

Comportamiento productivo de cinco variedades de alfalfa*

Productive behavior of five alfalfa varieties

Adelaido Rafael Rojas García^{1§}, Alfonso Hernández-Garay¹, Santiago Joaquín Cansino², María de los Ángeles Maldonado Peralta¹, Sergio Iban Mendoza Pedroza³, Perpetuo Álvarez Vázquez¹ y Bertín Maurilio Joaquín Torres⁴

¹Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 015 95 95 202 79. (rogarcia_05@hotmail.com; hernan@colpos.mx; alvarez.perpetuo@colpos.mx). ²Universidad Autónoma de Tamaulipas- C. U. Adolfo López Mateos, Ciudad Victoria, Tamaulipas. CP. 87149. México. (santiagooc@colpos.mx). (maldonado.maria@colpos.mx). ³Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5, Chapingo, Estado de México, México. CP. 56230. Tel. 595 95 21 500. (simpedroza@hotmail.com). ⁴Universidad del Papaloapan. Loma Bonita, Oaxaca. (bmaurilio@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: rogarcia_05@hotmail.com.

Resumen

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es la leguminosa forrajera más utilizada en la alimentación del ganado productor de leche en los Estados Unidos de América y México. El objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta productiva de cinco variedades de alfalfa con intervalos de corte definidos estacionalmente. La investigación se realizó de junio de 2010 a junio de 2011 en el Colegio de Postgraduados, México. Las variedades comerciales evaluadas fueron: San Miguelito, Júpiter, Atlixco, Vía láctea y Cuf 101, las cuales se distribuyeron aleatoriamente en 20 parcelas experimentales de 12 por 9 m, de acuerdo a un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron: tasa de crecimiento, radiación interceptada, índice de área foliar y altura de planta. Las variedades Júpiter y Cuf 101 con 56 y 37 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ registraron la mayor y menor tasa de crecimiento, respectivamente. La variedad que mayor radiación interceptada registró fue Júpiter con un promedio anual de 85%; de la cual la distribución estacional a través del año fue 95% en primavera, 93% en verano, 82% en otoño y 80% en invierno. En la estación de verano se encontró el mayor índice de área foliar con 5.4, seguido de primavera, otoño e invierno con 4.4, 3.6 y 2.1, respectivamente.

Abstract

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is the most commonly used legume forage in the diet of dairy cattle in the United States and Mexico. The objective of this research was to evaluate the productive response of five alfalfa varieties with defined cutting intervals seasonally. The research was conducted from June 2010 to June 2011 in the Colegio de Postgraduados, Mexico. Commercial varieties evaluated were: San Miguelito, Jupiter, Atlixco, Via lactea and Cuf 101, which were randomly distributed into 20 experimental plots of 12 x 9 m, according to a randomized complete block with four replications. The variables evaluated were: growth rate, intercepted radiation, leaf area index and plant height. Jupiter and Cuf 101 varieties with 56 and 37 kg DM ha⁻¹ d⁻¹ recorded the highest and lowest growth rate, respectively. The variety that recorded higher intercepted radiation was Jupiter with an annual average of 85%; of which seasonal distribution throughout the year was 95% in spring, summer 93%, in fall 82% and winter 80%. In the summer season recorded the highest rate of leaf area with 5.4, followed by spring, autumn and winter with 4.4, 3.6 and 2.1, respectively. In conclusion there is a positive relationship in the five alfalfa varieties, between intercepted radiation, growth rate, leaf area index and plant height.

* Recibido: agosto de 2016
Aceptado: diciembre de 2016

En conclusión existe una relación positiva, en las cinco variedades de alfalfa, entre radiación interceptada, tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de planta.

Palabras clave: *Medicago sativa*, altura, índice de área foliar, radiación interceptada, tasa de crecimiento.

Introducción

En México, la alfalfa (*Medicago sativa* L.) es la leguminosa forrajera más utilizada para la alimentación del ganado lechero, en las regiones árida, semiárida y templada. La producción nacional de alfalfa, así como la superficie sembrada, muestran una tendencia estable desde 1992 y la mayor superficie sembrada y cosechada se encuentra en los estados de Jalisco, Hidalgo, Guanajuato y Baja California y en menor proporción, en Coahuila, Durango, Estado de México y Puebla (SAGARPA, 2014). La importancia de esta especie se debe a la cantidad de forraje obtenido por unidad de superficie, y al alto valor nutritivo, por ser apetecible y consumido por gran número de animales, sea en estado fresco, henificada o ensilada (Juncafrasca, 1983).

No obstante, Hernández-Garay *et al.* (1992) evidenciaron que la frecuencia de corte de alfalfa debe definirse con base en el estado de desarrollo de la planta, para lograr los máximos rendimientos anuales de forraje y persistencia. Pérez *et al.* (2002) demostraron que conocer la velocidad de rebrote entre defoliaciones sucesivas es fundamental para entender el efecto de la frecuencia y severidad de cosecha sobre el rendimiento. Mendoza *et al.* (2010) menciona que en alfalfa cortes frecuentes disminuyen el rendimiento de forraje, área foliar e incrementan la invasión de otras especies, por lo que no se recomienda cosechar la alfalfa a intervalos de tres semanas, debido a que se afecta la persistencia de la especie.

Diferentes autores (Rivas *et al.*, 2005; Zaragoza *et al.*, 2009) reportaron la mayor tasa de crecimiento en alfalfa en las estaciones de primavera - verano y menor en invierno. Por otra parte, Villegas *et al.* (2004) obtienen la mayor tasa de crecimiento en dos variedades de alfalfa en primavera, seguida de invierno, verano y menor en otoño. Zaragoza *et al.* (2009) registraron en primavera, el máximo índice de área foliar en alfalfa fue superior con respecto al de otras estaciones y el de verano mayor al de otoño e invierno con valores de 3.5, 2.8, 2 y 1.9.

Keywords: *Medicago sativa*, growth rate, height, intercepted radiation, leaf area index.

Introduction

In Mexico, alfalfa (*Medicago sativa* L.) is the most commonly legume used as forage for dairy cattle, in arid, semiarid and temperate regions. Domestic production of alfalfa, thus the area planted show a stable trend since 1992 and the largest area sown and harvested is located in the states of Jalisco, Hidalgo, Guanajuato and Baja California and to a lesser extent, in Coahuila, Durango, State of Mexico and Puebla (SAGARPA, 2014). The importance of this species is due to the amount of forage obtained per unit area, and high nutritional value, being appetizing and consumed by large numbers of animals, whether fresh, as hay or silage (Juncafrasca, 1983).

However, Hernández-Garay *et al.* (1992) showed that cut frequency of alfalfa should be defined based on the state of development of the plant, to achieve maximum annual forage yields and persistence. Pérez *et al.* (2002) showed that knowing the speed of regrowth between successive defoliation is critical to understand the effect of the frequency and severity of harvest on yield. Mendoza *et al.* (2010) mentions that in alfalfa frequent cuts decrease forage yield, leaf area and increase the invasion of other species, so it is not recommended to harvest alfalfa at intervals of three weeks because the persistence of the species is affected.

Different authors (Rivas *et al.*, 2005; Zaragoza *et al.*, 2009) reported the highest growth rate of alfalfa in spring-summer season and lower in winter. Moreover, Villegas *et al.* (2004) obtained the highest growth rate in two alfalfa varieties in spring, followed by winter, summer and lower in autumn. Zaragoza *et al.* (2009) recorded in spring the maximum leaf area index, in alfalfa was higher compared to other seasons and higher than summer autumn and winter with values of 3.5, 2.8, 2 and 1.9.

In autumn and winter leaves accumulation decreased due to reduced plant growth caused by low temperatures and lower solar radiation. In this regard, various authors mention that net accumulation of forage is at a peak, when the largest leaf area index is reached (Chapman and Lemaire, 1993); the leaf area index of the prairie at this point is defined as the optimum leaf area index. Morales *et al.* (2006) reported plant

En otoño e invierno la acumulación de hojas disminuyó debido a la reducción del crecimiento de la planta causada por las bajas temperaturas y menor radiación solar. Al respecto, diversos autores mencionan que la acumulación neta de forraje está en un punto máximo, cuando se alcanza el mayor índice de área foliar (Chapman and Lemaire, 1993); el índice de área foliar de la pradera en este punto es definido como el índice de área foliar óptimo. Morales *et al.* (2006) reportan altura de planta en 14 variedades de alfalfa, las variedades con mayor altura se relacionan con el mayor rendimiento total, tasa de crecimiento y relación hoja: tallo. Sin embargo, existe poca información sobre estos parámetros de rendimiento en México. En base a lo anterior el objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta productiva de cinco variedades comerciales de alfalfa con intervalos de corte definidos estacionalmente con los siguientes atributos: tasa de crecimiento, radiación interceptada, índice de área foliar y altura de planta.

Materiales y métodos

El experimento se realizó de junio 2010 a junio 2011, en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México, ubicado a 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste, a una altura de 2 240 msnm. El clima del lugar es templado subhúmedo, el más seco de los subhúmedos, con precipitación media anual de 636.5 mm, y un régimen de lluvias en verano (de junio a octubre) y temperatura promedio anual de 15.2 °C (García, 2004). El suelo es un Typic ustipsamments de textura franco arenoso, ligeramente alcalino con pH entre 7-8 y 2.4% de materia orgánica. (Ortiz, 1997). Se utilizaron cinco variedades comerciales de alfalfa: San Miguelito, Júpiter, Atlixco, Vía láctea y Cuf 101, establecida el 18 de abril de 2008. La siembra se realizó al boleó y el área de estudio se dividió en 20 parcelas de 108 m² (12 por 9 m), con una densidad de siembra de 30 kg ha⁻¹ de semilla pura viable, la cual se ajustó por el peso de la semilla y el porcentaje de germinación de cada variedad. Al inicio del experimento se realizó un corte de uniformización (02 de junio de 2010), a una altura promedio de 5 cm, con un tractor-podador, la fase experimental concluyó el día 21 de junio de 2011. Durante el periodo experimental (junio de 2010 a junio de 2011) las parcelas fueron regadas, únicamente durante el periodo de seca, cada dos semanas a capacidad de campo. El intervalo entre cortes varió de acuerdo a la estación del año; en primavera y verano las plantas se cortaron cada cuatro semanas, en otoño cada cinco y en invierno cada seis semanas.

height in 14 alfalfa varieties, varieties with greater height are related to higher yield, growth rate and leaf:stem ratio. However there is little information on these yield parameters in Mexico. Based on the above, the objective of this study was to evaluate the productive response of five commercial alfalfa varieties with defined cutting intervals seasonally with the following attributes: growth rate, intercepted radiation, leaf area index and plant height.

Materials and methods

The experiment was conducted from June 2010 to June 2011 in the experimental field from the Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, State of Mexico, located at 19° 29' north latitude and 98° 53' west longitude at an altitude of 2 240 masl. The climate is temperate subhumid, the driest from the subhumid, with annual rainfall of 636.5 mm, and summer rainfall (June to October) and average annual temperature of 15.2 °C (García, 2004). The soil is Typic Ustipsamments sandy loam, slightly alkaline with pH between 7-8 and 2.4% organic matter (Ortiz 1997). Five commercial alfalfa varieties were used: San Miguelito, Jupiter, Atlixco, Via lactea and Cuf 101, established on April 18th, 2008. Sowing was performed through broadcast seed and the study area was divided into 20 plots of 108 m² (12 x 9 m) with a seeding density of 30 kg ha⁻¹ of pure viable seed, which was adjusted by seed weight and germination percentage of each variety. At the beginning of the experiment a standardization cut was performed (June 2nd, 2010), at an average height of 5 cm, with a tractor-pruner, the experimental phase concluded on June 21st, 2011. During the experimental period (June 2010 to June 2011) the plots were irrigated only during the dry period, every two weeks at field capacity. The interval between cuts varied according to the season; in spring and summer the plants were cut every four weeks, in the fall every five and in winter every six weeks.

Forage growth rate

To calculate growth rate in each plot of alfalfa, at the beginning of the study, were placed at random two squares of 0.25 m² per replication. The forage within each square was harvested one day before the cut, leaving it at a height of 5 cm, placed in paper bags previously labeled, washed and exposed to a drying process in a forced air oven at a temperature 55 °C for 72 h; once the forage sample was dry it was weighted, to determine the yield per unit area (kg DM

Tasa de crecimiento de forraje

Para calcular la tasa de crecimiento, 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 durante 72 h. Una vez seca la muestra de forraje se registró en 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, en cada una de las repeticiones, con la siguiente fórmula:

$$TC = R / T$$

Donde: TC= tasa de crecimiento promedio estacional (kg MS ha⁻¹ d⁻¹); R= rendimiento estacional (kg MS ha⁻¹); y T= días transcurridos en cada corte.

Radiación interceptada

Un día previo a cada corte, se tomaron al azar cinco lecturas de radiación por repetición con el método del metro de madera descrito por Adams and Arkin (1977) en cada unidad experimental. Las lecturas se realizaron aproximadamente a las 13:00 h (es el mejor tiempo para medir la cobertura en el dosel, porque a esta hora, el ángulo solar es alto y la intercepción de la luz cambia al mínimo). El procedimiento consistió en colocar la regla en la superficie del suelo (debajo del dosel), con orientación sur-norte, e inmediatamente después, se contaron los centímetros sombreados, los cuales representaron el porcentaje de radiación interceptada por el dosel vegetal

Índice de área foliar

Para determinar el índice de área foliar, un día de cada corte, se separaron las hojas de 5 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. Estas lecturas en conjunto con el número de tallos por metro cuadrado permitieron estimar el índice de área foliar por medio de la siguiente fórmula:

$$IAF = AF * DT$$

ha⁻¹). Subsequently, the growth rate was calculated with yield data obtained from each cut, in each of the replicates with the following formula:

$$TC = R / T$$

Where: TC= seasonal average growth rate (kg DM ha⁻¹ d⁻¹); R= seasonal yield (kg MS ha⁻¹); and T= days after each cut.

Intercepted radiation

A day before each cut, five radiation readings were performed at random per replication with the meter stick method described by Adams and Arkin (1977) in each experimental unit. Readings were taken at approximately 13:00 h (is the best time to measure canopy coverage, because at this time, the sun angle is high and light interception changes to minimum). The procedure consisted of placing the rule on the soil surface (under the canopy), with south-north orientation, and immediately after, the shaded centimeters were counted, which represented the percentage of intercepted radiation by crop canopy.

Leaf area index

To determine the leaf area index, a day from each cut, leaves from 5 stems were separated per replication of each variety and placed in a leaf area integrator CID, Inc, CI-202 scanner, obtaining readings in cm² per stem. These readings along with the number of stems per square meter allowed estimating the leaf area index through the following formula:

$$LAI = AF * DT$$

Where: LAI= leaf area index; AF= leaf area per stem; and DT= stem density (m⁻²).

Plant height

To estimate the average height per plant of each variety, a day before the cut, 25 readings per replication were randomly taken. To do this a ruler of 100 cm, which was placed randomly in the plot, so that the bottom of the ruler remain at ground level was used. Subsequently, a device that the rules has, was placed vertically above the crop canopy and slid down until it touched some morphological component and recorded the height.

Donde: IAF= índice de área foliar; AF= área foliar por tallo; y DT= densidad de tallos (m^{-2}).

Altura de la planta

Para estimar la altura promedio por planta de cada variedad, un día antes del 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 éste tocó algún componente morfológico y se registró la altura.

Datos climáticos

Los datos de temperatura máxima, mínima, así como, la 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 (Figura 1). La temperatura máxima se observó en julio de 2010 y de marzo a junio de 2011 con un promedio de 28 °C que corresponden a la estación de primavera y verano, principalmente. La temperatura mínima se registró en el mes de diciembre de 2010, enero y febrero de 2011 con un promedio de -1 °C, correspondiente a la estación de invierno. Las temperaturas más apropiadas para el crecimiento de la alfalfa se presentaron durante la estación de primavera y verano. La mayor precipitación (mm) se concentró en los meses de julio, agosto, septiembre y noviembre de 2010 y junio de 2011 con una precipitación acumulada de 404 mm siendo en las estaciones de verano y otoño principalmente. Los meses con menor precipitación fueron diciembre de 2010 y enero de 2011 con 13 mm correspondiente a la estación de invierno, principalmente.

Análisis estadístico

Para comparar el efecto de las variedades de alfalfa estudiadas, se realizó un análisis de varianza con el procedimiento de Modelos Mixtos (SAS, 2009), con un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ajustada ($\alpha= 0.05$) según Steel y Torrie (1988).

Weather data

Maximum, minimum temperature and distribution of rainfall data during the evaluation period were obtained from the agro-meteorological station of the Colegio de Postgraduados, located at 100 m from the experimental area (Figure 1). The maximum temperature was observed in July 2010 and from March to June 2011 with an average of 28 °C corresponding to the spring and summer season, mainly. The minimum temperature was recorded in the months of December 2010, January and February 2011 with an average of -1 °C, corresponding to the winter season. The most appropriate temperature for alfalfa growth was during the spring and summer season. The highest rainfall (mm) concentrated in the months of July, August, September and November from 2010 and June 2011 with an accumulated rainfall of 404 mm being in the summer and fall seasons mainly. The months with less precipitation were December 2010 and January 2011 with 13 mm corresponding to the winter season.

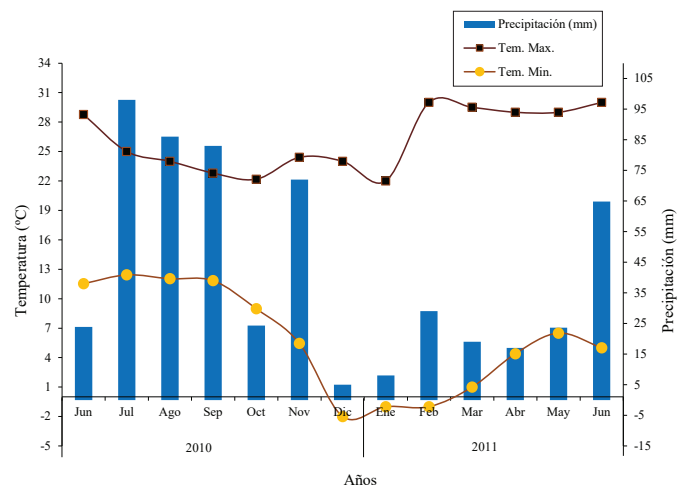


Figura 1. Temperatura media mensual máxima, mínima y precipitación acumulada mensual durante el periodo de estudio (junio 2010 a junio 2011).

Figure 1. Monthly average maximum, minimum temperature and monthly accumulated rainfall during the study period (June 2010 to June 2011).

Statistical analysis

To compare the effect of alfalfa varieties studied, an analysis of variance was performed with the procedure mixed models (SAS, 2009), with a randomized block design with four

Resultados y discusión

Tasa de crecimiento

En el Cuadro 1 se presenta la tasa de crecimiento estacional y promedio anual de cinco variedades comerciales de alfalfa. Se registraron diferencias estadísticas entre ellas siendo Júpiter, Atlíxco, Vía Láctea y San Miguelito las que mostraron las mayores tasas de crecimiento con un promedio de 50.7 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, mientras que Cuf 101 presentó la menor tasa de crecimiento promedio con 37 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ ($p < 0.05$). En general, se observó una marcada estacionalidad en la tasa de crecimiento, con el siguiente orden descendente: verano > primavera > otoño > invierno con 70, 50, 46 y 25 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, respectivamente ($p < 0.05$). Estos resultados se puede atribuir a que las tasas de crecimiento aumentan conforme se presentan las temperaturas óptimas para el crecimiento de la alfalfa (Rojas *et al.*, 2012). Durante las estaciones de primavera y verano se presentaron temperaturas óptimas (Figura 1), lo que benefició el crecimiento y productividad de todas las variedades evaluadas.

Cuadro 1. Cambios estacionales en la tasa de crecimiento (kg MS ha⁻¹d⁻¹) de cinco variedades de alfalfa.
Table 1. Seasonal changes in growth rate (kg DM ha⁻¹ d⁻¹) from five alfalfa varieties.

Variiedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio
San Miguelito	71 Aa	44 ABb	25 ABc	48 Ab	47 AB
Júpiter	80 Aa	54 Ab	30 Ac	60 Ab	56 A
Atlíxco	74 Aa	48 Ab	28 Ac	54 Ab	51 A
Vía Láctea	74 Aa	47 ABb	28 Ac	47 Ab	49 AB
Cuf 101	53 Ba	35 Bb	16 Bc	42 Aab	37 B
Promedio	70 a	46 b	25 c	50 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 ($p > 0.05$).

Zaragoza *et al.* (2009) al estudiar alfalfa asociada con pasto oவில்lo reportan la mayor tasa de crecimiento promedio en primavera (95 kg MS ha⁻¹ d⁻¹) y fue 22 % superior a la observada en verano y otoño y 83% a 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. Villegas *et al.* (2004) reportan la mayor tasa de crecimiento en la variedad Valenciana y Oaxaca en la estación de primavera con 155 y 93 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, respectivamente, mientras que en invierno y otoño reportan las menores tasas de crecimiento con 63 y 62 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, para la variedad Valenciana y Oaxaca, respectivamente, resultados diferentes a los de esta investigación.

replications. The comparison of means was performed using the adjusted Tukey test ($\alpha = 0.05$) according to Steel and Torrie (1988).

Results and discussion

Growth rate

Table 1 shows the seasonal growth rate and annual average of five commercial alfalfa varieties. Statistical difference between them being Jupiter, Atlíxco, Via lactea and San Miguelito which showed the highest growth rates with an average of 50.7 kg DM ha⁻¹ d⁻¹, whereas Cuf 101 had the lowest average growth rate with 37 kg DM ha⁻¹ d⁻¹ ($p < 0.05$) were recorded. Overall, a marked seasonality in the growth rate was observed, with the following descending order: summer > spring > autumn > winter with 70, 50, 46 and 25 kg DM ha⁻¹ d⁻¹, respectively ($p < 0.05$). These results can be attributed to growth rate increases as optimal temperatures for alfalfa growth are present (Rojas *et al.*, 2012). During

the spring and summer season, optimum temperatures (Figure 1) were present, which benefited the growth and productivity of all varieties tested.

Zaragoza *et al.* (2009) when studying alfalfa associated with orchardgrass report the highest average growth rate in spring (95 kg DM ha⁻¹ d⁻¹) and was 22% higher than that observed in summer and autumn and 83% to winter; this is attributed to that in this season the highest average monthly temperature, solar radiation and daylight hours were present and coincided with the largest accumulation of forage. Villegas *et al.* (2004) report the highest growth rate in the variety Valenciana and Oaxaca in spring with 155 and 93 kg DM ha⁻¹ d⁻¹, respectively, while in winter and autumn

Por otra parte, varios investigadores (Rivas *et al.*, 2005) reportaron en cinco variedades de alfalfa, una tasa de crecimiento promedio anual con el siguiente orden descendente: Oaxaca (98 kg MS ha⁻¹ d⁻¹), San Miguel (97 kg MS ha⁻¹ d⁻¹), Moapa (92 kg MS ha⁻¹ d⁻¹), Cuf 101 (74 kg MS ha⁻¹ d⁻¹) y Valenciana (73 kg MS ha⁻¹ d⁻¹). La mayor tasa de crecimiento promedio de las cinco variedades se presentó en el mes de julio con 132 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ y la menor tasa de crecimiento en el mes de enero con 59 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, correspondiendo a la estaciones de verano e invierno, respectivamente; resultados que son mayores a los del presente estudio, sin embargo, similar en el comportamiento estacional. Mientras tanto Hernández-Garay *et al.* (1992) obtuvieron la mayor tasa de crecimiento cosechando alfalfa cada seis semanas, y la menor cosechándola a cuatro semanas.

Radiación interceptada

La radiación interceptada fue afectada significativamente ($p < 0.05$) por la variedad y estación del año (Cuadro 2). Las variedades con mayor radiación interceptada fue Júpiter, Vía Láctea, Atlixco y San Miguelito con un promedio de 83.7%, mientras que el menor valor promedio anual observado lo presentó la variedad Cuf 101 con 71%. En general, se observó para todas las variedades una tendencia estacional ($p < 0.05$), con los siguientes valores promedio: 88, 87, 79 y 69% para verano, primavera, otoño e invierno, respectivamente.

Cuadro 2. Cambios estacionales en la radiación interceptada (%) de cinco variedades de alfalfa.

Table 2. Seasonal changes in intercepted radiation (%) of five alfalfa varieties.

Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio
San Miguelito	88 Ba	80 ABb	65 Bc	85 BCab	80 AB
Júpiter	95 Aa	82 Ab	80 Ab	93 Aa	88 A
Atlixco	86 Bab	80 Ab	72 ABc	90 ABa	82 AB
Vía Láctea	90 Ba	82 Ab	76 Ab	90 ABa	85 A
Cuf 101	81 Ca	73 Bb	52 Cc	78 Cab	71 C
Promedio	88 a	79 b	69 c	87 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 ($p > 0.05$).

Solo se alcanzó 95% de radiación interceptada en la variedad Júpiter en la estación de verano, ya que varios autores (Da Silva e Nascimento, 2007; Da Silva y Hernández-Garay, 2010) consignan que se debe cosechar el forraje a 95% de radiación interceptada; sin embargo, siempre y cuando la densidad de plantas sea competitiva (Mattera *et al.*, 2013), y en este estudio la densidad de plantas disminuyó probablemente por el tiempo de la pradera, ya que llevaba

reported the lowest growth rates with 63 and 62 kg DM ha⁻¹ d⁻¹ for varieties Valencia and Oaxaca, respectively, differing from the results of this work.

Moreover, several researchers (Rivas *et al.*, 2005) reported on five alfalfa varieties, an annual average growth in the following descending order: Oaxaca (98 kg DM ha⁻¹ d⁻¹), San Miguel (97 kg DM ha⁻¹ d⁻¹), Moapa (92 kg DM ha⁻¹ d⁻¹), Cuf 101 (74 kg DM ha⁻¹ d⁻¹) and Valencia (73 kg DM ha⁻¹ d⁻¹). The highest average growth rate from the five varieties was in July with 132 kg DM ha⁻¹ d⁻¹ and the lowest growth rate in January with 59 kg DM ha⁻¹ d⁻¹, corresponding to summer and winter seasons, respectively; results that are higher than those in the present study, however, similar to seasonal behavior. Meanwhile Hernández-Garay *et al.* (1992) had the highest growth rate, harvesting alfalfa every six weeks, and less if harvested every four weeks.

Intercepted radiation

Intercepted radiation was affected significantly ($p < 0.05$) for variety and season (Table 2). Varieties with higher intercepted radiation were Jupiter, Via lactea, Atlixco and San Miguelito with an average of 83.7%, while the lowest annual average value was for Cuf 101 with 71%. Overall, it was observed for all varieties a seasonal trend ($p < 0.05$), with the following average values: 88, 87, 79 and 69% for summer, spring, autumn and winter, respectively.

Only 95% of intercepted radiation in the variety Jupiter in summer season was reached, as several authors (Da Silva and Nascimento, 2007; Da Silva and Hernández-Garay, 2010) mention that it must harvest the forage at 95% of intercepted radiation, however, as long as plant density is competitive (Mattera *et al.*, 2013), and in this study plant density decreased, probably due to the time of the prairie, since it had two years of established and the average lifespan

dos años de establecida, y el promedio de vida útil de las praderas de alfalfa en el Valle de México es de 3 años, cuando se realizan anualmente entre 9 y 11 cortes (Améndola *et al.*, 2005). Resultados similares reportaron varios investigadores (Mendoza *et al.*, 2010; Rojas *et al.*, 2012) en alfalfa, donde la mayor radiación interceptada promedio fue en la estación de verano y la menor en invierno.

Por otra parte, Mattera *et al.* (2013) al estudiar la importancia de la distancia entre plantas de alfalfa encontraron en la estación de primavera la mayor radiación interceptada en todas las distancias entre plantas evaluadas (10, 15, 20, 25 y 30 cm) con 95%. Mientras que en verano e invierno solo se alcanzó el 95% de radiación interceptada a 10 y 15 cm de distancia entre plantas. Varios autores (Mattera *et al.*, 2013; Baldissera *et al.*, 2014) consignan que entre menor sea la separación entre plantas mayor es el rendimiento, radiación interceptada y el índice de área foliar.

Índice de área foliar

En el Cuadro 3 se presentan los cambios estacionales en el índice de área foliar de cinco variedades de alfalfa. Se observaron diferencias estadísticas entre variedades ($p < 0.05$), siendo la variedad Milenia con 5.2 la que registró el mayor promedio; en contraste la variedad que obtuvo el menor promedio fue Cuf 101 con 2.8. 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 5.4 > primavera 4.4 > otoño 3.6 > invierno 2.1. Estudios realizados en alfalfa (Hernández-Garay *et al.*, 1992) muestran que la mayor área foliar se registra cuando se cosecha a 6 y 8 semanas, en comparación con la cosecha a 4 semanas.

of alfalfa grasslands in Valley of Mexico is 3 years, when performed annually between 9 and 11 cuts (Améndola *et al.*, 2005). Similar results reported several researchers (Mendoza *et al.*, 2010; Rojas *et al.*, 2012) in alfalfa, where the highest average intercepted radiation was in summer and the lowest in winter.

Moreover, Mattera *et al.* (2013) when studying the importance of the distance between alfalfa plants found in the spring season the highest intercepted radiation at all distances between plants evaluated (10, 15, 20, 25 and 30 cm) with 95%; while in summer and winter only reached 95% of intercepted radiation at 10 and 15 cm. Several authors (Mattera *et al.*, 2013; Baldissera *et al.*, 2014) recorded that the lower the separation between plants higher yield, intercepted radiation and leaf area index.

LAI

Table 3 presents seasonal changes in leaf area index of five alfalfa varieties. Statistical differences between varieties ($p < 0.05$) were observed, being variety Milenia with 5.2 which recorded the highest average; in contrast the variety that had the lowest average was Cuf 101 with 2.8. Also statistical differences between seasons ($p < 0.05$) were observed, with the following descending order for the average of the five varieties: summer 5.4 > spring 4.4 > autumn 3.6 > winter 2.1. Studies performed in alfalfa (Hernández-Garay *et al.*, 1992) show that the largest leaf area is recorded when harvested at 6 and 8 weeks, compared with the harvest at 4 weeks.

Abusuwar and Daur (2014) in a study comparing two alfalfa varieties with different doses of organic fertilizer and urea, mention that variety Cuf-101 had greater leaf area index in

Cuadro 3. Cambios estacionales en el Índice de Área Foliar de cinco variedades de alfalfa.

Table 3. Seasonal changes in Leaf Area Index of five alfalfa varieties.

Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio
San Miguelito	5.6 Aa	3.6 Bb	2 ABc	4.3 Bab	3.9 B
Júpiter	6.4 Aa	4.8 Ab	2.8 Ac	5.8 Aa	5 A
Atlixco	5.6 Aa	3.5 Bb	2.4 ABc	4.7 Ba	4.1 B
Vía Láctea	5.5 Aa	3.2 Bbc	2.2 ABc	4.3 Bb	3.8 BC
Cuf 101	4 Ba	2.9 Bb	1.2 Bc	3 Cb	2.8 C
Promedio	5.4 a	3.6 bc	2.1 c	4.4 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 ($p > 0.05$).

Abusuwar and Daur (2014) en una investigación comparando dos variedades de alfalfa con diferente dosis de fertilizante orgánico y urea 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 con 4.1 cuando se fertilizo con cuatro toneladas de gallinaza y 120 kg ha⁻¹ de urea. Mattera *et al.* (2013) investigaron la distancia entre plantas de alfalfa, encontrando a una distancia de 10 y 30 cm el mayor (4.1) y menor (2.87) índice de área foliar. Estos mismos autores también reportaron que durante la primavera y verano el mayor índice de área foliar se presentó cuando la separación entre plantas fue de 15 cm (3.03) y el menor con una separación de plantas de 30 cm (1.86).

Mendoza *et al.* (2010) al evaluar diferentes frecuencia de corte en alfalfa variedad San Miguelito, encontró que la mayor área foliar por tallo ocurrió en verano en el corte a 5 semanas, con un valor promedio de 108 cm² tallo⁻¹, valor que fue similar al obtenido a 6 semanas (105 cm² tallo⁻¹). Mientras que la menor área foliar (17 cm² tallo⁻¹) se presentó en invierno, en el intervalo de corte a 4 semanas, observaron, que el área foliar por tallo se incrementó conforme se redujo la frecuencia de corte. 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 favorecer cambios en la actividad fotosintética. Así mismo, señalan que el área foliar varía con la intensidad lumínica y la época del año, las especies más demandantes de luz presentan una mayor área foliar, además de elevadas concentraciones de N en las hojas.

Villegas *et al.* (2004) en dos variedades de alfalfa reportan el incremento de índice de área foliar conforme aumenta la tasa de crecimiento y la edad de rebrote, hasta alcanzar un máximo, para luego disminuir progresivamente a consecuencia de la caída de las hojas de los estratos inferiores. En la variedad Valenciana el mejor índice de área foliar fue de 2.6, 2.3, 1.4 y 1.4 para invierno, primavera, verano y otoño, respectivamente. Una tendencia similar presento la variedad Oaxaca donde los máximos índice de área foliar tuvieron el siguiente orden descendente: invierno (2.2) > primavera (2.1) > verano (1.3) > otoño (1.1).

Altura de la planta

En el Cuadro 4 se presenta la altura promedio estacional y anual de 5 variedades de alfalfa. Independientemente de la estación del año la variedad Júpiter fue la que registró la mayor altura promedio con 52 cm, en contraste Cuf 101

all cuts with an average of 4.4 compared to variety Hegazi with 4.1, when fertilized with four tons of manure and 120 kg ha⁻¹ of urea. Mattera *et al.* (2013) studied the distance between alfalfa plants, finding at a distance of 10 to 30 cm the highest (4.1) and lowest (2.87) leaf area index. These authors also reported that during the spring and summer the highest rate of leaf area index was present when the separation between plants was 15 cm (3.03) and the lowest with a separation of 30 cm (1.86).

Mendoza *et al.*, (2010) when evaluating different cut frequency in alfalfa variety San Miguelito, found that the highest leaf area per stem occurred in summer in the cut at 5 weeks, with an average value of 108 cm² stem⁻¹, value that was similar to that obtained at 6 weeks (105 cm² stem⁻¹); while the lowest leaf area (17 cm² stem⁻¹) occurred in winter, in the interval cut at 4 weeks, observing that leaf area per stem increased as cut frequency reduced. Pérez *et al.* (2002) mention that leaf area is one of the main variables that affect growth of forage species to favor changes in photosynthetic activity. Also, mention that the leaf area varies with light intensity and the time of year, the most demanding species of light have a greater leaf area, in addition to high concentrations of N in the leaves.

Villegas *et al.* (2004) in two alfalfa varieties reported increased leaf area index as growth rate and age of regrowth, to reach a maximum and then decrease gradually as a result of the falling leaves from the lower strata. In variety Valenciana the best leaf area index was 2.6, 2.3, 1.4 and 1.4 for winter, spring, summer and autumn, respectively. A similar trend presented the variety Oaxaca where the maximum leaf area index were the following descending order: winter (2.2) > spring (2.1) > summer (1.3) > autumn (1.1).

Plant height

Table 4 shows the average seasonal and annual height of 5 alfalfa varieties. Regardless of the season Jupiter recorded the highest average height 52 cm, in contrast Cuf 101 with 41 cm has the lowest height ($p < 0.05$). Statistical differences between seasons ($p < 0.05$) were observed; the highest height was recorded in summer, followed by spring, autumn and winter with 61, 57, 49 and 27 cm, respectively. In this regard, Ramos and Hernández (1970) recommend that for the Valley of Mexico, the highest yield of alfalfa will be achieved with cuts at a plant height of 65 cm in summer and 32 cm in winter and an interval between cuts of 40 days. Morales *et al.* (2006) found in 14 varieties an average height of 58 cm, having Puebla 76 the largest height with 68.9 cm and higher yield.

con 41 cm presentó menor altura ($p < 0.05$). 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, 57, 49 y 27 cm, respectivamente. Al respecto, Ramos y Hernández (1970) recomiendan que para el Valle de México, el mayor rendimiento de alfalfa, se lograra con cortes a una altura de la planta de 65 cm en verano y de 32 cm en invierno y un intervalo entre cortes de 40 días. Morales *et al.* (2006) encontraron en 14 variedades un promedio en altura de 58 cm, teniendo la variedad Puebla 76 la mayor altura con 68.9 cm y el mayor rendimiento.

Also, Hernández-Garay *et al.* (1992) reported a height of 58 cm with spaced cuts every eight weeks and 40 cm in cuts made every four to six weeks. According to Muslera and Ratera (1991) forage yield and increase in height, it increases when the interval between cuts is longer, more than five weeks. Avci *et al.* (2013) reported in 7 alfalfa varieties, in two years of production and in two locations, at average height of 66 cm and a production of 21 710 kg DM ha⁻¹, being variety Verko which obtained the highest height with 77.2 cm, higher yield and growth rate in the second year of production.

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

Table 4. Seasonal changes in height (cm) of five alfalfa varieties.

Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio
San Miguelito	61 Aa	46 BCc	27 BCd	56 Ab	48 BC
Júpiter	64 Aa	54 Ab	32 Ac	61 Aa	53 A
Atlixco	62 Aa	50 ABb	27 BCc	59 Aa	50 AB
Vía Láctea	63 Aa	54 Ab	28 ABc	58 Aab	51 AB
Cuf 101	55 Ba	40 Cc	23 Cd	49 Bb	42 C
Promedio	61 a	49 c	27 d	57 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 ($p > 0.05$).

Asimismo, Hernández-Garay *et al.* (1992) reportaron una altura de 58 cm con cortes espaciados cada ocho semanas y de 40 cm en cortes efectuados cada cuatro o seis semanas. De acuerdo con Muslera y Ratera (1991) el rendimiento de forraje y el aumento en altura, se incrementan cuando se alarga el intervalo entre cortes, a más de cinco semanas. Avci *et al.* (2013) reportaron en 7 variedades de alfalfa, en dos años de producción y en dos localidades, en promedio alturas de 66 cm y una producción de 21710 kg MS ha⁻¹, siendo la variedad Verko la que obtuvo la mayor altura con 77.2 cm, mayor rendimiento y tasa de crecimiento, en el segundo año de producción.

Relación de radiación interceptada entre tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de planta

En el Cuadro 5 se observan los coeficientes de regresión (R^2) entre la radiación interceptada y tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de la planta de cinco variedades comerciales de alfalfa. Todas las variedades presentaron una estrecha relación entre radiación interceptada y tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de planta, mientras mayor es la radiación interceptada mayor fue la tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de planta. La tasa de crecimiento varió en las estaciones del año (Cuadro 1) y los factores principales fueron la temperatura y horas luz ya

Intercepted radiation ratio between growth rate, leaf area index and plant height

Table 5 shows the regression coefficients (R^2) between intercepted radiation and growth rate, leaf area index and plant height of five commercial alfalfa varieties. All varieties showed a close relationship between intercepted radiation and growth rate, leaf area index and plant height, the greater intercepted radiation the higher was growth rate, leaf area index and plant height. Growth rate varied between seasons (Table 1) and the main factors were temperature and light hours since during spring and summer recorded the highest temperatures and had the highest intercepted radiation, growth rate, leaf area index and plant height, contrary to winter, where the lowest intercepted radiation, growth rate, leaf area index and plant height were observed. In this regard, it has been mentioned that as leaf area index increases the amount of intercepted radiation, and thus the growth rate increases (Horrocks and Vallentines, 1999; Sage and Kubein, 2007).

Several authors mention (Pearson and Ison, 1987; Horrocks and Vallentine, 1999) that the capacity that a prairie has to produce dry matter, depends on environmental conditions

que durante primavera y verano se registraron las mayores temperaturas y se presentaron la mayor radiación interceptada, tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de planta, caso contrario al invierno, en donde se observaron las menor radiación interceptada, tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de planta. Al respecto, se ha indicado que conforme se aumenta el índice de área foliar se incrementa la cantidad de luz interceptada, y con ello, la tasa de crecimiento (Horrocks and Vallentines, 1999; Sage and Kubein, 2007).

(nutrients, climate) and especially from the degree of light interception by leaves. With the increase in the number of leaves, it has greater light interception, but the leaves on the lower strata receive less intensity and light quality of light, which cause reduced growth or net assimilation rate; therefore, the highest fodder yield, coincides with the highest rate of leaf area and the largest green leaf mass (Donald and Black, 1958; Velasco *et al.*, 2001; Morales *et al.*, 2006). After reaching the optimal leaf area

Cuadro 5. Coeficiente de regresión (R²), de radiación interceptada (RI) entre tasa de crecimiento (TC), índice de área foliar (IAF) y altura de planta (AP) de cinco variedades de alfalfa.

Table 5. Regression coefficient (R²) of intercepted radiation (RI) between growth rate (TC), leaf area index (LAI) and plant height (AP) from five alfalfa varieties.

Variedad	RI vs TC (R ²)	Sig.	RI vs IAF (R ²)	Sig.	RI vs AP (R ²)	Sig.
San Miguelito	0.8293	***	0.9188	***	0.9899	****
Júpiter	0.7564	**	0.8173	**	0.7153	**
Atlixco	0.6258	*	0.7813	**	0.8841	***
Vía Láctea	0.6437	*	0.8783	***	0.8423	***
Cuf 101	0.9341	****	0.9306	****	0.9591	****
Promedio	0.7055	**	0.7938	***	0.7652	**

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; **** $p < 0.0001$; Sig= significativo; RI= radiación interceptada; TC= tasa de crecimiento; IAF= índice de área foliar; AP= altura de planta.

Varios autores mencionan (Pearson and Ison, 1987; Horrocks y Vallentine, 1999) que la capacidad que posee una pradera para producir materia seca, depende de las condiciones ambientales (nutrientes, clima) y, principalmente, del grado de intercepción de la radiación solar por las hojas. Con el aumento en la cantidad de hojas, se tiene una mayor intercepción de luz, pero las hojas en los estratos inferiores reciben menor intensidad y calidad de luz, por lo que provocan la reducción del crecimiento o de la tasa de asimilación neta; por ello, el mayor rendimiento de los forrajes, coincide con el mayor índice de área foliar y la mayor masa foliar verde (Donald and Black, 1958; Velasco *et al.*, 2001; Morales *et al.*, 2006). Después de que se alcanza el índice de área foliar óptimo, las hojas basales no reciben suficiente luz, convirtiéndose en hojas amarillentas y senescentes, las cuales llegan a morir, y en tal caso, se puede tener un crecimiento neto negativo (Hodgson, 1990).

Conclusión

La mayor tasa de crecimiento, radiación interceptada, índice de área foliar y altura de planta la presenta la variedad Júpiter, y menor la variedad Cuf 101. Solo la variedad Júpiter alcanzó

index, basal leaves do not receive enough light, becoming yellowed and senescent leaves, which come to die and in such case, can have a net negative growth (Hodgson, 1990).

Conclusion

The highest growth rate, intercepted radiation, leaf area index and plant height is for Jupiter and lowest to Cuf 101. Only the variety Jupiter reached 95% of intercepted radiation in the summer season. All varieties have a higher growth rate, radiation interception, leaf area index and plant height in spring-summer and lower in autumn-winter. There is a high positive correlation in all alfalfa varieties between the intercepted radiation and growth rate, leaf area index and plant height. The greater intercepted radiation the higher will be growth rate, leaf area index and plant height and vice versa.

End of the English version



95% de radiación interceptada en la estación de verano. Todas las variedades presentan mayor tasa de crecimiento, radiación interceptada, índice de área foliar y altura de planta en primavera-verano y menor en otoño-invierno. Existe una alta relación positiva, en todas las variedades de alfalfa entre la radiación interceptada y la tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de planta. Entre mayor sea la radiación interceptada mayor será la tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de planta y viceversa.

Literatura citada

- Abusuwar, A. O. and 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. *J. Food Agric. Environ.* 12 (2):747-751.
- Adams, J. E. and Arkin, G. F. 1977. A light interception method for measuring row crop ground cover. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41(4):789-792.
- Améndola, M. R. D.; Castillo, G. E. y Martínez, H. P. A. 2005. Pasturas y cultivos forrajeros. Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <http://www.fao.org>.
- Avci, M. A.; Ozkose, A. and Tamkoc, A. 2013. Determination of yield and quality characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties grown in different locations. *J. Na. Vet. Adv.* 12(4):487-490.
- Baldissera, T. C.; Frak, E.; Carvalho, P. C. F. and Louarn, G. 2014. Plant development controls leaf area expansion in alfalfa plants competing for light. *Ann. Bot.* 113:145-157.
- Chapman, D. F. and Lemaire, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *In: Proceed XVII International grassland congress.* Palmerston North, New Zealand. 95 -104 pp.
- Da Silva, S. C. y Hernández, G. A. 2010. Manejo de pastoreo en praderas tropicales. Forrajes y su impacto en el Trópico. 1ª (Ed.). México. Universidad Autónoma de Chiapas (UACH). 43-62 pp.
- Da Silva, S. C. e D. Nascimento J. D. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia.* 36:122-138.
- Donald, C. M. and Black, J. N. 1958. The significance of leaf area in pasture growth. *Herbage Abstracts.* 28(1):1-6.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4 (ed). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.
- Hernández, G. A., Pérez P. J. y Hernández G. V. A. 1992. Crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferentes regímenes de cosecha. *Agrociencia.* 2:131-144.
- Hodgson, J. G. 1990. *Grazing management. Science into practice.* Longman Scientific & Technical. Harlow, England. 204 p.
- Horrocks, R. D. and Vallentine, J. F. 1999. *Harvested Forages.* Academic Press. Oval Road, London. United States of America. 426 p.
- Juncafresca, B. 1983. Forrajes, fertilizantes y valor nutritivo. 2ª (Ed.). Editorial Aedos Barcelona, España. 203 p.
- Mattera, J.; Romero, L. A.; Cuatrin, A. L.; Cornaglia, P. S. and Grimoldi, A. A. 2013. Yield components, light interception and radiation use efficiency of lucerne (*Medicago sativa* L.) in response to row spacing. *Eur. J. Agron.* 45:87-95.
- Mendoza, P. S. I.; Hernández G. A.; Pérez, P. J.; Quero, C. A. R.; Escalante, E. J. A. S.; Zaragoza, R. J. L. y Ramírez, R. O. 2010. Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 1(3):287-296.
- Morales, A. J.; Jiménez, V. J. L.; Velasco, V. V. A.; Villegas, A. Y.; Enríquez, V. J. R. y Hernández, G. A. 2006. Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertiriego en la mixteca de Oaxaca. *Téc. Pec. Méx.* 44(3):277-288.
- Muslera, P. E. y Ratera, C. G. 1991. Praderas y forrajes, producción y aprovechamiento. 2ª (Ed.). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 674 p.
- Ortiz, S. C. 1997. Colección de monolitos departamento génesis de suelos. Edafología. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 123 p.
- Pearson, C. J. and Ison, R. L. 1987. *Agronomy of grassland systems.* Cambridge University Press. Great Britain. 169 p.
- Pérez, B. M. T.; Hernández, G. A.; Pérez, P. J.; Herrera, H. J. G. y Bárcena, G. R. 2002. Respuesta productiva y dinámica de rebrote del pasto ballico perenne a diferentes alturas de corte. *Téc. Pec. Méx.* 40:251-263.
- Ramos, S. A. y Hernández, X. E. 1970. *Ecología de la alfalfa en México.* COTECOCA y Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 49 p.
- Rivas, J. M. A.; López, C. C.; Hernández-Garay, A. y Pérez, P. J. 2005. Efecto de tres regímenes de cosecha en el comportamiento productivo de cinco variedades comerciales de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Téc. Pec. Méx.* 43(1):79-92.
- Rojas, G. A. R.; Hernández, G. A.; Joaquín, C. S.; Mendoza, P. S. I.; Guerrero, R. J. D. & Zaragoza, R. J. L. 2012. Comportamiento productivo y rendimiento de forraje de cinco variedades de alfalfa. 2da Reunión Internacional conjunta de manejo de pastizales y producción animal. Zacatecas, México 336-340 p.
- SAGARPA. 2014. *Producción Agrícola en México.* Centro de Estadística Agropecuaria. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>.
- Sage, F. R. and Kubein, S. D. 2007. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. *Plant Cell Environ* 30:1086-1106.
- SAS, Institute. 2009. *SAS/STAT® 9.2. Use's Guide Release.* Cary, NC: SAS Institute Inc. USA.
- Steel, R. G. y Torrie, J. H. 1988. *Bioestadística: principios y procedimientos.* 2ª (Ed.). Mc Graw - Hill. México. 622 p.
- Velasco, Z. M. E.; Hernández, G. A.; González, H. V. A.; Pérez, P. J.; Vaquera, H. H.; y Galvis, S. A. 2001. Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.). *Téc. Pec. Méx.* 39(1):1-14.
- Villegas, A. Y.; Hernández, G. A.; Pérez, P. J.; López, C. C.; Herrera, H. J.; Enríquez, Q. J. y Gómez, V. A. 2004. Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Téc. Pec. Méx.* 42(2):145-158.
- Zaragoza, E. J.; Hernández, G. A.; Pérez, P. J.; Herrera, H. J. G.; Osnaya, G. F.; Martínez, H. P. A.; González, M. S. y Quero, C. A. R. 2009. Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto Ovilla. *Téc. Pec. Méx.* 47(2):173-188.