

## COMPONENTES DE RENDIMIENTO Y CALIDAD NUTRITIVA DE OCHO VARIETADES DE ALFALFA (*Medicago sativa* L.) EN VALLES CENTRALES DE MÉXICO

Abelino Saragos Pérez<sup>1</sup>; José Abel Vásquez Pablo<sup>1</sup>; Baldomero Alarcón Zúñiga<sup>1</sup>; Marisol Galicia Juárez<sup>2</sup>; María del Rosario Venegas Ordoñez<sup>1</sup>; Nely Arellano Duran<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia  
Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera  
México-Texcoco. Chapingo México. C. P. 56230.

<sup>2</sup> Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, Carretera  
México-Texcoco km 36.5, Montecillo, México. C.P.56230.

### RESUMEN

Con el objeto de estimar la magnitud fenotípica de componentes de rendimiento y calidad nutritiva, se evaluaron ocho variedades de alfalfa bajo un diseño genético de 10 familias de medios hermanos por variedad en dos localidades Chapingo y Acolman, Méx. Se empleó un diseño lattice rectangular 8x10 con tres repeticiones por localidad y mediciones repetidas a través del tiempo, representado las estaciones del año. Los resultados indican que el rendimiento total de forraje (4050 kgMS ha<sup>-1</sup>) y de hoja (2339 kgMS ha<sup>-1</sup>) a través de variedades fueron mayores en invierno (P<0.05); mientras que en verano fue mayor el rendimiento de tallo (1859 kgMS ha<sup>-1</sup>), y mayor la acumulación de biomasa floral en primavera (215 kgMS ha<sup>-1</sup>); con dichos componentes de rendimiento representando una alta interacción estación x localidad. La variedad Atlixco fue superior en rendimiento total, hoja y tallo, aunque la variedad Mediterránea acumuló más biomasa floral asociado a mayor número de tallos por planta (P<0.05). Se registró la mayor altura de planta en verano (45.9 cm), siendo la variedad Atlixco de mayor altura a través de todas las estaciones (37.2 cm), misma que presentó mejor persistencia junto con Tanverde, ambas con 65% al primer año productivo. La estación invernal mostró la mayor relación hoja:tallo (1.47) y proteína cruda (27.4%), sobresaliendo las variedades INIA-76 y Tanverde, aunque presentaron los menores rendimientos de forraje. Se

concluye que el rendimiento, calidad nutritiva y persistencia son altamente influenciadas por la estación del año, localidad y fuente genética disponible.

**Palabras claves:** Componentes rendimiento, diseño genético, alfalfa, interacción genotipo ambiente.

## **SUMMARY**

With the main task to estimate the phenotypic magnitude of forage yield components and nutritive value, eight alfalfa cultivars under a genetic design of 10 half-sib families per cultivar in two locations Chapingo and Acoman, Mexico, were evaluated. A rectangular lattice design 8x10 with three replications por loc and repeated measurement by annual season, was field layout. The results indicated that total forage yield (4050 kg DM ha<sup>-1</sup>) and leaf yield (2339 kg DM ha<sup>-1</sup>) by cultivars were higher on winter (P<0.05), but stem yield was higher on summer (1859) and floral yield on spring (215); with a high GxE interaction in all yield components at each season. Atlixco was highest on total, leaf and stem yield, though Mediterranea accumulated more floral biomass associated to a highest stem number per plant (P<0.05). The plant height was superior on summer (45.9 cm), with Atlixco the tallest cultivar in all seasons (37.2cm), same as for persistence jointly with Tanverde, both with 65% al first year of establishment. The leaf to stem ratio (1.47) and crude protein (27.4%) was higher on winter, with cultivars INIA-76 and Tanverde highest content, but low in forage yield, assuming a negative correlation. It was concluded that forage yield, nutritive value and persistence are highly affected by annual season, location and genetic background.

**Key words:** Forage yield components, genetic design, alfalfa, GxE interaction.

## INTRODUCCIÓN

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es el principal cultivo forrajero de las leguminosas, con aproximadamente 32 millones de hectáreas sembradas a nivel mundial (Julier *et al.*, 2003). En México la alfalfa constituye un recurso forrajero importante, debido a su amplia adaptación a diferentes climas y suelos (Moreno y Talbot, 2006), además constituye una fuente importante de alimentación para la producción de leche en estabulación y en la elaboración de concentrados alimenticios, debido a su alta producción de materia seca, contenido proteico y digestibilidad (Li *et al.*, 2011); así como la utilización de aguas negras o blancas para el riego de sembradíos de alfalfa. Brummer (2004) menciona que el cultivo de alfalfa controla la erosión del suelo, mejora la calidad del agua, reduce los brotes de plagas y aporta cantidades considerables de nitrógeno al suelo.

La superficie nacional sembrada en 2010 es alrededor de 391, 041 ha, con una producción total en el país de 28, 200, 037 ton (SIAP-SAGARPA, 2011), donde los estados con mayor producción de alfalfa son Guanajuato, Chihuahua, Hidalgo, Puebla, Querétaro, Michoacán, Jalisco, Baja California y Estado de México. Las variedades que se siembran en dichos estados son muy diversas, aunque las más comunes en Valles Altos Centrales de México son Aragonesa, Atlixco, Oaxaca, San Miguelito, CUF101, y Júpiter, pero son producidas y seleccionadas en otras regiones del país o del mundo. Se estima que entre el 85% y 90% de las necesidades anuales de semilla de alfalfa son provenientes de Estados Unidos, España y Australia, lo cual lo hace dependiente del uso de variedades y estrategias de selección de regiones contrastantes a nuestro país (Salinas, 2005). Por tal razón, para abastecer las necesidades urgentes de semilla de variedades mejoradas para Valles Altos Centrales, es importante conocer todas las posibles fuentes genéticas de alfalfa que han sido ampliamente utilizadas a través de décadas por productores, determinar la magnitud de la variación genética de parámetros de rendimiento y calidad nutritiva bajo diferentes ambientes, y establecer esquemas de selección con base a los dos puntos anteriores. Se han generado infinidad de reportes comparativos

entre variedades bajo distintas localidades y épocas del año, con resultados contrastantes para componentes de rendimiento y calidad nutritiva (Camacho y García, 2003; Rivas *et al.*, 2005; Mendoza *et al.*, 2010; Rojas, 2011); sin embargo, no existen reportes de investigación que estudien y ofrezcan un conocimiento genético amplio de la alfalfa en Valles Altos Centrales, para caracteres de importancia agronómica y zootécnica, por lo que este trabajo es pionero en proponer esquemas de evaluación de poblaciones potenciales para generar variedades de alto rendimiento y calidad nutritiva. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento productivo y de calidad de 8 variedades de alfalfa bajo un diseño genotípico de familia de medios hermanos, cultivadas en Chapingo y Acolman, Estado de México.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Ubicación y clima de la región del área experimental**

El experimento se realizó en dos etapas: la primera consistió en la preparación del material vegetativo en el invernadero de la sección de forrajes del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), y la segunda etapa fue el ensayo de rendimiento en dos localidades: Campo Agrícola Experimental “Tabla San Juan”, de la UACH, en Chapingo, 19° 29’54.7” N y 98° 51’25.8” W, 2318 msnm (García, 1988); y en Xometla, municipio de Acolman, 19° 39’09.8” N, y 98°52’39.7” W , a 2271 msnm, en el estado de México.

El clima de Chapingo, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificado por García (1988), corresponde a un Cb (wo) (w) (i) g, con una precipitación media anual es de 604.3 mm, temperatura media anual de 16.4 °C (rango de 25 a 7.8 °C) y una precipitación acumulada media anual de 1529.3 mm. Para la localidad Xometla, Acolman Méx., es un clima templado semiseco Cb(wo) (w) (i) g, temperatura media anual de 13.8°C (rango mensual de 22.9 a 4.8 °C),

precipitación media anual acumulada de 601.5mm, con invierno seco y lluvias en verano (Servicio Meteorológico Nacional, 2012).

El suelo de la localidad experimental Chapingo pertenece a la variante Nativitas, clasificado por Cachón *et al.* (1976) con pendiente de 2 al 3%, estrato superficial de poco espesor, color pardo grisáceo muy oscuro y de textura franco que cambia de migajón arenoso con la profundidad presentando un estrato cementado (tepetate), su fertilidad natural es baja con pobre contenido de materia orgánica y con baja capacidad de retención de humedad, y pH neutro a ligeramente alcalino. Para Xometla el tipo de suelo es yermasol y litosol (Enciclopedia de los municipios, 2011).

### **Material genético y diseño experimental**

Se emplearon ocho variedades de alfalfa bajo un diseño genotípico de 10 familias de medios hermanos cada una: Julia, Rustique, Mácate, Mediterránea, Atlixco, Tanverde, INIA-76 y Júpiter. Se establecieron aleatoriamente en un diseño lattice rectangular 8 x 10 con tres repeticiones y mediciones repetidas a través de las estaciones del año, iniciando en primavera 2010 y finalizando en el invierno de 2011, siendo en total cinco evaluaciones. Cada parcela experimental se constituyó de 6 hileras de 4 m, con una separación entre hileras de 20 cm y de 15 cm entre plantas; la densidad poblacional por parcela fue de 167 plantas.

### **Componentes de rendimiento y análisis bromatológico**

Las variables de respuesta estuvieron constituidas por estimaciones de altura de la planta y número de tallos con 6 plantas por parcela y mediciones desde la base del suelo hasta el ápice de la planta. El rendimiento de forraje se midió de toda la parcela experimental con estimaciones del total, y por componente de hoja, tallo e inflorescencia en materia seca (55 °C durante 72 horas). Se obtuvo una submuestra de 300 g por parcela para estimar el contenido de proteína cruda, fibra detergente neutro

y ácida, a base del Sistema de Reflectancia en Rojo Cercano (NIRS, Perkin Elmer Lambda 950 UV/Vis/NIR) a una longitud de onda de 400 a 3300 nm cada 2 nm. En el Cuadro 1 se muestran los datos del software QUANT+ (Perkin Elmer®) utilizados para la curva de calibración con los cuales se realizó la predicción de datos de las muestras para PC, FDN y FDA.

Cuadro 1. Datos del software QUANT+ para la predicción de Proteína Cruda, Fibra Detergente Neutro y Fibra Detergente Acido de las muestras.

PLS	Localidad: Chapingo			Localidad: Acolman		
	Corte 1 21/06/10	Corte 3 09/09/10	Corte 5 11/02/11	Corte 1 24/06/10	Corte 3 11/09/10	Corte 5 13/02/11
<b>PC</b>						
Std Error of Prediction: Estimate	0.2537	0.3057	0.3728	0.331	0.1927	0.04453
Multiple Correlation	0.9928	0.9944	0.9893	0.9955	0.997	0.9999
Mean Property Value	27.4	22.47	27.65	27.24	22.51	27.65
% Variance (R squared)	98.5636	98.886	97.8649	99.1016	99.4076	99.9786
Std Error of Estimate (SEE)	0.2117	0.282	0.3084	0.269	0.1546	0.03567
F-value	156.3	202.2	117.9	215.1	327.2	5479
<b>FDN</b>						
Std Error of Prediction: Estimate	0.189	0.1032	0.1369	0.1162	1.321	0.1391
Multiple Correlation	0.9998	0.9999	0.9997	0.9998	0.9891	0.9993
Mean Property Value	37.15	45.64	33.25	36.15	37.27	19.73
% Variance (R squared)	99.9555	99.973	99.9482	99.9602	97.8298	99.8692
Std Error of Estimate (SEE)	0.1435	0.06488	0.09128	0.1026	1.165	0.1031
F-value	3054	4381	2264	2268	61.31	1038
<b>FDA</b>						
Std Error of Prediction: Estimate	0.1391	0.08891	0.6424	0.06111	0.2694	0.2346
Multiple Correlation	0.9993	0.9999	0.9795	0.9997	0.9963	0.9973
Mean Property Value	19.73	26.64	17.44	17.39	21.14	21.14
% Variance (R squared)	99.8692	99.9706	95.9333	99.9466	99.2597	99.47
Std Error of Estimate (SEE)	0.1031	0.06756	0.5479	0.04708	0.2422	0.2315
F-value	1038	4952	50.13	2440	225.5	181.4

## Análisis estadístico

El modelo estadístico empleado en el ensayo experimental fue:  $Y_{ijklmn} = \mu + LOC_i + SUB(REP*LOC)_{ijk} + CORTE_l + (CORTE*LOC)_{il} + SUB(REP*LOC*CORTE)_{ijkl} + VAR_m + (VAR*CORTE)_{lm} + (VAR*LOC)_{im} + (VAR*CORTE*LOC)_{ilm} + E_n$ , donde LOC es el efecto de localidad, SUB es subbloque en lattice 8 x 10, REP es la repetición, CORTE efecto del corte, VAR refiere a la variedad de alfalfa, y las interacciones. Para observar el efecto de corte, localidad y variedad, se realizó un análisis de varianza con el procedimiento PROC MIXED (SAS, Versión 9.2), con un diseño de parcelas divididas con mediciones repetidas a través del tiempo. La comparación de medias se efectuó mediante la prueba de Tukey ajustada ( $\alpha = 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Rendimiento de materia seca de los componentes morfológicos de alfalfa (total, hoja, tallo y floral)**

El rendimiento total y de componentes morfológicos de alfalfa, varió por efecto de la localidad, época de corte y variedad (Cuadro 2), correspondiendo a la localidad Chapingo el mayor rendimiento de materia seca total, por hoja, tallo y racimos florales, siendo los cortes de verano los de máximo rendimiento total, hoja y tallo, pero la mayor acumulación de biomasa floral se presentó en primavera. Para la localidad Acolman se obtuvo el mayor rendimiento total, hoja y tallo en el corte de invierno, en cambio la acumulación de biomasa floral fue mayor en el corte de verano (11/09/2010). En ambas localidades, se encontró una reducción en el rendimiento total y por componentes durante el otoño, asumido por la presencia de bajas temperaturas o también a una mayor precipitación en días previos al corte que incrementaron la presencia de enfermedades fungales y plagas trozadoras como chapulines (*Sphenarium purpurascens*). Ambos efectos climatológicos son considerados importantes y afectan la respuesta productiva en las variedades de alfalfa (Alarcón *et al.*, 2004), inclusive en otoño ocurre una reducción del crecimiento vegetativo denominado como dormancia otoñal, comportamiento de algunas variedades que reducen su crecimiento para iniciar una dormancia completa de invierno. Según Douglas (1981) los factores determinantes en el patrón de crecimiento de la alfalfa son la temperatura y la radiación. En cambio, Bauder *et al.* (1978) concluyen que la producción de alfalfa depende principalmente de la humedad del suelo, encontrando una relación positiva entre el rendimiento de la especie y la disponibilidad de agua, ya que la alfalfa presenta una alta transpiración; sin embargo, se asume que el decremento en el rendimiento en otoño se debió principalmente a la presencia de enfermedades, reducción en temperaturas nocturnas, y menor radiación solar.

Cuadro 2. Producción de materia seca de los componentes morfológicos de cinco cortes de alfalfa, evaluados en Chapingo y Acolman.

Corte	Producción de materia seca (kg ha <sup>-1</sup> )											
	Total			Hoja			Tallo			Biomasa floral		
	Chap	Acol	Media	Chap	Acol	Media	Chap	Acol	Media	Chap	Acol	Media
1. Primavera	5082b	1251e	<b>3516b</b>	2548b	672d	<b>1781b</b>	2179b	567d	<b>1520c</b>	356a	0b	<b>215a</b>
2. Verano	5645a	1588d	<b>3606b</b>	2783a	799c	<b>1786b</b>	2862a	790c	<b>1820a</b>	1b	0b	<b>0.37c</b>
3. Verano	4327c	2722b	<b>3601b</b>	2055c	1087b	<b>1618c</b>	2272b	1359a	<b>1859a</b>	0b	276a	<b>125b</b>
4. Otoño	3246d	2021c	<b>2689c</b>	1674d	902c	<b>1323d</b>	1572d	1119b	<b>1366d</b>	0b	0b	<b>0c</b>
5. Invierno	4892b	3062a	<b>4056a</b>	2841a	1742a	<b>2339a</b>	2052c	1359a	<b>1717b</b>	0b	0b	<b>0c</b>

abcd= Medias con la misma letra minúscula en una misma columna, no son diferentes (P > 0.05).

Cortes 1, 2, 3, 4, 5 de Chapingo (Chap): fechas de corte: 21/06/2010, 29/07/2010, 09/09/2010, 21/10/2010 y 11/02/2011, respectivamente.

Cortes 1, 2, 3, 4, 5 de Acolman (Acol): fechas de corte: 24/06/2010, 31/07/2010, 11/09/2010, 23/10/2010 y 13/02/2011, respectivamente.

Rojas (2011) reporta que el promedio estacional de rendimiento total de variedades de alfalfa presenta el siguiente orden descendente: verano 36% > primavera 27% > otoño 24% > invierno 13%, con un rendimiento anual acumulado de 17313 kg MS ha<sup>-1</sup>, comportamiento similar al encontrado en el presente experimento. Por otro lado, Mendoza (2008) reportó que el rendimiento total se maximiza con frecuencias de corte de 7 semanas para otoño-invierno y 6 semanas en primavera-verano, lo que justifica que hay mayor acumulación de biomasa en primavera y verano, y menor en otoño e invierno. Así mismo, Rivas *et al.* (2005) registraron para cinco variedades de alfalfa, un rendimiento promedio anual de forraje de 31132 kg MS ha<sup>-1</sup>, con intervalos de cortes de 4 semanas en primavera-verano, 5 semanas en otoño y 6 semanas en invierno. El rendimiento obtenido presentó el siguiente orden a través del año: verano 31% > primavera 27% > otoño 22% > invierno 20%.

El rendimiento de hoja de las variedades evaluadas, fue mayor durante el periodo invernal que en las demás épocas del año, tal como lo reporta Rojas (2011), quien encontró un 57.9% y 59.2% de hoja en otoño e invierno, superando a las de primavera (47.9%) y verano (44.9%). Al respecto, Mendoza



*et al.* (2010) reportaron datos similares a los del presente estudio, en donde al evaluar la variedad San Miguelito, independientemente de los intervalos de corte estudiados, la estación con mayor proporción de hoja fue durante el invierno con 65%.

Con relación a las variedades evaluadas, se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en los componentes morfológicos de las dos localidades (Cuadro 3), excepto en la acumulación de biomasa floral, encontrando que la variedad Atlixco en la localidad Chapingo obtuvo el mayor rendimiento promedio por corte con  $4875 \text{ kg MS ha}^{-1}$ , y con rendimientos de  $2482$  y  $2297 \text{ kg MS ha}^{-1}$  para hoja y tallo, respectivamente. En tanto, la mayor acumulación de biomasa floral fue para cv. Mediterránea con  $125 \text{ kg MS ha}^{-1}$ . En cuanto a la localidad de Acolman, la variedad Tanverde registró los valores superiores en rendimiento total, hoja y tallo con producciones de  $2378$ ,  $1131$  y  $1186 \text{ kg MS ha}^{-1}$ , respectivamente, mientras que la biomasa floral, superó en producción la variedad Júpiter con una acumulación de  $68 \text{ kg MS ha}^{-1}$ . En conclusión, el promedio de las dos localidades se observó que la variedad Atlixco reportó los valores más altos en rendimiento total, hoja y tallo, mientras que en biomasa floral superó en producción la variedad Mediterránea.

Cuadro 3. Producción de materia seca de los componentes morfológicos de ocho variedades de alfalfa, evaluados en dos diferentes localidades experimentales (Chapingo y Acolman).

Variedades	Producción de Materia Seca ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ )											
	Total			Hoja			Tallo			Biomasa floral		
	Chap.	Acol.	Media	Chap.	Acol.	Media	Chap.	Acol.	Media	Chap.	Acol.	Media
Atlixco	4875a	2152ab	<b>3819a</b>	2482a	1090ab	<b>1942a</b>	2297a	1015abc	<b>1800a</b>	96a	46a	<b>76.63a</b>
INIA-76	4387c	1988b	<b>3204c</b>	2294b	987ab	<b>1650c</b>	2033c	941c	<b>1495d</b>	60a	58a	<b>59.33a</b>
Julia	4547bc	1975b	<b>3399bc</b>	2344ab	962b	<b>1727bc</b>	2120bc	962bc	<b>1603cd</b>	84a	51a	<b>69.02a</b>
Júpiter	4714ab	2305a	<b>3509b</b>	2419ab	1119ab	<b>1769bc</b>	2191abc	1118ab	<b>1654bc</b>	103a	68a	<b>85.81a</b>
Macate	4543bc	2124ab	<b>3493b</b>	2329ab	1027ab	<b>1764bc</b>	2153abc	1036abc	<b>1668abc</b>	61a	60a	<b>60.95a</b>

Mediterránea	4625abc	2103ab	<b>3586ab</b>	2394ab	1014ab	<b>1826ab</b>	2106bc	1030abc	<b>1663bc</b>	125a	58a	<b>97.32a</b>
Rustique	4548bc	1994b	<b>3377bc</b>	2337ab	993ab	<b>1721bc</b>	2146abc	949bc	<b>1597cd</b>	66a	51a	<b>58.97a</b>
Tanverde	4694ab	2378a	<b>3597ab</b>	2365ab	1131a	<b>1781bc</b>	2247ab	1186a	<b>1744ab</b>	83a	60a	<b>71.86a</b>

abcd= Medias con la misma letra minúscula en una misma columna, no son diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (P 0>.05).

Las diferencias entre variedades pueden ser por factores genéticos como explica Riday y Brummer (2005a), quienes realizaron un estudio para entender las bases genéticas de la heterosis de la alfalfa en la acumulación de biomasa, concluyendo que la respuesta productiva depende en mayor proporción de la carga genética de cada variedad y subespecie, más que la complementariedad génica entre variedades o subespecies, y que son afectados por variaciones climatológicas extremas. En estos resultados intervienen muchos factores como es el caso del ambiente, el cual está en función de la interacción entre genotipos (Lamb *et al.*, 2006). Las variaciones de temperatura fueron más frecuentes en Acolman que en Chapingo, siendo de un rango de 22.9 a 4.8 °C mensual para Acolman y de 25 a 7.8 °C para Chapingo, lo cual indica una mayor presencia de heladas negras en Acolman que en Chapingo. Otro factor que influyó en el rendimiento fue la menor precipitación y riegos ocurridos en Acolman, lo cual afectó el rendimiento y sobrevivencia a bajas temperaturas.

### **Altura de plantas**

La altura de la planta es un descriptor de la producción de forraje asociado a parámetros como número de tallos, momento y facilidad de cosecha, tipo de maquinaria, método de apacentamiento, entre otros, y es determinado por diversos factores como el genotipo, temperatura, precipitación, radiación, evapotranspiración, humedad y nutrientes del suelo (Alarcón *et al.*, 2011). Con base al promedio de las variedades a través de cortes en ambas localidades, se encontró que la altura de las plantas no difirió entre variedades, aunque la diferencia radicó con base al efecto entre épocas, siendo el corte 3 (finales de verano) cuando las plantas presentaron mayor altura, seguido del corte 2 (inicio de verano), y posteriormente los cortes de otoño, invierno y primavera, respectivamente

( $P < 0.05$ ). La variedad que resultó en menor altura fue INIA-76, en los cortes de verano y otoño, aunque el resto de las variedades no fueron estadísticamente diferentes. Las variedades con mayor altura de planta fueron Atlixco y Júpiter, y por ende las de mayor rendimiento de forraje total.

Cuadro 4. Altura (cm) de ocho variedades de alfalfa, evaluados durante cinco cortes en Chapingo y Acolman.

Variedad	Cortes				
	21/06/2010 (Primavera)	29/07/2010 (Verano)	09/09/2010 (Verano)	21/10/2010 (Otoño)	11/02/2011 (Invierno)
Atlixco	29.7aD	40.0aB	46.1abA	38.0abB	32.1aC
INIA-76	28.6aD	36.7dB	44.8bA	36.1Bb	31.1aC
Julia	29.3aD	38.3cdB	46.0abA	37.6abB	31.5aC
Júpiter	29.2aD	38.7abcB	46.3abA	38.7aB	33.0aC
Mácate	30.4aC	39.1abcB	45.9abA	29.1aB	32.2aC
Mediterránea	30.3aC	40.0abB	45.8abA	39.3aB	31.2aC
Rustique	29.7aC	38.4bcdB	45.1abA	37.3abB	30.7aC
Tanverde	29.6aC	40.1aB	46.9aA	38.3aB	31.5aC
<b>Chapingo</b>	<b>31.5aD</b>	<b>40.9aB</b>	<b>46.4aA</b>	<b>38.4aC</b>	<b>32.1aD</b>
<b>Acolman</b>	<b>27.3bD</b>	<b>36.4bB</b>	<b>45.2bA</b>	<b>37.6bB</b>	<b>31.1bC</b>
<b>Promedio</b>	<b>29.6E</b>	<b>38.9B</b>	<b>45.9A</b>	<b>38.0C</b>	<b>31.7D</b>

abcd= Medias con la misma letra minúscula en una misma columna, no son diferentes ( $P > 0.05$ ).

ABCD= Medias con la misma letra mayúscula en una misma fila, no son diferentes ( $P > 0.05$ ).

Camacho y García (2003) no encontraron diferencias significativas entre variedades de alfalfa para altura promedio, siendo de 42.7 cm para Júpiter, 41.3 cm para Moapa, 41.7 cm para CUF 101 y 43.0 cm para la asociación con pastos conteniendo la variedad San Miguelito. De la misma manera, la época del año mostró un claro efecto en la altura de las plantas, siendo el verano donde se registraron las mayores alturas, y el invierno las más bajas, además de una notoria interacción de época x variedad ( $P < 0.001$ ). Otro factor que incide sobre la altura de la planta es el intervalo de corte, alcanzando las mayores alturas a 7 semanas para primavera-verano y 6 para otoño-invierno, con un promedio anual de 48.8 y 24.5 cm, respectivamente, como lo reporta Cadena (2009). Según el autor, la tendencia en altura para época del año fue en orden descendente, de la siguiente forma: verano>primavera>otoño> invierno. La mayor altura ( $P < 0.05$ ) fue de 61 cm en verano con 6 semanas entre cortes y la menor (17 cm) en invierno con intervalos de 3 semanas.

En general, la altura presentó un comportamiento cuadrático a través de los cortes evaluados en el primer año de cosecha, siendo el primer corte ligeramente inferior que los demás, asumiendo esto por su estado fenológico juvenil, y para el corte cinco (invierno) puede estar asociado al descenso de temperatura, radiación y presencia de heladas, que redujo su actividad fotosintética, reserva de nutrientes, área foliar remanente, y acumulación de biomasa. A partir de julio hasta octubre la altura se estabilizó, lo cual puede estar relacionado a que durante ese periodo las condiciones ambientales fueron favorables. Por otra parte, el rendimiento de materia seca y el aumento en altura se incrementa cuando se alarga el intervalo entre cortes.

### **Persistencia**

La persistencia disminuyó conforme transcurrieron los cortes sucesivos durante el primer año productivo (Cuadro 5). Se encontraron diferencias significativas a través de localidades, iniciando al primer corte en Chapingo con 85% y en Acolman con un 44%. Dichas diferencias se deben principalmente a las variaciones ambientales en cada localidad, siendo en Acolman más adversas la presencia de bajas temperaturas y altas radiaciones durante el periodo de establecimiento, en relación a Chapingo. Al quinto corte (invierno), se observó una reducción en la densidad poblacional del 15% para Chapingo (70%), y del 16% en Acolman con relación al primer corte, indicando que la mayor pérdida se debe principalmente a las condiciones climatológicas invernales, como son bajas temperaturas, presencia de heladas o granizadas, menor radiación, alta evapotranspiración, humedad relativa arriba del óptimo para la alfalfa, y sobre todo una menor capacidad de almacenamiento de reservas y rebrote de las plantas. En relación a las condiciones de manejo, Acolman tuvo una menor lámina de riego debido a dificultades en la disponibilidad de agua para riego, lo que se asume también afectó la persistencia desde el inicio del establecimiento del experimento.

En relación a la persistencia de variedades de alfalfa a través de cortes, sin incluir el efecto localidad, se encontró que a partir del cuarto corte (otoño) se notó una reducción del porcentaje de plantas presentes en las parcelas experimentales en la mayoría de las variedades, con excepción de Mediterránea que su reducción en persistencia se identificó en el corte de invierno ( $P < 0.05$ ). Las variedades con mayor persistencia al corte de invierno fueron Atlixco, Tanverde y Júpiter. Rojas (2011) menciona que la variedad Júpiter presenta una alta persistencia durante el primer año de producción (73.7%), como también se pudo observar en el presente experimento.

En general las variedades Atlixco y Tanverde con 65 % de persistencia fueron las más persistentes a través de todo el experimento. Los promedios de persistencia en la localidad Chapingo, fue de 80.2% y Acolman 38.8%, existiendo diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre ellas. La variedad INIA-76 (85%) obtuvo la mejor persistencia (Cuadro 6) en la localidad Chapingo, y las variedades Atlixco y Tanverde (64.8%) en la localidad Acolman, estas mismas variedades fueron más sobresalientes a través de los cortes, en cada localidad.

Cuadro 5. Porcentaje de persistencia y número de tallos por planta en cada localidad y a través de los cortes.

Cortes	Persistencia (%)			Número de tallos por planta		
	Chapingo	Acolman	Promedio	Chapingo	Acolman	Promedio
1(Primavera)	85a	44b	<b>67a</b>	9a	6b	<b>7e</b>
2 (Verano)	84a	45a	<b>67a</b>	10a	7b	<b>9 d</b>
3 (Verano)	82a	40b	<b>63b</b>	10a	10a	<b>10 c</b>
4 (Otoño)	80a	36b	<b>60c</b>	11a	11a	<b>11 b</b>
5 (Invierno)	70a	29b	<b>51d</b>	16a	12b	<b>14 a</b>

abcd= Medias con la misma letra minúscula en una misma columna, no son diferentes ( $P > 0.05$ ).

ABCD= Medias con la misma letra mayúscula en una misma fila, no son diferentes ( $P > 0.05$ ).

## Número de tallos por planta

De acuerdo a los resultados del número de tallos por localidad (Cuadro 5), se encontraron diferencias a través de cortes y fueron ascendentes, con excepción del tercero y cuarto corte, siendo mayor el número de tallos desde el inicio del experimento en la localidad Chapingo que en Acolman, aunque se igualó a partir del tercer corte. Al analizar el comportamiento de las variedades en ambas localidades (Cuadro 6), se observó que la variedad Atlixco fue la única que mostró diferencia ( $P < 0.05$ ) entre localidades; más sin embargo, fue la variedad mediterránea la que obtuvo el mayor número de tallos por planta.

No se encontraron diferencias entre variedades dentro de cada corte para el número de tallos ( $P < 0.05$ ); sin embargo, las diferencias ( $P < 0.05$ ) se hicieron notar en el comportamiento de las variedades a través de los cortes, donde el número de tallos por planta aumentó conforme se realizaba el corte presentando el corte uno el menor número de tallos y el corte cinco el mayor ( $P < 0.05$ ) número de tallos. Las variedades INIA-76 y Júpiter tuvieron el mayor número de tallos por planta al corte cinco.

Cuadro 6. Porcentaje de persistencia y número de tallos por plantas de cada variedad, en cada localidad.

Variedad	Persistencia (%)			Número de tallos		
	Chapingo	Acolman	Promedio	Chapingo	Acolman	Promedio
Atlixco	79 bcA	44 aB	65a	10aA	9bB	10 b
INIA-76	85 aA	38 bcB	62abc	11aA	11aA	10.5 ab
Julia	80 bcA	35 cB	59cde	10aA	10aA	10.3 ab
Júpiter	84 aA	43 abB	64ab	10aA	10aA	10.3 ab
Mácate	76 cdA	35 cB	58de	10aA	10aA	10.4 ab
Mediterránea	73 dA	36 cB	57e	11aA	11aA	10.8 a
Rustique	82 abA	36 cB	61bcd	11aA	11aA	10.4 ab
Tanverde	84 aA	43 abB	65a	10aA	10aA	10.3 ab

abcd= Medias con la misma letra minúscula en una misma columna, no son diferentes ( $P > 0.05$ ).

ABCD= Medias con la misma letra mayúscula en una misma fila, no son diferentes ( $P > 0.05$ ).

## Calidad nutritiva

Debido al gran número de muestras representadas en el experimento (ocho variedades, diez familias de medios hermanos por variedad, cinco cortes, dos localidades y tres repeticiones, que dio un total de 2,400 muestras), se decidió acotar solamente a tres cortes por localidad que representa cada uno a las estaciones de primavera (junio, 2010), verano (septiembre, 2010) e invierno (febrero, 2011).

Cuadro 7. Porcentaje de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) por localidad dentro de cada corte.

Localidad	PC			FDN			FDA		
	1	3	5	1	3	5	1	3	5
Chapingo	26.9 a	22.3 b	28.2 a	36.4 a	46.1 a	32.2 b	19.1 b	25.6 a	16.7 b
Acolman	25.7 b	23.3 a	26.3 b	36.9 a	37.3 b	36.8 a	20.0 a	20.2 b	18.9 a
Media	26.4 B	22.8 C	27.4 A	36.6 B	42.1 A	34.3 C	19.5 B	23.2 A	17.7 C

abcd= Medias con la misma letra minúscula en una misma columna, no son diferentes ( $P > 0.05$ ).

ABCD= Medias con la misma letra mayúscula en una misma fila, no son diferentes ( $P > 0.05$ ).

Cortes 1, 3, 5 de Chapingo: 21/06/2010, 09/09/2010 y 11/02/2011, respectivamente.

Cortes 1, 3, 5 de Acolman: 24/06/2010, 11/09/2010 y 13/02/2011, respectivamente.

Las localidades fueron diferentes ( $P < 0.05$ ) en el contenido de proteína cruda (PC), siendo en Chapingo la de mayor contenido en los cortes 1 (primavera) y 5 (invierno); caso contrario ocurrió en el tercer corte (verano), donde Acolman fue mayor en PC que Chapingo, asumido a una mayor temperatura en Chapingo durante el verano que en Acolman, lo que favoreció una mayor maduración de la plantas, y por ende una menor acumulación de proteína; reflejando un incremento en la concentración de FDN y FDA.

Los resultados anteriores se sustentan también con el perfil de acumulación de biomasa total, hojas, tallos y relación hoja:tallo, ya que la mayor concentración de PC en invierno fue acompañado con una mayor producción de hojas y relación hoja:tallo, como lo indican Camacho y García (2003), quienes indican que el mayor contenido de proteína está en las hojas (25.9%), seguidas por la planta completa (23.5%) y el tallo (19.9%). De manera contraria se comportó en los porcentajes de FDN ( $P < 0.05$ ), en donde el corte 3 obtuvo el mayor porcentaje de FDN (42.1%), antecedida del corte 1

(36.6%) y corte 5 (34.3%), en este mismo orden pero con porcentajes diferentes se comportó la FDA, 23.2%, 19.5% y 17.7%. Correspondiente, de manera similar, la relación hoja:tallo se comportó en forma ascendente del corte 3,1 y 5. Esto indica que existe una relación del contenido de proteína, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido, con la relación hoja:tallo presente en las muestras analizadas en cada uno de los cortes, debido a que los tallos presentan más FDN y FDA; como lo comenta Camacho y García (2003), que los tallos (51.6, 34.5%) la planta completa (50.1, 32.2%) y las hojas (44.0, 30.9) presentan los valores más altos de FDN y FDA, respectivamente. Aunado a esto el corte 3 presentó la mayor altura, como lo comenta Riday y Brummer (2005b) que a mayor altura de la planta se reduce la digestibilidad de la materia seca y proteína cruda, y una correlación positiva para fibra detergente neutra y lignina ácido detergente con altura.

Los resultados mostraron diferencias para proteína cruda ( $P < 0.05$ ) entre las variedades de alfalfa, para cada corte. La variedad Macate presentó el mayor contenido de proteína cruda, ubicado en el corte 5, seguido por el corte 1 con la variedad Tanverde (27.3%) y la variedad INIA-76 (23.2%) en el corte 3. Por otro lado, la variedad Rustique (22.4%), Macate (25.5%) y la variedad Rustique (26.8%) presentaron los valores más bajos de proteína cruda en los cortes 3, 1 y 5, respectivamente.

Las variedades que obtuvieron el menor porcentaje de FDN fue Macate en el corte 5, Rustique en el corte 1 y Mediterránea en el corte 3. De la misma manera, el menor valor de FDA lo obtuvo la variedad Atlixco en el corte 5, Júpiter en el corte 1 y Mediterránea en el corte 3. En general, las respuestas para PC, FDN y FDA de las variedades, estuvieron asociadas con la relación hoja:tallo y las alturas en cada corte.



Cuadro 8. Porcentaje de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA), por variedad dentro de cada localidad.

Variedad	PC			FDN			FDA		
	Chapingo	Acolman	Promedio	Chapingo	Acolman	Promedio	Chapingo	Acolman	Promedio
Atlixco	26.6 a A	24.9 cdB	25.7 ab	38.1 abA	35.9 bB	37.2 a	20.0 cA	19.6 aA	19.9 b
INIA-76	25.6 bcA	25.8 aA	25.7 ab	38.5 aA	37.7aA	38.1 a	20.4 abcA	20.0 aA	20.2 ab
Julia	25.9 abA	25.0 bcdB	25.5 abc	37.2 bA	36.9 abA	37.1 a	20.4 abcA	19.6 aB	20.0 ab
Júpiter	25.9 abA	24.8 cdB	25.3 bc	38.4 abA	37.7 aA	38.0 a	20.3 bcA	19.6 aB	19.9 b
Mácate	25.9 abA	24.5 dB	25.2 c	38.8 aA	36.7 abB	37.9 a	20.6 abcA	20.2 aA	20.4 a
Mediterránea	25.9 abA	25.0 bcdB	25.5 abc	37.7 abA	36.6 abB	37.1 a	20.3 bcA	19.8 aA	20.0 ab
Rustique	25.2 cA	25.2 bcA	25.2 c	38.5 aA	36.6 abB	37.7 a	20.8 abA	19.5 aB	20.2 ab
Tanverde	26.1 aA	25.6 abB	25.8 a	38.6 aA	37.4 abB	38.0 a	20.9 aA	19.5 aB	20.2 ab

abcd= Medias con la misma letra minúscula en una misma columna, no son diferentes ( $P > 0.05$ ).

ABCD= Medias con la misma letra mayúscula en una misma fila, no son diferentes ( $P > 0.05$ ).

## CONCLUSIONES

Los efectos de localidad, época y variedades a partir del diseño genético de familia de medios hermanos determinaron las variaciones fenotípicas de los componentes de rendimiento y calidad nutritiva. La época de verano fue la de mayor acumulación de forraje, seguido por primavera, invierno y otoño, donde las variedades Atlixco, Tanverde y Mediterránea presentaron la mayor respuesta. Se encontró una asociación positiva entre la relación hoja:tallo y contenido de proteína cruda, aunque negativamente correlacionado con rendimiento total de forraje, tal como ocurrió con la variedad INIA-76, que fue la de menor rendimiento pero de mayor contenido protéico. El conocimiento de las bases genéticas que determinan la magnitud de variación genética de componentes de rendimiento y calidad nutritiva, podrían apoyar a establecer esquemas de selección más apropiados para el mejoramiento genético de alfalfa, ya que no sólo depende de la carga genética de cada población, sino también de la complementariedad génica que ocurre entre alelos presentes entre y dentro de poblaciones. Por lo anterior, se sugiere realizar estudios genéticos para conocer las proporciones genéticas aditivas, dominancia, y epistáticas, así como las fracciones

ambientales y de interacción que determinan la respuesta productiva de alfalfa en Valles Altos Centrales de México.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al apoyo financiero de la Fundación Hidalgo Produce A. C., PUIS-Forraje-DGIP-UACH, Campo Agrícola Experimental UACH, Coordinación Nacional de Becas para la Educación Superior, Departamento de Enseñanza e Investigación en Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

## **LITERATURA CITADA**

- Alarcón, Z.B., C.G. Ortega N., S.S. González M., T. Cervantes M. y R. 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. Universidad Autónoma Chapingo. 80 p.
- Alarcón, Z. B., P. Scott, K.J. Moore, D. Luth and E.C. Brummer. 2004. Quantitative trait locus mapping of winter hardiness metabolites in autotetraploid alfalfa (*M. sativa*). p. 97-104. *In*: A. A. Hopkins *et al.* (ed.) Molecular breeding of forages. Developments in Plant Breeding.
- Bauder, J., A. Baver, J. Ramírez and D. Cassel. 1978. Alfalfa water use and production on dry land and irrigation sandy loam. *Agronomy J.* 70:95-99.
- Brummer, C. E. 2004. Applying genomics to alfalfa breeding programs. *Crop Sci.* 44:1904-1907.
- Cachón, A. H. A., H. E. Nery G. y Cuanalo, C. H. E. 1976. Los suelos del área influencia de Chapingo. Colegio de Postgraduados. ENA. Chapingo, México. 79 pp.
- Camacho, G. J. L y García M. J. G. 2003. Producción y calidad del forraje de cuatro variedades de alfalfa asociadas con trébol blanco, ballico perenne, festuca alta y pasto ovilla. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado en Producción Animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. Edo. México. México. 30pp.
- Douglas, J. 1981. The production and utilization of lucerne in New Zealand. *Grass and Forage Science* 41:81-127.

- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana). 4ª ed. México DF. 217 p.
- Julier, B., Flajoulot, S., Barre, P., Cardinet, G., Santoni, S., Huguet, T. and Huyghe, C. 2003. Construction of two genetic linkage maps in cultivated tetraploid alfalfa (*Medicago sativa*) using microsatellite and AFLP markers. BMC Plant Biology 19 pp.
- Lamb, S. F. J., Sheaffer, C. C., Rhodes, H. L., Sulc, M. R., Undersander, J. D. and Brummer, C. E. 2006. Five decades of alfalfa cultivar improvement: impact on forage yield, persistence and nutritive value. Crop Sci. 46:902-909.
- Li, X., Wei, Y., Moore, J. K., Michaud, R., Viands, R. D., Hansen, L. J., Acharya, A. and Brummer, C. E. 2011. Association mapping of biomass yield and stem composition in a tetraploid alfalfa breeding population. The Plant Genome 4:24-31.
- Mendoza, P. S. I., Hernández-Garay, A., Pérez, P. J., Quero, C. A. R., Escalante, E. J. A., Zaragoza, R. J. L. and Ramírez, O. R. 2010. Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. Revista Mexicana. Ciencia Pecuaria 1(3):287-296.
- Mendoza, P. S. I. 2008. Dinámica de crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferente frecuencia de corte. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 103 p.
- Moreno, S. G. y Talbot, W. L. M. 2006. Fertilización equilibrada de la alfalfa. Departamento Técnico. Stoller, Argentina. 10pp. [www.stoller.com.ar](http://www.stoller.com.ar). Consultado el 14 de Enero 2012.
- Riday, H. and Brummer, C. E. 2005a. Heterosis in a broad range of alfalfa germplasm. Crop Sci 45: 8-17.
- Riday, H. and Brummer, C. 2005b. Relationships among biomass yield components within and between subspecies of alfalfa. Published at Medicago reports. [www.medicago-reports.org](http://www.medicago-reports.org). Volumen 4:1-7. Consultado el 25 de marzo de 2012.
- 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.). Técnica Pecuaria en México 43(1):79-92.

- Rojas, G. A. 2011. Dinámica de crecimiento y rendimiento de forraje de diez variedades de alfalfa. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Edo. México.
- Salinas, C. S. 2005. Pasado, presente y futuro de la alfalfa en México. Ficha técnica de Semillas Berenten, S. A. de C. V. Departamento de investigación y desarrollo. [www.sebesa.com.mx](http://www.sebesa.com.mx). Consultado el 15 de febrero de 2012.
- Secretaría de Gobernación-Centro Nacional de Estudios Municipales-Gobierno del Estado de México, Los Municipios del Estado de México, Colección: Enciclopedia de los Municipios de México, México, 2011. Disponible en internet: <http://e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM15mexico/municipios/15002a.html>. Consultado el 07 diciembre de 2011.
- Servicio meteorológico nacional. Disponible en la página de internet: [www.smn.cna.org.mx](http://www.smn.cna.org.mx). Consultado el 17 abril de 2012.
- SIAP-SAGARPA (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). <http://www.siap.gob.mx> Consultado el 13 de diciembre de 2011.