



Tasa de ingesta y movimientos mandibulares de vacas lecheras de pastoreo frente una altura reducida del forraje



Juan Daniel Jiménez Rosales ^a

Ricardo Daniel Améndola Massiotti ^{a*}

Roberto López Victoria ^b

Juan Andrés Burgueño Ferreira ^c

^a Universidad Autónoma Chapingo. Posgrado en Producción Animal, km 38.5 Carretera México-Texcoco, 56230 Texcoco, Estado de México, México.

^b Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia, Estado de México, México.

^c Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Estado de México, México.

*Autor de correspondencia: r_amendola@yahoo.com

Resumen:

La producción lechera bajo pastoreo está limitada por la baja ingesta de forraje, y las características del forraje afectan los movimientos mandibulares y la tasa de ingesta de las vacas. El objetivo fue evaluar la tasa de ingesta y los movimientos mandibulares de las vacas que pastan *Avena strigosa* a tres porcentajes de reducción de la altura del forraje (0, 50 y 70 %), como hubiera sido debido al pastoreo. El diseño experimental correspondió a un cuadrado latino repetido de 3 x 3 y los tratamientos se asignaron aleatoriamente a 18 parcelas de 3 m². Las mediciones se realizaron en seis vacas durante tres días consecutivos; durante cada día de medición, dos grupos de tres vacas se asignaron a los tratamientos en sesiones de pastoreo de 10 minutos. Los movimientos mandibulares se midieron mediante el análisis acústico de las 18 grabaciones de sonido de las sesiones de pastoreo. Con el aumento de la reducción de la altura del forraje, la tasa de ingesta disminuyó ($P \leq 0.05$), mientras que las vacas mantuvieron constantes ($P \geq 0.05$) las tasas de movimientos mandibulares totales (69.9

min⁻¹) y los movimientos de masticación (29.7 masticaciones min⁻¹) pero tendieron ($P=0.057$) a disminuir la tasa de movimientos compuestos (masticación-bocado) y aumentar ($P\leq 0.05$) la tasa de bocados exclusivos. Para mantener una alta tasa de ingesta en el forraje alto (0 % de reducción en la altura del forraje), las vacas asignaron una mayor proporción de movimientos compuestos, los cuales fueron necesarios para procesar la mayor masa de bocado; pero fueron menos eficientes cuando pastaron pasturas más bajas (70 % de reducción en la altura del forraje) debido al aumento en los movimientos totales de la mandíbula por gramo de materia seca ingerida.

Palabras clave: Tasa de bocado, Tasa de masticación, Masticación-bocado, Masa de bocado, Ingesta de forraje.

Recibido: 04/08/2025

Aceptado: 29/09/2025

Introducción

En la producción lechera basada en el pastoreo, la baja ingesta de forraje limita la producción⁽¹⁾, por lo que optimizar la ingesta de forraje de las vacas es uno de los objetivos del manejo de las pasturas⁽²⁾. La tasa de ingesta es una variable de interés para evaluar la ingesta a corto plazo y comprender las relaciones planta-animal en los sistemas de pastoreo⁽³⁾. La tasa de ingesta está controlada por la tasa de movimientos mandibulares y por la capacidad de las vacas para asignar diferentes clases de movimientos mandibulares cuando se enfrentan a forraje con diversas estructuras físicas y químicas que afectan la ingesta⁽⁴⁾. En este sentido, al pastar, el ganado realiza tres clases de movimientos mandibulares: bocado exclusivo de aprehensión, masticación y movimiento compuesto de masticación-bocado, es decir, masticación y aprehensión con un solo movimiento de la mandíbula⁽⁵⁾. Estos movimientos pueden detectarse exclusivamente por medio del análisis acústico de los sonidos producidos por las mandíbulas durante la ingesta de forraje⁽⁶⁾.

Sin embargo, algunos estudios solo han evaluado los movimientos de bocado y de masticación, debido al uso de sensores de presión para monitorear los movimientos mandibulares, sin distinguir los movimientos compuestos de masticación-bocado y bocados exclusivos⁽⁷⁾. Por ejemplo, Fonseca *et al*⁽⁸⁾ encontraron que, a medida que aumentaba la altura del forraje, la tasa de movimientos mandibulares totales permanecía constante, mientras que la tasa de movimientos de masticación aumentaba y la tasa de movimientos de bocado disminuía. Empero, estos autores no evaluaron los movimientos compuestos. No obstante,

Galli *et al*⁽⁹⁾ destacaron que los ovinos asignaron un mayor número de movimientos compuestos en el forraje alto que en el bajo.

La masa de bocado y la tasa de ingesta del ganado aumentan con el incremento de la altura del forraje^(3,10,11), y a medida que aumenta la masa de bocado, también lo hace el número de movimientos mandibulares por bocado. Por el contrario, la reducción de la altura del forraje durante una sesión de pastoreo afecta negativamente la masa de bocado y la tasa de ingesta, debido a cambios en la estructura vertical del forraje que limitan la formación del bocado⁽⁸⁾; frente a tales situaciones, el ganado aumenta la tasa de movimientos de bocado y reduce el número de movimientos mandibulares por bocado⁽¹²⁾.

Con base en lo anterior, existe evidencia de que el ganado es experto en aumentar o disminuir la tasa de movimientos mandibulares de bocado y el número de movimientos mandibulares por bocado en función del tamaño del bocado que ingieren. Sin embargo, es importante revelar cómo el ganado regula la asignación de movimientos mandibulares (bocados exclusivos de aprehensión, movimientos de masticación y movimientos mandibulares compuestos) frente a las variaciones en la masa de bocado y la tasa de ingesta que ocurren con las reducciones en la altura del forraje.

Por lo tanto, se planteó la hipótesis de que las vacas que pastan un forraje alto necesitan asignar un mayor número de movimientos compuestos, útiles para poder procesar e ingerir grandes masas de bocado y mantener una alta tasa de ingesta. Pero en situaciones de reducción de altura del forraje, cuando las vacas pastan en estratos de forraje inferiores dominados por tallos, deben aumentar el número de bocados exclusivos de aprehensión y movimientos de masticación; para poder triturar forraje más fibroso y compensar la menor tasa de ingesta debido a la ingesta de una menor masa de bocado; los bocados de forraje fibroso a su vez aumentarían el número de movimientos de masticación por gramo de materia seca consumida. En consecuencia, este estudio tuvo como objetivo evaluar la tasa de ingesta de vacas lecheras en pastoreo, y la masa de bocado, los movimientos mandibulares correspondientes al bocado exclusivo de aprehensión, movimientos de masticación y movimientos compuestos de masticación-bocado, a tres porcentajes de reducción de la altura del forraje (0, 50 y 70 %) que representan las etapas de agotamiento del forraje en una sesión de pastoreo.

Material y métodos

Ubicación

El experimento se llevó a cabo entre el 17/01/2020 y el 02/02/2020 en la Unidad Experimental de Pastoreo del Departamento de Producción Animal de la Universidad

Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, México, 19 29' N, 98° 54' O, y una altitud de 2,240 m. El clima es templado y subhúmedo con lluvias en verano, precipitación anual de 636 mm y una temperatura media anual de 15.2 °C.

Sitio experimental y animales

El pasto experimental consistió en avena negra (*Avena strigosa* Schreb), sembrada a una densidad de 120 kg ha⁻¹ de semilla germinativa pura; a la siembra se fertilizó con 18 kg N ha⁻¹ y 46 kg P₂O₅ ha⁻¹ y, al macollamiento, se suministró una cantidad adicional de 60 kg N ha⁻¹. En el pasto, se utilizó una cerca eléctrica portátil para crear nueve franjas, cada una de 46 m² (11.5 x 4 m). Dentro de cada franja, se definieron tres parcelas de 5 m² (2 x 2.5 m), para un total de 27 parcelas separadas por pasillos de 1 metro de ancho. Los pasillos se diseñaron cortando todo el forraje con una podadora rotativa (HRR216 PKA, Honda®, EE. UU.). Para el experimento se utilizaron seis franjas (18 parcelas experimentales) y el resto para acostumar a las vacas a sesiones cortas de pastoreo. Para el experimento se utilizaron seis vacas Holstein de Nueva Zelanda (530 ± 40 kg de peso vivo). Antes del experimento, se acostumbró a las vacas a usar bozales, los cuales albergaban el equipo que registraba los movimientos de su mandíbula. Durante la fase de adaptación, los animales permanecieron en un área adyacente a las parcelas experimentales en un pastizal de avena negra y recibieron 5 kg de concentrado vaca⁻¹ día⁻¹.

Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue un cuadrado latino repetido de 3 x 3. Los tratamientos fueron tres niveles de reducción de la altura del forraje (0 %, 50 % y 70 %). Los tratamientos se asignaron aleatoriamente a las 18 parcelas experimentales de acuerdo con el diseño. Las mediciones se realizaron en el transcurso de tres días consecutivos. En cada día, se asignaron dos grupos de tres vacas a sesiones cortas de pastoreo en las parcelas de tratamiento.

Para reducir la altura del forraje en un 50 % y 70 %, respectivamente, en cada una de las parcelas correspondientes, se tomaron 25 mediciones de altura utilizando una regla forrajera adaptada. La altura por reducir se calculó en función de la altura promedio del forraje, y posteriormente se cortó el forraje a esa altura con un cortasetos Homelite® UT44110 EE. UU., y se removió.

Mediciones en las parcelas

Previo a las sesiones experimentales de pastoreo, se tomaron medidas de la altura del forraje y se recolectaron muestras para la masa del forraje y composición morfológica en cada parcela. La altura del forraje (cm) se midió tomando 25 lecturas con la regla forrajera

adaptada. La masa del forraje, g materia seca (MS) m⁻², se midió cortando el forraje al nivel del suelo en dos unidades de muestreo de 1 m² (0.5 m × 2 m). Esto dejó 3 m² de forraje para las sesiones de pastoreo.

Para estimar el contenido de MS, se pesaron dos muestras por parcela y se secaron a un peso constante a 55 °C en un horno con circulación forzada de aire. La composición morfológica se evaluó separando a mano dos muestras por parcela en láminas foliares y pseudotallos y tallos, incluido el material senescente. Esos componentes morfológicos se secaron a un peso constante a 55 °C en un horno con circulación forzada de aire para determinar el contenido de MS y calcular la proporción de cada componente. Las muestras utilizadas para estimar el contenido de MS del forraje ofrecido se molieron en un molino Thomas Modelo 4, Wiley®, EE. UU., con un tamiz de 1 mm. Posteriormente, de forma secuencial, se midió el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y el contenido de fibra detergente ácido (FDA) utilizando un analizador de fibra A200, Ankom® EE. UU., con bolsas de filtro F57, Ankom®, EE. UU., con una porosidad de veinticinco micras⁽¹³⁾. Después de las sesiones experimentales de pastoreo, la altura del forraje residual se midió 25 veces por parcela utilizando la regla forrajera adaptada; la profundidad del horizonte pastoreado (cm) se calculó como la diferencia entre la altura del forraje ofrecido y la del forraje residual⁽¹⁴⁾. La masa de forraje residual (g MS m⁻²) se evaluó cortando el forraje al nivel del suelo en la parcela de 3 m²; el contenido de MS se estimó de la misma manera que el del forraje ofrecido.

Variables de respuesta y mediciones en animales

Se analizaron dieciocho (18) grabaciones de sonido de la ingesta de forraje de todas las vacas en cada tratamiento para cuantificar las clases de movimiento de la mandíbula. Cada grabación de sonido se obtuvo de una sesión de pastoreo de diez minutos en cada parcela. Como es típico en las mañanas (de esta época del año en el sitio experimental), las sesiones de pastoreo (después de ~ 8:00) se llevaron a cabo bajo buen sol y cielos despejados con temperaturas promedio de 17.5 °C. Antes de cada sesión de pastoreo, se instaló una grabadora de voz (ICD-PX470, Sony®, China) en el bozal de cada vaca, junto con un micrófono unidireccional (MIC-290, Steren®, México), que tenía una respuesta de frecuencia de 80-12500 Hz y una sensibilidad de 40 dB. El micrófono se sujetó a la frente del animal con una banda elástica que se ató al bozal⁽¹⁵⁾. Durante cada sesión de pastoreo, el tiempo se registró mediante un cronómetro. Al final de cada sesión, las vacas se trasladaron al corral de manejo para que se pudiera retirar el equipo. Luego, las vacas fueron llevadas a un área adyacente de las parcelas experimentales donde tuvieron acceso al forraje de avena negra.

Las grabaciones de sonido se descargaron a computadoras en formato MP3 y se analizaron de manera audible y visual en el editor Audacity (versión 2.3.1) por tres observadores. El análisis de las ondas sonoras duró aproximadamente una hora por sesión de pastoreo; los

observadores completaron el análisis en 2 semanas. Para distinguir los movimientos mandibulares, se utilizaron las ondas sonoras correspondientes a las tres clases de movimiento de la mandíbula como referencias visuales. Las ondas sonoras de cada grabación se clasificaron de la siguiente manera⁽⁴⁾.

- Bocado exclusivo de aprehensión: cuando se escuchó el sonido generado al arrancar el forraje durante su remoción.
- Movimiento de masticación: cuando se escuchó el sonido de masticación del forraje.
- Movimiento mandibular compuesto de masticación-bocado: cuando se percibieron sonidos de moler y arrancar el forraje dentro de un solo movimiento mandibular.

Cada observador escuchó las sesiones de pastoreo tres veces. En la primera reproducción, se contaron los movimientos mandibulares totales. En la segunda reproducción, se cuantificaron los movimientos mandibulares de bocado, incluidos los bocados exclusivos de aprehensión y los movimientos compuestos de masticación-bocado⁽⁵⁾, y en la tercera reproducción, se contaron los movimientos compuestos. Después de procesar los datos por diferencia, se obtuvo lo siguiente: movimientos mandibulares de masticación (movimientos mandibulares totales menos movimientos mandibulares de bocado) y movimientos de bocado exclusivo (movimientos mandibulares totales menos movimientos de masticación y compuestos). Las tasas de cada clase de movimiento de la mandíbula se estimaron dividiendo los movimientos mandibulares totales de cada clase entre el tiempo de pastoreo: movimientos mandibulares totales por minuto (movimientos mandibulares min^{-1}), bocados por minuto (bocados min^{-1}), movimientos mandibulares compuestos por minuto (masticaciones-bocados min^{-1}), masticaciones por minuto (masticaciones min^{-1}) y bocados exclusivos por minuto (bocados exclusivos min^{-1}). También se estimaron las proporciones de cada clase de movimiento de la mandíbula⁽⁴⁾.

Las estimaciones incluyeron lo siguiente: ingesta aparente de forraje (g MS), ingesta aparente de FDN (g FDN), tasa de ingesta (g MS min^{-1}), peso del bocado (g MS), tiempo por bocado (s), movimientos mandibulares por bocado, movimientos de masticación por bocado y movimientos de masticación por g de MS o FDN consumida durante una sesión de pastoreo. Se obtuvieron estimaciones de la ingesta aparente de forraje en cada parcela y se asumió que era la desaparición de la masa de forraje⁽¹⁶⁾; se obtuvo por la diferencia entre la masa de forraje ofrecido y la masa de forraje residual. La ingesta aparente de FDN se obtuvo por el producto de la ingesta aparente y la proporción de FDN en el forraje. La tasa de ingesta se obtuvo dividiendo la ingesta de forraje entre el tiempo de pastoreo de cada sesión⁽¹⁷⁾. La masa de bocado se estimó dividiendo la ingesta de forraje entre el número total de bocados (bocados exclusivos más masticaciones-bocados) realizados en cada sesión de pastoreo⁽³⁾.

El tiempo por bocado, los movimientos mandibulares por bocado, los movimientos de masticación por bocado se calcularon dividiendo el tiempo de pastoreo, los movimientos

mandibulares totales y los movimientos de masticación entre el número total de bocados (bocados exclusivos más masticaciones-bocado). Los movimientos de masticación por g de MS y FDN consumida resultaron de dividir los movimientos de masticación entre las ingestas de MS y FDN.

Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó en el programa SAS 9.4⁽¹⁸⁾. Los datos que describían a los pastos se analizaron mediante un análisis de varianza con el procedimiento GLM; se incluyeron en el modelo los efectos fijos del tratamiento, día de medición y su interacción. Los movimientos mandibulares totales cuantificados por los tres observadores durante el análisis acústico se sometieron a análisis de varianza con el procedimiento GLM; se incluyeron en el modelo los efectos fijos del tratamiento, observador y su interacción. Las medias se estimaron con LSMEANS y se compararon con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

El promedio de los movimientos mandibulares cuantificados por los tres observadores se utilizó para el análisis de las tres clases de movimientos mandibulares. Antes del análisis de los datos, se realizaron pruebas de normalidad (Shapiro-Wilks; $P \geq 0.05$). Las variables “tasa de masticación” y “número de masticaciones por gramo de MS consumida” se transformaron utilizando la función logarítmica.

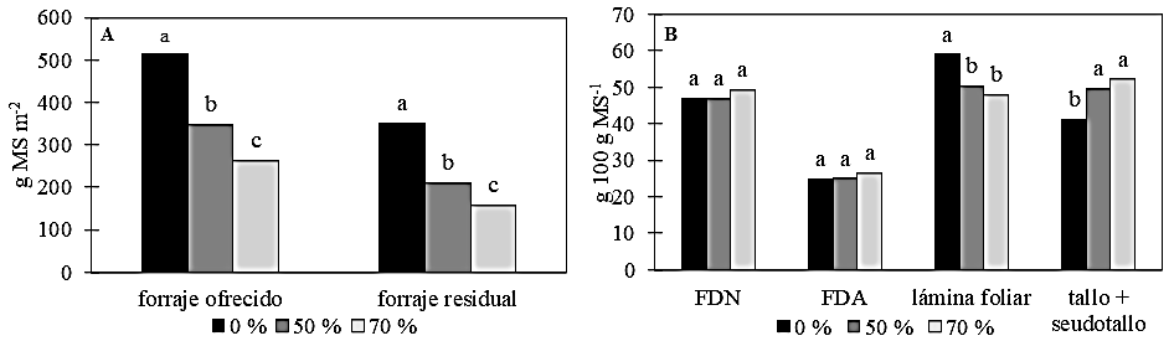
El análisis de varianza se basó en un diseño de cuadrado latino repetido de 3 x 3, con los efectos fijos del cuadrado, día, vaca dentro del cuadrado, y tratamiento incluidos en el modelo estadístico. Se utilizó el procedimiento GLM, las medias de mínimos cuadrados se estimaron con PDIFF y se compararon con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). También se realizaron análisis de regresión lineal ($Y_{ij} = a + bx + \epsilon_{ij}$) entre variables seleccionadas mediante el procedimiento REG.

Resultados

La masa de forraje ofrecido y la masa de forraje residual disminuyeron a medida que aumentaba la reducción de la altura del forraje ($P \leq 0.01$) (Figura 1A). La proporción de lámina foliar fue similar ($P > 0.05$) en parcelas con una reducción del 50 % o 70 % en la altura del forraje (un promedio de 49 g 100 g MS⁻¹). En las parcelas sin reducción de la altura del forraje, la proporción de lámina foliar fue 20 % mayor ($P \leq 0.05$) que el promedio de las parcelas con una reducción del 50 % o 70 % en la altura del forraje (Figura 1B). La proporción de tallo + pseudotallo fue similar ($P > 0.05$) en parcelas con una reducción del 50 % y 70 % en la altura del forraje (un promedio de 51 g 100 g MS⁻¹). No obstante, esa proporción en las parcelas sin reducción en la altura del forraje fue un 19 % inferior al promedio de las parcelas con una reducción del 50 % y del 70 % en la altura del forraje

(Figura 1B). No hubo diferencias ($P>0.05$) en los contenidos de FDN (promedio de 47.8 g 100 g MS⁻¹) y FDA (promedio de 25.3 g 100 g MS⁻¹) entre los diferentes porcentajes de reducción de la altura del forraje (Figura 1B).

Figura 1: A) Masa de forraje ofrecido y residual de pastos de *Avena strigosa* Schreb pastoreados a tres reducciones de altura del forraje (0, 50 y 70 %). B) Fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lámina foliar y tallo + pseudotallo



^{abc} Las columnas con letras diferentes son diferentes ($P\leq 0.05$).

No hubo efecto ($P\geq 0.05$) de la interacción observador \times reducción de la altura del forraje, ni hubo diferencias ($P\geq 0.05$) en el número de movimientos mandibulares de bocados exclusivos de aprehensión, movimientos de masticación y movimientos compuestos de masticación-bocado cuantificados por los tres observadores (Cuadro 1) dentro de los tres porcentajes de reducción de la altura del forraje (0, 50 y 70 %).

Cuadro 1: Número de bocados, masticaciones y movimientos mandibulares compuestos de las vacas en sesiones de pastoreo de 10 min en pastos de avena negra a tres niveles de reducción de la altura del forraje (0 %, 50 % y 70 %)

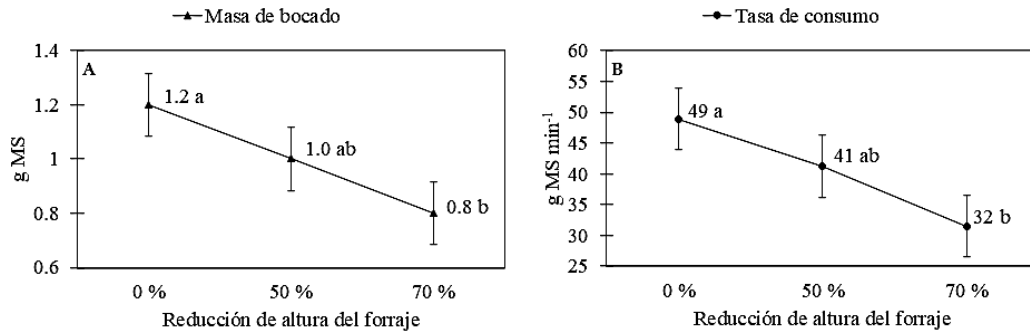
RAF (%)	Observador			Media	Nivel de significancia (<i>P</i>)		
	1	2	3		Observador	RAF	Observador×RAF
Bocados exclusivos							
0	381	392	382	385	0.919	0.421	0.999
50	370	376	388	378			
70	358	354	364	359			
Media	370	374	378				
EEM	25						
Masticaciones							
0	273	253	262	262	0.700	0.596	0.989
50	293	281	271	282			
70	285	282	268	278			
Media	283	272	267				
EEM	25						
Compuestos masticación-bocado							
0	335	313	305	318	0.697	0.002	0.963
50	302	302	301	302			
70	251	255	231	246			
Media	296	290	279				
EEM	24						

RAF= reducción de la altura del forraje; EEM= error estándar de la media.

Las alturas del forraje ofrecido, el forraje residual, la ingesta de MS y FDN disminuyeron con el aumento de la reducción de la altura del forraje ($P < 0.05$, Cuadro 2); sin embargo, no hubo efecto ($P > 0.05$) de esa reducción sobre las tasas de movimientos mandibulares totales (promedio de 69.9 movimientos mandibulares min^{-1}), de bocado (promedio de 40.2 bocados min^{-1}) y de masticación (29.7 masticaciones min^{-1}). Empero, las vacas tendieron a reducir ($P = 0.057$) la tasa de movimientos mandibulares compuestos y a aumentar ($P \leq 0.05$) la tasa de bocados exclusivos con una reducción creciente en la altura del forraje. Las vacas asignaron proporciones similares ($P > 0.05$) de bocados (bocados exclusivos más masticaciones-bocados) y movimientos de masticación entre los porcentajes de reducción en la altura del forraje; los promedios fueron de 57.7 % y 42.3 %, respectivamente. Aun así, la proporción de movimientos compuestos fue 28 % mayor ($P \leq 0.05$) en las parcelas sin reducción en la altura del forraje que en aquellas con una reducción de 70 %. Por el contrario, la proporción de movimientos de bocados exclusivos de aprehensión fue 73 % mayor ($P \leq 0.01$) en parcelas con una reducción de la altura del forraje del 70 % que en parcelas sin reducción en la altura del forraje.

La tasa de ingesta y la masa de bocado disminuyeron ($P \leq 0.05$) a medida que aumentó la reducción de la altura del forraje (Figura 2). Los movimientos mandibulares por bocado y el tiempo por bocado fueron similares ($P > 0.05$) entre los diferentes porcentajes de reducción en la altura del forraje, con un promedio de 1.77 movimientos mandibulares por bocado y 1.53 s por bocado (Cuadro 2). No obstante, el número de movimientos compuestos por bocado no difirió entre el 0 % y 50 % de reducción en la altura del forraje (promedio de 0.81 movimientos compuestos por bocado), que fue un 21 % mayor que con una reducción del 70 % (Cuadro 2).

Figura 2: A) Masa de bocado. B) Tasa de ingesta de vacas en sesiones de pastoreo de 10 min en pastos de *Avena strigosa* Schreb a tres reducciones de la altura del forraje (0, 50 y 70 %)



^{ab} Los datos con letras diferentes son diferentes ($P \leq 0.05$).

Además, las vacas aumentaron ($P \leq 0.05$) sus movimientos mandibulares $g MS^{-1}$ (Figura 3A), movimientos de masticación $g DM^{-1}$ y movimientos de masticación $g FDN^{-1}$ consumida (Figura 3B) a medida que disminuyó la altura del forraje. Hubo una relación lineal negativa entre los movimientos mandibulares por g de MS consumida y la tasa de ingesta ($y = - 20.2 x + 78.1, R^2 = 0.91, P \leq 0.01$, Figura 4A) y una relación lineal positiva entre los movimientos mandibulares por bocado y el tiempo por bocado ($y = 0.63 x + 0.40, R^2 = 0.74, P \leq 0.01$, Figura 4B).

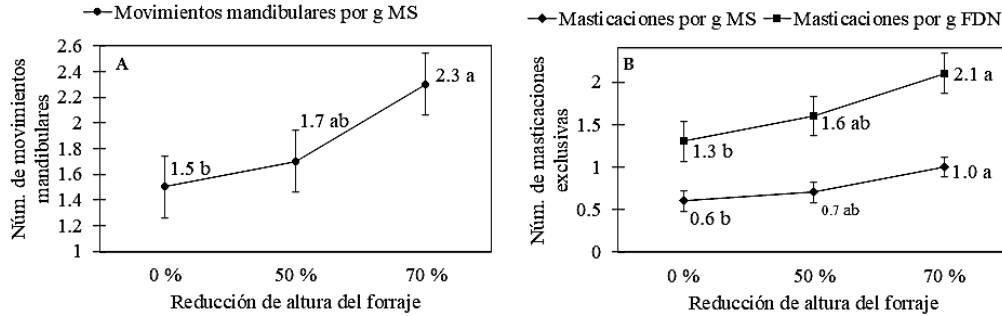
Cuadro 2: Alturas de forraje, ingesta, tasas y proporciones de movimientos mandibulares de vacas en sesiones de pastoreo de 10 min en pastos de avena negra (*Avena strigosa* Schreb) a tres porcentajes de reducción en la altura del forraje (0, 50 y 70 %)

	Reducción de la altura del forraje (%)			EEM	P
	0	50	70		
Altura del forraje ofrecido, cm	53.7 ^a	25.6 ^b	17.6 ^c	0.88	0.001
Altura del forraje residual, cm	23.7 ^a	14.1 ^b	10.1 ^c	0.63	0.001
Profundidad de la capa pastoreada, cm	30.0 ^a	11.5 ^b	7.5 ^c	.99	0.001
Ingesta de forraje, g MS	489.4 ^a	412.4 ^{ab}	315.1 ^b	34.6	0.022
Ingesta de FDN, g	230.5 ^a	194.6 ^{ab}	155.1 ^b	17.6	0.047
Tasa de movimientos mandibulares, MM min ⁻¹	69.2	70.1	70.3	1.24	0.826
Tasa de bocado, bocados min ⁻¹	41.0	40.2	39.3	1.63	0.784
Tasa de masticación, masticaciones min ⁻¹	28.3	29.9	30.9	1.21	0.341
Tasa de movimientos compuestos de masticación-bocado, masticaciones-bocados min ⁻¹	33.8	32.1	26.8	1.8	0.057
Tasa de bocado exclusivo, bocados exclusivos min ⁻¹	7.2 ^b	8.1 ^b	12.5 ^a	0.41	0.001
Bocados, %	59.5	57.5	56.2	1.8	0.465
Masticaciones, %	40.5	42.5	43.8	1.8	0.465
Compuestos masticación-bocado, %	49.2 ^a	45.9 ^{ab}	38.4 ^b	2.1	0.018
Bocados exclusivos, %	10.3 ^b	11.6 ^b	17.8 ^a	0.6	0.001
Movimientos mandibulares por bocado, n	1.7	1.8	1.8	0.06	0.630
Movimientos mandibulares compuestos por bocado, n	0.8 ^a	0.8 ^a	0.7 ^b	0.02	0.007
Tiempo por bocado, seg	1.5	1.5	1.6	0.07	0.630

EEM= error estándar de la media; P= probabilidad de diferencia; MS= materia seca; FDN= fibra detergente neutro; MM= movimientos mandibulares.

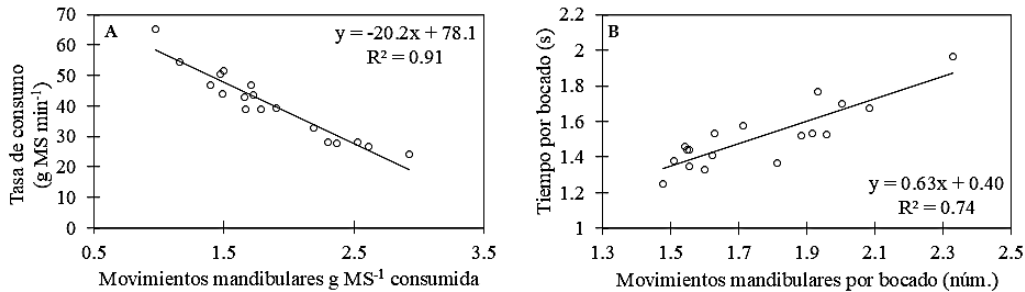
^{abc} Las medias por columna con letras diferentes son diferentes ($P \leq 0.05$).

Figura 3: A) Movimientos mandibulares por g de MS consumida. B) Masticaciones por g de MS y g de FDN consumida por las vacas en sesiones de pastoreo de 10 min en pastos de *Avena strigosa* Schreb con tres reducciones de la altura del forraje (0, 50 y 70 %)



^{ab} Los datos con letras diferentes son diferentes ($P \leq 0.05$).

Figura 4: A) Relación entre la tasa de ingesta y los movimientos mandibulares por g de MS consumida. B) Relación entre el tiempo por bocado y los movimientos mandibulares por bocado de las vacas en sesiones de pastoreo de 10 min en pastos de *Avena strigosa* a tres reducciones de la altura del forraje (0, 50 y 70 %)



Discusión

Los cambios observados en el comportamiento de ingesta de las vacas en este estudio pueden explicarse por el efecto de las diferencias en las características estructurales del forraje (altura, masa y composición morfológica) en cada tratamiento⁽³⁾. La reducción de la altura del forraje en un 0 %, 50 % o 70 % dio como resultado parcelas de forraje con altura alta, media o baja. En consecuencia, la masa de forraje en cada tratamiento también fue alta, media o baja (Cuadro 2).

En parcelas más altas donde la altura del forraje no se redujo (con un promedio de 53.7 cm), las vacas tuvieron acceso a un dosel frondoso con una mayor masa de forraje y una mayor proporción de láminas foliares. La profundidad de 30 cm de la capa pastoreada indica que las vacas eliminaron el 56 % de la altura del forraje, lo que significa que el pastoreo se concentró en la capa superior del perfil vertical de las parcelas. Por lo tanto, es posible deducir que las vacas tomaron bocados de mayor profundidad y área en las parcelas más altas⁽³⁾, lo que explica la mayor masa de bocado y, en consecuencia, las mayores tasas de ingesta y de ingesta de materia seca (MS); según Boval y Sauvan⁽¹⁹⁾, existe una correlación positiva ($r=0.78$) entre la masa de bocado y la tasa de ingesta. Además, en pastizales templados en estado vegetativo, el tamaño del bocado y la ingesta de MS se ven afectados positivamente por la altura del forraje⁽²⁰⁾. También se ha informado una mayor ingesta de forraje en el ganado que pasta en estratos más altos de pastos frondosos con más hojas⁽¹⁴⁾.

Por el contrario, en parcelas con una reducción del 50 % o 70 % en la altura del forraje (con un promedio de 25.6 o 17.6 cm, respectivamente), las vacas tuvieron acceso a capas pastoreadas con menor masa de forraje y más tallos y pseudotallos. Las profundidades de las capas pastoreadas en las parcelas de altura media (25.6 cm) y corta (17.6 cm) fueron de 11.5 y 7.5 cm, respectivamente. Las vacas consumieron 45 % y 43 % de la altura del pasto, respectivamente. A medida que la reducción de la altura del forraje aumentó al 50 % y 70 %, los horizontes de pastoreo se volvieron más difíciles de alcanzar para las vacas, por lo que la profundidad del horizonte de pastoreo disminuyó. Sin embargo, en el forraje alto, sin reducción de la altura del forraje, la profundidad del horizonte de pastoreo fue cercana a la profundidad estimada del bocado del ganado (cerca del 50 % de la altura del pasto^(17,21)). La menor profundidad de las capas pastoreadas en las parcelas de altura media y baja en comparación con las parcelas más altas sugiere que las vacas tomaron bocados de menor profundidad y área. Esto resultó en menores masas de bocado, una tasa de ingesta más baja y una menor ingesta de materia seca (MS). La principal causa de la reducción de la ingesta de materia seca (MS) en los estratos inferiores de las parcelas fue la mayor proporción de pseudotallos y tallos, los cuales limitan la formación del bocado⁽¹⁷⁾. De manera similar, Mezzalira *et al*⁽¹²⁾ y Benvenuti *et al*⁽¹⁴⁾ encontraron que el ganado que pastaba en estratos más bajos dominados por tallos tenía una menor ingesta de MS. Estos resultados confirman la relación entre la tasa de ingesta, la masa de bocado y las características del forraje reportadas por Boval y Sauvan⁽¹⁹⁾.

En este estudio, las tasas de movimientos mandibulares, bocados (bocados exclusivos más masticaciones-bocados) y movimientos de masticación se mantuvieron constantes a través de los porcentajes de reducción de la altura del forraje examinados. Estos valores se ubicaron dentro de los rangos mínimo y máximo reportados para el ganado de pastoreo⁽²²⁾, con valores medios de 70.7 movimientos mandibulares min^{-1} , 45.6 bocados min^{-1} y 22.8 masticaciones min^{-1} . Empero, en este estudio, las vacas realizaron una mayor proporción de movimientos mandibulares compuestos y tendieron a aumentar la velocidad de estos movimientos en

parcelas más altas (sin reducción en la altura del forraje), donde la masa de bocado fue mayor. Esto confirma el enfoque de Galli *et al*⁽⁴⁾ de que la asignación de movimientos mandibulares compuestos es una estrategia de comportamiento ingestivo, necesaria para que las vacas mastiquen y traguen masas de bocado más grandes. En este estudio, el 82 % de los movimientos mandibulares totales realizados por las vacas en parcelas más altas fueron movimientos mandibulares compuestos.

Como afirmaron Boval y Sauvant⁽¹⁹⁾, los bocados más grandes requieren más procesamiento antes de que se pueda tomar el siguiente bocado. En consecuencia, el tiempo entre bocados (tiempo de manipulación) aumenta y la tasa de bocado disminuye. Debido a que las vacas necesitaban procesar bocados más grandes en parcelas más altas, no redujeron su tasa de bocado; sin embargo, sí redujeron la tasa y la proporción de bocados exclusivos. Además, el tiempo por bocado aumentó con un aumento en los movimientos mandibulares por bocado (Figura 4B); esta relación es consistente con hallazgos previos⁽¹²⁾.

El tiempo por bocado es el tiempo total que las vacas dedican a masticar y manipular los bocados⁽¹⁹⁾. No obstante, en este estudio, el tiempo por bocado representó solo el tiempo requerido para masticar porque los bocados exclusivos y los movimientos compuestos se agruparon en la estimación del tiempo por bocado. Al pastar en parcelas más bajas (una reducción del 70 % en la altura del forraje), las vacas aumentaron su tasa de bocados exclusivos como una estrategia de comportamiento para remediar la menor tasa de ingesta de materia seca causada por la recolección de bocados más pequeños⁽²⁰⁾. Sin embargo, esta estrategia no tuvo éxito y la ingesta de MS disminuyó. Además, el aumento en los movimientos mandibulares por gramo de materia seca (g MS) debido a la reducción en la altura del forraje sugiere que las vacas fueron menos eficientes mientras pastaban en estas condiciones. Se observó una disminución lineal en la tasa de ingesta con un aumento en los movimientos mandibulares por gramo de materia seca consumida (Figura 4A). También se ha reportado⁽¹²⁾ que las vacas fueron menos eficientes a medida que la altura del forraje disminuyó progresivamente, pastando en ese caso en *Cynodon* sp. y *Avena strigosa*.

El aumento de los movimientos de masticación por g de MS consumida con la reducción progresiva de la altura del forraje no pudo explicarse por los mayores contenidos de FDN y FDA en el forraje, ya que estos fueron similares entre los tratamientos. Empero, se observaron menos movimientos de masticación por g de MS consumida que por g de FDN consumida, lo que indica que masticar FDN es más difícil que masticar MS (Figura 3B). Al respecto, Grant y Cotanch⁽²³⁾ señalaron que los alimentos con alto contenido de FDN (valores de 57.1 a 58.6 g de FDN 100 g MS⁻¹) requieren más movimientos de masticación por g de FDN consumida (valores de 2.6 a 3.5 masticaciones por g de FDN consumida); estos valores son superiores a los encontrados en este estudio, los cuales variaron de 1.3 a 2.1 movimientos de masticación por g de FDN consumida con un contenido medio de FDN de 42.3 g de FDN 100 g de MS⁻¹.

Conclusiones e implicaciones

Con forraje más alto, la estrategia de comportamiento ingestivo utilizada por las vacas para procesar bocados más grandes y mantener una alta tasa de ingesta fue asignar una mayor proporción de movimientos mandibulares compuestos de masticación-bocado. Ante la menor altura del forraje (reducida por el pastoreo), las vacas fueron menos eficientes debido al aumento de los movimientos mandibulares por gramo de materia seca consumida, con la consiguiente reducción de la tasa de ingesta debido a la menor cantidad de forraje ingerido por bocado. Además, las vacas tuvieron que realizar más movimientos de masticación por gramo de materia seca consumida en la capa inferior de pasto dominada por tallos y pseudotallos.

Agradecimientos

El CONAHCYT apoyó los estudios de doctorado del primer autor.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Literatura citada:

1. Wilkinson JM, Lee MRF, Rivero MJ, Chamberlain AT. Some challenges and opportunities for grazing dairy cows on temperate pastures. *Grass Forage Sci* 2020;75(1):1-17. <https://doi.org/10.1111/gfs.12458>.
2. Forbes JM, Gregorini P. The catastrophe of meal eating. *Anim Prod Sci* 2015;55(3):350-359. <http://dx.doi.org/10.1071/AN14425>.
3. Jiménez RJD, Améndola MRD. Comportamiento de ingestión y consumo de forraje por vacas en pastoreo en clima templado. Revisión. *Rev Mex Cien Pecu* 2022;13(3):743-762. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i3.6103>.
4. Galli JR, Cangiano CA, Pece MA, Larripa MJ. Monitoring and assessment of ingestive chewing sounds for prediction of herbage intake rate in grazing cattle. *Animal* 2018;12:973-982. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002415>.
5. Ungar ED, Rutter SM. Classifying cattle jaw movements: comparing IGER behaviour recorder and acoustic techniques. *Appl Anim Behav Sci* 2006;98:11-27. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.08.011>.

6. Galli JR, Milone DH, Cangiano CA, Martínez CE, Laca EA, Chelotti JO, *et al.* Discriminative power of acoustic features for jaw movement classification in cattle and sheep. *Bioacoustics* 2020;29(5):602-616. <https://doi.org/10.1080/09524622.2019.1633959>.
7. Andriamandroso AHL, Bindelle J, Mercatoris B, Lebeau F. A review on the use of sensors to monitor cattle jaw movements and behavior when grazing. *Biotechnol Agron Soc Environ* 2016;20:1-14. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.13058>.
8. Fonseca L, Carvalho PCF, Mezzalira JC, Bremm C, Galli JR, Gregorini P. Effect of sward surface height and level of herbage depletion on bite features of cattle grazing *Sorghum bicolor* swards. *J Anim Sci* 2013;91:4357-4365. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5602>.
9. Galli JR, Cangiano CA, Milone DH, Laca EA. Acoustic monitoring of short-term ingestive behavior and intake in grazing sheep. *Livest Sci* 2011;140(1-3):32-41. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.02.007>.
10. Silva GP, Fialho CA, Carvalho LR, Fonseca L, Carvalho PCF, Bremm C, *et al.* Sward structure and short-term herbage intake in *Arachis pintoi* cv. Belmonte subjected to varying intensities of grazing. *J Agric Sci* 2017;156:92-99. <https://doi.org/10.1017/S0021859617000855>.
11. Mezzalira JC, Bonnet OJF, Carvalho PCF, Fonseca L, Bremm C, Mezzalira CC, *et al.* Mechanisms and implications of a type IV functional response for short-term intake rate of dry matter in large mammalian herbivores. *J Anim Ecol* 2017;86:1159-1168. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12698>.
12. Mezzalira JC, Carvalho PCF, Fonseca L, Bremm C, Cangiano C, Gonda HL, *et al.* Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. *Appl Anim Behav Sci* 2014;153:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.12.014>.
13. McRoberts KC, Cherney DJR. Low-infrastructure filter bag technique for neutral detergent fiber analysis of forages. *Anim Feed Sci and Technol* 2014;187:77-85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.09.00>.
14. Benvenuti MA, Pavetti DR, Poppi DP, Gordon IJ, Cangiano CA. Defoliation patterns and their implications for the management of vegetative tropical pastures to control intake and diet quality by cattle. *Grass Forage Sci* 2015;71(3):424-436. <https://doi.org/10.1111/gfs.12186>.

15. Chelotti JO, Vanrell SR, Martinez RLS, Galli JR, Planisich AM, Utsumi SA, *et al.* An online method for estimating grazing and rumination bouts using acoustic signals in grazing cattle. *Comput Electron Agric* 2020;173:105443. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105443>.
16. Smith WM, Galyean ML, Kallenbach RL, Greenwood PL, Scholljegerdes EJ. Understanding intake on pastures: how, why, and a way forward. *J Anim Sci* 2021;99(6):1-17. <https://doi.org/10.1093/jas/skab062>.
17. Carvalho PCF. Harry Stobbs Memorial Lecture: Can grazing behavior support innovations in grassland management? *Trop Grassl* 2013;1(2):137-155. [https://doi.org/10.17138/tgft\(1\)137-155](https://doi.org/10.17138/tgft(1)137-155).
18. SAS. SAS User's Guide: High-Performance Procedures (release 14.3). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 2017.
19. Boval M, Sauvant D. Ingestive behaviour of grazing ruminants: meta-analysis of the components linking bite mass to daily intake. *Anim Feed Sci Technol* 2021;278:115014. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115014>.
20. Chilibroste P, Gibb MJ, Soca P, Mattiauda DA. Behavioural adaptation of grazing dairy cows to changes in feeding management: do they follow a predictable pattern? *Anim Prod Sci* 2015;55:328-338. <https://doi.org/10.1071/AN14484>.
21. Boval M, Sauvant D. Ingestive behaviour of grazing ruminants: meta-analysis of the components of bite mass. *Anim Feed Sci Technol* 2019;251:96-111. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.03.002>.
22. Boval M, Pierre-Emmanuel R, Sauvant D. Dataset from the literature on the ingestive behaviour of grazing ruminants. *Data Brief* 2024;54:110488. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110488>.
23. Grant RJ, Cotanch KW. Chewing behavior of dairy cows: Practical perspectives on forage fiber and the management environment. *Appl Anim Sci* 2023;39:146-155. <https://doi.org/10.15232/aas.2022-02371>.