

Productividad de variedades de alfalfa en el Valle de México

Productivity of alfalfa varieties in the Valley of Mexico

Paulino Sánchez Santillán¹, María de los Ángeles Maldonado Peralta^{1*}, Adelaido Rafael Rojas García¹,
Nicolás Torres Salado¹, Jerónimo Herrera Pérez¹, María Benedicta Bottini Luzardo¹,
Claudia Yanet Wilson García², Adrian Raymundo Quero Carrillo³

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2, Universidad Autónoma de Guerrero. 41940. Cuajinicuilapa, Guerrero, México.
Correo electrónico: mmaldonado@uagro.mx

²Universidad Autónoma Chapingo.

³Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

*Autor de correspondencia

Resumen

La alfalfa es una de las leguminosas más importantes a nivel mundial y es la más utilizada en la alimentación de ganado lechero en México. El objetivo de la presente investigación consistió en analizar parámetros productivos de variedades de alfalfa comerciales con intervalos de corte definidos estacionalmente, en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. Las variedades evaluadas fueron Aragón, Valenciana, Chipilo, Milenia y Oaxaca. Las variables evaluadas fueron: tasa de crecimiento, intercepción de luz, índice de área foliar y altura de planta. Milenia y Aragón, con 57 kg DM ha⁻¹ d⁻¹ y 40 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, registraron la mayor y menor tasa de crecimiento, respectivamente. La variedad que mayor intercepción de luz registró fue Milenia, con un promedio de 84%. En las cinco variedades de alfalfa, existe una relación positiva entre intercepción de luz, tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de planta. Por sus cualidades de producción se recomienda utilizar la variedad Milenia en el Valle de México.

Palabras clave: *Medicago sativa*; tasa de crecimiento; intercepción de luz; índice de área foliar.

Abstract

Alfalfa is one of the most important legumes worldwide and is the most used in the feeding of dairy cattle in Mexico. The objective of this research was to analyze productive parameters of commercial alfalfa varieties with cut-off intervals defined seasonally in Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. The varieties evaluated were Aragón, Valenciana, Chipilo, Milenia, and Oaxaca. The variables evaluated were growth rate, light interception, leaf area index, and plant height. Milenia and Aragón, with 57 kg DM ha⁻¹ d⁻¹ and 40 kg DM ha⁻¹ d⁻¹, recorded the highest and lowest growth rate, respectively. The variety with the highest light interception was Milenia, with an average of 84%. In the five varieties of alfalfa, there is a positive relationship between light interception, growth rate, leaf area index, and plant height. Due to its production qualities, it is recommended to use the Milenia variety in the Valley of Mexico.

Keywords: *Medicago sativa*; growth rate; radiation interception; leaf area index.

Recibido: 3 de febrero de 2018

Aceptado: 5 de octubre de 2018

Publicado: 2 de octubre de 2019

Como citar: Sánchez-Santillán, P., Maldonado-Peralta, M. A., Rojas-García, A. R., Torres-Salado, N., Herrera-Pérez, J., Bottini-Luzardo, M. B., Wilson-García, C. Y., & Quero-Carrillo, A. R. (2019). Productividad de variedades de alfalfa en el Valle de México. *Acta Universitaria* 29, e2202. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2019.2202>

Introducción

La alfalfa es una de las leguminosas más importantes a nivel mundial y es la más utilizada en la alimentación de ganado lechero en México. La importancia de esta leguminosa se debe a la alta cantidad de forraje por unidad de superficie (33 t MS ha⁻¹), a su alta cantidad de proteína (22%), a la digestibilidad de la materia seca (70%) y a que es apetecible y consumido por un gran número de animales (Avci, Cinar, Yucel & Inal, 2010). La mayor superficie sembrada y cosechada de alfalfa se encuentra en los estados de Jalisco, Hidalgo, Guanajuato y Baja California y, en menor proporción, en Coahuila, Durango, Estado de México, Puebla y Tlaxcala (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SIAP-Sagarpa], 2014).

Mendoza *et al.* (2010) mencionan que al realizar cortes cada tres semanas en la alfalfa disminuyen el rendimiento de forraje y área foliar, pero incrementa la invasión de otras especies, por lo que se recomienda cosechar la alfalfa a intervalos de cuatro a seis semanas para evitar la muerte de coronas y aumentar la persistencia de la especie. Hernández, Pérez & Hernández (1992) mencionan que la frecuencia de corte de alfalfa debe definirse con base en la etapa fenológica de la planta, para lograr los máximos rendimientos anuales de forraje y calidad. Pérez, Hernández, Pérez, Herrera & Bárcena (2002) evidenciaron que el conocer la velocidad de rebrote entre cortes y altura de área foliar remanente es fundamental para entender el efecto de la frecuencia e intensidad en el rendimiento del forraje.

Por su parte, Montes, Castro, Aguilar, Sandoval & Solís (2016) y Rojas *et al.* (2016a) reportan mayor tasa de crecimiento en alfalfa en las estaciones de primavera y verano, y en menor cantidad en otoño e invierno, en el Valle de México. Sin embargo, Villegas *et al.* (2004) obtienen la mayor tasa de crecimiento en dos variedades de alfalfa en primavera, seguida de invierno, verano y la menor tasa en otoño en el Valle de Oaxaca. Zaragoza *et al.* (2009) registraron el siguiente orden descendente del índice de área foliar en alfalfa: primavera, verano, otoño e invierno con valores de 3.5, 2.8, 2.0 y 1.9, respectivamente.

Rojas *et al.* (2016a) obtuvieron en verano el mayor índice de área foliar en variedades de alfalfa con 5.4 y en invierno el menor índice con 2.1. Los mismos autores mencionan que en invierno la acumulación de hojas disminuyó debido a la reducción del crecimiento de la planta causada por las bajas temperaturas y menor intercepción de luz. Baldissera, Frak, Carvalho & Louarn (2014) y Flores-Santiago *et al.* (2018) mencionan que la acumulación neta de forraje está en un punto máximo cuando se alcanza el mayor índice de área foliar; este punto es definido como el índice de área foliar óptimo. Morales *et al.* (2006) y Rojas *et al.* (2016a) reportan en alfalfas la mayor altura relacionada con el mayor rendimiento, tasa de crecimiento, relación hoja:tallo e intercepción de luz.

En México existe poca información sobre parámetros de producción en variedades de alfalfa; por lo tanto, el objetivo fue evaluar variedades comerciales de alfalfa con intervalos de corte definidos estacionalmente con los siguientes parámetros de producción: tasa de crecimiento, intercepción de luz, índice de área foliar y altura de planta. La hipótesis que se plantea en el presente estudio es que la variedad Valenciana tendrá los mejores atributos de producción, ya que es la variedad que más se comercializa en la región.

Materiales y Métodos

El ensayo se realizó en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México, ubicado a 19° 29' LN y 98° 53' LO, a una altura de 2240 m snm. El clima del lugar es templado subhúmedo, con precipitación media anual de 636.5 mm y un régimen de lluvias en verano y principios de otoño (de junio a octubre); la temperatura promedio anual es de 15.2 °C (García, 2004). Se analizó el suelo

en el Laboratorio de Nutrición Vegetal, S. C., dando como resultado una textura franco-arenoso con 3.5% de materia orgánica y un pH de 8.4.

Las variedades comerciales de alfalfa fueron Aragón, Valenciana, Chipilo, Milenia y Oaxaca, establecidas en abril de 2008 en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados. La siembra se realizó al voleo y el área de estudio se dividió en 20 parcelas de 108 m² (12 m por 9 m), con una densidad de siembra de 30 kg ha⁻¹ de semilla pura viable, esta se ajustó con el porcentaje de germinación y pureza de cada variedad. Cuatro semanas antes del inicio del experimento, se realizó un corte de uniformización a una altura promedio de 5 cm, con un tractor-podador. Durante el periodo experimental, las parcelas fueron regadas, únicamente durante el periodo de estiaje (invierno-primavera) cada dos semanas a capacidad de campo y cabe mencionar que no se aplicó fertilizante, herbicidas y productos químicos para el control de plagas en todo el periodo experimental. El intervalo entre cortes varió de acuerdo con la estación del año; en primavera y verano la alfalfa se cortó cada cuatro semanas, en otoño cada cinco y en invierno cada seis semanas de acuerdo a lo recomendado por Mendoza *et al.* (2010).

Tasa de crecimiento de forraje

En cada parcela de alfalfa, al inicio del estudio, se colocaron al azar dos cuadros fijos de 0.25 m² por repetición. El forraje presente dentro de cada cuadro se cosechó un día antes del corte, dejando una altura remanente de 5 cm, se depositó en bolsas de papel etiquetadas, se lavó y se expuso a un proceso de secado en una estufa de aire forzado, a una temperatura de 55 °C hasta peso constante. Una vez seca la muestra de forraje, se registró el peso seco para determinar el rendimiento por unidad de superficie (kg MS ha⁻¹). Posteriormente, la tasa de crecimiento se calculó con los datos de rendimiento obtenidos en cada corte y se dividió entre los días transcurridos entre un corte a otro.

Intercepción de luz

Un día previo a cada corte, se tomaron al azar cinco lecturas de intercepción de luz por repetición con el método del metro de madera utilizado por Rojas *et al.* (2016a) en variedades de alfalfa. Las lecturas se realizaron aproximadamente a las 13:00 h, ya que es el mejor tiempo para medir la cobertura en el dosel; además, el ángulo solar es alto y la intercepción de la luz cambia al mínimo. El procedimiento consistió en colocar la regla debajo del dosel, con orientación sur-norte, e inmediatamente después se contaron los centímetros sombreados, los cuales representaron el porcentaje de radiación interceptada.

Índice de área foliar

En lo que respecta al índice de área foliar, un día de cada corte, se separaron las hojas de cinco tallos por repetición de cada variedad y se colocaron en un integrador de área foliar marca CID, Inc, modelo CI-202 de escáner, de donde se obtuvieron las lecturas en cm² por tallo. Posteriormente, se multiplicaron por el total de tallos por metro cuadrado permitiendo estimar así el índice de área foliar.

Altura de la planta

Un día antes de cada corte, se tomaron al azar 25 lecturas por repetición. Para ello se utilizó una regla graduada de 100 cm, la cual se colocó al azar en las parcelas, de forma que la parte inferior de la regla graduada quedara a nivel de suelo. Posteriormente, un dispositivo con el que cuenta la regla se colocaba de manera vertical arriba del dosel vegetal y se deslizó hacia abajo, hasta que este tocó algún componente morfológico y se registró la altura.

Datos climáticos

La temperatura máxima, mínima y distribución de la precipitación durante el periodo de evaluación se obtuvieron de la estación agrometeorológica del Colegio de Postgraduados, ubicado a 100 m del área experimental. La temperatura máxima se observó en junio con un promedio de 28 °C. La temperatura mínima se registró en los meses de enero y febrero con un promedio de -1 °C, correspondiente a la estación de invierno. La mayor precipitación se concentró en el mes de junio con una precipitación acumulada de 404 mm. Los meses con menor precipitación se relacionaron con las menores temperaturas en enero, con 13 mm correspondiente a la estación de invierno. Los riegos a capacidad de campo se realizaron cada 15 días en los meses con menor precipitación correspondientes a las estaciones de invierno y primavera (figura 1).

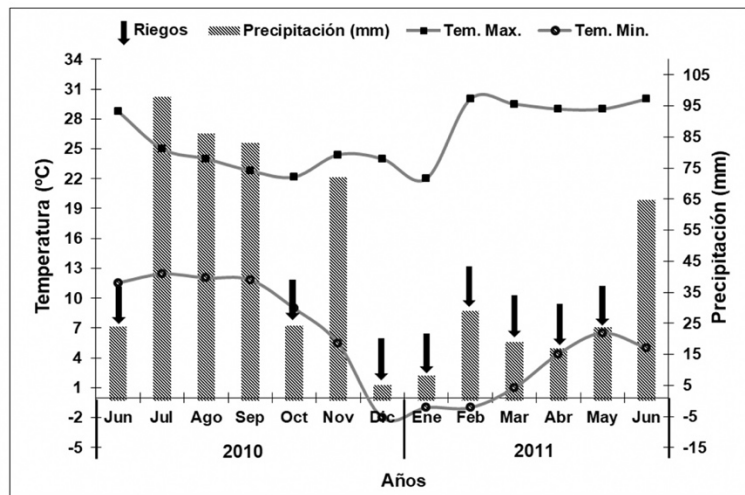


Figura 1. Temperatura media mensual máxima, mínima, precipitación acumulada y riegos a capacidad de campo durante el periodo de ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Análisis estadístico

Para comparar el efecto de las variedades de alfalfa estudiadas, se realizó un análisis de varianza con el procedimiento de Modelos Mixtos (*Statistical Analysis System [SAS], 2009*), con un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ajustada ($\alpha = 0.05$).

Resultados

Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento estacional y promedio anual de cinco variedades comerciales de alfalfa se presenta en la tabla 1. Se registraron diferencias estadísticas entre ellas, siendo Milenia, Oaxaca, Chipilo y Valenciana las que mostraron las mayores tasas de crecimiento, con un promedio de 52 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, y Aragón presentó la menor tasa de crecimiento promedio, con 40 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ ($p < 0.05$). Independientemente de la variedad, se observó estacionalidad en la tasa de crecimiento, con el siguiente orden: verano > primavera > otoño > invierno con 70 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, 57 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, 45 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ y 25 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, respectivamente ($p < 0.05$). La tasa de crecimiento pudo estar afectada por la temperatura, ya que en verano y primavera se registró la mayor temperatura, obteniendo la mayor tasa de crecimiento.

Tabla 1. Cambios estacionales en la tasa de crecimiento (kg MS ha⁻¹d⁻¹) de variedades de alfalfa.

Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio
Aragón	57 Ba	37 Bb	19 Bc	46 Aab	40 B
Valenciana	72 Aa	42 ABb	22 ABc	53 Ab	48 AB
Chipilo	70 Aa	46 ABbc	28 Abc	61 Aab	51 AB
Milenia	78 Aa	54 Ab	31 Ac	63 Aab	57 A
Oaxaca	72 Aa	47 ABb	26 ABc	60 Aab	51 AB
Promedio	70 a	45 b	25 c	57 ab	

abcd= Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera no son diferentes ($p > 0.05$). ABCD= Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna no son diferentes ($p > 0.05$).
Fuente: Elaboración propia.

Intercepción de luz

La intercepción de luz se muestra en la tabla 2, dando como resultado diferencias significativas ($p < 0.05$) entre variedades y estaciones del año. Las variedades con mayor intercepción de luz fueron Milenia, Chipilo y Oaxaca con un promedio de 82%, mientras que el menor valor promedio anual observado lo presentaron las variedades Aragón y Valenciana con 74%. Se observó para todas las variedades una estacionalidad ($p < 0.05$) con los siguientes valores promedio: 88%, 86%, 77% y 63% para verano, primavera, otoño e invierno, respectivamente. Milenia obtuvo el 95% de intercepción de luz en la estación de verano, esto podría estar relacionado con la mayor temperatura, dando como resultado mayor tasa de crecimiento y viceversa; cuando existió menor temperatura, menor intercepción de luz.

Tabla 2. Cambios estacionales en la intercepción de luz (%) de variedades de alfalfa.

Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio
Aragón	82 Ca	74 Aba	57 Bb	81 Da	73 C
Valenciana	87 Ba	69 Bb	56 Bc	83 CDa	74 C
Chipilo	89 Ba	81 Ab	67 ABc	88 ABa	81 AB
Milenia	95 Aa	82 Ab	70 Ac	92 Aa	84 A
Oaxaca	88 Ba	81 Ab	65 ABc	87 BCab	80 AB
Promedio	88 a	77 b	63 c	86 a	

abcd= Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera no son diferentes ($p > 0.05$). ABCD= Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna no son diferentes ($p > 0.05$).
Fuente: Elaboración propia.

Índice de área foliar

En la tabla 3 se observan los cambios estacionales en el índice de área foliar de variedades de alfalfa. Se reportan diferencias estadísticas entre variedades ($p < 0.05$), siendo las variedades Milenia y Chipilo con cinco las que registraron el mayor promedio; en contraste, la variedad que obtuvo el menor promedio fue Aragón con 3.1 de índice de área foliar. También se observaron diferencias estadísticas entre estaciones del año ($p < 0.05$), con el siguiente orden descendente para el promedio de las cinco variedades: verano 5.7 > primavera 5 > otoño 4.2 > invierno 2.4. Estos resultados de área foliar están estrechamente relacionados con la tasa de crecimiento, intercepción de luz y la temperatura registrada.

Tabla 3. Cambios estacionales en el índice de área foliar de variedades de alfalfa.

Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio
Aragón	4.3 Ba	3.2 Cb	1.7 Bc	3.3 Cb	3.1 C
Valenciana	5.8 Aa	4.0 Bb	2.4 ABc	4.8 Bab	4.3 B
Chipilo	6.0 Aa	4.5 ABb	2.8 Ac	5.5 ABab	4.7 AB
Milenia	6.6 Aa	5.1 Ab	3.0 Ac	6.1 Aa	5.2 A
Oaxaca	5.8 Aa	4.2 Bb	2.1 ABc	5.1 ABA	4.3 B
Promedio	5.7 a	4.2 b	2.4 c	5.0 ab	

abcd= Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera no son diferentes ($p > 0.05$). ABCD= Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna no son diferentes ($p > 0.05$).
Fuente: Elaboración propia.

Altura de la planta

En la tabla 4 se presenta la altura promedio estacional y anual de las variedades de alfalfa. Independientemente de la estación las variedades, Milenia, Chipilo y Oaxaca fueron las que registraron la mayor altura promedio con 48 cm; en cambio, Aragón y Valenciana, con 44 cm, presentaron la menor altura ($p < 0.05$). De igual manera, se observaron diferencias estadísticas entre estaciones del año ($p < 0.05$); la mayor altura se registró en verano, seguido de primavera, otoño e invierno con 61 cm, 55 cm, 46 cm y 26 cm, respectivamente. La altura de la planta está estrechamente relacionada con la temperatura y la variedad de alfalfa, ya que cada una tiene una temperatura óptima de crecimiento que, por consecuencia, da mayor o menor rendimiento de materia seca, dependiendo las estaciones del año.

Tabla 4. Cambios estacionales en la altura (cm) de variedades de alfalfa.

Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio
Aragón	58 Ba	42 Bb	24 Bc	52 Ba	44 B
Valenciana	58 Ba	44 Bb	25 Bc	53 Bab	45 B
Chipilo	62 Aa	48 Ac	27 Ad	56 Ab	48 A
Milenia	63 Aa	48 Ac	28 Ad	59 Ab	49 A
Oaxaca	62 Aa	47 ABc	27 Ad	55 Ab	47 A
Promedio	61 a	46 c	26 d	55 b	

abcd= Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera no son diferentes ($p > 0.05$). ABCD= Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna no son diferentes ($p > 0.05$).
Fuente: Elaboración propia.

Relación de intercepción de luz entre tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de planta

Los coeficientes de regresión (R^2) se observan en la tabla 5. Las cinco variedades presentaron una estrecha relación entre la intercepción de luz, tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de planta; mientras mayor es la intercepción de luz, mayor es la tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de planta. Todas las variables cambiaron en las estaciones del año y el principal factor fue la temperatura (figura 1), ya que durante primavera y verano se registraron las mayores temperaturas y se presentó la mayor intercepción de luz, tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de planta. Lo contrario sucedió en el

invierno, donde se observó la menor radiación interceptada, tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de planta.

Tabla 5. Coeficiente de regresión (R²) de intercepción de luz (IL) entre tasa de crecimiento (TC), índice de área foliar (IAF) y altura de planta (AP) de variedades de alfalfa.

Variedad	RI vs. TC		RI vs. IAF		RI vs. AP	
	(R ²)	Sig.	(R ²)	Sig.	(R ²)	Sig.
Aragón	0.6593	*	0.7188	**	0.8199	**
Valenciana	0.6614	*	0.7173	**	0.7153	**
Chipilo	0.8758	***	0.8213	***	0.9441	****
Milenia	0.9437	****	0.9683	****	0.9223	****
Oaxaca	0.8941	***	0.8406	***	0.9591	****
Promedio	0.8068	**	0.8132	***	0.8721	***

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; **** $p < 0.0001$; Sig= significativo; IL= intercepción de luz; TC= tasa de crecimiento; IAF= índice de área foliar; AP= altura de planta.
Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Las tasas de crecimiento aumentan conforme se presentan las temperaturas óptimas para el crecimiento de la alfalfa (Rojas *et al.*, 2016a). Durante las estaciones de primavera y verano se presentan las temperaturas óptimas que van de 15 °C a 28 °C, lo que beneficia el rendimiento y tasa de crecimiento de las variedades de alfalfa (Rojas-García *et al.*, 2017). Por otra parte, Villegas *et al.* (2004) reportan la mayor tasa de crecimiento en Valenciana y Oaxaca en la estación de primavera con 155 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ y 93 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, mientras que en invierno y otoño reportan las menores tasas de crecimiento con 63 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ y 62 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, para la variedad Valenciana y Oaxaca, resultados que coinciden con la mayor y menor temperatura, similar a lo obtenido en la presente investigación.

Zaragoza *et al.* (2009), al evaluar asociaciones de alfalfa con pasto ovilla, reportan la mayor tasa de crecimiento en primavera con 95 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, y fue 22% superior a la tasa en verano y otoño y 83% superior a la tasa en invierno. Esto lo atribuyen a que, en esta estación, se presentaron los valores mensuales promedio más altos de temperatura, radiación solar y horas luz, y coincidieron con la mayor acumulación de forraje.

Mientras tanto, Hernández, Pérez & Hernández (1992) obtuvieron la mayor tasa de crecimiento en alfalfa con una frecuencia de seis semanas y la menor de cuatro semanas. Rivas-Jacobo, López-Castañeda, Hernández-Garay & Pérez-Pérez (2005) evaluaron cinco variedades de alfalfa en el Valle de México, reportan una tasa de crecimiento con el siguiente orden descendente: Oaxaca, San Miguelito, Moapa, Cuf 101 y Valenciana con 98 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, 97 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, 92 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, 74 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ y 73 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, respectivamente. Ellos describen la mayor tasa de crecimiento en verano con 132 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ y la menor en invierno con 59 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, resultados que son mayores a los del presente estudio, posiblemente porque la evaluación fue en el primer año de establecidas las alfalfas, ya que con el tiempo las praderas pierden persistencia (Rojas *et al.*, 2016b).

Solo se alcanzó el 95% de intercepción de luz en la estación de verano con la variedad Milenia, ya que Mattera, Romero, Cuatrin, Cornaglia & Grimoldi (2013) mencionan que solo se alcanza el 95% de intercepción de luz cuando la densidad de plantas sea competitiva y, en este caso, la densidad de plantas

disminuyó conforme transcurrió el tiempo de evaluación. Por otra parte, Da Silva & Nascimento (2007) señalan que se debe cosechar el forraje a 95% de intercepción siempre y cuando la temperatura, precipitación y densidad sean los adecuados. En la presente investigación, la intercepción de luz disminuyó en otoño e invierno probablemente por la baja temperatura registrada en esas estaciones (figura 1) y por el tiempo de la pradera, ya que llevaba más de dos años de haber sido establecida. Al respecto, Rojas-García *et al.* (2017) reportan una disminución considerable en coronas de alfalfa cuando alcanza tres años de establecida. Resultados similares reportaron varios investigadores (Mendoza *et al.*, 2010; Rojas *et al.*, 2016a) en praderas de alfalfa en el Valle de México, donde la mayor radiación interceptada promedio fue en la estación de verano y la menor en invierno.

En una investigación, Mattera *et al.* (2013), al estudiar la densidad de plantas de alfalfa, reportaron en la estación de primavera la mayor intercepción de luz con 95% en todas las distancias entre plantas evaluadas (10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm y 30 cm) relacionada con la mayor temperatura. Por otro lado, en verano e invierno solo se alcanzó el 95% de radiación interceptada a 10 cm y 15 cm de distancia entre plantas, ya que entre mayor separación entre plantas, se complica más cubrir el dosel vegetal. Varios autores (Baldissera *et al.*, 2014; Mattera *et al.*, 2013; Rojas *et al.*, 2016b) mencionan que entre menor sea la separación entre plantas, mayor es el rendimiento, radiación interceptada e índice de área foliar.

Estudios realizados en alfalfa (Hernández, Pérez & Hernández, 1992) muestran que la mayor área foliar se registra cuando la frecuencia es de seis y ocho semanas, en comparación con la de cuatro semanas. En una investigación, comparando dos variedades de alfalfa con diferente dosis de fertilizante orgánico y urea, Abusuwar & Daur (2014) mencionan que la variedad Cuf-101 tuvo mayor índice de área foliar en todos los cortes con un promedio de 4.4 en comparación con la variedad Hegazi que obtuvo 4.1 cuando se fertilizó con 4 t de gallinaza y 120 kg ha⁻¹ de urea. Mattera *et al.* (2013) investigaron en praderas de alfalfa la distancia entre plantas, encontrando a una distancia de 10 cm entre plantas el mayor índice de área foliar con 4.1, mientras que a 30 cm encontraron el menor con 2.9. Estos mismos autores también reportaron que, durante primavera y verano, el mayor índice de área foliar se presenta cuando la separación entre plantas es de 15 cm (3.03) y el menor índice se presenta con una separación de plantas de 30 cm (1.86).

Por su parte, Pérez *et al.* (2002) mencionan que el área foliar es una de las principales variables que afectan el crecimiento de las especies forrajeras por estar estrechamente relacionada con la actividad fotosintética. Mencionan que el área foliar varía con la intensidad lumínica y con la época del año, las especies más demandantes de luz presentan una mayor área foliar, además de elevadas concentraciones de proteína en las hojas. En otra investigación, al evaluar diferentes frecuencias de corte en praderas de alfalfa San Miguelito, los autores reportaron la mayor área foliar por tallo en verano con una frecuencia de cinco semanas y con un promedio de 108 cm² tallo⁻¹, mientras que la menor área foliar (17 cm² tallo⁻¹) se presentó en invierno, en la frecuencia con cuatro semanas (Mendoza *et al.*, 2010). En esta misma estación, observaron que el área foliar por tallo se incrementó conforme se redujo la frecuencia de corte.

Villegas *et al.* (2004), en variedades de alfalfa, reportan un incremento en el índice de área foliar conforme aumenta la tasa de crecimiento y la edad de rebrote hasta alcanzar un máximo, para luego disminuir a consecuencia de la senescencia de los estratos inferiores; en la variedad Valenciana, el índice de área foliar obtuvo el siguiente resultado: invierno, primavera, verano y otoño con 2.6, 2.3, 1.4 y 1.4, respectivamente. Resultados similares con el presente estudio fueron aquellos obtenidos por Rojas *et al.* (2016a) que, al evaluar variedades de alfalfa en el Valle de México, en promedio obtuvieron el siguiente orden: verano (5.4) > primavera (4.4) > otoño (3.6) > invierno (2.1).

Acorde a la variable altura de la planta, Rojas *et al.* (2016a) recomiendan que para el Valle de México el mayor rendimiento de alfalfa se logra con cortes a una altura de la planta de 61 cm en verano y de 27 cm

en invierno, con un intervalo entre cortes de cuatro y seis semanas, respectivamente. Morales *et al.* (2006) reportaron en 14 variedades de alfalfa un promedio en altura de 58 cm; la variedad Puebla 76 obtuvo la mayor altura, con 68.9 cm, así como el mayor rendimiento. Los resultados anteriores son similares a esta investigación, ya que las variedades con mayor altura obtuvieron la mayor tasa de crecimiento y, por ende, mayor rendimiento de forraje.

Asimismo, Hernández, Pérez & Hernández (1992), al evaluar frecuencia de corte, reportaron una altura de 58 cm con cortes espaciados cada ocho semanas y de 40 cm, al disminuir la frecuencia a cada cuatro semanas. De acuerdo con Celebi, Kaya, Saharand & Yergin (2010) y Chen *et al.* (2012), el rendimiento de forraje y el aumento en altura se incrementan cuando se alarga a más de cinco semanas el intervalo entre cortes. En otra investigación (Avci, Ozkose & Tamkoc, 2013), los autores reportaron en siete variedades de alfalfa, en dos años de producción y en dos regiones, un promedio de altura con 66 cm y una producción de 21 710 kg MS ha⁻¹; la variedad con más altura obtuvo 77.2 cm, la cual fue la variedad Verko, además, obtuvo mayor rendimiento y tasa de crecimiento en el segundo año de producción.

Varios investigadores (Rojas *et al.*, 2016a; Sage & Kubein, 2007) han indicado que conforme se aumenta el índice de área foliar, se incrementa la cantidad de luz interceptada y, con ello, la tasa de crecimiento y altura de la planta. Con el aumento en el área foliar se tiene una mayor intercepción de luz; sin embargo, las hojas en los estratos inferiores reciben menor calidad de luz, por lo que provocan reducción en el crecimiento y en la tasa de asimilación neta; por ello, el mayor rendimiento de los forrajes coincide con el mayor índice de área foliar y altura de la planta (Morales *et al.*, 2006; Rojas *et al.*, 2016a; Velasco *et al.*, 2001).

Por otra parte, Teixeira, Moot & Brown (2008) y Hernández *et al.* (2012) asemejan que la capacidad que posee una pradera para producir forraje depende de las condiciones ambientales como temperatura, principalmente, y el grado de intercepción de la radiación solar por las hojas (Pineda-Herrera, Valdez-Hernández & Pérez-Olvera, 2016). Da Silva & Nascimento (2007) y Grijalva-Contreras, Robles-Contreras, Macías-Duarte, Santillano-Cázares & Núñez-Ramírez (2016) mencionan que después de que se alcanza el índice de área foliar óptimo, las hojas que se encuentran abajo del dosel vegetal reciben poca intercepción de luz, convirtiéndose en hojas amarillentas y senescentes, las cuales llegan a morir y, en tal caso, se puede tener un crecimiento negativo. La variedad Valenciana es la más producida en la región, por la recomendación de las casas comerciales; sin embargo, para esta región se muestra que la variedad Milenia presenta mejores características de producción.

Conclusiones

Existe una alta relación entre las variedades de alfalfa y la intercepción de luz, tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de planta. Entre mayor sea la intercepción de luz, mayor será la tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de planta. También se observó estacionalidad, teniendo en verano las mejores condiciones para producción de forraje y menor en invierno. Por tener las mejores cualidades de rendimiento, se recomienda producir en el Valle de México la variedad comercial Milenia. Se recomienda seguir investigando sobre estos parámetros de producción en mayor tiempo y variedades de alfalfa y, con ello, abrir más el panorama de decisiones.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo por el financiamiento y asesoría otorgada para la realización de esta investigación.

Referencias

- Abusuwar, A. O., & Daur, I. (2014). Effect of poultry and cow manures on yield, quality and seed production of two alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars under natural saline environment of western Saudi Arabia. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 12(2), 747-751. doi: <https://doi.org/10.1234/4.2014.5231>
- Avci, M., Cinar, S., Yucel, C., & Inal, I. (2010). Evaluation of some selected alfalfa (*Medicago sativa* L.) lines for herbage yield and forage quality. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(3-4), 545-549.
- Avci, M. A., Ozkose, A., & Tamkoc, A. (2013). Determination of yield and quality characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties grown in different locations. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 12(4), 487-490. doi: <http://dx.doi.org/10.3923/javaa.2013.487.490>
- Baldissera, T. C., Frak, E., Carvalho, P. C., & Louarn, G. (2014). Plant development controls leaf area expansion in alfalfa plants competing for light. *Annals of Botany*, 113(1), 145-157. doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mct251>
- Celebi, S. Z., Kaya, I., Sahar, A. K., & Yergin, R. (2010). Effects of the weed density on grass yield of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) in different row spacing applications. *African Journal of Biotechnology*, 9(41), 6867-6872.
- Chen, J., Tang, F., Zhu, R., Gao, C., Di, G., & Zhang, Y. (2012). Effects of cutting frequency on alfalfa yield and yield components in Songnen Plain, Northeast China. *African Journal of Biotechnology*, 11(21), 4782-4790. doi: <http://dx.doi.org/10.5897/AJB12.092>
- Da Silva, S. C., & Nascimento, J. (2007). Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(Suppl.), 122-138.
- Flores-Santiago, E. J., Hernández-Garay, A., Guerrero-Rodríguez, J. D., Vaquera-Huerta, H., Cadena-Villegas, S., Mendoza-Pedroza, S. I., & Ramírez-Sánchez, O. (2018). Dinámica poblacional de plantas y tallos de ballico perenne (*Lolium perenne* L.) solo y asociado con pasto ovinillo (*Dactylis glomerata* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). *Acta Universitaria*, 28(1), 30-37.
- García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Grijalva-Contreras, R. L., Robles-Contreras, F., Macías-Duarte, R., Santillano-Cázares, J., & Núñez-Ramírez, F. (2016). Nitrógeno en trigo y su efecto en el rendimiento y en la concentración de nitratos y potasio en el extracto celular de tallo (ECT). *Acta Universitaria*, 26(5), 48-54. doi: <https://doi.org/10.15174/au.2016.963>
- Hernández, G. A., Pérez, P. J., & Hernández, G. V. A. (1992). Crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferentes regímenes de cosecha. *Agrociencia*, 2, 131-144.
- Hernández, G. A., Martínez, H. P. A., Zaragoza, E. J., Vaquera, H. H., Osnaya, G. F., Joaquín, T. B. M., & Velasco, Z. M. E. (2012). Caracterización del rendimiento de forraje de una pradera de alfalfa-ovillo al variar la frecuencia e intensidad de pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(3), 259-266.
- Mattera, J., Romero, L. A., Cuatrin, A. L., Cornaglia, P. S., & Grimoldi, A. A. (2013). Yield components, light interception and radiation use efficiency of lucerne (*Medicago sativa* L.) in response to row spacing. *European Journal of Agronomy*, 45, 87-95. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.10.008>
- Mendoza, P. S. I., Hernández, G. A., Pérez, P. J., Quero, C. A. R., Escalante, E. J. A., Zaragoza, R. J. L., & Ramírez, R. O. (2010). Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(3), 287-296.
- Montes, C. F. J., Castro, R. R., Aguilar, B. G., Sandoval, T. S., & Solís, O. M. M. (2016). Acumulación estacional de biomasa aérea de alfalfa Var. Oaxaca criolla (*Medicago sativa* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7(4), 539-552. doi: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v7i4.4281>
- Morales, A. J., Jiménez, V. J. L., Velasco, V. V. A., Villegas, A. Y., Enríquez, del V. J. R., & Hernández, G. A. (2006). Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertiriego en la mixteca de Oaxaca. *Técnica Pecuaria en México*, 44(3), 277-288.
- Pérez, B. M. T., Hernández, G. A., Pérez, P. J., Herrera, H. J. G., & Bárcena, G. R. (2002). Respuesta productiva y dinámica de rebrote del pasto ballico perenne a diferentes alturas de corte. *Técnica Pecuaria México*, 40(3), 251-263.

- Pineda-Herrera, E., Valdez-Hernández, J. I., & Pérez-Olvera, C. (2016). Crecimiento en diámetro y fenología de *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. en Costa Grande, Guerrero, México. *Acta Universitaria*, 26(4), 19-28. doi: <https://doi.org/10.15174/au.2016.914>
- Rivas-Jacobo, M. A., López-Castañeda, C., Hernández-Garay, A., & Pérez-Pérez, J. (2005). Efecto de tres regímenes de cosecha en el comportamiento productivo de cinco variedades comerciales de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Técnica Pecuaria en México*, 43(1), 79-92.
- Rojas, G. A., Hernández-Garay, A., Joaquín, C. S., Maldonado, P. M., Mendoza, P. S., Álvarez, V. P., & Joaquín, T. B. (2016a). Comportamiento productivo de cinco variedades de Alfalfa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(8), 1855-1866. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i8.97>
- Rojas, G. A. R., Hernández, G. A., Quero, C. A. R., Guerrero, R. J. D., Ayala, W., Zaragoza, R. J. L., & Trejo, L. C. (2016b). Persistencia de *Dactylis glomerata* L. solo y asociado con *Lolium perenne* L. y *Trifolium repens* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4), 885-895.
- Rojas-García, A. R., Torres-Salado, N., Joaquín-Cancino, S., Hernández-Garay, A., Maldonado-Peralta, M. A., & Sánchez-Santillán, P. (2017). Componentes del rendimiento en variedades de Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Agrociencia*, 51(7), 697-708.
- Sage, R., & Kubein, D. (2007). The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. *Plant Cell Environ*, 30(9), 1086-1106. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01682.x>
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. (2009). SAS/STAT® 9.2. Use's Guide Release. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SIAP-Sagarpa). (2014). Delegación en el Estado. Subdelegación de Planeación. Recuperado el 15 de julio de 2017 de <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>
- Teixeira, E. I., Moot, D. J., & Brown, H. E. (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(2), 103-111. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.05.004>
- Velasco, Z. M. E., Hernández, G. A., González, H. V. A., Pérez, P. J., Vaquera, H. H., & Galvis, S. A. (2001). Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.). *Técnica Pecuaria en México*, 39(1), 1-14.
- Villegas, A. Y., Hernández, G. A., Pérez, P. J., López, C. C., Herrera, H. J. G., Enríquez, Q. J. F., & Gómez, V. A. (2004). Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Técnica Pecuaria en México*, 42(2), 145-158.
- Zaragoza, E. J., Hernández-Garay, A., Pérez, P. J., Herrera, H. J. G., Osnaya, G. F., Martínez, H. P. A., González, M. S. S., & Quero, C. A. R. (2009). Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto Ovillo. *Técnica Pecuaria en México*, 47(2), 173-188.