puede superar el 30%, principalmente debido a enfermedades infecciosas y a la muerte fetal como resultado de trastornos metabólicos, así como a las consecuencias del manejo inadecuado del pasto y del pastoreo (Grijalva et al., 2016; León et al., 2018; Pulido, 2018).

Varios autores han demostrado que los pastizales pueden presentar deficiencias y desequilibrios de uno o más minerales (Palate Moreta, 2022; Suttle, 2016). El déficit y/o exceso de minerales en suelos de origen volcánico ha sido identificado como una causa directa del bajo rendimiento productivo y reproductivo de los rumiantes en pastoreo (Grijalva et al., 2016). La solución a este problema parece radicar en una transición desde los forrajes tradicionales hacia la utilización de pasturas introducidas, estrategia que ha demostrado garantizar una alta persistencia del pasto y generar mayores beneficios económicos para las familias indígenas del área de estudio.

Considerando lo anterior, el propósito de este estudio es evaluar dos escenarios distintos para la intensificación de pastizales, basados en ballica perenne (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*). Estos escenarios serán implementados con intervalos de descanso de 45 y 60 días, en localidades situadas entre los 3.000 y 3.400 m s.n.m., utilizadas para el pastoreo de ovejas y vacas.

2. Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo en la microcuenca del río Chimborazo, ubicada en la parroquia San Juan del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, con coordenadas geográficas 9825450 N y 746718 E. La temperatura promedio es de 14,2 °C, con un máximo de 21,3 °C y un mínimo de 8,3 °C (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2016).

Para el componente edáfico, se recolectaron muestras de suelo a altitudes de 3.500–3.700 y 3.000–3.400 m s.n.m. en la microcuenca, a profundidades de 0–10 y 11–20 cm, con el fin de evaluar la densidad aparente (Da , g cm⁻³) a inicios de enero de 2016 y diciembre de 2023, utilizando el método del cilindro de volumen conocido mediante la ecuación [1].

$$Da = \frac{\text{Masa de suelo seco (g)}}{\text{Volumen total del cilindro (cm}^3\text{)}} \quad [1]$$

Se obtuvieron muestras de suelo para determinar los niveles de pH utilizando un potenciómetro en una solución acuosa con relación 1:2,5. El nitrógeno total se determinó a partir del cálculo de la materia orgánica obtenida mediante el método de combustión húmeda. El fósforo asimilable se determinó por colorimetría utilizando el método OLSEN modificado, mientras que el potasio [K], calcio [Ca] y magnesio [Mg] se determinaron mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica [AAS].

Para el componente de pastizales, se seleccionaron tres parcelas para el pastoreo de ovejas y vacas en seis comunidades de la microcuenca, las cuales fueron identificadas como escenarios de intensificación: a) un escenario de pastizal natural compuesto por gramíneas altoandinas como *Stipa ichu*, *Holcus lanatus*, *Rumex acetocella* y *Paspalum* sp.; en este caso, el pastoreo se realizó con intervalos de 60 a 75 días; b) un escenario de pasto mixto compuesto por ballica perenne (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*), con un intervalo de pastoreo de 45 días; y c) un escenario de pasto mixto similar al escenario b, pero con intervalos de pastoreo de 60 días.

En cada escenario de intensificación se instalaron “jaulas de exclusión semipermanentes”, donde se tomaron muestras de pasto para evaluar el efecto de cada escenario sobre la composición química y el valor nutricional. Los componentes del análisis proximal fueron determinados en laboratorio mediante los métodos oficiales propuestos por Latimer (2019). Los minerales presentes en los pastos fueron analizados mediante el método de Espectrometría de Absorción Atómica [AAS], y el fósforo se determinó mediante el método de colorimetría. Los resultados obtenidos se expresaron en porcentaje o ppm (base seca).

La ecuación [2], propuesta por Cañas (1998), fue utilizada para estimar el porcentaje de Nutrientes Digestibles Totales [NDT], en función de los valores proximales mencionados anteriormente.

$$Y = 92,46 - 3,33FC - 6,94EE - 0,76ELN + 1,11PC + 0,03FC^2 - 0,33EE^2 + 0,036FC * ELN + 0,207EE * ELN + 0,100EE * PC - 0,02EE^2 * PC \quad [2]$$

Donde:

- Y = Nutrientes Digestibles Totales
- FC = Fibra cruda.
- EE = Extracto etéreo.
- ELN = Extracto libre de nitrógeno.
- PC = Proteína cruda.

Para calcular la partición de la energía, se utilizaron las ecuaciones [3], [4] y [5], descritas por el National Research Council (2001):

$$ED = 0,04409 \times NDT \quad [3]$$

$$EM = 1,01 \times ED - 0,45 \quad [4]$$

$$ENL = 0,0245 \times NDT \quad [5]$$

Donde:

- ED = Energía digestible (Mcal kg⁻¹).
- NDT = Digestibilidad total de los nutrientes (%).

- EM = Energía metabolizable (Mcal kg⁻¹).
- ENL = Energía neta para lactancia (Mcal kg⁻¹).

La tasa de carga animal y la capacidad de carga se calcularon con base en el inventario de animales, el área de pastoreo y el rendimiento de biomasa seca (por ha⁻¹ año⁻¹). Estas variables se expresaron en Unidad Animal [UA], con un valor de referencia de 1.0 UA para una vaca “seca” de 400 kg (Bonilla Cárdenas y Lemus Flores, 2012). Se tomaron mediciones diarias de la producción de leche de vacas mestizas en lactancia en cada escenario de pastoreo, comenzando desde la fecha de parto y continuando durante nueve meses de lactancia.

Para calcular las emisiones (ecuaciones [7] y [8]), se consideró la producción de CH₄ por unidad de producto animal como un índice apropiado para comparar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero [GEI] de la ganadería bajo diferentes condiciones de alimentación (Bonilla Cárdenas y Lemus Flores, 2012). En consecuencia, la conversión de CH₄ a un porcentaje de la ingesta de energía bruta [IEB] se realizó siguiendo las recomendaciones proporcionadas por The Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2006), que sugieren utilizar un valor de energía bruta para el forraje equivalente a 18.45 MJ kg⁻¹ de materia seca, y un valor energético para el CH₄ de 55.65 MJ kg⁻¹ de materia seca.

$$CH_4 = 18 + 22,5IMS / IMS \quad [7]$$

[8]

Donde:

$$CH_4 = CH_4 \times 100 / IEB$$

- CH_4 = Emisiones de metano (g kg⁻¹ de materia seca).
- IMS = Ingesta de materia seca (g día⁻¹).
- IEB = Ingesta de energía bruta (MJ día⁻¹).

Se obtuvieron muestras de sangre mediante la punción de la vena yugular de las ovejas en una condición de “catabolismo en ayuno”, para lo cual se recolectaron 5,0 ml de sangre por animal. Se midió la actividad enzimática del aspartato aminotransferasa [AST] y la alanina aminotransferasa [ALT], conocidas colectivamente como TGO (transaminasa glutámico-oxaloacética), y la fosfatasa alcalina [FA] utilizando el método de la Federación Internacional de Química Clínica [IFCC]. Para la enzima ALT, se utilizó el método cinético UV, que se basa en la determinación cinética de la actividad de ALT, expresada en unidades internacionales [UI] por litro.

Los datos de la investigación fueron analizados utilizando el método de análisis de varianza [ANOVA], y se empleó la prueba de Tukey al 5% para comparar las medias de los distintos tratamientos. Este análisis se realizó utilizando el software Infostat versión 8 (Di Rienzo et al., 2020).

3. Resultados

Las muestras de los sitios de pastoreo a altitudes más bajas (3.000 y 3.400 m s.n.m.) mostraron valores significativamente más altos para la mayoría de las propiedades físico-químicas del suelo (Tabla 1), lo que sugiere que los suelos en estas regiones podrían ser más adecuados para la ganadería. Sin embargo, el análisis de la densidad aparente del suelo [Da] no reflejó diferencias significativas. En cuanto a los minerales del suelo, las diferencias estadísticas se reflejaron entre los sitios, siendo los niveles de Ca, P y Mg significativamente más altos en el nivel altitudinal más bajo.

Las variables MS, PC, NDT, ED, EM y ENL difieren significativamente dentro de los escenarios de uso de pastos y entre estas opciones con escenario de pastizal natural (Tabla 2). La respuesta en CP está correlacionada inversamente con la fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD) ($p < 0,0001$). Estos resultados pueden explicarse por el hecho de que la última forma de uso generalmente se pastorea con frecuencias bimestrales o incluso trimestrales por las comunidades circundantes, lo que resultaría en una mayor acumulación de materia seca. Se observaron diferencias estadísticas en Ca y P entre los pastos y el pastizal natural, así como entre los escenarios con pastos y diferentes intervalos de pastoreo. El mayor nivel de intensificación intervalo de pastoreo más corto explica un mayor contenido mineral en los pastos.

Tabla 1. Propiedades físicas-químicas de los suelos utilizados para la crianza de ganado bovino y ovino en microcuencas altoandinas.**

Table 1. Physicochemical properties of soils used for raising bovine and ovine livestock in high Andean micro-watersheds.**

| Variable | Límite de altitud (m)* | | Valor p | |
|---|--------------------------|----------------|---------|--|
| | Área superior | | | |
| | Área de pastizal natural | Área de pastos | | |
| pH | 6,10 ± 0,13 | 6,28 ± 0,45 | 0,0504 | |
| Materia Orgánica (%) | 5,13b ± 2,19 | 7,35a ± 2,48 | 0,0016 | |
| N total (%) | 0,25b ± 0,11 | 0,37a ± 0,12 | 0,0009 | |
| P (mg kg ⁻¹) | 2,97b ± 1,05 | 26,21a ± 11,62 | <0,0001 | |
| K (cmol kg ⁻¹) | 0,27 ± 0,12 | 0,37 ± 0,28 | 0,1249 | |
| Ca (cmol kg ⁻¹) | 8,62b ± 1,68 | 13,26a ± 1,74 | <0,0001 | |
| Mg (cmol kg ⁻¹) | 2,18b ± 0,75 | 3,47a ± 0,70 | <0,0001 | |
| Densidad aparente (g cm ⁻³) | 0,97 ± 0,09 | 1,02 ± 0,10 | 0,9260 | |

* Las medias en la misma fila para cada parámetro con letras en superíndice diferentes reflejan diferencias estadísticamente significativas. (p <0,05) / Means on the same row for each parameter with different superscript letters reflect statistically significant differences (p <0,05).

** Esto significa que los datos representan el promedio de 50 muestras compuestas de suelo tomadas en intervalos anuales durante siete años de estudio. / This means that the data represents the average of 50 composite soil samples taken at yearly intervals over seven years of study.

Tabla 2. Composición química y valor nutricional de los pastos en diversos escenarios de intensificación de pastizales en microcuencas altoandinas.**

Table 2. Chemical composition and nutritional value of pastures in various scenarios of pasture intensification in high Andean micro-watersheds.**

| Variable | Frecuencia del pastoreo (días)* | | | Valor p | |
|------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------|---------|--|
| | Pastizal natural | | Pastura | | |
| | 75 | 60 | | | |
| Materia seca (%) | 60,5c ± 1,65 | 26,5 ^b ± 1,13 | 19,1a ± 0,93 | <0,0001 | |
| Proteína cruda (%) | 3,9a ± 0,99 | 9,9 ^b ± 0,68 | 18,2c ± 0,56 | <0,0001 | |
| Extracto etéreo (%) | 2,3a ± 0,21 | 2,1 ^a ± 0,15 | 3,7b ± 0,12 | <0,0001 | |
| Fibra cruda (%) | 34,3b ± 0,81 | 20,9 ^a ± 0,55 | 20,2a ± 0,46 | <0,0001 | |
| Ceniza (%) | 11,9b ± 0,49 | 9,6 ^a ± 0,34 | 10,9b ± 0,28 | 0,0007 | |
| FND (%) | 58,5b ± 1,48 | 42,1 ^a ± 1,02 | 44,2a ± 0,84 | <0,0001 | |
| FAD (%) | 42,0b ± 1,09 | 30,8 ^a ± 0,74 | 29,3a ± 0,61 | <0,0001 | |
| ADL (%) | 7,6 ± 0,56 | 6,5 ± 0,38 | 6,7 ± 0,32 | 0,2812 | |
| NDT (%) | 45,9a ± 1,42 | 56,5 ^b ± 0,97 | 63,0c ± 0,80 | <0,0001 | |
| DE (Mcal kg ⁻¹) | 2,0a ± 0,06 | 2,5 ^b ± 0,04 | 2,8c ± 0,03 | <0,0001 | |
| EM (Mcal kg ⁻¹) | 1,6a ± 0,06 | 2,1 ^b ± 0,04 | 2,4c ± 0,04 | <0,0001 | |
| ENL (Mcal kg ⁻¹) | 1,0a ± 0,04 | 1,3 ^b ± 0,03 | 1,4c ± 0,02 | <0,0001 | |
| Ca (%) | 0,08a ± 0,05 | 0,25 ^b ± 0,03 | 0,41c ± 0,03 | <0,0001 | |
| P (%) | 0,03a ± 0,02 | 0,09 ^b ± 0,01 | 0,26c ± 0,01 | <0,0001 | |
| Mg (%) | 0,07a ± 0,03 | 0,34 ^c ± 0,02 | 0,23b ± 0,02 | <0,0001 | |
| K (%) | 0,26a ± 0,16 | 1,00 ^b ± 0,11 | 3,14c ± 0,19 | <0,0001 | |

* Las medias en la misma fila para cada parámetro con letras superíndice diferentes reflejan diferencias estadísticamente significativas. (p <0,05) / Means on the same row for each parameter with different superscript letters reflect statistically significant differences (p <0,05).

** Los datos representan el promedio de 75 muestras y se expresan en base a materia seca. / The data represent the average of 75 samples and are expressed on a dry matter basis.

Las variables MS, PC, NDT, ED, EM y ENL difieren significativamente dentro de los escenarios de uso de pastos y entre estas opciones con el escenario de pastizal natural (Tabla 2). La respuesta en PC está correlacionada inversamente con la fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD) ($p < 0.0001$). Estos resultados pueden explicarse por el hecho de que la última forma de uso generalmente se pastorea con frecuencias bimensuales o incluso trimestrales por las comunidades circundantes, lo que resultaría en una mayor acumulación de materia seca. Se observaron diferencias estadísticas en Ca y P entre los pastos y el pastizal natural, así como entre los escenarios con pastos y diferentes intervalos de pastoreo. El mayor nivel de intensificación o intervalo de pastoreo más corto explica un mayor contenido mineral en los pastos.

Como se demuestra en la Tabla 3, los ecosistemas altoandinos solo pueden soportar una carga animal máxima sostenible de $0,1 \text{ UA ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, que podría variar entre $0,05-1,0 \text{ UA ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ debido a sus frágiles condiciones ambientales asociadas a sus características biofísicas, particularmente bajas temperaturas, períodos de heladas y lluvias estacionales, lo que dificulta la intensificación del manejo de pastizales naturales. El análisis de CH_4 a partir de la fermentación de carbohidratos sugiere un aumento en las emisiones a medida que los componentes estructurales, específicamente FND y FAD, aumentan.

Tabla 3. Tasa de carga animal y capacidad de carga, producción de leche y emisiones estimadas de CH_4 en tres escenarios de intensificación del pastoreo en microcuencas altoandinas.

Table 3. Animal stocking rate and carrying capacity, milk production, and estimated CH_4 emissions in three scenarios of grazing intensification in high Andean micro-watersheds.

| Intensificación del pastoreo | Frecuencia de pastoreo (días) | Capacidad de carga* | Producción de leche* | CH_4 emisiones* | |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------|----------------------|--|---------------------------------|
| | | | | (kg $\text{ha}^{-1} \text{día}^{-1}$) | (g $\text{kg}^{-1} \text{MS}$) |
| Pastizal natural | 60-75 | 0,30 ^c | 2,3 ^c | 24,9 ^b | 7,6 ^b |
| Pasto | 45 | 2,1 ^a | 11,0 ^a | 23,7 ^a | 7,2 ^a |
| | 60 | 1,3 ^b | 7,1 ^b | 24,3 ^a | 7,4 ^a |
| Valor <i>p</i> | | 0,0001 | 0,0001 | 0,045 | 0,046 |

* Las medias en la misma fila con diferentes superíndices reflejan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) / Means on the same row with different superscript letters reflect statistically significant differences ($p < 0.05$).

Los resultados del análisis de sangre en ovejas pastoreando en praderas y pastos de microcuencas altoandinas se muestran en la Tabla 4. Los niveles promedio de minerales en su sangre se encuentran dentro del rango normal. Sin embargo, se observó un alto grado de variación en las enzimas ALT y FA, en relación con los rangos de referencia establecidos. Por otro lado, la enzima AST presentó un perfil que se encuentra dentro del rango normal considerado.

Tabla 4. Niveles promedio de calcio, fósforo, potasio, magnesio y actividad de diversas enzimas en el suero sanguíneo de ovejas pastoreando en pastizales naturales y pastos mixtos en microcuencas altoandinas.*

Table 4. Mean levels of calcium, phosphorus, potassium, magnesium, and activity of various enzymes in the blood serum of sheep grazing on natural grasslands and mixed pastures in high Andean micro-watersheds.*

| Variable | Medio \pm SD | Mínimo | Máximo | Valor de referencia |
|---------------------------|--------------------|--------|--------|-----------------------------------|
| Ca (mg dl^{-1}) | $9,2 \pm 1,85$ | 0,6 | 12,1 | 11-12 (Moyano et al., 2018) |
| P (mg dl^{-1}) | $7,2 \pm 1,79$ | 2,7 | 14,6 | 5,0-7,0 (Moyano et al., 2018) |
| K (mg dl^{-1}) | $5,4 \pm 0,83$ | 3,7 | 7,2 | 4,3-6,3 (Moyano et al., 2018) |
| Mg (mg dl^{-1}) | $2,4 \pm 0,22$ | 1,9 | 2,9 | 1,5-1,8 (Moyano et al., 2018) |
| ALT (U l^{-1}) | $130,6 \pm 294,18$ | 5,0 | 1192,1 | 14-38 (Núñez Ochoa y Bouda, 2007) |
| AST (U l^{-1}) | $59,2 \pm 32,74$ | 0,8 | 151,2 | 88,65 (Campos et al., 2007) |
| AF (U l^{-1}) | $259,6 \pm 235,86$ | 13,0 | 997,0 | <237 (Núñez Ochoa y Bouda, 2007) |

* Los datos representan el promedio de 75 muestras de suero sanguíneo recolectadas de ovejas en pastoreo. / The data represents the average of 75 samples of blood serum collected from grazing sheep.

4. Discusión

Los hallazgos de esta investigación, bajo el escenario de pastoreo intensivo, demuestran una tendencia predominante hacia la acidificación del suelo, un fenómeno consistente con las observaciones reportadas en la literatura por varios investigadores. Un suelo ácido se caracteriza por altas concentraciones de iones Al^{+3} y H^+ , a medida que el pH disminuye, lo que impacta las características químicas, físicas y biológicas del suelo, reduciendo el crecimiento de las plantas y la disponibilidad de nutrientes como Ca, Mg, P, K y otros microelementos (Espinosa et al., 2022).

Varios autores han reportado que los suelos de origen volcánico tienden a retener grandes cantidades de agua y materia orgánica (Espinosa et al., 2022; Yáñez-Yáñez et al., 2017), lo cual, junto con la lenta descomposición y mineralización de la materia orgánica, podría limitar la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

En las áreas más bajas que se utilizan activamente para la actividad ganadera, el contenido total de nitrógeno del suelo es más alto, debido en parte a la contribución de nutrientes provenientes de los excrementos animales. Los suelos con niveles inferiores al 0,10-0,25% de N se clasifican como deficientes. Sin embargo, es importante señalar que el N total no siempre es una medida útil en suelos de origen volcánico, ya que este componente es muy dinámico y normalmente está asociado con la mineralización de la materia orgánica, pérdidas debido a la nitrificación y desnitrificación, lixiviación, inmovilización y volatilización (Espinosa et al., 2022; Maresma Galindo, 2020).

Por otro lado, el estado del P indica una situación más favorable en los sitios de menor altitud, lo que sugiere una contribución significativa de los excrementos animales provenientes del pastoreo en estos pastos. Los niveles inferiores a 10 ppm de P son a menudo considerados deficientes, y esto es precisamente lo que ocurre en los sitios más altos y delicados asociados con el ecosistema de “páramo”. Sin embargo, la absorción de este elemento por los sistemas radiculares de las gramíneas puede estar limitada por el pH y la arcilla alófana (Espinosa et al., 2022). Excepto para K, que muestra deficiencia en la mayor altitud, los otros dos elementos (Ca y Mg) exhiben valores significativamente más altos en los sitios más bajos. Por el contrario, los procesos erosivos contribuyen a la lixiviación de nutrientes en las áreas de estudio ubicadas a mayores altitudes sobre el nivel del mar.

El análisis de la densidad aparente del suelo no revela diferencias significativas. Al respecto, Chinchilla et al. (2011) señalan que la densidad de los suelos de andosol generalmente es menor a 0.90 g cm^{-3} . Estos resultados son consistentes con los hallazgos de González Ponce (2009), quien reportó variaciones de 0,77 a 0.95 g cm^{-3} durante un período de pastoreo de siete años. Es importante señalar que todos los valores reportados por estos autores son inferiores al valor de referencia de 1.3 g cm^{-3} , que se asocia con problemas de compactación del suelo.

Varios autores coinciden en que tanto el contenido como el rendimiento de materia seca en los pastos tienden a aumentar con mayores intervalos de descanso o pastoreo. Sin embargo, esto suele ir acompañado de una disminución del valor nutritivo y del consumo animal debido a la madurez de las plantas (Merlo-Maydana et al., 2017; León et al., 2018; Pulido, 2018).

Los resultados confirman una correlación negativa entre la proteína cruda [PC] y los componentes estructurales fibra neutro detergente [FND] y fibra ácido detergente [FAD]. Esta relación respalda la idea de que el aumento de FDN con la madurez de las plantas está comúnmente asociado con una reducción en el contenido de PC, como lo reportan Apráez et al. (2014), Posada Ochoa et al. (2013) y León et al. (2018). García-Bonilla et al. (2014) señalan que la FAD está relacionada con la digestibilidad, siendo los valores más bajos de FAD indicativos de una mayor digestibilidad. En contraste, el contenido de lignina (FLD) no mostró diferencias significativas entre los escenarios, lo cual difiere de los resultados de Albarracín et al. (2015), quienes reportaron niveles de lignina de hasta 18,2% en pastizales naturales.

En cuanto a los macroelementos, una mayor intensificación o intervalos de pastoreo más cortos resultaron en un contenido más alto de Ca y P. En comparación, los pastizales naturales mostraron consistentemente niveles más bajos de estos nutrientes, lo que indica un entorno más restrictivo para sostener una productividad animal óptima (Grijalva et al., 2016; Suttle, 2016; López-Vigoa et al., 2019; Palate Moreta, 2022).

Los hallazgos de esta investigación indican una correlación entre mayores emisiones de metano y una alta concentración de fibra cruda, caracterizada por un bajo contenido de proteína y digestibilidad, particularmente en el escenario de mayor intensificación. Esta observación concuerda con las conclusiones reportadas por varios autores, quienes sostienen que las emisiones de gases de efecto invernadero [GEI], específicamente la producción de metano ruminal, representan una pérdida energética que contribuye significativamente al impacto

ambiental. La magnitud de este fenómeno parece estar influenciada por el consumo, la composición química y la digestibilidad de los pastos (Apráez et al., 2014; Bonilla Cárdenas y Lemus Flores, 2012; Garnsworthy, 2018; IPCC, 2006; Lovett et al., 2005; Ribeiro Pereira et al., 2015).

Las concentraciones medias de Ca, P, K, Mg y la actividad de diversas enzimas en el suero sanguíneo de ovejas que pastan en pastizales naturales y pasturas mixtas en microcuencas altoandinas muestran tendencias similares a las reportadas por varios autores, lo cual podría ser indicativo de una respuesta fisiológica en ovinos en pastoreo, según Gioffredo (2011). No obstante, se observó una considerable variación interindividual, con valores que oscilaron desde niveles por debajo del rango mínimo o normal hasta por encima del promedio.

Asimismo, las enzimas ALT y FA también mostraron una considerable variación con respecto a los rangos de referencia establecidos (Avellanet et al., 2007). Por el contrario, la enzima AST se mantuvo dentro de un rango considerado normal, lo cual concuerda con los resultados reportados por otros autores (Djokovic et al., 2017). Se ha establecido que la actividad de la enzima FA está asociada con el contenido de calcio en la dieta. Se ha observado un aumento en los niveles de FA durante períodos de deficiencia de Ca en la dieta, aunque no necesariamente por deficiencia de P (Braun et al., 2010; de Oliveira et al., 2014). Esto podría alterar la relación Ca:P y generar problemas en animales expuestos a cambios en la calidad de los pastos o pastizales naturales.

5. Conclusiones

El pastizal natural, basado en una comunidad vegetal de tipo pajonal, es frecuentemente utilizado para el pastoreo de ovinos y bovinos en comunidades indígenas. Este sistema se maneja bajo un pastoreo continuo, con baja productividad y calidad, independientemente de la carga animal, lo que tiene un efecto negativo en el rendimiento productivo de los animales. El uso de pasturas introducidas, como la ballica perenne y los tréboles, en frecuencias tempranas de aprovechamiento, parece contribuir a la intensificación de la ganadería como una propuesta de pastoreo de bajas emisiones en la ecorregión andina.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a la Universidad Central del Ecuador, cuyos hallazgos forman parte del proyecto de investigación avanzada SENIOR DI-CONV-2022-006, titulado “Evaluación de buenas prácticas en manejo de pastos, pastoreo y nutrición para reducir emisiones y contribuir a la ganadería sustentable en los Andes y Amazonía”. También queremos agradecer a la organización comunitaria indígena UCASAJ y a Andrés Telenchano por su aporte en el territorio de la microcuenca.

Financiamiento

Universidad Central del Ecuador, Dirección de Investigación, Proyecto SENIOR DI-CONV-2022-006.

Contribuciones de los autores

- Jorge Eduardo Grijalva-Olmedo: conceptualización, metodología, administración del proyecto, redacción – borrador original.
- Paola Mercedes Palate-Moreta: investigación, recursos.
- Roy Roger Vera-Vélez: metodología, redacción – revisión y edición.
- Raúl Armando Ramos-Veintimilla: conceptualización, metodología.
- Jean-François Tourrand: validación, redacción – revisión y edición.
- Arnulfo Portilla-Narváez: investigación, análisis formal.

Implicaciones Éticas

La utilización de animales en el proceso de investigación se realizó de acuerdo con los protocolos veterinarios y zootécnicos establecidos, asegurando que no se produzca ningún daño o sufrimiento a los animales. En consecuencia, no se requirió la aprobación formal de un comité de ética.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Referencias

- Albarracín, K. G., Jaramillo, L. I., y Albuja, M. (2015). Obtención de bioetanol anhidro a partir de paja (*Stipa ichu*). *Revista Politécnica*, 36(2), 109. https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/526
- Apráez G., E., Gálvez C., A., y Jojoa R., C. (2014). Valoración nutricional y emisión de gases de algunos recursos forrajeros del trópico de altura. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(2), 122-134. <https://doi.org/10.22267/rcia.143102.36>
- Avellanet, R., Cuenca, R., Pastor, J., y Jordana, J. (2007). Parámetros hematológicos y bioquímico clínico-sen la raza ovina xisqueta. *Archivos de Zootecnia*, 56(Su1), 497-501. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49509922>
- Bonilla Cárdenas, J. A., y Lemus Flores, C. (2012). Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 3(2), 215-246. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1241>
- Braun, J. P., Trumel, C., y Bézille, P. (2010). Clinical biochemistry in sheep: A selected review. *Small Ruminant Research*, 92(1-3), 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.04.002>
- Bustamante, D. P. (2017). Escenario de cambio climático a nivel de subcuencas hidrográficas para el año 2050 de la provincia de Chimborazo-Ecuador. *La Granja*, 26(2), 15-27. <https://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.02>
- Campos, R., Cubillos, C., y Rodas, Ángela G. (2007). Indicadores metabólicos en razas lecheras especializadas en condiciones tropicales en Colombia. *Acta Agronómica*, 56(2), 85-92. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/643
- Cañas, R. (1998). *Alimentación y Nutrición Animal* (2^a ed.). Universidad Católica de Chile. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/53614>
- Chinchilla, M., Mata, R., y Alvarado, A. (2011). Andisoles, inceptisoles y entisoles de la subcuenca del río Pirrís, región de Los Santos, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 35(1), 83-107. <https://doi.org/10.15517/rac.v35i1.6688>
- de Oliveira, R. P. M., Maduro, A. H. P., de Oliveira, F. F., y Lima, E. S. (2014). Perfil metabólico de ovelhas Santa Inês em diferentes fases de gestação criadas em sistema semi-intensivo no Estado do Amazonas. *Ciência Animal Brasileira*, 15(1), 81-86. <https://doi.org/10.5216/cab.v15i1.15720>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. (2020). *InfoStat versión 2020*. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Djokovic, R., Cincovic, M., Kurcubic, V., Ilic, Z., Lalovic, M., Jasovic, B., y Petrovic, M. (2017). Serum enzyme activities in blood and milk in the different stage of lactation in holstein dairy cows. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 33(2), 193-200. <https://doi.org/10.2298/BAH1702193D>
- Espinosa, J., Moreno, J., y Bernal, G. (eds.). (2022). *Suelos del Ecuador, clasificación, uso y manejo*. Instituto Geográfico Militar [IGM]. <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/estudios-geograficos/>
- García-Bonilla, D. V., Guerrero-Rodríguez, J. de D., García-de los Santos, G., y Lagunes-Rivera, S. A. (2014). Rendimiento y calidad de forraje de genotipos de *Lotus corniculatus* en el Estado de México. *Nova scientia*, 7(13), 170-189. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pi

- d=S2007-07052015000100010
- Garnsworthy, P. C. (2018). Reducing the environmental impact of animal production. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 26(1-2). https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/view/2625
- Gioffredo, J. J. (2011). *Sanidad en ovinos y caprinos. Enfermedades metabólicas*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/enfermedades_caprinos/43-metabolicas.pdf
- González Ponce, J. J. (2009). *Evaluación de tres sistemas sivopastoriles para la gestión sostenible de los recursos naturales de la microcuenca del río Chimborazo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/351>
- Grijalva, J., Aguinda, H., Quisirumbay, J., y Salazar, R. (2016). Concentración de selenio sanguíneo y relación con el perfil mineral de suelos y praderas bajo pastoreo de ovejas en la región altoandina del Ecuador: implicaciones en la nutrición humana. *Revista de la Facultad De Ciencias Médicas (Quito)*, 41(1), 159-168. https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/CIENCIAS_MEDICAS/article/view/1182
- Grijalva, J., Ramos Veintimilla, R., Arévalo Vizcaino, V., Barrera, P., y Guerra, J. (2013). *Alternativas de intensificación, adaptación y mitigación a cambios climáticos. Los sistemas silvopastoriles en la subcuenca del río Quijos de la Amazonía ecuatoriana*. Publicación Miscelánea 414. INIAP. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2723>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2022). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua Abril, 2022*. INEC. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Bolet%C3%ADn%20t%C3%A9cnico.pdf
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2016). *Boletín climatológico del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. INAMHI. <https://servicios.inamhi.gob.ec/boletines/>
- Latimer, G. W. (ed.). (2019). *Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists International* (21st ed.). AOAC International. https://members.aoac.org/AOAC/AOAC/Item_Detail.aspx?iProductCode=1121&Category=OMA
- León, R., Bonifaz, N., y Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador. Siembra y producción de pasturas*. Editorial Universitaria Abya-Yala. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19019>
- López-Vigoa, O., Lamela-López, L., Sánchez-Santana, T., Olivera-Castro, Y., García-López, R., Herrera-Villafanca, M., y González-Ronquillo, M. (2019). Evaluación del valor nutricional de los forrajes en un sistema silvopastoril. *Pastos y Forrajes*, 42(1), 57-67. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269159592007>
- Lovett, D. K., Stack, L. J., Lovell, S., Callan, J., Flynn, B., Hawkins, M., y O'Mara, F. P. (2005). Manipulating enteric methane emissions and animal performance of late-lactation dairy cows through concentrate supplementation at pasture. *Journal of Dairy Science*, 88(8), 2836-2842. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72964-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72964-7)
- Maresma Galindo, A. (2020). Maximizar la eficiencia en el uso del nitrógeno: clave para la sostenibilidad. En *Como gestionar la agricultura de forma eficiente y sostenible en las zonas vulnerables* [Video]. II Jornada de Zonas Vulnerables 2021. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=ycMutlO6iCM>
- Merlo-Maydana, F. E., Ramírez-Avilés, L., Ayala-Burgos, A. J., y Ku-Vera, J. C. (2017). Efecto de la edad de corte y la época del año sobre el rendimiento y calidad de *Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Staff en Yucatán, México. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 4(2), 116-127. <https://doi.org/10.36610/jjsaas.2017.040200116>
- Moyano, J. C., Caicedo, W., López, J. C., Vargas, J. C., Barbona, I., Marini, P. R., y Fischman, M. L. (2018). Characterization of macromineral content in the blood of Blackbelly sheep under free grazing conditions in Ecuadorian Amazon. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 52(3), 297-302. <https://www.cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/810>
- Mugnier, S., Husson, C., y Cournut, S. (2021). Why and how farmers manage mixed cattle-sheep farming systems and cope with economic, climatic and workforce-related hazards. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 36(4), 344-352. <https://doi.org/10.1017/S174217052000037X>
- National Research Council. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (7th Rev. ed.). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/9825>
- Núñez Ochoa, L., y Bouda, J. (eds.). (2007). *Patología clínica veterinaria* (2^a ed.). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Palate Moreta, P. M. (2022). *Evaluación del estatus de Ca, P y Mg en suelo, pasturas y suero sanguíneo de ovinos en pastoreo en la microcuenca del río Chimborazo*. Universidad Central del Ecuador. <http://www.>

dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20762

- Posada Ochoa, S., Cerón, J. M., Hamedt, J. F., Arenas, J., y Alvarez, A. (2013). Evaluación del establecimiento de ryegrass (*Lolium* sp.) en potreros de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) usando la metodología de cero labranza. *CES Medicina Veterinaria Y Zootecnia*, 8(1), 26-35. <https://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/2831>
- Pulido, R. (2018). Consumo de materia seca: límites e interacción con suplementos nutricionales. En G. Albán, M. Caviedes, y C. Ponce, *Memorias del Simposio Internacional de Pastos y Forrajes de Clima Templado* (pp. 28-29). Archivos Académicos USFQ 16. <https://doi.org/10.18272/archivosacademicos.vi16.1483>
- Ribeiro Pereira, L. G., Machado, F. S., Campos, M. M., Guimaraes Júnior, R., Tomich, T. R., Reis, L. G., y Coombs, C. (2015). Enteric methane mitigation strategies in ruminants: a review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuaria*, 28(2), 124-143. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v28n2a02>
- Simbaña Pulupa, L. P., y Tayupanta Escobar, D. M. (2014). *Análisis de Resultados de Investigación en Sistemas Silvopastoriles en la Organización UCASAJ de la Microcuenca del Río Chimbacazo, Cantón Río-bamba, Provincia de Chimborazo*. Universidad Central del Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4447>
- Suttle, N. (2016). Ruminant Nutrition – Digestion and absorption of minerals and vitamins. En *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00964-1>
- The Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, y K. Tanabe (eds). IGES. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Yáñez-Yáñez, W., Núñez-Torres, O. P., Yáñez-Borja, D. B., Rivera-Guerra, V. E., López-Villacís, I. C., y Velástegui-Espín, G. P. (2017). Niveles de nitrógeno en suelos del cantón Chambo, provincia de Chimborazo. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 5(2), 152-159. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592017000200010