

Rendimiento y calidad de forraje y ensilado de pasto Mavuno mezclado con subproductos agroindustriales

Yield and quality of Mavuno grass forage and silage mixed with agro-industrial by-products

Juan Eduardo Godina-Rodríguez¹ , Jonathan Raúl Garay-Martínez² , José Felipe Orzuna-Orzuna³ , Andrés Gilberto Limas-Martínez⁴ , Jairo Jeu Quintanilla-Medina⁴ , Santiago Joaquín-Cancino^{4*} 

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Uruapan, Av. Latinoamericana 1101, Col, Revolución, CP. 60150. Uruapan, Michoacán, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Las Huastecas, Carretera Tampico-Mante km 55, CP. 89610. Altamira, Tamaulipas, México.

³Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Zootecnia, km 38.5, carretera México-Texcoco, CP. 56230. Chapingo, México.

⁴Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Centro Universitario, Campus, CP. 87149. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

*Autor de correspondencia: sjoaquin@docentes.uat.edu.mx

Artículo científico

Recibido: 13 de marzo 2024

Aceptado: 07 de febrero 2025

RESUMEN. El objetivo fue evaluar el rendimiento y calidad de ensilado y forraje pasto Mavuno a diferente intervalo de corte con el uso de aditivos. En Güémez, Tamaulipas se evaluó el rendimiento de forraje a intervalos de 3, 6 y 9 semanas de rebrote, con dos aditivos (cáscara de naranja y melaza). Los tratamientos fueron: 1) pasto Mavuno; 2) pasto Mavuno + cáscara de naranja; 3) pasto Mavuno + melaza y 4) pasto Mavuno + cáscara de naranja + melaza. Se determinó el rendimiento de materia seca (kg ha⁻¹) y el valor nutricional; contenido (g kg⁻¹ MS) de proteína cruda, fibra detergente ácido, neutro, lignina; variables de calidad del ensilado: pH, grados brix y porcentaje de materia seca del forraje, mediante un diseño de bloques completos al azar. Se realizó un análisis de varianza y se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de medias ($\alpha = 0.05$). Al cosechar el forraje a intervalo de nueve semanas, el rendimiento de materia seca fue 50 y 45% superior al obtenido en la tercera y sexta semana, mientras que, el contenido de proteína a intervalo de tres semanas fue 14 y 25% mayor al obtenido en la sexta y novena semana, respectivamente. El incremento en el intervalo de corte indujo mayor rendimiento de materia seca, pero el contenido de proteína disminuyó y se incrementaron los valores de fibras y lignina, mientras que, la adición de aditivos al forraje ensilado mejoró parámetros de calidad como proteína, grados brix y porcentaje de materia seca.

Palabras clave: Aditivos, ensilaje, intervalo de corte, manejo agronómico, *Urochloa* híbrido.

ABSTRACT. The objective was to evaluate the yield and quality of forage and silage of Mavuno grass at different cutting intervals with the use of additives. Forage yield was evaluated at intervals of 3, 6 and 9 weeks of regrowth, with two additives (orange peel and molasses). The treatments were: 1) Mavuno grass; 2) Mavuno grass + orange peel; 3) Mavuno grass + molasses and 4) Mavuno grass + orange peel + molasses. Dry matter yield (kg ha⁻¹) and nutritional value; content (g kg⁻¹ DM) of crude protein, acid detergent fiber, neutral detergent fiber, lignin; silage quality variables: pH, brix degrees and percentage of dry matter of the forage, were determined by a randomized complete block design. The data were analyzed by analysis of variance and the Tukey test was applied for comparison of means ($\alpha = 0.05$). When harvesting the forage at nine-week intervals, the dry matter yield was 50 and 45% higher than that obtained in the third and sixth weeks, while the protein content at three-week intervals was 14 and 25% higher than that obtained in the sixth and ninth weeks, respectively. The increase in the cutting interval induced a higher dry matter yield, however, the protein content decreased and the fiber and lignin values increased, while the addition of additives to the ensiled forage improved quality parameters such as protein, brix degrees and dry matter percentage.

Keywords: Additives, silage, cutting interval, agronomic management, *Urochloa* hybrid.

Como citar: Godina-Rodríguez JE, Garay-Martínez JR, Orzuna-Orzuna JF, Limas-Martínez AG, Quintanilla-Medina JJ, Joaquín-Cancino S (2025) Rendimiento y calidad de forraje y ensilado de pasto Mavuno mezclado con subproductos agroindustriales. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(1): e4063. DOI: 10.19136/era.a12n1.4063.

INTRODUCCIÓN

Los pastos son la fuente principal de alimento en los sistemas de producción de rumiantes, ya sean intensivos o extensivos (Quero *et al.* 2007). En las regiones tropicales dadas las condiciones edáficas y climáticas, la producción de forraje se ve limitada durante la época de mínima precipitación (Garay-Martínez *et al.* 2018); pero en la época de lluvias se produce un excedente de forraje (Cruz-Sánchez *et al.* 2018, Garay-Martínez *et al.* 2018), el cual, puede ser conservado para su posterior uso como ensilado y que resulta rentable al mantener la producción de los rumiantes en épocas críticas (Garcés *et al.* 2004).

Los pastos del género *Urochloa* han sido adoptados por los productores debido a sus características forrajeras deseables como son producción de materia seca y valor nutricional (Garay *et al.* 2020). Sin embargo, al avanzar la edad de los pastos, el valor nutricional disminuye (Rojas-García *et al.* 2018). En este sentido, los pastos carecen de carbohidratos no estructurales y presentan bajos porcentajes de materia seca (<30%), lo anterior, induce mayor contenido de humedad en el ensilado, por ende, dificulta el proceso de fermentación, ocasionando pérdidas de nutrientes y el deterioro del forraje (Marques *et al.* 2021). La inclusión de aditivos como subproductos agroindustriales es una opción viable para incrementar el porcentaje de materia seca en el ensilado, además de aportar carbohidratos no estructurales (Marques *et al.* 2021, Abo-Donia *et al.* 2022). El uso de los diferentes subproductos dependerá de los cultivos que se produzcan en la región, con la finalidad de reducir costos de producción por la importación y traslado de los subproductos (Caicedo *et al.* 2020), ya que la inclusión de subproductos que no se producen en la región donde se pretenden utilizar incrementan 34% los costos de producción (Gómez *et al.* 2017). En este sentido, en el estado de Tamaulipas existe una importante región citrícola que corresponde al municipio de Güémez con una producción de 210, 195 t de diferentes cítricos (naranja, lima, limón y toronja) (SIAP 2023). El municipio cuenta con plantas procesadoras de jugo de los diferentes cítricos producidos en la región, que producen residuos de cáscara, gabazo y semilla, los cuales, son de 105 097 t, considerando que del proceso de extracción el jugo representa 50% del peso total del fruto (Marín *et al.* 2007), estos residuos y, en especial los de naranja pueden ser utilizados en la alimentación de rumiantes, debido a que la naranja deshidratada contiene 91.8, 8.0, 11.4 y 5.5% de materia seca, proteína bruta, fibra bruta y cenizas, respectivamente (Espinoza-Zamora *et al.* 2019) y la melaza de caña de azúcar 76.8, 6.6, 48.8, 5.2 y 8.0% de materia seca, proteína cruda, sacarosa, glucosa y fructosa, respectivamente. En el contexto anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el rendimiento y calidad de forraje y ensilado de pasto Mavuno a diferente intervalo de corte con dos aditivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio experimental

El estudio se realizó durante el año 2021, en la Posta Zootécnica “Ingeniero Herminio García González” de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, ubicada en las coordenadas geográficas 23° 56’ 26.5” LN y 99° 05’ 59.9” LO, a 193 msnm (INEGI 2015).

Características edafoclimáticas

El clima del sitio experimental es seco clasificado como BS₁ (h') hw (Vargas *et al.* 2007). La temperatura y precipitación media anual es de 23.9 °C y 719 mm, respectivamente (SMN 2010). Se realizó un análisis de suelo en el año 2020 para determinar las características físicas y químicas (Tabla 1), las cuales, se determinaron en el Laboratorio de Suelos de la Central Integral de Laboratorios de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Tabla 1. Características químicas y físicas del suelo del sitio experimental.

pH	Nt	MO	Cat	P	K	Fe	Zn	Arena	Limo	Arcilla	RAS
	%			mg kg ⁻¹				%			
8.0	0.23	3.8	37.9	2.15	0.72	7.08	0.52	12.8	28.7	58.5	0.87

Nt: nitrógeno total; MO: materia orgánica; Cat: carbonatos totales; P: fósforo; K: potasio; Fe: Hierro; Zn: zinc; RAS: Relación de adsorción de sodio.

Material vegetal y subproductos agroindustriales evaluados

El material vegetal evaluado fue el pasto Mavuno, y como subproductos agroindustriales, cáscara de naranja deshidratada y melaza.

Tratamientos y manejo agronómico

El experimento se desarrolló en condiciones de temporal de marzo-julio de 2021 donde se tuvo una precipitación de 320 mm. Las parcelas utilizadas se establecieron en 2020 mediante 8 kg ha⁻¹ de semilla pura viable. Se sembró una superficie de 2 500 m² dividida en parcelas de 25 m². La siembra se realizó a chorrillo con una sembradora de granos finos BD 1108 de la marca John Deere® a distancia entre surcos de 0.15 m. Previo a la evaluación, se realizó un corte de uniformidad a 15 cm del suelo (altura residual) y se fertilizaron las praderas a dosis de 50-50-50 kg ha⁻¹ de N, P y K al realizar el corte de uniformidad, posteriormente, se cosechó el forraje a diferentes edades de rebrote (3, 6 y 9 semanas) por triplicado. El forraje cosechado y almacenado en el silo fue de 2.5 kg, al cual, se le añadió 10% (250 g) de cáscara de naranja y 5% (125 g) de melaza a cada tratamiento (Tabla 2) y, para cada edad de rebrote.

Tabla 2. Conformación de los tratamientos de ensilado de pasto Mavuno.

Tratamiento	Componentes	%
MAV (testigo)	Pasto Mavuno	100
MAVCN	Pasto Mavuno + cáscara de naranja	90 + 10
MAVM	Pasto Mavuno + melaza	95 + 5
MAVCNM	Pasto Mavuno + cáscara de naranja + melaza	85 + 10 + 5

Determinación del rendimiento de materia seca

Previo a la cosecha del forraje se realizaron mediciones con un metro de madera para determinar la altura de planta, medida desde la superficie del suelo hasta la lígula de la última hoja completamente expandida, se tomaron tres alturas dentro de 1 m² (unidad experimental).

Posteriormente, se cosechó el forraje contenido en la unidad experimental, el forraje cosechado se pesó inmediatamente en una balanza analítica (CQT 2601, ADAM®) para obtener el rendimiento de materia verde (MV), después se pesaron 300 gramos de la muestra para realizar la determinación de la composición morfológica (hoja, tallo y materia muerta) y el rendimiento de materia seca, posteriormente, la muestra fue colocada en una estufa de aire forzado (OMS60, Thermo Scientific®) a 55 °C hasta obtener peso constante, posteriormente, las muestras se pesaron y se obtuvo el rendimiento en g m², posteriormente, se calculó el rendimiento por ha.

Elaboración de ensilados

La elaboración de ensilados se realizó con el forraje cosechado en cada edad de rebrote (alrededor de 50 kg), a 15 cm de altura residual, posteriormente, se picó con una desbrozadora FS 250 2.14Hp Stihl® dejando un tamaño de partícula de 2.0 ± 0.5 cm (tamaño recomendado para lograr una adecuada compactación de forraje en el silo). El forraje picado fue mezclado por separado con los diferentes subproductos agroindustriales utilizados para elaborar los distintos tratamientos. La melaza se disolvió en agua en proporción 1:1 (1 kg de melaza/1 L de agua). La cáscara de naranja fue previamente deshidratada en una estufa de aire forzado (OMS60, Thermo Scientific®) y triturada en un molino Thomas-Wiley Mill® usando una criba de 2 mm de diámetro.

El forraje picado y mezclado con los diferentes ingredientes fue depositado en microsilos de tubos de PVC (6" diámetro × 40 cm de altura, con tapa fija en el extremo inferior), el forraje se añadió por partes para lograr una adecuada compactación con el uso de una prensa manual. El sellado del microsilo se realizó con una capa de polietileno fijada con cinta adhesiva para evitar el ingreso de aire hacia el interior del silo.

Determinación de características químicas y contenido de materia seca en ensilados

Para la determinación del pH del ensilado se tomaron 10 gramos de muestra de ensilado y se depositó en un vaso de precipitado, posteriormente, se añadieron 100 mL de agua destilada y se realizaron agitaciones cada 5 minutos durante 10 segundos, para un total de siete agitaciones, una vez concluido ese paso se procedió a medir el pH con un potenciómetro (Cañaverall-Martínez *et al.* 2020). Para la medición de grados Brix se tomaron 10 g de muestra de ensilado y se maceraron en un crisol, se tomó una gota del extracto y se colocó sobre la pista del refractómetro y mediante una escala visual se determinó el contenido de grados brix. Para el porcentaje de materia seca se tomaron 200 g de muestra de ensilado y se sometió la muestra a un proceso de secado en una estufa de aire forzado (OMS60, Thermo Scientific®) a 55 °C hasta obtener peso constante.

Análisis proximal

Las muestras de materia seca de forraje y ensilado se molieron en un molino Thomas-Wiley Mill® usando una criba de 1 mm de diámetro. A las muestras se les determinó el contenido de proteína cruda mediante el procedimiento descrito por la AOAC (2000) y para la determinación del contenido de fibra detergente neutro y ácido y lignina se utilizó la metodología descrita por Van-Soest *et al.* (1991).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las variables evaluadas se analizaron bajo un diseño de bloques completos al azar, mediante un análisis de varianza y se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de medias ($\alpha = 0.05$), con el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico SAS (2002).

RESULTADOS

Rendimiento de materia seca total y por componente morfológico

El rendimiento de forraje incrementó con la edad de rebrote ($p < 0.05$). La mayor acumulación de materia seca de hoja, tallo y total se obtuvo en la novena semana de rebrote, con rendimientos de materia seca de 6 752 813 y 7 694 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabla 3). El rendimiento de materia seca de hoja en la novena semana fue superior 50 y 45% al obtenido en la tercera y sexta semana, respectivamente. El componente tallo se presentó a intervalo de seis semanas, y fue 88% menos, al obtenido en la novena semana. En el rendimiento de materia muerta no se obtuvieron diferencias ($p > 0.05$) entre la sexta y novena semana, sin presencia en la tercera semana. El rendimiento de materia seca total fue mayor en la novena semana ($p < 0.05$), mientras que, entre la tercera y sexta semana no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). El rendimiento de materia seca total fue superior 56 y 48% al obtenido en la tercera y sexta semana, respectivamente.

Tabla 3. Rendimiento de forraje en materia seca de pasto Mavuno a diferente intervalo de corte.

Intervalo de corte (Semanas)	Hoja	Tallo	Materia muerta	Materia seca total
	kg ha ⁻¹ MS			
3	3 425 ^b	0 ^c	0 ^b	3 425 ^b
6	3 841 ^b	103 ^b	131 ^a	4 075 ^b
9	6 752 ^a	813 ^a	128 ^a	7 693 ^a

Literales diferentes entre columnas (a, b) indican diferencia estadística (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Valor nutritivo de forraje

El contenido de PC, FDA, FDN y LIG obtenido difirió entre edades de rebrote ($p \leq 0.05$) donde el contenido de PC disminuyó al incrementar el intervalo de corte, mientras que, el contenido de FDA, FDN y LIG, incrementaron (Tabla 4). El mayor contenido de PC se obtuvo en la tercera semana y fue superior 14 y 25% al obtenido en la sexta y novena semana, respectivamente. El mayor contenido de FDA se obtuvo en la novena semana y fue superior en 29 y 11% al obtenido en la tercera y sexta semana, respectivamente. El contenido de FDN obtenido en la tercera semana fue 15% menor al obtenido en la novena semana, sin embargo, fue similar al obtenido en la sexta semana. El contenido de LIG, obtenido en la tercera semana fue 25 y 30% menor al obtenido en la sexta y novena semana.

Tabla 4. Calidad de forraje de pasto Mavuno a diferente intervalo de corte.

Intervalo de corte (Semanas)	Proteína cruda	Fibra detergente neutro	Fibra detergente ácido	Lignina
	g kg ⁻¹ MS			
3	150 ^a	625 ^b	276 ^c	22 ^b
6	130 ^b	682 ^{ab}	345 ^b	29 ^a
9	113 ^c	731 ^a	385 ^a	31 ^a

Literales diferentes entre columnas (a, b, c) indican diferencia estadística (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Valor nutritivo del ensilado

El contenido de proteína disminuyó conforme se incrementó el intervalo de corte ($p < 0.05$). El mayor contenido de proteína se obtuvo en la tercera semana, el cual, fue mayor 19 y 25% al obtenido en la sexta y novena semana, respectivamente. La adición de cáscara de naranja y melaza incrementaron el contenido de proteína cruda del ensilado (Tabla 5). En la tercera semana de rebrote, el contenido de proteína cruda fue similar ($p > 0.05$) entre los tratamientos MAVCN, MAVM y MAVCNM; sin embargo, el tratamiento MAVCNM fue diferente ($p < 0.05$) al tratamiento MAV, el cual, obtuvo 14% más de proteína cruda. En el intervalo de seis semanas, el mayor contenido de proteína cruda se obtuvo en los tratamientos MAVM y MAVCNM con 129 y 135 g kg⁻¹ MS, respectivamente, dichos valores fueron superiores 7 y 11%, respectivamente, al obtenido en el tratamiento MAV (121 g kg⁻¹ MS), mientras que, en el intervalo de nueve semanas, el contenido de proteína cruda en los tratamientos MAVCN, MAVM y MAVCNM fue similar ($p > 0.05$), sin embargo, fueron diferentes al testigo, en donde el contenido de proteína cruda fue menor 17% al obtenido en el tratamiento MAVCN y 21% al obtenido en MAVM y MAVCNM, respectivamente. El contenido de FDA incrementó cuando se prolongó el intervalo de corte, por lo cual, el mayor valor en promedio se obtuvo el intervalo de nueve semanas y el menor a intervalo de tres semanas. En el intervalo de tres semanas, los tratamientos MAVCN y MAVCNM obtuvieron los mayores valores, los cuales, fueron superiores 22 y 17% al valor obtenido en el tratamiento MAVM, mientras que, en el intervalo de seis semanas, el mayor valor se obtuvo en el tratamiento MAVCN, en el intervalo de nueve semanas, fueron similares los tratamientos MAV y MAVCN, mientras que, el menor valor se obtuvo en el tratamiento MAVM. En el contenido de FDN se obtuvo un comportamiento similar al contenido de FDA, la cual, se incrementó al prolongar el intervalo de corte, obteniendo los mayores contenidos en el intervalo de seis y nueve semanas ($p < 0.05$). En el intervalo de tres semanas, el mayor contenido se obtuvo en los tratamientos MAV y MAVCNM, sin embargo, este último fue similar al tratamiento MAVCN y MAVM. En el intervalo de corte de seis semanas, el mayor contenido se obtuvo en tratamiento MAV y MAVCN, mientras que, a las nueve semanas el tratamiento MAV fue superior al obtenido en los tratamientos MAVCN, MAVM y MAVCNM. El contenido de LIG se incrementó al prolongar el intervalo de corte ($p < 0.05$). El menor y mayor contenido se obtuvo a intervalo de corte de tres y nueve semanas, respectivamente. En el intervalo de corte de tres semanas, el mayor contenido se obtuvo en los tratamientos MAVCN y MAVCNM y, el menor en el tratamiento MAVM, mientras que, a intervalo de corte de seis semanas el menor y mayor contenido se obtuvo en los tratamientos MAVM y MAVCN, respectivamente. A intervalo de nueve semanas el mayor contenido se obtuvo en los tratamientos MAV y MAVCN y, el menor, en el tratamiento MAVM.

Tabla 5. Valor nutritivo de ensilado de pasto Mavuno con diferentes subproductos agroindustriales a diferente intervalo de corte.

Tratamientos	Intervalo de corte (Semanas)	PC	FDN	FDA	LIG
		g kg ⁻¹ MS			
Mavuno	3	145 ^b	524 ^a	295 ^{bc}	22 ^{bc}
Mavuno + cáscara de naranja		156 ^{ab}	462 ^b	338 ^a	27 ^a
Mavuno + melaza		157 ^{ab}	447 ^b	266 ^c	20 ^c
Mavuno + cáscara de naranja + melaza		167 ^a	475 ^{ab}	317 ^{ab}	25 ^{ab}
Promedio		156 ^A	477 ^B	304 ^C	23 ^C
Mavuno	6	121 ^c	580 ^a	346 ^b	28 ^b
Mavuno + cáscara de naranja		124 ^{bc}	576 ^a	399 ^a	31 ^a
Mavuno + melaza		129 ^{ab}	538 ^b	305 ^b	25 ^c
Mavuno + cáscara de naranja + melaza		135 ^a	528 ^b	345 ^b	28 ^b
Promedio		127 ^B	555 ^A	348 ^B	28 ^B
Mavuno	9	100 ^b	671 ^a	454 ^a	36 ^a
Mavuno + cáscara de naranja		120 ^a	585 ^b	425 ^{ab}	36 ^a
Mavuno + melaza		126 ^a	508 ^c	352 ^c	27 ^c
Mavuno + cáscara de naranja + melaza		126 ^a	528 ^{bc}	397 ^{bc}	32 ^b
promedio		118 ^C	573 ^A	407 ^A	33 ^A

PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; LIG: lignina. Literales diferentes entre columnas (a, b, c) y (A, B, C) indican diferencia estadística entre tratamientos e intervalos de corte, respectivamente (Tukey, $\alpha = 0.05$).

VARIABLES DE CALIDAD DEL ENSILADO

El valor de pH entre intervalos de corte fue diferente en la tercera y sexta semana de corte ($p < 0.05$). Tanto en el intervalo de tres semanas como el de nueve, no se obtuvieron diferencias entre los valores de pH de los tratamientos ($p > 0.05$), mientras que, a intervalo de seis semanas, el tratamiento MAVCN presentó el mayor valor (4.2) con respecto a los tratamientos MAVM y MAVCNM, ambos con valor de pH de 3.8 (Tabla 6). El contenido de grados brix disminuyó al prolongar la edad de rebrote de tres a seis semanas ($p < 0.05$). A intervalo de tres y seis semanas, el contenido de azúcares solubles o grados brix fue similar entre tratamientos ($p > 0.05$), sin embargo, a intervalo de nueve semanas, los tratamientos MAVM y MAVCNM presentaron los mayores valores ($p < 0.05$). El porcentaje de materia seca fue inferior en el intervalo de nueve semanas en comparación a tres y seis semanas ($p > 0.05$); sin embargo, en este último intervalo, el mayor contenido de este parámetro se presentó en el MAVCNM en comparación a MAV ($p > 0.05$).

Tabla 6. Indicadores de calidad en ensilado de pasto Mavuno con diferentes subproductos agroindustriales a diferente intervalo de corte.

Tratamiento	Intervalo de corte (semanas)	pH	Grados brix	Materia seca (%)
Mavuno	3	4.1 ^a	12.5 ^a	30 ^a
Mavuno + cáscara de naranja		4.3 ^a	13.0 ^a	35 ^a
Mavuno + melaza		4.1 ^a	15.0 ^a	34 ^a
Mavuno + cáscara de naranja + melaza		4.3 ^a	12.7 ^a	35 ^a
Promedio		4.2 ^A	12.9 ^A	33 ^A
Mavuno	6	4.1 ^{ab}	10.2 ^a	28 ^b
Mavuno + cáscara de naranja		4.2 ^a	10.5 ^a	31 ^{ab}
Mavuno + melaza		3.8 ^b	13.7 ^a	30 ^{ab}
Mavuno + cáscara de naranja + melaza		3.8 ^b	13.0 ^a	32 ^a
Promedio		3.9 ^B	11.8 ^A	30 ^A
Mavuno	9	4.2 ^a	6.5 ^b	21 ^a
Mavuno + cáscara de naranja		4.2 ^a	7.0 ^b	26 ^a
Mavuno + melaza		4.0 ^a	11.5 ^a	26 ^a
Mavuno + cáscara de naranja + melaza		3.9 ^a	11.5 ^a	26 ^a
Promedio		4.0 ^{AB}	9.1 ^B	25 ^B

Literales diferentes entre columnas (a, b) y (A, B) indican diferencia estadística entre tratamientos e intervalos de corte, respectivamente (Tukey, $\alpha = 0.05$).

DISCUSIÓN

Rendimiento de forraje total y por componente morfológico

El rendimiento de forraje es influenciado por el manejo agronómico como la intensidad e intervalo de corte, en este sentido, prolongar el intervalo de corte induce a una mayor acumulación de forraje (Garay-Martínez *et al.* 2018, Godina-Rodríguez *et al.* 2022), ya que, permite a la planta generar nueva área foliar, lo cual, incrementa la tasa de crecimiento (Ramírez *et al.* 2009), sin embargo, se reduce el valor nutricional. El comportamiento observado en el incremento del rendimiento de forraje ha sido reportado por Robles-Vega *et al.* (2020) quienes al evaluar diferentes híbridos del género *Urochloa* a diferente intervalo de corte (6, 8 y 10 semanas), obtuvieron en el cultivar Mavuno, rendimiento de materia seca de 5 312 kg ha⁻¹ en la sexta semana, superior al obtenido en la presente investigación a intervalo de seis semanas, lo anterior, atribuido a la precipitación durante el periodo de evaluación que fue de 517 mm, comparado con 320 mm obtenidos durante el periodo de evaluación de esta investigación. En este sentido, cosechar a mayor intervalo de corte propicia mayor acumulación del componente tallo, ya que a intervalos más prolongados supera en rendimiento al componente hoja (Rojas-García *et al.* 2018), lo anterior, repercute en el contenido de proteína presente en el forraje, debido a que cuando se acumula mayor cantidad de tallo, el contenido de proteína disminuye (Garay *et al.* 2020). El rendimiento de tallo obtenido es menor a lo reportado por Rodrigues *et al.* (2021) quienes al evaluar el cultivar Mavuno a diferentes

intensidades de corte (5 y 15 cm), obtuvieron 697 y 420 kg ha⁻¹, respectivamente, al cosechar a intervalo de cuatro semanas; en esta investigación la acumulación de tallo fue de 103 kg ha⁻¹ a intervalo de seis semanas, mientras que, el rendimiento de materia seca de materia muerta obtenido al cosechar a 5 y 15 cm fue de 246 y 140 kg ha⁻¹, respectivamente; rendimiento similar se obtuvo en esta investigación al cosechar a 15 cm de altura residual a intervalo de seis y nueve semanas con 131 y 128 kg ha⁻¹, respectivamente.

Valor nutricional del forraje

El contenido de proteína cruda obtenido en el forraje es superior al reportado por Da-Silva *et al.* (2020) quienes obtuvieron valores de PC de 120 y 100 g kg⁻¹ MS al cosechar a intervalos de tres y seis semanas, respectivamente, aplicando una fertilización de 60 N, 6 P y 50 K kg ha⁻¹, mientras que, en la presente investigación los valores de PC fueron de 150 y 130 g kg⁻¹ MS al cosechar a intervalos de tres y seis semanas, respectivamente con dosis de fertilización de 50 N, 50 P y 50 K kg ha⁻¹. Por su parte, Rodrigues *et al.* (2021) reportaron contenidos de 101 y 115 g kg⁻¹ MS, al cosechar a intervalo de cuatro semanas e intensidad de 5 y 15 cm con dosis de fertilización de 60-6-50 kg ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente; valores inferiores a los obtenidos en esta investigación aun y cuando se cosecho el forraje a intervalo de seis semanas, debido a que se obtuvo menor acumulación de tallo y, de acuerdo con Rojas-García *et al.* (2018) cuando el contenido de tallo es menor en el forraje con respecto al contenido de hoja, se obtienen mayores valores de PC, debido a que la hoja presenta mayor contenido de PC con respecto al tallo (Rojas *et al.* 2024). Por otra parte, prolongar el intervalo de corte induce a una mayor acumulación de carbohidratos estructurales como celulosa, hemicelulosa y lignina en el forraje (Lascano 2002), por lo que se obtienen valores de FDA, FDN y LIG superiores, por ende, disminuye la digestibilidad del forraje (Garay *et al.* 2020). Los valores de FDN fueron similares a los reportados por Da-Silva *et al.* (2020) quienes al evaluar el cultivar Mavuno a intervalos de tres y seis semanas, reportaron valores de 600 y 630 g kg⁻¹, respectivamente. Por su parte, Prudencio *et al.* (2023) reportaron valores promedio de FDN y FDA de 674 y 335 g kg⁻¹, similares a los valores promedio obtenidos en esta investigación.

Valor nutricional del ensilado

En el presente estudio, el ensilaje de pasto registró mayor valor nutricional. Lo anterior, se debe a que los pastos presentan alto contenido de humedad, lo cual, induce un inadecuado proceso de fermentación, lo que ocasiona pérdida de nutrientes por efluentes (Marques *et al.* 2021). Por el contrario, el ensilaje de pasto con diferentes aditivos incrementó el valor nutricional del ensilado. Al añadir cáscara de naranja al ensilaje mezclado con pasto *Andropogon gayanus*, Dahiru *et al.* (2022) obtuvieron incremento en el valor de proteína de 0.6% al añadir 6% de cáscara de naranja; similar comportamiento se observó en la presente investigación al añadir 10% de cáscara de naranja al ensilaje con pasto Mavuno, lo cual, incrementó el contenido de proteína 1.1%. Así mismo, Souza *et al.* (2022) al evaluar ensilado de maíz mezclado con pulpa de naranja obtuvieron incremento en el contenido de proteína, ya que paso de 77.4 a 98.2 g kg de materia seca al añadir 40% de pulpa de naranja. Los incrementos en el contenido de proteína pueden deberse a que, al añadir residuos de cítricos al forraje de pasto, se obtiene un ensilado con menor contenido de carbohidratos no fibrosos, por ende, se obtiene menor contenido de celulosa y hemicelulosa (Dos-Anjos *et al.* 2022), lo cual, induce un mejor aprovechamiento de los nutrientes en el rumen por parte de los

microorganismos. El incremento del contenido de fibra detergente ácido y neutro al añadir cáscara de naranja al forraje de pasto Mavuno, se debe a que la cáscara de naranja presenta mayor contenido de fibras, sin embargo, estas suelen ser más digeribles, por ende, se obtienen mayores valores de digestibilidad (Grizotto *et al.* 2020), así mismo, se ha reportado que la adición de cáscara de naranja al ensilaje induce mayor contenido de levaduras y bacterias ácido lácticas, las cuales promueven la degradación de carbohidratos fibrosos como celulosa, hemicelulosa y lignina (Ebrahimi *et al.* 2016), reflejado en la producción animal, ya que al contener mayor cantidad de bacterias ácido lácticas en el ensilado ofrecido a rumiantes se ha obtenido mayor producción de carne y leche (Queiroz *et al.* 2018).

Variables de calidad del ensilado y porcentaje de materia seca

El pH es considerado como un indicador que condiciona el proceso de fermentación; en este sentido, Lorenzo-Hernández *et al.* (2019) mencionan que un ensilado puede presentar valores de pH de 3.8 a 4.1 lo que indica un adecuado proceso de fermentación, por lo que, las características de calidad y bromatológicas del ensilado no se ven afectadas. En este sentido, los valores de pH obtenidos se encuentran del rango establecido. Los grados brix representan el contenido de azúcares solubles, generalmente por compuestos como glucosa, sacarosa y fructuosa (Mathur *et al.* 2017), la presencia de estos azúcares en el forraje ensilado induce un adecuado proceso de fermentación, ya que, las bacterias al consumir los azúcares inducen la producción de ácidos orgánicos, los cuales, provocan un descenso en el pH (Cunha *et al.* 2022). El contenido de azúcares en los pastos varía entre los diferentes géneros. Al respecto, se ha reportado que cultivares del género *Urochloa* como Mulato II presentan contenido de 9.1 grados brix, mientras que, pastos del género *Cynodon* y *Panicum* presentan contenidos de 8.2 y 7.0 grados brix, respectivamente (Suárez-Paternina *et al.* 2015). En este sentido, la concentración de grados brix obtenida en la presente investigación en el pasto Mavuno es superior a lo reportado anteriormente, atribuido a que la cosecha del forraje se realizó a medio día, por ende, existe mayor concentración de grados brix en la planta durante la tarde, debido a una mayor tasa fotosintética (Suárez-Paternina *et al.* 2015, Cardona-Iglesias *et al.* 2020). La disminución del contenido de grados brix en el ensilado al incrementar la edad de rebrote, puede deberse a una menor concentración de carbohidratos no estructurales (Cardona-Iglesias *et al.* 2020). En cuanto al contenido de materia seca se ha reportado que previo al ensilaje existen factores de manejo como el corte, secado, picado y empacado del forraje que ocasionan pérdida de materia seca (Rotz 2003), sin embargo, durante el proceso de fermentación del forraje ensilado también ocurren pérdidas en el porcentaje de materia seca y contenido de proteína debido a la respiración del forraje inducida por el oxígeno que queda atrapado al momento del sellado del silo (McAllister y Hristov, 2000). Lo anterior, puede ser la causa de la disminución del porcentaje de materia seca a intervalo de nueve semanas, sin embargo, a pesar de lo antes mencionado, los tratamientos MAVCN, MAVM y MAVCNM presentaron los mayores valores de materia seca respecto al testigo (MAV).

CONCLUSIONES

El forraje cosechado a intervalo de nueve semanas indujo mayor rendimiento de materia seca con disminución en el contenido de proteína e incremento en los valores de FDN, FDA y LIG; sin embargo, la adición de aditivos como melaza y cáscara de naranja al forraje ensilado, mejoró parámetros de calidad del forraje como el contenido PC, así como las variables de calidad del ensilado como grados brix y contenido de materia seca.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería y Ciencias por facilitar las instalaciones de la Posta Zootécnica para el establecimiento de las parcelas experimentales. A la empresa Leguminutre, S. A. de C. V. por proporcionar la semilla de pasto Mavuno para su evaluación y al Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, por facilitar el laboratorio de Nutrición Animal para realizar los análisis bromatológicos de las muestras.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflicto de intereses

LITERATURA CITADA

- Abo-Donia MF, El-Shora AM, Abd-Elaziz RW, Elgamal BN, El-Hamady AW (2022) Improve the nutritional value and utilization of rice straw via an ensiling process with different sources of energy and nitrogen enrichment. *Journal of Applied Animal Research* 50: 333-341. <https://doi.org/10.1080/09712119.2022.2076685>.
- AOAC (2000) Official Methods of Analysis of AOAC International. Association of Official Analytical Chemists. USA. 2000p.
- Caicedo W, Viáfara D, Pérez M, Ferreira AFN, Rubio G, Yanza R, Caicedo M, Caicedo L, Valle S, Ferreira MW (2020) Características químicas del ensilado de raquis de plátano (*Musa paradisiaca*) y banano orito (*Musa acuminata* AA) tratado con suero de leche y urea. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 31: e19035. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i4.19035>
- Cañaveral-Martínez UR, Sánchez-Santillán P, Torres-Salado N, Sánchez-Hernández D, Herrera Pérez J, Rojas-García AR (2020) Características de calidad, bromatológicas y fermentativas *in vitro* de ensilado de mango maduro. *Revista Mexicana Agroecosistemas* 8(1): 82-90.
- Cardona-Iglesias JL, Urbano-Estrada MF, Castro-Rincón E (2020) Evaluación de sólidos solubles en recursos forrajeros del trópico alto en el departamento de Nariño. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* 15: 8-22. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.15.2.1>
- Cruz-Sánchez OE, Cruz-Hernández A, Gómez-Vázquez A, Chay-Canul AJ, Joaquín-Cancino S, De la Cruz-Lázaro E, Márquez-Quiroz C, Osorio-Osorio R, Hernández-Garay A (2018) Producción de forraje y valor nutritivo del pasto mulato II (*Bracharia* híbrido 36087) a diferente régimen de pastoreo. *Agroproductividad* 11: 18-23.

- Cunha BT, Pereira VA, Lédo SFJ, Daher FR, Machado CJ (2022) Sugar content variation in elephant grass germplasm. *Ciência Rural* 52: e20200739. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200739>
- Dahiru M, Abdurrahman LS, Umar MA, Muhammad Y, Muhammad SA, Rahama MH, Halilu H, Abdullahi B (2022) Effects of fruits peels as an additives on ensiling qualities of gamba grass. *Journal of Agriculture and Agricultural Technology* 8: 145-149. <https://doi.org/10.33003/jaat.2022.0802.19>
- Da-Silva SHM, Vendramini BJM, De Oliveira LFC, Filho SCV, Kaneko M, Silveira LM, Sanchez DJM, Yarborough KJ (2020) Harvest frequency effects on herbage characteristics of 'Mavuno' *Brachiaria* grass. *Crop Science* 60: 1113-1122. <https://doi.org/10.1002/csc2.20046>
- Dos-Anjos ANA, Almeida CJC, Viegas CR, Silva FPH, Morais FL, Nepomuceno DD, De-Carvalho CAB, Soares FA (2022) Protein and carbohydrate profiles of 'Massai' grass silage with pelleted citrus pulp and microbial inoculant. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 57: e02732. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02732>
- Ebrahimi M, Rajion MA, Goh YM, Farjam AS, Sazili AQ, Schonewille JT (2016) The effects of adding lactic acid bacteria and cellulase in oil palm (*Elais Guineensis* Jacq.) frond silages on fermentation quality. *Italian Journal of Animal Science* 13: 557-562. <https://doi.org/10.4081/ijas.2014.3358>
- Espinoza-Zamora A, Orozco-Benítez G, Vázquez-López Y, Romo-Rubio J, Escalera-Valente F, Martínez-González S (2019) Una revisión sobre la pulpa de naranja: Cantidad, composición y usos. *Abanico Agroforestal* 1: 1-14.
- Garay JR, Estrada B, Bautista Y, Bernal-Flores A, Mendoza SI, Martínez JC, Sosa E, Santiago J (2020) Forage yield and quality of buffel H-17 and *Urochloa* hybrids at different regrowth ages under semi-arid conditions. *Grassland Science* 66: 277-284. <https://doi.org/10.1111/grs.12278>
- Garay-Martínez JR, Joaquín-Cancino S, Estrada-Drouaillet B, Martínez-González JC, Joaquín-Torres B, Limas-Martínez AG, Hernández-Meléndez J (2018) Acumulación de forraje de pasto buffel e híbridos de *Urochloa* a diferente edad de rebrote. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 5: 573-581. <https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1634>
- Garcés MAM, Roa BL, Alzate RS, León SGJ, Arango BAF (2004) Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *Revista Lasallista de Investigación* 1(1): 66-71
- Godina-Rodríguez JE, Joaquín-Cancino S, Estrada-Drouaillet B, Garay-Martínez JR, Limas-Martínez AG, Bautista-Martínez Y (2022) Forage yield of *Urochloa* grass cv Camello I and II at different cutting frequencies and intensities. *Agroproductividad* 15: 87-93. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i7.2315>
- Gómez OLM, Posada OSL, Olivera ÁM, Rosero NR, Aguirre MP (2017) Análisis de rentabilidad de la producción de leche de acuerdo con la variación de la fuente de carbohidrato utilizada en el suplemento de vacas holstein. *Revista de Medicina Veterinaria* (34): 9-22. <https://doi.org/10.19052/mv.4251>
- Grizotto KR, Siqueira RG, Campos AF, Modesto TR, Resende DF (2020) Fermentative parameters and aerobic stability of orange peel silage with pelleted citrus pulp. *Revista Brasileira de Zootecnia* 49: e20190265. <https://doi.org/10.37496/rbz4920190265>
- INEGI (2015) Anuario estadístico y geográfico de Tamaulipas 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes, México. 521p.
- Lascano CE (2002) Caracterización de las pasturas para maximizar producción animal. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 10: 126-132.
- Lorenzo-Hernández R, Torres-Salado N, Sánchez-Santillán P, Herrera-Pérez J, Mayrén-Mendoza FJ, Salinas-Ríos T (2019) Evaluación de las características de calidad y bromatológicas de ensilados elaborados con residuos de calabaza (*Cucurbita argyrosperma*). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 35: 957-963. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.14>

- Marín RF, Soler C, Benavente O, Castillo J, Pérez JA (2007) By-products from different citrus processes as a source of customized functional fibres. *Food Chemistry* 100(2): 736-741. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.040>
- Marques COF, Sales JEC, Monção PF, Silva FA, Rigueira SJP, Pires ADA (2021) Potential for using dehydrated banana peel as an additive in grass silage. *Agrarian Sciences Journal* 12: 01-08. <https://doi.org/10.35699/2447-6218.2021.32807>
- Mathur S, Umakanth AV, Tonapi VA, Sharma R, Sharma MK (2017) Sweet sorghum as biofuel feedstock: recent advances and available resources. *Biotechnology for Biofuels* 10: 1-12. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0834-9>
- McAllister TA, Hristov AN (2000) The fundamentals of making good quality silage. *Advances in Dairy Technology* 12: 381-399.
- Prudencio FM, Almeida CLJ, Moreira A, Freitas SG, Heinrichs R, Filho SCV (2023) Effect of phosphorus-containing polymers on the shoot dry weight yield and nutritive value of Mavuno grass. *Agronomy* 13: e1145. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041145>
- Queiroz OCM, Ogunade IM, Weinberg Z, Adesogan AT (2018) Silage review: Foodborne pathogens in silage and their mitigation by silage additives. *Journal of Dairy Science* 101: 4132-4142. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13901>
- Quero CAR, Enríquez QJF, Miranda JL (2007) Evaluación de especies forrajeras en América Tropical, avances o status quo. *Interciencia* 32: 566-571.
- Ramírez RO, Hernández GA, Da Silva CS, Pérez PJ, Enríquez QJF, Quero CAR, Herrera HJG, Cervantes NA (2009) Acumulación de forraje, crecimiento y características estructurales del pasto Mombaza (*Panicum maximum* Jacq.) cosechado a diferentes intervalos de corte. *Técnica Pecuaria en México* 47: 203-213.
- Robles-Vega FJ, Granados-Rivera LD, Joaquín-Cancino S, Aguado-Lara G, Rivas-Jacobo MA, Garay-Martínez JR (2020) Forage yield of Urochloa cultivars in a warm sub-humid environment. *Agroproductividad* 13: 75-81. <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i12.1902>
- Rodrigues LF, Vendramini BJM, Dos Santos CA, Dubeux BJC., Miotto CFR, Sousa FL, Alencar NM (2021) Canopy characteristics of 'Mavuno' hybrid *Brachiaria* grass and 'Marandu' palisadegrass harvested at different harvest intensities. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 9: 249-255. [https://doi.org/10.17138/tgft\(9\)249-255](https://doi.org/10.17138/tgft(9)249-255)
- Rojas GAR, Maldonado PMÁ, Ortega ASÁ, Palemón AF, Pérez HH, Ventura RJ (2024) Dinámica de formación de tallos, rendimiento y análisis bromatológico del pasto Mulato II (*Urochloa* híbrido) en el Trópico Seco de México. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 2(1): 1-10. [https://doi.org/10.17138/tgft\(12\)1-10](https://doi.org/10.17138/tgft(12)1-10)
- Rojas-García AR, Torres-Salado N, Maldonado-Peralta MÁ, Sánchez-Santillán P, García-Balbuena A, Mendoza-Pedroza SI, Álvarez-Vázquez P, Herrera-Pérez J, Hernández-Garay A (2018) Curva de crecimiento y calidad del pasto cobra (*Brachiaria* híbrido BR02/1794) a dos intensidades de corte. *Agroproductividad* 11: 34-38.
- Rotz CA (2003) How to maintain forage quality during harvest and storage. *Advances in Dairy Technology* 15: 227-239.
- SAS (2002) The SAS 9.1 for Windows. Statistical analysis software. SAS institute Inc. Cary, North Carolina. USA.
- SIAP (2023) Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 01 de marzo de 2024.
- SMN (2010) Normales climatológicas por Estado. Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). Estación: 28197 San José de las Flores <https://smn.conagua.gob.mx/es/>. Fecha de consulta: 01 de marzo de 2024.

- Souza OA, Taveira SJH, Santos MAJ, Fernandes BP, Costa PAK, Costa MC, Gurgel CAL, Silva GAC, Costa CPJV (2022) Chemical composition and fermentation characteristics of maize silage with citrus pulp. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* 23: e 21352022. <https://doi.org/10.1590/S1519-9940213502022>
- Suárez-Paternina E, Reza-García S, Cuadrado-Capella H, Pastrana-Vargas I, Espinosa-Carvajal M, Mejía-Kerguelén S (2015) Variación en la concentración de sólidos solubles durante el día, en tres pasturas en época seca en el valle medio del río Sinú. *Corpoica Ciencia Tecnológica Agropecuaria* 16: 181-188.
- Van-Soest PJ, Robertson BJ, Lewis AB (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science* 74: 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vargas TV, Hernández RME, Gutiérrez JL, Plácido DCJ, Jiménez AC (2007) Clasificación climática del Estado de Tamaulipas. *CienciaUAT* 2: 15-19.