

PRODUCCIÓN DE DIEZ VARIEDADES DE ALFALFA (*Medicago sativa* L.) A CUATRO AÑOS DE ESTABLECIDAS

PRODUCTION OF TEN VARIETIES OF ALFALFA (*Medicago sativa* L.) AFTER FOUR YEARS OF BEING ESTABLISHED

Perpetuo Álvarez-Vázquez^{1*}, Alfonso Hernández-Garay^{1†}, Sergio I. Mendoza-Pedroza²,
Adelaido R. Rojas-García³, Claudia Y. Wilson-García⁴, José I. Alejos-de la Fuente²

¹Ganadería. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (alvarez.perpetuo@colpos.mx). ²Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Estado de México. ³Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2, CP 41940, Universidad Autónoma de Guerrero, Cuajimalpa, Guerrero, México. ⁴Universidad Autónoma Chapingo. Carretera San Luis Acatlán- Tlapa km. 5. Predio el Varal. 41630. San Luis Acatlán, Guerrero.

RESUMEN

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es la especie forrajera más usada para alimentar al ganado bovino lechero en México. El objetivo de este estudio fue evaluar la producción de diez variedades de alfalfa, cosechadas en intervalos de corte definidos estacionalmente. La hipótesis fue que al menos una de las variedades tiene comportamiento productivo aceptable. Las variedades se distribuyeron en 40 parcelas de 9 x 7 m, en un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones. El estudio se realizó en el CP-Campus Montecillo, México, de septiembre de 2011 a septiembre de 2012. Las variables evaluadas fueron rendimiento de forraje (RF), composición botánica y morfológica (CBM), relación hoja:tallo (R:H/T), densidad poblacional de tallos (DT) y densidad de plantas (DP). La variedad Júpiter mostró RF 14 510 kg MS ha⁻¹, R:H/T 1.8, DT 578 tallos m⁻² y DP 18 plantas m⁻² mayores y San Miguelito valores menores en RF (7,890 kg MS ha⁻¹), DT (282 tallos m⁻²) y DP (8 plantas m⁻²). RF promedio fue (3508 kg MS ha⁻¹) mayor en verano y en otoño, y menor en invierno (2,214 kg MS ha⁻¹ promedio). En otoño e invierno presentaron R:H/T, DT y DP mayores (1.5, 546 tallos m⁻² y 20 plantas m⁻² en promedio). En contraste, en primavera-verano R:H/T, DT y DP fueron menores (1.0, 371 tallos m⁻² y 12 plantas m⁻² en promedio). RF anual fue 56 %. Las malezas tuvieron la aportación mayor (43 %) y el material muerto (9 %) la menor. Júpiter fue la más productiva y el verano contribuyó más al RF anual. La edad de la pradera ocasionó una invasión mayor de malezas y una presencia menor de alfalfa.

ABSTRACT

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is the forage species most commonly used to feed dairy cattle in Mexico. The objective of this study was to evaluate the production of ten varieties of alfalfa, harvested at cutting intervals defined seasonally. The varieties were distributed in 40 plots (9 x 7 m), and the experimental design was completely randomized with four repetitions. The study was performed at the Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Mexico, from September 2011 to September 2012. The variables evaluated were forage yield (FY), botanical and morphological composition (BMC), leaf:stem ratio (R:L/S), population density of stems (SD) and plant density (PD). The Júpiter variety showed the higher values for FY (14 510 kg DM ha⁻¹), R:L/S (1.8), SD (578 stems m⁻²) and PD (18 plants m⁻²), and San Miguelito the lower values for FY (7890 kg DM ha⁻¹), SD (282 stems m⁻²) and PD (8 plants m⁻²). The average FY was (3508 kg DM ha⁻¹) higher in summer and fall, and lower in winter (2214 kg DM ha⁻¹ average). In fall and winter they presented higher R:L/S, SD and PD (1.5, 546 stems m⁻² and 20 plants m⁻² in average). In contrast, in spring-summer, R:L/S, SD and PD were lower (1.0, 371 stems m⁻² and 12 plants m⁻² in average). The annual FY was 56 %. The undergrowth had the highest contribution (43 %) and the dead material (9 %), the lowest. Júpiter was the most productive variety and summer contributed most to the annual FY. The age of the grassland caused a higher invasion of undergrowth and a lower presence of alfalfa.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: abril, 2017. Aprobado: noviembre, 2017.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 52: 841-851. 2018.

Key words: forage yield, botanical and morphological composition, stem density, plant density.

Palabras clave: rendimiento de forraje, composición botánica y morfológica, densidad de tallos, densidad de plantas.

INTRODUCCIÓN

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una de las especies forrajeras perennes más importantes en el mundo (Török *et al.*, 2010) y la más utilizada para el ganado bovino lechero en regiones áridas, semiáridas y templadas de México (Rojas *et al.*, 2016). La importancia de la alfalfa se debe a su potencial de producción y valor nutritivo, y a su utilización como forraje verde, heno, ensilado, pellets y otros (Milic *et al.*, 2014; Rojas-García *et al.*, 2017). La producción mundial se centra en EUA, Argentina, Canadá y China (Alarcón *et al.*, 2011). En México, Jalisco, Hidalgo, Guanajuato, y Baja California son los estados con superficie sembrada mayor, y Coahuila, Durango, Estado de México y Puebla tienen la producción menor (SIAP, 2014). La disponibilidad nacional de semilla de alfalfa es insuficiente, y se importa de 85-90 % desde EUA, España y Australia (Salinas, 2005). Los estudios en alfalfa, en ambientes agroclimáticos diferentes, permitieron identificar la que se adapta mejor a los climas y suelos específicos. Al respecto, Villegas *et al.* (2004) indicaron que el rendimiento de un cultivo depende de factores genéticos y ambientales. Así, la adaptación y el rendimiento mayores de alfalfa en regiones templadas son requisito para obtener los beneficios económicos máximos, pues se evita que los productores tengan incertidumbre al sembrarlas. El objetivo de este estudio fue evaluar diez variedades de alfalfa en intervalos de corte definidos estacionalmente y determinar la variedad más sobresaliente en rendimiento de forraje.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó de septiembre de 2011 a septiembre de 2012, en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 53' O y altitud de 2250 m), con clima templado sub-húmedo, el más seco de este grupo, temperatura y precipitación media anual de 15 °C y 636 mm (García, 2004). El suelo es Typic ustipsamments con textura franco arenosa, con pH entre 7 y 8 (Ortíz, 1997). La precipitación total durante el estudio fue 554 mm, con la mínima (0 mm) en enero y la máxima (89 mm) en julio de 2012. La temperatura media anual fue 15 °C, la mínima 0.6 °C fue en diciembre de 2011 y la máxima 27 °C en mayo de 2012. Las condiciones climatológicas al final de otoño e inicio de invierno se caracterizaron por un

INTRODUCTION

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is one of the most important perennial forage species in the world (Török *et al.*, 2010) and the most frequently used for dairy cattle in arid, semiarid and temperate regions of Mexico (Rojas *et al.*, 2016). The importance of alfalfa is due to its production potential, nutritional value, and its utilization as green forage, hay, silage and pellets (Milic *et al.*, 2014; Rojas-García *et al.*, 2017). Global production is centered in USA, Argentina, Canada and China (Alarcón *et al.*, 2011). In Mexico, Jalisco, Hidalgo, Guanajuato and Baja California are the states with largest sown surface, whereas Coahuila, Durango, Estado de México and Puebla have the lowest production (SIAP, 2014). The national availability of alfalfa seed is insufficient, and 85-90 % is imported from USA, Spain and Australia (Salinas, 2005). Studies with alfalfa in different agroclimates allowed identifying which one adapts best to the specific climates and soils. In this regard, Villegas *et al.* (2004) indicated that the yield of a crop depends on genetic and environmental factors. Thus, the better adaptation and higher yield of alfalfa in temperate regions is a requisite to obtain the maximum economic benefits, for this helps producers avoid uncertainty when sowing it. The objective of this study was to evaluate ten varieties of alfalfa in cutting intervals defined seasonally and to determine the most outstanding variety in terms of forage yield.

MATERIALS AND METHODS

The study was carried out from September 2011 to September 2012, at Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 53' W and altitude of 2250 m), with temperate sub-humid climate, the driest of this group, mean annual temperature and precipitation of 15 °C and 636 mm (García, 2004). The soil is Typic ustipsamments with loamy sand texture, and pH 7 to 8 (Ortíz, 1997). The total precipitation during the study was 554 mm, with the minimum (0 mm) in January and the maximum (89 mm) in July 2012. The mean annual temperature was 15 °C, the minimum 0.6 °C in December 2011 and the maximum 27 °C in May 2012. The climate conditions at the end of the fall and beginning of winter were characterized by a period of minimum temperatures and frosts, and by maximum temperatures and precipitations in spring-summer. The seasonal distribution of precipitations was 20, 41, 14 and 7 % in spring, summer, fall and winter (Figure 1).

periodo de temperaturas mínimas y heladas y por temperaturas máximas y precipitaciones en primavera-verano. La distribución estacional de estas últimas fue 20, 41, 14 y 7 % en primavera, verano, otoño e invierno (Figura 1).

Las variedades del estudio fueron Vía Láctea, Chipilo, Atlixco, Oaxaca, San Miguelito, Cuf-101, Milenia, Aragón, Valencia, y Júpiter, y se establecieron el 18 de abril de 2008 con una densidad de siembra de 30 kg de semilla pura viable ha⁻¹. La cantidad se ajustó con el peso de la semilla y el porcentaje de germinación por variedad. Las parcelas se regaron a capacidad de campo cada 15 d en época de estiaje, el control de malezas fue manual y no se aplicó fertilizante. El área de estudio se dividió en 40 parcelas de 63 m² (9 x 7 m). El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones. Al inicio del estudio se hizo un corte a 5 cm sobre el nivel del suelo, con un tractor podador, para uniformar. El manejo de corte estacional desde el establecimiento hasta el inicio del estudio fue el mismo. El corte en primavera-verano fue cada 28 d, en otoño cada 35 d y en invierno cada 42 d (Rivas *et al.*, 2005). Al inicio del estudio la alfalfa ocupaba cerca de 80 % de la pradera. Las variables fueron rendimiento de forraje, composición botánica y morfológica, relación hoja:tallo, densidad poblacional de tallos y densidad de plantas.

El rendimiento de forraje se determinó con la biomasa cosechada en dos cuadros fijos (0.25 m²) por repetición y establecidas al inicio del estudio. El material en bolsas etiquetadas se deshidrató a 60 °C hasta peso constante en estufa con aire circulante (Felisa, Mod. FE-243A®). La composición botánica y morfológica (CBM) se calculó en una submuestra (alrededor de 10 %) del forraje. Hoja, tallo, material muerto, maleza e inflorescencia se separaron y el porcentaje en peso seco se calculó mediante la siguiente fórmula: CBM = biomasa seca de cada componente

The varieties evaluated were Vía Láctea, Chipilo, Atlixco, Oaxaca, San Miguelito, Cuf-101, Milenia, Aragón, Valencia, and Júpiter, and they were established on April 18, 2008, with a sowing density of 30 kg of pure viable seed ha⁻¹. The amount was adjusted with the seed weight and the germination percentage per variety. The plots were irrigated to field capacity every 15 d in drought season, weed control was manual, and fertilizer was not applied. The study area was divided into 40 plots of 63 m² (9 x 7 m). The experimental design was completely randomized with four repetitions. At the beginning of the study a cut was done 5 cm above soil level, with a pruning tractor, in order to obtain a uniform area. The management of seasonal cut from the establishment to the beginning of the study was the same. The spring-summer cut was every 28 d, in fall every 35 d and in winter every 42 d (Rivas *et al.*, 2005). At the beginning of the study, alfalfa occupied close to 80 % of the grassland. The variables were forage yield, botanical and morphological composition, leaf:stem rate, population density of stems and plant density.

The forage yield was determined with the biomass harvested in two fixed squares (0.25 m²) by repetition and established at the beginning of the study. The material in labeled bags was dehydrated at 60 °C until constant weight in a stove with circulating air (Felisa, Mod. FE-243A®). The botanical and morphological composition (BMC) was calculated in a subsample (around 10 %) of fodder. Leaf, stem, dead material, weed and inflorescence were separated and the percentage in dry weight was calculated with the following formula: BMC = dry biomass of each component x 100 / forage yield. The leaf:stem rate was determined with the leaf and stem values of the botanical and morphological composition, dividing the first by the second. The density of stems and plants was defined in two squares of

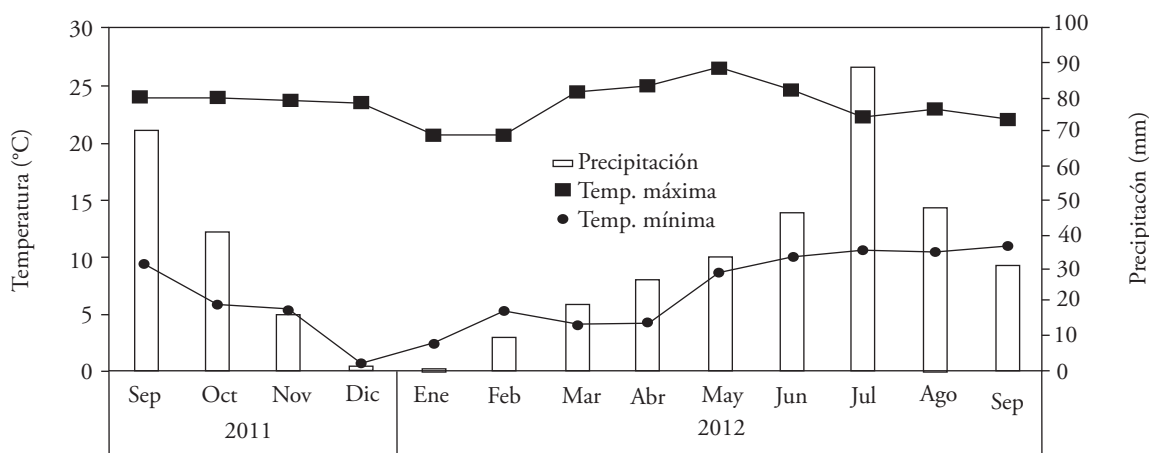


Figura 1. Temperatura media mensual máxima, mínima y precipitación acumulada mensual durante el estudio (septiembre 2011 a septiembre 2012).

Figure 1. Maximum and minimum monthly mean temperature, and monthly accumulated precipitation during the study (September 2011 to September 2012).

x 100 / rendimiento de forraje. Con los valores de hoja y tallo de la composición botánica y morfológica se determinó la relación hoja:tallo, dividiendo el primero entre el segundo. La densidad de tallos y plantas se determinó en dos cuadros de 0.04 m² (20x20 cm) y 1 m² (100x100 cm) respectivamente, establecidos al inicio del estudio en cada repetición.

El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro repeticiones. Los resultados se analizaron con ANDEVA, los promedios se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) y se usó PROC GLM del SAS (versión 9.2; SAS Institute, Inc., 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de forraje

Júpiter mostró la acumulación anual mayor de forraje (14,510 kg MS ha⁻¹) y San Miguelito, Cuf-101 y Valenciana los rendimientos menores (8020 kg MS ha⁻¹, promedio), con 81 % menos que Júpiter (Cuadro 1). Independiente de la variedad, el rendimiento estacional mayor fue en verano (3508 kg MS ha⁻¹) respecto al cual, en otoño e invierno fue 58 % menor (2214 kg MS ha⁻¹). Todas las variedades mostraron estacionalidad, con la tendencia: verano (33 %) > primavera (26 %) > invierno (21 %) > otoño (20 %). Este comportamiento dependió de la relación directa y estrecha entre el rendimiento de forraje y las temperaturas óptimas para el crecimiento de la alfalfa (Rojas

0.04 m² (20 x 20 cm) and 1 m² (100 x 100 cm), respectively, established at the beginning of the study in each repetition.

The experimental design was completely randomized, with four repetitions. The results were analyzed with ANOVA, PROC GLM and the means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$) (SAS version 9.2; SAS Institute, Inc., 2009).

RESULTS AND DISCUSSION

Forage yield

Júpiter showed higher annual forage accumulation (14 510 kg DM ha⁻¹) and San Miguelito, Cuf-101 and Valenciana the lowest yields (8020 kg DM ha⁻¹, average), with 81 % less than Júpiter (Table 1). Regardless of the variety, the highest seasonal yield was in summer (3508 kg DM ha⁻¹), whereas in fall and winter it was 58 % lower (2214 kg DM ha⁻¹). All the varieties showed seasonality with the tendency: summer (33 %) > spring (26 %) > winter (21 %) > fall (20 %). This behavior depended on the direct and close relation between the forage yield and the optimal temperatures for alfalfa growth (Rojas *et al.*, 2012), which were present in summer (Figure 1).

Mendoza *et al.* (2010) reported a similar seasonal behavior in the forage yield, with the variety San Miguelito and cutting interval of 6 to 7 weeks, and the higher production was in summer (10 638 kg DM ha⁻¹) with a seasonal distribution of 31, 26, 23

Cuadro 1. Rendimiento estacional y anual de forraje (kg MS ha⁻¹) de alfalfa.
Table 1. Seasonal and annual forage yield (kg DM ha⁻¹) of alfalfa.

Variedad	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Anual	EEM
Vía Láctea	2350 BCb	2489 ABab	3613 Aa	3590 ABa	12042 AB	571
Chipilo	2116 CDa	2595 ABa	3156 ABCa	3247 ABa	11115 B	548
Atlixco	1962 CDEb	2445 ABb	2623 CDb	4527 Aa	11557 B	394
Oaxaca	2075 CDb	2793 Aab	3230 ABCab	3439 ABa	11537 B	640
San Miguelito	1692 DEb	1644 Bb	1872 Db	2682 Ba	7890 C	256
Cuf-101	1726 DEbc	1687 Bc	1931 Db	2745 Ba	8089 C	106
Milenia	2647 ABab	2414 ABb	2767 BCab	3638 ABa	11466 B	506
Aragón	2124 CDc	2292 ABbc	3516 ABab	3623 ABa	11554 B	614
Valenciana	1523 Ec	1806 ABb	1872 Db	2878 Ba	8080 C	510
Júpiter	2999 Ac	2883 Ac	3919 Ab	4709 Aa	14510 A	115
Promedio	2122 c	2306 c	2850 b	3508 a	10784	146
EEM	202	456	334	638	1138	

Valores promedio con diferente letra mayúscula en una columna y diferente minúscula en cada hilera son diferentes ($p \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media ♦ Average values with different capital letter in a column and different lowercase letter in a row are different ($p \leq 0.05$). EEM: mean standard error.

et al., 2012), las cuales se presentaron en verano (Figura 1).

Mendoza *et al.* (2010) reportaron comportamiento estacional similar en el rendimiento de forraje, con la variedad San Miguelito con intervalo de corte de 6 a 7 semanas, y encontraron una producción mayor en verano (10 638 kg MS ha⁻¹) y distribución estacional de 31, 26, 23 y 20 % en verano, primavera, otoño e invierno. Teixeira *et al.* (2007) evaluaron la variedad Kaituna, con intervalo de corte de 42 d, y observaron los valores menores en invierno e inicios de primavera (2000 y 3000 kg MS ha⁻¹, respectivamente) respecto a primavera (3000 kg MS ha⁻¹). Pero Morales *et al.* (2006) obtuvieron los rendimientos mayores (5500 kg MS ha⁻¹) a finales del invierno (febrero y marzo) e inicios del otoño (septiembre y octubre), y los menores (2000 kg MS ha⁻¹) a inicio del verano (junio-julio). Ellos indicaron que esos rendimientos coincidieron con los meses con temperatura mayor y menor en la región de estudio (Región Mixteca, Oaxaca). Los valores de nuestro estudio fueron menores a los de Villegas *et al.* (2004) en la variedad Valenciana, la cual acumuló más forraje (4700 kg MS ha⁻¹) en primavera. Los rendimientos menores en nuestro estudio respecto a los de Villegas *et al.* (2004) Morales *et al.* (2006) y Teixeira *et al.* (2007) pueden deberse a que la pradera estaba en el cuarto año de producción, con persistencia menor, competencia mayor de malezas, y agotamiento de reservas de carbohidratos. Al respecto, Mendoza *et al.* (2010) mencionaron que el agotamiento en las reservas de carbohidratos en las plantas reduce el rendimiento.

Composición botánica y morfológica

La alfalfa fue 56 % del rendimiento anual acumulado y el 44 % fue pastos, malezas y material muerto (Figura 2). La proporción mayor de alfalfa por estación (60 %) se obtuvo en otoño y primavera y contrastó con verano (25 %). Entre variedades, Júpiter presentó el promedio anual mayor (60 %) de hoja y tallo, y los menores de maleza (33 %) y material muerto (7 %). La invasión promedio anual mayor se presentó en Chipilo (56 %). Independiente de la variedad, el aporte de alfalfa al rendimiento disminuyó progresivamente con el tiempo del estudio (Figura 2); en contraste, la maleza aumentó de 30 a 63 %. Las cantidades mayores de hoja y tallo se registraron en primavera (31 y 29 % en promedio), y en otoño

and 20 % in summer, spring, fall and winter. Teixeira *et al.* (2007) evaluated the Kaituna variety, with cutting interval of 42 d, and the lowest values were in winter and beginning of spring (2000 and 3000 kg DM ha⁻¹, respectively) as compared to spring (revisar español) (3000 kg DM ha⁻¹). However, Morales *et al.* (2006) obtained the highest yields (5500 kg DM ha⁻¹) at the end of winter (February and March) and beginning of fall (September and October), and the lowest (2000 kg MS ha⁻¹) at the beginning of summer (June-July). They indicated that these yields coincided with the months of highest and lowest temperature in the study region (Mixteca Region, Oaxaca). The values from our study were lower than those by Villegas *et al.* (2004) in the Valenciana variety, which accumulated more fodder (4700 kg DM ha⁻¹) in spring. The lower yields in our study, as compared to those by Villegas *et al.* (2004), Morales *et al.* (2006) and Teixeira *et al.* (2007), may be due to the fact that the grassland was in the fourth year of production, with lower persistence, higher competition from undergrowth, and depletion of carbohydrate reserves. In this regard, Mendoza *et al.* (2010) mentioned that the depletion in carbohydrate reserves in plants reduces the yield.

Botanical and morphological composition

Alfalfa was 56 % of the accumulated annual yield, and 44 % was grasses, undergrowth and dead material (Figure 2). The highest production per season (60 %) was obtained in fall and spring, and the lowest in summer (25 %). Júpiter showed the highest annual average (60 %) of leaf and stem, and the lowest of undergrowth (33 %) and dead material (7 %). The highest average annual invasion was found in Chipilo (56 %). Regardless of the variety, the contribution of alfalfa to the yield decreased progressively with the time of study (Figure 2); in contrast, the weed increased from 30 to 63 %. The highest amounts of leaf and stem were found in spring (31 and 29 % in average), and in fall and summer those of dead material (14 %) and undergrowth (63 %), respectively. In the grassland, the persistence of alfalfa decreased due to the interspecific competition over light, water and nutrients with other species (Villegas *et al.*, 2006), which depletes the carbohydrate reserves and decreases the fodder yield (Mendoza *et al.*, 2010). Cinar and Hatipoglu (2014) observed contributions

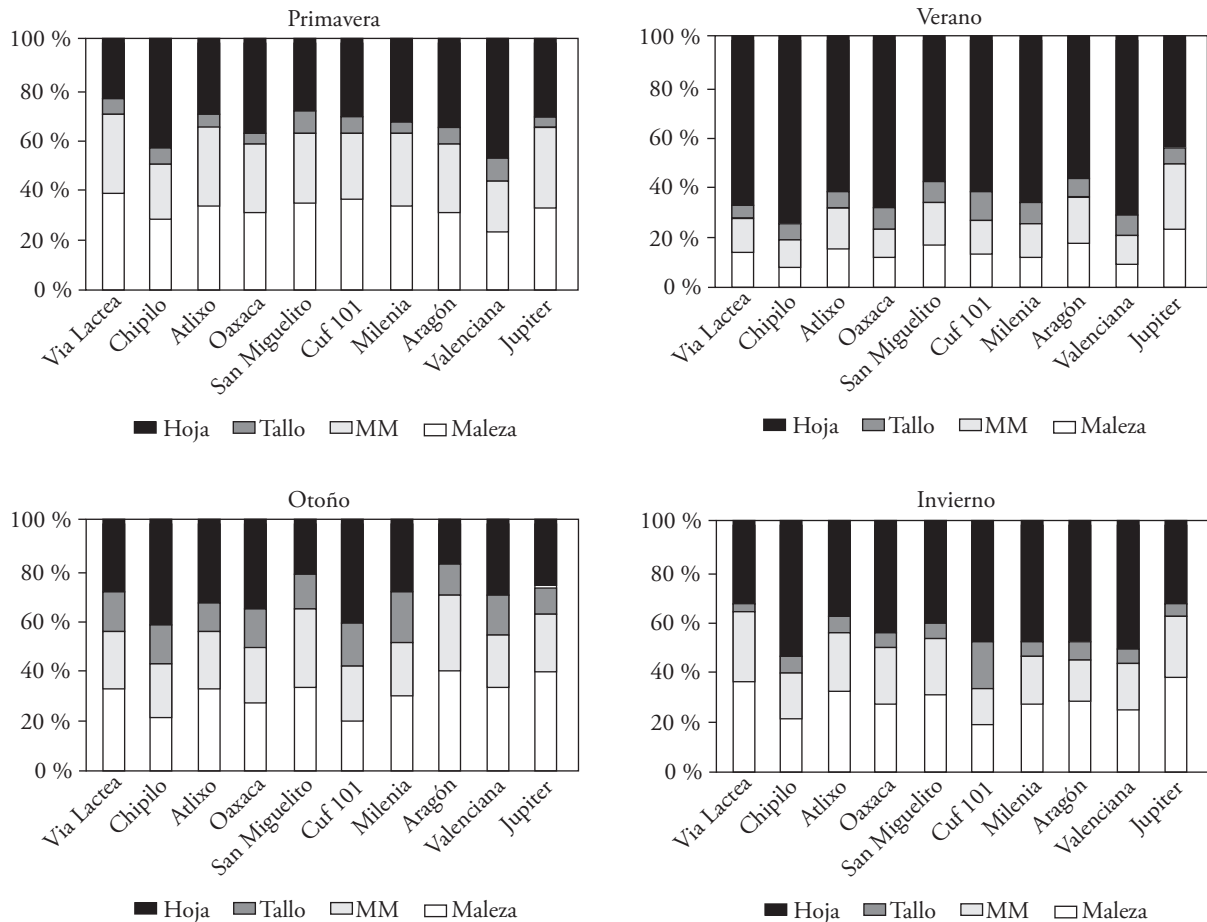


Figura 2. Cambios estacionales en la composición botánica y morfológica (%) de variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.), cosechadas en intervalos de corte definidos estacionalmente en primavera-verano, otoño e invierno: 28, 35 y 42 d, de septiembre 2011 a septiembre 2012. MM: material muerto.

Figure 2. Seasonal changes in the botanical and morphological composition (%) of alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties, harvested at cutting intervals defined seasonally in spring-summer, fall and winter: 28, 35 and 42 d, from September 2011 to September 2012. MM: dead material.

y verano las de material muerto (14 %) y maleza (63 %), respectivamente. En la pradera disminuyó la persistencia de la alfalfa debido a la competencia interespecifica por luz, agua y nutrientes con otras especies (Villegas *et al.*, 2006)., lo cual agota las reservas de carbohidratos y disminuye el rendimiento de forraje (Mendoza *et al.*, 2010). Cinar y Hatipoglu (2014) observaron aportaciones de 52 % por alfalfa al rendimiento de forraje al tercer año de establecida y confirmaron que esta especie no mantiene el potencial de rendimiento entre los años, además, señalaron que la aportación de la alfalfa en praderas mixtas disminuye significativamente con la edad de la pradera. Nuestros resultados fueron similares a los de Sevilla *et*

of 52 % from alfalfa to the fodder yield on the third year after being established and confirmed that this species does not maintain the yield potential between years; they also mentioned that the contribution of alfalfa in mixed grasslands decreases significantly with the age of the grassland. Our results were similar to those of Sevilla *et al.* (2002), who reported death of more plants during spring-summer and that the alfalfa yield is maintained if the minimum plant density is 30 m⁻², which was on the fourth year of the grassland being established. According to Teixeira *et al.* (2007), the percentage of undergrowth in the grassland increased with the age of the alfalfa cultivation.

al. (2002), quienes reportaron muerte de más plantas durante primavera-verano y que el rendimiento de alfalfa se mantiene si la densidad mínima de plantas es 30 m^{-2} , lo cual fue al cuarto año de establecida la pradera. Según Teixeira *et al.* (2007), el porcentaje de malezas en la pradera aumentó con la edad del cultivo de alfalfa.

La hoja tuvo un aporte menor ($p \leq 0.05$) al rendimiento en verano (14 %) y mayor en otoño, invierno y primavera (31, 31, y 29 %; $p \leq 0.05$). El tallo presentó un aporte mayor en primavera (29 %) y menor en verano (15 %). El material muerto fue 14 % más abundante en otoño respecto a invierno (8 %), primavera (7 %) y verano (6 %) ($p \leq 0.05$). Al respecto, Mendoza *et al.* (2010) encontraron una cantidad mayor de hoja en invierno y de material muerto en verano.

Relación hoja:tallo

Diferencias significativas en la relación hoja:tallo se registraron entre variedades en todas las estaciones del año y en el promedio anual ($p \leq 0.05$). Las variedades con el promedio anual mayor de la relación hoja:tallo fueron Júpiter y Oaxaca (1.8 y 1.4). La relación hoja:tallo mayor entre variedades (1.6) se presentó en otoño y Júpiter sobresalió por el valor mayor (3.3). La tendencia estacional mostró el siguiente orden: otoño > invierno > primavera > verano (1.6, 1.4, 1.1, y 1.0 respectivamente). Las variedades Chipilo, Oaxaca, Milenia, San Miguelito y Valencia no mostraron diferencias entre estaciones (Cuadro 2). Según Villegas *et al.* (2004), el comportamiento estacional fue: otoño > verano > invierno > primavera; además, la disminución de la relación hoja:tallo en los meses más cálidos se relaciona con la producción mayor de materia seca, debido al aumento del peso individual de los tallos. Lamb *et al.* (2014) observaron una relación hoja:tallo mayor en junio (inicios de verano), y la relacionaron con la edad temprana de rebrote y, además, la relación hoja:tallo menor fue en las etapas tardías de floración. Halim *et al.* (1989) reportaron valores de 0.7 con 21 d de rebrote y 0.6 con 49 d, y los intervalos de corte de nuestro estudio son similares a esos resultados. Según Morales *et al.* (2006), la relación hoja:tallo tuvo un comportamiento inverso al rendimiento de materia seca y a la tasa de crecimiento, principalmente en los meses más calurosos del año, lo cual coincide con el recambio de tejido acelerado y ocasiona una caída mayor de hojas. Pero

The leaf contributed less ($p \leq 0.05$) to the yield in summer and more in fall, winter and spring (31, 31 and 29 %; $p \leq 0.05$). The stem showed a higher contribution in spring (29 %) and lower in summer (15 %). The dead material was 14 % more abundant in fall compared to winter (8 %), spring (7 %) and summer (6 %) ($p \leq 0.05$). In this regard, Mendoza *et al.* (2010) found a higher amount of leaf in winter and of dead material in summer.

Leaf:stem rate

Significant differences in the leaf:stem rate were found between varieties in all the seasons of the year and in the annual average ($p \leq 0.05$). The varieties with the highest annual average of leaf:stem rate were Júpiter and Oaxaca (1.8 and 1.4). The highest leaf:stem rate between varieties (1.6) was found in fall and Júpiter stood out for the highest value (3.3). The seasonal tendency showed the following order: fall > winter > spring > summer (1.6, 1.4, 1.1 and 1.0 respectively). The Chipilo, Oaxaca, Milenia, San Miguelito and Valencia varieties did not show differences between seasons (Table 2). According to Villegas *et al.* (2004), the seasonal behavior was: fall > summer > winter > spring; besides, the decrease in the leaf:stem rate during the warmer months is related to the higher production of dry matter, due to the increment in individual weight of the stems. Lamb *et al.* (2014) observed a higher leaf:stem rate in June (beginning of summer), and they related it to the early age of regrowth and, besides, the lowest leaf:stem rate was during the later stages of flowering. Halim *et al.* (1989) reported values of 0.7 with 21 d of regrowth and 0.6 with 49 d, and in our study the cutting intervals are similar to those results. According to Morales *et al.* (2006), the leaf:stem rate had an inverse behavior to the yield in dry matter and the growth rate, primarily in the warmest months of the year, which coincides with the accelerated replacement of tissue and causes a higher leaf fall. However, the value recorded in the Júpiter variety of our study (Table 2) was similar to that obtained by Villegas *et al.* (2006) in the Valenciana variety (3.4) in fall.

Population density of stems

The Júpiter and Aragón varieties showed the highest annual averages in population density of

Cuadro 2. Cambios estacionales y promedio anual en la relación hoja:tallo de alfalfa.
Table 2. Seasonal changes and annual average in the leaf:stem rate of alfalfa.

Variedad	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Promedio	EEM
Vía Láctea	1.5 Ba	1.3 BCab	1.4 Aa	1.0 ABb	1.3 B	0.1
Chipilo	1.0 Ba	1.2 BCa	1.1 ABCa	0.9 ABa	1.1 B	0.2
Atlixco	2.0 Ba	1.4 ABCab	0.9 Cab	0.7 Bb	1.1 B	0.3
Oaxaca	2.1 ABa	1.2 Ca	1.1 ABCa	1.3 Aa	1.4 AB	0.6
San Miguelito	1.0 Ba	1.1 Ca	1.2 BCa	1.0 ABa	1.1 B	0.1
Cuf-101	0.8 Bb	1.7 Aa	1.1 ABCb	1.0 ABb	1.2 B	0.1
Milenia	1.6 Ba	1.5 ABCa	1.0 BCa	1.0 ABa	1.2 B	0.3
Aragón	1.4 Bab	1.6 ABCa	1.3 ABab	1.1 ABb	1.3 B	0.2
Valenciana	1.8 Ba	1.2 BCa	1.0 BCa	1.0 ABa	1.3 B	0.4
Júpiter	3.3 Aa	1.7 Ab	1.0 BCc	1.0 ABc	1.8 A	0.2
Promedio	1.6 a	1.4 ab	1.1 bc	1.0 c	1.3	0.1
EEM	0.6	0.1	0.1	0.2	0.1	

Valores promedio con diferente letra mayúscula en una columna y con diferente minúscula en una hilera son diferentes ($p \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media / Average values with different capital letter in a column and with different lowercase letter in a row are different ($p \leq 0.05$). EEM: standard error of the mean.

el valor registrado en la variedad Júpiter en nuestro estudio (Cuadro 2) fue similar al obtenido por Villegas *et al.* (2006) en la variedad Valenciana (3.4) en otoño.

Densidad poblacional de tallos

Las variedades Júpiter y Aragón mostraron los promedios anuales mayores en densidad poblacional de tallos (578 y 542 tallos m^{-2}), San Miguelito presentó la densidad menor ($p \leq 0.05$) (Cuadro 3), y las diferencias entre estaciones fueron significativas ($p \leq 0.05$). La cantidad poblacional de tallos mayor (546 m^{-2}) y menor (362 tallos m^{-2}) se observó en invierno y primavera, y el orden estacional fue invierno (546 tallos m^{-2}) > otoño (450 tallos m^{-2}) > verano (380 tallos m^{-2}) > primavera (362 tallos m^{-2}). Estos resultados tuvieron una relación inversa con el rendimiento de forraje de todas las variedades (Cuadro 1), debido al menor crecimiento durante otoño e invierno (Rojas *et al.*, 2016) y fue compensado por la densidad mayor de tallos pequeños (Rivas *et al.*, 2005; Rojas *et al.*, 2016), conocida como ley de auto-clareo (Hernández-Garay *et al.*, 1999). Al respecto, Teixeira *et al.* (2007) señalaron que en el estrato basal de la planta los factores ambientales, como temperatura y luz, controlan la dinámica de aparición de los tallos; así, cuando el dosel se abre, la luz estimula el rebrote y retarda la senescencia. Ventroni *et al.* (2010) encontraron densidades de 336 a 700 tallos

(578 and 542 stems m^{-2}), San Miguelito presented the lowest density ($p \leq 0.05$) (Table 3), and the differences between seasons were significant ($p \leq 0.05$). The highest (546 stems m^{-2}) and lowest (362 stems m^{-2}) population amount of stems was observed in winter and spring, and the seasonal order was winter (546 stems m^{-2}) > fall (450 stems m^{-2}) > summer (380 stems m^{-2}) > spring (362 stems m^{-2}). These results had an inverse relation with the forage yield of all the varieties (Table 1), due to the lower growth during fall and winter (Rojas *et al.*, 2016) and was compensated by the higher density of small stems (Rivas *et al.*, 2005; Rojas *et al.*, 2016), known as law of auto-clearing (Hernández-Garay *et al.*, 1999). In this regard, Teixeira *et al.* (2007) pointed out that in the basal stratum of the plant the environmental factors, such as temperature and light, control the dynamic of stem appearance; thus, when the canopy opens, the light stimulates regrowth and delays senescence. Ventroni *et al.* (2010) found densities of 336 to 700 stems m^{-2} , with average of 435 stems m^{-2} . Teixeira *et al.* (2007) observed higher amounts (780 to 900 stems m^{-2}) and in alfalfa populations with cutting intervals of 28 and 42 d, the average values can be 784 stems m^{-2} and a leaf area index of 2.1.

Plant density

Between varieties and seasons of the year, the average annual plant density changed ($p \leq 0.05$;

Cuadro 3. Cambios estacionales y promedio anual de la densidad poblacional de tallos (tallos m⁻²) de variedades de alfalfa.

Table 3. Seasonal changes and annual average of the population density of stems (stems m⁻²) of alfalfa varieties.

Variedad	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Promedio	EEM
Vía Láctea	422 ABCD b	531 AB b	542 A a	428 AB a	481 ABC	35
Chipilo	382 ABCD a	457 AB a	313 BCDE a	301 AB a	363 ABC	109
Atlixco	563 ABC a	588 AB a	415 ABCD a	536 A a	525 AB	118
Oaxaca	423 BCD a	506 AB a	360 ABCDE a	340 AB a	407 ABC	172
San Miguelito	299 D b	425 B a	173 E d	232 B c	282 C	26
Cuf-101	358 CD b	540 AB a	263 CDE c	270 AB b	358 ABC	42
Milenia	488 ABCD a	596 AB a	452 ABC a	430 AB a	492 ABC	84
Aragon	579 AB a	690 A a	390 ABCDE a	508 AB a	542 A	215
Valenciana	385 ABCD a	422 B a	213 DE a	256 B a	319 BC	112
Júpiter	601 A ab	711 A a	505 AB b	496 AB b	578 A	69
Promedio	450 b	546 a	362 c	380 bc	435	34
EEM	91	138	91	115	94	

Valores promedio con diferente letra mayúscula en una columna y con diferente minúscula en una hilera son diferentes ($p \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media ♦ Average values with different capital letter in a column and with different lowercase letter in a row are different ($p \leq 0.05$). EEM: standard error of the mean.

m⁻², con promedio de 435 tallos m⁻². Teixeira *et al.* (2007) observaron cantidades superiores (780 a 900 tallos m⁻²) y en poblaciones de alfalfa con corte en intervalos de 28 y 42 d los valores promedios pueden ser 784 tallos m⁻² y un índice de área foliar de 2.1.

Densidad de plantas

Entre variedades y estaciones del año la densidad promedio anual de plantas cambió ($p \leq 0.05$; Cuadro 4). Júpiter, Vía Láctea, Milenia, Atlixco y Oaxaca tuvieron los valores anuales mayores (17 plantas m⁻² promedio), y el valor menor fue para Valenciana (8 plantas m⁻²). Los promedios estacionales tendieron a disminuir durante el estudio en este orden: otoño (20 plantas m⁻²), invierno (16 plantas m⁻²), primavera (13 plantas m⁻²) y verano (11 plantas m⁻²). Al respecto, Sevilla *et al.* (2002) indicaron que la muerte de plantas es mayor en primavera y verano, y después la densidad de plantas tiende a aumentar. El rendimiento de forraje (Cuadro 1) fue contrastante con el número de plantas promedio en cada estación, y los rendimientos mayores de forraje durante primavera y verano se deben a las condiciones de luz y temperatura favorables (Figura 1) para el crecimiento de la alfalfa (Rojas *et al.*, 2012). Al respecto, en cinco variedades de alfalfa la tasa de crecimiento, radiación interceptada, índice de área foliar y altura de planta fueron mayores en primavera-verano (Rojas *et al.*,

Table 4). Júpiter, Vía Láctea, Milenia, Atlixco and Oaxaca had the highest annual values (17 plants m⁻² average), and the lowest value was for Valenciana (8 plants m⁻²). The seasonal averages tended to decrease during the study as follows: fall (20 plants m⁻²), winter (16 plants m⁻²), spring (13 plants m⁻²) and summer (11 plants m⁻²). In this regard, Sevilla *et al.* (2002) pointed out that the death of plants is higher in spring and summer, and then the plant density tends to increase. The forage yield (Table 1) contrasted with the number of average plants in each season, and the higher yields of forage during spring and summer are due to the favorable conditions of light and temperature (Figure 1) for alfalfa growth (Rojas *et al.*, 2012). And, according to Rojas *et al.* (2016), in five alfalfa varieties the growth rate, intercepted radiation, leaf area index, and plant height were higher in spring-summer. However, Villegas *et al.* (2006) pointed out that in order to maintain the persistence of the grassland and the forage yield, the interval of plant exploitation should be defined for each season of the year, based on the speed of growth. According to Améndola *et al.* (2005), the useful life of alfalfa grasslands is three years, because the cutting frequency (9 to 11 cuts) causes a lower persistence of the plant population. Villegas *et al.* (2006) explain that frequent cutting or grazing cause a fast disappearance of plants of the desired species due to the depletion of carbohydrate reserves.

Cuadro 4. Cambios estacionales en la densidad de plantas (plantas m⁻²) de alfalfa.
Table 4. Seasonal changes in alfalfa plant density (plants m⁻²).

Variedad	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Promedio	EEM
Vía Láctea	23 Aa	20 Ab	17 Ac	14 Ad	18 A	1
Chipilo	19 ABa	14 ABa	11 ABa	9 ABa	13 AB	6
Atlixco	21 ABa	19 Aa	15 ABa	14 Aa	17 A	4
Oaxaca	21 ABa	17 ABab	15 ABab	10 ABb	16 A	4
San Miguelito	19 ABa	13 ABb	10 ABb	8 ABb	12 AB	2
Cuf 101	17 ABa	15 ABab	12 ABab	10 ABb	14 AB	3
Milenia	21 ABa	17 Aab	15 ABb	14 Ab	17 A	2
Aragon	19 ABa	14 ABa	13 ABa	10 ABa	14 AB	6
Valenciana	14 Ba	9 Bb	6 Bbc	5 Bc	8 B	2
Júpiter	22 Aa	19 Aab	17 Ab	14 Ab	18 A	3
Promedio	20 a	16 b	13 bc	11 c	15	2
EEM	3	4	4	3	3	

Valores promedio con diferente letra mayúscula en una columna y con diferente minúscula en una hilera son diferentes ($p \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media ♦ Average values with different capital letter in a column and with different lowercase letter in a row are different ($p \leq 0.05$). EEM: standard error of the mean.

2016). Pero Villegas *et al.* (2006) señalaron que para mantener la persistencia de la pradera y el rendimiento del forraje el intervalo de aprovechamiento de la planta debe definirse para cada estación del año, con base en la velocidad de crecimiento. Según Améndola *et al.* (2005), la vida útil de las praderas de alfalfa es de tres años, debido a que la frecuencia de corte (9 a 11 cortes) provoca una persistencia menor de la población de plantas. De acuerdo con Villegas *et al.* (2006) los cortes o pastoreos frecuentes ocasionan desaparición rápida de plantas de la especie deseable por un agotamiento de las reservas de carbohidratos.

CONCLUSIONES

La variedad Júpiter presentó el comportamiento productivo y la relación hoja:tallo mejores. En verano se obtuvo el rendimiento anual acumulado mayor. Independiente de la variedad, la edad de las praderas influye en la invasión de malezas y densidad de plantas de alfalfa, lo que afecta su persistencia. La densidad poblacional mayor de tallos se presentó en invierno y la menor en primavera. Las variedades Júpiter y Aragón mostraron las densidades poblacionales mayores de tallos y San Miguelito la menor.

CONCLUSIONS

The Júpiter variety presented the best productive behavior and leaf:stem rate. The highest accumulated annual yield was obtained in summer. Regardless of the variety, the age of the grasslands influences the invasion of undergrowth and plant density of alfalfa, which affects its persistence. The highest population density of stems was found in winter and the lowest in spring. The Júpiter and Aragón varieties showed the highest stem population densities and San Miguelito the lowest.

—End of the English version—

---*---

LITERATURA CITADA

Alarcón, Z., B., G. C. Ortega N., S. S. Gonzales M., T. Cervantes M., R., y Venegas O. 2011. Manual de la selección genética y molecular, producción de semilla de alfalfa en el Valle del Mezquital, Hidalgo. Fundación Hidalgo Produce A.C. México. 80 p.

- Améndola, M. R. D., G. Castillo E., y P. A. Martínez H. 2005. Perfiles por país del recurso pastura/forraje. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/PDF%20files/Mexico-Spanish.pdf> (Consulta: octubre 2015).
- Cinar, S., and Hatipoglu, R. 2014. Forage yield and botanical composition of mixtures of some perennial warm season grasses with alfalfa (*Medicago sativa* L.) under mediterranean conditions. *Turk. J. Field Crops* 19: 13-18.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.
- Halim, R. A., D. Buxton R., M. Hattendorf J., and R. Carlson E. 1989. Water-stress effects on alfalfa quality after adjustments for maturity differences. *Agron. J.* 81: 18-94.
- Hernández-Garay, A., C. Matthew, and Hodgson J. 1999. Tiller size-density compensation in ryegrass miniature swards subject to differing defoliation heights and a proposed productivity index. *Grass Forage Sci.* 154: 347 – 356.
- Lamb, J. F. S., G. Hans-Joachim J., and R. Heathcliffe. 2014. Growth environment, harvest management and germplasm impacts on potential ethanol and crude protein yield in alfalfa. *Biomass Bioenergy* 63: 114-125.
- Mendoza, P. S. I., A. Hernández G., J. Pérez P., A. R. Quero C., J. A. S. Escalante, E., J. L. Zaragoza R., y O. Ramírez R. 2010. Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Rev. Mex. Ciencias Pec.* 1: 287-296.
- Milic, D., D. Karagic, S. Vasiljevic, A. Mikic, B. Milošević, and S. Katic. 2014. Breeding and improvement of quality traits in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Genetika* 46: 11-18.
- Morales, A. J., J. Jiménez L., V. A. Velasco V., Y. Villegas A., J. R. Enríquez del V., y A. Hernández G. 2006. Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertilizante en la mixteca de Oaxaca. *Téc. Pecu. Méx.* 44:277-288 p.
- Ortíz, S., C. 1997. Colección de Monolitos. Departamento de génesis de suelos. Edafología. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 123 p.
- Rivas, J. M. A., C. López C., A. Hernández G., y P. Pérez J. 2005. Efecto de tres regímenes de cosecha en el comportamiento productivo de cinco variedades comerciales de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Téc. Pecu. Méx.* 43: 79-92.
- Rojas, G. A. R., A. Hernández G., S. Joaquín C., S. I. Mendoza, P., J. D. Guerrero R., y J. L. Zaragoza R. 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. pp: 336-340.
- Rojas, G. A. R., A. Hernández G., S. Joaquín C., M. de los A. Maldonado P., S. I. Mendoza P., P. Álvarez V., y B. M. Joaquín T. 2016. Comportamiento productivo de cinco variedades de alfalfa. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7: 1855-1866.
- Rojas-García, A. R., N. Torres-Salado, S. Joaquín-Cancino, A. Hernández-Garay, M. de los A. Maldonado-Peralta, y P. Sánchez-Santillán. 2017. Componentes del rendimiento en variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Agrociencia* 51: 697-708.
- Salinas, C. S. 2005. Pasado, presente y futuro de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en México. Semillas Berentsen. Departamento de Investigación y Desarrollo. 4 p.
- SAS, Institute. 2009. SAS/STAT® 9.2. User's Guide Release. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA.
- Sevilla, G. H., M. Pasinato, A. y M. García J. 2002. Producción de forraje y densidad de plantas de alfalfa irrigada comparando diferentes densidades de siembra. *Arch. Latinoam. Prod. Animal* 10: 164-170.
- SIAP, 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do (Consulta: noviembre 2014).
- Teixeira, E. I., M. Derrick J., B. Hamish B., and A. Fletcher L. 2007. The dynamics of lucerne (*Medicago sativa* L.) yield components in response to defoliation frequency. *Eur. J. Agron.* 26: 394-400.
- Török, P., K. András, O. Valkó, B. Deák, B. Lukács, and B. Tóthmérész. 2010. Lucerne-dominated fields recover native grass diversity without intensive management actions. *J. Appl. Ecol.* 48: 257-264.
- Ventroni, L. M., J. Volenec J., and C. Cangiano A. 2010. Fall dormancy and cutting frequency impact on alfalfa yield and yield components. *Field Crop. Res.* 119:252-259.
- Villegas, A. Y., A. Hernández G., J. Pérez P., C. López C., J. G. Herrera H., y J. F. Enriquez Q. 2004. Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Téc. Pecu. Méx.* 42:145-158.
- Villegas, A. Y., A. Hernández G., P. A. Martínez H., J. Pérez P., J. G. Herrera H., y C. López C. 2006. Rendimiento de forraje de variedades de alfalfa en dos calendarios de corte. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 369 – 372.