



RENDIMIENTO DE FORRAJE ESTACIONAL DE ALFALFA A DIFERENTES EDADES DE REBROTE EN EL SURESTE DE COAHUILA

SEASONAL FORAGE YIELD OF ALFALFA AT DIFFERENT AGES OF REGROWING IN THE SOUTHEAST OF COAHUILA

Perpetuo Álvarez-Vázquez¹, Fidel Maximiano Peña-Ramos¹, Josué Israel García-López¹, Filogonio J. Hernández-Guzmán², Neymar Camposeco-Montejo¹, Ricardo Martínez-Martínez³ y Sait Juanes-Márquez^{4*}

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. ²Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. ³Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur. Autlán de Navarro, Jalisco, México. ⁴Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México.

*Autor para correspondencia (saitjuanes@gmail.com)

RESUMEN

El rendimiento de forraje de una pradera de alfalfa depende del intervalo de corte, ya que éste influye en la dinámica de crecimiento. Por tanto, se debe identificar el momento de corte óptimo después del rebrote, donde se pueda cosechar la mayor cantidad de biomasa y una correcta estructura de la pradera en función de sus componentes morfológico. El objetivo fue evaluar el comportamiento productivo estacional de alfalfa variedad Premium a diferentes edades de rebrote e identificar el punto de mayor acumulación de biomasa en el sureste de Coahuila, México. Los ocho tratamientos fueron evaluados mediante un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en cortes semanales sucesivos, durante ocho semanas de rebrote, en cada estación del año. El rendimiento de forraje (RF) se incrementó de los 7 a 56 días de rebrote (DDR), con promedio de 1071 a 12,125 kg ha⁻¹. El rendimiento mayor se registró en primavera, con 3226 kg ha⁻¹ ($P \leq 0.05$); la hoja tuvo el aporte mayor con 50 %. La relación: hoja/tallo disminuyó ($P \leq 0.05$) a mayor DDR, pero en invierno fue mayor, con 1.6. La altura de planta (AP) máxima fue de 61 cm a los 42 DDR en primavera ($P \leq 0.05$). La correlación máxima ($R^2 = 0.99$) entre RF y AP se registró en invierno. En conclusión, el mejor comportamiento productivo de la variedad Premium se registró en primavera, con mayor rendimiento de forraje y altura de planta, variables que aumentaron con los días de rebrote, por lo que, la correlación entre estas dos variables es un método indirecto confiable para estimar rendimiento de forraje.

Palabras clave: *Medicago sativa* L., acumulación de materia seca, altura de planta, composición botánica y morfológica, relación: hoja/tallo.

SUMMARY

The forage yield of an alfalfa meadow depends on the cutting interval, since it influences the growth dynamics. Therefore, the optimal cutting time after regrowth should be identified, where the greatest amount of biomass can be harvested and the correct structure of the meadow can be achieved according to its morphological components. The objective was to evaluate the seasonal productive behavior of alfalfa variety Premium at different ages of regrowth and to identify the point of greatest biomass accumulation in southeastern Coahuila, Mexico. The eight treatments were evaluated using a randomized complete block design with three replications. The treatments consisted of weekly successive cuts, during eight weeks of regrowth, in each season of the year. Forage yield (FY) increased from 7 to 56 days of regrowth (DR), with an

average of 1071 to 12,125 kg ha⁻¹. The highest yield was recorded in spring with 3226 kg ha⁻¹ ($P \leq 0.05$); leaf had the highest contribution with 50 %. The ratio: leaf/stem decreased ($P \leq 0.05$) at higher DDR, but in winter it was higher, with 1.6. Maximum plant height (PH) was 61 cm at 42 DR in spring ($P \leq 0.05$). The maximum correlation ($R^2 = 0.99$) between FY and PH was recorded in winter. In conclusion, the best productive performance of the Premium variety was recorded in spring, with higher forage yield and plant height, variables that increased with days of regrowth; therefore, the correlation between these two variables is a reliable indirect method to estimate forage yield.

Index words: *Medicago sativa* L., botanical and morphological composition, dry matter accumulation, leaf/stem ratio, plant height.

INTRODUCCIÓN

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una de las especies forrajeras perennes más utilizadas en el mundo, debido a su alta producción (30 t MS ha⁻¹) (Avci *et al.*, 2013); sin embargo, en la región sureste de Coahuila, México, el rendimiento promedio es de 13.4 t ha⁻¹ (SIAP, 2022). Esta leguminosa se cultiva en diversas regiones del mundo, adaptándose a climas subtropicales, templados y secos (Jing *et al.*, 2020). Por tanto, las estrategias de manejo deben estar fundamentadas en el crecimiento de cada especie, en las diferentes etapas fenológicas y en condiciones edafoclimáticas distintas, que permitan combinar calidad, cantidad y persistencia de una pradera (Castro *et al.*, 2011). El análisis de crecimiento utiliza variables que permiten hacer inferencias sobre la fenología y desarrollo de la planta, fotosíntesis, respiración y asignación de carbono, además de que permite describir características importantes de la morfología de la pradera y presencia de especies indeseables (Dougherty *et al.*, 2013).

En este sentido, variables como la altura de planta permite hacer determinaciones rápidas de rendimiento de forraje (Cho *et al.*, 2019), ya que una pradera de alfalfa es un ente dinámico, donde la velocidad de rebrote varía de

acuerdo con la estación del año y para obtener el máximo potencial productivo en cada especie y variedad forrajera es necesario un manejo específico de acuerdo con la estación, que defina su comportamiento productivo en función de su capacidad de rebrote (Rebora *et al.*, 2015). Jing *et al.* (2020) describen el rebrote como el crecimiento dependiente de la estrategia de manejo y de las reservas de carbohidratos no estructurales y movilizadas a áreas de crecimiento. En este sentido, Mendoza *et al.* (2010) mencionan que cosechas frecuentes disminuyen el rendimiento de forraje, área foliar e incrementan la invasión de especies indeseables en la pradera.

No obstante, la estación del año también juega un papel importante, ya que en primavera y verano se obtienen rendimientos mayores con respecto a otoño e invierno (Zaragoza *et al.*, 2009). Al respecto, Rojas *et al.* (2016) consideran que la mayor acumulación de forraje se presenta en verano a los 28 días de rebrote, que coincide con el mayor índice de área foliar y proporción de hojas verdes. Morales *et al.* (2006) reportan que la altura de planta se correlaciona positivamente con el rendimiento de materia seca, tasa de crecimiento y relación hoja/tallo. Las investigaciones sugieren que debe haber un balance entre la tasa de crecimiento y la pérdida de tejido de una pradera en cada estación del año, para poder establecer una adecuada frecuencia de defoliación y obtener rendimientos de forraje altos y de calidad mayor (Chen *et al.*, 2012).

Por tanto, es necesario conocer el comportamiento de la especie, su adaptación y persistencia a diferentes estrategias de defoliación (Rojas *et al.*, 2016). No obstante, en México los estudios en análisis de crecimiento en alfalfa se han centrado en el centro-sur del país, por lo que se requiere que estas investigaciones se amplíen a otras regiones, para poder definir adecuadamente la frecuencia de corte con base en el desarrollo de cada genotipo y lograr los máximos rendimientos anuales y estacionales, para minimizar el daño en la pradera. Por tanto, el objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento productivo estacional de alfalfa variedad Premium a diferentes edades de rebrote e identificar el punto de mayor acumulación de biomasa, en el sureste de Coahuila, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de sitio

Las evaluaciones se realizaron de abril de 2019 a marzo de 2020, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada a 25° 23' 12.7" N y 101° 00' 9.8" O, a 1783 msnm. El clima es templado seco, con una precipitación anual acumulada de 340 mm y temperatura promedio

mensual máxima de 34.7 °C registrada en el mes de marzo 2020 y mínima de -3.2 °C en diciembre de 2019 y febrero de 2020 (Figura 1). En la región predomina un suelo de tipo franco-arcillo-arenoso (70, 10 y 20 % de arena, limo y arcilla, respectivamente), con un contenido de materia orgánica del 3.02 % y una densidad aparente de 1.25 g cm³, condiciones determinadas en el laboratorio de Planeación Ambiental y Edafología de la UAAAN.

Establecimiento

Praderas de alfalfa de la variedad Premium se establecieron el 4 de febrero de 2019. Para la siembra se utilizó una sembradora manual (marca EarthWay Ev-N-SPRED_USA) a una densidad de 22 kg ha⁻¹ de semilla pura viable. Durante los meses de precipitación baja (Figura 1) se aplicaron riegos cada 15 días, durante 24 horas aproximadamente, a capacidad de campo, con cintilla de goteo calibre 6000. Al inicio del estudio se realizó un corte de uniformización a los 63 días después de la siembra, a una altura promedio de 5 cm sobre el suelo, utilizando una desbrozadora (Stihl, modelo FS220, Alemania), la cual contó con un dispositivo de plástico que permitió, ajustar la altura de corte.

Diseño experimental y tratamientos

Para evaluar el efecto de los días de rebrote se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. El área experimental fue de 600 m², dividida en tres bloques de 40 m² (5 x 40 m) y cada bloque contuvo 7 parcelas de 25 m² (5 x 5 m), cada parcela representó una edad de rebrote, dentro de cada estación. En total se generaron 32 tratamientos y tres repeticiones en cada estación (4 estaciones x 8 edades de rebrote). Los tratamientos consistieron en cortes semanales sucesivos, durante un ciclo de rebrote de ocho semanas, dentro de cada estación del año.

VARIABLES EVALUADAS

Cada 7 días se cosechó el forraje de manera manual a 5 cm sobre el suelo, en dos cuadrantes (50 x 50 cm) que se ubicaron al azar y que sus valores fueron promediados por repetición. El forraje se depositó en bolsas de papel y se secó en una estufa de aire forzado (modelo POM-246F) a 55 °C durante 72 h y después se estimó el rendimiento de forraje en base materia seca (MS). La composición botánica-morfológica se determinó a partir de lo cosechado para rendimiento, se tomó una submuestra de aproximadamente 10 % y se separó en hojas, tallos, material muerto, inflorescencias (componentes morfológicos) y malezas (componente botánico). Del componente hoja y tallo se calculó la relación: hoja/

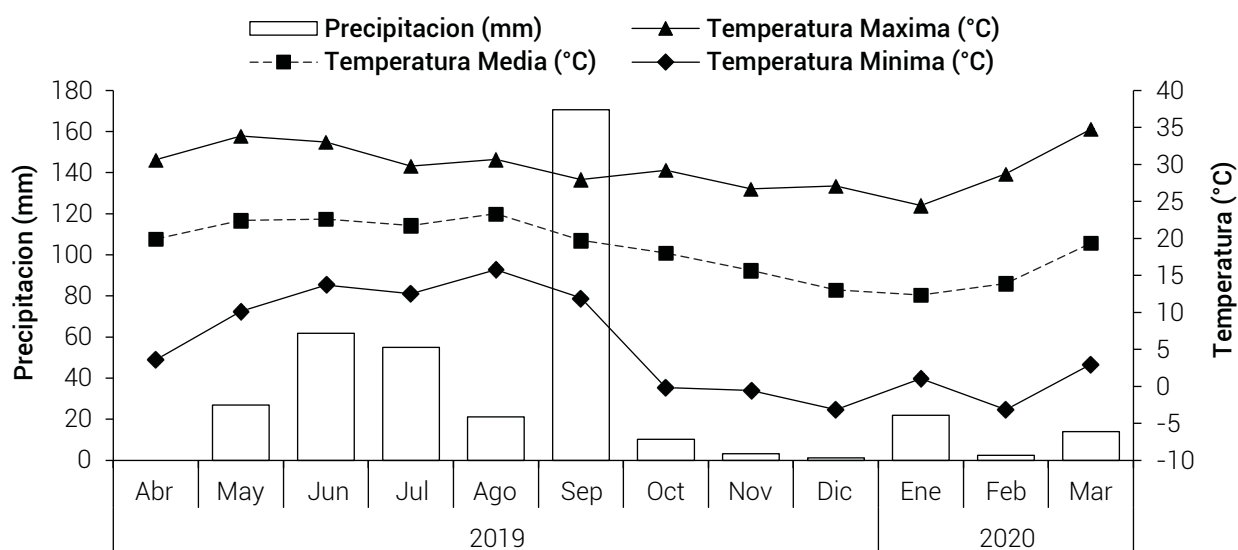


Figura 1. Temperatura media mensual máxima, promedio y mínima y precipitación acumulada del 11 de abril de 2019 al 08 de febrero del 2020 (Red Universitaria de Observatorios Atmosférico UNAM, estación UAAAN, Saltillo).

tallo, expresada como $R: H.T. = H/T$. La altura de la planta se registró previo al corte con 12 mediciones al azar en cada parcela, mediante una regla de madera de 100 cm. Con la altura de la planta se realizó una regresión entre el rendimiento de forraje y altura de planta, como el método indirecto más recomendable para estimar rendimiento de forraje (López-Guerrero *et al.*, 2011).

Análisis estadístico

Un ANOVA fue llevado a cabo para analizar el efecto de la edad de rebrote dentro de cada estación y acumulación anual, mediante el PROC GLM del SAS (SAS, 2009), en un diseño de bloques al azar, con tres repeticiones, donde los tratamientos fueron los días de rebrote en cada estación del año y comparación de medias con la prueba Tukey ($\alpha = 0.05$). Previo al ANOVA se realizó una prueba de homogeneidad de varianza de Bartlett, con lo cual se cumplieron los criterios de normalidad y homogeneidad de éstas. Así mismo, el análisis de regresión para la variable rendimiento de forraje y altura de la planta se obtuvo mediante el programa SIGMAPLOT SPSS Inc. (SigmaPlot, 2013), con el cual se determinó la significancia de los coeficientes de correlación ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el experimento se detectaron efectos significativos de los factores principales y su interacción (Cuadro 1).

Todas las variables fueron lo suficiente informativas, ya que presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$)

en los factores principales y su interacción, por lo que se consideran de buena referencia en los resultados obtenidas. En la comparación de medias sobresalen los tratamientos: estación de primavera en RMS, a los 42 y 49 DDR, invierno en la RHT a los 7 DDR y verano para AP a los 42 y 49 DDR (Cuadro 2).

En la acumulación de la materia seca (Cuadro 3) se presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.0001$). El rendimiento anual mayor ($P \leq 0.05$) se registró de los 35 a los 56 días de rebrote (DDR), pero fue similar a lo registrado a los 28 DDR. En contraste, el rendimiento anual menor fue a los 7 y 14 DDR ($P \leq 0.05$). Por otra parte, la tendencia estacional de producción de materia seca fue: primavera > verano > otoño > invierno ($P \leq 0.05$). En primavera, el punto de inflexión de la producción de forraje se presentó a los 35 y 42 DDR ($P \leq 0.05$) y en verano a los 35 DDR, teniendo similitud estadística a partir de los 28 a los 56 DDR ($P \geq 0.05$). En otoño, los mayores rendimientos se registraron de los 28 a los 56 DDR ($P \geq 0.05$) y en invierno a los 49 y 56 DDR, siendo similares a los 42 DDR ($P \geq 0.05$). La menor acumulación de materia seca se observó a los 7 y 14 DDR en primavera, verano y otoño, mientras que en invierno a los 7 DDR.

Por lo anterior, se puede establecer que las variaciones climáticas estacionales afectan los procesos fisiológicos de las plantas y el desarrollo de éstas (Zaka *et al.*, 2017). Al respecto, Rivas *et al.* (2020) encontraron que, en una región templada húmeda, la producción mayor de forraje de alfalfa se registró en verano, representando el 34.1 % del rendimiento anual, respecto a lo observado en invierno

Cuadro 1. Cuadros medios de la evaluación de alfalfa variedad Premium cosechada a diferentes días después del rebrote (DDR).

Fuentes de variación	gl	RMS	RHT	AP
Estación (E)	3	14482612.3***	2.42***	3012.47***
DDR	6	18568578.3***	2.27***	4297.84***
E x DDR	18	620235.8***	0.06***	90.52***
CV (%)		11.69	7.82	3.24

CV: coeficiente de variación, gl: grados de libertad, RMS: rendimiento de materia seca, TC: tasa de crecimiento, RHT: relación hoja/tallo, AP: altura de planta, ***: diferencias significativas a $P \leq 0.001$.

Cuadro 2. Comparación de medias de los factores evaluados de alfalfa variedad Premium cosechada a diferentes días después del rebrote (DDR).

Factor de estudio	RMS (kg MS ha ⁻¹)	RHT	AP (cm)
Estación			
Primavera	3225.6 a	1.17 b	47.75 b
Verano	2628.9 b	0.89 c	57.76 a
Otoño	2103.2 c	0.94 c	47.78 b
Invierno	1267.8 d	1.64 a	29.08 c
Días de rebrote (DDR)			
7	267.7 e	1.97 a	11.79 f
14	1024.9 d	1.50 b	29.52 e
21	2005.0 c	1.20 c	42.92 d
28	2932.2 b	0.99 d	53.01 c
35	3217.9 ab	0.85 e	58.45 b
42	3348.3 a	0.82 e	61.48 a
49	3349.0 a	0.79 e	61.97 a

RMS: rendimiento de materia seca, RHT: relación hoja/tallo, AP: altura de planta. Medias con letras iguales dentro del mismo factor y columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Cuadro 3. Acumulación de materia seca estacional y anual (kg ha⁻¹) de alfalfa variedad Premium cosechada a diferentes días después del rebrote (DDR).

DDR	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Anual	EEM
7	385 d	327 d	243 c	117 f	1071 d	50
14	1460 cd	1213 cd	867 c	560 e	4100 cd	151
21	2775 bc	2442 bc	1813 b	990 d	8020 bc	292
28	4011 ab	3484 ab	2914 a	1320 c	11,729 ab	454
35	4845 a	3709 a	3126 a	1714 b	13,393 a	437
42	4727 a	3688 ab	2968 a	2013 ab	13,396 a	397
49	4378 ab	3541 ab	2792 a	2160 a	12,872 a	382
56	4028 ab	3392 ab	2611 a	2093 a	12,125 a	375
EEM	548	363	188	90	1167	

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). EEM: error estándar de la media.

(1.6 %). En este estudio, que se llevó a cabo en un clima templado semiseco, la tendencia de la producción fue en primavera (35 %) > verano (28 %) > otoño (23 %) > invierno (14 %). Por su parte, Álvarez-Vázquez *et al.* (2018) registraron rendimiento estacional mayor en verano a 28 DDR (3508 kg ha⁻¹), con una caída de hasta del 58 % en otoño e invierno a los 42 DDR (2214 kg ha⁻¹), con una tendencia estacional de verano (33 %) > primavera (26 %) > invierno (21 %) > otoño (20 %).

Rojas-García *et al.* (2017), con el mismo manejo de cosechas que Álvarez-Vázquez *et al.* (2018), reportaron una tendencia estacional para verano (37 %) > primavera (26 %) > otoño (25 %) > invierno (13 %). Así mismo, Mendoza *et al.* (2010), con cortes a los 42 y 49 DDR, encontraron una producción mayor en verano (10,638 kg ha⁻¹), aportando el 31 % del rendimiento total, seguido por un 26, 23 y 20 % en primavera, otoño e invierno, respectivamente. Zaragoza *et al.* (2009) reportan un incremento máximo a los 35 DDR, en primavera, verano y otoño, a los 42 DDR en invierno, con valores de 4540, 3350, 3600 y 2840 kg ha⁻¹, respectivamente. La mayoría de los autores concuerdan que los rendimientos altos y bajos de forraje observados en alfalfa corresponden a los meses con temperaturas máximas y mínimas, presentes en cada área de estudio, con rangos entre 30 y 1 °C (Rebora *et al.*, 2015).

La hoja fue el componente que más aportó al rendimiento total de forraje, con un 50 %, seguido por el tallo, con 44 %, el material muerto, la inflorescencia y la maleza, con 1, 2 y 3 %, respectivamente. En la comparación de medias de los componentes botánicos-morfológicos, con sus factores de estudio (Cuadro 4), este mismo componente fue de mayor producción en primavera, a partir de los 28 hasta los 49 DDR, mientras que el tallo en primavera y verano produjo mayor materia seca al final de las edades de rebrote del 35 al 49 DDR. El material muerto aportó mayormente al rendimiento de otoño a partir de los 28 a los 49 DDR, la maleza en primavera al final del rebrote a los 49 DDR y la inflorescencia en otoño e invierno, a los 42 y 49 DDR.

El incremento en primavera de algunos componentes como la hoja, tallo y malezas puede relacionarse con temperaturas mayores que favorece el crecimiento vegetal (Mendoza *et al.*, 2010). Según Álvarez-Vázquez *et al.* (2018), en una pradera con cuatro años de establecida en primavera, la alfalfa representa más del 56 % del rendimiento total y el resto por la maleza (44 %). Esto indica que a mayor edad de rebrote y de la pradera, la persistencia disminuye por la competencia interespecífica por luz, agua y nutrientes. En el presente estudio, la alfalfa tuvo más del 95 % de rendimiento total, dado que la pradera tenía un año de establecida. De acuerdo con Teixeira *et al.* (2008), el

aporte de maleza en una pradera se relaciona con la edad del cultivo, donde la hoja puede reducir su aporte en verano hasta un 14 %, pero en primavera, otoño e invierno puede incrementar a 31, 31 y 29 %, respectivamente. El aporte del tallo es de 29 % en primavera y 15 % en verano y el material muerto 14 % en otoño, 8 % en invierno, 7 % en primavera y 6 % en verano.

Zaragoza *et al.* (2009) reportaron mayor proporción de hoja en las primeras tres semanas de rebrote (7, 14 y 21 DDR), evidenciando un descenso a los 42 DDR en primavera y verano y en otoño a los 35 y 56 DDR, mientras que en invierno la proporción se mantuvo constante. Por lo anterior, las investigaciones concuerdan que debido a las condiciones del clima favorables como temperatura elevada, humedad y radiación altas, en estaciones como primavera y verano, aumenta la aportación del tallo, material muerto y malezas y se reduce el aporte de la hoja a mayor edad de rebrote, donde existe presencia de inflorescencia por la etapa reproductiva de la planta (Zaragoza *et al.*, 2009). Así mismo, la presencia de material muerto a edades de rebrote avanzadas es originado posiblemente por el forraje residual del corte, ya que el rebrote en la alfalfa se deriva de las yemas coronarias, mientras que el forraje residual entra en senescencia y muere (Moser y Jennings, 2007).

La relación: hoja/tallo mostró diferencias entre estaciones y días de rebrote (Cuadro 5). Los valores mayores se concentraron en invierno, con un promedio de 1.6 y valores entre 1.1 y 2.7, lo que se relacionó con mayor producción de hoja (Cuadro 4). En contraparte, las menores relaciones de hoja/tallo se registraron en verano y otoño, con un promedio de 0.9 y valores en verano de 0.6 a 1.5 y en otoño de 0.6 a 1.6. Únicamente a 14 DDR la RHT fue similar entre primavera, verano y otoño. La RHT tendió a disminuir en un promedio de 2.0 a 0.8 entre los 7 y 56 DDR.

Rivas *et al.* (2020), al evaluar la variedad de alfalfa Cuf101, en Oaxaca, México, registraron 0.5 de RHT durante el verano, mientras que Álvarez-Vázquez *et al.* (2018) reportan una RHT de 1.6 en otoño; sin embargo, en este estudio los valores fueron menores para ambas épocas. Por otro lado, Lamb *et al.* (2014) observaron una relación de hoja/tallo mayor en los meses de junio (2.0) y julio (2.5) a edades tempranas de rebrote y disminuyó a etapas tardías de floración (> 1.0), dadas las condiciones ambientales cálido-secas y cielos mayormente despejados en verano, en contraste con inviernos fríos. En otras investigaciones se reportan valores de RHT de 1.49 en otoño e invierno y menores en verano y primavera, de 0.92 y 0.94, respectivamente (Rojas-García *et al.*, 2017). Zaragoza *et al.* (2009) observaron una disminución de la RHT a mayor edad de rebrote, cuando se registró mayor acumulación de

Cuadro 4. Comparación de medias de los factores evaluados en componentes botánico-morfológicos (kg MS ha⁻¹) de alfalfa variedad Premium, en estaciones y a días de rebrote en el sureste de Coahuila, México.

Factor de estudio	Hoja	Tallo	MM	Maleza	Inflorescencia
Estación					
Primavera	1531.6 a	1548.3 a	32.4 b	113.1 a	0.0 b
Verano	1066.6 b	1462.0 a	39.9 b	22.2 bc	38.0 a
Otoño	825.4 c	1077.3 b	97.5 a	73.8 ab	29.1 a
Invierno	711.8 c	555.9 c	0.0 c	0.0 c	0.0 b
Días de rebrote					
7	170.3 d	94.6 e	0.0 b	2.8 d	0.0 b
14	585.2 c	429.7 d	0.0 b	9.8 cd	0.0 b
21	1038.7 b	936.6 c	9.0 b	20.6 cd	0.0 b
28	1358.5 a	1489.2 b	58.3 a	26.0 bcd	0.0 b
35	1428.8 a	1772.3 a	58.9 a	86.1 abc	1.9 b
42	1370.7 a	1729.3 a	92.9 a	102.8 ab	53.1 a
49	1284.7 a	1674.6 a	78.1 a	117.9 a	62.3 a

MM: material muerto. Medias con letras iguales dentro del mismo factor y columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Cuadro 5. Relación: hoja/tallo (RHT) estacional de alfalfa variedad Premium cosechada a diferentes días después de rebrotan (DDR).

DDR	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	EEM
7	2.0 a	1.5 a	1.6 a	2.7 a	0.11
14	1.4 b	1.2 b	1.2 b	2.3 b	0.09
21	1.2 bc	1.0 b	1.0 bc	1.7 c	0.07
28	1.1 cd	0.7 c	0.8 cd	1.4 cd	0.05
35	0.9 de	0.6 c	0.7 cd	1.1 d	0.05
42	0.9 de	0.7 c	0.7 d	1.1 d	0.06
49	0.8 e	0.6 c	0.7 d	1.1 d	0.05
56	0.8 e	0.6 c	0.6 d	1.1 d	0.07
EEM	0.06	0.07	0.07	0.09	

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05). EEM: error estándar de la media.

materia seca a los 35 DDR, en verano, otoño y primavera, con valores de 0.8, 0.7 y 0.6, respectivamente; sin embargo, en invierno fue de 0.8 a los 42 DDR.

Por lo anterior, las investigaciones convergen en que a una mayor RHT al inicio del rebrote, en la fase vegetativa, se relaciona con una mayor producción de hoja. A medida que aumenta la edad de la planta los tallos se elongan, las ramas laterales se desarrollan, por lo que la fracción de tallos supera a la hoja en la planta completa (Sheaffer *et al.*, 2000). Esto implica que a mayor edad de la planta hay caída

de hojas senescentes a partir de los 42 DDR. Además, una menor RHT en primavera se debe a la mayor producción de forraje (Cuadro 2), que provocan un acelerado recambio de tejido, caída de hojas y mayor contribución del tallo al rendimiento, debido al peso individual de estos (Morales *et al.*, 2006).

La altura de la planta registró diferencias altamente significativas entre estaciones y días de rebrote (Cuadro 6). En primavera se alcanzó el mayor crecimiento de la planta a partir de los 42 y 49 DDR (P < 0.05), con similitud

estadística a los 56 DDR ($P > 0.05$), mientras que en verano de los 28 a los 56 DDR ($P \leq 0.01$), en otoño a los 49 y 56 DDR y en invierno de los 42 a los 56 DDR ($P < 0.05$). Estos valores concuerdan con los máximos rendimientos de materia seca alcanzados en cada estación (Cuadro 2). En contraste, los valores más bajos se presentaron al inicio del rebrote (7 DDR), con valores de 12, 16, 12 y 9 cm de altura de planta para primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente.

Rojas *et al.* (2016) reportan altura de planta mayor en verano con valores de 61 cm, con cosechas de 28 DDR, seguido de primavera con 57 cm a 28 DDR, otoño con 49 cm a los 35 DDR e invierno con 27 cm a los 42 DDR. Estos mismos autores (Rojas *et al.*, 2016) señalan que estaciones con menor crecimiento de la planta corresponden a bajos rendimiento de forraje, por lo que en este estudio se determinaron las ecuaciones de ajuste (Cuadro 7). Las estaciones de primavera, verano e invierno y anual tuvieron mejor ajuste a diferentes modelos: exponencial (primavera) y cuadrático (verano e invierno), con R^2 de 0.99, lo cual indica que la variación en la producción de materia

seca es explicada en 99 % por el crecimiento de la planta; otoño fue ligeramente menor, ajustándose a un modelo exponencial con R^2 de 0.98.

Con base en la bondad de ajuste de los modelos, la variable altura estimada con el método de la regla es un método indirecto confiable para predecir la producción de forraje entre los 7 y 56 días de rebrote. Sin embargo, existen otros métodos como el del plato con el cual se han encontrado correlaciones de $R^2 = 0.83$ vs. $R^2 = 0.60$ con la regla (Castillo *et al.*, 2009). En su estudio, Cubas-Leiva *et al.* (2022) encontraron una correlación positiva entre la tasa de crecimiento y altura de planta con un R^2 de 0.68. Por su parte, Rojas *et al.* (2016) registraron mayores correlaciones de la altura con el porcentaje de luz interceptada ($R^2 = 0.98$), que con la producción de forraje ($R^2 = 0.82$), en alfalfa variedad San Miguelito. Por lo anterior, se postula una correlación entre la masa de forraje presente en una pradera y su correspondiente altura, lo cual puede ser empleada como método indirecto que permite una utilización más eficaz de este recurso (Dillard *et al.*, 2016; Dougherty *et al.*, 2013).

Cuadro 6. Altura de planta promedio estacional (cm) de alfalfa variedad Premium cosechada a diferentes días después del rebrote (DDR).

DDR	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	EEM
7	12 f	16 d	12 e	9 f	1.49
14	29 e	43 c	31 d	16 e	1.68
21	48 d	60 b	44 c	21 d	1.24
28	58 c	71 a	58 b	26 c	1.33
35	60 bc	73 a	63 ab	38 b	1.66
42	64 a	72 a	63 ab	46 a	1.17
49	64 a	73 a	64 a	47 a	0.94
56	63 ab	72 a	64 a	47 a	0.57
EEM	1.02	1.39	1.54	1.11	

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media.

Cuadro 7. Ecuaciones de regresión obtenidas estacionalmente y anual con base en la altura de la planta y el rendimiento de materia seca de alfalfa variedad Premium, cosechada a diferentes días de rebrote en el sureste de Coahuila, México.

Estación	Ecuaciones de ajuste	R^2
Primavera	$y = 10.011x^{1.4727}$	0.9910
Verano	$y = 0.8134x^2 - 14.027x + 334.11$	0.9950
Otoño	$y = 5.3007x^{1.5234}$	0.9896
Invierno	$y = -0.6977x^2 + 91.02x - 651.75$	0.9928
Anual	$y = 20.803x^{1.5713}$	0.9946

CONCLUSIONES

En alfalfa variedad Premium en el sureste de Coahuila, la mayor acumulación de materia seca se da posterior a los 35 días de rebrote en primavera y verano, mientras que en otoño a los 28 días y en invierno posterior a los 49 días de rebrote. Por tanto, los días de rebrote afectaron positivamente al rendimiento, altura, componentes morfológicos e inversamente la proporción de hoja y relación: hoja/tallo. De éstas, la altura presentó una correlación alta con el rendimiento de forraje estacional y anualmente. Así mismo, la hoja fue la que aportó mayor proporción al rendimiento total, seguida por el tallo, material muerto, inflorescencia y maleza.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Vázquez P., A. Hernández-Garay, S. I. Mendoza-Pedroza, A. R. Rojas-García, C. Y. Wilson-García y J. I. Alejos-de la Fuente (2018) Producción de diez variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a cuatro años de establecidas. *Revista Agrociencia* 52:841-851.
- Avcı M. A., A. Ozkose and A. Tamkoc (2013) Determination of yield and quality characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties grown in different locations. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 12:487-490.
- Castillo E., B. Valles y J. Jarillo (2009) Relación entre materia seca presente y altura en gramas nativas del trópico mexicano. *Técnica Pecuaria en México* 47:79-92.
- Castro R., A. Hernández, G. Aguilar y O. Ramírez (2011) Comparación de métodos para estimar el rendimiento de forraje en praderas asociadas. *Naturaleza y Desarrollo* 9: 38-46.
- Chen J., F. Tang, R. Zhu, C. Gao, G. Di and Y. Zhang (2012) Effects of cutting frequency on alfalfa yield and yield components in Songnen Plain, Northeast China. *African Journal Biotechnology* 11:4782-4790.
- Cho W., B. W. Brorsen, J. T. Biermacher and J. K. Rogers (2019) Rising plate meter calibrations for forage mass of wheat and rye. *Agricultural & Environmental Letters* 4:1-4, <https://doi.org/10.2134/aerl2018.11.0057>
- Cubas-Leiva M. B., L. A. Vallejos-Fernández, R. R. Florián-Lescano, W. L. Carrasco-Chilón y W. Y. Álvarez-García (2022) Evaluación productiva y composición química de seis genotipos de *Medicago sativa* L. en los Andes del norte de Perú. *Pastos y Forrajes* 45:1-7.
- Dillard L. S., N. A. Hafsa, M. D. Rubano, R. C. Stout, A. F. Brito and K. J. Soder (2016) Evaluation of a rising plate meter for use in multispecies swards. *Agricultural & Environmental Letters* 1:1-4, <https://doi.org/10.2134/aerl2016.08.0032>
- Dougherty M., J. A. Burger, C. M. Feldhake and A. H. Abdelgadir (2013) Calibration and use of plate meter regressions for pasture mass estimation in an Appalachian silvopasture. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59:37-41, <https://doi.org/10.1080/03650340.2011.615026>
- Jing Q., B. Qian, G. Bélanger, A. V. Zaag, G. Jégo, W. Smith and G. Hoogenboom (2020) Simulating alfalfa regrowth and biomass in eastern Canada using the CSM-CROPGRO-perennial forage model. *European Journal of Agronomy* 113:125-971, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125971>
- Lamb J. F. S., H. J. Jung and H. Riday (2014) Growth environment, harvest management and germplasm impacts on potential ethanol and crude protein yield in alfalfa. *Biomass Bioenergy* 63:114-125, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.02.006>
- López-Guerrero I., J. P. Fontenot y T. B. García-Peniche (2011) Componentes entre cuatro métodos de estimación de biomasa en praderas de festuca alta. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 2:209-220.
- Mendoza S. I., A. Hernández, J. Pérez, A. R. Quero, J. A. S. Escalante, J. L. Zaragoza y O. Ramírez (2010) Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 1:287-296.
- Morales J., J. L. Jiménez, V. A. Velasco, Y. Villegas, J. R. Enríquez y A. Hernández (2006) Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertirriego en la mixteca de Oaxaca. *Técnica Pecuaria en México* 44:277-288.
- Moser L. E. and J. A. Jennings (2007) Grass and legume structure and morphology. In: *Forages, the Science of Grassland Agriculture*. Volume II. R. F. Barnes, C. J. Nelson, M. Collins, K. J. Moore (eds). Blackwell Publishing. Ames, Iowa, USA. pp:15-36.
- Rebora C., A. Barros, L. Ibaguren, A. Bertona, C. Antonini y F. Arenas (2015) Efecto del grado de reposo invernal de alfalfa (*Medicago sativa* L.) sobre el rendimiento de heno en el oasis norte de Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo* 47:43-51.
- Rivas M. A., J. G. Herrera, A. Hernández-Garay, H. Vaquera, J. I. Alejos y S. Cadena (2020) Rendimiento de cinco variedades de alfalfa durante cuatro años de evaluación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11:141-152, <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2365>
- Rojas A. R., A. Hernández-Garay, S. Joaquín, M. Á. Maldonado, S. I. Mendoza, V. P. Álvarez y B. M. Joaquín (2016) Comportamiento productivo de cinco variedades de alfalfa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:1855-1866.
- Rojas-García A. R., N. Torres-Salado, S. Joaquín-Cancino, A. Hernández-Garay, M. Maldonado-Peralta y P. Sánchez-Santillán (2017) Componentes del rendimiento en variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Agrociencia* 51:697-708.
- SAS Institute (2009) SAS/STAT® 9.2. User's Guide Release. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA.
- Sheaffer C. C., N. P. Martin, J. F. S. Lamb, G. R. Cuomo, J. G. Jewett and S. R. Quering (2000) Leaf and stem properties of alfalfa entries. *Agronomy Journal* 92:733-739, <https://doi.org/10.2134/agronj2000.924733x>
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022) Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Septiembre 2023).
- SigmaPlot (2013) Version 12.3. Systat Software, Inc., San Jose, California.
- Teixeira E. I., D. J. Moot and H. E. Brown (2008) Defoliation frequency and season affected radiation use efficiency and dry matter partitioning to roots of lucerne (*Medicago sativa* L.) crops. *European Journal of Agronomy* 28:103-111, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.05.004>
- Zaka S., L. Q. Ahmed, A. J. Escobar-Gutiérrez, F. Gastal, B. Julier and G. Louarn (2017) How variable are non-linear developmental responses to temperature in two perennial forage species? *Agricultural Forest Meteorology* 232:433-442, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.10.004>
- Zaragoza J., A. Hernández-Garay, J. Pérez, J. G. Herrera, F. Osnaya, P. A. Martínez y A. R. Quero (2009) Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto ovinillo. *Técnica Pecuaria en México* 47:173-188.