

Contenido mineral de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone, asociado a *Alnus acuminata* (Kunth), en trópico alto colombiano

Mineral content of *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone, associated with *Alnus acuminata* (Kunth), in the Colombian tropical high-altitude areas

Bayron Giovanni Obando-Enriquez¹, Pedro Pablo Bacca-Acosta², Paola Andrea Portillo-Lopez³, Filadelfo Hernandez-Oviedo⁴ y Edwin Castro-Rincon⁵

Resumen

La ganadería lechera altoandina se caracteriza por un manejo intensivo e ineficiente de los recursos naturales. Su funcionamiento se basa en praderas de baja calidad nutricional que no cubren las necesidades esenciales de los animales para su desarrollo y producción. Una forma de mejorar su calidad es introducir especies forestales en arreglos silvopastoriles. En la zona fría colombiana un arreglo agroforestal tradicional es *Alnus acuminata* (Kunth) con la pastura *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone, herbácea que abarca el 80 % de la oferta forrajera regional. Para este estudio se planteó evaluar contenido mineral de *C. clandestinus* bajo incidencia de *A acuminata*; la investigación se llevó a cabo en las praderas de un arreglo silvopastoril y un monocultivo sin incidencia forestal, ubicadas en el Centro de Investigación Obonuco de Agrosavia. Se establecieron cuatro tratamientos y tres repeticiones, definidos por presencia o ausencia de árboles y tiempos de corte a los 35 y 45 días. Se empleó un diseño de bloques completos al azar, un análisis de varianza y prueba de Tukey para establecer diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Los tratamientos en la pradera del SSP fueron superiores estadísticamente en comparación con los del monocultivo de pradera sin árboles, los minerales calcio, fósforo, magnesio, potasio, cobre, hierro y zinc presentaron contenidos más altos en las parcelas del arreglo, el tratamiento del sistema y cortes cada 35 días presentó los mejores resultados. Asociar *A acuminata* a *C clandestinus* incidió positivamente en la pastura, las interacciones silvopastoriles mejoraron significativamente la producción y calidad de la pradera.

Palabras clave: nutrición animal, nutrientes minerales, praderas permanentes, región andina, sistemas agroforestales.

Abstract

High Andean dairy farming is characterized by intensive and inefficient management of natural resources. Its operation is based on pastures of low nutritional quality that do not cater to the essential needs of the animals for their growth and production. One way to improve pasture quality is to introduce forest species in silvopastoral arrangements. In the Colombian cold zone, a traditional agroforestry arrangement is *Alnus acuminata* (Kunth) with the pasture *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone, a herbaceous species that covers 80% of the regional forage supply. For this study, the mineral content of *C. clandestinus* under incidence of *A acuminata* was evaluated; the research was carried out in the pastures of a silvopastoral arrangement and a monoculture without forest incidence, located in the Obonuco Research Center of Agrosavia. Four treatments and three replicates were established, defined by the presence or absence of trees and cutting times at 35 and 45 days. A randomized complete block design (RCBD), analysis of variance, and Tukey's test were used to determine significant differences ($p \leq 0.05$). The treatments in the pasture of the SPS were statistically superior compared to those of the monoculture of pasture without trees. There were higher levels of calcium, phosphorus, magnesium, potassium, copper, iron, and zinc in the plots of the arrangement; the system with treatment and cuts every 35 days yielded the best results. Associating *A acuminata* and *C clandestinus* had a positive effect on the pasture; silvopastoral interactions significantly improved the production and quality of the pasture.

Keywords: agroforestry systems, Andean region, animal nutrition, mineral nutrients, permanent grasslands.

Recibido: 28/08/2023

Aceptado: 30/10/2023

Publicado: 04/11/2023

Sección: Artículo original

*Autor correspondiente: bobando@agrosavia.co

Introducción

América Latina cuenta con extensas áreas pastoriles, condiciones climáticas idóneas y una despena agropecuaria suficiente para construir un sistema de explotación ganadero sostenible (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, 2023). No obstante, en esta región, la ganadería es de carácter extensiva, con un uso excesivo e ineficiente de suelos y aguas, que propicia la pérdida de coberturas vegetales protectoras (Lopes et al., 2020), de fertilidad en suelos y contaminación de cuerpos acuíferos (M. Escobar et al., 2020), debido a que se amplía la frontera

¹Ingeniero Agroforestal Ms C. Profesional de apoyo a la investigación; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Obonuco, Pasto, Nariño, Colombia. bobando@agrosavia.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7669-442X>.

²Ingeniero Agroforestal Ms C. Investigador Máster; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Obonuco, Pasto, Nariño, Colombia. pbacca@agrosavia.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0590-0396>

³Zootecnista Ms C. Investigador Máster; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Obonuco, Pasto, Nariño, Colombia. portillo@agrosavia.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1189-9173>

⁴Zootecnista. Profesional de apoyo a la investigación; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Obonuco, Pasto, Nariño, Colombia. fhernandez@agrosavia.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1549-4926>

⁵Zootecnista Ms C, Ph D, Investigador PhD; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Obonuco, Pasto, Nariño, Colombia. ecastro@agrosavia.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9841-8242>

Como citar: Obando-Enriquez, B. G., Bacca-Acosta, P. P., Portillo-Lopez, P. A., Hernandez-Oviedo, F., & Castro-Rincón, E. (2023). Contenido mineral de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone, asociado a *Alnus acuminata* (Kunth), en trópico alto colombiano. *Revista De Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 25(4), 224-232. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.571>



pecuaria hacia zonas de protección natural para el establecimiento de praderas (Navas Panadero et al., 2020), los cuales presentan baja calidad nutricional en proteína, energía y minerales (Murgueitio et al., 2016).

En las cuencas lecheras colombianas los sistemas de explotación ganadera buscan producir una oferta forrajera adecuada para cubrir los principales requerimientos de proteína y energía de los animales (Avellaneda & Mancipe, 2020); con ese propósito, soportan su modelo productivo en praderas con forrajes nativos o naturalizados (Portillo et al., 2019); estas pasturas, se constituyen como la fuente de nutrientes más importante para los semovientes por considerarse un depósito nutricional de bajo costo de fácil establecimiento y accesible al productor (Motta-Delgado et al., 2019); sin embargo, debido a malas prácticas agropecuarias recurrentes a través de los años, estos materiales han disminuido su potencial productivo, disminuyendo la capacidad de carga de las praderas y su calidad nutricional (Quiroz et al., 2021).

La nutrición animal es un pilar fundamental en la productividad láctea (Villalobos-Villalobos & Sánchez-G, 2018), contar con praderas de buena calidad en cuanto a macrocomponentes, energía, macro y microminerales durante todas las etapas en el hato, permite el desarrollo de animales con mayor producción y calidad de leche (Ruiz Pierrugues & Guevara Viera, 2021). En el caso de los macro y micro minerales, su importancia radica en su relación con conservación y desarrollo de huesos, equilibrio del ácido básico, integridad de las membranas, y son esenciales como componentes de enzimas que participan en reacciones bioquímicas, además de ser parte de vitaminas y hormonas (Hernández-Arroyave & Jiménez-Arango, 2018), cumpliendo un rol fundamental en aspectos de producción y reproducción de los animales (Navas, 2019).

Una oportunidad para mejorar el contenido mineral en las praderas andinas es establecer árboles fijadores de nitrógeno en sistemas silvopastoriles (SSP) (Silva et al., 2018), que captan este elemento de la atmósfera y lo transfieren al suelo y a las plantas asociadas, aumentando el contenido de proteína y otros nutrientes en el forraje (Del Pozo, 2019); en ese sentido *Alnus acuminata* (Kunth), árbol nativo de Suramérica tiene la capacidad de establecer una simbiosis con *Frankia* y diferentes tipos de micorrizas (Muñoz et al., 2018). Esta asociación permite a las raíces mejorar la absorción y el transporte de nutrientes esenciales para la fotosíntesis, siendo una especie útil, al aportar materia orgánica, nitrógeno y fósforo al suelo, y beneficiar el crecimiento del componente herbáceo del sistema (L. D. Escobar et al., 2019).

Al respecto, un factor fundamental a evaluar para determinar potencialidades de diferentes SSP, es la composición mineral de pasturas bajo condiciones específicas de influencia forestal, de manera que se identifique los efectos de asociar forrajes con arbóreas (Cardona Iglesias et al., 2021; Navas Panadero et al., 2020; Quiñones Chillambo et al., 2020), como en el caso del trópico de altura colombiano, donde se encuentran establecidos modelos de ganadería agroforestal que no cuentan con un buen nivel de investigación e información sobre interacciones de estos componentes del sistema, por esta razón, en muchos de ellos no se tiene certeza de relaciones que pueden ser colaborativas o antagónicas y su incidencia sobre las praderas (Muñoz et al., 2018).

En las regiones frías colombianas, una pastura naturalizada recurrente es *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone (Portillo et al., 2019), adaptada a las condiciones del trópico alto colombiano, especie de gran importancia para la lechería especializada, que representa cerca del 80% de la base forrajera en Colombia (Arango et al., 2017). Se la encuentra en monocultivos o en diferentes SSP, generalmente asociada a *Alnus acuminata* (Kunth) (Sanchez, 2021). Su contenido mineral puede variar según el suelo, la fertilización, edad de corte y presencia de árboles asociados (Panadero et al., 2020), la calidad de la pastura, generalmente es insuficiente para cubrir las necesidades nutricionales de los animales que consumen la pastura (Vargas et al., 2018).

En *C. clandestinus* se han desarrollado estudios sobre dinámica de crecimiento, macrocomponentes (Villalobos & WingChing, 2020), variables agronómicas (Navas Panadero et al., 2020; Tafur Sanchez, 2020), entre otros; sin embargo, no se ha abordado la concentración de minerales en la planta; los reportes sobre este tema son escasos y desactualizados; por lo cual, en el marco del proyecto “Mejoramiento de la oferta forrajera, optimización de sistemas de alimentación y aseguramiento de la calidad e inocuidad de leche en el Trópico Alto del departamento de Nariño” se evaluó el contenido mineral de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone bajo incidencia de *Alnus acuminata* (Kunth) para determinar la incidencia de los árboles sobre contenido mineral esta pastura.

Materiales y Métodos

Localización y descripción del sitio de estudio

La evaluación se realizó desde el mes de septiembre de 2021 hasta marzo de 2022, en un SSP del C.I Obonuco de AGROSAVIA, municipio de Pasto, Nariño, (Colombia). El Centro de investigación se ubica en zona de vida bosque seco montano bajo (bs-MB) a

2760 m s.n.m (1° 11' 52" N - 77° 18' 13" W). En cuanto a su geología, según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC (2004), menciona que los suelos del área de investigación se originaron de cenizas volcánicas que yacen sobre tobas de cenizas y lapilli; andisoles caracterizados por ser moderadamente profundos, bien a imperfectamente drenados y se ubican en la consociación Vitric Haplustands (AMBa, AMBb y AMBc). son ácidos con un pH de 6,44, y un contenido de materia orgánica de 6,88 %.

El registro climático se efectuó con datos abiertos de la estación Agrometeorológica Obonuco (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022). Durante el estudio, se determinó una temperatura media de 13,2 °C. brillo solar entre 3,8 y 4,3 horas diarias. Se contabilizó 646,5 mm de lluvia en seis meses, el mes de mayor pluviosidad fue diciembre de 2021 con 172 mm y el menor septiembre de 2021 con 21,3 mm, los datos de lluvia se encuentran por encima del promedio histórico para esta región, donde anualmente se encuentra registros de 796 mm (IDEAM, 2018).

Parcelas de investigación

Se evaluó el contenido de macro y microminerales de la pastura *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone, establecida como pradera monófito sin incidencia forestal, y como pradera asociada en un SSP de árboles dispersos coetáneos de 22 años de *Alnus acuminata* (Kunth); la densidad arbórea es de 200 unidades por ha⁻¹. La especie forestal presenta valores promedios en altura total de 11,74 m, diámetro a la altura del pecho de 19,17 cm y altura de copa de 2,30 m. Las praderas evaluadas forman parte de las colecciones vegetales del CI Obonuco de AGROSAVIA. Durante el estudio, no se fertilizaron, fueron aisladas para evitar el ingreso del ganado a las unidades experimentales, y al inicio se homogeneizó las praderas con un corte.

Diseño experimental y tratamientos de investigación

Para la evaluación del contenido mineral de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones, con 12 unidades experimentales en total, cada unidad contó con un área de 12 m². En la investigación se utilizaron dos sistemas pastoriles: una pradera monófito sin cobertura arbórea y una pradera monófito asociada a *Alnus acuminata* (Kunth) de un SSP; en cada uno de los ambientes descritos en los sistemas, se establecieron dos tratamientos con tiempos de corte cada 45 y 35 días, bajo estas condiciones se evaluó rendimiento en materia

seca (MS) y contenido en los macrominerales: calcio, fósforo, magnesio, potasio; y microminerales: hierro, cobre, manganeso, y zinc.

En cuanto a los tratamientos, en la pradera monófito sin cobertura arbórea se establecieron el tratamiento uno, con cortes de pastura cada 45 días, y el tratamiento dos, con cortes de pastura a los 35 días. En la pradera monófito del SSP se establecieron el tratamiento tres con cortes de pasturas cada 45 días, y el tratamiento cuatro con cortes de pastura a los 35 días.

Variables evaluadas

La materia seca se determinó según metodología de aforos propuesta por Toledo y Schultze-Kraft (Toledo & Schultze-Kraft, 1982). En campo se aforó forraje verde, el material vegetal se cortó a 10 cm de altura y se pesó en fresco en balanzas digitales de los laboratorios del CI Obonuco; posteriormente se secó en hornos de aire forzado a 65°C por 72 horas hasta obtener MS; los valores obtenidos fueron proyectados a kg por ha⁻¹. Los cortes se hicieron periódicamente, durante los cuales *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone tuvo periodos de recuperación entre 35 y 45 días según el tratamiento; para los muestreos en la pradera del SSP se tuvo en cuenta el área de copa y la incidencia de la especie forestal.

Para determinar el contenido de los macrominerales: calcio, fósforo, magnesio, potasio; y microminerales: hierro, cobre, manganeso, y zinc se utilizó la metodología de Espectrometría de infrarrojo cercano NIRS (Near Infrared Spectroscopy – Espectroscopia de Infrarrojo Cercano) (Ariza et al., 2018). Para ello, por cada unidad experimental se envió una muestra de 250 g de MS de las pasturas de *C. clandestinus*, a los laboratorios especializados de AGROSAVIA.

Análisis estadístico

La base de datos obtenida de la investigación se analizó a través del software estadístico R (R Core Team, 2020), a través del paquete agrícola (Mendiburu, 2021). En la investigación, se realizó un análisis de varianza (ANAVA) y prueba de Tukey con el propósito de establecer diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos establecidos. Para ello se tuvo en consideración tiempo de corte, e incidencia de la especie forestal en rendimiento de del forraje y calidad en cuanto al contenido macro y micro mineral de las pasturas de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone.

Resultados

En la pradera sin incidencia arbórea con frecuencia de corte cada 45 días se obtuvo 1156,4 kg ha⁻¹ MS, y en el de frecuencia de corte a los 35 días 1475,3 kg ha⁻¹ MS. En la pradera del sistema silvopastoril, el tratamiento con frecuencia de corte cada 45 días obtuvo 2123,5 kg ha⁻¹ MS; y el de frecuencia de corte a los 35 días 1964 kg ha⁻¹ MS.

Las parcelas asociadas de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.), Morrone a *Alnus acuminata* (Kunth) fueron superiores estadísticamente en comparación con las del monocultivo (P Value: < 0,001; Error Estándar ±: 66,345). El tratamiento tres del SSP fue estadísticamente superior al tratamiento uno y presentó un 41,1 % más de producción de kg MS ha⁻¹ por corte. Al evaluar el desempeño de T3 en relación con T2 y T4, según análisis estadístico, no existieron diferencias significativas. T4 del SSP presentó el segundo mejor desempeño de MS, con un 41,1 % y 24,9 % más de producción de kg MS ha⁻¹ en relación con T1 y T2 del sistema pastoril sin cobertura arbórea, estadísticamente no tuvieron diferencias. T1 y T2 del monocultivo no presentaron diferencias y se registró un rendimiento superior de MS con un 21,6 % a favor de T2.

Macrominerales

El mejor desempeño en fósforo se registró en las parcelas del SSP, los cuatro tratamientos fueron estadísticamente diferentes. El tratamiento cuatro presentó los mejores resultados, seguido en forma decreciente por el tratamiento tres (Tabla 1). En magnesio se encontraron mayores registros en las praderas asociadas a *Alnus acuminata* (Kunth), entre los tratamientos de las parcelas del SSP no se presentaron diferencias significativas y fueron estadísticamente superiores a las del monocultivo; entre los tratamientos del monocultivo no se presentaron diferencias estadísticas. Potasio presentó mejores resultados en los ensayos del SSP, el tratamiento cuatro fue estadísticamente superior a los demás tratamientos, seguido por el tratamiento tres; las parcelas del monocultivo fueron estadísticamente similares, y obtuvieron los menores resultados en este componente.

Calcio a diferencia de los macrominerales descritos, presentó valores más altos en el monocultivo, registrando el mayor valor en el tratamiento dos; aunque entre los cuatro tratamientos evaluados no se presentaron diferencias significativas.

Tabla 1. Composición macromineral de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone en monocultivo y asociado con *Alnus acuminata* (Kunth) en un arreglo silvopastoril de la región Altoandina colombiana

Tratamiento	Macrominerales <i>Cenchrus clandestinus</i>			
	Ca	P	K	Mg
Monocultivo FC 45 días (T1)	0,290 ^a	0,280 ^d	2,560 ^c	0,240 ^b
Monocultivo FC 35 días (T2)	0,300 ^a	0,310 ^c	2,750 ^c	0,240 ^b
Silvopastoril FC 45 días (T3)	0,280 ^a	0,350 ^b	3,410 ^b	0,290 ^a
Silvopastoril FC 35 días (T4)	0,270 ^a	0,380 ^a	3,790 ^a	0,300 ^a
Valor de P	0,703	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Error estándar ±	0,020	0,010	0,060	0,010

Letras diferentes en la misma columna, indican diferencia estadística significativa p<0,05.

FC: Frecuencia de cortes

Microminerales

Los mayores registros para cobre se obtuvieron en los tratamientos del SSP, los cuales fueron estadísticamente diferentes entre ellos, con mayor presencia del mineral en el tratamiento cuatro; estos tratamientos fueron estadísticamente superiores a los del monocultivo (Tabla 2). En cuanto a hierro, el valor más alto se presentó en el tratamiento cuatro de la pradera del SSP que presentó

diferencias significativas con el tratamiento uno. En zinc las parcelas del SSP presentaron mejores resultados y fueron estadísticamente superiores en relación con el tratamiento uno del monocultivo. Manganeso a diferencia de los microminerales descritos, presentaron valores más altos en el monocultivo, principalmente en el tratamiento dos, que fue estadísticamente superior al del SSP con el mismo tiempo de corte (T4).

Tabla 2. Composición micromineral de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone en monocultivo y asociado con *Alnus acuminata* (Kunth) en un arreglo silvopastoril de la región Altoandina colombiana

Tratamiento	Microminerales <i>Cenchrus clandestinus</i>			
	Cu	Fe	Mn	Zn
	ppm	ppm	ppm	ppm
Monocultivo FC 45 días (T1)	5,920 ^c	173,080 ^b	86,870 ^{ab}	34,470 ^b
Monocultivo FC 35 días (T2)	6,500 ^c	208,150 ^{ab}	99,710 ^a	36,770 ^{ab}
Silvopastoril FC 45 días (T3)	8,020 ^b	209,930 ^{ab}	67,350 ^{ab}	41,640 ^a
Silvopastoril FC 35 días (T4)	8,880 ^a	232,810 ^a	57,140 ^b	41,970 ^a
Valor de P	< 0,001	0,133	0,592	0,011
Error estándar ±	0,240	20,180	4,950	1,770

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa $p < 0,05$. FC frecuencia de cortes

Discusión

El mejor desempeño en materia seca y macro y microminerales de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone, en los tratamientos del SSP puede ser debido a que los árboles de *Alnus acuminata* (Kunth) del SSP conservaron gran parte de las hojas, comportándose como un dosel estático por efecto del incremento en precipitación en el periodo de evaluación según registros pluviométricos del IDEAM (2022), al ser un parámetro climático comúnmente correlacionada con fenología de especies vegetales y cantidad de follaje (Bacca Acosta, 2022), con lo cual se pudo generar un microclima adecuado, reduciendo la temperatura y la evaporación, lo que favorece la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas; la estructura de la copa de la especie arbórea utilizada y la tolerancia al nivel de sombra de *C. clandestinus* posiblemente influyeron en su mejor desempeño (Rios et al., 2021).

Otro factor que pudo influir en el mayor desempeño en la pradera del SSP es la presencia de una especie forestal fijadora de nitrógeno como los árboles de *A. acuminata*, que en estudios realizados se reporta que pueden fijar al suelo entre 60 y 780 kg de N atmosférico (Brozek & Wanic, 2002). los árboles de esta especie pueden incrementar la materia seca, el contenido mineral y la digestibilidad de las pasturas (Silva et al., 2018), esto lo pueden hacer mediante la asociación simbiótica con bacterias del género *Frankia* que permiten mejorar la fertilidad del suelo con lo cual el nutriente queda a disposición de la planta y puede ser asimilado por el sistema radicular del compartimento herbáceo del arreglo. Además, el nitrógeno puede influir en la disponibilidad de otros minerales como el fósforo, el potasio, el calcio y el magnesio.

En ese sentido, en diferentes estudios se ha determinado que los SSP al incluir el componente forestal en el modelo ganadero, mejoran la calidad nutricional y productiva de las praderas (Apan-Salcedo et al., 2021),

debido a que la presencia de estratos arbóreos, generan microclimas adecuados para su desarrollo (Rios et al., 2021); por las interacciones tripartitas mejoran la disponibilidad de nutrientes (Silva et al., 2018); por su sistema radical bombean minerales desde horizontes profundos (Romero Delgado et al., 2020) (Huertas et al., 2018; Leyva et al., 2018); la presencia durante todo el año de la rizosfera y crean islas fértiles por ciclaje de nutrientes (Moncayo-Riascos & Gálvez-Cerón, 2018). La recuperación de suelos por estas y otras interacciones mejora sus condiciones fisicoquímicas y biológicas (Heguy et al., 2022), optimizando así la calidad nutricional y producción de la oferta forrajera (Arciniegas-Torres & Flórez-Delgado, 2018).

En algunos estudios de *C. clandestinus* asociados a *A. acuminata* se encontró: en Perú se la evaluó en un monocultivo y dos SSP establecidos con densidad arbórea alta y baja, se determinó que el rendimiento de materia seca fue superior en el SSP de baja densidad al compararlo con el arreglo de mayor densidad y el monocultivo (Sanchez, 2021). En una investigación en la región altoandina nariñense se encontraron resultados superiores de materia seca en el SSP en relación con el monocultivo (Insuasty et al., 2011). Asimismo al estudiar el efecto arbóreo sobre rendimiento de una pradera se encontró que las parcelas bajo dosel, presentaron mejores rendimientos en materia seca a los 30 y 45 días en comparación con el monocultivo (Navas et al., 2020).

Los datos resultantes en esta investigación concuerdan con los expresados por los autores citados, por lo tanto, al asociar en un arreglo de árboles dispersos a *A. acuminata* con una pradera monófito de *C. clandestinus*, el componente arbóreo influye positivamente en la acumulación de materia seca de las pasturas, debido a diferentes interacciones benéficas que se presentaron entre los componentes, siendo las más importantes árbol-sombra-pastura, la asociación tripartita con bacterias y hongos, el aporte de biomasa y el bombeo de nutrientes.

Los macrominerales requeridos en pasturas para vacunos lecheros para calcio se encuentran entre 0,17 a 0,50 %, fósforo 0,18 a 0,35 % y magnesio 0,20 a 0,25 % (Pingurina et al., 1998); en ese sentido en Ca y P los registros obtenidos en *C. clandestinus* de esta investigación para el monocultivo y el SSP, estuvieron en los intervalos señalados, en el caso de magnesio los tratamientos del sistema pastoril se localizan dentro de los límites y los del SSP sobre estos, aunque el exceso de magnesio en las pasturas para ganadería es poco probable que produzca alteraciones metabólicas en los animales. En cuanto a potasio, no existe literatura que relacione la cantidad requerida por los animales para este mineral.

Para ganadería en leche las ppm requeridas de microminerales: hierro son 30 a 100 ppm, cobre 8 a 10 ppm, manganeso 10 a 25 ppm y zinc 25 a 14 ppm (Pingurina et al., 1998); los resultados de este estudio en Fe, Mn y Zn se encuentran por encima de los niveles requeridos, aunque los niveles en los que se encuentran tienen poca probabilidad de producir cambios negativos en los animales. En el SSP los valores de Cu son los recomendados y en el monocultivo se encuentran por debajo de lo esperado. Estos valores pueden ser suficientes para cubrir las necesidades nutricionales de los animales que consumen el pasto, aunque se debe realizar análisis periódicos del forraje y suplementar con sales minerales cuando sea necesario.

La literatura especializada sobre el contenido macro y micro mineral de la especie forrajera *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone en una asociación con el árbol *Alnus acuminata* (Kunth) en un SSP de árboles dispersos es escasa o inexistente. Por esta razón, esta investigación se convierte en un referente para futuros estudios sobre este tema, ya que aporta información relevante sobre la calidad nutricional de esta pastura y su relación con el estrato arbóreo. Además, contribuye al conocimiento de los beneficios ambientales y productivos de los SSP, una alternativa sostenible para el manejo de los recursos naturales en zonas ganaderas de la región altoandina colombiana.

Conclusiones

Las interconexiones y relaciones benéficas de la especie forestal *Alnus acuminata* (Kunth) y la pradera de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone, optimizaron la disponibilidad de macro y microminerales en el agroecosistema; el aprovechamiento del espacio vertical aéreo y la asociación radical con hongos y actinomicetos fijadores de nitrógeno y fósforo por parte de los árboles, facilitó la asimilación de soluciones nutritivas en la herbácea forrajera, mejorando

significativamente su contenido en relación con los resultados de *C. clandestinus* sin incidencia forestal.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, al Centro de Investigación Obonuco donde se desarrolló la investigación, y a la Gobernación de Nariño que financió el proyecto identificado con el código BPIN 2013000100279.

Referencias

- Apan-Salcedo, G. W., Jiménez-Ferrer, G., Nahed-Toral, J., Pérez-Luna, E., & Piñeiro-Vázquez, T. (2021). Massification of Silvopastoral Systems: a Long and Winding Road. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(3). <https://doi.org/10.56369/tsaes.3524>
- Arango, J., Cardona Naranjo, F., López Herrera, A., Correa Londoño, G., & Echeverri Zuluaga, J. J. (2017). Variación de caracteres morfológicos del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el trópico alto de Antioquia. *Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 12(1), 44–52. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.12.1.4>
- Arciniegas-Torres, S. P., & Flórez-Delgado, D. F. (2018). silvopastoral systems: an alternative for agroecological and sustainable livestock production. *Ciencia y Agricultura*, 1, 107–116. <https://doi.org/10.19053/01228420.v15.n2.2018.8687>
- Ariza, C., Mayorga, O., Mojica, B., Parra, D., & Afanador-Tellez, G. (2018). Use of LOCAL algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 26(1), 44–52. <https://doi.org/10.1177/0967033517746900>
- Avellaneda, Y. A., & Mancipe, E. A. (2020). Effect of regrowth period on morphological development and chemical composition of kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*) in Colombian's highlands. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 15(2), 23–37. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.15.2.2>
- Bacca Acosta, P. P. (2022). Rasgos morfológicos de especies nativas potenciales para procesos agroecológicos Alto Andinos, Nariño, Colombia. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 24(2), 101–110. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.387>

- Brozek, S., & Wanic, T. (2002). Impact of forest litter of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Alnus incana* (L.) Moench, *Alnus viridis* (Chaix) Lam. et DC, *Abies alba* Mill., and *Fagus sylvatica* L. on chosen soil properties. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 5(1). <https://bit.ly/3EeIykP>
- Cardona Iglesias, J. L., Avellaneda Avellaneda, Y., & Castro Rincón, E. (2021). Estimación del consumo de forraje para dos biotipos bovinos lecheros en el trópico altoandino de Nariño, Colombia: Consumo materia seca bovinos. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 23(4), 220–228. <https://doi.org/10.18271/ria.2021.301>
- Del Pozo, P. (2019). Los sistemas Silvopastoriles. Una alternativa para el manejo ecológico de los pastizales: Experiencias de su aplicación en Cuba. *Cuadernos de Agroecología*, 14. <https://bit.ly/3YRvsUj>
- Escobar, L. D., Guatusmal-Gelpud, C., Meneses-Buitrago, D. H., Cardona-Iglesias, J. L., & Castro-Rincón, E. (2019). Evaluation of arboreal and shrub strata in a silvopastoral system in Colombian high Andean tropics. *Agronomy Mesoamerican*, 30(3), 803–819. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.35645>
- Escobar, M., Navas, A., Medina, C., Corrales, J., Tenjo, A., & Borrás, L. (2020). Efecto de prácticas agroecológicas sobre características del suelo en un sistema de lechería especializada del trópico alto colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, 32(4), 23. <https://bit.ly/45L1AuN>
- Heguy, B., Bolaños, V., Fernández, F., Mendicino, L., Sharry, S. E., Stevani, R. A., & Galarco, S. P. (2022). Sistemas silvopastoriles en la Pampa Deprimida, interacciones y efectos sobre los componentes. In Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (Ed.), *Sistemas agroforestales en Argentina* (pp. 312–323). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://bit.ly/45HmD1i>
- Hernández-Aroyave, W., & Jiménez-Arango, Fa. (2018). Determinación de los contenidos de cobre en función de su interrelación en los suelos, forrajes y ganado bovino en la región del Magdalena Medio. *Veterinaria y Zootecnia*, 12(1), 1–13. <https://doi.org/10.17151/vetzo.2018.12.1.1>
- Huertas, H. D., Rangel, J. A., & Parra, A. S. (2018). Chemical characterization of soil fertility in production systems of a flat High Plateau, Meta, Colombia. *Revista Luna Azul*, 46, 54–69. <https://doi.org/10.17151/luaz.2018.46.5>
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2018). *Promedios Mensuales De Brillo Solar Para Todas Las Estaciones Del País (Horas De Sol Al Día)*. 1. <https://bit.ly/3L16sUH>
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2022, March 2). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*. <https://bit.ly/3L16sUH>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. (2004). *Estudio General De Suelos Y Zonificación De Tierras Departamento De Nariño* (Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC (ed.); Vol. 1). Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. <https://bit.ly/3L16sUH>
- Insuasty, E., Apráez, E., & Navia, F. (2011). Efecto del arreglo silvopastoril aliso (*Alnus acuminata* K.) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum* H.) sobre el comportamiento productivo en novillas Holstein en el altiplano del departamento de Nariño. *Agroforestería Neotropical*, 1(1), 29–36. <https://bit.ly/3EzX63H>
- Leyva, S., Baldoquin, A., & Reyes, M. (2018). Propiedades de los suelos en diferentes usos agropecuarios, Las Tunas, Cuba Properties of soils in different agricultural uses, Las Tunas, Cuba. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 34(1), 36–47. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.81>
- Lopes, M. A., Moraes, M. I., & Wilcox, R. (2020). Ranching in the Americas: Reflections on Technology, Consumption, and Trade. *Mundo Agrario*, 21(46). <https://doi.org/10.24215/15155994E129>
- Mendiburu, F. (2021). *Package 'agricolae'*. <https://bit.ly/3EeJEwX>
- Moncayo-Riascos, M. C., & Gálvez-Cerón, A. (2018). Islas de fertilidad: una revisión sistemática de su estructura y operación. *Idesia*, 36, 115–122. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018000100115>
- Motta-Delgado, P. A., Ocaña Martínez, H. E., & Rojas-Vargas, E. P. (2019). Indicators associated to pastures sustainability: A review. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 409–430. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art1464

- Muñoz, D., Navia, J. F., & Solarte, J. G. (2018). *El conocimiento local en los sistemas Silvopastoriles tradicionales: Experiencias de investigación en la región andina* (Universidad de Nariño (ed.); 1st ed.). <https://bit.ly/47KDnqx>
- Murgueitio, E., Barahona Rosales, R., Flores Estrada, M. X., Chará Orozco, J. D., & Rivera Herrera, J. E. (2016). Es Posible Enfrentar el Cambio Climático y Producir más Leche y Carne con Sistemas Silvopastoriles Intensivos. *Ceiba*, 54(1), 23–30. <https://doi.org/10.5377/ceiba.v54i1.2774>
- Navas, A. (2019). Efecto del arreglo silvopastoril aliso (*Alnus acuminata* kunth) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum* H.) sobre el comportamiento productivo en novillas Holstein en el Altiplano del departamento de Nariño. *Revista de Medicina Veterinaria*, 26(2), 141. <https://doi.org/10.32997/2463-0470>
- Navas, A., Aragón Henao, L. F., & Triana Valenzuela, J. F. (2020). Efecto del componente arbóreo sobre la dinámica de crecimiento y calidad nutricional de una pradera mixta en trópico alto. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(41), 71–82. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss41.7>
- Navas Panadero, A., Aragón Henao, L. F., & Triana Valenzuela, J. F. (2020). Efecto del componente arbóreo sobre la dinámica de crecimiento y calidad nutricional de una pradera mixta en trópico alto. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(41), 71–82. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss41.7>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2023, January 11). *Producción pecuaria en América Latina y el Caribe*. <https://bit.ly/3PinznL>
- Panadero, A. N., Fernanda, L., Henao, A., Fernando, J., & Valenzuela, T. (2020). Efecto del componente arbóreo sobre la dinámica de crecimiento y calidad nutricional de una pradera mixta en trópico alto. *Medicina Veterinaria Volume*, 1, 71–82. <https://doi.org/10.19052/mv>
- Pingurina, G., Soares de Lima, J., & Berretta, E. (1998). Contenido de minerales en Pasturas naturales de basalto. In INIA (Ed.), *Seminario de actualización en tecnologías para basalto* (pp. 113–121). <https://bit.ly/47SIInCM>
- Portillo, P. A., Meneses, D. H., Morales, S. P., Cadena, M., & Castro, E. (2019). Evaluación y selección de especies forrajeras de gramíneas y leguminosas en Nariño , Colombia Evaluation and selection of forage grass and legume species in Nariño , Colombia. *Pastos y Forrajes*, 42(2), 93–103. <https://bit.ly/3qP2asS>
- Quiñones Chillambo, J. D., Cardona Iglesias, J. L., & Castro Rincón, E. (2020). Ensilaje de arbustivas forrajeras para sistemas de alimentación ganadera del trópico altoandino. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 22(3), 285–301. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.662>
- Quiroz, J. F. E., Esquivel, V. A. E., & Méndez, D. M. (2021). Rehabilitación de praderas degradadas en el trópico de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12, 243–260. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5876>
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. <https://bit.ly/3PeZA8H>
- Rios, L., Herrera, D., Rios, C., Ramos, F., Pezo, D., Villanueva, C., & Quiroz, R. (2021). *Efecto de la sombra arbórea sobre el rendimiento y valor nutritivo de pastos mejorados*. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. <https://bit.ly/44u0CSH>
- Romero Delgado, G., Echevarria Rojas, M., Trillo Zárate, F., Lozano, V. H., Agurre Terrazas, L., Robles Rodríguez, R., & Nuñez Delgado, J. (2020). Effect of the faique (*Acacia macracantha*) on the nutritional value of guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.) in a silvopastoral system. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 31(1), 1–9. <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i1.17562>
- Ruiz Pierrugues, R., & Guevara Viera, R. (2021). Reseña sobre aspectos nutricionales para el desarrollo sostenible de sistemas ganaderos basados en pastos y forrajes tropicales. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*, 5. <https://bit.ly/3OWX3i8>
- Sanchez, B. (2021). Efecto del sistema silvopastoril con *Alnus acuminata* en el valor agronómico y nutricional del *Pennisetum clandestinum*. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(3), 09. <https://doi.org/10.25127/ucni.v3i3.630>
- Silva, A., Garay, S., & Gómez, A. (2018). Impacto de *Alnus acuminata* Kunth en los flujos de N₂O y calidad del pasto *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. *Colombia Forestal*, 21(1), 47–57. <https://doi.org/10.14483/2256201X.11629>

- Tafur Sanchez, B. (2020). Efecto del sistema silvopastoril con *Alnus acuminata* en el valor agronómico y nutricional del *Pennisetum clandestinum*. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(3), 9–14. <https://doi.org/10.25127/ucni.v3i3.630>
- Toledo, J. M., & Schultze-Kraft, R. (1982). Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. In R. CIAT (Ed.), *Manual para la evaluación agronómica* (pp. 91–110). Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. <https://doi.org/https://doi.org/10.7910/DVN/DYR7KS>
- Vargas, J., Sierra, A., Mancipe, E., & Avellaneda, Y. (2018). Kikuyu, present grass in ruminant production systems in tropic Colombian highlands. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 13(2), 137–156. <https://doi.org/10.21615/4558>
- Villalobos-Villalobos, L., & Sánchez-G, J. (2018). Contenido macro y micromineral del pasto ryegrass (*Lolium* spp.) en la zona alta de Cartago, Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*, 12(2), 1–19. <https://doi.org/10.15517/nat.v12i2.34927>
- Villalobos, L., & WingChing, R. (2020). Los pastos estrella africana, kikuyo y “rye grass” en Cartago, Costa Rica: biomasa, composición botánica y nutrientes. *UNED Research Journal*, 12(1), e2811. <https://doi.org/10.22458/urj.v12i1.2811>