

Efecto del componente arbóreo sobre la dinámica de crecimiento y calidad nutricional de una pradera mixta en trópico alto*

Alexander Navas Panadero¹ / Laura Fernanda Aragón Henao² / Jorge Fernando Triana Valenzuela³

Resumen

Los sistemas ganaderos se basan en el monocultivo de gramíneas. El pastoreo comúnmente no tiene en cuenta la fisiología de las especies, lo que afecta la persistencia y calidad del forraje. Los sistemas silvopastoriles favorecen la producción y calidad del forraje. Por eso es importante conocer la dinámica de crecimiento de la pastura para determinar el momento óptimo de pastoreo. Con base en esto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de *Acacia melanoxilum* sobre la producción y calidad nutricional de una pradera mixta en trópico alto. La investigación se desarrolló en el Centro de Investigación y Capacitación “Santa María del Puyón”, ubicado en Sopo, Colombia. Se evaluó una pradera de *Cenchrus clandestinum* y *Lolium perenne*, en pasturas en callejones se establecieron parcelas bajo y fuera de los árboles, y se evaluó el crecimiento (15, 30, 45 y 60 días) durante nueve meses. Luego se determinaron las propiedades fisicoquímicas del suelo, la altura sin disturbar del pasto, el número de hojas, el índice de área foliar y la producción y calidad de forraje. Después se utilizó un diseño al azar, y se realizó estadística descriptiva y análisis de varianza, mediante el programa Infostat® para el análisis de datos. Bajo los árboles se observó mayor pH, materia orgánica, minerales y capacidad de intercambio catiónico, mayor altura sin disturbar ($p = 0,0001$), diferencias en producción de forraje verde ($p = 0,0128$), composición botánica y mayor proteína cruda ($p = 0,0061$). Los árboles de *A. melanoxilum* favorecen el crecimiento y la calidad nutricional de praderas mixtas en trópico alto.

Palabras clave: alimentación, ganadería, pasturas, sistemas silvopastoriles.

* Artículo de investigación.

1 Médico veterinario zootecnista. MSc. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de La Salle.

✉ anavas@unisalle.edu.co

🌐 <https://orcid.org/0000-0001-8975-2601>

2 Estudiante de Zootecnia, Universidad de La Salle.

✉ laragon05@unisalle.edu.co

🌐 <https://orcid.org/0000-0003-3272-8445>

3 Médico veterinario. MSc. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de La Salle.

✉ jtriana@unisalle.edu.co

🌐 <https://orcid.org/0000-0001-5403-1636>

Cómo citar este artículo: Navas Panadero A, Aragón Henao LF, Triana Valenzuela JF. Efecto del componente arbóreo sobre la dinámica de crecimiento y calidad nutricional de una pradera mixta en trópico alto. Rev Med Vet. 2020;(41): 71-82. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss41.7>

Effect of tree component on the growth dynamics and nutritional quality of a mixed grassland in the high tropic

Abstract

Livestock systems are based on the monoculture of grasses, grazing does not usually take into account the physiology of the species, this affects the persistence and quality of the forage. Silvopastoral systems favor forage production and quality, it is important to know the growth dynamics of the pasture to determine the optimal grazing moment. The objective of this work was to evaluate the effect of *Acacia melanoxilum* on the production and nutritional quality of a mixed meadow in the high tropics. The research was carried out at the “Santa María del Puyón” Research and Training Center, located in Sopo, Colombia. A meadow of *Cenchrus clandestinum* and *Lolium perenne* was evaluated, in alley pastures, plots were established under and outside the trees, the growth was

evaluated (15, 30, 45 and 60 days) for nine months. The physicochemical properties of the soil, undisturbed height, number of leaves, leaf area index, production and quality of forage were determined. A random design was used, descriptive statistics and analysis of variance were performed. The Infostat® program was used for data analysis. Under the trees there is a higher pH, organic matter, minerals and cation exchange capacity, higher undisturbed height ($p = 0.0001$), differences in green forage production ($p = 0.0128$), botanical composition, and higher protein crude ($p = 0.0061$). *A. Melanoxilum* trees favor the growth and nutritional quality of mixed grasslands in the high tropics.

Keywords: feeding, livestock, pastures, silvopastoral systems.

INTRODUCCIÓN

La alimentación en los sistemas de producción ganadera en América Latina se basa en la producción de forraje. Este comúnmente es administrado mediante el sistema de pastoreo continuo, pero su manejo conlleva problemas sobre el suelo, la pastura y el desempeño animal. Especies como el kikuyo (*Cenchrus clandestinum*) incrementan la productividad con prácticas de pastoreo que permiten su recuperación (1).

Las especies forrajeras en su desarrollo fisiológico presentan momentos en los que se concentran los nutrientes y tienen mayor calidad nutricional para los animales. Por lo tanto, es importante conocer la dinámica de crecimiento para determinar el momento óptimo de cosecha o de oferta a los animales. El crecimiento de las pasturas está determinado por múltiples factores. Conocer la dinámica de crecimiento es una herramienta que permite diseñar sistemas de pastoreo rotacional que garanticen la capacidad de rebrote, la recuperación y la productividad en el tiempo de los recursos forrajeros (2,3). Los sistemas de producción ganadera ubicados en trópico alto han establecido praderas permanentes principalmente de *C. clandestinum* y raigrás (*Lolium perenne*), gramíneas que constituyen la base forrajera de estos sistemas (4).

Actualmente, la utilización de monocultivos de pastos en sistemas ganaderos es cuestionada. Se ha impulsado el establecimiento de sistemas silvopastoriles, los cuales a través del componente leñoso permiten la conservación del suelo mediante el reciclaje de nutrientes y la fijación

de nitrógeno en algunos casos. Estos procesos, además, favorecen el incremento de biomasa de las praderas (4-6) y, en otros casos, la producción de forraje y sombra, que contribuyen a mejorar el bienestar animal (7).

Los sistemas silvopastoriles presentan relaciones de facilitación y de interferencia entre sus componentes (interacción); por ejemplo, todas las gramíneas no se adaptan a la sombra, la cual puede reducir la producción de forraje (8,9). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la acacia japonesa (*Acacia melanoxilum*) sobre la dinámica de crecimiento y calidad nutricional de una pradera mixta en trópico alto.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el Centro de Investigación y Capacitación “Santa María del Puyón”, ubicado en Sopo, Cundinamarca (Colombia). El Centro se encuentra a una altura de 2650 m s. n. m., con precipitación promedio anual de 848 mm, temperatura media anual de 13,7 °C y humedad relativa de 87 %.

El estudio tuvo una duración de nueve meses. Se evaluó una pradera mixta de *C. clandestinum* y *L. perenne*, en un sistema silvopastoril de pasturas en callejones con *A. melanoxilum*, el cual fue establecido hace 14 años. Los árboles presentaron una altura promedio de 7,7 m, 22,2 cm de DAP, 26,8 m de área de copa y 45 % de radiación fotosintéticamente transmitida RAFA_{t(96)}. El suelo fue de topografía plana, del orden Andisol. El lote

utilizado para el establecimiento de las parcelas no tuvo ningún tipo de fertilización; fue manejado antes de la evaluación en pastoreo rotacional.

En un área de 114 m² se estableció un ensayo con ocho parcelas, cada una de ellas de 4 m², separadas por un callejón de 1 m de ancho. Para evaluar la dinámica de crecimiento se establecieron cuatro parcelas bajo la copa de los árboles y cuatro a plena exposición solar (a 10 m del borde de la copa de los árboles). Después del establecimiento en campo, se hizo un corte de uniformización de las plantas a 5 cm del suelo, y transcurrido el tiempo de recuperación de cada parcela (15, 30, 45 o 60 días respectivamente) se iniciaron los muestreos.

Se tomaron muestras del suelo de cada parcela (bajo la copa de los árboles y fuera de la copa para determinar el efecto de la especie arbórea), con barreno a una profundidad de 40 cm. Se mezcló el suelo bajo la copa, y se tomó una muestra de 1000 g. Lo mismo se hizo con el suelo de las parcelas fuera de la copa. Las muestras se llevaron al laboratorio para el análisis fisicoquímico de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P), manganeso (Mn) (espectrofotometría), cloruros (volumetría), materia orgánica (MO) (cálculo), carbono orgánico (CO), amonio (NH₄) y nitrato (NO₃) (colorimetría).

Durante el periodo experimental cada parcela fue evaluada en tres ocasiones. Una vez se cumplía el tiempo de recuperación previsto, cuando se terminó la evaluación de las parcelas de 60 días, se realizó un corte de homogenización de todas las parcelas a 5 cm del suelo, y se inició la siguiente evaluación. La altura del pasto sin disturbar se determinó en cada parcela, mediante la selección al azar de 10 plantas por especie (*C. clandestinum* y *L. perenne*). A cada planta, con una regla ubicada de manera perpendicular al suelo, se le midió el largo de la hoja más larga. A las mismas plantas se les realizó el conteo de las hojas para determinar su número. El índice de área foliar (IAF) se determinó en cada parcela mediante una muestra que fue procesada en el equipo LI-3100 Area Meter.

La producción de forraje verde (FV) se determinó utilizando marcos de 25 × 25 cm. El forraje se cortó a 5 cm del suelo y se pesó. La calidad nutricional se determinó a través de muestras de 500 g de FV. Estas fueron llevadas al laboratorio de nutrición, en donde se determinó proteína cruda (PC; Kjeldahl), materia seca (MS; Gravimétrica), fibra en detergente neutro y ácido (FDN y FDA; Van Soest), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS; Tilley and Terry) y cenizas (Mufla Vulcan). Los datos de las variables climáticas fueron tomados mediante una estación climática (WeatherLink®).

Se utilizó un diseño completamente al azar y se realizó estadística descriptiva para las variables de suelo, análisis de varianza para número de hojas, altura sin disturbar, calidad nutricional y análisis de varianza no paramétrica (prueba de Kruskal Wallis) para producción de forraje, mediante el programa Infostat®.

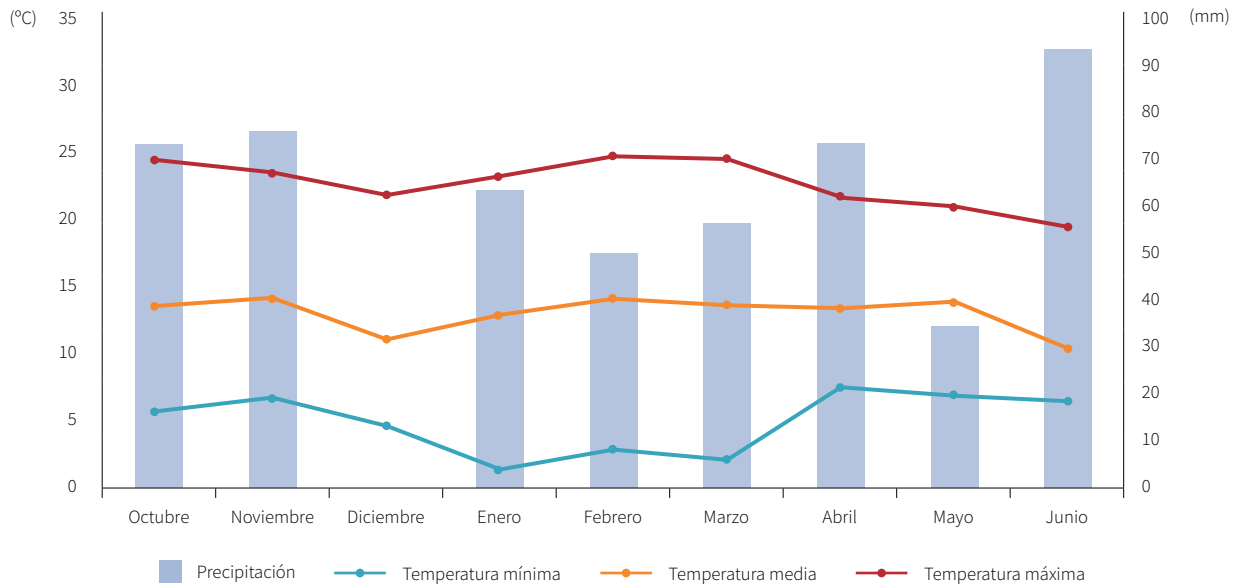
RESULTADOS

Comportamiento climático

Se presentaron cambios en algunas variables climáticas que determinan la producción de forraje, lo que afectó posiblemente el comportamiento de la dinámica de crecimiento de las pasturas. Diciembre no presentó precipitación; mayo tuvo baja precipitación; mientras que enero, febrero y marzo correspondieron a un periodo de baja precipitación, con las bajas temperaturas (figura 1), condición que favoreció la presentación de heladas.

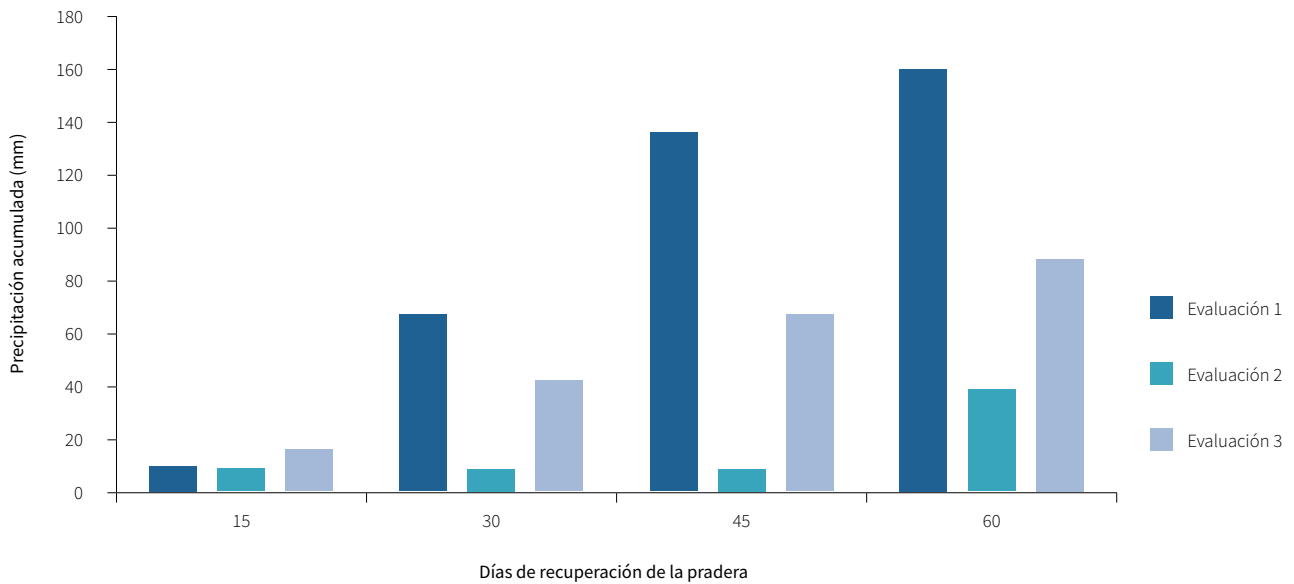
Se presentaron diferencias en la precipitación acumulada entre evaluaciones, especialmente en la segunda evaluación, en la cual la precipitación acumulada fue baja, a los 30, 45 y 60 días de recuperación (figura 2), lo que afectó la producción de forraje verde y materia seca, especialmente a los 45 y 60 días.

Figura 1. Comportamiento de la precipitación y las temperaturas (máxima, media y mínima) durante la evaluación de la dinámica de crecimiento de una pradera mixta en trópico alto



Fuente: elaboración propia

Figura 2. Comportamiento de la precipitación acumulada (mm) durante cada evaluación en diferentes edades de recuperación de una pradera mixta en trópico alto



Fuente: elaboración propia

Efecto sobre el suelo

Se encontraron cambios en las condiciones del suelo bajo y fuera de la copa de los árboles. Se observó bajo los

árboles mayor pH, MO, minerales y capacidad de intercambio catiónico (CIC) (tabla 1), factores que pudieron influir en la dinámica de crecimiento y la calidad nutricional de las pasturas bajo la copa de los árboles.

Tabla 1. Variables fisicoquímicas del suelo bajo y fuera de la copa de árboles de *Acacia melanoxilum* dentro de una pradera mixta (*Lolium perenne* y *Cenchrus clandestinum*) en trópico alto

Tratamiento	pH	MO	N-NH ₄	N-NO ₃	P	Ca	Mg	K	CIC
		%	ppm			(meq/100 g)			
Bajo la copa	5,6	12,4	3,0	30	51	8,8	3,2	1,7	20
Fuera de la copa	5,4	4,5	5,0	40	15	5,8	1,7	0,3	7

MO = materia orgánica; N-NH₄ = nitrógeno amonio; N-NO₃ = nitrógeno nitrato; P = fósforo; Ca = calcio; Mg = magnesio; K = potasio; CIC = capacidad de intercambio catiónico.

Fuente: elaboración propia

Altura sin disturbar, número de hojas e índice de área foliar

Se presentaron diferencias entre tratamientos en la altura del pasto sin disturbar, para la edad de recuperación de 45 días ($p = 0,0001$) y 60 días ($p = 0,0004$), siendo mayor la altura sin disturbar en las pasturas bajo los árboles. Además, hubo diferencias en el número de hojas

presentes a los 15 días de recuperación ($p = 0,0026$), mientras que a mayores edades no se presentaron diferencias entre tratamientos (tabla 2).

No se presentaron diferencias estadísticas en el IAF entre tratamientos a la misma edad de recuperación, pero el índice fue mayor en las plantas que crecieron bajo la copa de los árboles, en todas las edades (tabla 3).

Tabla 2. Altura sin disturbar y número de hojas de plantas bajo y fuera de la copa de árboles de *Acacia melanoxilum* en una pradera mixta (*Lolium perenne* y *Cenchrus clandestinum*) en trópico alto

Recuperación de la pradera (días)	Altura sin disturbar (cm)		p valor	Número de hojas		p valor
	Bajo la copa	Fuera de la copa		Bajo la copa	Fuera de la copa	
15	9,6 ± 0,5	10,0 ± 0,5	0,6058	2,5 ± 0,1	3,1 ± 0,1	0,0026
30	11,5 ± 0,8	11,5 ± 0,8	0,9721	3,6 ± 0,2	3,8 ± 0,2	0,5872
45	17,2 ± 1,0	11,1 ± 0,9	0,0001	3,6 ± 0,2	3,6 ± 0,2	0,9333
60	22,1 ± 1,1	16,8 ± 0,9	0,0004	3,4 ± 0,1	3,7 ± 0,1	0,1034

± = error estándar; 45 % de RAFA_{t(%)}

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Índice de área foliar de plantas bajo y fuera de la copa de árboles de *Acacia melanoxilum* en una pradera mixta (*Lolium perenne* y *Cenchrus clandestinum*) en trópico alto

Tratamiento	Índice de área foliar			
	Recuperación de la pradera (días)			
	15	30	45	60
Bajo la copa	0,5 ± 0,3	1,2 ± 0,0	3,1 ± 0,8	3,7 ± 0,7
Fuera de la copa	0,9 ± 0,1	1,3 ± 0,5	1,8 ± 0,7	2,5 ± 1,3
p valor	0,3646	0,8545	0,3131	0,4686

± = error estándar; 45 % de RAFA_{t(%)}

Fuente: elaboración propia

Producción de forraje verde y materia seca

Se presentaron diferencias entre tratamientos en producción de FV ($p = 0,0128$) y de MS ($p = 0,0378$) a los 60 días de recuperación (tabla 4). Además, se observó una reducción en el promedio de producción de FV y MS, a los 45 (fuera de la copa) y 60 días (bajo la copa) de recuperación de la pradera.

Se presentaron diferencias en la composición botánica bajo la copa de los árboles y fuera de la copa, para presencia de gramíneas ($p = 0,0371$) y leguminosas ($p =$

$0,0346$). Bajo la copa se presentaron solo gramíneas, mientras que en áreas abiertas la composición botánica presentó asocio de gramíneas y leguminosas (figura 3).

Calidad nutricional

Se presentaron diferencias entre tratamientos en el porcentaje de proteína cruda (PC) a los 45 días ($p = 0,0061$) y a los 60 días ($p = 0,0075$), así como en el porcentaje de cenizas a los 60 días ($p = 0,0332$), siendo mayor en las pasturas bajo los árboles. Las fibras y la digestibilidad fueron aceptables en ambos tratamientos (tabla 5).

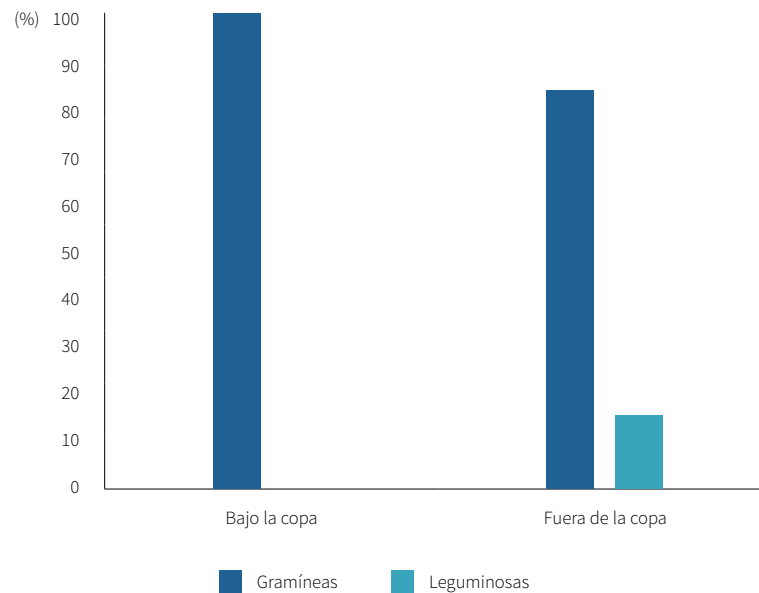
Tabla 4. Producción de biomasa de pastos bajo y fuera de la copa de árboles de *Acacia melanoxilum* en una pradera mixta (*Lolium perenne* y *Cenchrus clandestinum*) en trópico alto

Recuperación de la pradera (días)	Bajo la copa	Fuera de la copa	p valor	Bajo la copa	Fuera de la copa	p valor
	g/FV/m ² /corte			g/MS/m ² /corte		
15	1165	955	0,7208	246	211	0,7836
30	1080	1610	0,4506	242	358	0,4498
45	1383	1301	0,9120	318	276	0,7980
60	1179	2208	0,0128	198	474	0,0378

FV = forraje verde; MS = materia seca; 45 % de RAFA_{t(%)}

Fuente: elaboración propia

Figura 3. Composición botánica de especies forrajeras bajo y fuera de la copa de árboles de *Acacia melanoxilum* en una pradera mixta (*Lolium perenne* y *Cenchrus clandestinum*) en trópico alto



Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Calidad nutricional de forraje bajo y fuera de la copa de árboles de *Acacia melanoxilum* a diferente edad de recuperación en una pradera mixta (*Lolium perenne* y *Cenchrus clandestinum*) en trópico alto

Tratamiento	Edad (días)	PC (%)	DIVMS (%)	Cenizas (%)	FDN (%)	FDA (%)
Bajo copa	15	17 ± 5,2 ^a	64 ± 3,7 ^a	12 ± 0,5 ^a	61 ± 5,3 ^a	32 ± 4,8 ^a
Fuera de copa	15	16 ± 2,5 ^a	63 ± 2,6 ^a	11 ± 0,7 ^a	59 ± 7,0 ^a	33 ± 3,4 ^a
Bajo copa	30	17 ± 4,1 ^a	63 ± 1,9 ^a	12 ± 0,9 ^a	59 ± 2,9 ^a	33 ± 2,4 ^a
Fuera de copa	30	17 ± 1,8 ^a	66 ± 2,0 ^a	11 ± 0,7 ^a	58 ± 3,4 ^a	30 ± 2,6 ^a
Bajo copa	45	23 ± 0,5 ^b	64 ± 2,5 ^a	14 ± 0,6 ^a	59 ± 0,8 ^a	32 ± 3,1 ^a
Fuera de copa	45	15 ± 1,4 ^a	66 ± 0,8 ^a	11 ± 0,8 ^a	57 ± 3,3 ^a	29 ± 1,1 ^a
Bajo copa	60	19 ± 0,6 ^b	62 ± 2,0 ^a	14 ± 0,9 ^b	60 ± 2,4 ^a	35 ± 2,6 ^a
Fuera de copa	60	16 ± 0,5 ^a	57 ± 4,1 ^a	11 ± 0,5 ^a	63 ± 1,3 ^a	41 ± 5,3 ^a

Valores por tratamiento para la misma edad con letra diferente son significativamente diferentes ($p < 0,05$); PC = proteína cruda; DIVMS = digestibilidad *in vitro* de la materia seca; FDN = fibra en detergente neutro; FDA = fibra en detergente ácido; ± = desviación estándar. Fuente: elaboración propia

DISCUSIÓN

Se observaron cambios en las condiciones edáficas bajo las copas de los árboles y en áreas a plena exposición del sol. El suelo bajo los árboles presentó mejores características fisicoquímicas. Esto concuerda con lo encontrado por Escobar et al. (10), quienes reportan mejor calidad del suelo bajo la copa de los árboles que en áreas abiertas. Los árboles incrementan el reciclaje de nutrientes a través de su sistema radicular, el cual explora mayor profundidad en el suelo que las gramíneas; recuperan nutrientes que se han profundizado por procesos de lixiviación (11), ubicándolos sobre el suelo a través de la hojarasca (12,13). Esta se descompone por la microbiología edáfica, liberando los nutrientes y dejándolos a disposición de las pasturas (10,14). Algunas especies arbóreas también pueden fijar nitrógeno atmosférico, especialmente las leguminosas (15).

En este estudio se presentó mayor altura sin disturbar en las plantas bajo la copa de los árboles, lo que corresponde con lo encontrado por Márquez (16) y Barragán y Cajas (17). Esto se puede atribuir posiblemente a cambios en la fisiología de las plantas por competencia por radiación solar, ya que bajo la copa de los árboles se presenta menor radiación fotosintéticamente activa (RAFA), lo que puede estimular mayor crecimiento de las plantas en estas condiciones.

El crecimiento de los forrajes está determinado en gran medida por condiciones edáficas y climáticas. Benvenuti et al. (18) encontraron mayor altura sin disturbar en los primeros días de crecimiento de las plantas, al igual que los hallazgos de Molina (19), en periodos de recuperación mayores a los reportados en este estudio. Esto se debe tal vez al uso de fertilizantes y riego, aunque Acero (20) reporta menor altura sin disturbar a pesar de utilizar fertilizantes. Dicho fenómeno se puede explicar posiblemente porque este autor evaluó praderas a mayor altura sobre el nivel del mar, donde quizá se presentó menor radiación solar, lo que afectó el crecimiento de las plantas.

En condiciones agroecológicas similares, Ardila (2) reporta a plena exposición solar menor altura sin disturbar.

Por el contrario, Dimaté (21) encontró mayor altura. Esto se puede atribuir posiblemente a diferencias en las condiciones climáticas presentes al momento de realizar los estudios.

A diferencia de lo encontrado en este estudio, Márquez (16) reporta mayor número de hojas en las plantas bajo la copa de los árboles. En áreas abiertas a plena exposición solar, Molina (19) encontró mayor número de hojas, lo que se puede explicar posiblemente por la fertilización realizada durante el experimento; esto, a su vez, permite mayor cantidad de nutrientes a las plantas para el crecimiento. Ardila (2) y Dimaté (21) también reportan mayor número de hojas al encontrado a los 45 días, mientras que Villalobos y WingChing-Jones (22) mencionan resultados similares, al igual que Benvenuti et al. (18), en los primeros 15 días de recuperación de las plantas, a pesar de haber utilizado fertilización.

Como se mencionó, aunque no se presentaron diferencias estadísticas en el IAF, si se observó que las plantas que crecieron bajo la copa de los árboles presentaron mayor índice. Esto concuerda con lo reportado por Márquez (16) y Gómez, Navarro y Pérez (23), quienes encontraron mayor IAF en pasturas bajo la copa de los árboles, lo que se puede explicar posiblemente por cambios morfológicos de las plantas para capturar la menor disponibilidad de RAFA que se presenta bajo los árboles.

Bajo condiciones de plena exposición solar, Acero (20) encontró menor IAF respecto a este estudio, lo que se puede atribuir a cambios en las condiciones climáticas durante los estudios. Por el contrario, Molina (19) reporta mayor IAF a los 45 días. Es posible que esto se deba a la fertilización realizada en ese estudio.

La reducción en la producción de FV y MS a los 45 y 60 días de recuperación se puede atribuir a la menor precipitación acumulada que se presentó y que fue más marcada en la segunda evaluación. En las condiciones de precipitación del estudio no hubo diferencias en la producción bajo los árboles, y en áreas a plena exposición solar, solo a los 60 días, cuando la producción de forraje

bajo los árboles fue notoriamente inferior. Esto se puede atribuir a un evento climático de helada que quemó totalmente la biomasa que creció bajo los árboles.

La producción de forraje bajo la copa de los árboles está directamente relacionada con la densidad de la copa, la cual afecta la RAFA que le llega a las pasturas. Por lo tanto, el efecto de sombra sobre las pasturas depende de la especie arbórea que está asociada en las praderas; también de la especie de herbácea, ya que hay pasturas que presentan alta, media o baja tolerancia a la sombra, además de las relaciones de reciclaje de nutrientes y/o fijación de nitrógeno atmosférico que hace la especie arbórea (15). Niveles mayores a 29% de sombra pueden afectar el crecimiento de la pastura en un sistema silvo-pastoril (9). Sin embargo, ciertos niveles de sombra, por el contrario, pueden incrementar la producción de forraje al estimular el crecimiento de las gramíneas (24).

Así mismo, Márquez (16), Gómez, Navarro y Pérez (23) y Oliva, Valqui y Meléndez (25) encontraron mayor producción de forraje bajo la copa de los árboles que en áreas a plena exposición solar. Esto se puede explicar quizás por la estructura de la copa de las especies arbóreas utilizadas, la tolerancia al nivel de sombra de las pasturas asociadas y el aporte de nutrientes al suelo por parte de las especies arbóreas (leguminosas). Por el contrario, Obispo et al. (5), Romero et al. (26) y Paciuillo et al. (27) no encontraron diferencias en la producción de forraje bajo la copa de los árboles y las áreas a plena exposición solar. Esto es similar a lo reportado en este estudio; mientras que Chamorro (28) menciona resultados similares de producción de MS bajo la copa de árboles de *A. melanoxilum*, al igual que Escobar (1) bajo aliso (*Alnus accuminata*).

La producción de materia seca encontrada en áreas abiertas por Molina (19) fue mayor a la reportada en este estudio, lo que se puede explicar por la fertilización que utilizó el autor en el estudio; mientras que en otros estudios (2,20,21,29) se halló menor producción. Sin embargo, Aguilar (30) encontró una producción similar a la mencionada en este estudio.

A diferencia de este estudio, Escobar (1), Barragán y Cajas (17) y Chamorro (28) encontraron leguminosas y otras especies herbáceas de hoja ancha bajo la copa de los árboles. Esto se puede atribuir posiblemente a la menor densidad de la copa de las especies arbóreas utilizadas en estos estudios, lo que permitió mayor RAFA y no afectó a especies con mayores requerimientos de radicación. Por su parte, en las áreas abiertas, Ardila (2), Acero (20), Villalobos y WingChing-Jones (22) reportan similar composición botánica, en la que las gramíneas predominan con mayor porcentaje.

La calidad nutricional de las praderas es importante, ya que estas son la base de la alimentación de los rumiantes. En esta investigación se presentaron diferencias estadísticas en el porcentaje de proteína cruda (PC) a los 45 y 60 días de recuperación, siendo mayor la PC en las pasturas bajo los árboles. Esto concuerda con lo reportado en algunos estudios (1,5,17,25,26,27) que tuvieron diferencias entre ellos en el porcentaje de PC de las pasturas; los mayores contenidos de PC se presentaron en las plantas que crecieron bajo especies arbóreas leguminosas. El incremento en la PC de forrajes que crecen bajo los árboles se puede explicar por el reciclaje de nutrientes que hacen los árboles a través de la hojarasca (12), o la fijación de nitrógeno atmosférico que hacen los microorganismos asociados a especies, sobre todo leguminosas (15,11). Particularmente en este estudio también se puede atribuir el incremento de PC en pasturas bajo los árboles a las deposiciones de heces y orina que hacen los animales cuando buscan el beneficio de la sombra (10).

En áreas abiertas, Ardila (2) reporta menor porcentaje de PC en las pasturas frente al encontrado en este estudio; mientras que Dimaté (21) y Villalobos y WingChing-Jones (22) hallaron contenidos similares. Por el contrario, algunos estudios (18-20,29-32) mencionan porcentajes de PC superiores en pasturas a plena exposición solar, pero iguales o en algunos casos menores a los contenidos de PC encontrados en las plantas bajo los árboles en este estudio. Esto muestra el impacto que tienen algunas especies de árboles en el mejoramiento

de la calidad nutricional de la pastura, lo que se puede atribuir posiblemente a las relaciones de reciclaje de nutrientes y fijación de nitrógeno atmosférico. Esto permite reducir los costos de producción por fertilización química y el impacto de esta práctica sobre el ambiente. Los contenidos de PC reportados en varios estudios (18-20, 29-32) se pueden explicar por la fertilización y riego que utilizaron.

La digestibilidad muestra el grado de aprovechamiento de los nutrientes por parte de los animales. Obispo et al. (5) y Barragán y Cajas (17) no encontraron diferencias en la digestibilidad del forraje que se produce bajo los árboles y a plena exposición solar, lo que corresponde con lo encontrado en este estudio. Por el contrario Escobar (1) y Romero et al. (26) reportan mayor digestibilidad en el forraje a plena exposición solar, con relación al que se produjo bajo la copa de los árboles. Esto se puede atribuir quizás a la especie arbórea utilizada, ya que la densidad y la estructura de la copa determina en gran medida la magnitud de las competencias por la radiación solar.

La digestibilidad encontrada por Molina, (19) Acero (20), Villalobos y WingChing-Jones (22) en pasturas a plena exposición solar fue mayor a la hallada en este estudio (88,1, 72,6 y 75 %, respectivamente), lo que posiblemente se puede explicar por la fertilización y riego que realizaron en estas investigaciones. Castro et al. (31) reportan un porcentaje de digestibilidad (67,9%) similar al del presente estudio.

No se presentaron diferencias en el porcentaje de FDN en el forraje bajo la copa de los árboles y las áreas a plena exposición solar, lo que concuerda con lo reportado en algunos estudios (5,17,26). Este comportamiento también lo menciona Escobar (1), pero encontró porcentajes de FDN inferiores a los de esta investigación, tanto en las pasturas bajo la copa de los árboles como en las producidas a plena exposición solar (49,8 y 48,4 %, respectivamente). En áreas abiertas sin influencia de los árboles, varios estudios (20,29,30,32) reportan contenidos similares (55; 54,7; 53,4 y 57,5 %, respectivamente), mientras que Villalobos y WingChing-Jones (22) y Cas-

tro et al. (31) encontraron menores porcentajes de FDN (48,9 y 48,2 %, respectivamente). Esto se puede atribuir al manejo realizado durante dichos estudios (fertilización y riego).

El contenido de FDA en un forraje puede afectar el consumo voluntario de los animales. Al igual que lo reportado en este estudio, Barragán y Cajas (17) no encontraron diferencias en el porcentaje de FDA entre las pasturas bajo los árboles y las que crecieron a plena exposición solar, mientras que Obispo et al. (5) mencionan menor porcentaje de FDA en forrajes que crecieron bajo la copa de los árboles, lo que puede favorecer el incremento del consumo voluntario.

Los estudios realizados en pasturas que crecieron a plena exposición solar por Aguilar (29) y Soto et al. (32) presentaron porcentajes similares de FDA (29,2 y 31,1 %, respectivamente) a los encontrados en este estudio, mientras que varios estudios (1,20,30,31) reportan menores contenidos de FDA (27,9; 23,7; 27,3 y 26 %, respectivamente) en praderas fertilizadas y con riego.

CONCLUSIONES

Las condiciones presentes bajo la copa de los árboles de *A. melanoxilum* favorecen el crecimiento y la calidad nutricional de praderas mixtas de *C. clandestinum* y *L. perenne*. Las interacciones que se presentan bajo la cobertura arbórea contribuyen a mejorar el suelo y la calidad nutricional del forraje, principalmente la proteína cruda, sin afectar negativamente la producción de biomasa comestible. El establecimiento de *A. melanoxilum* en arreglos silvopastoriles es una alternativa al pastoreo de monocultivos de gramíneas, las cuales son más vulnerables a condiciones climáticas extremas.

REFERENCIAS

1. Escobar L. Productividad y calidad nutritiva de pastos en sistemas silvopastoriles con diferentes especies arbóreas en la microcuenca de Molinopampa (tesis de

- maestría). Chachapoyas: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; 2018.
2. Ardila RG. Dinámica de crecimiento de una pradera polifítica de *Lolium perenne* y *Pennisetum clandestinum* (tesis de grado). Bogotá: Universidad de la Salle; 2014.
 3. Cruz A, Hernández A, Vaquera H, Chay A, Enríquez J, Ramírez S. Componentes morfogénéticos y acumulación del pasto mulato a diferente frecuencia e intensidad de pastoreo. *Rev Mex de Cienc Pecuarias*. 2017;8(1):101-9. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4310>
 4. Vargas J, Sierra A, Mancipe E, Avellaneda A. El kikuyo, una gramínea presente en los sistemas de rumiantes en trópico alto colombiano. *Ces Med Vet Zootec*. 2018;13(2):137-56. <https://doi.org/10.21615/ces-mvz.13.2.4>
 5. Obispo N, Espinoza Y, Gil J, Ovalles F, Rodríguez M. Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximum*) en un sistema silvopastoril. *Zootecnia Trop*. 2008;26(3):285-8.
 6. Del Pozo PP. Los sistemas silvopastoriles. Una alternativa para el manejo ecológico de los pastizales: experiencias de su aplicación en Cuba. *Cuadernos de Agroecología*. 2019;14(2):1-7.
 7. Navas, A. Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Rev Med Vet*. 2010;(19):113-22. <https://doi.org/10.19052/mv.782>
 8. Piñeros R, Silva K, Sánchez M, Mora J, Holguín V. Indicadores agronómicos del pasto Vidal (*Bothriochloa saccharoides*) bajo sombra simulada en el valle cálido del Magdalena, Tolima (Colombia). *Luna Azul*. 2009;(29):32-33.
 9. Ainsworth J, Moe S, Skarpe C. Pasture shade and farm management effects on cow productivity in the tropics. *Agric Ecosyst Environ*. 2012;155:105-10. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.04.005>
 10. Escobar M, Navas A, Medina C, Corrales J, Tenjo A, Borrás L. Efecto de prácticas agroecológicas sobre características del suelo en un sistema de lechería especializada del trópico alto colombiano. *Livestock Research for Rural Development* [internet]. 2020[citado 2020 jul 30];32(4). Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd32/4/maria.es32058.html>
 11. Nahed J, Sanchez B, Mena Y, Ruiz J, Aguilar R, Castel J, Ruiz F, Orantes M, Manzur A, Cruz J, Delgadillo C. Feasibility of converting agrosilvopastoral systems of dairy cattle to the organic production model in southeastern Mexico. *J Clean Prod*. 2013;43:136-45. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.019>
 12. Navas A. Bancos forrajeros de *Moringa oleifera*, en condiciones de bosque húmedo tropical. *Cienc Tecnol Agropecuaria*. 2019;20(2):207-18. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1457
 13. Navas A, Montaña V. Comportamiento de *Tithonia diversifolia* bajo condiciones de bosque húmedo tropical. *Rev Inv Vet Perú*. 2019;30(2):721-732. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i2.15066>
 14. Vallejo V, Roldán F, Arbeli Z, Terán W, Lorenz N, Dick R. Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in silvopastoral systems of Colombia. *Agric Ecosyst Environ*. 2012;150:139-48. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.01.022>
 15. Navas A. Sistemas silvopastoriles para el diseño de fincas ganaderas sostenibles. *Acovez*. 2007;37(3):16-20.
 16. Márquez S. Evaluación de diferentes frecuencias de corte a una altura de 40 cm en pasto Guinea Mombaza (*Panicum maximum* Jacq.), en condiciones de sol y sombra natural influenciada por el dosel del árbol de Campano (*Pithecellobium saman*) en la época seca, en el municipio de Sampués, sucre (tesis de grado). Sincelejo, Colombia: Universidad de Sucre; 2014.
 17. Barragán WA, Cajas YS. Cambios bromatológicos y estructurales en *Megathyrsus maximus* bajo cuatro arreglos silvopastoriles. *Rev Cienc Tecnol Agropecuaria*. 2019;(20)2:231-44. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1458
 18. Benvenuto MA, Findsen C, Savian JV, Mayer DG, Barber DB. The effect of stage of regrowth on the physical composition and nutritive value of the various vertical strata of kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) pastures. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*. 2020;(8)2:141-6 [https://doi.org/10.17138/tgft\(8\)141-146](https://doi.org/10.17138/tgft(8)141-146)
 19. Molina MR. Altura de defoliación y recuperación de la pastura kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en la provincia de Ubaté (tesis de maestría). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2018.

20. Acero RA. Aspectos ambientales y de manejo que determinan el crecimiento del kikuyo (*Cenchrus clandestinus Hochst. ex Chiov. Morrone*) en la provincia de Ubaté (tesis de doctorado). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2019.
21. Dimaté HA. Caracterización agronómica y nutricional de cultivares de raigrás (*Lolium perenne*) en el noreste de Bogotá (tesis de grado). Bogotá: Universidad de la Salle; 2016.
22. Villalobos L, WingChing-Jones R. Los pastos estrella africana, kikuyo y “rye grass” en Cartago, Costa Rica: biomasa, composición botánica y nutrientes. Cuad Inv UNED. 2020;12(1):e2811. <https://doi.org/10.22458/urj.v12i1.2811>
23. Gómez M, Navarro O, Pérez CA. Evaluación de la frecuencia de corte del pasto guinea mombaza (*Megathyrus maximus, Jacq*), en condiciones de sol y sombra natural en el municipio de Sampués, Sucre-Colombia. Rev Colomb Cienc Anim. 2016;8(Supl):283-92. <https://doi.org/10.24188/recia.v8.n0.2016.383>
24. Esquivel H. Tree resources in traditional silvopastoral systems and their impact on productivity and nutritive value of pastures in the dry tropics of Costa Rica (tesis de doctorado). San José, Costa Rica: Catie; 2007.
25. Oliva M, Valqui L, Meléndez J. Influencia de especies arbóreas nativas en sistemas silvopastoriles sobre el rendimiento y valor nutricional de *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens*. Scientia Agropecuaria. 2018;9(4):579-83. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.14>
26. Romero DR, Echevarría RM, Trillo ZF, Hidalgo LV, Aguirre TL, Robles RR, Núñez DJ. Efecto del faique (*Acacia macracantha*) sobre el valor nutricional del pasto guinea (*Panicum maximum Jacq.*) en un sistema silvopastoril. Rev Inv Vet Perú. 2020;(31)1:1-9. <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i1.17562>
27. Paciullo D, de Castro C, Gomide C, Maurício R, Pires M, Müller M, Xavier D. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. Livestock Sci. 2011;141:166-72. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.05.012>
28. Chamorro BA. Evaluación del efecto de dos sistemas silvopastoriles de aliso (*Alnus acuminata*) y acacia (*Acacia melanoxylon*), en la producción de pasturas en la finca San Vicente, parroquia El Carmelo, provincia del Carchi (tesis de grado). Tulcán: Universidad Politécnica Estatal del Carchi; 2018.
29. Aguilar FA. Efecto de la frecuencia de aplicación de un bioestimulante sobre el rendimiento, dinámica de crecimiento y calidad nutricional de *Lolium perenne L* (tesis de grado). Valdivia: Universidad Austral de Chile; 2019.
30. Aguilar RA. Efecto de la aplicación de ALGASOIL[®] sobre el rendimiento y valor nutricional del kikuyo (*Pennisetum clandestinum Hochst. ex Chiov.*) en Palmira, Zarcerro, Alajuela, Costa Rica (tesis de grado). Santa Clara: Instituto Tecnológico de Costa Rica Campus Tecnológico Local San Carlos; 2017.
31. Castro RE, Cardona IJ, Hernández OF, Valenzuela CM, Avellaneda AY. Evaluación de tres cultivares de *Lolium perenne L.* con vacas lecheras, en el trópico alto de Nariño, Colombia. Pastos y Forrajes. 2019;(42)2:161-70.
32. Soto C, Valencia A, Galvis R, Correa H. Efecto de la edad de corte y del nivel de fertilización nitrogenada sobre el valor energético y proteico del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Rev Col Cienc Pec. 2005;(18)1:17-26.