

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN
ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

TASA DE CONSUMO EN VACAS Y RENDIMIENTO DE AVENA NEGRA A DIFERENTES ALTURAS DE PASTURA E INTENSIDADES DE COSECHA

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

JUAN DANIEL JIMÉNEZ ROSALES

Bajo la supervisión de:
Ricardo D. Améndola Massiotti, Ph. D.



Junio, 2021
Chapingo, México



APROBADA

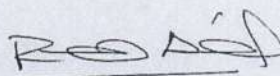


**TASA DE CONSUMO EN VACAS Y RENDIMIENTO DE AVENA NEGRA A
DIFERENTES ALTURAS DE PASTURA E INTENSIDADES DE COSECHA**

Tesis realizada por **JUAN DANIEL JIMÉNEZ ROSALES**, bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

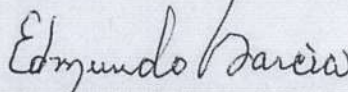
DOCTOR EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



Ph.D. Ricardo Daniel Améndola Massiotti

ASESOR:



Ph.D. Edmundo García Moya

ASESOR:



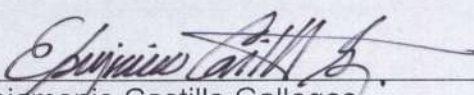
Dr. Juan Andrés Burgueño Ferreira

ASESOR:



Dr. Luis Alberto Miranda Romero

LECTOR EXTERNO:



Ph.D. Epigmenio Castillo Gallegos

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	V
LISTA DE FIGURAS	VII
AGRADECIMIENTOS	IX
DATOS BIOGRÁFICOS.....	X
RESUMEN GENERAL	XI
GENERAL ABSTRACT.....	XII
1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2 COMPORTAMIENTO DE INGESTIÓN Y CONSUMO DE FORRAJE POR VACAS EN PASTOREO. REVISIÓN	6
2.1 Resumen	6
2.2 Abstract.....	7
2.3 Introducción	8
2.4 Comportamiento de ingestión y escalas de pastoreo	9
2.5 Dimensiones del bocado.....	13
2.6 La altura de la pastura en el consumo	16
2.7 La reducción de la altura de la pastura en el consumo.....	18
2.8 El tiempo de pastoreo y el consumo de forraje	21
2.9 Implicaciones	23
2.10 Literatura citada.....	24
3 TASA DE CONSUMO Y MOVIMIENTOS MANDIBULARES DE VACAS EN PASTURAS DE AVENA NEGRA.....	31
3.1 Resumen	31
3.2 Abstract.....	32
3.3 Introducción	33
3.4 Materiales y Métodos.....	34
3.5 Resultados.....	39
3.6 Discusión	45
3.7 Conclusiones	48
3.8 Agradecimientos	49
3.9 Literatura Citada	49
4 RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN DEL FORRAJE DE AVENA NEGRA A DIFERENTES FRECUENCIAS E INTENSIDADES DE COSECHA.....	53

4.1	Resumen	53
4.2	Introducción	54
4.3	Materiales y métodos.....	56
4.4	Resultados y discusión	60
4.5	Conclusiones	69
4.6	Agradecimientos	70
4.7	Literatura citada	70
5	RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN DEL FORRAJE DE AVENA NEGRA EN MONOCULTIVO Y EN ASOCIACIÓN CON VEZA DE INVIERNO	74
5.1	Resumen	74
5.2	Introducción	75
5.3	Materiales y métodos.....	77
5.4	Resultados y discusión	80
5.5	Conclusiones	92
5.6	Agradecimientos	92
5.7	Literatura citada	92
6	Conclusiones	97

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Dimensiones de bocado a través de horizontes de la pastura (Adaptado de Cangiano et al., 2002).	19
Cuadro 2. Componentes del comportamiento de ingestión, tiempos de pastoreo, rumia e inactividad en vacas lecheras bajo pastoreo en pasturas de clima templado.....	23
Cuadro 3. Características estructurales de las pasturas y dimensiones de bocado estimadas para vacas en avena negra (<i>Avena strigosa</i> Schreb) cv. Saia de diferente altura.....	40
Cuadro 4. Comportamiento de ingestión de vacas en pasturas de avena negra (<i>Avena strigosa</i> Schreb) cv. Saia de diferente altura.	41
Cuadro 5. Efectos de frecuencias de cosecha (alturas de dosel) y año en los rendimientos de forraje y de componentes morfológicos de avena negra cv. Saia.....	61
Cuadro 6. Efectos principales de frecuencias de cosecha (alturas de dosel) e intensidades de cosecha (alturas de forraje residual) en la composición química del forraje de avena negra cv. Saia.	65
Cuadro 7. Fechas de cosecha de avena negra cv. Saia a diferentes frecuencias de cosecha (alturas de dosel) e intensidades de cosecha (alturas de forraje residual).	68
Cuadro 8. Rendimiento de forraje de avena negra cv. Saia en monocultivo y en asociación con veza de invierno cosechada a diferentes combinaciones de alturas de dosel y alturas de forraje residual (AD-AFR), en dos años.	81
Cuadro 9. Composición botánica de avena negra cv. Saia cosechada a diferentes combinaciones de alturas de dosel y alturas de forraje residual (AD-AFR), en dos años de evaluación.....	84

Cuadro 10. Composición botánica de avena negra cv. Saia en asociación con veza de invierno cosechada a diferentes combinaciones de alturas de dosel y alturas de forraje residual (AD-AFR), en dos años de evaluación. 86

Cuadro 11. Fechas de corte de avena negra cv. Saia en monocultivo y en asociación con veza de invierno cosechada a diferentes combinaciones de alturas de dosel y alturas de forraje residual (AD-AFR), en dos años de evaluación..... 90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes del comportamiento de ingestión de vacas en pastoreo (Adaptado de Boval & Sauvant, 2019a; Cangiano & Galli, 1999; Carvalho, 2013 y Hodgson, 1985).	9
Figura 2. Escalas espaciales y temporales del comportamiento de pastoreo de herbívoros grandes (Adaptado de Bailey & Provenza, 2008; Laca, 2000 y Laca, 2011).	11
Figura 3. Consumo de forraje y componentes del comportamiento de ingestión en respuesta a la altura de pradera (Adaptado de Da Silva et al., 2013 y Penning et al., 1991).	17
Figura 4. Tasa de consumo de forraje (a), movimientos mandibulares de pastoreo (b) peso de bocado (c) y movimientos mandibulares totales por bocado (d) de vacas en pastoreo en función de la altura de pastura de avena negra.	42
Figura 5. Tasa de consumo de forraje (a), Mman de masticación exclusiva por bocado (b) y tiempo por bocado (c) en función del peso de bocado, y tiempo por bocado en relación con los Mman totales por bocado (d).	43
Figura 6. Tiempo por bocado (a) y masticaciones exclusivas por bocado de vacas en pastoreo en función de la proporción de pseudotallos + tallos en pasturas de avena negra.	44
Figura 7. Densidad aparente del forraje (por componentes morfológicos) en estratos de pasturas de avena negra (<i>Avena strigosa</i> Schreb) cv. Saia; pastoreada por vacas en diferentes alturas de pastura.	44
Figura 8. Temperatura promedio del aire (A) y precipitación acumulada mensual (B) de abril a julio de 2017 y 2018 en Chapingo México.	57
Figura 9. Rendimientos de lámina foliar e inflorescencia a diferentes intensidades de cosecha (alturas de forraje residual) en dos años de	

evaluación. Barras con diferente letra minúscula entre años indican diferencias en lámina foliar ($p<0.05$). Barras con diferente letra mayúscula entre años indican diferencias en inflorescencia ($p<0.05$).	62
Figura 10. Contenido de fibra detergente neutro (FDN) en forraje de avena negra a diferentes combinaciones de frecuencias de cosecha (alturas de dosel) e intensidades de cosecha (alturas de forraje residual). Distintas letras entre las barras indican diferencias ($p<0.05$).	66
Figura 11. Rendimiento de forraje por cosecha en avena negra cv. Saia a diferentes frecuencias de cosecha (alturas de dosel, AD) e intensidades de cosecha (alturas de forraje residual, AFR) en 2017 (A) y 2018 (B).....	69
Figura 12. Temperatura promedio mensual (A) y precipitación acumulada (B) durante los experimentos.....	78
Figura 13. Rendimiento de forraje (A) y contenido de proteína cruda (B, PC) de avena negra cv. Saia en monocultivo y en asociación con veza de invierno, Columnas con una misma letra no son diferentes ($p>0.05$).	82
Figura 14. Lámina de hoja yseudotallo+tallo de avena negra cv. Saia en monocultivo (A) y en asociación (B) con veza de invierno cosechada a diferentes combinaciones de alturas de dosel y alturas de forraje residual (AD-AFR). Barras con una misma letra no son diferentes ($p>0.05$).	87
Figura 15. Contenidos de proteína cruda (A), fibra detergente neutro (B) y fibra detergente ácido (C) de avena negra cv. Saia en monocultivo y en asociación con veza de invierno cosechada a diferentes combinaciones de alturas de dosel y alturas de forraje residual (AD-AFR). Barras con una misma letra no son diferentes ($p>0.05$).	88

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el otorgamiento de la beca para realizar mis estudios de doctorado.

A la UACH por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de licenciatura y posgrado.

Al profesor Ricardo D. Améndola Massiotti por su valiosa orientación, confianza, por sus enseñanzas, consejos y por todo el apoyo otorgado para realizar mis estudios de posgrado.

A los profesores, Edmundo García Moya por sus apreciados comentarios, Juan Andrés Burgueño Ferreira por su orientación en el análisis estadístico, José Luis Zaragoza Ramírez, Eliseo Sosa Montes y Luis Alberto Miranda Romero por las facilidades otorgadas para trabajar en los laboratorios, y Rodolfo Ramírez Valverde por sus valiosas sugerencias y comentarios durante la redacción de los artículos.

A los coordinadores de posgrado, Rafael Núñez Domínguez y Maximino Huerta Bravo por el apoyo académico que me brindaron durante mis estudios de posgrado.

A los profesores del Posgrado en Producción Animal y en especial a los que me brindaron parte de sus conocimientos.

A Marisol Ortiz Texon y Miguel Ángel Jiménez Ortiz por su amor, apoyo y paciencia.

Además, agradezco a los colegas (Pablo, Iván, Victoria, Asunción, Hermelinda, Karla, Enrique, Eduardo, Oscar, Amairani, Sheila, Roberto, Heber, Rodrigo, Esmeralda y Orbelin) que participaron en la realización de los trabajos de campo y laboratorio; también, al personal del Módulo de Producción de Leche en Pastoreo de la UACH, por las facilidades para realizar el trabajo de campo.

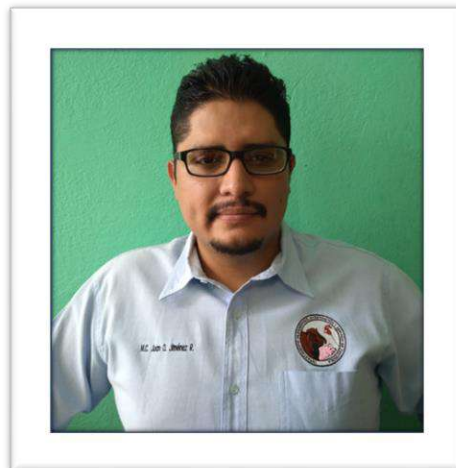
¡¡MUCHAS GRACIAS!!

Juan Daniel Jiménez Rosales

DATOS BIOGRÁFICOS

Juan Daniel Jiménez Rosales nació el 9 de octubre de 1989 en Ecatepec, México; pero, la mayor parte de su infancia y adolescencia la vivió en Zumpango, México.

Juan Daniel comenzó sus estudios profesionales en julio de 2007, cuando ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) en Texcoco, México. Obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia a principios de 2013 y el título de su tesis fue “Composición mineral de guaje y pasto estrella en un sistema silvopastoril intensivo”.



En enero de 2013 inició sus estudios de maestría, en el Posgrado en Producción Animal (PPA) de la UACH, el título de su tesis fue “Pastoreo mixto de vacas lecheras con borregas como seguidoras en alfalfa-ovillo”; finalizó la maestría en diciembre de 2014.

Después, en mayo de 2015 ingresó a trabajar como profesor en la Universidad Tecnológica de Paquimé en la carrera de Agricultura Sustentable y Protegida; ubicada en Casas Grandes Chihuahua, donde permaneció hasta diciembre de 2016. Posteriormente, decidió continuar con estudios de doctorado y regresó al PPA de la UACH en enero de 2017. Finalmente, obtuvo el grado de Doctor en Ciencias en junio de 2021 y la tesis que defendió fue “Tasa de consumo en vacas y rendimiento de avena negra a diferentes alturas de pastura e intensidades de cosecha”.

Desde enero de 2021 Juan Daniel ingresó a trabajar como docente al Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, en la Huasteca Veracruzana, donde imparte cursos en el programa de Maestría en Producción Pecuaria Tropical y la carrera de Ingeniería en Agronomía.

RESUMEN GENERAL

TASA DE CONSUMO EN VACAS Y RENDIMIENTO DE AVENA NEGRA A DIFERENTES ALTURAS DE PASTURA E INTENSIDADES DE COSECHA

Para contrarrestar la disminución de la oferta de forraje de pasturas perennes durante el invierno, es necesario el establecimiento de pasturas anuales y avena negra (*Avena strigosa* Schreb) es una opción. Pero, características de la pastura como su altura se asocian con la ingesta de forraje, factor clave en los sistemas pastoriles. Un objetivo fue evaluar el efecto de alturas de pastura (40, 50, 60 y 70 cm) en la tasa de consumo de forraje y los movimientos mandibulares de vacas. Además del consumo, otro componente de los sistemas pastoriles es el rendimiento y la composición del forraje. La frecuencia e intensidad de defoliación son criterios de cosecha que afectan dichas variables. En consecuencia, otro objetivo fue evaluar el rendimiento, la composición morfológica y química de avena negra y su asociación con veza (*Vicia villosa* Roth) bajo frecuencias (alturas de pastura, 40, 50, 60 y 70 cm) e intensidades de cosecha (alturas de forraje residual, 8, 14 y 20 cm). La tasa de consumo fue mayor ($p<0.05$) en pasturas de 70 cm ($92.9 \text{ g ms min}^{-1}$) que en las de 40, 50 y 60 cm (promedios de $70.4 \text{ g ms min}^{-1}$). La tasa de movimientos mandibulares de bocados fue mayor ($p<0.05$) en alturas de 40 y 50 cm (promedio de $41.5 \text{ bocados min}^{-1}$) que en 60 y 70 cm (promedio de $35.8 \text{ bocados min}^{-1}$). En contraste la tasa de movimientos mandibulares de masticación fue mayor ($p<0.05$) en 70 cm ($30.1 \text{ masticaciones min}^{-1}$) que, en 40, 50 y 60 cm (promedio de $24.4 \text{ masticaciones min}^{-1}$). El rendimiento de forraje aumentó ($p=0.007$, 35 kg ms cm^{-1} , $R^2 = 0.91$) de forma lineal, la lámina foliar disminuyó ($p=0.001$, $-33 \text{ kg ms cm}^{-1}$, $R^2 = 0.99$) y el de pseudotallo más tallo también aumentó ($p=0.001$, 46 kg ms cm^{-1} , $R^2 = 0.98$,) con el incremento de la altura. El rendimiento de forraje y la proteína cruda fueron 17 % y 19 % superiores ($p<0.05$) en monocultivo que en asociación (6743 vs. 5754 kg ms ha^{-1} , 19.2 vs. 16.2 %). Con base en los experimentos de corte en avena negra hubo una relación opuesta entre la cantidad (aumentó) y la calidad del forraje (disminuyó) con el incremento de la altura de la pastura.

Palabras clave: *Avena strigosa*, movimientos mandibulares, consumo de forraje, altura de dosel, composición morfológica.

Tesis de Doctorado en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal,
Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Juan Daniel Jiménez Rosales
Asesor: Ricardo D. Améndola Massiotti

GENERAL ABSTRACT

INTAKE RATE IN COWS AND FORAGE YIELD OF BLACK OATS AT DIFFERENT PASTURE HEIGHTS AND HARVEST INTENSITIES

To neutralize the decrease in forage supply of perennial pastures during winter, the establishment of annual pastures is necessary, and black oats (*Avena strigosa* Schreb) are an option. But characteristics of the pasture, such as its height, are associated with forage intake, a key factor in pastoral systems. An objective was to evaluate the effect of pasture heights (40, 50, 60, and 70 cm) on forage intake rate and jaw movements of cows. In addition to intake, another component of pastoral systems is forage yield and composition. The frequency and intensity of defoliation are harvest criteria that impact these variables. Another objective was to evaluate the yield, the morphological and chemical composition of black oats, and their association with vetch (*Vicia villosa* Roth) under frequencies (pasture heights, 40, 50, and 60 cm) and harvest intensities (residual forage heights, 8, 14 and 20 cm). The forage intake rate was higher ($p<0.05$) in pastures of 70 cm ($92.9 \text{ g DM min}^{-1}$) than in those of 40, 50, and 60 cm (averages of $70.4 \text{ g DM min}^{-1}$). The jaw bites movements rate was higher ($p<0.05$) at heights of 40 and 50 cm (average of $41.5 \text{ bites min}^{-1}$) than at 60 and 70 cm (average of $35.8 \text{ bites min}^{-1}$). In contrast, the chewing jaw movements rate was higher ($p<0.05$) in 70 cm ($30.1 \text{ chews min}^{-1}$) than in 40, 50, and 60 cm (average of $24.4 \text{ chews min}^{-1}$). Forage yield increased ($p=0.007$, 35 kg DM cm^{-1} , $R^2 = 0.91$) linearly, leaf blade decreased ($p=0.001$, $-33 \text{ kg DM cm}^{-1}$, $R^2 = 0.99$), and pseudo stem plus stem also increased ($p=0.001$, 46 kg DM cm^{-1} , $R^2 = 0.98$) with the increase in height. Forage yield and crude protein were 17 % and 19 % higher ($p<0.05$) in monoculture than in association ($6743 \text{ vs. } 5754 \text{ kg DM ha}^{-1}$, $19.2 \text{ vs. } 16.2 \%$). Despite the higher forage intake rates by cows in taller black oats, in the cutting experiments, there was an opposite relationship between the quantity (increase) and the quality of the forage (decrease) with the rise in pasture height.

Key words: *Avena strigosa*, jaw movements, forage intake, canopy height, morphological composition.

Doctoral Thesis in Livestock Innovation, Graduate Program in Animal Production, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Juan Daniel Jiménez Rosales

Advisor: Ricardo D. Améndola Massiotti

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La alimentación de los animales en los sistemas de producción de leche y carne en pastoreo es con forrajes perennes y anuales. De acuerdo con Améndola, Castillo y Martínez (2005), mencionan que en zonas templadas del centro de México predomina el uso de pasturas perennes de alfalfa (*Medicago sativa* L.), pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.), festuca (*Festuca arundinacea* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.); en monocultivo y en asociación. Sin embargo, un problema común es la disminución de la oferta de forraje en las pasturas perennes durante el otoño e invierno. Al respecto, Hernández-Guzmán, Hernández-Garay, Ortega-Jiménez, Enríquez-Quiroz y Velázquez-Martínez (2015), documentaron que la distribución del rendimiento de forraje en pasto ovillo fue: 50, 32, 14 y 5 % para primavera, verano, invierno y otoño, respectivamente.

Améndola et al. (2005), consignan que para aumentar la oferta de forraje en invierno es más frecuente el establecimiento de pasturas anuales de avena común (*Avena sativa* L.) y ballico anual (*Lolium multiflorum* L.). Pero en otras investigaciones (Espitia, Villaseñor, Tovar, & Limón, 2012; Sánchez, Gutiérrez, Serna, Gutiérrez, & Espinoza, 2014) se ha encontrado mayor rendimiento y calidad de forraje en avena negra (*Avena strigosa* Schreb) cv. Saia que en variedades de avena común. En general, la evaluación del rendimiento y la composición del forraje de avena común y negra en México se ha llevado a cabo en una sola cosecha, cuando las plantas se encuentran en estadios reproductivos y cuando la calidad del forraje es menor debido a la madurez de las plantas en dichos estadios (Espitia et al., 2012; Flores et al., 2016; Ramírez-Ordóñez, Domínguez-Díaz, Salmerón-Zamora, Villalobos-Villalobos, & Ortega-Gutiérrez, 2013; Sánchez et al., 2014).

Sin embargo, en investigaciones hechas fuera de México, donde se evaluó el rendimiento de forraje (Tonato, Pedreira, Pedreira, & Pequeno, 2014) y la composición química de avena negra durante su crecimiento vegetativo, se obtuvo que a moderadas intensidades de cosecha se puede obtener forraje de buena calidad en varias cosechas (Guzatti, Duchini, Sbrissia, & Ribeiro-Filho, 2015) y, además, se puede alargar el ciclo productivo de la avena

(Tonato et al., 2014) puesto que con menos severidad de cosecha se permite el rebrote de las plantas, debido a que los meristemos apicales de los macollos escapan al corte; porque cuando éstos se cortan (con altas intensidades de cosecha) los macollos se mueren (Gastal & Lemaire, 2015).

La frecuencia e intensidad de cosecha inciden en la producción y composición del forraje tanto en pasturas perennes (Brink, Jackson, & Alber, 2013; Hernández-Guzmán et al., 2015) como en pasturas anuales (Solomon, Macoon, & Lang, 2017; Tonato et al., 2014). La interceptación de luz por la altura del dosel forrajero (Da Silva, Sbrissia, & Pereira, 2015), o el número de hojas por macollo (Solomon et al., 2017) son criterios de frecuencia de cosecha convenientes en términos de rendimiento y composición del forraje; debido a que durante el crecimiento se puede ubicar el momento en el que hay mayor cantidad de hojas que de tallos y material muerto (Da Silva et al., 2015).

La altura del forraje residual para evaluar la severidad de la defoliación (Gastal & Lemaire, 2015), es un criterio que se ha utilizado como medida de intensidad de cosecha. Brink et al. (2013) obtuvieron mayor rendimiento de forraje (en pasto ovillo) cuando se defolió a mayor intensidad (2 a 8 cm de forraje residual) que a menor (16 cm de forraje residual) en estado vegetativo. Pero, Solomon et al. (2017) mencionaron que a mayor intensidad de cosecha (5 cm de forraje residual) también obtuvieron mayor rendimiento de forraje de ballico anual, pero con mayor contenido de fibra detergente neutro. Por el contrario, Schmitt et al. (2019) encontraron que la composición del forraje era la misma en pastos perennes (*Pennisetum* spp.) de distintas alturas de dosel en combinación con baja intensidad de cosecha, equivalente a la mitad superior de la altura del dosel.

Además de la evaluación del rendimiento y la composición del forraje, otro componente importante de los sistemas pastoriles es el consumo de forraje por los animales (Hogdson, 1990), porque el consumo de materia seca y su digestibilidad, determinan el suministro de nutrientes a los animales (Poppi, 2011). Características de abundancia de forraje, como masa y altura de pastura, son factores que se relacionan con el consumo de forraje en pastoreo

(Carvalho, 2013), porque la cantidad de forraje ingerida por bocado (peso de bocado) está influenciada por la densidad del forraje en los distintos estratos de altura de la pastura (Boval & Sauvant, 2019). En investigaciones relacionadas sobre el consumo de forraje por bovinos en avena común en pasturas de 40, 50 y 60 cm de altura (Nadin, Sánchez, Agnelli, Trindade, & Gonda, 2019) y avena negra de 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 cm de altura (Mezzalira et al., 2014) se obtuvo que el peso de bocado y la tasa de consumo de forraje de bovinos se aumenta con el incremento de la altura de la pastura. Aunque, Mezzalira et al. (2014) obtuvieron en avena negra de mayor altura que dichas variables luego de incrementarse se redujeron en las pasturas más altas, asociado a una respuesta conductual de los bovinos.

Por la importancia que tiene el consumo de forraje en pastoreo y con el propósito de ampliar el conocimiento sobre la conducta de ingestión de las vacas en pastoreo, en este documento se presenta una revisión de literatura sobre: “Comportamiento de ingestión y consumo de forraje por vacas en pastoreo”; en donde se destacan características de estructura de la pastura que regulan el peso de bocado y la tasa de consumo de forraje de bovinos (Capítulo 2). Para ampliar los conocimientos sobre consumo de forraje en pastoreo en México y con avena negra, un objetivo del trabajo fue evaluar la tasa de consumo de forraje y los movimientos mandibulares de vacas en pasturas de avena negra cv. Saia de 40, 50, 60 y 70 cm de altura (Capítulo 3).

Además, por el impacto que tiene la frecuencia e intensidad de cosecha sobre el rendimiento y la composición del forraje, otro objetivo del presente trabajo fue evaluar diferentes frecuencias de cosecha (alturas de dosel) e intensidades de cosecha (alturas de forraje residual) en el rendimiento, composición morfológica y química de avena negra en monocultivo (Capítulo 4). Sin embargo, debido a las ventajas que tienen las praderas mixtas de gramíneas con leguminosas, menor uso de fertilizantes nitrogenados, mejora de la calidad del suelo, mayor productividad y mejor composición nutricional (Ates, Feindel, Moneim, & Ryan, 2013; Luscher, Mueller-Harvey, Soussana, Rees, & Peyraud, 2014), otro objetivo fue evaluar diferentes combinaciones de alturas de dosel y forraje residual en el rendimiento, composición

morfológica y química de avena negra en monocultivo y en asociación con veza de invierno (Capítulo 5). Finalmente, en el Capítulo 6 se presentan las conclusiones de los trabajos de investigación.

Literatura citada

- Améndola, M. R., Castillo, E., & Martínez, H. P. A. (2005). Forage resource profiles. Mexico. In *Country pasture profiles* (CD). Rome, Italy: FAO.
- Ates, S., Feindel, D., El Moneim, A., & Ryan, J. (2013). Annual forage legumes in dryland agricultural systems of the West Asia and North Africa Regions: research achievements and future perspective. *Grass and Forage Science*, 69, 17-31. <https://doi.org/10.1111/gfs.12074>
- Boval, M., & Sauvant, D. (2019). Ingestive behaviour of grazing ruminants: meta-analysis of the components of bite mass. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 96-111. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.03.002>
- Brink, G. E., Jackson, R. D., & Alber, N. B. (2013). Residual sward height effects on growth and nutritive value of grazed temperate perennial grasses. *Crop Science*, 53, 2264-2274. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.01.0068>
- Carvalho, P. C. F. (2013). Harry Stobbs Memorial Lecture: Can grazing behavior support innovations in grassland management? *Tropical Grasslands*, 1, 137-155.
- Da Silva, S. C., Sbrissia, A. F., & Pereira, L. E. T. (2015). Ecophysiology of C4 forage grasses-understanding plant growth for optimizing their use and management. *Agriculture*, 5, 598-625. <https://doi.org/10.3390/agriculture5030598>
- Espitia, R. E., Villaseñor, H. E., Tovar, M. R., de la O, G. M., & Limón, O. A. (2012). Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3, 771-783.
- Flores, N. M. de J., Sánchez, G. R. A., Echavarría, C. F. G., Gutiérrez, L. R., Rosales, N. C. A., & Salinas G. H. (2016). Producción y calidad de forraje en mezclas de veza común con cebada, avena y triticale en cuatro etapas fenológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7, 275-291.
- Gastal, F., & Lemaire, G. (2015). Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: review of the underlying ecophysiological processes. *Agriculture*, 5, 1146-1171. <https://doi.org/10.3390/agriculture5041146>
- Guzatti, G. C., Duchini, P. G., Sbrissia, A. F., & Ribeiro-Filho, H. M. N. (2015). Aspectos qualitativos e produção de biomassa em pastos de aveia e azevém cultivados puros ou consorciados e submetidos a pastejo leniente. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 67, 1399-1407. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8103>

- Hernández-Guzmán, F. J., Hernández-Garay, A., Ortega-Jiménez, E., Enríquez-Quiroz, J. F., & Velázquez-Martínez, M. (2015). Comportamiento productivo del pasto ovido (*Dactylis glomerata* L.) en respuesta al pastoreo. *Agronomía Mesoamericana*, 26, 33-42.
- Hodgson, J. (1990). *Grazing Management: Science into Practice*. Essex, UK: Longman Scientific & Technical.
- Luscher, A., Mueller-Harvey, I., Soussana, J. F., Rees, R. M., & Peyraud, J. L. (2014). Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: A review. *Grass and Forage Science*, 69, 206-228. <https://doi.org/10.1111/gfs.12124>
- Mezzalana, J. C., Carvalho, P. C. F., Fonseca, L., Bremm, C., Cangiano, C., Gonda, H. L., & Laca, E. A. (2014). Behavioral mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. *Applied Animal Behaviour Science*, 153, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.12.014>
- Nadin, L., Sánchez, C. F., Agnelli, M. L., Trindade, J. K., & Gonda, H. (2019). Effect of sward height on short-term intake by steers grazing winter oat pastures. *Livestock Science*, 225, 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.04.018>
- Poppi, D. P. (2011). Nutritional constraints for grazing animals and the importance of selective grazing behavior. In Lemaire, G., Hodgson, J., & Chabbi, A. (Eds.), *Grassland Productivity and Ecosystem Services* (pp. 19-25). Wallingford, UK: CAB International.
- Ramírez-Ordóñez, S., Domínguez-Díaz, D., Salmerón-Zamora, J. J., Villalobos-Villalobos, G., & Ortega-Gutiérrez, J. A. (2013). Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36, 395-403.
- Sánchez, G. R. A., Gutiérrez, B. H., Serna, P. A., Gutiérrez, L. R., & Espinoza, C. A. (2014). Producción y calidad de forraje de variedades de avena en condiciones de temporal en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(2), 131-142.
- Schmitt, D., Padilha, D. A., Dias, K. M., Santos, G. T., Rodolfo, G. R., Zanini, G. D., & Sbrissia, A. F. (2019). Chemical composition of two warm-season perennial grasses subjected to proportions of defoliation. *Grassland Science*, 00, 1-8. <https://doi.org/10.1111/grs.12236>
- Solomon, J. K. Q., Macoon, B., & Lang, D. J. (2017). Harvest management based on leaf stage of a tetraploid vs. a diploid cultivar of annual ryegrass. *Grass Forage Science*, 72, 743-756. <https://doi.org/10.1111/gfs.12313>
- Tonato, F., Pedreira, B. C., Pedreira, C. G. S., & Pequeno, D. N. L. (2014). Aveia preta e azevém anual colhidos por interceptação de luz ou intervalo fixo de tempo em sistemas integrados de agricultura e pecuária no Estado de São Paulo. *Ciência Rural*, 44, 104-110. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000100017>

2 COMPORTAMIENTO DE INGESTIÓN Y CONSUMO DE FORRAJE POR VACAS EN PASTOREO. REVISIÓN

2.1 Resumen

Un propósito en los sistemas lecheros bajo pastoreo debe ser maximizar el consumo de forraje (CF) por las vacas, porque las vacas en pastoreo ingieren menos alimento que las vacas estabuladas. El objetivo de esta revisión fue brindar información sobre los componentes del comportamiento de ingestión (CI) en bovinos y de las características de la pradera que determinan el CF por vacas en pastoreo. Los componentes del CI que median el CF son masa de bocado (MB), tasa de bocados (TB), tasa de consumo (TC) y tiempo de pastoreo (TP). La masa, altura y densidad de forraje de las pasturas afectan la MB y en consecuencia el CF. La altura de la pastura es la variable que más se ha relacionado con los componentes del CI y por ello puede utilizarse para controlar el CF. Con el incremento de la altura de la pastura el CF aumenta, porque las vacas cosechan bocados de mayor peso, que permiten altas TC; pero también hay evidencia de que esta tasa puede disminuir debido a la cosecha de bocados de menor peso en pasturas muy altas. Con el aumento de la altura de la pastura las vacas reducen su TB, debido a que llevan a cabo mayor cantidad de movimientos mandibulares compuestos y de masticación; necesarios para procesar los bocados más grandes. Por el contrario, en pasturas cortas las vacas aumentan su TB y TP, para remediar la reducción en la TC debida a la cosecha de bocados de menor peso; aunque no se compensa por completo la disminución de la cantidad de forraje ingerido y como resultado el CF es menor. Por lo anterior, para mantener altas TC de forraje no se debe forzar las vacas a pastorear a altas intensidades.

Palabras clave: Tasa de consumo, tiempo de pastoreo, tasa de bocados, masa de bocado, altura de pradera.

INGESTIVE BEHAVIOR AND FORAGE INTAKE BY COWS IN GRAZING. REVIEW

2.2 Abstract

One goal in grazing dairy systems is to maximize forage intake (FI) by cows because grazing cows eat less feed than housed cows. The objective of this review was to provide information on the ingestive behavior (IB) components in bovines and the pasture characteristics that affect the FI of grazing cows. The IB components that mediate FI are bite mass (BM), biting rate (BR), intake rate (IR), and grazing time (GT). Pasture mass, height, and forage density affect bite mass (BM) and consequently FI. Pasture height is the variable that has been mostly related to IB components and can control FI. With the increase in pasture height, the FI increases because the cows harvest heavier bites, which allow high IR; although, there is also evidence that IR may decrease due to the harvest of lighter weight bites in very tall pastures. With the increase in the forage height, the cows reduce their BR since they present a higher amount of compound jaw and chewing movements needed to process larger bites. On the contrary, in short pastures, the cows increase their BR and GT, attempting to counterweigh the reduction in IR due to the harvest of lighter bites; however, the decrease in the amount of forage ingested is not fully compensated, and as a result, the FI is lower. Therefore, to maintain high IR, cows should not be forced to graze at high grazing intensities.

Key words: Intake rate, grazing time, biting rate, bite mass, pasture height.

2.3 Introducción

La comprensión del consumo de forraje por bovinos en pastoreo es importante para la gestión de los sistemas pastoriles. Porque, en comparación con los sistemas lecheros con vacas estabuladas, el consumo y la producción de vacas en situaciones de pastoreo son menores (Washburn & Mullen, 2014; Wilkinson, Lee, Rivero, & Chamberlain, 2020). El consumo de materia seca (ms) y la digestibilidad de la dieta determinan el suministro de energía metabolizable a una vaca estabulada o en pastoreo (Poppi, 2011) y en consecuencia afectan su producción. De acuerdo con Mertens (1994) entre 60 y 90 % de las variaciones en desempeño animal son explicadas por las variaciones en consumo y solo de 10 a 40 % por las variaciones en digestibilidad.

La ingesta de forraje por bovinos y ovinos en pastoreo se puede evaluar a partir del comportamiento de ingestión que exhiben los animales durante el pastoreo. Estos animales adaptan su comportamiento en función de características del forraje y de factores abióticos en las escalas espacio temporales del ambiente de pastoreo (Carvalho, Trindade, Bremm, Mezzalira, & Fonseca, 2013). La masa de bocado junto con masa, altura y desaparición del forraje son factores que median el consumo y explican 78 % de las variaciones en la ganancia de peso de bovinos (Carvalho et al., 2015).

Por la importancia que tiene el consumo de forraje en la producción animal en pastoreo y debido a los efectos de las características de la pastura en el comportamiento de ingestión. El propósito de esta revisión es definir los componentes del comportamiento de ingestión de bovinos en pastoreo, con base en resultados de investigaciones llevadas a cabo en su mayoría en pasturas de clima templado, en situaciones dominadas por pasturas homogéneas; que han sido relevantes para el avance en la comprensión de las relaciones funcionales entre las características de las pasturas con las dimensiones del bocado y la TC (Chilibroste, Gibb, Soca, & Mattiauda, 2015).

Al inicio de este documento se definen y describen los componentes del comportamiento de ingestión y las escalas espacio temporales del ambiente

de pastoreo. A continuación, se presentan conceptos sobre las dimensiones del bocado, para entender su relación con la densidad del forraje e impacto en la ingesta de forraje. Después, se aborda la importancia de la altura de la pastura y la reducción de esta, como medidas de abundancia de forraje, sobre el comportamiento de ingestión y el consumo. Al final, se describe el patrón de actividad de pastoreo de vacas y algunos resultados del comportamiento de ingestión y consumo.

2.4 Comportamiento de ingestión y escalas de pastoreo

El comportamiento de ingestión (CI) de vacas es resultado de integrar algunos componentes propios de dichos animales y componentes de la pastura (Figura 1); para evaluar el consumo de forraje (CF, g ms d⁻¹). Los componentes son masa de bocado (MB, g ms bocado⁻¹), tasa de bocados (TB, bocados min⁻¹), tasa de consumo (TC, g ms min⁻¹) y tiempo de pastoreo (TP, min d⁻¹). El conocimiento del CI de las vacas es imprescindible para comprender su CF. El forrajeo por vacas se puede efectuar a nivel de diferentes escalas jerárquicas de espacio y tiempo (Figura 2) dentro del ambiente de pastoreo (Bailey & Provenza, 2008).

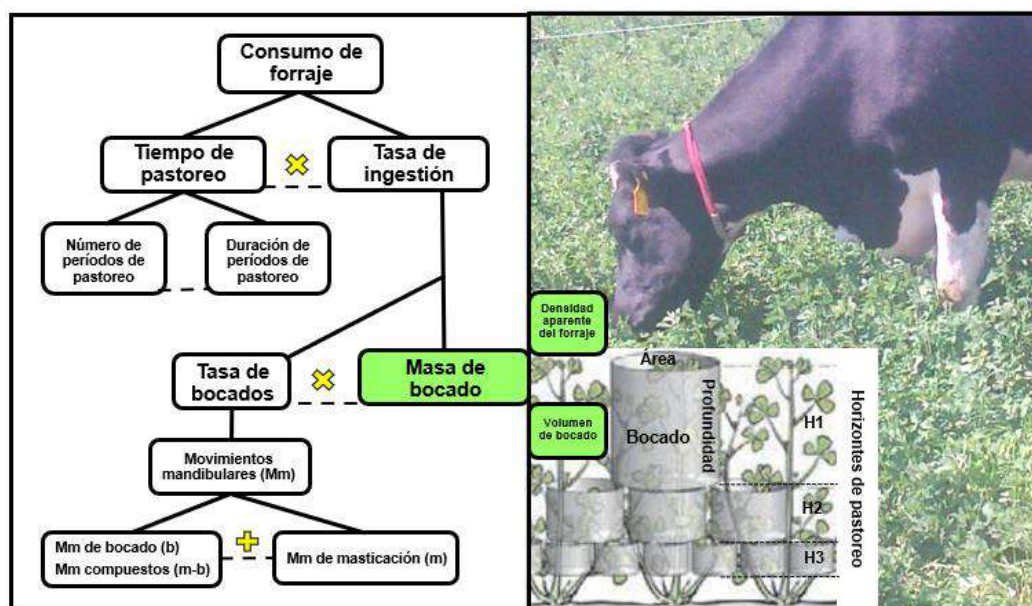


Figura 1. Componentes del comportamiento de ingestión de vacas en pastoreo (Adaptado de Boval & Sauvant, 2019a; Cangiano & Galli, 1999; Carvalho, 2013 y Hodgson, 1985).

La escala más pequeña es el bocado y su obtención se define como la colocación de forraje en la boca y su desprendimiento del suelo por movimientos de la boca y de la cabeza (Ungar, 1996). Con movimientos de los labios, lengua y mandíbulas se da la aprehensión y acomodo del bocado dentro de la boca y con movimientos de la cabeza se da la tensión, para lograr la ruptura del forraje (Andriamandroso, Bindelle, Mercatoris, & Lebeau, 2016)., La lengua de los bovinos es utilizada para introducir el forraje hacia dentro de su boca y para ampliar el área de bocado (Laca, Ungar, Seligman, & Demment, 1992). La escala siguiente es la estación de alimentación, área en la que el animal puede seleccionar y tomar bocados solo con movimientos del cuello, sin mover sus patas delanteras (Ruyle & Dwyer, 1985).

A continuación, está el manchón que es considerado un conjunto de estaciones de alimentación con plantas potenciales para la cosecha de bocados (Carvalho et al., 2013). El pastoreo en las escalas descritas puede durar de 1 s a 30 min, en superficies que van desde pocos centímetros cuadrados hasta 1 ha (Bailey & Provenza, 2008). La otra escala mayor es el sitio de pastoreo, que está integrado por distintos manchones donde el animal consume forraje durante una sesión de pastoreo (Carvalho et al. 2013). El tiempo de permanencia en dicha escala puede ser de 1 a 4 h, en superficies que van desde 1 a 4 ha (Bailey & Provenza, 2008).

La investigación sobre el CF a corto plazo por vacas lecheras en pasturas ha predominado en la escala de bocado (Benvenuti, Gordon, & Poppi, 2006; Galli, Cangiano, Pece, & Larripa, 2018; Laca et al., 1992), estación de alimentación (Gonçalves et al., 2009b; Gregorini et al., 2009), manchón (Griffiths, Hodgson, & Arnold, 2003; Utsumi et al., 2009) y sitio de pastoreo (Larson-Praplan, George, Buckhouse, & Laca, 2015). De acuerdo con Chilbroste et al. (2015) una causa de que la investigación se ha focalizado a corto plazo que a largo plazo es, porque pocos investigadores tienen acceso a la grabación automática del CI o cuentan con poco personal capacitado para hacer observaciones a largo plazo. Sin embargo, la ganadería de precisión, que abarca el uso de herramientas tecnológicas para evaluar el comportamiento del ganado puede ayudar a tomar decisiones en tiempo real

sobre la gestión (Pulina et al., 2017) y comprender mejor la relación planta-animal en los agroecosistemas (Laca, 2009). En una revisión detallada Adriamandroso et al. (2016) presentaron información sobre diversos sensores y dispositivos que se han utilizado para el monitoreo de los movimientos mandibulares y el comportamiento de pastoreo en bovinos.

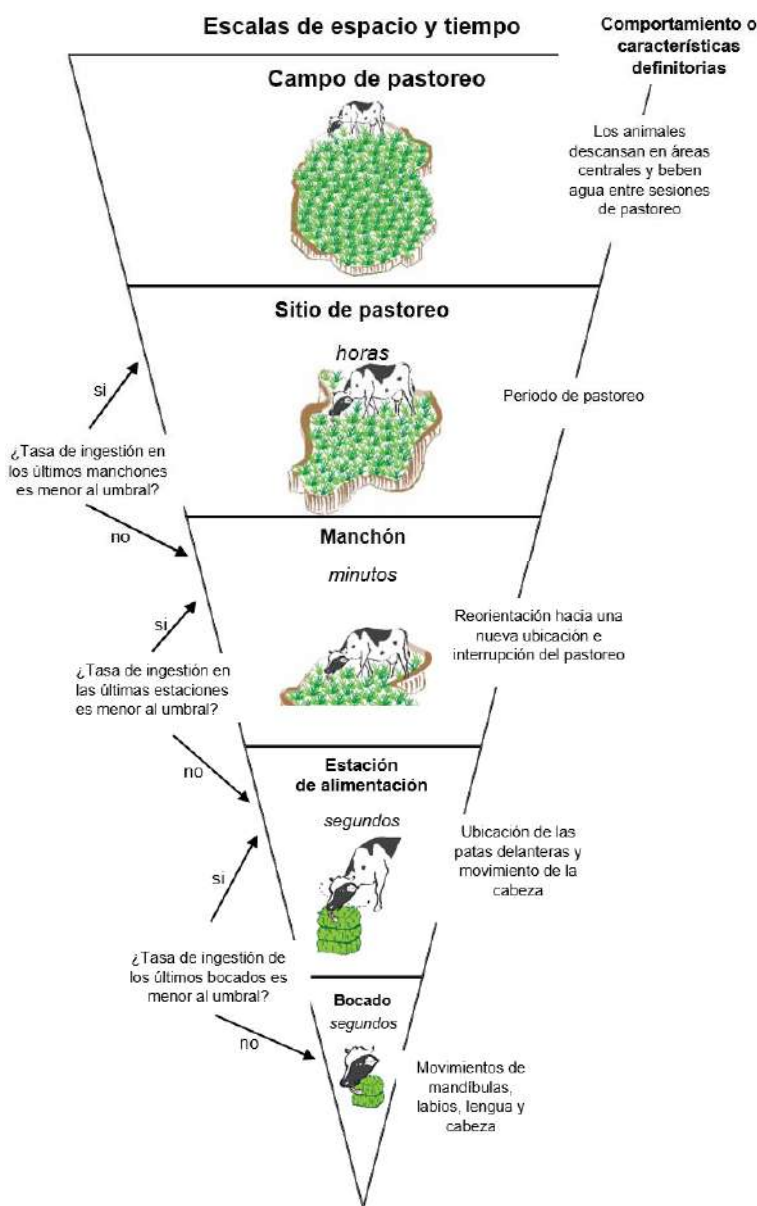


Figura 2. Escalas espaciales y temporales del comportamiento de pastoreo de herbívoros grandes (Adaptado de Bailey & Provenza, 2008; Laca, 2000 y Laca, 2011).

Otra escala mayor es el campo de pastoreo, que implica mayor tiempo (semanas) y espacio (kilómetros cuadrados). Dicha escala puede ser alcanzada por hatos de ganado que durante el pastoreo se mueven dentro de

grandes pastizales (Bailey, Stephenson, & Pittarello, 2015) y grandes herbívoros en condiciones naturales durante las migraciones estacionales (Boone, BurnSilver, Worden, Galvin, & Hobbs, 2008). Bailey y Provenza (2008), señalaron que el tiempo de permanencia de los grandes herbívoros (incluidos los bovinos) en las escalas generalmente coincide con la cantidad y calidad del forraje que allí se encuentra, además de factores que incluyen la topografía del área (Larson-Praplan et al., 2015), la ubicación del agua (Brizuela & Cibils, 2011), la estación del año y la raza del animal (Dolev et al., 2014).

Una de las publicaciones clásicas que utilizaron el enfoque de CI, indicó que el CF de los animales en pastoreo se puede describir con aritmética por el producto de dos componentes: TC y TP (Allden & Whitaker, 1970). La TC se define como el producto de TB y MB (Hodgson, 1985). A su vez, la TB está determinada por los movimientos mandibulares (Figura 1) que pueden ser diferenciados con equipos que registran señales mecánicas (Rombach, Münger, Niederhauser, Südekum, & Schori, 2018) y acústicas (Navon, Mizrach, Hetzroni, & Ungar, 2013; Ungar & Rutter, 2006). Laca, Ungar, y Demment (1994) mencionaron que los movimientos mandibulares son de masticación, bocado y compuestos (masticación-bocado); que han sido identificados en exclusiva con el análisis acústico (Galli et al., 2018).

Laca (2000) propuso el modelo para ayudar a comprender la estrategia de forrajeo por animales en pastoreo y poder optimizar el CF entre las escalas. Dicho autor destacó que el desplazamiento entre las escalas más pequeñas está gobernado por la TC de las últimas escalas jerárquicas inferiores (Figura 2). Por ejemplo, cuando una vaca cosecha bocados dentro de una estación de alimentación, el pastoreo puede continuar hasta que la TC de los últimos bocados cae por debajo de un umbral. Si lo anterior se presenta, la vaca se desplaza hacia la próxima escala jerárquica, en la que ocurrirá la cosecha de bocados a nivel de manchón, en la que permanecerá hasta que la TC llegue al umbral, si no es así, permanecerá dentro del mismo manchón.

Carvalho et al. (2013) destacaron que el tiempo de permanencia de animales cosechando bocados en cada estación de alimentación refleja la condición del

dosel forrajero; cuando la condición estructural del forraje es mejor en masa de forraje, altura, densidad de forraje y relación hoja/tallo, mayor será el tiempo de permanencia. Gonçalves et al. (2009b) encontraron que bovinos y ovinos permanecieron menos entre estaciones de alimentación y se desplazaron con mayor rapidez, entre ellas en pasturas (nativas del sur de Brasil) de baja altura (4 y 8 cm) que de mayor altura (12 y 16 cm). Baggio et al. (2009) consignaron que el tiempo de permanencia de novillos en la estación de alimentación bajo pastoreo de ballico anual (*Lolium multiflorum* Lam.) con avena negra (*Avena strigosa* Schreb) se aumentó con incrementos en la altura de la pastura (10, 20, 30 y 40 cm).

Gregorini et al. (2009) mencionaron que el CF en el ámbito de la estación de alimentación, novillos pastoreando trigo (*Triticum aestivum* L.) de mayor altura (23.6 cm) tuvieron mayor TC de forraje (1.9 veces más) y cosecharon más bocados en el área pastoreada por estación de alimentación, que en pasturas de menor altura (20.4 y 19.5 cm). Con base en los resultados anteriores, hay evidencia de que el comportamiento de ingestión que siguen los bovinos para lograr una alta ingesta de forraje durante el pastoreo es aumentar su TC en manchones con alta cantidad de forraje (mayor altura); en cambio, cuando se encuentran con manchones con menor oferta forrajera (menor altura), se desplazan con mayor rapidez entre estaciones de alimentación. Por su parte, Utsumi et al. (2009) publicaron que la distancia entre los manchones potenciales para la ingesta de forraje también es importante en los componentes de TC. En su trabajo con vacas, los autores encontraron que con el aumento en la distancia entre manchones (1, 4 y 8 m) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y festuca (*Festuca arundinacea* L.), el número de bocados, los tiempos de permanencia, la velocidad de desplazamiento y la proporción de forraje total consumido en manchones se incrementaron y la TC se redujo y concluyeron que las vacas hicieron un uso más uniforme de las especies a medida que la distancia entre manchones fue mayor.

2.5 Dimensiones del bocado

El CF de un animal en pastoreo está relacionado con la capacidad que tiene su aparato recolector (Ungar, 1996) y con la dinámica de la respuesta

funcional, vale decir, la relación que hay entre la TC y algunas variables que describen la abundancia de forraje en el área de pastoreo, tales como: biomasa, altura de pastura y densidad de forraje (Searle & Shipley, 2008). Por ello, el CF por bocado se puede evaluar por las dimensiones de este último y la densidad aparente del forraje (DAF). La MB se puede cuantificar con aritmética como el producto del volumen del bocado (VB) y la DAF (Carvalho, 2013). El VB no es el de la cavidad bucal, sino el volumen que ocupaba el forraje en la pastura y que es cosechado con el bocado el cual se ha considerado un cilindro de profundidad y área determinadas (Figura 1). Boval y Sauvant (2019a) plantearon una relación curvilínea entre el VB (y) y la altura de la pastura (x), $y=9.63*(1-\exp(0.00125x))$, $n=90$, $RMSE=0.30$; debida a las respuestas que hay entre la profundidad y el área del bocado por efecto del aumento de la altura de la pastura.

La profundidad del bocado se puede definir como la diferencia entre la altura media inicial y la altura residual medida después del pastoreo (Rook, Harvey, Parsons, Orr, & Rutter, 2004) y en pasturas de gramíneas puede conocerse a partir de la medición total del largo de los macollos totalmente extendidos antes y después del pastoreo (Gonçalves et al., 2009a). Resultados de Carvalho (2013), obtenidos con diferentes especies de forrajes y rumiantes ponen de manifiesto que hay una relación lineal entre la profundidad del bocado (y) y el largo de los hijuelos extendidos (x), $y=1.1+0.52x$, $R^2=0.84$, $n=203$; resaltan que la profundidad de bocado corresponde al 52 % del largo de los hijuelos. Los resultados del metaanálisis de Boval y Sauvant (2019a), indican que la profundidad del bocado (y) en bovinos se incrementa de manera lineal con la altura de la pastura (x); $y=1.41+0.44x$, $RMSE=1.4$, $n=149$. Los resultados de Carvalho (2013) y Boval y Sauvant (2019a) son similares, en un intervalo de longitudes de macollos entre 5 y 40 cm la relación entre ambas variables rinde un $R^2 = 1$, con la salvedad que la profundidad estimada con la ecuación de Carvalho (2013) da resultados 13 % mayores.

Hay evidencia (Boval & Sauvant, 2019a; Carvalho, 2013) con base en lo antedicho para suponer que un aproximado de la profundidad del bocado en bovinos puede ser de un 50 % de altura de la pastura. No obstante, en

experimentos previos sobre profundidad de bocado, Griffiths et al. (2003) concluyeron que hay que tener precaución en los supuestos sobre el concepto de proporcionalidad mencionado. A pesar de que dichos autores documentaron valores de profundidad de bocado en vacas de 40 a 55 % de la altura de la pastura en ballico inglés (*Lolium perenne* L.) en estado vegetativo. Sin embargo, también consignaron que la profundidad del bocado aumentó de manera progresiva durante los primeros 10-20 bocados, lo que indica que el ganado puede ser cauteloso al evaluar los manchones durante el pastoreo.

El área del bocado en estudios con parcelas construidas a mano se estima como el cociente del área total pastoreada entre el número de bocados registrados (Laca et al., 1992; Ungar & Ravid, 1999). El área del bocado en bovinos aumenta con la altura de la pastura, con una relación curvilínea y un máximo teórico de 153.6 cm² (Boval y Sauvant, 2019a). La DAF se refiere a la relación entre la masa del forraje y el volumen que ocupaba dicha masa en la pastura. En los estudios sobre dimensiones del bocado de Rook et al. (2004), la DAF se estima a partir del corte de muestras de forraje en un área conocida, para lo cual se considera la profundidad del bocado en el estrato pastoreado y las muestras se cortan en espacios adyacentes donde se identifican áreas de bocados. De acuerdo con Boval y Sauvant (2019a), la disminución de la DAF tiene un efecto positivo en el área de bocado de bovinos; en valores menores de DAF, el área de bocado fue cercana a 130 cm², mientras que para los valores altos de DAF el área de bocado presentó un valor mínimo de 33 cm².

La altura y densidad de las pasturas templadas no varían de manera independiente, sino que por lo regular están inversamente relacionadas. En pasturas muy cortas (regularmente muy densas) se impiden mayores áreas de bocado, ya que los componentes cortos (esencialmente hojas) que se ubican en los bordes del área del bocado que el animal intenta tomar, escapan a la captura por la lengua y la prensión por medio de los dientes y el rodete dental (Ungar, 1996). Por el contrario, en las pasturas de clima templado de mayor altura en estado vegetativo, la profundidad del bocado y el área de

bocado son mayores debido a que se facilita la aprehensión de los componentes del dosel (Carvalho et al., 2013). En estos casos se presenta el efecto “spaghetti”, por medio del cual los bovinos ejecutan movimientos mandibulares compuestos; el animal toma un nuevo bocado cuando aún se encuentra masticando el bocado que tomó con anterioridad (Ungar, 1996).

2.6 La altura de la pastura en el consumo

Hasta ahora se han destacado los efectos de la altura de la pastura y la DAF en las dimensiones del bocado. Pero es importante discutir el impacto que tiene la altura de la pastura sobre el CF en pastoreo y explicar cómo este último está mediado por los componentes del CI y finalmente por la MB (Boval & Sauvant, 2019a; Boval & Sauvant, 2019b). Pero, es importante señalar que en pasturas templadas y tropicales en estado vegetativo el CF será afectado por la altura de la pastura; siempre y cuando se mantengan doseles con alta densidad de hojas verdes (Brink & Soder, 2011; Da Silva et al., 2013; Penning, Rook, & Orr, 1991).

El aumento del CF por vacas lecheras en pastoreo es una respuesta clásica al incremento en la altura de pastura. La variación en el consumo se explica por los cambios que ocurren en los componentes del CI durante el pastoreo; también por efecto de la altura de pastura (Figura 3). Lo anterior se evidenció desde un trabajo clásico hecho con borregas en pasturas templadas (Penning et al., 1991) y resultados recientes con bovinos de carne en pasturas tropicales (Da Silva et al., 2013) también confirmaron lo antedicho. La respuesta clásica de la TC y la MB por efecto de la altura de pastura es que dichas variables se incrementan con el aumento de la altura (Da Silva et al., 2013; Gonçalves et al., 2009a; Penning et al., 1991; Prache & Delagarde, 2011; Silva et al., 2017).

Estudios recientes, que evaluaron diferentes alturas de pastura en *Cynodon* sp. (10, 15, 20, 25, 30 y 35 cm) y *Avena strigosa* Schreb (15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 cm), destacaron que después de encontrar el mismo patrón, la TC y la MB disminuyeron en las pasturas más altas que fueron evaluadas (Mezzalana et al., 2014). En dicho estudio obtuvieron una respuesta funcional

en forma de cúpula (Mezzalira et al., 2017); donde la TC de forraje fue mayor en alturas de pastura intermedias (19 cm con 39.2 g ms min^{-1} en *Cynodon* y 29.3 cm con 54 g ms min^{-1} en avena) en ambas especies. Los autores del trabajo resaltaron que dicha respuesta fue el resultado de cambios en la MB en las pasturas altas (30 y 35 cm en *Cynodon*. y 45 y 50 cm en avena). Los investigadores atribuyeron que la disminución de la MB se debió a una reducción en su volumen, debida a menor área de bocado impulsada por el comportamiento selectivo de los animales porque no se relacionó con restricciones de la pastura que limitaran la formación del bocado (Mezzalira et al., 2014).

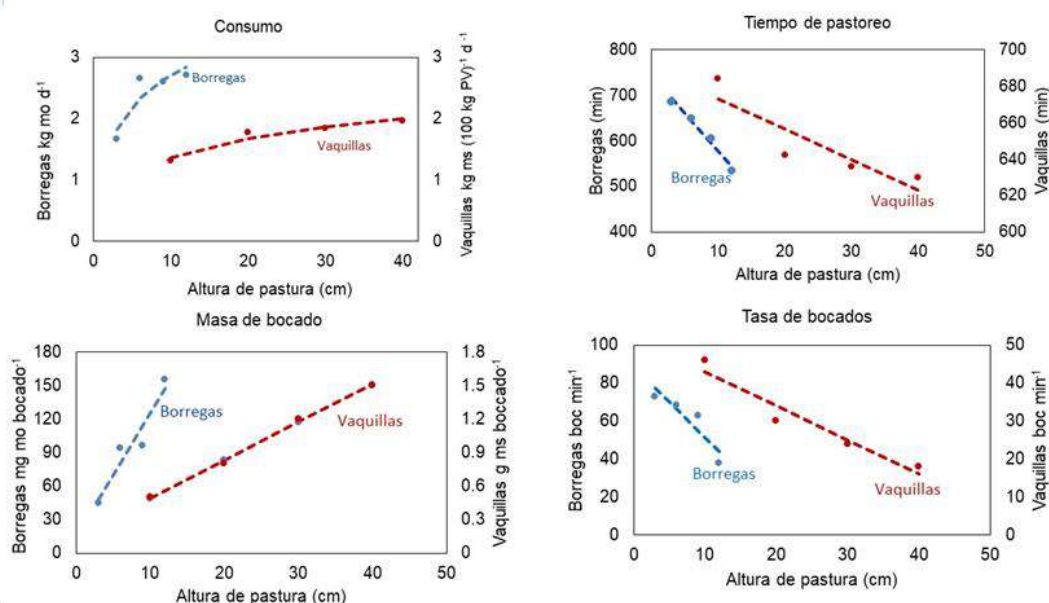


Figura 3. Consumo de forraje y componentes del comportamiento de ingestión en respuesta a la altura de pastura (Adaptado de Da Silva et al., 2013 y Penning et al., 1991).

Los bovinos también incrementan el total de movimientos mandibulares por gramo de ms consumida con el aumento de la altura de pastura (Fonseca et al., 2013), debido a que los animales tienen que ejecutar mayor número de movimientos mandibulares por cada bocado debido a que estos son de mayor masa y necesitan mayor número de masticaciones para después tragar el forraje (Boval & Sauvant, 2019b; Gonçalves et al., 2009a). La MB, así como el CF en pasturas templadas, en estado vegetativo, pueden resultar mayores en pasturas con alturas intermedias (Mezzalira et al., 2017) y altas (Penning

et al., 1991) y, por otra parte, para procesar bocados de mayor peso los bovinos ajustan el número de movimientos mandibulares.

Otro cambio importante en el CI de las vacas en pastoreo en respuesta al incremento en altura de pastura es la reducción en la TB y TP (Figura 3). Lo cual es consecuencia de la mayor cantidad de forraje aprehendido por bocado, que implica un aumento en el tiempo por bocado (Laca et al., 1994; Mezzalana et al., 2014) y un incremento del número de movimientos mandibulares de masticación (Baggio et al., 2009; Ungar, 1996). En otras palabras, a medida que los bovinos aprehenden más forraje por bocado emplean más tiempo para masticar, lo que demora la toma del siguiente bocado (Boval & Sauvant, 2019b; Gonçalves et al., 2009a).

2.7 La reducción de la altura de la pastura en el consumo

Hasta ahora se ha hablado de cómo el CF se explica por el CI de los animales y por características estructurales del dosel de la pastura (cantidad de forraje, DAF y altura de pastura); que regulan la MB. Con base en, estudios en donde se evaluaron dichas variables en plantas en estado vegetativo; de diferentes alturas. Sin embargo, ahora es importante discutir el efecto que, sobre el CF, tiene la reducción de altura de la pastura que se presenta con el agotamiento del recurso forrajero que ocurre durante el pastoreo a través del día. Hace más de dos décadas se diseñó un modelo mecanicista que ayudó a explicar dicha situación (Galli, Cangiano, & Fernández, 1999).

Dicho modelo planteó que los bovinos realizan la cosecha de bocados a través de horizontes del dosel forrajero (Figura 1) a una profundidad más o menos constante de 50 % de altura de la pastura. Inician el pastoreo en el horizonte 1 (H1) consumen dicha proporción y después continúan al horizonte 2 (H2), donde cosecharán, en forma aproximada, la misma proporción de altura correspondiente al horizonte hasta llegar al horizonte 3 (H3) y finalizar a una altura límite de pastoreo (Figura 1). Con base en el modelo mencionado Cangiano, Galli, Pece, Dichio, y Rozsypalek (2002) obtuvieron que la profundidad, el área y la MB en trigo, sorgo (*Sorghum sacharatum* L.) y alfalfa variaron a través de los horizontes de pastoreo. Desde el H1 hasta el H3, las

profundidades de bocado disminuyeron en 76, 78 y 70 %, las áreas de bocados se redujeron en 44, 56 y 56 % y, en consecuencia, las MB fueron menores en 61, 71 y 87 % para trigo, sorgo y alfalfa (Cuadro 1).

La estructura vertical de la pastura ayuda a explicar la variación en las dimensiones del bocado. Porque el aumento del pseudotallo, tallo y material muerto desde la superficie de la pastura hasta su base se vuelven barreras para la formación del bocado (Baumont, Cohen-Salmon, Prache, & Sauvant, 2004; Benvenuti et al., 2006; Flores, Laca, Griggs, & Demment, 1993; Fonseca, et al., 2013) y, en consecuencia, modifican la MB y a su vez el CF. Al respecto, Griffiths et al. (2003) destacaron que el pseudotallo y las alturas de rebrote, material muerto y el número de bocados removidos dentro del dosel forrajero son reguladores parciales de la profundidad de bocado. Cangiano et al. (2002) atribuyeron que la disminución del área de bocado desde H1 a H3 se debe a la disminución de hojas en la base del dosel forrajero y a la dificultad de aprehensión del forraje que escapa al barrido de la lengua. Además, Boval y Sauvant (2019a) destacaron que el aumento de la DAF también afecta de manera negativa el área de bocado y la DAF es mayor en los estratos más bajos de las pasturas (Brink & Soder, 2011; Fonseca et al., 2012).

Cuadro 1. Dimensiones de bocado a través de horizontes de la pastura (Adaptado de Cangiano et al., 2002).

Horizonte (H)	Dimensiones de bocado	Trigo	Sorgo	Alfalfa
		Altura de pastura (cm)		
		39.3	82.4	42.4
H1 superior	Profundidad (cm)	23.3	46	19.9
	Área (cm ²)	155.2	171.4	176
	Masa (g ms)	1.5	2.7	2.6
H2 medio	Profundidad (cm)	10.8	18.3	10.6
	Área (cm ²)	156.3	125.5	130.5
	Masa (g ms)	1.6	1.4	1.1
H3 inferior	Profundidad (cm)	5.7	10	6
	Área (cm ²)	87.6	75.5	87.3
	Masa (g ms)	0.6	0.8	0.3

Hay evidencia, con base en lo anterior, para destacar que la disminución del CF que se puede dar con la reducción de altura de pastura debido a menores MB; sobre todo cuando los animales son forzados a cosechar hasta el horizonte más bajo de la pastura. El pastoreo en franjas se asocia con situaciones de rápido agotamiento del recurso forrajero (Ungar, 1996) y cuando los niveles de reducción de altura de pastura en dicha situación no se controlan; el CF puede ser afectado en forma negativa. Sin embargo, en situaciones de gestión diferente en las que las pasturas no presentan cambios en su condición durante el día, la TC es constante y el comportamiento del consumo es similar a través del día (Amendola, 2002). Un claro ejemplo, en el que se puede manifestar dicha situación es con el pastoreo rotatínuo (baja intensidad y altas frecuencias de pastoreo), donde los animales cosechan la mayoría de los bocados en el H1; manteniendo altas TC (Carvalho, 2013; Savian et al., 2018).

Es importante, por tanto, resaltar que el control de la intensidad del pastoreo durante la gestión de la pastura es una medida de manejo útil para tener una idea del nivel de CF. Por ejemplo, para maximizar el CF en vacas lecheras en pastoreo de ballico inglés se ha destacado que no debe forzarse la cosecha a alturas de forraje residual menores a 6 u 8 cm (McGilloway, Cushnahan, Laidlaw, Mayne, & Kilpatrick, 1999). Mientras que, en bovinos bajo pastoreo de avena negra, *Cynodon* (Mezzalira et al., 2014) y sorgo (*Sorghum bicolor* L.) (Fonseca et al., 2012) se encontró que altas TC se mantenían hasta un nivel de reducción de 40 % de altura de la pastura.

Los bovinos y ovinos en pastoreo son capaces de aumentar su TB y TP ante situaciones de baja MB (Figura 3); como estrategia conductual para compensar parcialmente la reducción en la TC (Alliden & Whittaker, 1970; Boval & Sauviant, 2019b; Gibb, Huckle, Nuthall, & Rook, 1997; Penning et al., 1991; Prache & Delagarde, 2011). Sin embargo, no se compensa por completo la disminución de la cantidad de forraje ingerido y como resultado el CF es menor (Chilibroste et al., 2015). Por diferencias en conducta animal, la respuesta se presenta en pastoreo continuo y rotacional pero no así en pastoreo en franjas (Amendola, 2002; Chilibroste, 1999).

2.8 El tiempo de pastoreo y el consumo de forraje

Las vacas durante el día pacen, rumian y hacen otras acciones. El Cuadro 2 presenta resultados del tiempo que dedican a cada actividad en clima templado con ballico inglés. Las vacas exhiben diferentes periodos de pastoreo durante el día. Barrett, Laidlaw, Mayne, y Christie (2001) obtuvieron 8 h 28 min de TP distribuido en cuatro periodos, dos de mayor intensidad después de las ordeñas matutina y vespertina, y dos menos intensos al final de la mañana y al principio de la tarde.

Las vacas en pastoreo de ballico inglés con asignación de forraje invirtieron por la mañana, entre 70 y 80 % de su tiempo en pastoreo después de las ordeñas matutina y vespertina (Henriquez-Hidalgo et al., 2014). Sheahan, Boston, y Roche (2013) obtuvieron que conforme transcurrieron las primeras 4 h después de las ordeñas matutina (después de las 8:00) y vespertina (después de las 15:00) el porcentaje de vacas en pastoreo declinó de 94 a 35 % (ordeña matutina) y 87 a 9 % (ordeña vespertina).

Los tiempos de rumia e inactividad de las vacas durante la noche son mayores y destinan 70 % de su tiempo a dichas actividades. Pero a pesar de que el mayor tiempo de rumia se presenta durante la noche, también hay periodos de rumia en el día. La rumia durante la noche se asocia con el comportamiento natural que exhiben los rumiantes. Al atardecer consumen forraje lo más rápido posible y dejan la rumia para la noche; cuando se ocultan con relativa seguridad y disminuyen los riesgos de ser depredados (Chilibroste, Soca, Mattiauda, Bentancur, & Robinson, 2007; Gregorini, Tamminga, & Gunter, 2006).

En la estimación de CF, el TP debe ser de pastoreo activo, el cual está determinado por el número y la duración de los periodos de pastoreo (PP) durante el día (Carvalho et al., 2013), debido a que el tiempo total de pastoreo diario es el resultado acumulado de todos los periodos o eventos de pastoreo (Chilibroste et al., 2015). El PP por definición se refiere a una secuencia larga de pastoreo, la cual se caracteriza por un mínimo de 20 min de pastoreo activo

y su interrupción ocurre por cualquier otra actividad, también por un periodo mínimo de 20 min (Baggio et al., 2008).

A partir de investigaciones llevadas a cabo bajo pastoreo rotacional en pasturas dominadas por ballico inglés, se ha encontrado que vacas lecheras pueden efectuar alrededor de 5.6 a 10 PP a través del día (Cuadro 2), y la duración aproximada del PP es de 90 min. El número y duración del PP se han asociado con la calidad y cantidad de forraje; en situaciones de elevada masa de forraje disponible el número del PP es mayor y su duración es menor. En dichas situaciones los bovinos se vuelven más selectivos y, por ende, pueden cosechar forraje de mayor calidad en menor tiempo (Baggio et al., 2008).

El CF a partir de la integración de resultados sobre componentes del CI obtenidos en investigaciones llevadas a cabo con vacas lecheras bajo pastoreo de pasturas dominadas por ballico inglés (Ganche, Delaby, O'Donovan, Boland, & Kennedy, 2014; Henríquez-Hidalgo et al., 2014; Kennedy, McEvoy, Murphy, & O'Donovan, 2009; Prendiville, Lewis, Pierce, & Buckley, 2010; Rutter, Orr, Penning, Yarrow, & Champion, 2002), es de un aproximado 3 % de su peso vivo (PV) (Cuadro 2). Sin embargo, la variación alrededor de esa media puede ser elevada, debida a factores de la pastura, de gestión del pastoreo y del animal. En su revisión, Decruyenaere, Buldgen, y Stilmant (2009) en pastoreo de pasturas templadas, reportaron valores de CF en vacas lecheras de 1.6 a 3 % del PV.

La TB, con base en los mismos resultados del Cuadro 2, es similar entre vaquillas y vacas adultas (en promedio 59 bocados min^{-1}); en cambio, la MB promedio es mayor en animales adultos (0.41 g) que en jóvenes (0.22 g). Lo anterior se debe a la mayor longitud en la arcada de los incisivos de las vacas, porque determina el área y el volumen de bocado y, en consecuencia, la MB (Boval y Sauvant et al., 2019a). Por lo anterior, la TC promedio mencionada en las vaquillas es menor (12.8 g ms min^{-1}) que en las vacas (24 g ms min^{-1}).

Cuadro 2. Componentes del comportamiento de ingestión, tiempos de pastoreo, rumia e inactividad en vacas lecheras bajo pastoreo en pasturas de clima templado.

Descripción	Componentes del comportamiento de ingestión			
	Ganche et al., 2014	Prendiville et al., 2010	Rutter et al., 2002	Rutter et al., 2002
Animal	Vacas lecheras		Vaquillas	
Pastura	Ballico inglés	Ballico inglés	Ballico inglés	<i>Trifolium repens</i>
Consumo de forraje (kg ms 100 kg PV ⁻¹)	3.3	3.0	3.0	2.4
Consumo de forraje (kg ms d ⁻¹)	15.2	15.5	6.9	5.5
Tiempo de pastoreo (min d ⁻¹)	629	646	536	436
Tasa de consumo (g ms min ⁻¹)	24.2	23.9	12.8	12.7
Tasa de bocados (bocados min ⁻¹)	62	57	61	55
Masa de bocado (g)	0.39	0.42	0.21	0.23
Referencia	Tiempos de pastoreo, rumia y otras actividades			
	Henriquez-Hidalgo et al., 2014	Henriquez-Hidalgo et al., 2014	Prendiville et al., 2010	Kennedy et al., 2009
Pastura	Ballico inglés	Ballico (80 %) y Trébol	Ballico inglés	Ballico (80 %) y Trébol
Tiempo de pastoreo (min d ⁻¹)	622	591	646	549
Pastoreo (periodos d ⁻¹)	6.5	5.6	10	9.6
Duración de período (min período ⁻¹)	99	120	79.5	63
Rumia (min d ⁻¹)	431	402	426	401
Otras actividades (min d ⁻¹)	388	447	368	490

2.9 Implicaciones

A pesar de que en pasturas de baja altura (cortas) las vacas tienen la capacidad de aumentar la tasa de bocados y el tiempo de pastoreo como respuesta para remediar la reducción en la tasa de consumo, (debida a la cosecha de bocados de menor peso), no compensan de manera total la

disminución de la cantidad de forraje ingerido y como resultado el consumo de forraje puede ser bajo. Por tanto, cuando las vacas se mantienen en pasturas muy cortas o en situaciones de sobrepastoreo es muy seguro que las tasas de ingestión sean bajas y en consecuencia el consumo de forraje diario sea menor.

Debido a la relación que tiene la altura de la pastura con el comportamiento de la ingestión y el consumo de forraje. En la práctica, el seguimiento sistemático de la altura de la pastura puede ser una herramienta útil para evaluar y gestionar el consumo de forraje y mantener altas tasas de ingestión en los bovinos. Sin embargo, en México hace falta desarrollar investigaciones enfocadas a evaluar la tasa de consumo de bovinos en pastoreo a diferentes alturas de pastura, que permitan generar implicaciones prácticas para la gestión del pastoreo.

2.10 Literatura citada

- Allden, W. G., & Whittaker, I. A. (1970). The determinants of herbage intake by grazing sheep: the interrelationship of factors influencing herbage intake and availability. *Australian Journal Agricultural Research*, 21, 755-766. <https://doi.org/10.1071/AR9700755>
- Amendola, M. R. D. (2002). *A dairy system based on forages and grazing in temperate México*. (Doctoral Thesis, Wageningen University, Güeldres, The Netherlands). <https://research.wur.nl/en/publications/a-dairy-system-based-on-forages-and-grazing-in-temperate-mexico>
- Andriamandroso, A. H. L., Bindelle, J., Mercatoris, B., & Lebeau, F. (2016). A review on the use of sensors to monitor cattle jaw movements and behavior when grazing. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 20, 1-14. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.13058>
- Baggio, C., Carvalho, P. C. F., Da Silva, J. L. S., Anghinoni, I., Lopes, M. L. T., & Thurow, J. M. (2009). Padrões de deslocamento e captura de forragem por novilhos em pastagem de azevém-anual e aveia-preta manejada sob diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(2), 215-222.
- Baggio, C., Carvalho, P. C. F., Da Silva, J. L. S., Rocha, L. M., Bremm, C., Santos, D. T., & Monteiro, A. L. G. (2008). Padrões de uso do tempo por novilhos em pastagem consorciada de azevém anual e aveia-preta. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(11), 1912-1928.
- Bailey, D. W., & Provenza, F. D. (2008). Mechanisms determining large-herbivore distribution. In Prins, H. H. T. & Langevelde, F. (Eds.),

Resource ecology: Spatial and temporal dynamics of foraging (pp. 7-28). Dordrecht, The Netherlands: Springer.

- Bailey, D. W., Stephenson, M. B., & Pittarello, M. (2015). Effect of terrain heterogeneity on feeding site selection and livestock movement patterns. *Animal Production Science*, 55, 298-308. <http://dx.doi.org/10.1071/AN14462>
- Barrett, P. D., Laidlaw, A. S., Mayne, C. S., & Christie, H. (2001). Pattern of herbage intake rate and bite dimensions of rotationally grazed dairy cows as sward height declines. *Grass and Forage Science*, 56, 362-373. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2001.00286.x>
- Baumont, R., Cohen-Salmon, D., Prache, S., & Sauvant, D. (2004). A mechanistic model of intake and grazing behaviour in sheep integrating sward architecture and animal decisions. *Animal Feed Science and Technology*, 112, 5-28. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.10.005>
- Benvenuti, M. A., Gordon, I. J., & Poppi, D. P. (2006). The effect of the density and physical properties of grass stems on the foraging behaviour and instantaneous intake rate by cattle grazing an artificial reproductive tropical sward. *Grass and Forage Science*, 61, 272-281. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2006.00531.x>
- Boone, R. B., BurnSilver, S. B., Worden, J. S., Galvin, K. A., & Hobbs, N. T. (2008). Large-scale movements of large herbivores: livestock following changes in seasonal forage supply. In: Prins, H. H. T. & Langevelde, F. (Eds.), *Resource ecology: Spatial and temporal dynamics of foraging* (pp. 187-206). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Boval, M., & Sauvant, D. (2019a). Ingestive behaviour of grazing ruminants: meta-analysis of the components of bite mass. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 96-111. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.03.002>
- Boval, M., & Sauvant, D. (2019b). Ingestive behaviour of grazing ruminants: meta-analysis of the components linking bite mass to daily intake. *bioRxiv*, 705665: <https://doi.org/10.1101/705665>.
- Brink, G. E., & Soder, K. J. (2011). Relationship between herbage intake and sward structure of grazed temperate grasses. *Crop Science*, 51, 2289-2298. [https://doi.org/10.2135/cropsci201\(\).10.0600](https://doi.org/10.2135/cropsci201().10.0600)
- Brizuela, M. A., & Cibils, A. (2011). Implicancias de la carga animal, distribución de los animales y métodos de pastoreo en la utilización de pasturas. In Cangiano, C. A. & Brizuela, M. A. (Eds.), *Producción Animal en Pastoreo* (pp. 349-376). Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Cangiano, C. A., & Galli, J. R. (1999). Consumo y comportamiento ingestivo de bovinos en pastoreo. In Cangiano, C. A. (Ed.), *ConPast 3.0 Programa de computación para la estimación del consumo de bovinos en pastoreo* (pp. 21-66). Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

- Cangiano, C. A., Galli, J. R., Pece, M. A., Dichio, L., & Rozsypalek, S. H. (2002). Effect of liveweight and pasture height on cattle bite dimensions during progressive defoliation. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53, 541-549. <https://doi.org/10.1071/AR99105>
- Carvalho, P. C. F. (2013). Harry Stobbs Memorial Lecture: Can grazing behavior support innovations in grassland management? *Tropical Grasslands*, 1, 137-155.
- Carvalho, P. C. F., Bremm, C., Mezzalira, J. C., Fonseca, L., Trindade, J. K., Bonnet, O. J. F., ... Laca, E. A. (2015). Can animal performance be predicted from short-term grazing processes? *Animal Production Science*, 55, 319-327. <http://dx.doi.org/10.1071/AN14546>
- Carvalho, P. C. F., Trindade, J. K., Bremm, C., Mezzalira, J. C., & Fonseca, L. Comportamiento ingestivo de animais em pastejo. In Reis, R. A., Bernardes, T. F., & Siquiera, G. R. (Eds.), *Forragicultura: Ciência, Tecnologia y Gestão dos Recursos Forrageiros* (pp. 525-545). Jaboticabal, Brasil: Gráfica Multipress.
- Chilibroste, P. (1999). *Grazing time the missing link: a study of the plant animal interface by integration of experimental and modelling approaches* (Doctoral Thesis, Wageningen University, Güeldres, The Netherlands). <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/60866>
- Chilibroste, P., Gibb, M. J., Soca, P., & Mattiauda, D. A. (2015). Behavioural adaptation of grazing dairy cows to changes in feeding management: do they follow a predictable pattern? *Animal Production Science*, 2015, 55, 328-338. <http://dx.doi.org/10.1071/AN14484>
- Chilibroste, P., Soca, P., Mattiauda, D. A., Bentancur, O., & Robinson, P. H. (2007). Short-term fasting as a tool to design effective grazing strategies for lactating dairy cattle: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47, 1075-1084. <https://doi.org/10.1071/EA06130>
- Da Silva, S. C., Gimenes, F. M. A., Sarmento, D. O. L., Sbrissia, A. F., Oliveira, D. E., Hernández-Garay, A., & Pires, A. V. (2013). Grazing behaviour, herbage intake and animal performance of beef cattle heifers on marandu palisade grass subjected to intensities of continuous stocking management. *Journal of Agricultural Science*, 151, 727-739. <https://doi.org/10.1017/S0021859612000858>
- Decruyenaere, V., Buldgen, A., & Stilmant, D. (2009). Factors affecting intake by grazing ruminants and related quantification methods: a review. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 13(4), 559-573.
- Dolev, A., Henkin, Z., Brosh, A., Yehuda, Y., Ungar, E. D., Shabtay, A., & Aharoni, Y. (2014). Foraging behavior of two cattle breeds, a whole-year study: II. Spatial distribution by breed and season. *Journal of Animal Science*, 92, 758-766. <https://doi.org/10.2527/jas2013-6996>
- Flores, E. R., Laca, E. A., Griggs, T. C., & Demment, M. W. (1993). Sward height and vertical morphological differentiation determine cattle bite dimensions. *Agronomy Journal*, 85, 527-532. <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500030001x>

- Fonseca, L., Carvalho, P. C. F., Mezzalana, J. C., Bremm, C., Galli, J. R., & Gregorini, P. (2013). Effect of sward surface height and level of herbage depletion on bite features of cattle grazing *Sorghum bicolor* swards. *Journal of Animal Science*, 91, 4357-4365. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5602>
- Fonseca, L., Mezzalana, J. C., Bremm, C., Filho, R. S. A., Gonda, H. L., & Carvalho, P. C. F. (2012). Management targets for maximising the short-term herbage intake rate of cattle grazing in *Sorghum bicolor*. *Livestock Science*, 145, 205-211. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.02.003>
- Galli, J. R., Cangiano, C. A., & Fernández, H. H. (1999). Un modelo de simulación del comportamiento ingestivo y consumo de bovinos en pastoreo. In Cangiano, C. A. (Ed.), *ConPast 3.0 Programa de computación para la estimación del consumo de Bovinos en Pastoreo* (pp. 67-106). Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Galli, J. R., Cangiano, C. A., Pece, M. A., & Larripa, M. J. (2018). Monitoring and assessment of ingestive chewing sounds for prediction of herbage intake rate in grazing cattle. *Animal*, 12, 973-982. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002415>
- Ganche, E., Delaby, L., O'Donovan, M., Boland, T. M., & Kennedy, E. (2014). Short-term response in milk production, dry matter intake, and grazing behavior of dairy cows to changes in post grazing sward height. *Journal of Dairy Science*, 97, 3028-3041. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7475>
- Gibb, M. J., Huckle, C. A., Nuthall, R., & Rook, A. J. (1997). Effect of sward height on intake and grazing behaviour by lactating Holstein Friesian cows. *Grass and Forage Science*, 52, 309-321. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1997.tb02361.x>
- Gonçalves, E. N., Carvalho, P. C. F., Devincenzi, T., Lopes, M. L. T., Freitas, F. K., & Jacques, A. V. A. (2009b). Relações planta-animal em ambiente pastoril heterogêneo: padrões de deslocamento e uso de estações alimentares. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(11), 2121-2126.
- Gonçalves, E. N., Carvalho, P. C. F., Kunrath, T. R., Carassai, I. J., Bremm, C., & Fischer, V. (2009a). Relações planta-animal em ambiente pastoril heterogêneo: processo de ingestão de forragem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(9), 1655-1662.
- Gregorini, P., Gunter, A. S., Beck, P. A., Caldwell, J., Bowman, M. T., & Coblenz, W. K. (2009). Short-term foraging dynamics of cattle grazing swards with different canopy structures. *Journal of Animal Science*, 87, 3817-3824. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2094>
- Gregorini, P., Tamminga, S., & Gunter, S. A. (2006). Review: Behavior and daily grazing patterns of cattle. *The Professional Animal Scientist*, 22, 201-209. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31095-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31095-0)
- Griffiths, W. M., Hodgson, J., Arnold, G. C. (2003). The influence of sward canopy structure on foraging decisions by grazing cattle II. Regulation

- of bite depth. *Grass and Forage Science*, 58, 125-137. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2003.00360.x>
- Henriquez-Hidalgo, D., Hennessy, D., Gilliland, T., Egan, M., Mee, J. F., & Lewis, E. (2014). Effect of rotationally grazing perennial ryegrass white clover or perennial ryegrass only swards on dairy cow feeding behaviour, rumen characteristics and sward depletion patterns. *Livestock Science*, 169, 48-62. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.09.002>
- Hodgson, J. (1985). The control of herbage intake in the grazing ruminant. *Proceedings of the Nutrition Society*, 44, 339-346. <https://doi.org/10.1079/PNS19850054>
- Kennedy, E., McEvoy, M., Murphy, J. P., & O'Donovan, M. (2009). Effect of restricted access time to pasture on dairy cow milk production, grazing behaviour, and dry matter intake. *Journal of Dairy Science*, 92, 168-176. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1091>
- Laca, E. A. (2011). Escalas de heterogeneidad espacial en sistemas pastoriles. In: Cangiano, C. A. & Brizuela, M. A. (Eds.), *Producción Animal en Pastoreo* (pp. 321-348). Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Laca, E. A. (2000). Modelling spatial aspects of plant–animal interactions. In Lemaire, G., Hodgson, J., Moraes, A., Nabinger, C., Carvalho, P. C. F. (Eds.), *Grassland ecophysiology and grazing ecology* (pp.209-231). Wallingford, UK: CAB International.
- Laca, E. A. (2009). Precision livestock production: tools and concepts. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 123-132.
- Laca, E. A., Ungar, E. D., & Demment, M. W. (1994). Mechanisms of handling time and intake rate of a large mammalian grazer. *Applied Animal Behaviour Science*, 39, 3-19. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(94\)90011-6](https://doi.org/10.1016/0168-1591(94)90011-6)
- Laca, E. A., Ungar, E. D., Seligman, N. G., & Demment, M. W. (1992). Effects of sward height and bulk density on bite dimensions of cattle grazing homogeneous swards. *Grass and Forage Science*, 47, 91-102. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1992.tb02251.x>
- Larson-Praplan, S., George, M. R., Buckhouse, J. C., & Laca, E. A. (2015). Spatial and temporal domains of scale of grazing cattle. *Animal Production Science*, 55, 284-297. <https://doi.org/10.1071/AN14641>
- McGilloway, D. A., Cushnahan, A., Laidlaw, A. S., Mayne, C. S., & Kilpatrick, D. J. (1999). The relationship between level of sward height reduction in a rotationally grazed sward and short-term intake rates of dairy cows. *Grass and Forage Science*, 54, 116-126. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.1999.00158.x>
- Mertens, D. R. (1994). Regulation of forage intake. In Fahey, J. G. C., Collins, M., Mertens, D. R., & Moser, L. E. (Eds.), *Forage quality evaluation and utilization* (pp. 450-493). Madison, USA: American Society of Agronomy, Crop Science of America.

- Mezzalana, J. C., Carvalho, P. C. F., Fonseca, L., Bremm, C., Cangiano, C., Gonda, H. L., & Laca, E. A. (2014). Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. *Applied Animal Behaviour Science*, 153, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.12.014>
- Mezzalana, J. C., Bonnet, O. J. F., Carvalho, P. C. F., Fonseca, L., Bremm, C., Mezzalana, C. C., & Laca E. A. (2017). Mechanisms and implications of a type IV functional response for short-term intake rate of dry matter in large mammalian herbivores. *Journal of Animal Ecology*, 86, 1159-1168. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12698>
- Navon, S., Mizrach, A., Hetzroni, A., & Ungar, E. D. (2013). Automatic recognition of jaw movements in free-ranging cattle, goats and sheep, using acoustic monitoring. *Biosystem Engineering*, 114, 474-483. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.005>
- Penning, P. D., Rook, A. J., & Orr, R. J. (1991). Patterns of ingestive behaviour of sheep continuously stocked on monocultures of ryegrass or white clover. *Applied Animal Behaviour Science*, 31, 237-250. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(91\)90008-L](https://doi.org/10.1016/0168-1591(91)90008-L)
- Poppi, D. P. (2011). Nutritional constraints for grazing animals and the importance of selective grazing behaviour. In Lemaire, G., Hodgson, J., & Chabbi, A. (Eds.), *Grassland Productivity and Ecosystem Services* (pp. 19-26). Wallingford, UK: CAB International.
- Prache, S. & Delagarde, R. (2011). The Influence of vegetation characteristics on foraging strategy and ingestive behaviour. In Lemaire, G., Hodgson, J., & Chabbi, A. (Eds.), *Grassland Productivity and Ecosystem Services* (pp. 27-35). Wallingford, UK: CAB International.
- Prendiville, R., Lewis, E., Pierce, K. M., & Buckley, F. (2010). Comparative grazing behavior of lactating Holstein-Friesian, Jersey, and Jersey × Holstein-Friesian dairy cows and its association with intake capacity and production efficiency. *Journal of Dairy Science*, 93, 764-774. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2659>
- Pulina, G., Francesconi, A. H. D., Stefanon, B., Sevi, A., Calamari, L., Dell'Orto, N. L. V., ... Ronchi, B. (2017). Sustainable ruminant production to help feed the planet. *Italian Journal of Animal Science*, 16, 140-171. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1260500>
- Rook, A. J., Harvey, A. A. J., Parsons, R. J., Orr, R. J., & Rutter, S. M. (2004). Bite dimensions and grazing movements by sheep and cattle grazing homogeneous perennial ryegrass swards. *Applied Animal Behaviour Science*, 88, 227-242. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.03.006>
- Rombach, M., Münger, A., Niederhauser, J., Südekum, K-H., & Schori, F. (2018). Evaluation and validation of an automatic jaw movement recorder (RumiWatch) for ingestive and rumination behaviors of dairy cows during grazing and supplementation. *Journal of Dairy Science*, 101, 2463-2475. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12305>
- Rutter, S. M., Orr, R. J., Penning, P. D., Yarrow, N. H., & Champion, R. A. (2002). Ingestive behaviour of heifers grazing monocultures of ryegrass

- or white clover. *Applied Animal Behaviour Science*, 76, 1-9. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(01\)00205-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00205-2)
- Ruyle, G. B., & Dwyer, D. D. (1985). Feeding stations of sheep as an indicator of diminished forage supply. *Journal of Animal Science*, 61, 349-353. <https://doi.org/10.2527/jas1985.612349x>
- Savian, J. V., Schons, R. M. T., Marchi, D. E., de Freitas, T. S., da Silva Neto, G. F., Mezzalira, J. C., ... Carvalho, P. C. F. (2018). Rotatinuous stocking: a grazing management innovation that has high potential to mitigate methane emissions by sheep. *Journal of Cleaner Production*, 186, 602-608. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.162>
- Searle, K. R., & Shipley, L. A. (2008). The comparative feeding behaviour of large browsing and grazing herbivores. In Gordon, I. J., & Prins, H. H. T. (Eds.), *The ecology of browsing and grazing* (pp.117-148). Heidelberg, Germany: Springer.
- Sheahan, A. J., Boston, R. C., & Roche, J. R. (2013). Diurnal patterns of grazing behavior and humoral factors in supplemented dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96, 3201-3210. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6201>
- Silva, G. P., Fialho, C. A., Carvalho, L. R., Fonseca, L., Carvalho, P. C. F., Bremm, C., & Da Silva, S. C. (2017). Sward structure and short-term herbage intake in *Arachis pintoi* cv. Belmonte subjected to varying intensities of grazing. *The Journal of Agricultural Science*, 156, 92-99. <https://doi.org/10.1017/S0021859617000855>
- Ungar, E. D. (1996). Ingestive behavior. In Hodgson, J, & Illius, A. W. (Eds.), *The ecology and management of grazing systems* (pp. 185-218). Wallingford, UK: CAB International.
- Ungar, E. D., & Ravid, N. (1999). Bite horizons and dimensions for cattle grazing herbage to high levels of depletion. *Grass and Forage Science*, 54, 357-364. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.1999.00188.x>
- Ungar, E. D., & Rutter, S. M. (2006). Classifying cattle jaw movements: comparing IGER behaviour recorder and acoustic techniques. *Applied Animal Behaviour Science*, 98, 11-27. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.08.011>
- Utsumi, S. A., Cangiano, C. A., Galli, J. R., McEachern, M. B., Demment, M. W., & Laca, E. A. (2009). Resource heterogeneity and foraging behaviour of cattle across spatial scales. *BMC Ecology*, 9, 1-10. doi: 10.1186/1472-6785-9-9 <https://doi.org/10.1186/1472-6785-9-9>
- Washburn, S. P., & Mullen, K. A. E. (2014). Invited review: Genetic considerations for various pasture-based dairy systems. *Journal of Dairy Science*, 97, 5923-5938. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-7925>
- Wilkinson, J. M., Lee, M. R. F., Rivero, M. J., & Chamberlain, A. T. (2020). Some challenges and opportunities for grazing dairy cows on temperate pastures. *Grass and Forage Science*, 75, 1-17. <https://doi.org/10.1111/gfs.12458>

3 TASA DE CONSUMO Y MOVIMIENTOS MANDIBULARES DE VACAS EN PASTURAS DE AVENA NEGRA

3.1 Resumen

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de estructuras de dosel contrastantes de avena negra (*Avena strigosa* Schreb), inducidas por diferentes alturas de pastura, en la tasa de consumo de forraje y los movimientos mandibulares (Mman) de vacas en pastoreo. En diseño de bloques al azar se evaluaron cuatro tratamientos; que fueron cuatro alturas de pastura (40, 50, 60 y 70 cm) y las unidades experimentales fueron cuatro grupos de dos vacas cada uno. La tasa de consumo de forraje y el peso del bocado fueron mayores ($p<0.05$) en las pasturas de 70 cm ($92.9 \text{ g ms min}^{-1}$ y $2.74 \text{ g ms bocado}^{-1}$) que en las de menor altura; 40, 50 y 60 cm (promedios de $70.4 \text{ g ms min}^{-1}$ y $1.77 \text{ g bocado}^{-1}$). La tasa de Mman totales fue semejante entre las alturas de pastura ($p>0.05$, promedio de $64.4 \text{ Mman min}^{-1}$). Pero la tasa de Mman de bocados, que incluyó Mman compuestos y Mman de bocados exclusivos, fue mayor ($p<0.05$) en las pasturas de 40 y 50 cm (promedio de $41.5 \text{ bocados min}^{-1}$) que en las de mayor altura; 60 y 70 cm (promedio de $35.8 \text{ bocados min}^{-1}$). En contraste, la tasa de Mman de masticación exclusiva fue mayor ($p<0.05$) en la pastura de 70 cm ($30.1 \text{ masticaciones min}^{-1}$) que en las de menor altura; 40, 50 y 60 cm (promedio de $24.4 \text{ masticaciones min}^{-1}$). Independiente de la altura de la pastura, las vacas mantuvieron una tasa de Mman totales constante, pero debido a las menores cantidades ingeridas de forraje por bocado en la pastura más baja, asignaron mayor número de Mman por bocado y en las pasturas más altas incrementaron los Mman de masticación exclusiva para poder tragar los bocados de mayor peso.

Palabras clave: *Avena strigosa*, peso de bocado, altura de pastura, tasa de bocados, conducta de ingestión.

INTAKE RATE AND JAW MOVEMENTS OF COWS IN BLACK OATS PASTURES

3.2 Abstract

The objective of this research was to evaluate the effect of contrasting canopy structures of black oats (*Avena strigosa* Schreb), induced by different pasture heights, on the forage intake rate and jaw movements (JM) of grazing cows. Four treatments were evaluated in a randomized complete block design: four pasture heights (40, 50, 60, and 70 cm). The experimental units were four groups of two cows each. The forage intake rate and the weight bite were higher ($p<0.05$) in the pastures of 70 cm ($92.9 \text{ g DM min}^{-1}$ and $2.74 \text{ g DM bite}^{-1}$) than in lower height pastures; 40, 50, and 60 cm (averages of $70.4 \text{ g DM min}^{-1}$ and 1.77 g bite^{-1}). The JM total rate was similar between pasture heights ($p>0.05$, mean of 64.4 JM min^{-1}). But the bites JM rate, which included compound and exclusive bites JM, was higher ($p<0.05$) in pastures of 40 and 50 cm (average of $41.5 \text{ bites min}^{-1}$) than in those of greater height; 60 and 70 cm (average of $35.8 \text{ bites min}^{-1}$). In contrast, the exclusive chewing JM rate was higher ($p<0.05$) in a pasture of 70 cm ($30.1 \text{ chews min}^{-1}$) than in those of lower height; 40, 50, and 60 cm (average of $24.4 \text{ chews min}^{-1}$). Regardless of the pasture height, the cows maintained a constant JM total rate. Still, due to the lower amounts of forage ingested per bite in the lower pasture, they assigned a higher number of JM per bite, and in the higher pastures, they increased the exclusive chewing JM to be able to swallow the bites of greater weight.

Key words: *Avena strigosa*, bite mass, height pasture, biting rate, ingestive behavior.

3.3 Introducción

La optimización de la ingesta de forraje por rumiantes es uno de los objetivos de la gestión de pasturas (Forbes & Gregorini, 2015). La comprensión de qué determina la tasa de consumo de bovinos en pasturas contrastantes de una misma especie forrajera es fundamental para la gestión de la pastura y la evaluación del consumo diario de forraje. La ingesta diaria de forraje es el producto del consumo en un periodo de pastoreo y el número de periodos a través del día; a su vez, el consumo en el periodo es resultado del producto de la tasa de consumo y el tiempo de pastoreo (Carvalho, 2013).

Diversas investigaciones han destacado la importancia de la relación funcional entre características que describen la abundancia de forraje en la pastura (biomasa, altura y densidad de forraje) y la tasa de consumo (Chilibroste, Gibb, Soca, & Mattiauda, 2015; Mezzalira et al., 2017), donde las variaciones en el peso del bocado, por efecto de la estructura de la pastura (Boval & Sauvant; 2019a) han explicado los cambios en la tasa de consumo de forraje (Da Silva et al., 2013; Fonseca et al., 2013; Mezzalira et al., 2014; Silva et al., 2017).

La tasa de consumo en un periodo de pastoreo puede evaluarse por el producto de la tasa de bocados y el peso del bocado (Boval & Sauvant, 2019a; Carvalho, Trindade, Bremm, Mezzalira, & Fonseca, 2013). Sin embargo, la tasa de bocados que exhibe un bovino en pastoreo se ve afectada por la cantidad y tipo de movimientos mandibulares que llevan a cabo los bovinos para procesar y tragar el forraje de cada bocado (Ungar, 1996). El ganado efectúa tres tipos de movimientos mandibulares (Galli, Cangiano, Pece, & Larripa, 2018; Laca, Ungar, & Demment, 1994; Ungar & Rutter, 2006); de masticación, de bocado y movimientos compuestos (masticación-bocado). La ejecución de cada tipo de movimiento mandibular es afectada por el peso de bocado (Laca et al., 1994; Mezzalira et al., 2014) y las características estructurales de la pastura (Fonseca et al., 2013; Galli et al., 2018; Gonçalves et al., 2009).

La avena negra cv. Saia, (*Avena strigosa* Schreb) es una opción para la alimentación del ganado en los sistemas pastoriles de zonas templadas de México. Investigaciones bajo pastoreo (Quiroz-Pérez, Améndola-Massiotti, Zaragoza-Ramírez, & Ortiz-Moreno, 2016) y corte (Jiménez-Rosales et al., 2019; Sánchez, Gutiérrez, Serna, Gutiérrez, & Espinoza, 2014) han destacado su potencial productivo y su composición química. Sin embargo, en México, en el conocimiento de los autores de este trabajo, no se han estudiado, en conjunto, la tasa de consumo y los movimientos mandibulares de ganado en pastoreo. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de estructuras contrastantes de dosel de avena negra cv. Saia, inducidas por diferentes alturas de pastura, en la tasa de consumo de forraje y los movimientos mandibulares de vacas lecheras en pastoreo.

3.4 Materiales y Métodos

Ubicación, animales y pasturas

El experimento se llevó a cabo entre septiembre y diciembre de 2019, en el módulo de pastoreo de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México (19°29' N, 98°54' O, 2240 msnm). Los animales experimentales fueron ocho vacas multíparas Holstein Neozelandés (527±34 kg de peso), que fueron agrupadas en cuatro grupos de dos vacas cada uno. Una semana antes del inicio del experimento las vacas fueron acostumbradas al manejo experimental.

En el experimento se utilizaron cuatro pasturas de avena negra sembradas en distintas fechas (24 septiembre, 7, 13 y 21 de octubre de 2019); para obtener pasturas de distinta altura y con diferentes estructuras de dosel al mismo tiempo. La densidad de siembra fue 120 kg de semilla pura germinable; a la siembra se fertilizó con 18 kg de N ha⁻¹ y 46 kg de P₂O₅ ha⁻¹ y durante el ahijamiento se adicionaron 60 kg de N ha⁻¹. Después de los riegos de establecimiento del cultivo, las parcelas fueron regadas por aspersión cada 15 d.

Diseño experimental y tratamientos

El experimento se estableció en un diseño de bloques al azar con cuatro tratamientos y dos repeticiones por tratamiento. Los bloques fueron dos sesiones de pastoreo por día (mañana y tarde). Los tratamientos fueron cuatro alturas de pastura (40, 50, 60 y 70 cm) y las unidades experimentales fueron los grupos de vacas. El experimento se llevó a cabo en cuatro días consecutivos y en cada día los tratamientos cambiaron entre los grupos de vacas, para evaluar los cuatro tratamientos en todas las unidades experimentales.

Previo al inicio del experimento, las pasturas de cada altura se dividieron en ocho parcelas cada una; para obtener un total de 32 parcelas experimentales (8 parcelas por altura). La superficie de las parcelas dentro de cada altura de pastura fue ajustada para proveer la misma asignación de forraje en cada grupo de vacas. Las áreas de las parcelas y las asignaciones de forraje fueron 54, 33, 28 y 20 m² y 9.8, 9.4, 9.4 y 9.3 kg de materia seca (ms); en los tratamientos 40, 50, 60 y 70 cm de altura de pastura.

Mediciones y procedimiento experimental

Las mediciones en las parcelas fueron alturas de pastura antes y después del pastoreo, masa, densidad aparente y composición morfológica del forraje ofrecido. Todas las mediciones en las pasturas se hicieron un día antes de las sesiones de pastoreo (excepto altura después del pastoreo). Las alturas de pastura se midieron con una regla graduada, adaptación del “sward stick” (Hodgson, 1990). Para ello se tomaron 50, 40, 30 y 20 registros de altura dentro de cada parcela; en los tratamientos de altura de pastura de 40, 50, 60 y 70 cm.

La masa de forraje se estimó de manera indirecta con una ecuación de predicción a partir de la altura de pastura promedio en cada parcela. Para obtener los datos de la ecuación, se cortó el forraje a ras de suelo con segueta, en dos unidades de muestreo de 0.25 m² por parcela. Previo al corte de forraje se registró la altura dentro de cada unidad de muestreo. Después, para obtener el porcentaje de ms, las muestras de forraje se pesaron y secaron a 100°C hasta peso constante en estufa con circulación de aire forzado. Al final,

con todos los datos de altura y ms de las parcelas se obtuvo la ecuación $y = 9.43x - 187.7$ ($R^2=0.83$, $n=64$); donde y = es la masa de forraje ($g\ ms\ m^{-2}$) y x = la altura de la pastura (cm).

La densidad aparente del forraje se obtuvo de la relación de ms contenida en muestras colectadas en un volumen de $0.025\ m^3$ en el perfil vertical de la pastura. Para ello se cortaron muestras de forraje por estratos de 10 cm, con un cuadro de $0.5 \times 0.5\ m$ que se deslizaba en dos reglas graduadas desde la superficie hasta la base de la pastura (ras de suelo). A partir de las mismas muestras, también; se estimaron las densidades aparentes del forraje en los horizontes superior e inferior de la pastura. La densidad del horizonte superior (horizonte de pastoreo) de cada parcela, se estimó hasta una profundidad de ~45 % de la altura promedio de la pastura en cada tratamiento debido a que en diversas investigaciones se ha destacado que la profundidad de bocado es equivalente a casi la mitad de la altura de la pastura (Boval & Sauvant et al., 2019a; Cangiano, Galli, Pece, Dichio, & Rozsypalek, 2002; Carvalho, 2013; Laca, Ungar, Seligman, & Demment, 1992). La densidad del horizonte inferior se estimó desde el límite del horizonte superior hasta la base de la pastura.

La composición morfológica se estimó a partir de las muestras de forraje que fueron cosechadas en estratos de 10 cm. Para ello, cada muestra se separó en láminas foliares y pseudotallos + tallos, sin excluir el material senescente. En seguida las muestras se secaron a $55^\circ C$ hasta peso constante (en estufa con circulación de aire forzado) para obtener la materia seca y sobre la base de su peso se estimaron las proporciones correspondientes a cada componente. Las variables de respuesta evaluadas en las vacas fueron tasa de movimientos mandibulares (Mman) totales, tasa de Mman de masticación exclusiva y tasa de Mman de bocados. Las variables estimadas fueron tasa de consumo aparente de forraje peso de bocado, tiempo por bocado, Mman por bocado y por gramo de ms consumida y, las masticaciones exclusivas por bocado y por gramo de ms consumida.

La cuantificación de los Mman se hizo a partir del análisis de 64 registros de sonido de la ingesta de forraje de todas las vacas durante el pastoreo. Cada registro de sonido se obtuvo de una sesión de pastoreo de 20 min. Durante

los cuatro días del experimento se llevaron a cabo dos sesiones por día en cada tratamiento; en la mañana (~8:00) y en la tarde (~17:00). Antes de cada sesión de pastoreo, cada vaca fue equipada con una grabadora de voz adaptada (ICD-PX470, SONY, China) a un bozal y un micrófono unidireccional (MIC-290, STEREN, México) con respuesta de frecuencia de 80-12500 Hz y sensibilidad de 40 dB. El micrófono se sujetó hacia la frente del animal con una banda elástica atada al bozal (Chelotti et al., 2020). En seguida, las vacas se arrearón a las parcelas experimentales para registrar los sonidos de la ingesta de forraje durante la sesión de pastoreo.

Una vez terminada la sesión, las vacas fueron desplazadas al corral de manejo para retirar los equipos. Después, fueron llevadas a un área adyacente a las parcelas experimentales, con acceso a una franja de forraje de avena negra. Todas las grabaciones de sonido fueron descargadas a un ordenador de datos en formato MP3, después se analizó la audición (Laca et al., 1994; Ungar & Rutter, 2006; Navon, Mizrach, Hetzroni, & Ungar, 2013) con la reproducción de cada señal en el editor Audacity (versión 2.3.1.). Para distinguir los Mman, se clasificaron las ondas de sonido en dos tipos; i) Mman de bocados, definido por el sonido generado por el rasgado del forraje durante la manipulación y el arranque de este, y ii) el Mman de masticación exclusiva; típico sonido producido por la molienda de forraje en la boca (Laca et al., 1994). Además, se utilizó como referencia visual las ondas de sonido correspondientes a cada Mman presentadas por Galli et al. (2018).

Los registros de sonido se identificaron a partir de reproducir las señales de audio en dos ocasiones, donde en la primera oportunidad se registraron los Mman totales y en la segunda los Mman de bocados; sin discriminar bocados exclusivos y Mman compuestos. Después, por diferencia se obtuvieron los Mman de masticación exclusiva (Mman totales - Mman de bocados). Los resultados de cada tipo de Mman de las dos vacas dentro cada grupo se promediaron (unidad experimental). En seguida, la tasa de masticación y la tasa de bocados se obtuvieron a partir del cociente del total de Mman de cada tipo entre el tiempo de pastoreo de cada sesión.

La tasa de consumo de forraje se estimó al multiplicar la tasa de bocados por el peso de bocado (Carvalho, 2013; Boval & Sauvant, 2019a), éste último se calculó a partir de la estimación de sus dimensiones; profundidad, área y volumen. Profundidad de bocado (PB, cm) = $1.41 + 0.439x$, donde x = altura de pastura en cm (Boval & Sauvant, 2019a). Área de bocado (AB, cm²) = $32.5 + 102.5 \exp^{-0.486x}$, donde x = densidad del forraje en el bocado (DF) en kg ms m⁻³ (Boval & Sauvan, 2019a). Volumen de bocado (VB, cm³) = PB x AB (Burlison, Hodgson, & Illius, 1991; Cangiano et al., 2002; Laca et al., 1992). Peso de bocado (PB, g ms) = VB (cm³) x DF (g ms cm⁻³) con base en Cangiano et al. (2002) y Rook, Harvey, Parsons, Orr y Rutter (2004).

El tiempo por bocado se obtuvo al dividir el total de Mman de bocado en cada sesión de pastoreo entre el tiempo de pastoreo en la sesión. Los Mman totales por bocado y los Mman de masticación exclusiva por bocado, se obtuvieron al dividir el total de cada tipo de Mman entre el total de Mman de bocado; registrados en cada sesión de pastoreo. Los Mman totales y los Mman de masticación exclusiva por gramo de ms consumida, se obtuvieron al dividir la tasa de masticación de cada tipo de Mman entre la tasa de consumo de forraje.

Análisis estadístico

El análisis de los datos se llevó a cabo con el programa SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Carry, NC, USA). Los datos para describir las pasturas se analizaron con el procedimiento GLM; en el modelo se incluyeron efectos fijos de tratamiento, día de medición y su interacción. Las medias se estimaron con LSMEANS y se compararon con el procedimiento PDIF LINES. La tasa de Mman totales, tasa de masticación exclusiva, tasa de bocado, tasa de consumo de forraje, peso de bocado, tiempo por bocado, Mman por bocado y g ms consumida; así como Mm de masticación por bocado y por gramo de ms consumida fueron analizados con base en un diseño de bloques al azar.

Previo al análisis de los datos se hicieron pruebas de normalidad (Shapiro–Wilks; $p > 0.05$). Las variables Mman totales y Mman de masticación, ambas por gramo de ms consumida fueron transformadas con la función logaritmo (prueba Shapiro–Wilks; $p < 0.05$). En el modelo estadístico se incluyeron

efectos fijos de tratamiento, día de medición y su interacción; además, el efecto aleatorio de bloque (sesión de pastoreo). Para ello se utilizó el procedimiento MIXED. Las medias de mínimos cuadrados se compararon con la prueba de Tukey-Kramer ($p < 0.05$). Además, se hicieron análisis de regresión lineal ($Y_{ij} = a + bx + \epsilon_{ij}$) y segmentada ("broken line", $Y_{ij} = L + U * [(R > x) (R - x)] + \epsilon_{ij}$) con los procedimientos REG y NLIN.

3.5 Resultados

Las alturas de pastura previo al pastoreo fueron semejantes a las alturas definidas en cada tratamiento y por su discrepancia ($p < 0.05$) se obtuvieron diferentes características estructurales de dosel (Cuadro 3). La altura de pastura después del pastoreo aumentó con la altura de los tratamientos ($p < 0.05$) y las proporciones de altura removidas por las vacas fueron 23, 29, 37, 41 % en los tratamientos 40, 50, 60 y 70 cm. La masa de forraje y proporción de pseudotallos + tallos se incrementaron, mientras que la proporción de láminas foliares se redujo con el aumento de la altura de la pastura ($p < 0.05$).

Las densidades aparentes de forraje en los horizontes superior e inferior fueron semejantes ($p > 0.05$) entre las alturas de pastura (Cuadro 3). No obstante, el horizonte superior (en promedio 44 % de altura de las pasturas) estaba compuesto, en su mayoría, principalmente de láminas foliares; aunque se observó que la proporción de pseudotallos + tallos se incrementó con el aumento de la altura (Figura 7). Al margen de la altura, se observó una densidad aparente de forraje mayor en el estrato inferior (promedio de 1129 g m^{-3} , Cuadro 3) con mayor proporción de pseudotallos + tallos que en el estrato superior (promedio de 800 g m^{-3}) en el cual predominaron las láminas foliares (Figura 7). Como era de esperarse la profundidad y el volumen de bocado se aumentaron con el incremento de la altura en los tratamientos ($p < 0.05$) y la profundidad promedio correspondió al 47 % de la altura de las pasturas. Pero el área de bocado fue semejante ($p > 0.05$) entre las alturas (promedio de 102.1 cm^2).

La tasa de consumo de forraje y el peso del bocado fueron mayores ($p<0.05$) en las pasturas de 70 cm ($92.9 \text{ g ms min}^{-1}$ y $2.74 \text{ g ms bocado}^{-1}$) que en las de menor altura; 40, 50 y 60 cm (promedios de $70.4 \text{ g ms min}^{-1}$ y $1.77 \text{ g bocado}^{-1}$, Cuadro 4). Sin embargo, del análisis de regresión sobre la tasa de consumo y el peso de bocado en función de la altura de la pastura, se obtuvo que ambas variables fueron estables en $68.2 \text{ g ms min}^{-1}$ y $1.58 \text{ g de ms por bocado}$ hasta una altura de 48.7 y 45.6 cm. Después de dichas alturas hubo un incremento lineal con pendientes de $1.07 \text{ g ms min}^{-1}$ y $0.045 \text{ g de ms por cada aumento en la altura (cm)}$; para tasa de consumo ($Y=68.2-1.07(48.7-x)$ si $x>48.7$ y $Y=68.2$ si $x<48.7$, $R^2=0.46$, $p<0.05$, Figura 4a) y peso de bocado ($Y=1.58-0.045(45.6-X)$ si $X>45.6$ y $Y=1.58$ si $X<45.6$, $R^2=0.75$, $p<0.001$, Figura 4c).

Cuadro 3. Características estructurales de las pasturas y dimensiones de bocado estimadas para vacas en avena negra (*Avena strigosa* Schreb) cv. Saia de diferente altura.

	Tratamiento (altura de pastura, cm)				EEM ^z	p^y
	40	50	60	70		
Altura de pastura prepastoreo (cm)	39.1d ^u	50.1c	55.6b	69.1a	1.0	0.001
Altura de pastura pospastoreo (cm)	30.1d	35.5c	35.0b	41.0a	1.7	0.004
Masa de forraje (g ms m^{-2})	181d	284c	337b	463a	10	0.001
Láminas foliares (%)	69a	64b	61b	55c	1.2	0.001
Pseudotallos + tallos (%)	31c	36b	39b	45a	1.2	0.001
Densidad aparente de forraje en horizonte superior (g ms m^{-3})	835	753	727	887	65	0.313
Densidad aparente de forraje en horizonte inferior (g ms m^{-3})	1075	1045	1161	1235	64	0.186
Horizonte superior (cm)	19.1c	20.1c	25.6b	29.1a	1.0	0.001
Proporción de altura en horizonte superior (%)	49a	40b	46a	42b	1.3	0.006
Profundidad de bocado ^x (cm)	18.6d	23.4c	25.9b	31.8a	0.5	0.001
Área de bocado ^w (cm^2)	100.1	104.3	104.6	99.5	2.2	0.320
Volumen de bocado ^v (cm^3)	1881d	2445c	2704b	3171a	78	0.001

^zError estándar de la media; ^yProbabilidad de diferencia; ^xProfundidad de bocado (PB) = $1.41+0.439x$, donde x =altura de pastura (cm). ^wÁrea de bocado (AB) = $32.5+102.5 \exp^{-0.486x}$, donde x = densidad aparente de forraje en horizonte superior (kg ms m^{-3}). ^vVolumen de bocado = PB x AB, ecuaciones propuestas por Boval y Sauvart (2019a); ^uMedias con distinta literal entre columnas indican diferencias significativas ($p<0.05$).

La tasa de Mman totales fue semejante entre las alturas de pastura ($p>0.05$) con promedio de 64.4 Mman por minuto. Pero la tasa de Mman de bocados, que incluyó Mman compuestos y Mman de bocados exclusivos, fue mayor ($p<0.05$) en las pasturas de 40 y 50 cm (promedio de 41.5 bocados min^{-1}) que en las de mayor altura; 60 y 70 cm (promedio de 35.8 bocados min^{-1}). Por el contrario, la tasa de Mman de masticación exclusiva fue mayor ($p<0.05$) en la pastura de 70 cm (30.1 masticaciones min^{-1}) que en las de menor altura; 40, 50 y 60 cm (promedio de 24.4 masticaciones min^{-1} , Cuadro 4). Con el análisis de regresión, se observó una relación lineal inversa entre la tasa de masticación y la tasa de bocados en función de la altura de la pastura; debido a que, con el aumento de la altura las masticaciones por minuto se incrementaron ($Y=0.268x+11.5$, $R^2=0.59$, $p<0.001$) y los bocados por minuto se redujeron ($Y=-29.1x+54.2$, $R^2=0.70$, $p<0.001$, Figura 4b).

Cuadro 4. Comportamiento de ingestión de vacas en pasturas de avena negra (*Avena strigosa* Schreb) cv Saia de diferente altura.

	Tratamiento (altura de pastura, cm)				EEM ^z	p^y
	40	50	60	70		
Tasa de consumo (g ms min^{-1})	67.0b ^y	70.3b	73.8b	92.9a	4.4	0.004
Peso de bocado (g ms bocado ⁻¹)	1.56b	1.78b	1.96b	2.74a	0.11	0.001
Tasa de Mman ^x de bocados (bocados min^{-1})	42.4a	40.6a	37.6ab	34.0b	1.3	0.002
Tiempo por bocado (s)	1.44b	1.50b	1.60ab	1.78a	0.05	0.003
Tasa de Mman totales (Mman min^{-1})	65.0	64.8	63.8	64.1	1.0	0.819
Tasa de Mman de masticación exclusiva (masticaciones min^{-1})	22.6b	24.3b	26.2ab	30.1a	1.0	0.007
Mman totales por bocado (no.)	1.56b	1.62b	1.70b	1.90a	0.05	0.005
Mman totales por g ms ^w (no.)	1.05a	0.98a	0.89ab	0.70b	0.09	0.018
Masticaciones exclusivas por bocado (no.)	0.56b	0.62b	0.70b	0.90a	0.05	0.006
Masticaciones exclusivas por g ms (no.)	0.39	0.36	0.37	0.33	0.05	0.899

^zError estándar de la media; ^yProbabilidad de diferencia; ^xMovimientos mandibulares; ^wMateria seca; ^yMedias con distinta literal entre columnas indican diferencias significativas ($p<0.05$).

El tiempo por bocado, el número de Mman totales por bocado y las masticaciones por bocado fueron mayores ($p<0.05$) en la pastura de 70 cm (1.8 s, 1.9 Mman bocado⁻¹ y 0.9 masticaciones bocado⁻¹) que en las de menor altura; 40, 50 y 60 cm (promedios de 1.5 s, 1.6 Mman bocado⁻¹ y 0.6

masticaciones bocado⁻¹). Los Mman totales por gramo de ms consumida fueron mayores ($p<0.05$) en las pasturas más bajas (40 y 50 cm, promedio de 1.0 Mman g ms⁻¹) que en las más altas (60 y 70 cm 0.8 Mman g ms⁻¹). Pero las masticaciones por g de ms consumida fueron semejantes ($p>0.05$) en las alturas de pastura evaluadas (promedio de 0.4 masticaciones g ms⁻¹, Cuadro 2). A partir del análisis de regresión de los Mman totales por bocado en función de la altura, se obtuvo que el número de dichos Mman fue estable (1.56) hasta 47 cm de altura de pastura, después hubo un incremento de 0.016 Mman por cada cm de altura ($Y=1.56-0.016(47.0-X)$ si $X>47.0$ y $Y=1.56$ si $X<47.0$, $R^2=0.69$, $p<0.001$, Figura 4d).

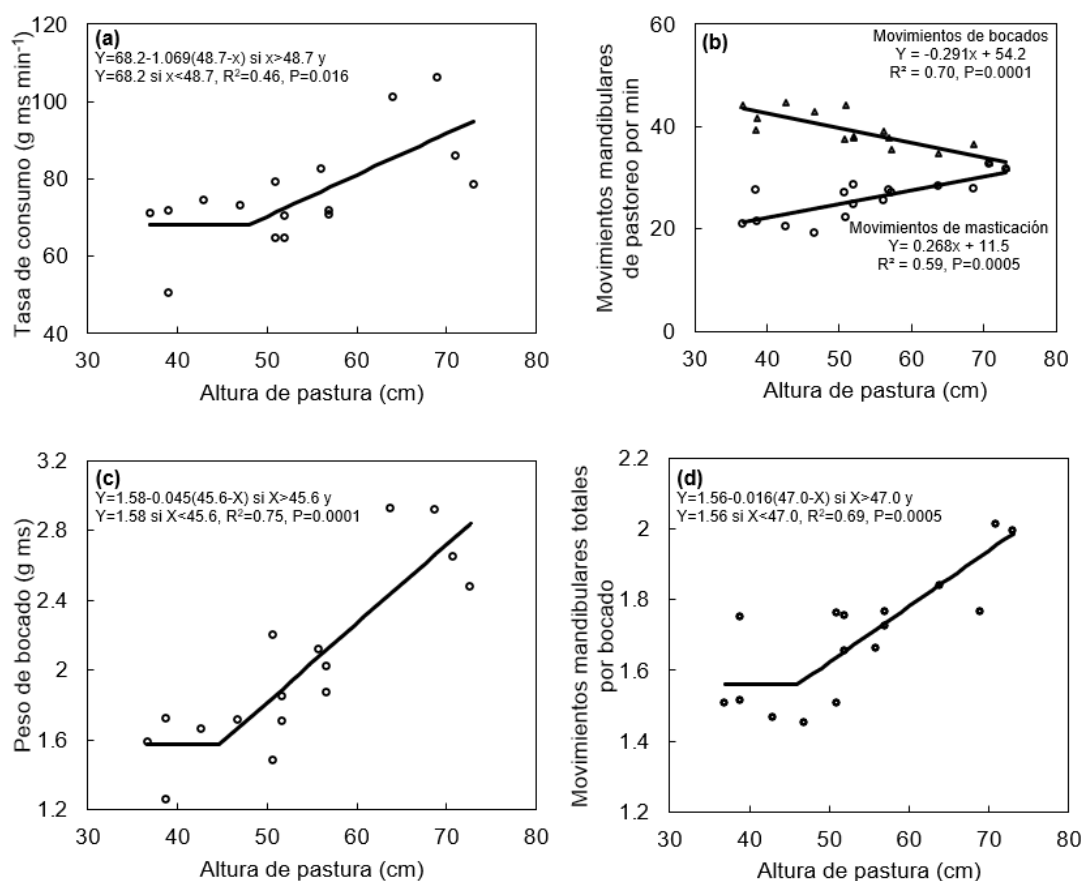


Figura 4. Tasa de consumo de forraje (a), movimientos mandibulares de pastoreo (b) peso de bocado (c) y movimientos mandibulares totales por bocado (d) de vacas en pastoreo en función de la altura de pastura de avena negra.

Resultados del análisis de regresión de tasa de consumo de forraje, Mman de masticación por bocado y tiempo por bocado en función del peso de bocado se muestran en la Figura 4. La tasa de consumo se incrementó con el aumento del peso de bocado ($Y=24.8x+26.21$, $R^2=0.85$, $p<0.001$, Figura 5a). Los Mman

de masticación por bocado y el tiempo por bocado fueron estables en 0.59 Mman y 1.46 s hasta ~1.6 g de ms por bocado. Después de este peso de bocado, hubo un incremento lineal con pendientes de 0.271 Mman y 0.262 por cada cm de altura ($p<0.01$); para Mman de masticación por bocado ($Y=0.59-0.271(1.66-X)$ si $X>1.66$ y $Y=0.59$ si $X<1.66$, $R^2=0.51$, $p<0.01$, Figura 5b) y tiempo por bocado ($Y=1.46-0.262(1.59-X)$ si $X>1.59$ y $Y=1.46$ si $X<1.59$, $R^2=0.58$, $p<0.01$, Figura 5c). Además, el tiempo por bocado en función de los Mman totales por bocado se ajustó a un modelo lineal ($Y=0.915x+0.03$, $R^2=0.95$, $p<0.001$). Donde la pendiente fue 0.915 s y representó el tiempo promedio requerido por las vacas para completar un Mman por cada bocado (Figura 5d).

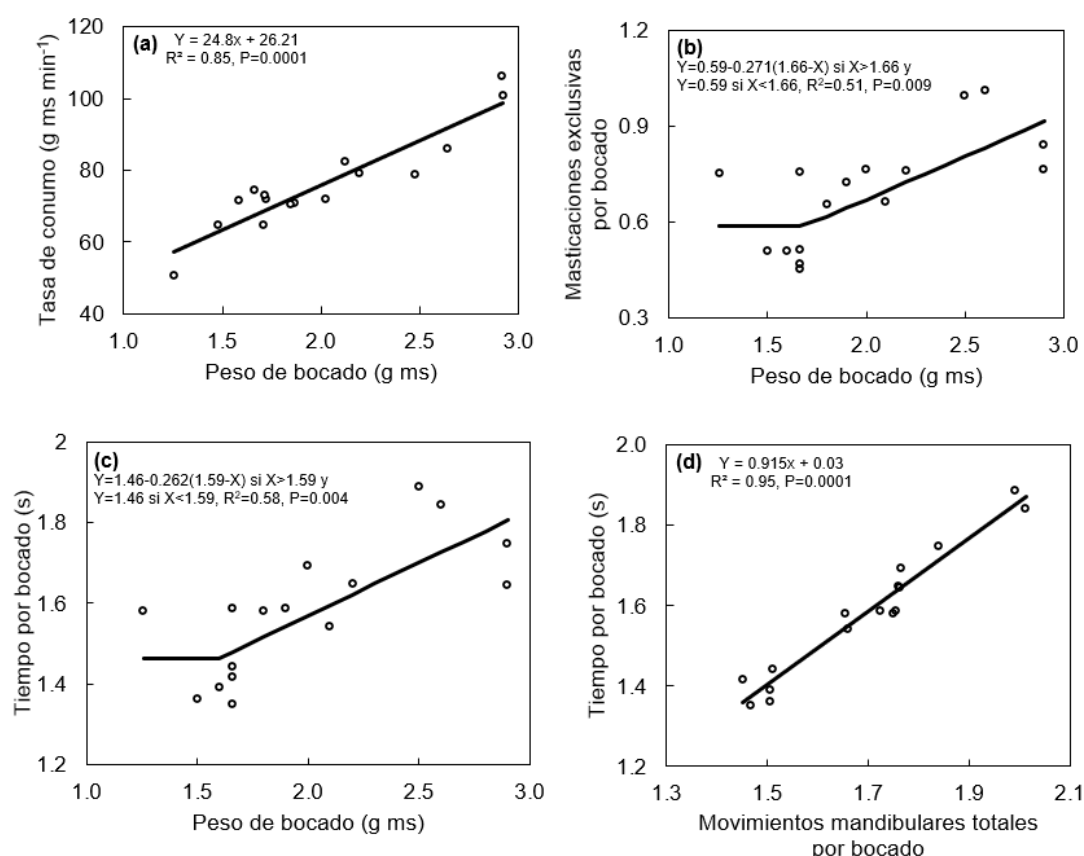


Figura 5. Tasa de consumo de forraje (a), Mman de masticación exclusiva por bocado (b) y tiempo por bocado (c) en función del peso de bocado, y tiempo por bocado en relación con los Mman totales por bocado (d).

A partir del análisis de regresión lineal del tiempo por bocado y las masticaciones exclusivas en función de la proporción de pseudotallos + tallos, se observó que el aumento de dichos componentes en las pasturas aumentó el tiempo por bocado ($Y=0.023x+0.712$, $R^2=0.61$ $p<0.001$, Figura 6a) y el

número de masticaciones exclusivas por bocado ($Y=0.023x-0.159$, $R^2=0.52$, $p<0.01$, Figura 6b).

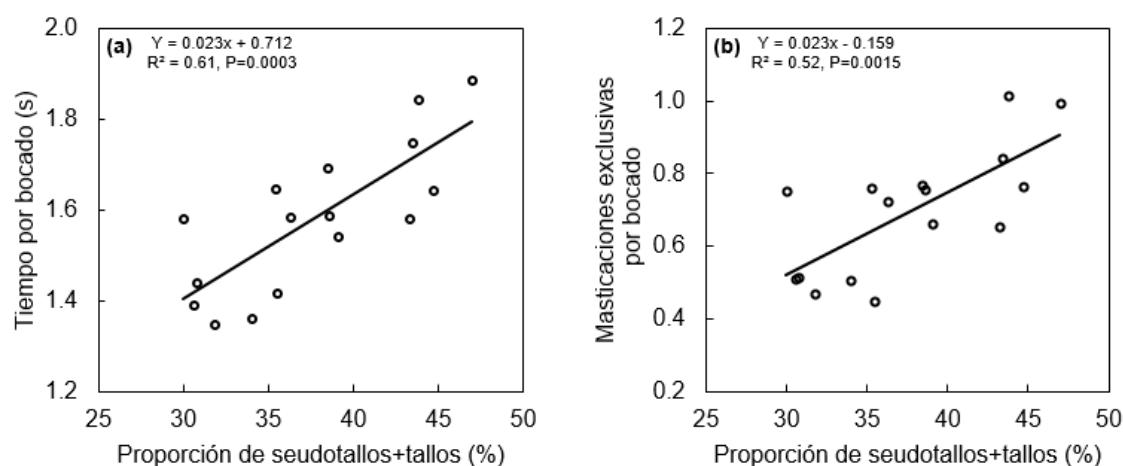


Figura 6. Tiempo por bocado (a) y masticaciones exclusivas por bocado de vacas en pastoreo en función de la proporción de pseudotallos + tallos en pasturas de avena negra.

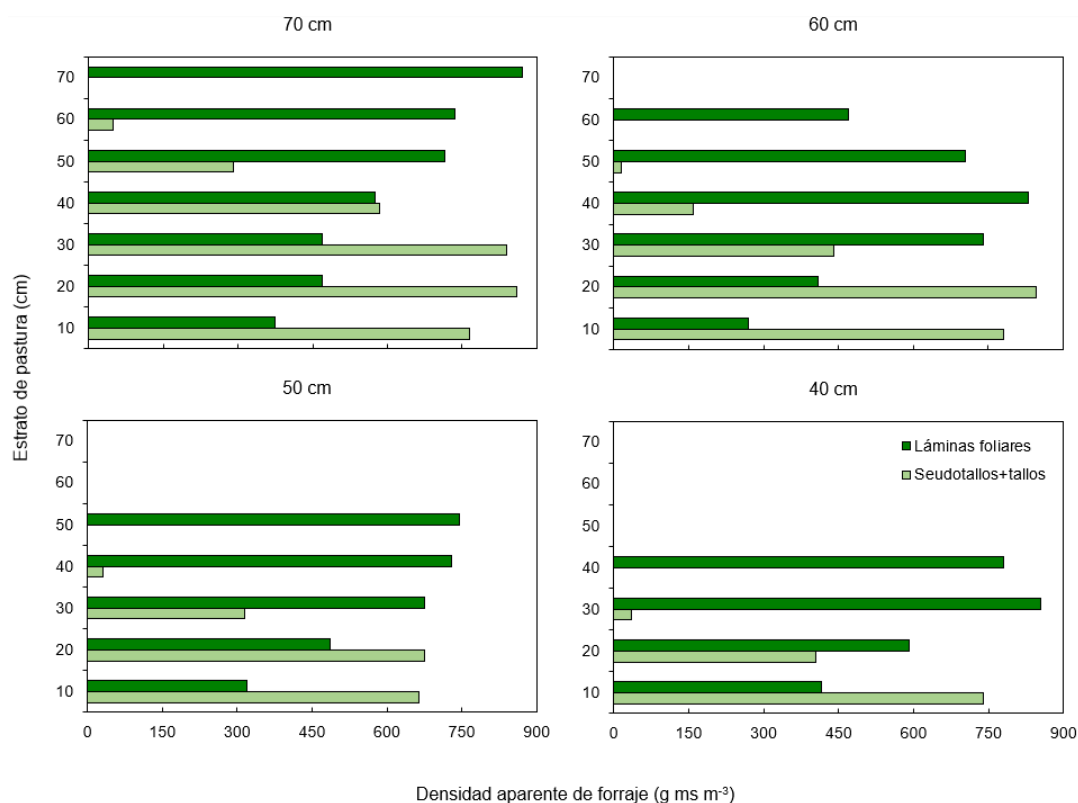


Figura 7. Densidad aparente del forraje (por componente morfológico) en estratos de pasturas de avena negra (*Avena strigosa* Schreb) cv. Saia; pastoreada por vacas en diferentes alturas de pastura.

3.6 Discusión

El aumento de la tasa de consumo de forraje que se obtuvo con el incremento de la altura de la pastura es consistente con lo mencionado en otros trabajos (Boval & Sauvant, 2019b; Da Silva et al., 2013; Gregorini et al., 2009; Penning, Rook, & Orr, 1991; Silva et al., 2017;). En esta investigación el 85 % de la variación en la tasa de consumo se explicó por el peso de bocado (Figura 5a). Porque dicha variable es el componente que determina la tasa consumo en animales en pastoreo (Boval & Sauvant, 2019a; Carvalho, 2013;). Pero los cambios en peso de bocado se deben a las variaciones en sus dimensiones (profundidad, área y volumen), que están influenciadas por características estructurales de la pastura; como la altura y la densidad aparente del forraje (Boval & Sauvant, 2019a; Cangiano et al., 2002; Laca et al., 1992). En el presente estudio, el aumento del peso de bocado con el incremento de la altura de la pastura fue resultado de la ampliación en la profundidad de bocado y, en consecuencia, por en el volumen de bocado, como ya se había destacado (Boval & Saunvat; 2019a) porque la densidad aparente de forraje y al área de bocado no variaron entre las pasturas (Cuadro 3).

Sin embargo, Mezzalira et al. (2017) mencionaron que la tasa de consumo y el peso de bocado de bovinos (vaquillas), en avena negra de distinta altura (15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 cm), aumentaron con la altura, pero después disminuyeron en las pasturas más altas, la tasa de consumo (54 g ms min^{-1}) y el peso de bocado (1.4 g ms) fueron máximos en pasturas de altura intermedia (29.3 cm). Los investigadores atribuyeron que la disminución del peso de bocado se debió a una reducción en su volumen, por una menor área de bocado, impulsada por el comportamiento selectivo de los animales, porque no se relacionó con restricciones de la pastura que limitaran la formación del bocado (Mezzalira et al., 2014). Debido a que los pseudotallos y tallos no fueron barreras para que la profundidad de bocado se aumentara con la altura, además encontraron que la densidad aparente del forraje en los bocados también fue similar entre las alturas.

Nadin, Sánchez, Agnelli, Trindade, y Gonda (2019) no encontraron diferencias en tasa de consumo y peso de bocado de novillos en pasturas de avena

blanca (*Avena sativa* L.) de distinta altura (40, 50 y 60 cm); con promedios de 28.7 g ms min⁻¹ y 0.6 g ms. Estos valores son inferiores a los obtenidos en el presente trabajo (Cuadro 4). La diferencia se atribuye a que las pasturas con las que trabajaron Nadin et al. (2019) estaban en etapa reproductiva temprana y más de la mitad del forraje estaba constituido de tallos e inflorescencias. Dichos componentes son barreras para la formación del bocado (Benvenuti, Gordon, & Poppi, 2006; Flores, Laca, Griggs, & Demment, 1993; Fonseca, et al., 2013).

Es evidente, con base en lo anterior, que a pesar de las discrepancias que puede haber en la tasa de consumo de forraje y masa de bocado por efecto de la altura de la pastura. Los cambios en dichas variables son explicados por las dimensiones del bocado y mientras la estructura de la pastura, por mayor cantidad de tallos e inflorescencias en el estrato pastoreado por los animales, no limite la formación del bocado el consumo de forraje no será perjudicado. Por ende, es importante mantener a los animales en pasturas con mayor proporción de hojas, que brinden mayor facilidad de cosecha y les permitan mantener un mayor consumo de forraje (Guzatti et al., 2017).

La tasa constante de Mman totales que lograron las vacas (64.4 Mman) está dentro del intervalo mencionado por Ungar (1996) y confirma que cuando los bovinos se enfrentan a pasturas con diferentes alturas, mantienen una tasa de Mman constante (Fonseca et al., 2013; Galli et al., 2018; Nadin et al., 2019). Pero asignan diferentes tipos de Mman en función del peso de bocado (Gonçalves et al., 2009; Laca et al., 1994) y la estructura de la pastura (Fonseca et al., 2013; Galli et al., 2018). La disminución de la tasa de Mman de bocados con el incremento de la altura de la pastura fue consistente con lo mencionado (Da Silva et al., 2013; Fonseca et al., 2013; Nadin et al., 2019; Silva et al., 2017) en bovinos.

Lo anterior se asocia con un incremento en el número de Mman totales por bocado, con el aumento de la altura de la pastura (Nadin et al., 2019). Aunque para este trabajo se observó, que dicha situación se dio después de 47 cm de altura de pastura (Figura 4d). Con la ingesta de bocados de mayor peso, en las pasturas de mayor altura, las vacas lograron más Mman de masticación

exclusiva por cada bocado (Figura 2b), que dio como resultado un aumento en el intervalo de tiempo entre bocados; situación que ha sido documentada tanto en bovinos como en ovinos (Boval & Sauvant, 2019b; Gonçalves et al., 2009). El porcentaje de variación en el tiempo por bocado (58 %) que se explicó por el peso de bocado (Figura 2c) fue semejante a lo obtenido en otras investigaciones (Laca et al., 1994; Mezzalana et al., 2014).

No obstante, en el presente estudio el promedio de tiempo por bocado no cambió (promedio de 1.46 s), hasta que el peso de bocado fue mayor de 1.59 g de ms (Figura 5c), valor muy cercano al peso de bocado (1.66 g ms) a partir del cual el número de masticaciones exclusivas por cada bocado comenzaron a incrementarse (Figura 5b). Estos resultados fueron consistentes con los obtenidos por Laca et al. (1994). Los investigadores mencionaron un incremento no lineal del número de masticaciones por bocado con el aumento del peso de bocado, pero con poca respuesta al incremento en bocados inferiores a 1.5 g ms. Además, los mismos investigadores señalaron que la relación no lineal entre el tiempo por bocado y el peso del bocado se debe a la sobreposición de un número constante de Mman manipulación totales por bocado (Mman de bocados exclusivos + Mman compuestos) más un número lineal creciente de Mman de masticación por bocado a partir del aumento en el peso del bocado.

El aumento de la tasa de Mman de masticación en las pasturas altas y el incremento de los Mman de masticación por bocado, puede atribuirse a características del forraje; como fibrosidad (Ungar, 1996). Es muy probable que esta característica se ampliara en las pasturas de mayor altura, porque con el avance del crecimiento de las gramíneas la calidad de sus componentes morfológicos disminuye, debido a que los contenidos de fibras detergente neutro y ácido se aumentan (Arzani et al., 2004). Al respecto, Nadin et al. (2019) informaron reportaron que, en avena blanca el contenido de fibra detergente neutro y la proporción de pseudotallos se incrementaron con el aumento de la altura. Lo anterior puede explicar el efecto que tuvo la proporción de pseudotallos + tallos al inducir que las vacas incrementaran los Mman de masticación por bocado, ampliaran el tiempo por bocado y, en

consecuencia, también contribuyeran en la disminución de la tasa de Mman de bocado.

El mayor número de Mman totales por gramo de ms en las pasturas de menor altura (40 y 50), indica una menor eficiencia en la tasa consumo de forraje por parte de las vacas. Porque la tasa de consumo disminuyó cuadráticamente con el aumento en el número de Mman por gramo de ms consumida ($Y = 72.607x^2 - 207.53x + 201.62$, $R^2 = 0.95$, $p < 0.001$). Sin embargo, la cantidad de forraje ingerido por las vacas en la pastura de menor altura (40 cm) es muy probable que sea de mayor calidad que el de la pastura de mayor altura (70 cm); debido a que en el estrato medio superior de la pastura de 40 cm (horizonte pastoreado) se observó que la cantidad de láminas foliares (componente morfológico de mayor calidad, Arzani et al., 2004) fue muy superior a la de pseudotallos + tallos (Figura 7).

Los Mman de masticaciones exclusiva por gramo de ms consumida fueron semejantes entre las diferentes alturas de pastura. Quizá por la habilidad que tienen las vacas para desempeñar movimientos mandibulares compuestos (Mman de masticación-bocado), que junto con los Mman de masticación exclusiva; son suficientes para procesar cada gramo de MS consumida. Aunque en esta investigación no se cuantificaron los Mman compuestos, hay evidencia de que ante altos pesos de bocado (en pasturas altas) cerca del 90 % del total de Mman de bocados son del tipo compuesto (Ungar, 1996). Incluso, Ungar y Rutter (2006) mencionaron que, en bovinos, de los Mman totales, la mayor proporción fue de movimientos compuestos (51.6 %) y la menor de bocados exclusivos (6.5 %). Galli et al. (2018) sugirieron que los Mman compuestos son un componente clave de la eficiencia de masticación y aprehensión de bocados; así como de la capacidad de las vacas para regular su tasa de ingestión.

3.7 Conclusiones

Las vacas lecheras incrementaron su tasa de consumo en pasturas de avena negra cv. Saia con el aumento de la altura de la pastura, a partir de una altura cercana a los 50 cm, debido a que después de dicha altura los animales

comenzaron a cosechar bocados de mayor peso. En pasturas bajas (40 cm), las vacas compensaron los menores pesos de bocado con un aumento en los movimientos mandibulares de bocado y en pasturas altas (> 47 cm) las vacas tuvieron que incrementar los movimientos mandibulares de masticación exclusiva para poder tragar los bocados de mayor peso.

3.8 Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de CONACYT para los estudios de doctorado del primer autor y el financiamiento otorgado por el Instituto de Investigación y Posgrado en Ciencia Animal de la Universidad Autónoma Chapingo. Además, se agradece a los estudiantes del Departamento de Zootecnia que apoyaron para realizar el trabajo de campo; Roberto, Heber, Esmeralda, Rodrigo y Orbelin.

3.9 Literatura Citada

- Arzani, H., Zohdi, M., Fish, E., Amiri, G. Z., Nikkhah, A., & Wester, D. (2004). Phenological effects on forage quality of five grass species. *Journal of Range Management*, 57(6), 624-629. [https://doi.org/10.2111/1551-5028\(2004\)057\[0624:PEOFQO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2111/1551-5028(2004)057[0624:PEOFQO]2.0.CO;2)
- Benvenuti, M. A., Gordon, I. J., & Poppi, D. P. (2006). The effect of the density and physical properties of grass stems on the foraging behaviour and instantaneous intake rate by cattle grazing an artificial reproductive tropical sward. *Grass and Forage Science*, 61, 272-281. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2006.00531.x>
- Boval, M., & Sauvant, D. (2019a). Ingestive behaviour of grazing ruminants: meta-analysis of the components of bite mass. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 96-111. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.03.002>
- Boval, M., & Sauvant, D. (2019b). Ingestive behaviour of grazing ruminants: meta-analysis of the components linking bite mass to daily intake. *bioRxiv*, 705665: <https://doi.org/10.1101/705665>.
- Burlison, A. J., Hodgson, J., & Illius, A. W. (1991). Sward canopy structure and the bite dimensions and bite weight of grazing sheep. *Grass and Forage Science*, 46, 29-38. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1991.tb02205.x>
- Cangiano, C. A., Galli, J. R., Pece, M. A., Dichio, L., & Rozsypalek, S. H. (2002). Effect of liveweight and pasture height on cattle bite dimensions during progressive defoliation. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53, 541-549. <https://doi.org/10.1071/AR99105>

- Carvalho, P. C. F. (2013). Harry Stobbs Memorial Lecture: Can grazing behavior support innovations in grassland management? *Tropical Grasslands*, 1, 137-155.
- Carvalho, P. C. F., Trindade, J. K., Bremm, C., Mezzalira, J. C., & Fonseca, L. Comportamiento ingestivo de animais em pastejo. In Reis, R. A., Bernardes, T. F., & Siquiera, G. R. (Eds.), *Forragicultura: Ciência, Tecnologia y Gestão dos Recursos Forrageiros* (pp. 525-545). Jaboticabal, Brasil: Gráfica Multipress.
- Chelotti, J. O., Vanrell, S. R., Martinez, R. L. S., Galli, J. R., Planisich, A. M., Utsumi, S. A., ... Rufiner, H. L. (2020). An online method for estimating grazing and rumination bouts using acoustic signals in grazing cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105443. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105443>
- Da Silva, S. C., Gimenes, F. M. A., Sarmento, D. O. L., Sbrissia, A. F., Oliveira, D. E., Hernández-Garay, A., & Pires, A. V. (2013). Grazing behaviour, herbage intake and animal performance of beef cattle heifers on marandu palisade grass subjected to intensities of continuous stocking management. *Journal of Agricultural Science*, 151, 727-739. <https://doi.org/10.1017/S0021859612000858>
- Flores, E. R., Laca, E. A., Griggs, T. C., & Demment, M. W. (1993). Sward height and vertical morphological differentiation determine cattle bite dimensions. *Agronomy Journal*, 85, 527-532. <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500030001x>
- Fonseca, L., Carvalho, P. C. F., Mezzalira, J. C., Bremm, C., Galli, J. R., & Gregorini, P. (2013). Effect of sward surface height and level of herbage depletion on bite features of cattle grazing Sorghum bicolor swards. *Journal of Animal Science*, 91, 4357-4365. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5602>
- Forbes, J. M., & Gregorini, P. (2015). The catastrophe of meal eating. *Animal Production Science*, 55, 350-359. <http://dx.doi.org/10.1071/AN14425>
- Galli, J. R., Cangiano, C. A., Pece, M. A., & Larripa, M. J. (2018). Monitoring and assessment of ingestive chewing sounds for prediction of herbage intake rate in grazing cattle. *Animal*, 12, 973-982. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002415>
- Gonçalves, E. N., Carvalho, P. C. F., Kunrath, T. R., Carassai, I. J., Bremm, C., & Fischer, V. (2009). Relações planta-animal em ambiente pastoril heterogêneo: processo de ingestão de forragem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(9), 1655-1662.
- Gregorini, P., Gunter, A. S., Beck, P. A., Caldwell, J., Bowman, M. T., & Coblenz, W. K. (2009). Short-term foraging dynamics of cattle grazing swards with different canopy structures. *Journal of Animal Science*, 87, 3817-3824. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2094>
- Guzatti, G. C., Duchini, P. G., Sbrissia, A. F., Mezzalira, J. C., Almeida, J. G. R., Carvalho, P. C. F., & Ribeiro-Filho, H. M. N. (2017). Changes in the short-term intake rate of herbage by heifers grazing annual grasses

- throughout the growing season. *Grassland Science*, 63, 255-264.
[https://doi.org/ 10.1111/grs.12170](https://doi.org/10.1111/grs.12170)
- Hodgson, J. (1990). *Grazing Management: Science into Practice*. Essex, UK: Longman Scientific and Technical.
- Jiménez-Rosales, J. D., Améndola-Massiotti, R. D., García-Moya, E., Burgueño, J. A., Miranda-Romero, L. A., & Ramírez-Valverde, R. (2019). Alturas de dosel y forraje residual de avena negra y veza sobre producción y composición nutricional de forraje. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6(supl 2), 1267-1274.
- Laca, E. A., Ungar, E. D., & Demment, M. W. (1994). Mechanisms of handling time and intake rate of a large mammalian grazer. *Applied Animal Behaviour Science*, 39, 3-19. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(94\)90011-6](https://doi.org/10.1016/0168-1591(94)90011-6)
- Laca, E. A., Ungar, E. D., Seligman, N. G., & Demment, M. W. (1992). Effects of sward height and bulk density on bite dimensions of cattle grazing homogeneous swards. *Grass and Forage Science*, 47, 91-102. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1992.tb02251.x>
- Mezzalira, J. C., Carvalho, P. C. F., Fonseca, L., Bremm, C., Cangiano, C., Gonda, H. L., & Laca, E. A. (2014). Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. *Applied Animal Behaviour Science*, 153, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.12.014>
- Mezzalira, J. C., Bonnet, O. J. F., Carvalho, P. C. F., Fonseca, L., Bremm, C., Mezzalira, C. C., & Laca E. A. (2017). Mechanisms and implications of a type IV functional response for short-term intake rate of dry matter in large mammalian herbivores. *Journal of Animal Ecology*, 86, 1159-1168. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12698>
- Nadin, L., Sánchez, C. F., Agnelli, M. L., Trindade, J. K., & Gonda, H. (2019). Effect of sward height on short-term intake by steers grazing winter oat pastures. *Livestock Science*, 225, 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.04.018>
- Navon, S., Mizrach, A., Hetzroni, A., & Ungar, E. D. (2013). Automatic recognition of jaw movements in free-ranging cattle, goats, and sheep, using acoustic monitoring. *Biosystem Engineering*, 114, 474-483. [https://doi.org/ 10.1016/j.biosystemseng.2012.08.005](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.005)
- Penning, P. D., Rook, A. J., & Orr, R. J. (1991). Patterns of ingestive behaviour of sheep continuously stocked on monocultures of ryegrass or white clover. *Applied Animal Behaviour Science*, 31, 237-250. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(91\)90008-L](https://doi.org/10.1016/0168-1591(91)90008-L)
- Quiroz-Pérez, J. C., Améndola-Massiotti, R. D., Zaragoza-Ramírez, J. L., & O. Ortiz-Moreno. (2016). Consumo aparente de forraje de *Avena strigosa* y *Vicia* spp. con riego, bajo pastoreo invernal en el centro de México. *Revista Argentina de Producción Animal*, 36, 295-411.
- Rook, A. J., Harvey, A. A. J., Parsons, R. J., Orr, R. J., & Rutter, S. M. (2004). Bite dimensions and grazing movements by sheep and cattle grazing

- homogeneous perennial ryegrass swards. *Applied Animal Behaviour Science*, 88, 227-242. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.03.006>
- Sánchez, G. R. A., Gutiérrez, B. H., Serna, P. A., Gutiérrez, L. R., & Espinoza, C. A. (2014). Producción y calidad de forraje de variedades de avena en condiciones de temporal en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(2), 131-142.
- Silva, G. P., Fialho, C. A., Carvalho, L. R., Fonseca, L., Carvalho, P. C. F., Bremm, C., & Da Silva, S. C. (2017). Sward structure and short-term herbage intake in *Arachis pintoi* cv. Belmonte subjected to varying intensities of grazing. *The Journal of Agricultural Science*, 156, 92-99. <https://doi.org/10.1017/S0021859617000855>
- Ungar, E. D. (1996). Ingestive behavior. In Hodgson, J., & Illius, A. W. (Eds.), *The ecology and management of grazing systems* (pp. 185-218). Wallingford, UK: CAB International.
- Ungar, E. D., & Rutter, S. M. (2006). Classifying cattle jaw movements: comparing IGER behaviour recorder and acoustic techniques. *Applied Animal Behaviour Science*, 98, 11-27. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.08.011>

4 RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN DEL FORRAJE DE AVENA NEGRA A DIFERENTES FRECUENCIAS E INTENSIDADES DE COSECHA

Juan Daniel **Jiménez-Rosales**, Ricardo Daniel **Améndola-Massiotti**, Edmundo **García-Moya**, Juan Andrés **Burgueño-Ferreira**, Rodolfo **Ramírez-Valverde**, Luis Alberto **Miranda-Romero** Eliseo **Sosa-Montes**

4.1 RESUMEN

La frecuencia e intensidad de cosecha son criterios de gestión en plantas forrajeras y sus opciones afectan el rendimiento y la calidad del forraje. Los objetivos del estudio fueron evaluar los rendimientos de forraje, de componentes morfológicos y la composición química (proteína cruda, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido) de avena negra (*Avena strigosa* Schreb) cv. Saia a tres frecuencias de cosecha (40, 50 y 60 cm de altura de dosel) y tres intensidades de cosecha (8, 14 y 20 cm de forraje residual). El diseño fue completamente al azar con arreglo factorial (3 x 3) de tratamientos y cuatro repeticiones. Los factores fueron la altura de dosel (AD) y la intensidad de cosecha (IC). Las unidades experimentales fueron 36 parcelas de 12 m². El rendimiento de forraje aumentó linealmente ($p = 0.007$) con el incremento de AD (35 kg MS cm⁻¹, $R^2 = 0.91$). El rendimiento de lámina foliar disminuyó (-33 kg MS cm⁻¹, $R^2 = 0.99$, $p = 0.001$) y el de seudotallo más tallo aumentó (46 kg MS cm⁻¹, $R^2 = 0.98$, $p = 0.001$) con el incremento en AD. La IC no afectó el rendimiento de forraje ($p > 0.05$); sin embargo, el rendimiento de lámina foliar fue mayor con alta IC; 8 cm de forraje residual ($p < 0.05$). La proteína cruda (PC) disminuyó linealmente ($p = 0.001$) con el aumento de AD (-0.22% cm⁻¹, $R^2 = 0.99$), y la fibra detergente neutro (FDN) fue más alta (51.2%) en 60-14 y más baja (41.9%) en 40-8. El forraje con mayor

proporción de láminas foliares y menor contenido de FDN se cosechó a 40 cm de AD en combinación con moderadas intensidades de defoliación (8 y 14 cm de altura de forraje residual).

Palabras clave: *Avena strigosa*, altura de dosel, frecuencia de defoliación, forraje residual.

4.2 INTRODUCCIÓN

En la zona templada de México se ha destacado el uso de avena común (*Avena sativa* L.) como cultivo forrajero anual (Améndola *et al.*, 2005), para contrarrestar el déficit de la oferta de forraje que tienen las praderas perennes durante el invierno (Rojas-García *et al.*, 2017). Sin embargo, en avena común es frecuente realizar una única cosecha de forraje cuando las plantas se encuentran maduras, porque en diferentes variedades de avena común se ha obtenido que en estadios reproductivos el rendimiento de forraje es alto (Espitia *et al.*, 2012). Pero, al realizar la cosecha en estadios reproductivos se disminuye la capacidad de rebrote de los macollos, porque se incrementa la probabilidad de cortar el meristemo apical (Gastal y Lemaire, 2015). Otra opción es la avena negra (*Avena strigosa* Schreb) y en México el cv. Saia se ha destacado por su mayor rendimiento y calidad de forraje; frente a variedades de avena común (Espitia *et al.*, 2012; Sánchez *et al.*, 2014). Incluso cuando se cosecha durante su crecimiento vegetativo a intensidades moderadas de defoliación se puede obtener forraje en más de una cosecha (Guzatti *et al.*, 2015).

Sin embargo, en la gestión de plantas forrajeras es importante conocer cuando el rendimiento de forraje y el contenido de proteína cruda (PC) son altos y los contenidos de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) son bajos. Para definir el momento de cosecha se han evaluado diferentes criterios de frecuencia de defoliación. La cosecha a un número de días fijos (Tonato *et al.*, 2014), a una altura

de dosel determinada (Aguinaga *et al.*, 2008), a un nivel predefinido de interceptación de luz por el dosel (Da Silva *et al.*, 2015) y a un número de hojas por macollo (Solomon *et al.*, 2017). En México se ha recomendado la cosecha con base en días fijos, en pasto ovillo cada 35 d (*Dactylis glomerata* L.) (Hernández-Guzmán *et al.*, 2015) y para alfalfa (*Medicago sativa* L.) en mezcla con pasto ovillo, cada 35 d en primavera, verano y otoño, y 42 d en invierno (Zaragoza *et al.*, 2009).

La cosecha a un número de días fijos puede ser un criterio no conveniente porque las variaciones de temperatura y lluvia entre años afectan el rendimiento y la composición del forraje, como lo destacaron Solomon *et al.* (2017) en el caso de ballico anual (*Lolium multiflorum* Lam. Var. *Westerwoldicum*). Otra consecuencia negativa del uso de los días fijos es que los intervalos entre defoliaciones pueden ser demasiado cortos o largos y comprometen el rendimiento del forraje o el valor nutricional. En este contexto, Salgado *et al.* (2010) informaron que el rendimiento de avena negra aumentaba con el incremento de los intervalos de cosecha de 30 a 45 o 60 d, mientras que la digestibilidad y el contenido de PC y energía metabolizable (EM) disminuían. La interceptación de luz por dosel forrajero y su altura (Da Silva *et al.*, 2015), o el número de hojas por macollo (Solomon *et al.*, 2017) son criterios de cosecha más convenientes en términos de rendimiento y composición del forraje; porque permiten detectar el momento en el que el rendimiento de hojas es mayor que el de tallos y el material muerto.

La intensidad de cosecha o grado de severidad con que se realiza la defoliación, (Gastal y Lemaire, 2015) también impacta en el rendimiento y la composición del forraje. La intensidad de cosecha se ha evaluado a partir del forraje residual. Brink *et al.* (2013) cosecharon más forraje en *Festuca pratensis* Huds., *Dactylis glomerata* L., *Elymus repens* L. Gould y *Phalaris arundinacea* L. cuando se defoliaron en estado

vegetativo a mayor intensidad de cosecha (2 o 8 cm de forraje residual) que a menor (16 cm de forraje residual). Solomon *et al.* (2017) encontraron en ballico anual una tendencia a un mayor rendimiento del pasto, pero con mayor contenido de FDN a mayor intensidad de cosecha (5 cm de forraje residual) que a menor intensidad (10 cm de forraje residual). Pero con intensidad moderada de cosecha Schmitt *et al.* (2019) en *Pennisetum purpureum* Schum. CV. Pioneiro y *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov, en distintas alturas de dosel, encontraron que la composición del forraje era la misma en la mitad superior del dosel (equivalente a una intensidad de cosecha de la mitad de la altura del dosel).

Considerando que en México la avena negra cv. Saia ha sido evaluada en estadios reproductivos en una sola cosecha (Espitia *et al.*, 2012; Sánchez *et al.*, 2014) y dada la importancia de la frecuencia e intensidad de cosecha en el rendimiento y la composición del forraje. Los objetivos del presente estudio fueron evaluar los rendimientos de forraje y de componentes morfológicos, así como la composición química (PC, FDN y FDA) de avena negra cv. Saia cosechada a tres frecuencias (40, 50 y 60 cm de altura de dosel) y tres intensidades de defoliación (8, 14 y 20 cm de altura del residual). Porque se planteó la hipótesis de que al realizar frecuencias de cosecha cortas (menor altura de dosel) y con moderadas intensidades de defoliación (8 a 20 cm de forraje residual) se puede colectar forraje con mayor cantidad de láminas foliares, alto contenido de PC y menor cantidad de FDN; en más de una cosecha.

4.3 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo, México (19° 29' N, 98° 54' O, 2240 msnm) entre abril y junio de 2017 (primer experimento) y 2018 (segundo experimento). El clima es templado subhúmedo con lluvias de verano. A partir de los datos de la estación meteorológica de Chapingo México se obtuvo que,

las temperaturas medias mensuales promedio durante ambas evaluaciones fueron similares y fluctuaron entre 16.8 y 19.2 °C (Figura 8). La precipitación total acumulada durante las evaluaciones de 2017 y 2018 fue de 254 y 264 mm, pero la distribución mensual difirió entre años (Figura 8), siendo baja en abril de 2017 y alta en junio de 2018. A partir de los resultados del análisis de suelo del sitio experimental se obtuvo, textura media (franco arcilloso), pH de 7.5, 2.6% de materia orgánica, 35.6 ppm de N-NO₃, 14.1 ppm de P-Bray y 455 de ppm K. El cultivo se fertilizó al momento de la siembra con 18 kg N ha⁻¹ y 46 kg P₂O₅ ha⁻¹; en el amacollamiento, se aplicaron 60 kg N ha⁻¹ adicionales.

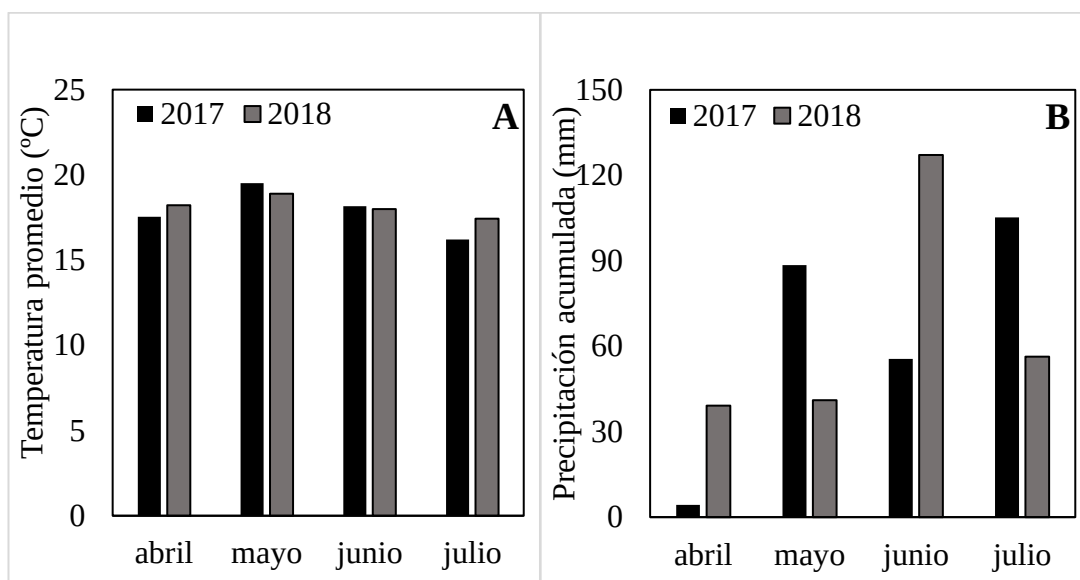


Figura 8. Temperatura promedio del aire (A) y precipitación acumulada mensual (B) de abril a julio de 2017 y 2018 en Chapingo México.

El diseño experimental fue completamente aleatorio, con cuatro repeticiones. Los tratamientos resultaron de la combinación factorial de tres alturas de dosel (40, 50 y 60 cm) con tres intensidades de cosecha (8, 14 y 20 cm de altura de forraje residual). Las unidades experimentales fueron parcelas de 12 m², separadas con franjas de 0.5 m de ancho.

La siembra se llevó a cabo el 31 de marzo de 2017 (primer experimento) y el 26 de abril de 2018 (segundo experimento), con una sembradora manual, aplicando 120 kg de semilla pura germinable por ha. Durante los experimentos se aplicaron riegos por aspersión de aproximadamente 50 mm cada uno, con frecuencia quincenal; en total se aplicaron 10 riegos en 2017 y cuatro en 2018. La menor cantidad de riegos durante 2018 se debió a la siembra posterior de ese año y al retraso en el inicio de la temporada de lluvias en 2017 (Figura 8). Después de la emergencia del cultivo, se aplicó herbicida 2-4-D (Hierbamina®, 1.5 L ha⁻¹) para el control de malezas de hoja ancha.

Para el monitoreo de la altura de dosel en cada tratamiento se hicieron mediciones semanales de altura y cada dos días cuando la altura promedio se acercó a las metas de cada tratamiento. Para ello se realizaron quince mediciones dentro de cada parcela con un bastón graduado, adaptación del “sward stick”. Las alturas de dosel promedio obtenidas durante los experimentos fueron 40.2 ± 0.7 cm, 51 ± 0.7 cm, 61 ± 1.5 cm en 2017 y 43.8 ± 0.4 cm, 53 ± 1 cm, 63 ± 2 cm en 2018 (en promedio, 5% de desviación de las metas de altura). Las variables de estudio fueron los rendimientos de forraje y de componentes morfológicos; lámina foliar, seudotallo más tallo, inflorescencia, material muerto y malezas. Así como la composición química del forraje (PC, FDN y FDA)

El rendimiento de forraje se evaluó a partir de la suma de los rendimientos de materia seca (MS) obtenidos en las cosechas realizadas en cada tratamiento (Cuadro 3). Para estimar el rendimiento de forraje por cosecha se cortaron tres muestras de masa de forraje, dentro de cada unidad experimental, con tijeras en unidades de muestreo fijas de 0.32 m² (0.8 × 0.4 m); a la intensidad de cosecha de cada tratamiento. Para ello, antes de coleccionar las muestras en cada unidad de muestreo se colocaba un

rectángulo metálico que se deslizaba en cuatro postes graduados que permitían obtener las muestras a la altura de forraje residual de cada tratamiento. Posteriormente, se registró el peso fresco de la masa de forraje por muestra. Después para la determinación del contenido de MS se tomó una muestra compuesta de aproximadamente 400 g de forraje y se secó en horno con circulación de aire forzado a 55°C hasta peso constante. Después del corte de las muestras de forraje, para cumplir con las intensidades de cosecha en cada tratamiento, se cortó el forraje que quedó en cada parcela; con una segadora (Model UT44110, Homelite®, EE. UU.) a la altura de forraje residual de cada tratamiento.

Para cuantificar los componentes morfológicos de cada unidad experimental se tomó una submuestra compuesta de aproximadamente 200 g del forraje cortado en las unidades de muestreo. Después, todo el forraje de la submuestra se separó en avena negra y maleza. Posteriormente, se separaron los componentes de la avena y cada uno se secó en estufa con circulación de aire forzado a 100°C hasta peso constante y sobre la base del peso seco se calculó la proporción de cada componente. El rendimiento de cada componente se estimó en cada cosecha, y se obtuvo al multiplicar el rendimiento de forraje por la proporción (0-1) de cada componente.

Los contenidos de proteína cruda (PC, %), fibra por detergente neutro (FDN, %) y fibra por detergente ácido (FDA, %) del forraje se evaluaron en el experimento de 2018. Para ello se utilizaron las mismas muestras que se obtuvieron para estimar el contenido de MS de cada parcela. Las muestras de forraje se molieron en un molino (Thomas Modelo 4, Wiley®, EE. UU.) con malla de 1 mm. En laboratorio se estimó el contenido de PC ($N \times 6.25$) a partir del contenido de N, determinado por el método Kjeldahl. Los contenidos de FDN y FDA se obtuvieron secuencialmente con el uso de

bolsas filtrantes de 25 micrones (Ferreira y Mertens, 2007) y un analizador de fibras (Modelo A200, Ankom®, EE. UU.).

El análisis estadístico se realizó con el procedimiento GLM de SAS®. El modelo estadístico para evaluar el rendimiento de forraje (suma de los rendimientos de cada cosecha) y de cada componente morfológico incluyó efectos fijos de altura de dosel (AD), intensidad de cosecha (IC), año y sus respectivas interacciones. El modelo para evaluar la composición química incluyó efectos fijos de AD, IC y su interacción. Las medias (LSMEANS) se compararon con pruebas “t” de Student ($\alpha = 5\%$). Además, se evaluaron las respuestas de cada variable a la AD e IC utilizando polinomios ortogonales.

4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de forraje (Cuadro 5) aumentó linealmente ($p = 0.007$) con el incremento de AD (35 kg MS cm^{-1} , $R^2 = 0.91$), pero no se vio afectado ($p > 0.05$) por IC (promedio $6334 \text{ kg MS ha}^{-1}$); en 2017 fue un 28% más alto que en 2018 ($p < 0.001$). El rendimiento de lámina foliar disminuyó linealmente ($p = 0.001$) con el aumento de AD ($-33 \text{ kg MS cm}^{-1}$, $R^2 = 0.99$). Esta variable se vio afectada ($p = 0.04$) por la interacción entre año e IC, ya que en 2017 fue 10% mayor ($p < 0.05$) con la IC más alta (8 cm de forraje residual), pero en 2018 no se detectó efecto de IC ($p > 0.05$). El rendimiento de seudotallo más tallo (Cuadro 5) aumentó linealmente ($p = 0.001$) con el incremento en AD (46 kg MS cm^{-1} , $R^2 = 0.98$), pero no fue afectado ($p > 0.05$) por IC (promedio $2614 \text{ kg MS ha}^{-1}$); en 2017 fue 29% más alto que en 2018 ($p < 0.001$).

Debido al efecto de la interacción AD * IC * año ($p < 0.006$), la cantidad de material muerto en 2017 fue mayor con 60-8 ($347 \text{ kg MS ha}^{-1}$) y con 60-14 ($127 \text{ kg MS ha}^{-1}$) que con el promedio de los demás tratamientos (27 kg MS ha^{-1}). La cantidad de inflorescencia fue afectada por la interacción AD * IC ($p < 0.001$), siendo poco más

de tres veces mayor con 60-14 (704 kg MS ha⁻¹) que con el promedio de los tratamientos con menor rendimiento de inflorescencia (40-8, 40-14, 50-8 y 50-14; 193 kg MS ha⁻¹); también fue afectado por la interacción IC * año ($p < 0.002$) por lo que en 2017 la inflorescencia cosechada fue mayor con IC decreciente, mientras que en 2018 eso sucedió con IC de 14 y 20 cm de forraje residual (Figura 9). La cantidad de maleza cosechada fue mayor ($p < 0.001$) en 2018 que en 2017 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efectos de frecuencias de cosecha (alturas de dosel) y año en los rendimientos de forraje y de componentes morfológicos de avena negra cv. Saia.

Componente (kg MS ha ⁻¹)	Altura de dosel (cm)			EEM [†]	p [¶]	Contraste Lineal
	40	50	60			
Rendimiento de forraje	6048 b [§]	6204 b	6746 a	174	0.017	0.007
Lámina foliar	3446 a	3097 b	2784 c	77	0.001	0.001
Seudotallo más tallo	2191 c	2547 b	3104 a	111	0.001	0.001
Material muerto	11b	13 b	85 a	12	0.001	0.001
Inflorescencia	249 b	295 b	510 a	27	0.001	0.001
Maleza	151	252	263	59	0.345	0.186
	Año					
	2017	2018				
Rendimiento de forraje	7110 a	5557 b	142	0.001		
Lámina foliar	3491 a	2727 b	63	0.001		
Seudotallo más tallo	2950 a	2278 b	91	0.001		
Material muerto	74 a	0 b	10	0.001		
Inflorescencia	562 a	141 b	22	0.001		
Maleza	33 b	411 a	48	0.001		

[†]EEM: error estándar de la media; [¶]p: probabilidad de diferencia; [§]Medias seguidas

por la misma letra entre columnas no son diferentes ($p > 0.05$).

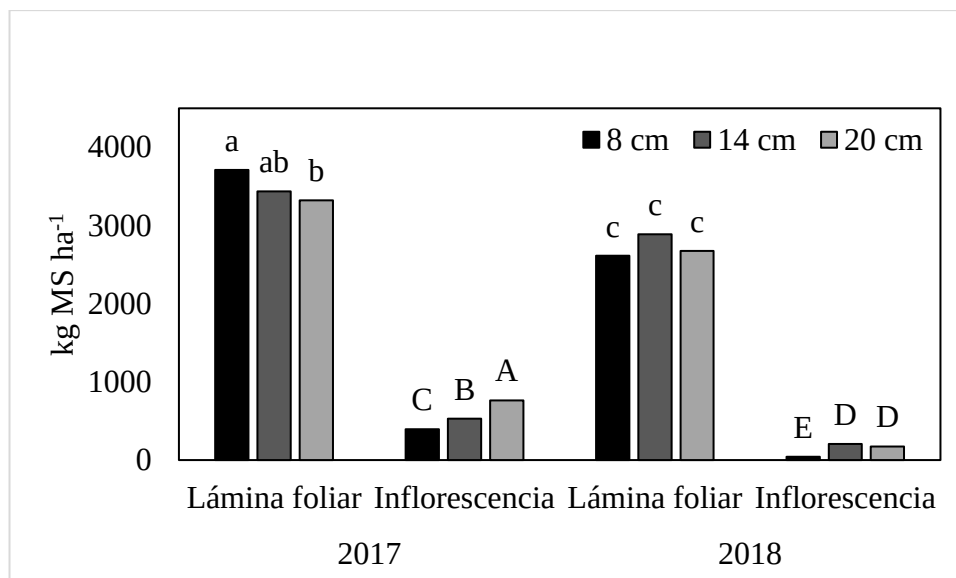


Figura 9. Rendimientos de lámina foliar e inflorescencia a diferentes intensidades de cosecha (alturas de forraje residual) en dos años de evaluación. Barras con diferente letra minúscula entre años indican diferencias en lámina foliar ($p < 0.05$). Barras con diferente letra mayúscula entre años indican diferencias en inflorescencia ($p < 0.05$).

El aumento del rendimiento de forraje que se obtuvo con el incremento de AD es una respuesta frecuente que se da con el avance del crecimiento de las plantas forrajeras, incluidas avena común (Espitia *et al.*, 2012) y avena negra (Aguinaga *et al.*, 2008; Salgado *et al.*, 2010), y es producto de la radiación solar fotosintéticamente activa que interceptan las láminas foliares a medida que se desarrollan las gramíneas (Moot *et al.*, 2007) durante su fase vegetativa (Skinner y Moore, 2007).

La respuesta opuesta que se obtuvo entre las cantidades de lámina foliar (disminuyó) yseudotallo más tallo (aumentó) con el incremento de AD se debe a que con el desarrollo fenológico de las gramíneas la estructura del dosel cambia (Aguinaga *et al.*, 2008). Bommert y Whipple (2018) informaron que la transición de la fase vegetativa a la reproductiva implica la transformación del meristemo apical vegetativo en un meristemo reproductivo, junto con el alargamiento de los entrenudos (Skinner y

Moore, 2007) y en consecuencia hay una mayor proporción de pseudotallos y tallos. Bommert y Whipple (2018) indicaron que en los macollos cuyos tallos se elongan se producen inflorescencias y semillas cuando ocurre la fase reproductiva. Esta es la razón por la que se encontró una mayor cantidad de inflorescencias en 60-14.

Frecuencias de cosecha más cortas asociados con AD más baja retrasaron la transición a la fase reproductiva y en consecuencia se pudo cosechar forraje con mayor cantidad de láminas foliares que de tallos. Gastal y Lemaire (2015) destacaron que con la elongación de los tallos también aumenta la probabilidad de que el meristemo apical sea removido en la cosecha, provocando una menor supervivencia de los macollos y afectando la capacidad de rebrote de las plantas. Quizá por esta razón, con mayor AD e IC (60-8 y 60-14), se obtuvo menor número de cosechas.

En cuanto a los efectos de la IC, el mayor rendimiento de láminas foliares que se obtuvo con una IC más alta (8 cm de forraje residual) se puede atribuir al retraso en la elongación del tallo (Skinner y Moore, 2007), lo que coincide con el aumento de inflorescencias que se encontró con las IC más bajas (mayor altura de forraje residual) y que permitió que las plantas continuaran su desarrollo fenológico. Asimismo, las mayores cantidades de material muerto que resultaron en los tratamientos 60-8 y 60-14 (de baja frecuencia y mayor intensidad de cosecha) se atribuyeron a que, con la elongación de los tallos, las hojas más viejas se sombrearon acelerando su senescencia y provocaron la acumulación de material muerto en la base del dosel (Moot *et al.*, 2007).

Los contenidos de MS, PC y FDA no se vieron afectados por la interacción AD * IC ($p > 0.05$). El contenido de MS fue similar ($p < 0.05$) entre las AD (promedio 17.1%, Cuadro 6); pero aumentó linealmente ($p = 0.007$) con la disminución en IC (promedio $0.23\% \text{ cm}^{-1}$ de reducción de altura de forraje residual, $R^2 = 0.96$). Por el

contrario, el contenido de FDN (Figura 10) fue mayor ($p < 0.05$) en 60-14 (51.2%) y menor en 40-8 (42.0%) y el de FDA tendió ($p = 0.086$) a ser 8% mayor con 60 cm de AD que el promedio de 40 y 50 cm (25.9%, Cuadro 6); sin embargo, fue similar ($p > 0.05$) entre las IC (promedio 26.6%). El contenido de PC disminuyó linealmente ($p = 0.001$) con el incremento de AD ($-0.22\% \text{ cm}^{-1}$, $R^2 = 0.99$). Además, tendió ($p = 0.081$) a ser 5% mayor con 20 cm de altura de forraje residual que el promedio de 8 y 14 cm (25%).

Si bien el rendimiento de forraje fue mayor con el incremento de la AD, se encontró una relación inversa entre la calidad y la cantidad de forraje. La disminución de la calidad del forraje, menor contenido de PC y mayor de fibras (FDN y FDA), con el aumento de AD se atribuye a que las hojas tienen mejor composición nutricional que los tallos. Arzani *et al.* (2004) al estudiar cinco gramíneas C3 encontraron que, en promedio de tres etapas de madurez, los contenidos de FDN y FDA de las hojas fueron 16 y 23% menores que los de los tallos, mientras que los de PC y EM fueron 67 y 27% más altos en hojas que en tallos.

Con base en lo anterior, la disminución del contenido de PC en el forraje con el incremento de AD se debió al deterioro de 0.8 puntos porcentuales del contenido de la lámina foliar por cm de aumento de AD ($R^2 = 0.65$, $p < 0.001$). La mayor cantidad de lámina foliar también puede explicar el menor contenido de FDN en 40-8. Otro factor que explica la reducción de la calidad del forraje con un mayor crecimiento es el cambio en la composición química de los componentes morfológicos a medida que avanza la madurez de las plantas. Al respecto, Arzani *et al.* (2004) reportaron que con el avance del estado fenológico en gramíneas (vegetativo, floración y madurez), el contenido de PC disminuyó y los de FDN y FDA aumentaron, lo que contribuye a la

explicación de por qué los contenidos de FDN y FDA fueron mayores en el forraje de mayor AD.

La alimentación del ganado con forrajes de alta calidad tiene implicaciones productivas. Salgado *et al.* (2013) publicaron que las vacas lecheras alimentadas con una dieta que contenía 38% de avena negra (19.8% PC y 2.36 Mcal kg MS⁻¹ de EM) produjeron 6% mayor rendimiento de leche que las vacas alimentadas con una dieta que no incluía avena negra. La recolección de forraje a 40 cm de AD y 8 cm de forraje residual puede ser una estrategia de manejo adecuada para obtener un forraje de alta calidad para alimentar a las vacas lecheras ya que el contenido de PC y EM obtenido con 40-8 fueron mejores que los reportados por Salgado *et al.* (2013). Con 40 cm de AD y 8 cm de IC se lograron contenidos de 28.4% de PC y 2.54 Mcal kg MS⁻¹ de EM (emanado de 27.15% de FDA, con la ecuación EM (Mcal kg MS⁻¹) = 3.412-0.0322% FDA, derivada de los datos de composición de forrajes informados por el NRC (2001).

Cuadro 6. Efectos principales de frecuencias de cosecha (alturas de dosel) e intensidades de cosecha (alturas de forraje residual) en la composición química del forraje de avena negra cv. Saia.

Componente (%)	Altura de dosel (cm)			EEM [†]	p [¶]	Contraste e Lineal
	40	50	60			
Materia seca	17.0	16.8	17.4	0.6	0.797	0.639
Proteína cruda	27.5 a [§]	25.7 b	23.2 c	0.6	0.001	0.001
Fibra detergente neutro	43.3 c	45.0 b	48.4 a	0.6	0.001	0.001
Fibra detergente ácido	27.2	24.6	27.9	1.0	0.086	0.607
Altura de forraje residual (cm)						
	8	14	20			
Materia seca	15.5 b	17.4 a	18.3 a	0.6	0.007	0.002
Proteína cruda	25.3	24.8	26.4	0.6	0.081	0.198
Fibra detergente neutro	45.5 ab	46.9 a	44.4 b	0.6	0.005	0.214
Fibra detergente ácido	27.1	27.1	25.5	1.0	0.380	0.289

[†]EEM: error estándar de la media; [¶]p: probabilidad de diferencia; [§]Medias seguidas

por la misma letra entre columnas no son diferentes (p > 0.05).

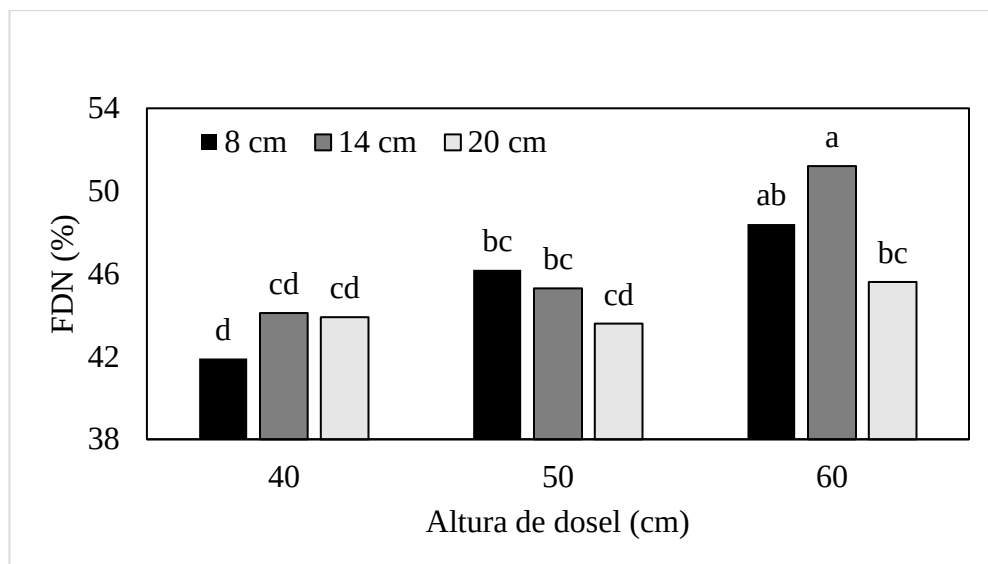


Figura 10. Contenido de fibra detergente neutro (FDN) en forraje de avena negra a diferentes combinaciones de frecuencias de cosecha (alturas de dosel) e intensidades de cosecha (alturas de forraje residual). Distintas letras entre las barras indican diferencias ($p < 0.05$).

Los intervalos de cosecha en la mayoría de los tratamientos (excepto 50-8) fueron menores en 2018 que en 2017, esa diferencia varió entre tres (40-20) y nueve días (50-14). En los tratamientos 40-14, 40-20 y 50-20, el intervalo de cosecha después de la primera defoliación fue en promedio de 17 d más corto que en 40-8, 50-14 y 60-20 (en promedio 25 d), mientras que en 50-8, 60-8 y 60-14, este intervalo fue aún más largo (en promedio 38 d). Otras consecuencias de las combinaciones entre AD e IC fueron variaciones en el número de cosechas (Cuadro 7) y el rendimiento por cosecha (Figura 11). En general, con defoliaciones más intensas (menor forraje residual) se obtuvo menor número de cosechas, pero con mayor rendimiento de forraje por cosecha. Por el contrario, con defoliaciones menos intensas (más forraje residual) se obtuvo mayor número de cosechas, pero con menor rendimiento de forraje por cosecha (Figura 11).

La ausencia de diferencias en el rendimiento de forraje utilizando diferentes IC podría resultar de la compensación entre el rendimiento por cosecha y el número de cosechas realizadas en cada tratamiento (Cuadro 7), porque con baja IC (40-14, 40-20 y 50-20), hubo más cosechas (en promedio, cuatro) y, por el contrario, con alta IC (50-8, 60-8 y 60-14) hubo menos cosechas (en promedio, dos). Nuestros resultados coinciden con lo reportado por Hamilton *et al.* (2013) en experimento de corte y Brink *et al.* (2013) en experimento de pastoreo, ambos en pastos templados, encontraron menor y mayor número de cosechas con defoliación más y menos intensa, respectivamente. El rápido crecimiento del forraje durante el rebrote explica la reducción del intervalo entre cosechas con menor AD y menor IC desde la primera cosecha en adelante. Porque en plantas con menor IC, la mayor área foliar residual y el mayor contenido de carbohidratos solubles en la base de los macollos favorecen la fotosíntesis y el crecimiento; sin embargo, se cosecha una cantidad menor de forraje (Lee *et al.*, 2008).

Las diferencias en el rendimiento de forraje entre años se atribuyen al mayor número de cosechas realizadas en 2017 que en 2018 (Cuadro 7), asociado a siembras más tempranas en el primer año. Al respecto, Ferraza *et al.* (2013) y Quiroz-Pérez *et al.* (2016) encontraron mayor rendimiento de forraje con fechas de siembra más tempranas en gramíneas anuales de invierno. Los intervalos de cosecha más cortos a partir de la primera cosecha en 2018 se atribuyen a una mayor tasa de crecimiento del forraje durante los meses en que se realizaron las cosechas (junio y julio). En esos meses, hubo una temperatura promedio y una precipitación acumulada más alta que en 2017 (Figura 8), lo que debió haber estimulado el crecimiento de las plantas y permitido alcanzar las metas de AD en menos tiempo. Al respecto, Hamilton *et al.* (2013) informaron que los intervalos mayores entre cosechas en ballico inglés (*Lolium*

perenne L.) y festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.) se debieron en parte a un crecimiento más lento.

Cuadro 7. Fechas de cosecha de avena negra cv. Saia a diferentes frecuencias de cosecha (alturas de dosel) e intensidades de cosecha (alturas de forraje residual).

AD [†] - AFR [‡]	Intervalos de cosecha								
	40-8	40-14	40-20	50-8	50-14	50-20	60-8	60-14	60-20
Cosecha	Fechas de cosecha 2017								
a									
1	20may	20may	20may	30may	30may	30may	07jun	07jun	07jun
2	16jun	12jun	8jun	04jul	29jun	21jun	19jul	19jul	12jul
3	15jul	04jul	23jun	02ago	26jul	12jul			02ago
4		26jul	07jul			02ago			
5			20jul						
6			5ago						
DDS-1 [§]	50	50	50	60	60	60	68	68	68
DEC ^b	28	22	15	32	29	21	42	42	28
Cosecha	Fechas de cosecha 2018								
a									
1	19jun	19jun	19jun	25jun	25jun	25jun	30jun	30jun	30jun
2	10jul	04jul	29jun	02aug	15jul	09jul		04ago	24jul
3		20jul	09jul			28jul			
4			24jul						
DDS-1	54	54	54	60	60	60	65	65	65
DEC	21	16	12	38	20	17	-	35	24

[†]AD: Altura de dosel; [‡]AFR: Altura de forraje residual; [§]DDS-1: Días después de la siembra a la primera cosecha; ^bDEC: Días entre cosechas después de la primera cosecha.

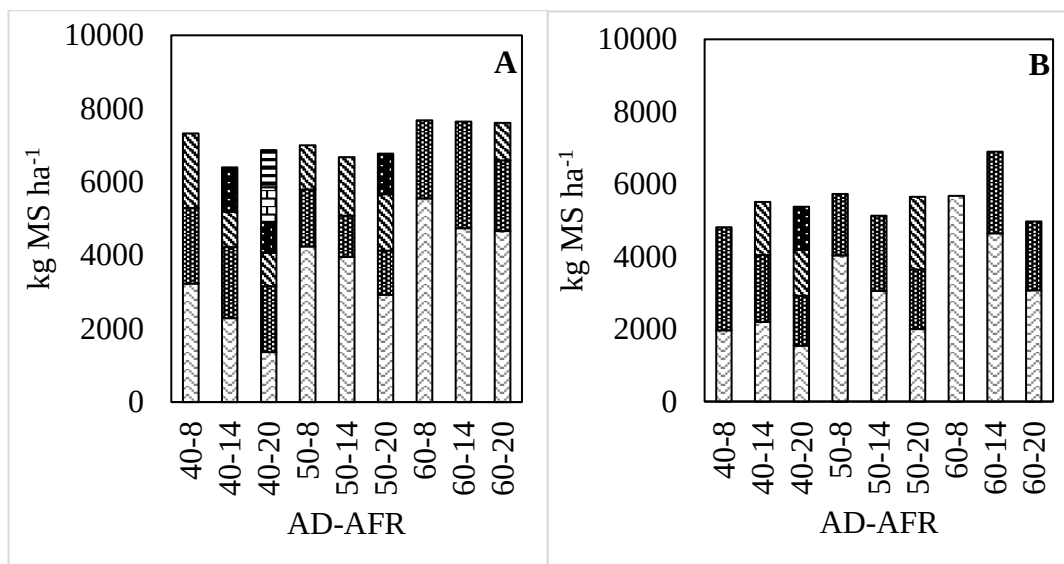


Figura 11. Rendimiento de forraje por cosecha en avena negra cv. Saia a diferentes frecuencias de cosecha (alturas de dosel, AD) e intensidades de cosecha (alturas de forraje residual, AFR) en 2017 (A) y 2018 (B).

4.5 CONCLUSIONES

La cosecha de avena negra cv. Saia con frecuencia alta (cada 40 cm de altura de dosel) y a moderadas intensidades de defoliación (8 y 14 cm de forraje residual), permitió recolectar forraje con mayor cantidad de láminas foliares y menor contenido de FDN. Además, cuando la defoliación se realizó a 40 cm de altura de dosel en combinación con 8 y 14 cm de forraje residual, se obtuvieron al menos dos y tres cosechas.

Sin embargo, la cosecha a 60 cm de altura de dosel con intensidades de defoliación de 14 y 20 cm de forraje residual resultó ventajosa para obtener mayor rendimiento de forraje en dos cosechas. La disminución del contenido de proteína cruda en el forraje cuando se cosechó a menor frecuencia (mayor altura de dosel), se debió al menor contenido de láminas foliares y a mayor cantidad de pseudotallos y tallos.

4.6 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada al primer autor durante sus estudios de doctorado.

4.7 LITERATURA CITADA

- Aguinaga, A. A. Q., P. C. F. Carvalho, I. Anghinoni, A. Pilau, A. J. Q. Aguinaga, e G. D. F. Gianluppi. 2008. Componentes morfológicos e produção de forragem de pastagem de aveia e azevém manejada em diferentes alturas. R. Bras. Zootec. 37: 1523-1530. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008000900002>
- Améndola, M. R. D., E. Castillo G, and P. A. Martínez H. 2005. Forage resource profiles. Mexico. *In: Country pasture profiles (CD)*. FAO. Rome, Italy.
- Arzani, H., M. Zohdi, E. Fish, G. Z. Amiri, A. Nikkhah, and D. Wester. 2004. Phenological effects on forage quality of five grass species. J. Range Manage. 57: 624-629. [https://doi.org/10.2111/1551-5028\(2004\)057\[0624:PEOFQO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2111/1551-5028(2004)057[0624:PEOFQO]2.0.CO;2)
- Bommert, P., and C. Whipple. 2018. Grass inflorescence architecture and meristem determinacy. Semin. Cell Dev. Biol. 79: 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.10.004>
- Brink, G. E., R. D. Jackson, and N. B. Alber. 2013. Residual sward height effects on growth and nutritive value of grazed temperate perennial grasses. Crop Sci. 53: 2264-2274. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.01.0068>
- Da Silva, S. C., A. F. Sbrissia, and L. E. T. Pereira. 2015. Ecophysiology of C4 forage grasses-understanding plant growth for optimising their use and management. Agriculture. 5: 598-625. <https://doi.org/10.3390/agriculture5030598>

- Espitia R., E., H. E. Villaseñor M., R. Tovar G., M. de la O., y A. Limón O. 2012. Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3: 771-783.
- Ferraza, J. M., A. B. Soares, T. N. Martin, A. L. Assmann, F. Migliorini, e V. Nicola. 2013. Dinâmica de produção de forragem de gramíneas anuais de inverno em diferentes épocas de semeadura. *Ciênc. Rural* 43: 1174-1181. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013005000086>
- Ferreira, G., and D. R. Mertens. 2007. Measuring detergent fibre and insoluble protein in corn silage using crucibles or filter bags. *Anim. Feed Sci. Tech.* 133: 335-340. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.04.010>
- Gastal, F., and G. Lemaire. 2015. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: review of the underlying ecophysiological processes. *Agriculture*. 5: 1146-1171. <https://doi.org/10.3390/agriculture5041146>
- Guzatti, G. C., P. G. Duchini, A. F. Sbrissia, e H. M. N. Ribeiro-Filho. 2015. Aspectos qualitativos e produção de biomassa em pastos de aveia e azevém cultivados puros ou consorciados e submetidos a pastejo leniente. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 67: 1399-1407. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8103>
- Hamilton, S. A., R. L. Kallenbach, G. J. Bishop-Hurley, and C. A. Roberts. 2013. Stubble height management changes the productivity of perennial ryegrass and tall fescue pastures. *Agron. J.* 105: 557-562. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0293>
- Hernández-Guzmán, F. J., A. Hernández-Garay, E. Ortega-Jiménez, J. F. Enríquez-Quiroz, y M. Velázquez-Martínez, 2015. Comportamiento productivo del

- pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) en respuesta al pastoreo. Agron. Mesoam. 26: 33-42. <https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16889>
- Lee, J. M., D. J. Donaghy, and J. R. Roche. 2008. Effect of defoliation severity on regrowth and nutritive value of perennial ryegrass dominant swards. Agron. J. 100: 308-416. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0099>
- Moot, D. J., C. Matthew, and P. D. Kemp. 2007. Growth of pastures and supplementary crops. In: Rattray, P. V., I. M. Brooks, and A. M. Nicol (eds). Pasture and supplements for grazing animals. Occasional Publication No. 14, New Zealand Society of Animal Production. Hamilton, NZ. pp: 13-22.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle (7th ed.). The National Academies Press. Washington, DC. USA. 381 p.
- Quiroz-Pérez, J. C., R. D. Améndola-Massiotti, J. L. Zaragoza-Ramírez, y O. Ortiz-Moreno. 2016. Consumo aparente de forraje de *Avena strigosa* y *Vicia* spp. con riego, bajo pastoreo invernal en el centro de México. Rev. Arg. Prod. Anim, 36: 295-411.
- Rojas-García, A. R., N. Torres-Salado, S. Joaquín-Cancino, A. Hernández-Garay, M. A. Maldonado-Peralta, y P. Sánchez-Santillán. 2017. Componentes del rendimiento en variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Agrociencia 51: 697-708.
- Salgado, P., B. Le Hoa, V. T. Tran, C. V. Chi, B. Faye, and P. Lecomte. 2010. Identifying suitable temperate grass species and cultural practices for herbage production in the mountain regions of North Vietnam. Grass Forage Sci. 65: 110-120. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2009.00724.x>
- Salgado, P., V. Q. Thang, T. V. Thu, N. X. Trach, V. C. Cuong, P. Lecomte, and D. Richard. 2013. Oats (*Avena strigosa*) as winter forage for dairy cows in

- Vietnam: an on-farm study. *Trop. Anim. Health Prod.* 45: 561-568.
<https://doi.org/10.1007/s11250-012-0260-8>
- Sánchez G., R. A., H. Gutiérrez B., A. Serna P., R. Gutiérrez L., y A. Espinoza C. 2014. Producción y calidad de forraje de variedades de avena en condiciones de temporal en Zacatecas, México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 5: 131-142.
- Schmitt, D., D. A. Padilha, K. M. Dias, G. T. Santos, G. R. Rodolfo, G. D. Zanini, and A. F. Sbrissia. 2019. Chemical composition of two warm-season perennial grasses subjected to proportions of defoliation. *Grassl. Sci.* 1-8.
<https://doi.org/10.1111/grs.12236>
- Skinner, R. H., and K. J. Moore. 2007. Growth and development of forage plants. *In*: Barnes, R. F., C. J. Nelson, K. J. Moore, and M. Collins (eds). *Forages, the science of grassland agriculture* (6th ed). Blackwell Publishing. Iowa, USA. pp: 53-66
- Solomon, J. K. Q., B. Macoon, and D. J. Lang. 2017. Harvest management based on leaf stage of a tetraploid vs. a diploid cultivar of annual ryegrass. *Grass Forage Sci.* 72: 743-756. <https://doi.org/10.1111/gfs.12313>
- Tonato, F., B. C. Pedreira, C. G. S. Pedreira, e D. N. L. Pequeno. 2014. Aveia preta e azevém anual colhidos por interceptação de luz ou intervalo fixo de tempo em sistemas integrados de agricultura e pecuária no Estado de São Paulo. *Ciênc. Rural* 44: 104-110. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000100017>
- Zaragoza E., J., A. Hernández-Garay, J. Pérez P., J. G. Herrera H., F. Osnaya G., P. A. Martínez H., S. S. González M., y A. R. Quero C. 2009. Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto ovinillo. *Téc. Pecu. Méx.* 47: 173-188.

5 RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN DEL FORRAJE DE AVENA NEGRA EN MONOCULTIVO Y EN ASOCIACIÓN CON VEZA DE INVIERNO

Juan Daniel **Jiménez-Rosales**, Ricardo Daniel **Améndola-Massiotti**, Edmundo **García-Moya**, Juan Andrés **Burgueño-Ferreira**, Rodolfo **Ramírez-Valverde**, Luis Alberto **Miranda-Romero**

5.1 RESUMEN

El rendimiento de forraje y la composición química de cereales asociados con *Veza* spp. en la mayoría de las investigaciones se han evaluado en etapas reproductivas con una sola cosecha, cuando la calidad del forraje está deteriorada por la madurez. El objetivo del presente estudio fue evaluar en etapa vegetativa, el rendimiento y la composición de forraje de avena negra (*Avena strigosa* Schreb) y su asociación con veza (*Vicia villosa* Roth), a diferentes alturas de dosel y de forraje residual (AD-AFR). En diseño de bloques se evaluaron 18 tratamientos en parcelas divididas, con monocultivo y asociación en parcelas grandes. En parcelas chicas se evaluaron nueve combinaciones de AD-AFR en cm (40-8, 40-14, 40-20, 50-8, 50-14, 50-20, 60-8, 60-14 y 60-20). El rendimiento de forraje fue 17% superior ($p = 0.05$) en monocultivo que en asociación (6743 vs. 5754 kg MS ha⁻¹), y mayor ($p < 0.05$) en 50-8, 60-8 y 60-14 de AD-AFR en el segundo año, con promedio de 8555 kg MS ha⁻¹. En monocultivo y asociación en 40-14 y 40-20 se hicieron más cortes (tres a cuatro), y en 60-8, 60-14 y 60-20 menos cortes (uno a dos). El contenido de proteína cruda fue 19% mayor ($p < 0.05$) en monocultivo que en asociación (19.2 y 16.2%), y los mayores contenidos ($p < 0.05$) se obtuvieron en 40-8, 40-14 y 40-20 (promedio 20.5%), y el menor se registró en 60-8 (13.2%). El forraje con menor fibra detergente neutro ($p < 0.05$) se cosechó en

40-8, 40-14 y 50-14 (promedio 43.4%), y en 60-20 se obtuvo el mayor (49.3%). El rendimiento de forraje fue mayor en el monocultivo de avena negra y aportó más proteína cruda que su asociación con veza. Además, con el incremento de la AD aumentó el rendimiento de forraje, pero se redujo su calidad.

Palabras clave: *Avena strigosa*, *Vicia villosa*, altura de dosel, intensidad de cosecha.

5.2 INTRODUCCIÓN

Las praderas asociadas de gramínea-leguminosa tienen ventajas sobre el monocultivo de gramíneas; destacando el mayor rendimiento de forraje y el mayor contenido de proteína (Luscher *et al.*, 2014). En la asociación de avena común (*Avena sativa* L.) con veza común (*Vicia sativa* L.) se ha obtenido mayor rendimiento de forraje con alto contenido de proteína cruda (PC), que en el monocultivo de avena (Erol *et al.*, 2009; Flores *et al.*, 2016). Sin embargo, las ventajas de las asociaciones son evidentes cuando la leguminosa está en proporción de 30 a 50% en la composición botánica (Luscher *et al.*, 2014). La proporción de la leguminosa en el forraje cosechado en la asociación (avena-veza) también refleja la cantidad de semilla en la densidad de siembra (Erol *et al.*, 2009), y en investigaciones llevadas a cabo por Lithourgidis *et al.* (2006) y Tuna y Orak (2007) recomiendan la mezcla con 75% de avena común y 25% de veza común en la densidad de siembra.

La producción y calidad de forraje en las asociaciones también está determinada por el momento de cosecha de las plantas. Esto se debe a que, con el avance del crecimiento de la avena, cuando las plantas alcanzan estadios reproductivos, hay mayor rendimiento de materia seca (MS) pero con menor contenido de PC (Espitia *et al.*, 2012; Ramírez-Ordóñez *et al.*, 2013). En México, Flores *et al.* (2016) evaluaron el rendimiento de forraje y el contenido de PC en la asociación de avena común (65%) con veza común (35%) en las etapas de embuche, grano lechoso,

grano masoso y grano maduro; estos autores obtuvieron el mayor rendimiento de forraje en un solo corte, cuando avena estaba en grano masoso y el mayor contenido de PC en fase de embuche. La mayoría de las investigaciones sobre cereales en monocultivo y sus asociaciones con *Veza* spp., para evaluar el rendimiento de forraje se han enfocado en una sola cosecha, misma que se realizó cuando las gramíneas estaban en fase reproductiva, en la etapa de llenado del grano (Ramírez-Ordóñez *et al.*, 2013; Flores *et al.*, 2016). La razón para hacer una sola cosecha es que, con la elongación de los tallos en las gramíneas en dicha etapa fenológica, la probabilidad de que el meristemo apical sea decapitado es alta; lo que afecta la sobrevivencia de los hijatos y, por ende, la capacidad de rebrote del cultivo (Gastal y Lemaire, 2015).

La avena negra (*Avena strigosa* Schreb) se ha destacado por su potencial forrajero (Salgado *et al.*, 2013), y en México el cv. Saia es el recomendado (Sánchez *et al.*, 2014); además, cuando se cosecha en estado vegetativo y a intensidades de corte moderadas se puede obtener forraje de alta calidad distribuido en varias cosechas (Guzatti *et al.*, 2015). En México, Quiroz-Pérez *et al.* (2016) mostraron el potencial productivo de la asociación de avena negra con *Vicia* spp. Con base en lo anterior, y con la evidencia de que el rendimiento y la calidad del forraje de avena común y su asociación con veza común se ha evaluado en etapas de crecimiento de las plantas en las cuales la composición nutritiva del forraje se ve afectada en forma negativa; se formuló la hipótesis que, tanto en el monocultivo de avena negra como en su asociación con veza de invierno (*Vicia villosa* Roth), se pueden obtener altos rendimientos de forraje y de mejor composición, distribuidos en más de una cosecha, cuando los cortes se lleven a cabo en plantas jóvenes con intensidades de corte moderadas. Por tanto, los objetivos del estudio fueron evaluar el rendimiento de forraje y la composición botánica, morfológica y química de avena negra en monocultivo y

en asociación con veza de invierno, a diferentes alturas de dosel y alturas de forraje residual.

5.3 MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

La investigación se llevó a cabo en el Módulo de Pastoreo de la Universidad Autónoma Chapingo, en Texcoco, México (19° 29' N, 98° 54' O, 2240 m.s.n.m.), en dos experimentos; el primero de octubre de 2017 a marzo de 2018 y el segundo de octubre de 2018 a marzo de 2019. El clima es templado subhúmedo, con lluvias en verano. A partir de los datos de la estación meteorológica de Chapingo México se obtuvo que, durante el primer experimento, la temperatura media mensual osciló entre 11 y 15 °C, mientras que en el segundo osciló entre 13 y 17 °C. La precipitación acumulada fue semejante en los experimentos (102 y 110 mm), sin precipitaciones en diciembre; en cambio, en noviembre se registró 12 veces mayor precipitación en el segundo experimento que en el primero (Figura 12). A partir del análisis de suelo que se realizó en el área experimental antes del estudio, se obtuvo que el suelo es franco arcilloso con pH 7.5, densidad aparente de 1.04 g cm⁻³, contenido de materia orgánica de 2.64%, moderadamente bajo en fósforo (14.1 ppm) y en nitrógeno inorgánico (35.6 ppm).

Diseño experimental y tratamientos

En diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones se evaluaron 18 tratamientos en parcelas divididas, en las parcelas grandes se evaluó el tipo de cultivo con dos niveles, avena negra en monocultivo y su asociación con veza de invierno. En las parcelas chicas se evaluaron nueve combinaciones de alturas de dosel y de forraje residual (AD-AFR), en cm: 40-8, 40-14, 40-20, 50-8, 50-14, 50-20, 60-8, 60-14 y 60-

20. Las unidades experimentales fueron parcelas de 12 m² y callejones de 0.5 m de ancho entre parcelas.

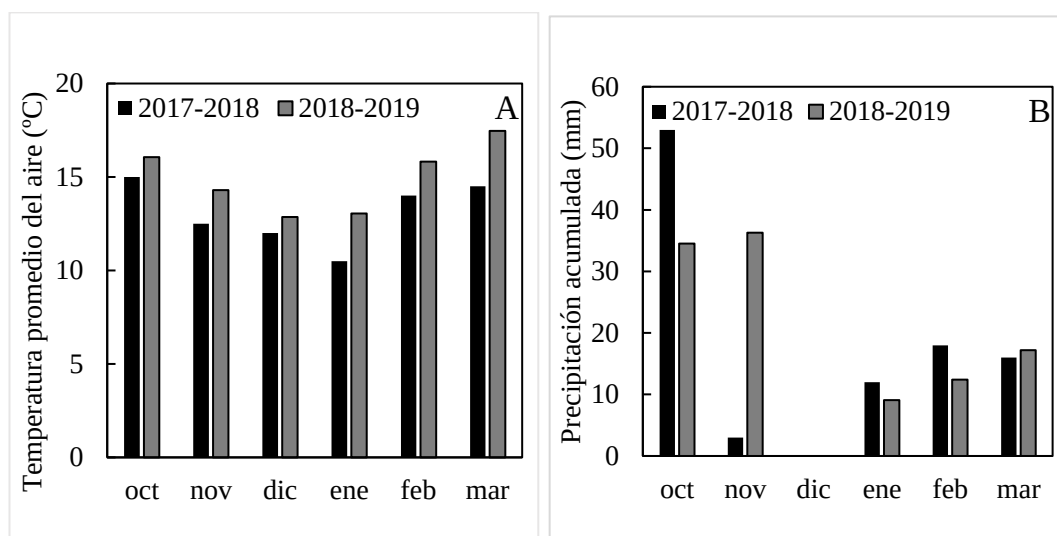


Figura 12. Temperatura promedio mensual (A) y precipitación acumulada (B) durante los experimentos.

Conducción de los experimentos

Las siembras se hicieron con una sembradora manual (al voleo) y 130 kg de semilla pura germinable de avena ha⁻¹ en el monocultivo, y 100 kg de semilla de avena ha⁻¹ y 30 kg de semilla de veza ha⁻¹ en la asociación, el 18 de octubre de 2017 para el primer experimento y el 13 de octubre de 2018 para el segundo experimento. Al momento de la siembra se fertilizó con 18 kg N ha⁻¹ y 46 kg P₂O₅ ha⁻¹, y al ahijamiento de avena (en promedio tres hijatos por planta) se aplicaron 30 kg N ha⁻¹; además, en el monocultivo se aplicaron en el primer riego posterior a cada corte 60 kg N ha⁻¹. Cada 14 d, en promedio, se aplicó riego por aspersión (62 mm por riego); se suministraron 13 riegos en el primer experimento y 11 riegos en el segundo.

El registro de la altura de dosel consistió en 15 mediciones por parcela, usando un vástago provisto con cinta métrica. El seguimiento sistemático se hizo cada semana, cuando el valor promedio fue cercano a la altura definida como meta para la altura de dosel de cada tratamiento, las lecturas se llevaron a cabo cada dos días. Las alturas de

dosel promedio aplicadas en el monocultivo de avena fueron 41 ± 3 , 48 ± 3 y 59 ± 2 cm en el primer experimento, y 50 ± 5 , 51 ± 4 y 53 ± 8 cm en el segundo experimento; en tanto que en la asociación fueron 41 ± 3 , 50 ± 1 y 60 ± 0 cm en el primer experimento, y 40 ± 3 , 49 ± 5 y 53 ± 8 cm en el segundo experimento.

Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron rendimiento de forraje (RF), composición química (contenidos de PC, FDN, y FDA) y botánica del forraje; así como la composición morfológica del monocultivo. El RF se evaluó a partir de la masa de forraje cosechada con tijeras dentro de cada parcela, a la altura de cosecha de cada tratamiento, en tres unidades de muestreo fijas de 0.32 m^2 ($0.8 \times 0.4\text{ m}$). Después, se registró el peso fresco de la masa cosechada. Para la determinación del contenido de MS se tomó una muestra compuesta aproximada de 400 g de la masa de forraje y se secó en estufa con circulación de aire forzado a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta peso constante. El RF se evaluó a partir de la suma del rendimiento de MS cosechado en cada corte de cada tratamiento. Después del corte de las muestras de forraje, para respetar las alturas de forraje residual definidas en las combinaciones de AD-AFR, se hizo el corte total del forraje que quedó en cada parcela; con una segadora (Model UT44110, Homelite®, EE. UU.).

Las composiciones botánica y morfológica se cuantificaron a partir de una submuestra compuesta de aproximadamente 400 g de la masa de forraje cortada en cada unidad experimental. Mediante separación manual se obtuvieron avena, veza (en asociación), maleza y material muerto. A continuación, se separaron los componentes morfológicos de avena (lámina de hoja y tallo+seudotallo) y cada componente se secó hasta peso constante en estufa de aire forzado a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Al final, la proporción de cada componente se estimó con base en el peso seco.

La composición química del forraje fue evaluada solo en el primer experimento. Para ello, se usaron las mismas muestras de masa de forraje que fueron secadas (55 °C) para la determinación de MS y se molieron en molino (Thomas Model 4, Wiley®, EE. UU.), con criba de 1 mm. Para estimar el contenido de PC (contenido de N * 6.25), se hicieron determinaciones de N con el método de Kjeldahl (Alencar *et al.*, 2019). Las evaluaciones de FDN y FDA se llevaron a cabo de manera secuencial con el uso de bolsas filtrantes (Ferreira y Mertens, 2007) en un analizador de fibras (Model A200, Ankom®, EE. UU.).

Análisis estadístico

El análisis de varianza se hizo con el procedimiento GLM de SAS®. El modelo para el RF incluyó los efectos de bloque, tipo de cultivo, AD-AFR, año, interacciones bloque * tipo de cultivo, tipo de cultivo * AD-AFR, tipo de cultivo * año, AD-AFR * año, y tipo de cultivo * AD-AR * año. El modelo para los componentes botánicos y morfológicos incluyó efectos de bloque, AD-AFR, año y la interacción AD-AFR * año. El modelo para PC, FDN y FDA incluyó efectos de bloque, tipo de cultivo, AD-AFR, interacciones bloque * tipo de cultivo y tipo de cultivo * AD-AFR. Las medias (LSMEANS) fueron comparadas con pruebas de t de Student (PDIF LINES) con valor α de 5%.

5.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de forraje

En el RF se detectó efecto de la interacción tipo de cultivo * AD-AFR * año ($p < 0.001$). Sin embargo, con base en las sumas de cuadrados, el 61% de la variación se atribuyó a la interacción AD-AFR * año (38%, $p < 0.001$), y a los efectos de año (18%, $p < 0.001$) y tipo de cultivo (11%, $p = 0.05$). Los mayores RF se obtuvieron en las combinaciones de AD-AFR de 50-8, 60-8 y 60-14 en el segundo año (promedio 8555

kg MS ha⁻¹). Los menores RF resultaron en 50-20, 60-8, 60-14 y 60-20 del primer año, y con 40-20 y 50-20 del segundo año (promedio 5246 kg MS ha⁻¹, Cuadro 8). El RF fue 22% mayor ($p < 0.001$) en el segundo año que en el primero (6866 vs 5632 kg MS ha⁻¹), y 17% superior ($p = 0.05$) en el monocultivo que en la asociación (6743 vs. 5754 kg MS ha⁻¹, Figura 13).

Cuadro 8. Rendimiento de forraje de avena negra cv. Saia en monocultivo y en asociación con veza de invierno cosechada a diferentes combinaciones de alturas de dosel y alturas de forraje residual (AD-AFR), en dos años.

AD-AFR	Año	kg MS ha ⁻¹
40-8	Primero	5861 ef [§]
	Segundo	5882 ef
40-14	Primero	6231 de
	Segundo	6072 de
40-20	Primero	6154 de
	Segundo	5491 efgh
50-8	Primero	5717 ef
	Segundo	7984 b
50-14	Primero	5589 efg
	Segundo	6695 cd
50-20	Primero	5574 efgh
	Segundo	4854 gh
60-8	Primero	5485 efgh
	Segundo	8879 a
60-14	Primero	4827 h
	Segundo	8803 a
60-20	Primero	5245 fgh
	Segundo	7133 c
EEM [†]		269
p [¶]		0.0001

[†]EEM: Error estándar de la media; [¶]p: probabilidad de diferencia; [§]Medias seguidas por una misma letra entre hileras no son diferentes ($p > 0.05$).

El mayor RF en el segundo año se atribuye al mayor número de cortes que se hicieron, tanto en el monocultivo (dos cortes más) como en la asociación (cinco cortes más). En 60-8, 60-14 (monocultivo), 40-20, 50-8, 60-8, 60-14 y 60-20 (asociación) del

segundo año se registró un corte más que en el primero (Cuadro 11). Lo anterior se explica por mejores condiciones ambientales que propiciaron rápido crecimiento del forraje en el segundo año, ya que las temperaturas medias mensuales que se registraron fueron superiores (Figura 12) y la precipitación un mes después de la siembra (noviembre) también fue mayor en el segundo año, lo que causó el más rápido establecimiento. Como resultado de lo anterior, los primeros cortes en todas las combinaciones de AD-AFR, durante el segundo experimento, se hicieron en promedio 19 d antes en el monocultivo y 35 d antes en la asociación que durante el primer experimento (Cuadro 11). Al igual que lo documentado en otras investigaciones (Brink *et al.*, 2013; Solomon *et al.*, 2017), es evidente que variaciones importantes en temperatura y precipitación entre los años de evaluación afectan el RF.

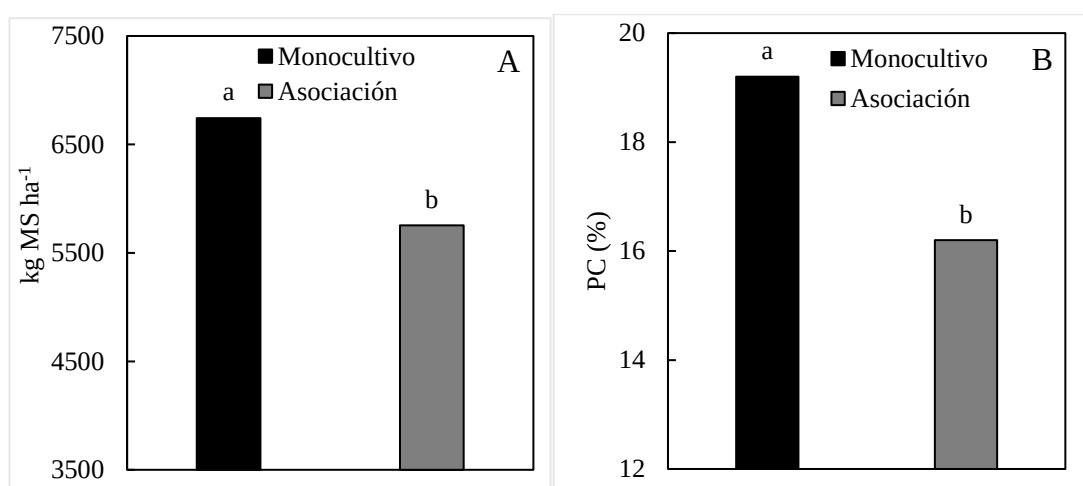


Figura 13. Rendimiento de forraje (A) y contenido de proteína cruda (B, PC) de avena negra cv. Saia en monocultivo y en asociación con veza de invierno, Columnas con una misma letra no son diferentes ($p > 0.05$).

La ventaja productiva del monocultivo frente a la asociación se explica porque en el monocultivo hubo cuatro cortes más en el primer año y un corte más en el segundo año que en la asociación. Al respecto, hay evidencia de que el forraje de gramíneas asociadas con veza crece más lento que cuando se desarrolla en

monocultivo, debido a la competencia entre especies (Lithourgidis *et al.*, 2006). Como resultado de lo anterior, durante el primer experimento, las metas de altura de dosel al primer corte en el monocultivo se alcanzaron en promedio 16 d antes que en la asociación (Cuadro 11). Además, en el presente estudio es probable que la aplicación de N en el monocultivo (60 N ha^{-1} cosecha $^{-1}$) haya incidido para que el RF fuese mayor que en la asociación.

La avena negra en monocultivo fue más productiva que su asociación con veza de invierno, lo que coincide con lo consignado en otras investigaciones (Lithourgidis *et al.*, 2006; Tuna y Orak *et al.*, 2007), que evaluaron el monocultivo de avena común y su asociación con veza común. Por el contrario, Flores *et al.* (2016) mencionaron mayor RF en la asociación de avena común con veza común, pero el único corte se hizo cuando la gramínea estaba en grano masoso y en el presente estudio las metas de cosecha se alcanzaron en la etapa vegetativa de la avena (la proporción de inflorescencia de avena fue en promedio 0.6 y 0.7%).

Composiciones botánica y morfológica

Monocultivo

No se detectó efecto de la interacción AD-AFR * año ($p > 0.05$) en las proporciones de avena, maleza, material muerto y componentes morfológicos de avena (lámina de hoja, seudotallo+tallo e inflorescencia) del monocultivo. Sin embargo, se detectó efecto ($p < 0.05$) de las combinaciones de AD-AFR en las proporciones de avena, material muerto (Cuadro 9) y los componentes lámina de hoja y seudotallo+tallo. La mayor proporción de avena resultó en las combinaciones de AD-AFR de 40-8, 40-14, 40-20, 50-8, 50-14 y 50-20 (promedio 93.8%), y la menor en 60-8, 60-14 y 60-20 (promedio 86%). La proporción de maleza fue semejante ($p > 0.05$) en todas las combinaciones de AD-AFR (promedio 6%). El contenido de material

muerto fue superior en las mayores AD, 60-8, 60-14 y 60-20 (promedio 8.1%), y fue menor en 40-8, 40-14, 40-20, 50-8, 50-14 y 50-20 (promedio 0.5%, Cuadro 9).

Cuadro 9. Composición botánica de avena negra cv. Saia cosechada a diferentes combinaciones de alturas de dosel y alturas de forraje residual (AD-AFR), en dos años de evaluación.

AD-AFR	Avena	Maleza	Material muerto
40-8	91.9 abc	8.0	0.1 c [§]
40-14	89.7 bcd	9.6	0.7 bc
40-20	95.2 ab	3.4	1.4 bc
50-8	93.4 abc	6.1	0.5 bc
50-14	97.8 a	2.1	0.2 c
50-20	95.1 abc	4.9	0.0 c
60-8	88.4 bcd	1.6	10.0 a
60-14	86.6 cd	7.7	5.7 ab
60-20	82.9 d	8.4	8.7 a
EEM [†]	2.8	2.3	1.6
p [¶]	0.007	0.101	0.001
Año			
Primero	86.7 b	11.6 a	1.8 b
Segundo	95.7 a	0.0 b	4.3 a
EEM [†]	1.3	1.1	0.8
p [¶]	0.001	0.001	0.025

[†]EEM: Error estándar de la media; [¶]p: probabilidad de diferencia; [§]Medias seguidas por una misma letra entre hileras no son diferentes ($p > 0.05$).

Las mayores proporciones de lámina de hoja de avena resultaron en las combinaciones de AD-AFR de 40-8, 40-14, 40-20, 50-14 y 50-20 (promedio 69%), y las menores en 50-8, 60-8, 60-14 y 60-20 (promedio 51%). Por el contrario, las proporciones de seudotallo+tallo resultaron menores en 40-8, 40-14, 40-20, 50-14 y 50-20 (promedio 24%), y mayores en 50-8, 60-8, 60-14 y 60-20 (promedio 36%, Figura 14).

La cantidad de inflorescencia en las combinaciones de AD-AFR fue similar ($p > 0.05$), en promedio 0.7%. Se detectó efecto ($p < 0.05$) del año en las proporciones

de avena, maleza y material muerto (Cuadro 9). Avena y material muerto fueron 10 y 139% superiores en el segundo año que en el primero. La maleza solo estuvo presente en el primer año, probablemente debido a la mayor competencia por parte de la avena.

Asociación

Se detectó efecto de la interacción AD-AFR * año ($p < 0.05$) en las proporciones de avena, veza y material muerto (Cuadro 10). Los mayores porcentajes de avena resultaron en las AD-AFR de 40-14, 40-20, 50-8, 50-14, 50-20 y 60-8 (promedio 93.9%), durante el segundo año, y los menores en 40-8 (primero y segundo año) y 60-8 del primer año (promedio 75%). Las mayores proporciones de veza se obtuvieron en 40-8 (segundo año) y 50-8, 50-14 y 50-20 durante el primer año (promedio 13.7%), y las menores se presentaron en 40-8 (primer año), 50-8, 50-14, 50-20 (segundo año) y 40-14, 40-20, 60-8, 60-14 y 60-20 del primer y segundo año (promedio 5.4%). Las mayores proporciones de material muerto se registraron en 60-8, 60-14 y 60-20 del segundo año (promedio 12%), y fueron nulas en 40-14, 50-8, 50-14 y 50-20 del segundo año.

Las mayores proporciones de lámina de hoja de avena resultaron en las combinaciones de AD-AFR de 40-14 y 40-20 (promedio 65%), y las menores en 60-8 y 60-14 (promedio 38%). Por el contrario, las proporciones de seudotallo+tallo resultaron menores en 40-8, 40-14 y 40-20 (promedio 22%), y mayores en 60-8, 60-14 y 60-20 (promedio 40%, Figura 14). La inflorescencia de avena en las combinaciones de AD-AFR fue similar ($p > 0.05$); en promedio 0.6%.

Cuadro 10. Composición botánica de avena negra cv. Saia en asociación con veza de invierno cosechada a diferentes combinaciones de alturas de dosel y alturas de forraje residual (AD-AFR), en dos años de evaluación.

AD-AFR	Año	Avena	Veza	Maleza	Material muerto
40-8	Primero	73.6 def [§]	7.9 b	18.1	0.4 c
	Segundo	76.7 cdef	17.1 a	1.1	5.1 bc
40-14	Primero	81.1 bcd	7.1 b	11.1	0.8 c
	Segundo	93.0 ab	7.0 b	0.0	0.0 c
40-20	Primero	87.1 abc	4.0 b	8.6	0.3 c
	Segundo	91.7 ab	4.7 b	0.2	3.4 c
50-8	Primero	62.9 fg	10.3 ab	20.0	6.8 abc
	Segundo	91.1 ab	8.9 b	0.0	0.0 c
50-14	Primero	54.2 g	17.2 a	25.2	3.4 c
	Segundo	96.5 a	3.5 b	0.0	0.0 c
50-20	Primero	68.4 ef	10.2 b	17.1	4.3 bc
	Segundo	97.2 a	2.8 b	0.0	0.0 c
60-8	Primero	74.6 cdef	7.9 b	11.2	6.4 abc
	Segundo	83.4 bcd	4.6 b	0.0	12.0 a
60-14	Primero	80.6 bcde	4.9 b	10.3	4.3 bc
	Segundo	80.9 bcde	5.2 b	0.5	13.4 a
60-20	Primero	83.8 abcd	1.8 b	8.2	6.3 abc
	Segundo	84.5 abcd	4.8 b	0.0	10.7 ab
EEM [†]		4.5	2.5	3.8	2.2
p [‡]		0.001	0.001	0.261	0.011

[†]EEM: Error estándar de la media; [‡]p: probabilidad de diferencia; [§]Medias seguidas por una misma letra entre hileras no son diferentes ($p > 0.05$).

Se detectó una relación opuesta entre las proporciones de lámina de hoja y el seudotallo+tallo con el incremento de la altura de dosel en los tratamientos. Tanto en el monocultivo como en la asociación, la proporción de lámina de hoja fue mayor en AD 40 cm que en 60 cm, y la de seudotallo+tallo fue mayor en AD 60 cm que en 40 cm. Estos resultados se deben a que, durante el crecimiento de las gramíneas hay una modificación en su estructura del dosel (Aguinaga *et al.*, 2008). Durante el desarrollo vegetativo crecen hojas (en tallos que no se alargan) y después continúa el estado de elongación de tallos (Skinner y Moore, 2007), mismo que detiene el desarrollo de

nuevas hojas, por lo que las hojas más viejas son sombreadas; con ese proceso aumenta la senescencia y la acumulación de material muerto en la base del dosel (Moot *et al.*, 2007). Lo anterior posiblemente sea el motivo por el cual la cantidad de material muerto fue superior en los tratamientos con 60 cm de altura de dosel.

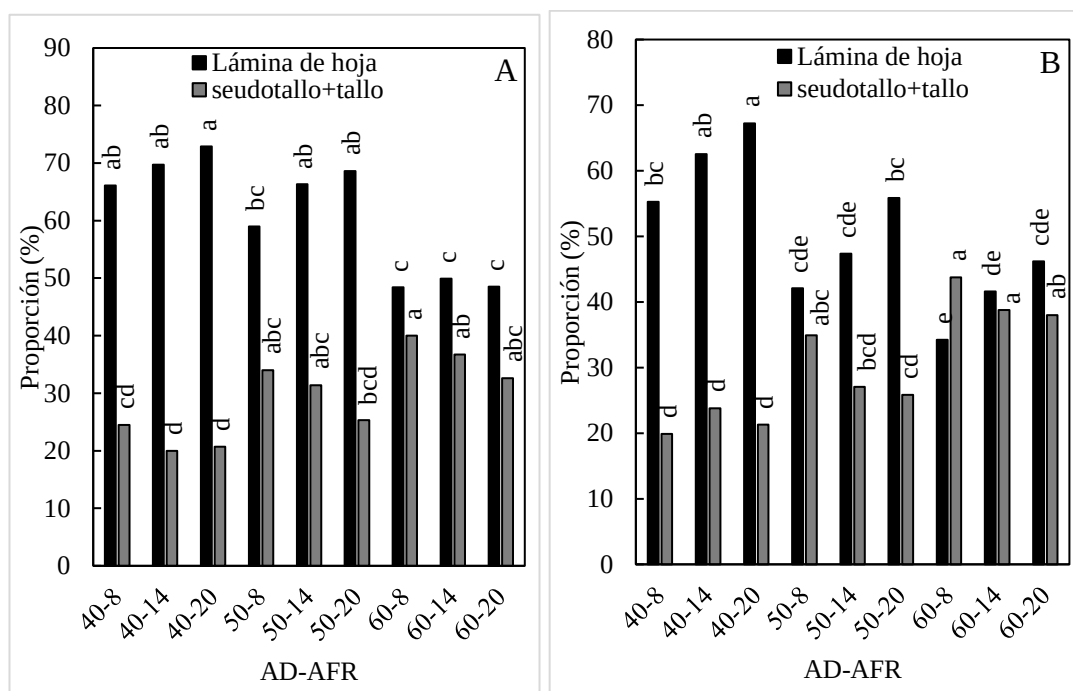


Figura 14. Lámina de hoja y seudotallo+tallo de avena negra cv. Saia en monocultivo (A) y en asociación (B) con veza de invierno cosechada a diferentes combinaciones de alturas de dosel y alturas de forraje residual (AD-AFR). Barras con una misma letra no son diferentes ($p > 0.05$).

Si bien las proporciones de avena y veza variaron entre las combinaciones de AD-AFR, la proporción de veza fue mucho menor que la de avena; en promedio se cosechó 81% de avena y 7% de veza. Erol *et al.* (2009) mencionan que el porcentaje de la leguminosa en el forraje cosechado en la asociación avena-veza refleja la cantidad de semilla de leguminosa en la densidad de siembra. En el presente estudio, 77% de semilla fue de avena y 23% de veza.

Composición química

No se detectó efecto de la interacción tipo de cultivo * AD-AFR ($p > 0.05$) en la composición química del forraje. El contenido de PC fue 19% mayor ($p < 0.05$) en monocultivo (19.2%) que en asociación (Figura 13), en tanto que los de FDN y FDA fueron similares ($p > 0.05$) entre tipos de cultivo, con promedios de 45 y 24%. Los mayores contenidos de PC ($p < 0.05$) se obtuvieron en los tratamientos con menor AD (40-8, 40-14 y 40-20, promedio 20.5%) y el menor (13.2%) se registró con 60-8 (Figura 15). El forraje con los menores contenidos de FDN ($p < 0.05$) se cosechó en 40-8, 40-14 y 50-14 (promedio 43.4%), y en 60-20 se cosechó el forraje con mayor contenido de FDN (49.3%). El contenido de FDA fue más bajo ($p < 0.05$) en 40-14 (22.5%) y más alto en 60-20 (25.7%).

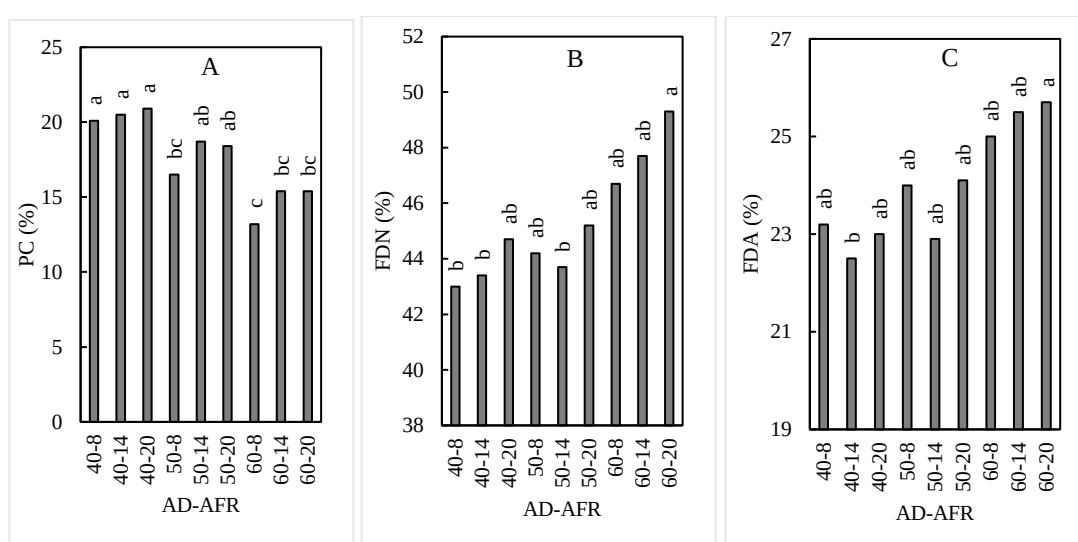


Figura 15. Contenidos de proteína cruda (A), fibra detergente neutro (B) y fibra detergente ácido (C) de avena negra cv. Saia en monocultivo y en asociación con veza de invierno cosechada a diferentes combinaciones de alturas de dosel y alturas de forraje residual (AD-AFR). Barras con una misma letra no son diferentes ($p > 0.05$).

El menor contenido de PC obtenido en la asociación gramínea-leguminosa del presente estudio, no concuerda con lo mencionado en otras investigaciones

(Lithourgidis *et al.*, 2006; Flores *et al.*, 2016), que han reportado mayores contenidos de PC en el forraje de la asociación de avena común con veza común que en el monocultivo de avena. La causa más probable para esta diferencia fue la baja proporción de veza en la composición botánica de la asociación en el presente estudio (1.8 a 17.2%, Cuadro 10). Al respecto, Luscher *et al.* (2014) documentaron que las ventajas de las praderas mixtas frente a gramíneas puras son más evidentes cuando la leguminosa está en proporción de 30 a 50%. En el presente estudio, la proporción de semilla de veza (23%) en la densidad de siembra de la asociación fue menor que la de avena (77%), y Erol *et al.* (2009) destacaron que el contenido de PC del forraje de la asociación avena común con veza común aumenta a medida que el porcentaje de leguminosa en la siembra y en la MS cosechada se incrementan.

Los cortes en esta investigación se realizaron cuando el forraje estaba en estado vegetativo, mientras que en otras investigaciones se destaca el mayor aporte de PC en la asociación (Lithourgidis *et al.*, 2006, Flores *et al.*, 2016), ya que el forraje fue cosechado cuando la avena estaba en fase reproductiva. Por ejemplo, Flores *et al.* (2016) mencionaron contenidos de PC de 17.9, 12.5, 9.5 y 9.8% en estados de embuche, grano lechoso, grano masoso y grano maduro; estos resultados son menores a lo obtenido en el monocultivo de avena (19.2% de PC, Figura 13). En relación con lo anterior, se ha consignado que con el avance de la madurez en avena común (Espitia *et al.*, 2012; Ramírez-Ordóñez *et al.*, 2013) y avena negra (Salgado *et al.*, 2010), el contenido de PC disminuye; incluso, durante el primer experimento de este estudio, en el monocultivo los primeros cortes se hicieron 12, 28 y 9 d antes que, en la asociación, con las alturas de dosel de 40, 50 y 60 cm (Cuadro 11).

Cuadro 11. Fechas de corte de avena negra cv. Saia en monocultivo y en asociación con veza de invierno cosechada a diferentes combinaciones de alturas de dosel y alturas de forraje residual (AD-AFR), en dos años de evaluación.

AD-AFR (cm)	40-8	40-14	40-20	50-8	50-14	50-20	60-8	60-14	60-20
Corte	Monocultivo en el primer año (2017-2018)								
1	5 ene	5 ene	5 ene	17 ene	17 ene	17 ene	11 feb	11 feb	11 feb
2	22 feb	15 feb	11 feb	27 feb	22 feb	17 feb			14 mar
3		7 mar	27 feb			14 mar			
4			17 mar						
DDS-1 [†]	79	79	79	91	91	91	116	116	116
DEC [¶]	48	31	24	41	36	28	-	-	31
Corte	Monocultivo en el segundo año (2018-2019)								
1	14 dic	14 dic	14 dic	26 dic	26 dic	26 dic	15 ene	15 ene	15 ene
2	5 feb	29 ene	22 ene	19 feb	16 feb	13 feb	02 mar	02 mar	25 feb
3	4 mar	25 feb	13 feb						
			4 mar						
DDS-1 [†]	62	62	62	74	74	74	94	94	94
DEC [¶]	40	37	27	55	52	49	46	46	41
Corte	Asociación en el primer año (2017-2018)								
1	17 ene	17 ene	17 ene	14 feb	14 feb	14 feb	20 feb	20 feb	20 feb
2	27 feb	20 feb	17 feb		13 mar	7 mar			
3		13 mar	7 mar						
DDS-1 [†]	91	91	91	119	119	119	125	125	125
DEC [¶]	41	28	25	-	27	21	-	-	-
Corte	Asociación en el segundo año (2018-2019)								
1	14 dic	14 dic	14 dic	26 dic	26 dic	26 dic	15 ene	15 ene	15 ene
2	15 feb	5 feb	22 ene	2 mar	16 feb	13 feb	4 mar	4 mar	25 feb
3		28 feb	13 feb						
			4 mar						
DDS-1 [†]	62	62	62	74	74	74	94	94	94
DEC [¶]	63	38	27	66	52	49	48	48	41

[†]DDS-1: días después de la siembra al primer corte; [¶]DEC: días entre cortes.

La disminución del contenido de PC y el aumento de los de FDN y FDA con el avance del crecimiento de las plantas forrajeras, son respuestas comunes que han sido mencionadas tanto en gramíneas (Castro-Hernández *et al.*, 2017) como en

leguminosas (Sulc *et al.*, 2020), y explican porque se obtuvieron mayores y menores contenidos de PC y fibras (FDN y FDA) en los tratamientos del forraje cosechado en alturas de dosel de 40 cm que en 60 cm. En las combinaciones de AD-AFR (40-8, 40-14, 40-20 y 50-20) en las que se obtuvo mayor proporción de lámina foliar, también se cosechó el forraje con mayor contenido de PC y menores contenidos de FDN y FDA. Por el contrario, en las combinaciones (60-8, 60-14 y 60-20) en las que se obtuvo la mayor proporción de pseudotallo+tallo, también se cosechó el forraje con menor contenido de PC y altos contenidos de FDN y FDA, lo que se explica por la mejor composición nutritiva de las hojas que los tallos (Karn *et al.*, 2006).

El número de cosechas en el monocultivo y en la asociación varió con las combinaciones de AD-AFR (Cuadro 11). Independiente del tipo de cultivo, en las combinaciones de 40-14 y 40-20 se lograron mayor número de cortes (tres a cuatro), y en 60-8, 60-14 y 60-20 se registraron menos cortes (uno a dos). Al margen de la AD en las combinaciones, los intervalos entre cortes en ambos cultivos fueron mayores en las combinaciones de AD-AFR con intensidad alta de cosecha (40-8, 50-8 y 60-8) y menores con baja intensidad (40-20, 50-20 y 60-20).

Hamilton *et al.* (2013) también consignaron mayor intervalo entre cortes cuando cosecharon ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.) a mayor intensidad de cosecha (2.5 y 5 cm de AFR) que a menor (12.5 y 15 cm de AFR), lo que fue asociado con el crecimiento lento del forraje. Por el contrario, la reducción del intervalo entre cortes con bajas intensidades de cosecha se asocia a mayor área foliar residual y contenidos de carbohidratos solubles de la base de los hijatos, los que favorecen la fotosíntesis y el crecimiento rápido del rebrote (Lee *et al.*, 2008). En el primer año de evaluación, las metas de AD al primer corte se alcanzaron antes en el monocultivo que, en la asociación, pero en el segundo año, el

primer corte se hizo en la misma fecha en ambos cultivos. Lithourgidis *et al.* (2006) destacaron que, debido a la competencia interespecífica, la tasa de crecimiento de cereales en asociación con veza es menor que en monocultivos.

5.5 CONCLUSIONES

En el monocultivo y en la asociación con gestión de cosecha de 40 a 50 cm de altura de dosel (frecuencias de cosecha altas), en combinación con moderadas intensidades de cosecha (8 a 14 cm de forraje residual) fue posible cosechar forraje como mínimo en dos cortes.

La avena negra cv. Saia en monocultivo resultó más productiva y con mayor contenido de proteína cruda que en su asociación con veza de invierno. Al margen del tipo de cultivo, con el aumento de la altura del dosel a la cosecha se incrementó el rendimiento de forraje, pero se redujo la calidad. A menor altura de dosel se cosechó forraje de mejor composición; con mayores proporciones de lámina de hoja y proteína cruda. A mayor altura de dosel se cosechó forraje con mayores contenidos de seudotallo+tallo, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido.

5.6 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONACYT por la beca otorgada al primer autor durante sus estudios de doctorado.

5.7 LITERATURA CITADA

- Aguinaga, A. A. Q., P. C. F Carvalho, I. Anghinoni, A. Pilau, A. J. Q. Aguinaga, e G. D. F. Gianluppi. 2008. Componentes morfológicos e produção de forragem de pastagem de aveia e azevém manejada em diferentes alturas. R. Bras. Zootec. 37: 1523-1530. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008000900002>
- Alencar, N. M., J. M. Vendramini, J. C. B. Dubeux Jr, A. C. dos Santos, J. M. D. Sanchez, H. M. da Silva, M. L. Silveira, L. F. Sousa, and J. N. M. Neiva. 2019.

- Impact of leaf and stem proportions on dry matter and crude protein in situ disappearance of rhizome peanut genotypes. *Crop Sci.* 59: 1815-1821. <https://doi.org/10.2135/cropsci2019.02.0114>
- Brink, G. E., R. D. Jackson, and N. B. Alber. 2013. Residual sward height effects on growth and nutritive value of grazed temperate perennial grasses. *Crop Sci.* 53: 2264-2274. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.01.0068>
- Castro-Hernández, H., I. A. Domínguez-Vara, E. Morales-Almaráz, y M. Huerta-Bravo. 2017. Composición química, contenido mineral y digestibilidad *in vitro* de raigrás (*Lolium perenne*) según intervalo de corte y época de crecimiento. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 8: 201-210. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v8i2.4445>
- Erol, A., M. Kaplan, and M. Kizilsimsek. 2009. Oats (*Avena sativa*)-common vetch (*Vicia sativa*) mixtures grown on a low-input basis for a sustainable agriculture. *Trop. Grassl.* 43: 191-196.
- Espitia R., E., H. E. Villaseñor M., R. Tovar G., M. de la O., y A. Limón O. 2012. Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3: 771-783.
- Ferreira, G., and D. R. Mertens. 2007. Measuring detergent fibre and insoluble protein in corn silage using crucibles or filter bags. *Anim. Feed Sci. Tech.* 133: 335-340. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.04.010>
- Flores N., M. de J., R. A. Sánchez G., F. G. Echavarría C., R. Gutiérrez L., C. A. Rosales N., y H. Salinas G. 2016. Producción y calidad de forraje en mezclas de veza común con cebada, avena y triticale en cuatro etapas fenológicas. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 7: 275-291.
- Gastal, F., and G. Lemaire. 2015. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: review of the underlying ecophysiological

processes. Agriculture. 5: 1146-1171.
<https://doi.org/10.3390/agriculture5041146>

Guzatti, G. C., P. G. Duchini, A. F. Sbrissia, e H. M. N. Ribeiro-Filho. 2015. Aspectos qualitativos e produção de biomassa em pastos de aveia e azevém cultivados puros ou consorciados e submetidos a pastejo leniente. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec. 67: 1399-1407. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8103>

Hamilton, S. A., R. L. Kallenbach, G. J. Bishop-Hurley, and C. A. Roberts. 2013. Stubble height management changes the productivity of perennial ryegrass and tall fescue pastures. Agron. J. 105: 557-562.
<https://doi.org/10.2134/agronj2012.0293>

Karn, J. F., J. D. Berdahl, and A. B. Frank. 2006. Nutritive quality of four perennial grasses as affected by species, cultivar, maturity, and plant tissue. Agron. J. 98: 1400-1409. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0293>

Lee, J. M., D. J. Donaghy, and J. R. Roche. 2008. Effect of defoliation severity on regrowth and nutritive value of perennial ryegrass dominant swards. Agron. J. 100: 308-416. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0099>

Lithourgidis, A. S., I. B. Vasilakoglou, K. V. Dhima, C. A. Dordas, and M. D. Yiakoulaki. 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. Field Crops Res. 99: 106-113.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.03.008>

Luscher, A., I. Mueller-Harvey, J. F. Soussana, R. M. Rees, and J. L. Peyraud. 2014. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: A review. Grass Forage Sci. 69: 206-228. <https://doi.org/10.1111/gfs.12124>

Moot, D. J., C. Matthew, and P. D. Kemp. 2007. Growth of pastures and supplementary crops. In: Rattray, P. V., I. M. Brooks, and A. M. Nicol (eds).

- Pasture and supplements for grazing animals. Occasional Publication No. 14, New Zealand Society of Animal Production. Hamilton, NZ. pp: 13-22.
- Quiroz-Pérez, J. C., R. D. Améndola-Massiotti, J. L. Zaragoza-Ramírez, y O. Ortiz-Moreno. 2016. Consumo aparente de forraje de *Avena strigosa* y *Vicia* spp. con riego, bajo pastoreo invernal en el centro de México. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 36: 295-411.
- Ramírez-Ordóñez S., D. Domínguez-Díaz, J. J. Salmerón-Zamora, G. Villalobos-Villalobos, y J. A. Ortega-Gutiérrez. 2013. Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Rev. Fitotec. Mex.* 36: 395-403.
- Salgado, P., B. Le Hoa, V. T. Tran, C. V. Chi, B. Faye, and P. Lecomte. 2010. Identifying suitable temperate grass species and cultural practices for herbage production in the mountain regions of North Vietnam. *Grass Forage Sci.* 65: 110-120. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2009.00724.x>
- Salgado, P., V. Q. Thang, T. V. Thu, N. X. Trach, V. C. Cuong, P. Lecomte, and D. Richard. 2013. Oats (*Avena strigosa*) as winter forage for dairy cows in Vietnam: An on-farm study. *Trop. Anim. Health Prod.* 45: 561-568. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0260-8>
- Sánchez G., R. A., H. Gutiérrez B., A. Serna P., R. Gutiérrez L., y A. Espinoza C. 2014. Producción y calidad de forraje de variedades de avena en condiciones de temporal en Zacatecas, México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 5: 131-142.
- Skinner, R. H., and K. J. Moore. 2007. Growth and development of forage plants. *In*: Barnes, R. F., C. J. Nelson, K. J. Moore, and M. Collins (eds). *Forages, the science of grassland agriculture* (6th ed). Blackwell Publishing. Iowa, USA. pp: 53-66

- Solomon, J. K. Q., B. Macoon, and D. J. Lang. 2017. Harvest management based on leaf stage of a tetraploid vs. a diploid cultivar of annual ryegrass. *Grass Forage Sci.* 72: 743-756. <https://doi.org/10.1111/gfs.12313>
- Sulc, R. M., A. M. Arnold, K. A. Cassida, K. A. Albrecht, M. H. Hall, D. Min, X. Xu, D. J. Undersander, and E. van Santen. 2020. Changes in forage nutritive value of reduced-lignin alfalfa during regrowth. *Crop Sci.* 1-10. <https://doi.org/10.1002/csc2.20366>
- Tuna, C., and A. Orak. 2007. The role of intercropping on yield potential of common vetch (*Vicia sativa* L.)/oat (*Avena sativa* L.) cultivated in pure stand and mixtures. *J. Agric. Biol. Sci.* 2: 14-19.

6 CONCLUSIONES

Las vacas lecheras, en pasturas de avena negra cv. Saia, incrementan su tasa de consumo con el aumento de la altura de la pastura, a partir de una altura cercana a los 50 cm, debido a que después de dicha altura los animales comienzan a cosechar bocados de mayor peso. Al margen de la altura de la pastura (40, 50, 60 y 70 cm) las vacas mantienen una tasa de movimientos mandibulares totales constante, pero debido a menores cantidades ingeridas de forraje por bocado en las pasturas más bajas (40 y 50 cm), asignan mayor número de movimientos mandibulares de bocado y en las pasturas más altas (60 y 70 cm) incrementan los movimientos de masticación exclusiva, para poder tragar los bocados de mayor peso.

La cosecha de avena negra con frecuencia alta (cada 40 cm de altura de pastura) y a moderadas intensidades de cosecha (8 y 14 cm de forraje residual), permitió recolectar forraje con mayor cantidad de láminas foliares y menor contenido de fibra detergente neutro. Además, cuando la defoliación se llevó a cabo a 40 cm de altura de pastura en combinación con 8 y 14 cm de forraje residual, se obtuvieron al menos dos y tres cosechas.

La cosecha a 60 cm de altura de pastura con intensidades de defoliación de 14 y 20 cm de forraje residual, sin embargo, resultó ventajosa para obtener mayor rendimiento de forraje en dos cosechas. La disminución del contenido de proteína cruda en el forraje cuando se cosechó a menor frecuencia (mayor altura de pastura), se debió al menor contenido de láminas foliares y a la mayor cantidad de pseudotallos y tallos.

En el monocultivo y en la asociación con gestión de cosecha de 40 a 50 cm de altura de pastura (frecuencias de cosecha altas), en combinación con moderadas intensidades de cosecha (8 a 14 cm de forraje residual) fue posible cosechar forraje como mínimo en dos cortes.

La avena negra en monocultivo resultó más productiva y con mayor contenido de proteína cruda que en su asociación con veza de invierno. Al margen del tipo de cultivo, con el aumento de la altura de pastura a la cosecha se incrementó el rendimiento de forraje, pero se redujo la calidad. A menor altura

de pastura se cosechó forraje de mejor composición; con mayores proporciones de lámina de hoja y proteína cruda. Por el contrario, a mayor altura de pastura se cosechó forraje con mayores contenidos de pseudotallo + tallo, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido.