

Productividad y calidad del forraje de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone en dos sistemas pastoriles en la cordillera andina colombiana**Forage productivity and quality of *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone in two pastoral systems in the Colombian Andes**

Bayron Giovanni Obando-Enríquez <https://orcid.org/0000-0002-7669-442X>, Filadelfo Hernández-Oviedo <https://orcid.org/0000-0002-1549-4926>, Paola Andrea Portillo-López <https://orcid.org/0000-0003-1189-9173> y Edwin Castro-Rincón <https://orcid.org/0000-0001-9841-8242>

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA Centro de Investigación Obonuco, km. 5, vía Pasto-Obonuco, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: bobando@agrosavia.co, fherandez@agrosavia.co, pportillo@agrosavia.co, ecastro@agrosavia.co

Resumen

Objetivo: Determinar el efecto de *Alnus acuminata* Kunth en el rendimiento y la calidad nutricional del pasto *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone en dos sistemas pastoriles en la cordillera andina colombiana.

Materiales y Métodos: Para la evaluación del rendimiento y la calidad de la biomasa forrajera de *C. clandestinus* se desarrolló un experimento en un sistema silvopastoril y una pradera sin cobertura arbórea; se estableció un diseño de bloques completos al azar, definido por la presencia o ausencia de *A. acuminata*, con frecuencia de corte de pasturas cada 35 o 45 días. Se definieron cuatro tratamientos y tres repeticiones; para determinar las diferencias estadísticas se realizó un análisis de varianza y prueba de Tukey. Se evaluaron las variables producción de forraje verde, materia seca, proteína bruta, fibra en detergente neutro, fibra en detergente ácido, digestibilidad de la materia seca y energía neta de lactancia.

Resultados: Las unidades experimentales del sistema silvopastoril fueron estadísticamente superiores a los tratamientos de pradera sin cobertura. Presentaron mayores rendimientos en cuanto a forraje verde y materia seca y se destacaron por sus atributos nutritivos de proteína bruta, digestibilidad y energía neta de lactancia. El tratamiento con la incidencia de la especie forestal *A. acuminata* y el aprovechamiento de pasturas a los 45 días registró los promedios más altos en forraje verde y materia seca (19 360,3 y 123,5 kg) y la mejor calidad nutricional, seguido por el sistema silvopastoril con frecuencia de corte cada 35 días.

Conclusiones: En el sistema silvopastoril se obtuvieron los mejores resultados de producción y calidad del pasto *C. clandestinus*, lo cual indica la incidencia positiva de la especie arbórea en los indicadores evaluados debido a las diferentes interacciones que propició el árbol en el agroecosistema.

Palabras clave: agroforestería, *Alnus acuminata*, productividad agrícola, valor nutritivo

Abstract

Objective: To determine the effect of *Alnus acuminata* Kunth on the yield and nutritional quality of *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone in two pastoral systems in the Colombian Andean mountain range.

Materials and Methods: For the evaluation of the yield and quality of the forage biomass of *C. clandestinus*, an experiment was conducted in a silvopastoral system and a pasture without tree cover. A complete randomized block design was established, defined by the presence or absence of *A. acuminata*, with pasture cutting frequency every 35 or 45 days. Four treatments and three replicas were defined to determine statistical differences. An analysis of variance and Tukey's test were performed. The variables green forage production, dry matter, crude protein, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, dry matter digestibility and net lactation energy were evaluated.

Results: The experimental units of the silvopastoral system were statistically superior to the uncovered pasture treatments. They showed higher yields, in terms of green forage and dry matter, and stood out for their nutritional attributes of crude protein, digestibility and net lactation energy. The treatment with the incidence of the forest species *A. acuminata* and pasture utilization at 45 days recorded the highest averages in green forage and dry matter (19 360,3 and 123,5 kg) and the best nutritional quality, followed by the silvopastoral system with cutting frequency every 35 days.

Conclusions: The silvopastoral system obtained the best results in production and quality of *C. clandestinus* grass, which indicates the positive impact of the tree species on the evaluated indicators, due to the different interactions that the tree promoted in the agroecosystem.

Key words: agroforestry, *Alnus acuminata*, agricultural productivity, nutritional value

Recibido: 4 de enero de 2023

Aceptado: 23 de febrero de 2023

Como citar este artículo: Obando-Enríquez, Bayron-Giovanny; Hernández-Oviedo, Filadelfo; Portillo-López, Paola Andrea & Castro-Rincón, Edwin. Productividad y calidad del forraje de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone en dos sistemas pastoriles en la cordillera andina colombiana. *Pastos y Forrajes*. 46:e09, 2023.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

Introducción

Las gramíneas tropicales se consideran la base alimentaria en la ganadería de América Latina (Murgueitio-Restrepo *et al.*, 2016). Sin embargo, tienen una calidad nutricional de media a baja en proteína, energía y minerales. Adicionalmente, se encuentran expuestas a climas en constante transformación y se someten a pisoteo y sobrepastoreo, así como a inadecuadas prácticas agronómicas (Arcos-Álvarez *et al.*, 2018).

En la región altoandina colombiana, en las cuencas lecheras, predominan las pasturas permanentes de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone, gramínea que se adapta al trópico alto, aunque su productividad en zonas frías es baja (Portillo-López *et al.*, 2019). Esta tendencia es común en la lechería especializada de Colombia (Vargas-Martínez *et al.*, 2018) y en sistemas convencionales de aprovechamiento pecuario en la cordillera andina nariñense, donde se establece como monocultivo, asociada a otros pastos o árboles (Muñoz-Guerrero *et al.*, 2018).

La calidad inferior de *C. clandestinus*, debido a la insuficiente energía neta de lactancia (ENL), con promedios de 1,15 Mcal kg⁻¹ de MS y 10,5 % de carbohidratos solubles, origina una relación inadecuada entre el nitrógeno y la energía ruminal. De igual forma, el contenido de FDN (56,2 % promedio) ocasiona escasa digestibilidad de las pasturas (Cardona-Iglesias *et al.*, 2020).

Además del bajo rendimiento, en el contexto ambiental global se debe replantear el establecimiento de gramíneas en monocultivo en las explotaciones ganaderas (Soriano-Robles *et al.*, 2018). Es por ello que en la actualidad se promueven los sistemas silvopastoriles (SSP) como una alternativa productiva sostenible. Mediante sus diferentes interacciones positivas, los SSP ejercen una acción favorable en los recursos naturales de los agroecosistemas y permiten mejorar la productividad de los pastos y forrajes (Silva-Parra *et al.*, 2017; Buitrago-Guillen *et al.*, 2018).

En la región andina nariñense, *Alnus acuminata* Kunth es una especie forestal nativa, con potencial en los sistemas agropecuarios. Conocida comúnmente como aliso (Muñoz *et al.*, 2013), se establece generalmente en cercas vivas, linderos, setos perimetrales y árboles dispersos en las praderas. Se asocia frecuentemente con *C. clandestinus* (Muñoz-Guerrero *et al.*, 2018). No obstante, la información con respecto a las características agronómicas y productivas de *C. clandestinus* en SSP

para las condiciones de trópico alto colombiano es limitada.

En las montañas de Colombia, en las cuencas lecheras nariñenses, se desarrolló el 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”. Entre otros estudios, en el Centro de Investigación (CI) Obonuco de AGROSAVIA, se evaluó la producción y la calidad de *C. clandestinus* en dos ambientes: bajo sombra (BS) de *A. acuminata* y a libre exposición solar (LES) y dos tiempos de aprovechamiento de pasturas (35 y 45 días), para determinar si estos indicadores influían en la productividad y el contenido nutricional de uno de los forrajes más usados en la zona fría colombiana. De ahí que el objetivo del trabajo fue determinar el impacto de *A. acuminata* en el rendimiento y la calidad nutricional del pasto *C. clandestinus* en dos sistemas pastoriles en la cordillera andina colombiana.

Materiales y Métodos

Localización y descripción del sitio de estudio. El estudio se desarrolló en el Centro de Investigación (CI) Obonuco de AGROSAVIA, en el municipio de Pasto, Colombia, entre septiembre de 2021 y marzo de 2022.

Características edafoclimáticas. El área de trabajo está ubicada en la zona de vida Bosque Seco Montano Bajo bs-MB (Holdridge, 1978) a 2 760 msnm, en las coordenadas 1° 11' 52" N - 77° 18' 13" W. En cuanto a su geología, según IGAC (2004), los suelos se originaron de cenizas volcánicas (Andisoles) caracterizados por ser moderadamente profundos, bien a imperfectamente drenados. Los indicadores climáticos y su variación se registraron de la estación meteorológica Obonuco 52045010 (IDEAM, 2022), ubicada en el municipio de Pasto. Durante la evaluación, la temperatura media fue de 13,2 °C; la máxima de 17,6 °C y la mínima de 8,8 °C. El sol brilló entre 3,8 y 4,3 horas diarias, la insolación promedio fue cuatro horas día⁻¹. Se registraron 646,5 mm de lluvia, acumulada en seis meses. El mes de mayor pluviosidad fue diciembre con 172 mm y el de menor septiembre, con 21,3 mm (IDEAM, 2022).

Especies vegetales. El estudio se realizó en un SSP de árboles dispersos de 22 años de antigüedad. *C. clandestinus* estaba asociado con la especie forestal *A. acuminata*, establecida con una densidad de 200 unidades por ha⁻¹, con distancias de siembra de 5 x 7 m. Las arbóreas presentaron valores prome-

dios en altura total de 11,74 m, diámetro del tronco a la altura del pecho de 19,17 cm; altura de la copa de 2,30 m. Las praderas evaluadas en el SSP y a libre exposición solar eran monófitas o compuestas por una sola pastura (Pizzio *et al.*, 2021) y pertenecen a las colecciones vegetales de AGROSAVIA. El lote utilizado para la evaluación no se fertilizó y se manejó en pastoreo rotacional.

Tratamientos y diseño experimental. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (BCA), con cuatro tratamientos y tres repeticiones para 12 unidades experimentales de 4 x 3 m cada una, y un total del experimento de 144 m². Se comparó la producción y la calidad de la biomasa forrajera de *C. clandestinus* en dos ambientes (pradera tradicional y SSP) y dos tiempos de corte (45 y 35 días). Los tratamientos 1 y 2 se establecieron a libre exposición al sol (LES) y el 3 y 4 bajo sombra (BS).

Variables. Durante el período de evaluación, para determinar el rendimiento del forraje verde (FV) y materia seca (MS), se utilizó la metodología propuesta por Toledo y Schultze-Kraft (1982). Se realizaron cuatro cortes cada 35 y 45 días, según el tratamiento; se empleó para ello un marco de 50 x 50 cm (0,25 m²). Se realizó el corte de la herbácea a 10 cm del suelo y se pesó la muestra en fresco. Posteriormente, durante 72 horas, se secaron en un horno de ventilación forzada a 65 °C de temperatura hasta obtener peso constante en MS.

En cuanto a la calidad nutricional, se tomaron submuestras del primer y tercer corte del período de evaluación, y se enviaron al laboratorio de nutrición animal del CI Tibaitatá de Agrosavia (Bogotá, Colombia), donde se efectuaron análisis bromatológicos para determinar: proteína bruta (PB); fibra en detergente neutro (FDN); fibra en detergente ácido (FDA); digestibilidad de

la MS (DIVMS) y energía neta de lactancia (ENL) mediante la técnica de espectroscopia de reflectancia en infrarrojo cercano NIRS (Ariza-Nieto *et al.*, 2018) con el equipo *NIRS DS 2500-FOSS Analytical A/S*, Dinamarca.

Análisis estadístico. Los datos de la evaluación se sometieron a análisis de varianza, con el programa estadístico R (R Core Team, 2020) mediante el paquete agrícola (Mendiburu, 2021). Se consideró un nivel de significancia de $p \leq 0,05$, y se empleó la prueba de Tukey con el fin de establecer diferencias entre tratamientos. Para ello se consideró la frecuencia de corte y el sistema pastoril evaluado en la producción y la calidad de las pasturas. Se realizó el test de normalidad de las distribuciones de medias, según *Shapiro-Wilks*.

Resultados y Discusión

Producción de biomasa. En forraje verde se obtuvieron los mejores rendimientos en el SSP (tabla 1). Se establecieron diferencias estadísticas significativas entre T3 y los demás tratamientos. T3 presentó rendimiento superior al 50 % en comparación con las parcelas del monocultivo. Con relación a T4, tuvo mayor producción de pastura (36,6 %). T4 no difirió estadísticamente de T1 ($p > 0,05$). T4 con respecto a T2, presentó diferencias significativas, con incremento de 35 % en rendimiento. En los sistemas pastoriles a libre exposición solar, la producción del pasto fue similar en ambos tratamientos.

En cuanto a la MS, las parcelas del SSP presentaron un desempeño superior al compararlas con los resultados en MS de la pradera tradicional. T3 superó estadísticamente a T1. Con relación a T2 y T4, no existieron diferencias. T4 presentó el segundo mejor rendimiento de MS, con incremento de 41,1 y 24,9 % con respecto a T1 y T2, sin embargo,

Tabla 1. Forraje verde y materia seca de *C. clandestinus* en sistemas pastoriles a libre exposición solar y bajo sombra de *A. acuminata*.

Tratamiento	Forraje verde, kg ha ⁻¹	Materia seca, kg ha ⁻¹
T1 LES, 45 días	9 349,8 ^{bc}	1 156,4 ^b
T2 LES, 35 días	8 012,9 ^c	1 475,3 ^{ab}
T3 BS, 45 días	19 360,3 ^a	2 123,5 ^a
T4 BS, 35 días	12 335,7 ^b	1 964,0 ^{ab}
EE ±	221,345	66,345
Valor - P	< 0,001	< 0,001

LES: libre exposición solar; BS: bajo sombra.

a, b y c medias con letras diferentes en una misma columna difieren entre sí, según Tukey ($p \leq 0,05$)

no fue significativo. T1 y T2 fueron similares estadísticamente; no obstante, se registró una producción más alta de MS con una tasa porcentual de 21,6 a favor de T2.

En el presente estudio, la lluvia acumulada (600 mm en seis meses) arrojó un promedio superior a 100 mm mes⁻¹, datos que superan los registros históricos de pluviosidad para esta región (IDEAM, 2018). De acuerdo con Avellaneda-Avellaneda y Mancipe-Muñoz (2020), las variables agronómicas de *C. clandestinus* pueden cambiar en función de las condiciones de los suelos, la precipitación y el manejo de praderas. En varios estudios se determinó que la altitud, la intensidad hídrica y los días de rebrote, afectan la respuesta morfológica de *C. clandestinus*. Se encontró mejor desempeño en el rendimiento de MS en las épocas de lluvia (Portillo-López *et al.*, 2019) con mayor tiempo entre los cortes de la pastura.

Estos resultados son inferiores a los informados por Insuasty-Santacruz *et al.* (2011), quienes evaluaron la incidencia de un SSP compuesto por *A. acuminata* y *C. clandestinus* en la crianza de novillas Holstein en el altiplano nariñense y obtuvieron en *C. clandestinus* en monocultivo 13 910 y 3 900 kg de FV y MS ha⁻¹; y 19 640 y 4 700 kg de FV y MS ha⁻¹ en el SSP. El mejor desempeño de la pradera en asociación podría sugerir efecto positivo de los árboles en los rendimientos productivos de la pastura.

Los resultados en producción de MS de esta investigación fueron mayores que los mencionados por Portillo-López *et al.* (2019) en los municipios de Sapuyes y Pasto. Para la frecuencia de corte cada 35 días, T2 y T4 registraron medias inferiores con respecto a lo reportado en el Alto de Chicamocha, Bogotá y Ubaté Chiquinquirá por Avellaneda-Ave-

llaneda y Mancipe-Muñoz (2020). En ese mismo estudio, a los 45 días, las pasturas tuvieron rendimiento superior en Chicamocha y Chiquinquirá, en comparación con T3. Por último, T1 presentó menores rendimientos a los descritos en las tres localidades.

Con respecto a trabajos similares en SSP, Giraldo y Bolívar (1999) encontraron producción de 2 084 kg de MS ha⁻¹, similar a lo informado para T3 y T4. Silva-Parra *et al.* (2017) evaluaron el rendimiento de pasturas con cortes cada 30 y 45 días en SSP y obtuvieron 3 200 y 4 470 kg de MS ha⁻¹, superiores a los hallados en el presente trabajo.

Calidad de la biomasa. En cuanto al contenido promedio de PB, los mejores resultados se presentaron en las unidades experimentales del SSP (tabla 2), que entre sí no tuvieron diferencias significativas. T4 fue significativamente diferente con las parcelas del monocultivo. Además, alcanzó rendimientos superiores en más del 30 % en relación con estos tratamientos. T3, al igual que T4, al ser evaluado con T1 y T2, fue estadísticamente mejor, y su rendimiento fue superior.

Los contenidos medios de PB en *C. clandestinus* de esta investigación en pradera a libre exposición solar fueron mayores a los hallados por Insuasty-Santacruz *et al.* (2011) en la misma zona (monocultivo 10,20 y SSP 11,4 %). Sin embargo, resultaron inferiores a los informados por Portillo-López *et al.* (2019) en la localidad de Sapuyes, donde *C. clandestinus* presentó 18,7 % de PB, valor más bajo al obtenido en el SSP y superior a lo hallado en T1 y T2.

En la plataforma digital AlimenTro de Agrosvavia se informó un promedio de PB de 17,4 % en *C. clandestinus* para el municipio Pasto (Agrosavia, 2022). Este resultado fue superior al que se obtuvo

Tabla 2. Composición de macrocomponentes de *C. clandestinus* en sistemas pastoriles a libre exposición solar y bajo sombra de *A. acuminata*.

Tratamiento	PB, %	EE, %	FDN, %	FDA, %	DIVMS, %	ENL, Mcal kg MS ⁻¹
T1 LES, 45 días	14,8 ^b	1,8 ^b	60,2 ^a	36,2 ^a	59,9 ^b	1,2 ^b
T2 LES, 35 días	15,3 ^b	2,0 ^{ab}	59,8 ^a	34,0 ^{ab}	61,1 ^b	1,3 ^b
T3 BS, 45 días	22,4 ^a	2,1 ^{ab}	53,2 ^b	32,6 ^{bc}	67,1 ^a	1,4 ^a
T4 BS, 35 días	23,7 ^a	2,2 ^a	53,3 ^b	31,5 ^c	68,5 ^a	1,4 ^a
EE ±	1,456	0,567	0,996	1,012	0,989	1,013
Valor - P	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<0,001

LES: libre exposición solar; BS: bajo sombra; PB: proteína bruta, FDN: fibra en detergente neutro, FDA: fibra en detergente ácido (FDA), DIVMS: digestibilidad de la materia seca y ENL: energía neta de lactancia.

a, b y c medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$)

en el presente estudio para T1 y T2, e inferior a T3 y T4. En Costa Rica, Villalobos-Villalobos y WingChing-Jones (2020) también informaron valores superiores a los registrados en T1 y T2, a los 28 días de corte (18,5 %), pero inferiores a lo hallado en T3 y T4.

Avellaneda-Avellaneda y Mancipe-Muñoz (2020) en la cuenca lechera de Bogotá en temporadas de lluvia y con frecuencia de aprovechamiento a los 35 días, informaron para *C. clandestinus* contenido de PB de 21,5 %. Al comparar este valor con los tratamientos en el mismo período, resultó superior a T2 e inferior a T4. Los autores citados, a los 42 días, encontraron 19,2 % de PB, que fue mayor que T1 y menor que T3. Vargas *et al.* (2014) en el trópico alto colombiano registraron 25,4 %, lo que resultó mejor que lo descrito en esta investigación.

Silva-Parra *et al.* (2017) en sistemas asociados, en un arreglo con *A. acuminata*, y aprovechamiento de la herbácea a 30 y 45 días, informaron contenido de PB de 15,1 y 10,6 % en cada época. En tanto, Tafur-Sánchez (2021), en dos SSP con la misma especie, a diferentes distancias de siembra, obtuvo un valor de 17,8 y 17,0 %, resultados inferiores a los de esta investigación.

Con respecto a EE, entre T4 y T1 se establecieron diferencias estadísticas, con mejor desempeño en T4. Estadísticamente, fueron similares T2, T3 y T4, del mismo modo que T1, T2 y T3. Para esta variable, los resultados en T1 (1,8) y T2 (2,1 %) fueron mayores que los descritos en altiplano del departamento de Nariño, en Colombia por Insuasty-Santacruz *et al.* (2011) en monocultivo (1,52 %). Estos autores informaron 1,8 % de EE en el pasto *C. clandestinus* asociado con árboles, valor inferior al obtenido en esta investigación para T3 y T4.

Los registros más bajos de fibra se presentaron en los tratamientos 3 y 4, donde el pasto creció bajo la sombra del dosel de los árboles. Esto corrobora la importancia de los SSP, si se considera que menores valores de FDN propician mayor ingestión de MS, mientras que la disminución de la FDA implica mejor y más digestibilidad, lo que amplía la capacidad de digerir el forraje (Foss, 2018).

En la región del estudio, Insuasty-Santacruz *et al.* (2011) refirieron 70,7 y 40,0 % de FDN y FDA para *C. clandestinus* en monocultivo. Estos contenidos son superiores a los encontrados en los tratamientos T1 y T2 y, según la literatura, no se consideran óptimos. Asimismo, estos autores mencionaron, en SSP, FDN de 69,5 % y valores de FDA de 61,4 %, cifras superiores a las de esta evaluación

en T3 y T4, que no rebasaron 54,0 % para FDN y 33,0 % para FDA. Estos contenidos de fibra son mayores al promedio regional, pero se encuentran en los límites informados en la plataforma AlimenTro, que informa un rango de 45,8-60,6 % para FDN y de 25,4-35,5 % para la FDA (Agrosavia, 2022).

Los resultados de la FDN de los tratamientos silvopastoriles (T3 y T4) de esta investigación fueron mejores a los informados por Tafur-Sánchez (2021) en dos SSP de árboles dispersos de *A. acuminata*-*C. clandestinus* (56,68 y 54,46 %), aunque el contenido de FDA encontrado por este autor fue mejor (27,0 y 28,7 %). Presentaron similitud con respecto a lo obtenido por Navas-Panadero *et al.* (2020) en una asociación de *Acacia melanoxylon*-*C. clandestinus*, con dos tiempos de corte (30 y 45 días), en los que se registraron valores de 58,0 y 57,0 % para FDN y de 33,0 y 32,0 % para FDA.

En los tratamientos silvopastoriles se hallaron los valores más altos en los indicadores de digestibilidad y ENL, relacionados con la composición química de la pastura de esos sistemas asociados. La edad de corte (inferior o igual a 45 días) también es un factor que pudo influir, pues al aumentar el período de rebrote, menor es la digestibilidad y el valor nutricional de los pastos. Es por esta razón que el pastoreo a intervalos cortos constituye una alternativa de los productores para compensar mayores demandas nutricionales y energéticas del ganado lechero (Correa *et al.*, 2008).

En cuanto a digestibilidad, el intervalo de valores publicado por AlimenTro (Agrosavia, 2022) varía entre 59,6 y 70,1 % para el municipio de Pasto, por lo que los resultados de esta investigación se encuentran en el rango informado en el municipio. No obstante, al comparar dichos valores con los de otros autores, fueron mayores (52,5 % con 30 días de rebrote) a los que informaron Correa *et al.* (2008). También resultaron superiores a los de Navas-Panadero *et al.* (2020) en dos asociaciones de *A. acuminata*-*C. clandestinus* con corte a 30 y 45 días (63 y 64 %, respectivamente). Sin embargo, fueron inferiores a los obtenidos por Villalobos-Villalobos y WingChing-Jones (2020) en Costa Rica (73,3 %).

Portillo-López *et al.* (2019) en la localidad de Pasto refirieron una ENL de 1,45 Mcal kg MS⁻¹. En Sapuyes registraron 1,33, valores superiores a los del monocultivo, mientras que los del SSP estuvieron por encima de los resultados de Sapuyes y por debajo de Pasto. Los datos de ENL, a 35 y 42 días, registrados por Avellaneda-Avellaneda y Mancipe-Muñoz (2020) en la cuenca lechera de Bogotá,

promediaron 1,40 para los dos cortes, por lo que se encuentran por encima del promedio de T1 y T2 y por debajo de la media de T3 y T4.

Conclusiones

En los tratamientos con árboles se obtuvieron los mejores resultados de producción y calidad del forraje de *C. clandestinus*, lo que indica la incidencia positiva de la especie arbórea en los indicadores evaluados. La inclusión de los árboles en la explotación ganadera, además de mejorar la productividad, permite desarrollar un sistema pecuario más sostenible.

Agradecimientos

Se agradece a AGROSAVIA, adscrita al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, a su centro de Investigación Obonuco, a la Gobernación de Nariño que por medio del Sistema General de Regalías ha financiado el proyecto “Mejoramiento de la oferta forrajera, optimización de sistemas de alimentación y aseguramiento de calidad e inocuidad de leche en el trópico alto del departamento de Nariño”, identificado con el código BPIN 2013000100279.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses entre ellos.

Contribución de los autores

- Bayron Giovanni Obando-Enríquez. Elaboró la metodología, realizó la investigación, el procesamiento de los datos y la redacción del borrador original.
- Filadelfo Hernandez-Oviedo. Realizó la investigación, el procesamiento de los datos y la redacción del borrador original.
- Paola Andrea Portillo-López. Realizó la investigación, el procesamiento de los datos y la redacción del borrador original.
- Edwin Castro-Rincón. Realizó la conceptualización, elaboró la metodología y realizó la supervisión de la investigación.

Referencias bibliográficas

Agrosavia. *AlimenTro-Agrosavia*. Colombia: Agrosavia. <https://alimenTro.agrosavia.co/Home/Index?ReturnUrl=%2F>, 2022.

Arcos-Álvarez, C. N.; Lascano-Armas, Paola J. & Guevara-Viera, R. V. Manejo de asociaciones gramíneas-leguminosas en pastoreo con rumiantes para mejorar su persistencia, la productividad animal y el impacto ambiental en los trópicos y regiones templadas. *RECA*. 2 (2):1-31. <http://>

revistaecuadorianadecienciaanimal.com/index.php/RECA/article/view/72/71, 2018.

- Ariza-Nieto, C.; Mayorga, O. L.; Mojica, B.; Parra, D. & Afanador-Tellez, G. Use of LOCAL algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia. *J. Near Infrared Spectrosc.* 26 (1):44-52, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1177/0967033517746900>.
- Avellaneda-Avellaneda, Y.; Mancipe-Muñoz, E. A. & Vargas-Martínez, J. de J. Effect of regrowth period on morphological development and chemical composition of kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*) in Colombian's highlands. *Rev. CES Med. Zootec.* 15 (2):23-37, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21615/cesmvz.15.2.2>.
- Buitrago-Guillen, María E.; Ospina-Daza, L. A. & Narváez-Solarte, W. Sistemas silvopastoriles: alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas.* 22 (1):31-42, 2018. DOI: <https://doi.org/10.17151/bccm.2018.22.1.2>.
- Cardona-Iglesias, J. L.; Urbano-Estrada, María F. & Castro-Rincón, E. Evaluación de sólidos solubles en recursos forrajeros del trópico alto en el departamento de Nariño. *Ces. Med. Vet. Zootec.* 15 (2):8-22, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21615/cesmvz.15.2.1>.
- Correa, H. J.; Pabón, M. L. & Carulla, J. E. Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia. *LRRD*. 20 (59). <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd20/4/corra20059.htm>, 2008.
- Foss. El análisis de la fibra en el pienso animal: Fibra cruda, fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA)-los estándares y las opciones de automatización. Denmark. <https://www.fossanalytics.com/-/media/files/documents/papers/laboratories-segment/ebook-fibre-analysis-of-animal-feed-es.pdf>, 2018.
- Giraldo, L. A. & Bolívar, Diana M. Evaluación de un sistema silvopastoril de *Acacia decurrens* asociada con pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum*, en clima frío de Colombia. En: M. D. Sánchez y M. Rosales-Méndez, eds. *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. Estudios FAO. Producción y sanidad animal. Roma: FAO. http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6692/1/20061127115335_Sistema%20silvopastoril%20acacia%20decurrens%20y%20kikuyo.pdf, 1999.
- Holdridge, L. R. *Ecología basadas en zonas de vida*. San José, Costa Rica: IICA. <http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/7936/BVE19040225e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, 1978.
- IDEAM. *Promedios mensuales de brillo solar para todas las estaciones del país (horas de sol al día)*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>, 2018.

- IDEAM. *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>, 2022.
- IGAC. *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño*. https://www.academia.edu/38164592/Estudio_General_de_suelos_y_zonificaci%C3%B3n_de_tierras_del_departamento_de_Nari%C3%B1o, 2004.
- Insuasty-Santacruz, E. G.; Apráez-Guerrero, J. E. & Navia-Estrada, J. F. 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*. 1:1-8. <https://revistas.ut.edu.co/index.php/agroforesteria/article/view/13/13>, 2011.
- Mendiburu, F. de. *Package 'agricolae'. Statistical Procedures for Agricultural Research*. Version 1.3-5. <https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/agricolae.pdf>, 2021.
- Muñoz, D.; Calvache, D. & Yela, J. Especies forestales con potencial agroforestal para las zonas altas en el departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 30 (1):38-53. <http://sired.udenar.edu.co/495/>, 2013.
- Muñoz-Guerrero, D. A.; Navia-Estrada, J. F. & Solarte-Guerrero, J. G. *El conocimiento local en los sistemas silvopastoriles tradicionales. Experiencias de investigación en la región andina*. Pasto, Colombia: Universidad de Nariño. DOI: <http://dx.doi.org/10.22267/lib.udn.003>, 2018.
- Murgueitio-Restrepo, E.; Barahona-Rosales, R.; Flores-Estrada, Martha X.; Chará-Orozco, J. D. & Rivera-Herrera, J. E. Es posible enfrentar el cambio climático y producir más leche y carne con sistemas silvopastoriles intensivos. *Ceiba*. 54 (1):23-30, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5377/ceiba.v54i1.2774>.
- Navas-Panadero, A.; Aragón-Henao, L. F. & Triana-Valenzuela, J. F. Efecto del componente arbóreo sobre la dinámica de crecimiento y calidad nutricional de una pradera mixta en trópico alto. *Rev. Med. Vet.* 1 (41):71-82, 2020. DOI: <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss41.7>.
- Pizzio, R. M.; Bendersky, D.; Barbera, P. & Maidana, C. E. *Caracterización y manejo de los pastizales correntinos*. Argentina: Ediciones INTA. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/8899>, 2021.
- Portillo-López, Paola A.; Meneses-Buitrago, D. H.; Morales-Montero, Sonia P.; Cadena-Guerrero, Máryory M. & Castro-Rincón, E. Evaluación y selección de especies forrajeras de gramíneas y leguminosas en Nariño, Colombia. *Pastos y Forrajes*. 42 (2):93-103. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942019000200093&lng=es&tlng=es, 2019.
- R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: The R Foundation. <https://www.r-project.org/>, 2020.
- Silva-Parra, Amanda; Garay-Rodríguez, Seydyss & Gómez-Insuasti, A. S. 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, 2017. DOI: <http://doi.org/10.14483/2256201X.11629>.
- Soriano-Robles, R.; Arias-Margarito, L.; Carbajalde-Nova, M.; Almaraz-Buendía, I. & Torres-Cardona, M. G. Cambio climático y ganadería: el papel de la agroforestería. *Agroproductividad*. 11 (2):70-74. <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/122>, 2018.
- Tafur-Sánchez, B. Efecto del sistema silvopastoril con *Alnus acuminata* en el valor agronómico y nutricional de *Pennisetum clandestinum*. *Revista de Investigación Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*. 3 (3):9-14, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v3i3.630>.
- Toledo, M. & Schultze-Kraft, R. Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. En: M. Toledo, ed. *Manual para la evaluación agronómica*. Serie CIAT 07sG-1. Cali, Colombia: Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. p. 91-110, 1982. DOI: <https://doi.org/10.7910/DVN/DYR7KS>.
- Vargas, J.; Pabón, M. & Carulla, J. Producción de metano *in vitro* en mezcla de gramíneas-leguminosas del trópico alto colombiano. *Arch. Zootec.* 63 (243):397-407. <https://scielo.isciii.es/pdf/azoo/v63n243/articulo1.pdf>, 2014.
- Vargas-Martínez, J. de J.; Sierra-Alarcón, Andrea M.; Mancipe-Muñoz, E. A. & Avellaneda-Avellaneda, Y. El kikuyo, una gramínea presente en los sistemas de rumiantes en trópico alto colombiano. *Ces. Med. Vet. Zootec.* 13 (2):137-156, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21615/cesmvz.13.2.4>.
- Villalobos-Villalobos, L. & WingChing-Jones, R. Los pastos estrella africana, kikuyo y "rye grass" en Cartago, Costa Rica: biomasa, composición botánica y nutrientes. *UNED Research Journal*. 12 (1):e2811, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v12i1.2811>.