



Suplementación de caprinos con harina de vaina de mezquite en una pradera diferida de pasto (*Urochloa mosambicensis*) en la región semiárida



Diego da Hora Souto ^a

Mara Lúcia Albuquerque Pereira ^{a*}

Taiala Cristina de Jesus Pereira ^a

Herymá Giovane de Oliveira Silva ^a

Paulo José Presídio Almeida ^a

Leandro Borges Sousa ^a

Fernando Oliveira Barreto ^a

Larisse Borges Sousa ^a

Karine Pinheiro Oliveira ^a

Gleidson Giordano Pinto de Carvalho ^b

^a State University of Southwest Bahia. Postgraduate Program in Animal Science. Campus of Itapetinga, BR 415, Km 03, 45700-000, Itapetinga, Bahia, Brazil.

^b Federal University of Bahia. School of Veterinary Medicine and Animal Science. Adhemar de Barros Avenue, 500, Ondina, Salvador, Bahia, Brazil.

*Autor de correspondencia: marauesb@yahoo.com.br

Resumen:

La suplementación surge como una estrategia simple para mejorar la productividad animal en sistemas que adoptan praderas diferidas de pasto como dieta básica. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de los niveles de suplementación de harina de vaina de mezquite sobre la ingesta, la digestibilidad de los nutrientes y la ganancia de peso corporal (PC) de caprinos en pastoreo diferido. Treinta y cinco (35) caprinos machos

(24.0 ± 2.9 kg PC) se distribuyeron en un diseño completamente al azar, con cinco tratamientos y siete repeticiones. Los tratamientos consistieron en un control de suplemento (0.05 % de PC de sal proteico-mineral) y niveles crecientes a 0.5; 1.0; 1.5 y 2.0 % de PC de suplementación con harina de vaina de mezquite. La ingesta de materia seca y nutrientes del forraje y la dieta total aumentaron linealmente ($P < 0.0001$) en función de los niveles del suplemento. Se observó un efecto cuadrático ($P < 0.0001$) para las variables de digestibilidad, excepto para el extracto etéreo y los carbohidratos no fibrosos, que presentaron un efecto lineal creciente ($P < 0.0001$). Los niveles de suplementación aumentaron linealmente las variables de rendimiento ($P < 0.05$). Se recomienda la suplementación del concentrado al 2.0 % de PC con harina de vaina de mezquite al 30 % en su composición para promover la reducción del ciclo productivo de los caprinos en praderas diferidas de pasto *Urochloa*.

Palabras clave: Suplementación alternativa, Producción animal, Manejo de praderas, *Prosopis juliflora*, Semiárido, Ganancia de peso.

Recibido: 16/12/2021

Aceptado: 21/02/2023

Introducción

La cría de caprinos para la producción de carne en la región noreste de Brasil es predominantemente extensiva y estacional, ya que la distribución de las precipitaciones es irregular y las características edafoclimáticas adversas afectan la producción de forraje⁽¹⁾. La cantidad y la calidad de los alimentos se convierten en obstáculos para la cadena productiva, especialmente durante la estación seca. En este período crítico, los animales pierden peso corporal, retrasando así la edad al sacrificio, causando pérdidas a los productores y a la economía en general.

Estas condiciones justifican el uso de técnicas de manejo de praderas como el diferimiento, que consiste en seleccionar un área de la pradera de la propiedad y excluir el pastoreo, generalmente al final de la temporada de lluvias⁽²⁾, de modo que la acumulación de forraje ocurra para ser pastoreado durante el período seco, minimizando los efectos negativos de la producción estacional de forraje en la productividad animal⁽³⁾. No obstante, ocurren cambios en la estructura de la pradera durante el período de diferimiento y también se caracterizan por un bajo valor nutricional como consecuencia de cambios en las condiciones ambientales y de la propia fenología de la planta forrajera, que tienden a reducir el rendimiento de los rumiantes⁽⁴⁾.

La suplementación surge como una estrategia simple utilizada tanto para el intento de abordar las deficiencias nutricionales de la pradera, proporcionando el equilibrio de la dieta del animal, como para reducir el riesgo causado por la fluctuación de la producción

de materia seca de la pradera^(5,6). Sin embargo, el efecto de agregar carbohidratos altamente degradables a las dietas basadas en forraje puede ser beneficioso o indeseable, dependiendo de la fuente utilizada y, sobre todo, de la cantidad consumida por los animales⁽⁷⁾. La búsqueda constante de alimentos alternativos al maíz, que es el concentrado de energía más utilizado en los sistemas de producción animal, es fundamental, especialmente en regiones distantes de las productoras de granos.

El uso de harina de vaina de mezquite (*Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.) como sustituto del maíz se convierte en una alternativa debido a su fácil accesibilidad en regiones semiáridas y su uso en dietas para pequeños rumiantes ha mostrado mejores índices productivos en comparación con el maíz⁽⁸⁻¹³⁾. No obstante, el consumo de vainas de *P. juliflora* como principal fuente de alimento causa intoxicación en los animales⁽¹⁴⁻¹⁶⁾. En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de los niveles del concentrado con harina de vaina de mezquite sobre el rendimiento de caprinos en praderas diferidas de pasto *Urochloa*.

Material y métodos

Principios éticos de la experimentación

Todos los procedimientos de cuidado y manejo de animales fueron aprobados por el Comité de Ética de Uso de Animales de la Universidad Estatal del Suroeste de Bahía – UESB, con número de protocolo 23/2017.

Área experimental

El experimento se realizó en el Centro de Investigación de Ovinos y Caprinos, ubicado en el municipio de Iaçú, Estado de Bahía, Brasil. El período experimental fue de abril de 2018 a julio de 2018 con precipitaciones medias de 31.2 mm. El clima de la región se caracteriza como un clima tropical con una estación seca⁽¹⁷⁾.

Procedimientos experimentales, animales y dietas

El área total de la pradera fue de 4.4 ha, compuesta exclusivamente de pasto *Urochloa* (*Urochloa mosambicensis* (Hack) Daudy). La pradera se cercó durante 110 días y se utilizó desde abril del mismo año hasta julio de 2018 (92 días). El método de pastoreo empleado fue el pastoreo continuo con una carga animal variable. Los tratamientos evaluados fueron cinco suplementos: sal proteico-mineral y niveles de concentrado que contenían harina de vaina de mezquite. Las variables estructurales de la pradera diferida se evaluaron cada 23 días durante todo el período de uso. La altura de la pradera se midió con una regla graduada en centímetros, con 100 lecturas realizadas por piquete a la altura de curvatura promedio de las hojas. La masa forrajera se estimó mediante el corte cerca

del suelo del forraje (12 muestras) con un cuadrado de 0.25 m² según lo descrito por McMeniman⁽¹⁸⁾ y se midió la composición de la pradera (Cuadro 1).

Se utilizaron treinta y cinco (35) caprinos machos no castrados de la raza Boer, de aproximadamente 4 meses de edad, un peso corporal (PC) inicial de 24.0 ± 2.9 kg, distribuidos en un diseño completamente aleatorizado con cinco tratamientos y se adoptaron siete repeticiones. Los animales se mantuvieron en una pradera de pasto *Urochloa* bajo pastoreo continuo durante el día (0007 a 1600 h) y se alojaron en cobertizos en establos colectivos durante la noche donde recibieron: sal proteico-mineral fija al 0.05 % de PC (control) y niveles crecientes al 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 % de PC de harina de vaina de mezquite como suplemento energético.

Cuadro 1: Composición de la pradera

Hoja verde, g kg ⁻¹	240.38
Tallo verde, g kg ⁻¹	530.00
Material senescente, g kg ⁻¹	670.44
Relación hoja/tallo	0.460
Disponibilidad de materia seca (MS), kg	3.264
kg MS hoja ha ⁻¹	795.76
kg MS tallo ha ⁻¹	1.729.92
kg MS material senescente ha ⁻¹	737.99

Los suplementos se formularon para satisfacer las necesidades de proteína para el mantenimiento y para proporcionar una ganancia diaria promedio de 150 g, según el NRC⁽¹⁹⁾. El Cuadro 2 muestra la composición química de los suplementos y del pasto *Urochloa*. Se utilizó un período de adaptación de 15 días para que los animales se aclimataran al suplemento y a las instalaciones de investigación, seguido de 92 días del experimento dividido en cuatro subperíodos de recolección de muestras que duraron cinco días.

Cuadro 2: Composición (g 100 g⁻¹ de MS) de los suplementos en ingredientes y valor nutritivo de la sal proteico-mineral, pasto *Urochloa* y concentrado que contiene harina de vaina de mezquite

Ingrediente	Suplemento	
	Concentrado	Sal proteico-mineral
Harina de maíz	45.0	33.6
Harina de soya	22.0	20.0
Harina de vaina de mezquite	30.0	-
Urea	2.0	9.1
Sal mineral ^a	1.0	13.6
Sulfato de amonio	-	1.0
Cloruro de sodio	-	22.7
Total	100.0	100.0

Nutriente	Sal proteico-mineral	Pasto Urochloa	Concentrado
Materia seca	88.6	91.3	86.1
Materia orgánica	72.2	89.1	98.8
Proteína cruda	41.2	13.7	20.3
Extracto etéreo	1.5	1.9	2.6
Carbohidratos totales	29.4	73.5	75.9
Carbohidratos no fibrosos	44.3	13.1	45.4
FDN libre de ceniza proteica	13.2	60.4	36.2
Fibra detergente ácido	7.6	43.0	28.2
FDN indigerible	2.9	12.4	4.8
Lignina	1.4	7.6	13.7
Ceniza	27.8	10.9	1.2

^a Cantidad/kg de producto: Calcio (máx)= 120 g; fósforo= 87 g; cobre= 590 mg; cobalto= 40 mg; iodo= 80 mg; manganeso= 1,300 mg; molibdeno= 300 mg; flúor (máx)= 870 mg.

FDN= fibra detergente neutra.

Las vainas maduras se obtuvieron después de la cosecha en el suelo, se seleccionaron manualmente, descartando aquellas atacadas por insectos, hongos y de desarrollo pequeño. Las vainas se secaron al sol. Y luego, se procesaron en un molino de cuchillas Wiley (A. H. Thomas, Filadelfia, PA, EUA) utilizando un tamiz de 1 mm, para obtener la harina de vaina.

Evaluación de la ingesta, digestibilidad y ganancia de peso vivo

La ingesta de materia seca (MS) de forraje y la digestibilidad de los nutrientes se estimaron a partir de la producción fecal, con el uso de Lignina Aislada Enriquecida y Purificada de *Eucalyptus grandis* (LIPE®; Belo Horizonte, MG, Brasil) como marcador externo⁽²⁰⁾, y fibra detergente ácido indigerible (FDAi) como marcador interno. La ingesta de MS por suplemento se estimó utilizando dióxido de titanio. El dióxido de titanio (TiO₂) se analizó de acuerdo con la metodología descrita por Titgemeyer⁽²¹⁾. El dióxido de titanio se mezcló con el suplemento y se suministró en la cantidad de 5 g por animal. La administración oral de la capsula LIPE® para cada animal ocurrió durante 7 días consecutivos; los primeros dos días fueron para estabilizar la excreción fecal del marcador^(20,22). Las muestras fecales se recogieron directamente del recto dos veces al día (0800 y 1700 h), durante cinco días, y se almacenaron en una cámara fría a -10 °C.

La concentración de FDAi en muestras de suplemento, forraje consumido y heces se obtuvo después de la incubación *in situ* durante 264 h de acuerdo con Casali *et al*⁽²³⁾. La ingesta voluntaria de MS fue estimada mediante la relación entre la excreción fecal y la indigestibilidad del indicador interno FDAi, como se describió anteriormente, utilizando la ecuación propuesta por Detmann⁽²⁴⁾:

$$IMS = \{[(EF \times CMH) - CIS] / CIFOR\} + IMSS$$

Donde: IMS= ingesta de materia seca (kg día^{-1}); EF= excreción fecal (kg día^{-1}); CMH= concentración del marcador en las heces del animal (kg kg^{-1}); CIS= concentración de FDAi en el suplemento (kg d^{-1}); CIFOR= concentración de FDAi en el forraje (kg kg^{-1}); y IMSS= ingesta de MS del suplemento (kg día^{-1}).

La ingesta del suplemento se midió mediante la cantidad suministrada dividida entre el número de animales en el tratamiento. La estimación de la calidad del forraje consumido se realizó a través del análisis de las muestras, utilizando la técnica de simulación manual de pastoreo⁽²⁵⁾, por observación visual de los animales.

Los animales se pesaron al principio, cada 23 días, y al final del experimento. Al inicio del período experimental, los animales se sometieron a un ayuno de sólidos de 16 h y se pesaron para determinar el peso corporal inicial (PCI). La ganancia de peso total (GPT) se estimó como la diferencia entre el peso corporal final (PCF) y el peso corporal inicial (PCI): $\text{GPT} = (\text{PCF} - \text{PCI})$. La ganancia diaria promedio (GDP) se calculó dividiendo GPT entre el número total de días en el experimento: $\text{GDP} = \text{GPT}/\text{días en el experimento}$. Finalmente, la relación de conversión alimenticia se calculó como la relación entre la ingesta de materia seca (kg día^{-1}) y GPT (kg día^{-1}).

Procesamiento de muestras y análisis de laboratorio

Los contenidos de MS (método INCT-CA G - 003/1), ceniza (método INCT-CA M-001/1), proteína cruda (PCr) (método INCT-CA N-001/1), extracto etéreo (EE) (método INCT-CA G-004/1) se determinaron en las muestras de forraje y suplemento, de acuerdo con las recomendaciones descritas por la AOAC⁽²⁶⁾. Para los análisis de fibra detergente neutra (FDN), las muestras se trataron con alfa-amilasa termoestable, sin el uso de sulfito de sodio, y se corrigieron por cenizas residuales⁽²⁷⁾. La corrección de la FDN para los compuestos nitrogenados y la estimación de la concentración de los compuestos nitrógeno insoluble en detergente neutra (NIDN) y ácido (NIDA) se realizaron de acuerdo con Licitra⁽²⁸⁾.

Los carbohidratos totales (CT) se estimaron según Sniffen⁽²⁹⁾, los carbohidratos no fibrosos se calcularon según la metodología propuesta por Hall⁽³⁰⁾, utilizando FDNcp y los nutrientes digeribles totales (NDT) se calcularon según Weiss⁽³¹⁾, pero utilizando FDN y CNF corregidos por cenizas y proteínas.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se logró mediante el procedimiento MIXED del programa estadístico SAS (SAS, 2006), considerando un modelo mixto. Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y se realizó el contraste entre el tratamiento de control con los niveles de suplementación del concentrado. Además, se realizó el contraste polinómico y el análisis de regresión para los niveles de

suplementación (0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 % de PC), adoptando una probabilidad de 5 % a 10 % para el error tipo 1.

Resultados

La ingesta de MS y de los nutrientes de la dieta total, forraje (pasto *Urochloa* diferido) y suplementos fueron mayores ($P < 0.0001$) para los animales que recibieron la suplementación de harina de vaina de mezquite, independientemente de los niveles, en comparación con los animales alimentados solo con sal proteico-mineral, debido al mayor suministro de nutrientes del concentrado (Cuadros 3, 4, y 5). Las concentraciones de nutrientes se mantuvieron proporcionalmente sin cambios en función de la ingesta de MS, independientemente de los niveles de suplementación, ya que el suplemento del concentrado fue el mismo.

Cuadro 3: Ingesta de nutrientes de la dieta por caprinos en pastoreo de pasto *Urochloa* diferido con niveles de suplementación

Ítem	Suplementación					EE	Valor P		
	SPM	Nivel del concentrado (% PC)					Contraste	L	C
		0.5	1.0	1.5	2.0				
Ingesta total (g d ⁻¹)									
MS	353.0	506.3	936.4	1196.6	1738.2	93.6	<0.0001	<0.0001 ^a	0.5907
PCr	52.9	80.0	151.6	196.7	286.7	15.8	<0.0001	<0.0001 ^b	0.6140
EE	6.6	10.6	20.1	26.0	37.8	2.1	<0.0001	<0.0001 ^c	0.6089
CNF	51.2	113.3	235.8	316.0	464.2	27.4	<0.0001	<0.0001 ^d	0.6631
FDNcp	206.2	270.5	480.6	603.2	872.2	45.3	<0.0001	<0.0001 ^e	0.5633
NDT	80.0	260.0	640.0	890.0	1390.0	80.0	<0.0001	<0.0001 ^f	0.5168
Ingesta total (g kg ⁻¹ PC)									
MS	13.8	17.4	31.7	40.1	54.0	2.9	<0.0001	<0.0001 ^g	0.9583
CNFcp	8.0	9.3	16.3	20.2	27.1	1.4	<0.0001	<0.0001 ^h	0.9836
Ingesta total (g kg ⁻¹ PC ^{0.75})									
PCr	4.6	6.3	12.0	15.4	21.2	1.2	<0.0001	<0.0001 ⁱ	0.9549
CNF	4.5	9.0	18.6	24.7	34.3	2.0	<0.0001	<0.0001 ^j	0.9976

SPM= sal proteico-mineral; EE= error estándar de la media; Contraste= SPM vs niveles de suplementación; L= efecto lineal; C= efecto cuadrático; PC= peso corporal; MS= materia seca; PCr= proteína cruda; EE= extracto etéreo; CNF= carbohidratos no fibrosos; FDNcp= fibra detergente neutro corregida por cenizas y proteínas; NDT= nutrientes digeribles totales; significativo * ($P < 0.0001$); ** ($P < 0.001$); *** ($P < 0.01$); **** ($P < 0.05$); ns ($P > 0.05$); $\hat{Y}^a = 110.68^{ns} + 792.82 X^*$; $\hat{Y}^b = 12.4414^{ns} + 133.69X^*$; $\hat{Y}^c = 1.8056^{ns} + 17.5525 X^*$; $\hat{Y}^d = (0.5534^{ns} + 226.31X^*$; $\hat{Y}^e = 77.0549^{ns} + 387.13X^*$; $\hat{Y}^f = -0.099^{***} + 0.725X^*$; $\hat{Y}^g = 5.7387^{ns} + 24.3310 X^*$; $\hat{Y}^h = 3.6930^{****} + 11.7801 X^*$; $\hat{Y}^i = 12.1673^{ns} + 58.1458X^*$; $\hat{Y}^j = 15091^{ns} + 9.8537X^*$; $\hat{Y}^k = 0.7727^{ns} + 16.8385X^*$

Cuadro 4: Ingesta de nutrientes del forraje por caprinos en pastoreo de pasto *Urochloa* diferido con niveles de suplementación

Ítem	Suplementación				EE	Valor P			
	SPM	Nivel del concentrado (% PC)				Contr.	L	C	
		0.5	1.0	1.5					2.0
Ingesta de forraje (g día ⁻¹)									
MS	338.2	361.0	586.3	704.0	1006.5	47.4	<0.0001	<0.0001 ^a	0.5011
PCr	46.5	49.7	80.6	96.8	138.4	6.5	<0.0001	<0.0001 ^b	0.5011
EE	6.4	6.8	11.1	13.3	19.0	0.9	<0.0001	<0.0001 ^c	0.5011
CNF	44.3	47.3	76.9	92.3	131.9	6.2	<0.0001	<0.0001 ^d	0.5011
FDNcp	204.2	218.0	354.0	425.0	607.7	28.6	<0.0001	<0.0001 ^e	0.5011
Ingesta de forraje (g kg ⁻¹ PC)									
MS	13.2	12.5	19.9	23.6	31.3	1.5	<0.0001	<0.0001 ^f	0.9504
FDNcp	7.9	7.5	12.0	14.3	18.9	0.9	<0.0001	<0.0001 ^g	0.9504
Ingesta de forraje (g kg ⁻¹ PC ^{0.75})									
PCr	4.1	4.0	6.4	7.6	10.3	0.5	<0.0001	<0.0001 ^h	0.8407
CNF	3.9	3.8	6.1	7.2	9.8	0.5	<0.0001	<0.0001 ⁱ	0.8407

SPM= sal proteico-mineral; EE= error estándar de la media; Contr.: Contraste= SPM vs niveles de suplementación; L= efecto lineal, C= efecto cuadrático, PC= peso corporal; MS= materia seca; PCr= proteína cruda; EE= extracto etéreo; CNF= carbohidratos no fibrosos; FDNcp= fibra detergente neutro corregida por cenizas y proteínas; NDT= nutrientes digeribles totales; Significativo * ($P < 0.0001$); ** ($P < 0.001$); *** ($P < 0.01$); **** ($P < 0.05$); ns ($P > 0.05$); $a\hat{Y} = 152.70^{***} + 414.60X^*$; $b\hat{Y} = 21.0037^{***} + 57.0255X^*$; $c\hat{Y} = 2.8887^{***} + 7.8429X^{****}$; $d = 20.0181^{***} + 54.3495X^*$; $e\hat{Y} = 92.1912^{***} + 250.30 X^*$; $f\hat{Y} = 6.6600^{***} + 12.3386X^*$; $g\hat{Y} = 4.0208^{***} + 7.4491 X^*$; $h\hat{Y} = 2.0117^{***} + 4.0883 X^*$; $i\hat{Y} = 1.9173^{***} + 3.8965X^*$

Cuadro 5: Ingesta de nutrientes del concentrado por caprinos en pastoreo en una pradera diferida de pasto *Urochloa* con niveles de suplementación

Ítem	Suplementación				EE	Valor P			
	SPM	Nivel del concentrado (% PC)				Contr.	L	C	
		0.5	1.0	1.5					2.0
Ingesta de concentrado (g día ⁻¹)									
MS	15.6	145.2	350.1	492.6	731.6	47.2	<0.0001	<0.0001 ^a	0.7327
PCr	6.4	29.4	71.0	99.8	148.3	9.4	<0.0001	<0.0001 ^b	0.7327
EE	0.2	3.7	8.98	12.6	18.8	1.2	<0.0001	<0.0001 ^c	0.7327
CNF	6.9	66.0	159.0	223.7	332.2	21.4	<0.0001	<0.0001 ^d	0.7327
FDNcp	2.1	52.5	126.6	178.1	0.73	17.2	<0.0001	<0.0001 ^e	0.7327
Ingesta de concentrado (g kg ⁻¹ PC)									
MS	0.6	5.0	11.8	16.5	22.7	1.5	<0.0001	<0.0001 ^f	0.8462
FDNcp	0.07	1.8	4.3	6.0	8.2	0.6	<0.0001	<0.0001 ^g	0.8462
Ingesta de concentrado (g kg ⁻¹ PC ^{0.75})									
PCr	0.6	2.3	5.6	7.8	10.9	0.7	<0.0001	<0.0001 ^h	0.9460
CNF	0.6	5.2	12.5	17.5	24.5	1.6	<0.0001	<0.0001 ⁱ	0.9460

SPM= sal proteico-mineral; EE= error estándar de la media; Contr.: Contraste= contrastes entre SPM y los niveles de suplementación; L= efecto lineal, C= efecto cuadrático; PC= peso corporal; MS= materia seca; PCr= proteína cruda; EE= extracto etéreo; CNF= carbohidratos no fibrosos; FDNcp= fibra detergente neutro corregida por cenizas y proteínas; * $P < 0.0001$; ** $P < 0.001$; *** $P < 0.01$; **** $P < 0.05$; ns $P > 0.05$; $a\hat{Y} = -43.8774^{ns} + 379.65 X^*$; $b\hat{Y} = -8.8931^{ns} + 76.9487X^*$; $c\hat{Y} = -1.1263^{ns} + 9.7457 X^*$; $d\hat{Y} = -19.9255^{ns} + 172.41X^*$; $e\hat{Y} = -15.8682^{ns} + 137.30X^*$; $f\hat{Y} = -0.9681^{ns} + 12.0713X^*$; $g\hat{Y} = -0.3501^{ns} + 4.3656X^*$; $h\hat{Y} = -0.5191^* + 5.7915 X$; $i\hat{Y} = -1.1631^{ns} + 12.9761 X^*$

La digestibilidad de la materia seca y de los otros nutrientes fue mayor ($P<0.0001$) para los niveles de suplementación en comparación con la sal proteico-mineral. Hubo un efecto cuadrático para la digestibilidad de la mayoría de los nutrientes, excepto EE y CNF que mostraron un aumento lineal (Cuadro 6). Se calcularon puntos máximos para las digestibilidades de MS, MO, PCr y FDN cerca del límite superior de suplementación (2.0 % PC), con la misma respuesta para la variación del contenido de NDT. Por lo tanto, no fue posible estimar el punto máximo porque el rango de los niveles de suplementación estudiados estaba restringido a un rango de ajuste cuadrático en el que la tasa de incremento en el coeficiente de digestibilidad no era proporcional al incremento del suplemento, es decir, estaba en puntos previos a la inflexión de la curva.

Cuadro 6: Digestibilidad de nutrientes ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ de MS) de caprinos en pastoreo en una pradera diferida de pasto *Urochloa* con niveles de suplementación

Ítem	Suplementación					EE	Valor P		
	SPM	Nivel del concentrado (% PC)					Contraste	L	C
		0.5	1.0	1.5	2.0				
MS	21.8	45.6	66.2	73.2	80.0	3.8	<0.0001	<0.0001	0.0011 ^a
MO	21.9	48.1	68.3	74.7	81.0	3.8	<0.0001	<0.0001	0.0008 ^b
FDNcp	23.7	43.2	63.0	69.7	77.5	3.5	<0.0001	<0.0001	0.0081 ^c
EE	40.4	43.9	60.3	68.1	76.4	2.7	<0.0001	<0.0001 ^d	0.2183
PCr	31.1	48.8	68.1	75.8	79.4	3.3	<0.0001	<0.0001	0.0002 ^e
CNF	10.7	57.5	82.4	86.3	90.4	5.3	<0.0001	<0.0001 ^f	0.0056
NDT	21.6	47.1	67.0	73.6	79.9	3.8	<0.0001	<0.0001	0.0008 ^g

SPM= sal proteico-mineral; EE= error estándar de la media; Contraste= SPM vs niveles de suplementación; L= efecto lineal; C= efecto cuadrático; PC= peso corporal; MS= materia seca; PCr= proteína cruda; EE= extracto etéreo; CNF= carbohidratos no fibrosos; FDNcp= fibra detergente neutro corregida por cenizas y proteínas; NDT= nutrientes digeribles totales; Significativo ^{**}($P<0.0001$); ^{*}($P<0.001$); ^{***}($P<0.01$); ^{****}($P<0.05$); ^{ns}($P>0.05$); ^a $\hat{Y}= 20.099^* + 58.357 X^* - 14.294 X^{2**}$; ^b $\hat{Y}= 23.499^* + 56.554 X^* - 13.993 X^{2**}$; ^c $\hat{Y}= 19.817^{**} + 52.997 X^* - 12.166 X^{2***}$; ^d $\hat{Y}= 39.7744^* + 18.596 X^*$; ^e $\hat{Y}= 23.452^* + 58.868 X^* - 15.490 X^{2**}$; ^f $\hat{Y}= 72.547^* + 8.996 X^*$; ^g $\hat{Y}= 22.343^* + 56.718 X^* - 14.070 X^{2**}$

Los niveles de suplementación con la fuente de energía que contenía harina de vaina de mezquite proporcionaron un mayor peso corporal final (PCF), ganancia diaria promedio (GDP) y ganancia de peso total (GPT) en comparación con la suplementación con sal proteico-mineral (Cuadro 7). Hubo un efecto lineal para los niveles de suplementación en las variables de rendimiento ($P<0.05$). Los niveles de suplementación promovieron un aumento lineal ($P<0.0001$) en la conversión alimenticia y el nivel de 0.5 % de PC fue eficiente considerando 92 días de suplementación de la pradera para alcanzar los 35 kg para el peso al sacrificio.

Cuadro 7: Rendimiento de caprinos en pastoreo en una pradera diferida de pasto *Urochloa* con niveles de suplementación durante 92 días

Ítem	Suplementación					EE	Valor P		
	SPM	Nivel del concentrado (%)					Contraste	L	C
		0.5	1.0	1.5	2.0				
PCI	23.3	24.1	24.2	23.7	24.4	0.5	0.4669	0.9372	0.7711
PCF	28.9	34.6	34.6	37.6	40.3	0.8	<0.0001	0.0004 ^a	0.3039
PC	26.1	29.4	29.4	30.7	32.4	0.6	0.0001	0.0280 ^{2b}	0.4471
PC ^{0.75}	11.5	12.6	12.6	13.0	13.6	0.2	0.0002	0.02810 ^c	0.4437
GPT	5.7	10.5	10.4	13.9	15.9	0.7	<0.0001	0.0003 ^d	0.3311
GDP	0.06	0.12	0.12	0.16	0.18	0.01	0.0001	0.0003 ^e	0.3312
CA	22.7	4.4	8.1	8.0	10.0	3.4	0.3877	< 0.0001 ^f	0.1987

SPM= sal proteico-mineral; EE= error estándar de la media; Contraste= SPM vs niveles de suplementación; L= efecto lineal; C= efecto cuadrático; PC= peso corporal; PCI= peso corporal inicial (kg); PCF= peso corporal final (kg); GPT= ganancia de peso total (kg); GDP= ganancia diaria promedio; CA= conversión alimenticia (kg IMS/kg PC); Significativo * ($P < 0.0001$); ** ($P < 0.001$); *** ($P < 0.01$); **** ($P < 0.05$); ns ($P > 0.05$); $^a\hat{Y} = 31.560 * + 4.263X *$; $^b\hat{Y} = 27.812 * + 2.132 X ****$; $^c\hat{Y} = 12.112 * + 0.681X ****$; $^d\hat{Y} = 3.016 * + 4.273X *$; $^e\hat{Y} = 0.574 ns + 0.047 X *$; $^f\hat{Y} = 0.666 *** + 1.234 X *$

Discusión

El suplemento del concentrado proporcionó una mejora del suministro de nutrientes al microbioma ruminal, lo que llevó a una mayor digestión de la fibra, lo que en consecuencia promovió un aumento en la ingesta de MS total y de forraje caracterizando el efecto aditivo (Cuadros 3, 4 y 6). Moore⁽³²⁾ mencionó que, si la ingesta de suplementos no influye en la ingesta de forraje, el coeficiente de sustitución es cero y, cuando es positivo, significa que la ingesta de forraje fue aumentada por la suplementación. Este hecho puede explicarse por la relación entre los nutrientes digeribles totales y la proteína cruda (NDT/PCr) del forraje, que fueron 0.4, 1.8, 3.3, 4.0 y 4.7 para los respectivos niveles de suplementación.

Sin embargo, el aumento en la ingesta de MS de forraje suplementado con concentrado al 0.5 % de PC fue un 6 % mayor que la suplementación con sal proteico-mineral. Aun así, cuando se corrigió por PC, la ingesta de MS de forraje fue un 5 % menor. Esto indica que la suplementación al 0.5 % de PC fue insuficiente para evitar el efecto físico vacío de la ingestión. Debido al aumento en la ingesta de MS, la ingesta de nutrientes de PCr, FDNcp y CNF también aumentó (Cuadro 4).

Para los niveles de suplementación del concentrado hubo un aumento en la ingesta de forraje de 12.3 g kg⁻¹ de PC por cada unidad porcentual de concentrado. Como el suministro de concentrado fue controlado, se puede evidenciar que el 0.5 % de PC suministrado no estaría indicado para aumentar la ingesta de forraje, a pesar de la mejora de las digestibilidades de fibra y otros componentes nutricionales (Cuadro 6). Las proporciones de forraje fueron 95.59, 71.31, 62.61, 58.83 y 57.91 % en las respectivas dietas con sal proteico-mineral y niveles del concentrado.

En la pradera diferida, generalmente hay una disminución en las digestibilidades de PCr y fibra, debido al proceso de maduración. En este estudio, el contenido de PCr del pasto *Urochloa* fue de 13.7 % y fue de 85.8 % en la fracción FDN, presentando una menor tasa de degradación ruminal, especialmente cuando el crecimiento microbiano fue afectado por el menor contenido de nutrientes solubles. El forraje contribuyó a la disminución de la proporción de PCr según los niveles de suplementación, cuyos valores respectivos fueron 13.1; 9.8; 8.6; 8.1 y 7.9 %. Asimismo, los valores proporcionales de FDN de forraje también disminuyeron: 57.7; 43.1; 37.8; 35.5 y 35.0 %, respectivamente.

Los niveles de suplementación del concentrado proporcionaron un aumento en las ingestas de PCr, CNF y NDT, siendo que la concentración de PCr en la MS ingerida total fue similar al comparar la suplementación con sal proteico-mineral y los niveles del concentrado (Cuadro 3). Además, se observó que, independientemente del uso de sal proteico-mineral o niveles de concentrado, los cabritos no cambiaron la composición del forraje consumido, con un promedio de 13.7 % PCr, 13.1 % CNF y 60.4 % FDNcp, caracterizando la no selectividad durante el pastoreo (Cuadro 4).

El mayor suministro de concentrado que contenía harina de vaina de mezquite al 30 %, mejoró la fermentación ruminal y la digestibilidad de los nutrientes. Los puntos máximos de digestibilidad se estimaron para MS, MO, FDN y PCr en el rango de 1.9 % a más de 2.0 % de PC en la suplementación, con el mismo cambio, para la concentración de NDT. El ajuste cuadrático fue posible porque la digestibilidad no cambió proporcionalmente al aumento de la suplementación, probablemente debido al aumento en la tasa de pasaje ruminal. El aumento lineal en la digestibilidad de EE y CNF es consistente con el hecho de que hubo un aumento en la ingesta de estos componentes nutricionales, debido a los niveles de suplementación y, por lo tanto, el incremento de la utilización intestinal.

Se puede inferir que la tasa de pasaje ruminal afectó las digestibilidades de PCr y FDN porque la mayor proporción de PCr de forraje pertenece a la fracción fibrosa. La mayor tasa de pasaje puede reducir el grado de degradación ruminal de la fracción fibrosa de la dieta cuando la IMS aumenta. Teniendo en cuenta que esta fracción de la dieta no se digiere eficazmente en el intestino delgado.

Para aumentar la ingesta de forraje es necesario manipular la dieta a través de dos mecanismos, aumentando la tasa de digestión ruminal o acelerando la tasa de pasaje de componentes no digeribles^(33,34). En este estudio, se observó que la suplementación con concentrado proporcionó un aumento en la ingesta de forraje, como consecuencia del aumento de las tasas de digestión ruminal, ya que la digestibilidad de FDN aumentó. La suplementación con concentrado tiene un efecto asociativo con la pradera, es decir, conlleva cambios en la digestibilidad (Cuadro 6) o en la ingesta de forraje (Cuadro 3), que pueden tener efectos aditivos y sustitutivos. Se observó un efecto aditivo porque hubo un aumento en la ingesta de NDT como consecuencia de una mayor ingesta de concentrado, sin una disminución en la ingesta de forraje (Cuadro 3).

La mayor ingesta de harina de vaina de mezquite ocurrió con una suplementación al 2 % que muestra un promedio de 219.5 g día⁻¹, lo que equivale a 126.2 g kg⁻¹ del total de MS consumida. Estudios han informado que el uso de harinas de vaina de mezquite en las dietas no debe exceder los 200 g kg⁻¹ de MS consumidos en caprinos, tanto para la ganancia de PC como para un mejor rendimiento de lactancia. Por lo tanto, en este estudio, el efecto tóxico de la harina de vaina de mezquite no ocurrió, ya que el nivel de 2.0 % de PC del suplemento del concentrado mostró una mayor GDP (Cuadro 7).

Hubo un efecto lineal de los niveles de suplementación en las variables de rendimiento ($P < 0.05$) porque los niveles de suplementación del concentrado aumentaron la ingesta total de MS y mejoraron la digestibilidad, reflejando una mayor GDP.

La suplementación con sal proteico-mineral resultó en una reducción de la GDP como respuesta a la restricción de su ingesta y al avanzado estado de maduración del pasto *Urochloa*, que presentaba altos contenidos de FDN no digerible y PCr unida a la fracción fibrosa (Cuadro 1). Sin embargo, los animales mantenidos en pastoreo en condiciones semiáridas generalmente presentan una pérdida de PC durante el período crítico de la producción de forraje. Por lo tanto, el uso de tecnología simple, como la suplementación con sal proteico-mineral, suaviza los efectos de la baja disponibilidad y calidad de la biomasa. Además, los niveles de suplementación con concentrado proporcionaron una mayor GDP en comparación con la suplementación con sal proteico-mineral, y los niveles de 1.5 % y 2.0 % de PC proporcionaron 155 y 176 g en la GDP, respectivamente.

La ingesta de MS influye en el rendimiento, ya que determina el número de nutrientes ingeridos, que son necesarios para satisfacer los requerimientos de mantenimiento y producción animal. La conversión alimenticia al 0.5 % de PC de la suplementación con harina de vaina de mezquite sí indicó la mejor respuesta productiva respecto a los otros niveles, ya que los cabritos alcanzaron el peso ideal de sacrificio (35 kg) a los 92 días de suplementación.

Conclusiones e implicaciones

El uso de praderas diferidas permite un alto suministro de forraje en la estación seca del año, aunque sea de baja calidad; y cuando se combina con niveles mínimos de suplementación (0.5 % de PC), es posible aumentar la tasa de ganancia diaria promedio contribuyendo a la reducción del ciclo productivo. La suplementación con harina de vaina de mezquite al 2.0 % de PC proporciona una mayor ganancia diaria promedio y un peso corporal de sacrificio a los 92 días bajo pastoreo, lo que permite una mayor ganancia por área de pradera.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Estatal del Suroeste de Bahía por proporcionar la infraestructura física y el personal necesarios para este estudio. También estamos agradecidos por el apoyo financiero y las becas del Consejo Nacional de Investigación de Brasil (CNPq).

Literatura citada:

1. Gurgel ALC, Difante GS, Emerenciano Neto JV, Roberto FFS, Zaros LG, Costa MG, Ítavo LCV, Ítavo CCBF. Impact of supplementation with different protein sources on the parasitological profile of ovine matrices and development of lambs. *Biosci J* 2020;36(2):496-506.
2. Shio AR, Veloso CM, Silva FF, Ítavo LCV, Mateus RG, Silva RR. Ofertas de forragem para novilhas nelore suplementadas no período de seca e transição seca/águas. *Acta Sci Anim Sci* 2011;33(1):9-17. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v33i1.9112>.
3. Santos MER, Castro MRSA, Gouvêia SC, Gomes VM, Fonseca DM, Santana SS. Contribuição de perfis aéreos e basais na dinâmica de produção de forragem do capim-braquiária após o pastejo diferido. *Biosci J* 2014;30(1):24-430.
4. Euclides VPB, Montagner DB, Macedo MCM, Araújo AR, Difante GS, Barbosa RA. Grazing intensity affects forage accumulation and persistence of *Marandu palisadegrass* in the Brazilian savannah. *Grass Forage Sci* 2019;74:450-462. <https://doi.org/10.1111/gfs.12422>.
5. Fernandes LS, Difante S, Montagner DB, Emerenciano Neto JV, Araújo IMM, Campos NRF. Structure of massai grass pasture grazed on by sheep supplemented in the dry season. *Grassl Sci* 2017;1-7. <https://doi.org/10.1111/grs.12165>.
6. Geron LJV, Mexia AA, Garcia J, Silva MM, Zeoula LM. Suplementação concentrada para cordeiros terminados a pasto sobre custo de produção no período da seca. *Semina: Ciênc Agrár* 2012;33(2):797-808. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n2p797>.
7. Nascimento ML, Paulino MF, Detmann E, Leão MI, Valadares Filho SC, Henriques LT. Fontes de energia em suplementos múltiplos para novilhos em pastejo durante o período das águas. *Rev Bras Zootec* 2010;39(4):861-872.
8. Santos EJ, Pereira MLA, Cruz JF, Figueiredo MP, Almeida PJP, Novaes EJ, Souza ACS, Alencar DO, Sousa LB, Pereira TCJ. Crude protein levels in diets containing pelleted concentrate for lactating goats: intake, digestibility, milk production and composition. *Semina: Ciênc Agrár* 2015;36(4):2849-2860. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n4p2849>.

9. Santos EJ, Pereira MLA, Almeida PJP, Pereira TCJ, Chagas DMT, Silva TVBS. Excreções de derivados de purina obtidos por duas metodologias de coleta de urina em ovinos alimentados com farelo da vagem de algaroba em substituição a silagem de capim Elefante. *Rev Eletr Nutritime* 2015; 12.
10. Pereira TCJ, Pereira MLA, Almeida PJP, Carvalho GGP, Silva FF, Silva HGO, Santos AB. Substitution of corn for mesquite pod meal in diets for lambs. *Ital J Anim Sci* 2014;13:3278. <https://doi.org/10.4081/ijas.2014.3278>.
11. Santos AB, Pereira MLA, Silva HGO, Pedreira MS, Carvalho GGP, Ribeiro LSO, Almeida PJP, Pereira TCJ, Moreira JV. Nitrogen metabolism in lactating goats fed with diets containing different protein sources. *Asian Australas J Anim Sci* 2014;27(5):658-666. <https://doi.org/10.5713 / ajas.2013.13493>.
12. Pereira TCJ, Pereira MLA, Oliveira CAS, Argôlo LS, Silva HGO, Pedreira MS, Almeida PJP, Santos AB. Mesquite pod meal in diets for lactating goats. *Rev Bras Zootec* 2013;42(2):102-108. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982013000200004>.
13. Almeida PJP, Pereira MLA, Silva FF, Santos AB, Pereira TCJ, Santos EJS, Moreira JV. Santa Inês sheep supplementation on *Urochloa* grass pasture during the dry season: intake, nutrient digestibility and performance. *Rev Bras Zootec* 2012;41(3):668-674. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982012000300029>.
14. Silva VDA, Silva AMM, Silva JHC, Costa SL. Neurotoxicity of *Prosopis juliflora*: from natural poisoning to mechanism of action of its piperidine alkaloids. *Neurotox Res* 2018. <https://doi.org/10.1007/s12640-017-9862-2>.
15. William K, Jafri L. Mesquite (*Prosopis juliflora*): livestock grazin, its toxicity and management. *J Bior Management* 2015;2(2):49–58. <https://doi.org/10.35691/JBM.5102.0021>.
16. Tabosa IM, Riet-Correa F, Barros SS, Summers BA, Simões SVD, Medeiros RMT, Nobre VMT. Neurohistologic and ultrastructural lesions in cattle experimentally intoxicated with the plant *Prosopis juliflora*. *Vet Pathol* 2006;43(5):695–701. <https://doi.org/10.1354/vp.43-5-695>.
17. Thorthwaite CW. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr Rev* 1948;38:55-94.
18. McMeniman NP. Methods of estimating intake of grazing animals. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Juiz de Fora. Anais Juiz de Fora: Sociedade Brasileira de Zootecnia. 1997;34:131-168.
19. National Research Council. Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids and New World camelids. National Academies Press, Washington, DC. 2007.

20. Saliba EOS, Faria EP, Rodriguez NM, Moreira GR, Sampaio IBM, Saliba JS, Gonçalves LC, Borges I, Borges ALCC. Use of infrared spectroscopy to estimate fecal output with Marker LIPE®. *Int J Food Sci Nutri* 2015;S4:001:1-10. <https://dx.doi.org/10.19070/2326-3350-SI04001>.
21. Titgemeyer EC, Armendariz CK, Bindel DJ, Greenwood RHCA, Loest CA. Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker for cattle. *Animal Sci J* 2001;79(4):1059-1063. <https://doi.org/10.2527/2001.7941059x>.
22. Freitas TB, Felix T, Pedreira MS, Silva RR, Silva FF, Silva HGO, Tigre JS. Replacement of soybean meal with treated castor bean meal in supplements for grazing lambs. *Rev Bras Saúde Prod Anim* 2017;18(3):465-478. <https://doi.10.1590/s1519-99402017000300007>.
23. Casali AO, Detmann E, Valadares Filho SC, Pereira JC, Henriques LT, Freitas SG, Paulino MF. Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimento *in situ*. *Rev Bras Zootec* 2008;37(2):335-342. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008000200021>.
24. Detmann E, Paulino MF, Zervoudakis JT, Valadares Filho SC, Euclides RF, Lana RP, Queiroz SQ. Cromo e indicadores internos na estimação do consumo de novilhos mestiços suplementados a pasto. *Rev Bras Zootec* 2001;30(5):1600-1609. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000600030>.
25. Euclides VPB, Macedo MCM, Oliveira MP. Avaliação de diferentes métodos de amostragem sob pastejo. *Ver Bras Zootec* 1992;21(4):691-702.
26. AOAC. Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analysis Chemists, Arlington, Virginia. 1995.
27. Mertens DR. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *J AOAC Int* 2002;85(6):1217-1240.
28. Licitra G, Hernandez TM, Van Soest PJ. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feed. *Anim Feed Sci Technol* 1996;57(4):347-358. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00837-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00837-3).
29. Sniffen CJ, O'Connor JD, Van Soest PJ, Fox DG, Russell JB. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J Anim Sci* 1992;70(11):3562-3577. [https://doi.org/10.2527 / 1992.70113562x](https://doi.org/10.2527/1992.70113562x).
30. Hall MB. Neutral detergent-soluble carbohydrates. Nutritional relevance and analysis. Gainesville: University of Florida. 2003.

31. Weiss W. Energy prediction equations for ruminant. 1999. In: Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers, 61. Ithaca. Proc Cornell University. Ithaca. 1999:176-185.
32. Moore JE, Brant MH, Kunkle WE, Hopkins DI. Effects of supplementation on voluntary forage intake, diet digestibility, and animal performance. J Anim Sci 1999;77(Suppl 2):122-135.
33. Costa VAC, Detmann E, Valadares Filho SC, Paulino MF, Henriques LT, Mantovani HC. Degradação *in vitro* da fibra em detergente neutro de forragem tropical de baixa qualidade em função de suplementação com proteína e/ou carboidratos. Rev Bras Zootec 2008;37(3):494-503. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000300015>.
34. Costa VAC, Detmann E, Valadares Filho SC, Paulino MF, Henriques LT, Mantovani HC. Degradação *in vitro* da fibra em detergente neutro de forragem tropical de alta qualidade em função de suplementação com proteína e/ou carboidratos. Rev Bras Zootec 2009;38(9):1803-1811. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000900024>.