

## Tasa de acumulación de materia seca de alfalfa en respuesta a variables climatológicas\*

### Rate of dry matter accumulation of alfalfa in response to climatic variables

Héctor Mario Quiroga Garza

§Campo Experimental "La Laguna" - INIFAP. Blvd. José S. Valdez 1200, Pte. C. P. 27440, Matamoros, Coahuila, México. Autor para correspondencia: quiroga.mario@inifap.gob.mx.

#### Resumen

La información necesaria para el desarrollo de modelos de crecimiento de la alfalfa, basados en los efectos de factores climáticos sobre el cultivo, ha sido obtenida en latitudes superiores y con alfalfas de mayor grado de latencia invernal a las explotadas en México; por lo tanto es necesario estimar la respuesta de la alfalfa a diferentes variables climáticas para las condiciones de la región (25° N). Se utilizó información de seis evaluaciones de variedades de alfalfa bajo riego, durante el período 2006 a 2010. La información climatológica se obtuvo de una estación automatizada Adcon Telemetry 840®. Se utilizó el promedio por crecimiento, de temperatura máxima, mínima, horas luz, evapotranspiración y acumulación de grados día base 5 °C. La respuesta fue diferente en las estaciones del año: para el periodo invierno-primavera todas las respuestas fueron cuadráticas, con una explicación significativamente de la variabilidad en la tasa de crecimiento (TC) de la alfalfa (t FS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) de 59, 58, 57, 55 y 27%. Para el período verano-invierno, con excepción de GDD<sub>05</sub>, todas las respuestas fueron lineales y explicaron 32, 31, 26, 25 y 10% de la variabilidad de la TC, para HrL, ETo, Tmin, Tmax y GDD<sub>05</sub>, respectivamente. Las mayores temperaturas mínimas ocurrieron en el verano y en combinación con el mayor fotoperiodo, afectó a la TC; reduciendo el período entre cortes, producción de FS, etc. La información generada, puede servir como base para el

#### Abstract

The information needed for the development of growth models of alfalfa based on the effects of climatic factors on its cultivation has been obtained at higher latitudes and with alfalfa of a higher winter dormancy grade than the alfalfa cultivated in Mexico; it is therefore necessary to estimate the response of alfalfa to different climatic variables under the conditions of the Mexican region (25° N). We used information from six assessments of alfalfa varieties under irrigation during the period 2006-2010. The climatological information was obtained from an automated station Adcon Telemetry 840®. We used the averages for growth, maximum and minimum temperature, daylength, evapotranspiration and accumulation of degree-days (base 5 °C). The response was different in each season: in the winter-spring period all responses were quadratic, with a significant explanation of the variability in the growth rate (GR) of alfalfa (t FS ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>): 59, 58, 57, 55 and 27%. In the summer-winter period, with the exception of GDD<sub>05</sub>, all responses were linear and explained 32, 31, 26, 25 and 10% of the variability in GR with respect to HrL, ETo, Tmin, Tmax and GDD<sub>05</sub>, respectively. The highest minimum temperatures occurred in the summer and, in combination with the highest photoperiod, affected the GR, reducing the time between cuts, FS production, etc.

\* Recibido: agosto de 2012  
Aceptado: abril de 2013

desarrollo de modelos de estimación del crecimiento de la alfalfa para las condiciones y latitud de la "Comarca Lagunera".

**Palabras clave:** *Medicago sativa* L., evapotranspiración, fotoperíodo, temperatura.

## Introducción

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una leguminosa que en la latitud donde se encuentra localizada la "Comarca Lagunera" (25° N), es explotada para la producción de forraje durante todo el año. Debido a lo anterior, este cultivo se desarrolla bajo una amplia gama de variables climatológicas; lo que da origen a que la productividad de la alfalfa sea fluctuante a lo largo del año. En la literatura se puede encontrar información de diferentes modelos que se han desarrollado para estimar el crecimiento y producción de alfalfa, basados en variables climáticas como temperatura, humedad disponible en el suelo y la acumulación de unidades calor o "grados día" (Fick, 1984; Selerio y Brown, 1979; Quiroga *et al.*, 1992 y 1993); hasta modelos más sofisticados que requieren información micro climática dentro de la cobertera vegetal (Holt *et al.*, 1975). Todos los anteriores modelos fueron desarrollados en los EE. UU. y Canadá, en localidades localizadas entre los 39° y 43° N, utilizando alfalfas con altos niveles de latencia invernal; donde el sistema de manejo es de tres o cuatro cortes al año.

Dentro de las variables climatológicas que han sido reportadas como determinantes en el comportamiento de la alfalfa se encuentra la temperatura, fotoperíodo, radiación solar, evapotranspiración y humedad disponible en el suelo o estrés hídrico. Se ha determinado que el crecimiento de la alfalfa ocurre en el rango de los 5 a 30 °C, con un óptimo entre los 15 y 25 °C de temperatura promedio durante el día y de 10 a 20 °C durante la noche (Sharratt *et al.*, 1986 y 1987).

Por otra parte, Brown y Radcliffe (1986), establecen el rango de 25 a 30 °C como la temperatura óptima para el crecimiento de alfalfa. La mayor actividad y translocación de carbohidratos a la corona y a la raíz de la planta se ha reportado que ocurre cuando la planta crece en un régimen de temperaturas (día/noche) de 21/8 °C, reduciéndose en regímenes de 12/2 °C y aún más en 34/25 °C (Al-Hamdani y Todd, 1990a), lo anterior como una disminución del metabolismo e incremento en la tasa de respiración respectivamente, ya que la tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub>

The information generated can serve as a basis for the development of models to estimate the growth of alfalfa under the conditions and latitude of the "Laguna Region".

**Key words:** *Medicago sativa* L., degree-days, evapotranspiration, photoperiod, temperature.

## Introduction

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is a legume that in the latitude where the "Laguna Region" (25° N) is located, is exploited throughout the year for the production of forage. Because of this, the alfalfa crop is grown under a wide range of climatic variables, which causes its yield to fluctuate throughout the year. It is possible to find in the literature information about different models that have been developed to estimate the growth and production of alfalfa based on climatic variables such as temperature, available soil moisture and accumulation of heat units or "degree-days" (Fick, 1984; Selerio and Brown, 1979; Quiroga *et al.*, 1992 and 1993), and also information about more sophisticated models that require micro-climatic information from within the vegetation cover (Holt *et al.*, 1975). All previous models were developed in the U.S. and Canada, in places located between 39° and 43° N, using alfalfa with high levels of winter dormancy for which the management system involves three or four cuts per year.

Among the climatic variables that have been reported as determinants of alfalfa behavior are temperature, photoperiod, solar radiation, evapotranspiration and available soil moisture or water stress. It has been determined that the growth of alfalfa occurs in the range of 5 to 30 °C, with an optimum between 15 and 25 °C of average temperature during the day and 10 to 20 °C overnight (Sharratt *et al.*, 1986 and 1987).

On the other hand, Brown and Radcliffe (1986) have set a range of 25 to 30 °C as the optimum temperature for alfalfa growth. It has been reported that when the plant grows in a temperature regime (day/night) of 21/8 °C there is an increased activity and translocation of carbohydrates to the crown and the root of the plant, while in temperature regimes of 12/2 °C there is a decrease, and an even greater decrease in temperature regimes of 34/25 °C (Al-Hamdani and Todd, 1990a). This occurs due to a decrease in metabolism and an increased breathing rate, as the net assimilation rate of

se incrementa al pasar de una temperatura ambiente de 18 °C a 21 °C, de 12.9 a 18.9  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , pero no se incrementa al llegar a los 35 °C; lo anterior como resultado del aumento en la tasa de respiración tanto, de tallos como de raíz a esta alta temperatura (Al-Hamdani y Todd, 1990b). La respiración nocturna de alfalfa se incrementa en forma lineal de 0.6 a 4.4  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , al incrementar la temperatura de 10 a 50 °C (Brown y Radcliffe, 1986).

El estrés hídrico, por déficit de humedad en el suelo, salinidad o por altas temperaturas, da origen a cambios fisiológicos y metabólicos en la alfalfa. A nivel de la hoja, el estrés hídrico ocasiona una reducción de la actividad fotosintética al inhibir la actividad de las enzimas Rubisco (Ribulosa 1,5-bisfosfato carboxilasa) y ATPasa, y su regeneración.

A nivel radicular, el estrés hídrico reduce la actividad de la enzima Nitrogenasa, afectando a la tasa de fijación de  $\text{N}_2$  al reducirse la respiración del nódulo y aumentando la concentración de  $\text{O}_2$  y por lo tanto el transporte de compuestos nitrogenados a la parte aérea de la planta. La alfalfa, tratará de reducir su potencial osmótico para contrarrestar el déficit hídrico al incrementar a nivel celular los contenidos de azúcares solubles y aminoácidos (Flexas y Medrano, 2002; Aranjuelo *et al.*, 2011). Todo lo anterior se verá reflejado en una menor concentración de  $\text{CO}_2$  en la hoja debido a un incremento en la resistencia estomática (Medrano *et al.*, 2002).

Sin embargo, otros estudios han demostrado que la reducción en la actividad fotosintética en las plantas de alfalfa sometidas a algún grado de estrés hídrico, no solo está ligada a la respuesta estomática al estrés hídrico (Antolín y Sánchez, 1993). Además de la respuesta estomática y cambios bioquímicos en el transporte de electrones de la fotosíntesis, la actividad fotosintética está controlada por la alteración de la expresión genética que controla la síntesis de las diferentes enzimas y proteínas que interviene en este proceso fisiológico (Chaves *et al.*, 2009).

La alfalfa pertenece al grupo fotosintético de plantas  $\text{C}_3$ , que se caracteriza por tener una baja eficiencia en el uso del agua. Los mejores índices de eficiencia en el uso del agua, evapotranspirada, están en el orden de 1.6 a 1.7  $\text{kg MS m}^{-3}$  (Grismer 2001; Lindenmayer *et al.*, 2011). El coeficiente de cultivo para la alfalfa (*Kc*) no es constante durante el año y se reporta que fluctúa de 0.71 a 1.78 dependiendo de la estación del año (Benli *et al.*, 2006). Una estrategia, no muy extendida para mejorar la eficiencia de la alfalfa, es la

$\text{CO}_2$  increases from 12.9 to 18.9  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  when the ambient temperature passes from 18 °C to 21 °C, but it stops increasing when the temperature reaches 35 °C as a result of the increase in the respiration rate of both stems and roots at this high temperature (Al-Hamdani and Todd, 1990b). The nocturnal respiration of alfalfa increases linearly from 0.6 to 4.4  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  when the temperature increases from 10 to 50 °C (Brown and Radcliffe, 1986).

Water stress, due to either soil moisture deficit, salinity or high temperature, gives rise to physiological and metabolic changes in alfalfa. At the leaf level, water stress causes a reduction of photosynthetic activity by inhibiting the activity of the Rubisco enzymes (Ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase) and ATPase, as well as their regeneration.

At the root level, water stress reduces the activity of the nitrogenase enzyme, affecting the fixation rate of  $\text{N}_2$  by reducing the nodule respiration, and increasing the concentration of  $\text{O}_2$  and, therefore, the transport of nitrogen compounds to the aerial part of the plant. Alfalfa seeks to reduce its osmotic potential to counteract the water deficit by increasing the content of soluble sugars and amino acids at the cellular level (Flexas and Medrano, 2002; Aranjuelo *et al.*, 2011). All the above will be reflected in a lower concentration of  $\text{CO}_2$  in the leaf due to an increase in stomatal resistance (Medrano *et al.*, 2002).

However, other studies have shown that the reduction of photosynthetic activity in alfalfa plants subjected to some degree of water stress is linked not only to the stomatal response to water stress (Antolin and Sánchez, 1993). In addition to the stomatal response and biochemical changes in the transport of electrons during photosynthesis, photosynthetic activity is controlled by the change of the gene expression controlling the synthesis of the various enzymes and proteins involved in the physiological process (Chaves *et al.* 2009).

Alfalfa belongs to the photosynthetic group of  $\text{C}_3$  plants, which is characterized by a low water use efficiency. The best indexes of water use efficiency and evapotranspiration show values for alfalfa in the order of 1.6 to 1.7  $\text{kg MS m}^{-3}$  (Grismer 2001; Lindenmayer *et al.*, 2011). The crop coefficient for alfalfa (*Kc*) is not constant throughout the year, reportedly ranging from 0.71 to 1.78 depending on the season (Benli *et al.*, 2006). A not very widespread strategy to improve the water efficiency of alfalfa is to suspend irrigation during

de suspender el riego durante los meses de verano, época donde la alfalfa es más ineficiente en el uso del agua (Hanson *et al.*, 2007; Orloff y Hanson, 2008; Quiroga y Faz, 2008).

Durante el verano, las condiciones climáticas como temperatura y principalmente el fotoperiodo, aceleran el desarrollo fenológico de la planta acortando el intervalo entre cortes y por ende la producción de MS. La alfalfa está catalogada como una planta de días largos, esto es la floración se acelera en el período o época del año con el mayor fotoperiodo (Major *et al.*, 1991), reduciendo el número de días entre cada corte, lo que está asociado a una disminución del rendimiento unitario por corte en esta estación del año, éste período es conocido como caída de verano o "summer slump" (Fick *et al.*, 1988).

Dado que la mayoría de la información para el desarrollo de modelos de crecimiento basados en efectos de factores climáticos sobre el desarrollo de la alfalfa han sido obtenidos en latitudes superiores, en muchos de los casos en cámaras de crecimiento y con alfalfas de mayor grado de latencia invernal a las explotadas en México, como en la "Comarca Lagunera"; por lo tanto es necesario estimar la respuesta en producción de la alfalfa a diferentes variables climáticas para las condiciones de la región.

## Materiales y métodos

En el Campo Experimental "La Laguna" de INIFAP (25° 31' latitud norte; 103° 14' latitud oeste; 1 096 msnm) fueron establecidas seis evaluaciones de variedades de alfalfa bajo riego, durante el período 2006 a 2010. Se evaluaron variedades con latencia invernal 9 y 10. La información climatológica se obtuvo de la estación automatizada Adcon Telemetry 840®, ubicada en el mismo Campo Experimental. Todas las evaluaciones de alfalfa utilizadas en este estudio, fueron establecidas bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones y con parcelas de 6 m<sup>2</sup>. Las variedades fueron evaluadas para la producción de forraje verde y seco, registrándose el peso total en verde de la parcela y con una submuestra por parcela se estimó el contenido de materia seca y la producción de forraje seco. Todos los cortes fueron realizados cuando las variedades iniciaron su proceso de floración (5 a 15% flor) y para los crecimientos invernales cuando el rebrote basal alcanzó los 3 cm de altura; obteniéndose de 8 a 9 cortes en el año de establecimiento y de 11 a 12 cortes en el 2 ó 3 año de producción.

the summer months, a time when alfalfa is more inefficient in its use of water (Hanson *et al.*, 2007; Orloff and Hanson, 2008; Quiroga and Faz, 2008).

During the summer, climatic conditions such as temperature and, mainly, the photoperiod, accelerate the phenological development of the plant by shortening the interval between cuts and thus the production of MS. Alfalfa is classified as a long-day plant, meaning that the flowering accelerates in the period or time of year with the longest photoperiod (Major *et al.*, 1991), reducing the number of days between each cut, which is associated to a decrease in the unit yield per cut in this season; this period is known as a "summer slump" (Fick *et al.*, 1988).

Since most of the information for developing growth models based on the effects of climatic factors on the development of alfalfa were obtained at higher latitudes, in many cases with the use of growth chambers and alfalfa varieties with a higher winter dormancy grade than the alfalfa varieties cultivated in Mexico in regions such as the "Laguna Region", it is necessary to estimate the yield response of alfalfa to the different climatic variables found here.

## Materials and methods

Six evaluations of irrigated alfalfa varieties were established in the Experimental Field "La Laguna" of the INIFAP (25° 31' N, 103° 14' W; 1096 masl) during the period 2006-2010. The varieties evaluated had a winter dormancy of 9 and 10. The climatological information was obtained from the automated station Adcon 840 Telemetry®, located in the same experimental field. All evaluations of alfalfa used in this study were established under a randomized block design with four replicates and with plots of 6 m<sup>2</sup>. The varieties were evaluated for the production of green and dry forage; the total weight of the green plants of each plot was recorded, and dry matter content and dry forage production were estimated based on a subsample from each plot. All cuts were made when the varieties began their flowering process (5-15% flower), and also, for evaluating winter growth, when the basal re-growth reached 3 cm tall; 8 to 9 cuts were obtained in the establishment year and 11 to 12 cuts in the second or third production year.

We used the information generated from six evaluations of alfalfa varieties established in the experimental field of La Laguna during 2004-2010. From the first to evaluation we

Se utilizó la información generada de seis evaluaciones de variedades de alfalfa, establecidas en el Campo Experimental de La Laguna, durante el periodo 2004-2010. De la primera evaluación, sólo se utilizó los datos obtenidos durante 2006, año en que entró en operación la estación climatológica automatizada. De todas las evaluaciones se utilizó la información de la variedad CUF-101 de latencia invernal "9", la cual es utilizada como testigo regional y se estableció en todas las evaluaciones. También se utilizó información de variedades de alfalfa de latencia invernal "10", como WL-711, WL-712 y Royal Ten; cuya información fue obtenida de tres de las seis evaluaciones, donde fueron establecidas.

Para cada variedad, corte y evaluación se estimó la producción de forraje seco (FA) y la tasa de crecimiento promedio de la alfalfa (TC) como  $t \text{ FS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , utilizada como variable dependiente. Durante cada crecimiento se obtuvieron las variables independientes: promedio diario de temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) °C, diferencial de temperatura (Tdif= Tmax-Tmin), fotoperiodo (horas luz, HrL), evapotranspiración potencial ETo mm (método de Penman-Monteith) obtenida directamente de la estación automatizada y la acumulación de grados día con temperatura base de 5 °C,  $GDD_{05} = \sum ((T_{\text{max}} + T_{\text{min}})/2) - 5$  (Selerio y Brown, 1979; Fick, 1984). La precipitación no se tomó en cuenta, ya que esta no es significativa para los calendarios de riego de la región, su promedio anual fluctuó de 162 mm (2009) a 288 mm (2010). En total se utilizaron 88 observaciones para invierno-primavera y 93 observaciones para verano-otoño.

Se evaluaron las relaciones entre la variable dependiente con los efectos lineales y cuadráticos de cada una de las variables independientes con el método de regresión múltiple; utilizando el procedimiento de PROC GLM del software SAS® (SAS/STAT, 1990). El nivel de significancia para seleccionar la relación fue al menos de 5% ( $p = 0.05$ ). El primer corte de cada evaluación no se tomó en cuenta ya que para alcanzar el estado fisiológico de corte se requieren de 90 a 110 días, en cambio para los subsiguientes cortes, dependiendo de la época del año, se requieren de 23 a 45 días.

## Resultados y discusión

Las tres variedades de latencia invernal "10", en sus respectivas evaluaciones; fueron estadísticamente iguales ( $p \leq 0.05$ ) al testigo CUF-101 de latencia "9" en las producciones de forraje seco, por lo tanto se consideró como una sola base

used only the data obtained in 2006, when the automated weather station became operational. From all evaluations we used the information about the CUF-101 variety, which has a winter dormancy of "9" and was used as regional control in all evaluations. We also used information about alfalfa varieties with a winter latency of "10", such as WL-711, WL-712 and Royal Ten, which was obtained from three of the six evaluations in which these varieties were established.

For each variety, cut and evaluation we estimated the dry forage production (FA) and the average growth rate of alfalfa (GR) as  $t \text{ FS ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ , which we used as the dependent variable. With each step of growth we determined the independent variables: average daily maximum (Tmax) and minimum (Tmin) temperature in °C, temperature differential (Tdif= Tmax-Tmin), photoperiod (day length, HrL), potential evapotranspiration ETo mm (Penman-Monteith method) obtained directly from the automated station, and the accumulation of degree-days with a base temperature of 5 °C,  $GDD_{05} = \sum ((T_{\text{max}} + T_{\text{min}})/2) - 5$  (Selerio and Brown, 1979; Fick, 1984). Precipitation was not considered, as it is not significant for the irrigation schedules of the region; its annual average ranged from 162 mm (2009) to 288 mm (2010). In total, 88 observations were used for winter-spring and 93 observations for summer-autumn.

We evaluated the relationships between the dependent variable and the linear and quadratic effects of each of the independent variables with the multiple regression method, using the PROC GLM procedure of the SAS® software (SAS/STAT, 1990). The significance level to accept the relationship was at least 5% ( $p = 0.05$ ). The first cut of each evaluation was not taken into account, because alfalfa plants need 90 to 110 days to attain the physiological state needed to make the first cut, while for subsequent cuts, depending on the time of the year, the plants need only 23-45 days.

## Results and discussion

The three alfalfa varieties with a winter dormancy of "10" were statistically equal ( $p \leq 0.05$ ), in their respective evaluations, to the control CUF-101, which has a dormancy of "9", with respect to dry forage production; therefore, they were considered as single data base. By relating



de datos. Al relacionar la variable dependiente, TC de la alfalfa ( $t \text{ FS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ), con los parámetros climatológicos de Tmax, Tmin, Tdif, HrL, ETo y  $GDD_{05}$ , se detectó un mismo patrón: los crecimientos ocurridos durante el invierno y primavera tuvieron un comportamiento diferente a los ocurridos durante el verano y otoño. Por lo anterior, se manejaron análisis de regresión, por separado, para cada variable climatológica. Esta diferente respuesta de la planta, puede ser atribuida al fotoperiodo: incremento durante el invierno y primavera (de 10 h 32' a 13 h 44' luz), y decremento durante el verano y el otoño (de 13 h 44' a 10 h 32' luz).

En el Cuadro 1, se muestran los niveles de probabilidad de los coeficientes de determinación: lineal y cuadrático, de la variable dependiente (TC,  $t \text{ FS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) con cada una de las variables climatológicas independientes estudiadas. Durante los crecimientos obtenidos durante el período invierno-primavera, la respuesta de la TC de alfalfa a todas las variables climatológicas (excepto Tdif,  $p > 0.05$ ) fue de segundo orden o cuadrática ( $p \leq 0.01$ ); en cambio para los crecimientos obtenidos durante el período verano-otoño, todas exceptuando  $GDD_{05}$ , fueron de primer orden o lineal ( $p \leq 0.01$ ) y de segundo orden para  $GDD_{05}$  ( $p \leq 0.05$ ).

the dependent variable, GR, of alfalfa ( $t \text{ FS ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) with the climatological parameters Tmax, Tmin, Tdif, HrL, ETo and  $GDD_{05}$ , we found the same pattern: the growth occurred during winter and spring had a different behavior to the growth that occurred during summer and autumn. For this reason, regression analyzes were handled separately for each climatic variable. This response of the plant can be attributed to the photoperiod: it increased during winter and spring (from 10 h 32' to 13 h 44' of light), and decreased during summer and autumn (from 13 h 44' to 10 h 32' of light).

Table 1 shows the probability levels of the coefficients of determination, linear and quadratic, between the dependent variable (GR,  $t \text{ FS t ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) and each of the independent climatic variables studied. During the growth of the winter-spring period, the response of the alfalfa GR to all the climatic variables (except Tdif,  $p > 0.05$ ) was of second-order, or quadratic ( $p \leq 0.01$ ), whereas for the growth achieved during the summer-autumn period, all responses, except for the response to  $GDD_{05}$ , were of first-order, or linear ( $p \leq 0.01$ ), and of second-order for  $GDD_{05}$  ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 1. Nivel de significancia de los coeficientes de determinación de los efectos lineales y cuadráticos, para la tasa de crecimiento de la alfalfa con las variables independientes, crecimientos de los períodos invierno-primavera y verano-otoño.**

**Table 1. Level of significance of the coefficients of determination between the linear and quadratic effects on the rate of growth of alfalfa and the independent variables; growth of the winter-spring and summer-autumn periods.**

Variable Independiente	Invierno- primavera				Verano- otoño			
	Lineal		Cuadrático		Lineal		Cuadrático	
Tmax†	0.0001	**‡	0.0008	**	0.0001	**	0.8489	NS
Tmin	0.0001	**	0.0001	**	0.0001	**	0.4413	NS
Tdif	0.1726	NS	0.3144	NS	0.0001	**	0.0721	NS
HrL	0.0001	**	0.0001	**	0.0001	**	0.7972	NS
ETo	0.0001	**	0.0001	**	0.0001	**	0.4043	NS
$GDD_{05}$	0.0001	**	0.0102	*	0.0376	*	0.0184	*

† Tmax= temperatura máxima promedio; Tmin= temperatura mínima promedio; HrL= horas luz promedio; ETo= Evapotranspiración promedio y  $GDD_{05}$ = acumulación de grados día, base 5 °C. ‡ \*\* Diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ). \* Diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ). NS= diferencia no significativa ( $p > 0.05$ ).

**Temperatura máxima promedio (Tmax)**

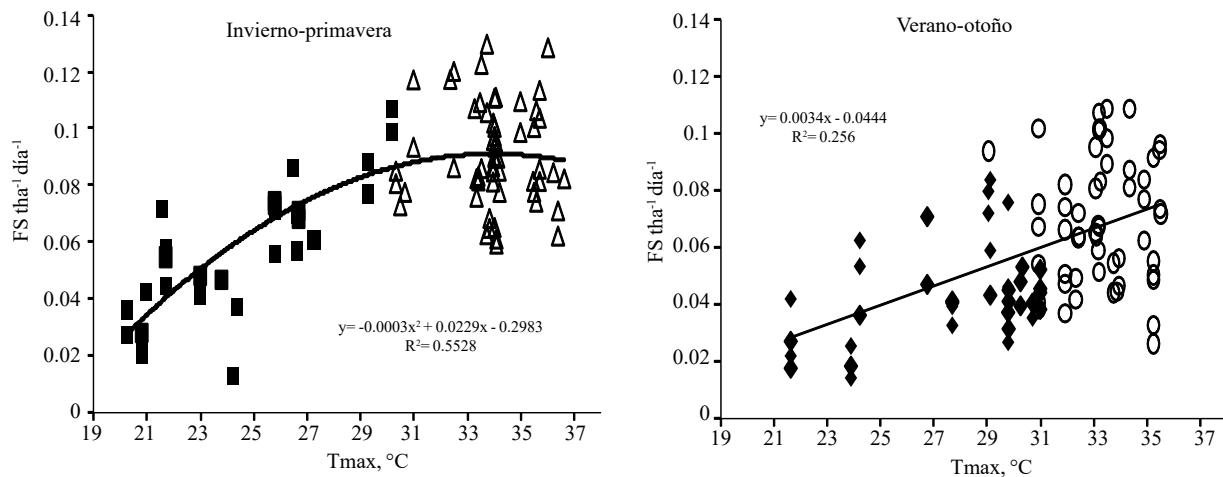
La respuesta de la alfalfa en su TC a la Tmax, ocurrida en cada crecimiento se muestra en la Figura 1. Para los crecimientos ocurridos durante las estaciones de invierno y primavera, la TC se incrementó conforme aumentó Tmax, hasta llegar a los 33-35 °C, conforme aumentó Tmax por

**Average maximum temperature (Tmax)**

The response of the alfalfa GR to Tmax at each step of growth is shown in Figure 1. For the growth occurred during the winter and spring seasons, the GR increased as Tmax increased until 33-35 °C; when Tmax increased above this range, the GR of alfalfa tended to

arriba de éste rango, la TC de la alfalfa tendió a decrecer. Para los crecimientos del verano y otoño, la TC decreció en forma lineal conforme disminuyó la  $T_{max}$ . También, en este segundo período se observó una mayor dispersión de los puntos de TC, posiblemente a que durante el verano y el otoño, como se verá más adelante, el rango de  $T_{min}$  fue mucho mayor al de la primavera e invierno, lo cual pudo incrementar las tasas de respiración por arriba a la ocurrida en la primavera. Resultados de estudios realizados en latitudes superiores a la nuestra con alfalfas de mayor latencia invernal han encontrado que la temperatura óptima para la alfalfa, desde el punto de vista fotosíntesis, es de  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Brown y Radcliffe, 1986), y en general las temperaturas óptimas, diurnas y nocturnas, para la distribución de fotosintatos y crecimiento se ubican en  $21/8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Al-Hamdani y Todd, 1990a).

decrease. For summer and autumn growth, GR decreased linearly as  $T_{max}$  decreased. Also, in this second period there was a greater dispersion of the GR points, possibly due to the fact that during the summer and autumn, as discussed later, the range of  $T_{min}$  was much higher than in the spring and winter, which could have increased the respiration rates above the levels of the spring. Results from studies done in higher latitudes with alfalfa varieties found of higher winter dormancy found that the optimal temperature for alfalfa, from the standpoint of photosynthesis, is  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Brown and Radcliffe, 1986). In general, the optimal daily and nightly temperatures for the distribution of photosynthates and for growth are around  $21/8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Al-Hamdani and Todd, 1990a).



**Figura 1. Respuesta en la TC de alfalfa ( $t\text{ FS ha}^{-1}\text{ día}^{-1}$ ) al promedio diario de temperatura máxima ( $T_{max}$ ) ocurrida en cada uno de los crecimientos durante el invierno (■), primavera ( $\Delta$ ), verano ( $\circ$ ) y otoño ( $\blacklozenge$ ).**

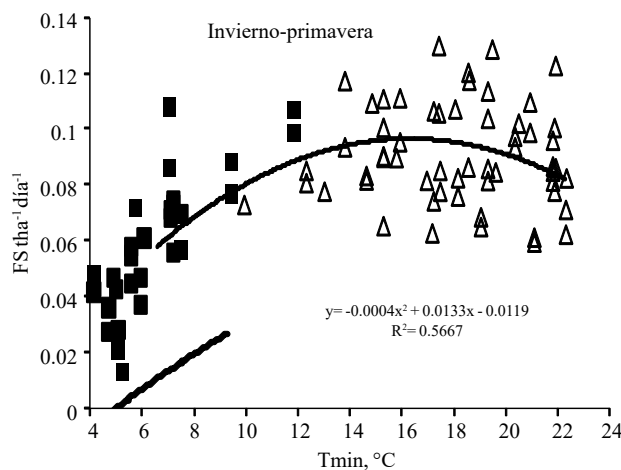
**Figure 1. Response of the alfalfa GR ( $t\text{ FS ha}^{-1}\text{ day}^{-1}$ ) to the maximum average daily temperature ( $T_{max}$ ) occurred at each step of growth during winter (■), spring ( $\Delta$ ), summer ( $\circ$ ) and autumn ( $\blacklozenge$ ).**

Para el invierno y primavera, la estimación de la TC con la expresión cuadrática de  $T_{max}$ , explicó 55% los cambios en la respuesta de la alfalfa a esta variable independiente; valor muy similar al 50% reportado para el rendimiento global de alfalfa en el segundo año en el estado de Minnesota, EUA, localizada a la latitud de los  $44^{\circ}\text{ N}$  y utilizando a la variedad "Vernal" considerada con latencia invernal de grado "2" (Sharratt *et al.*, 1986). Para los crecimientos ocurridos en verano y otoño,  $T_{max}$  logró explicar 26% de la variabilidad en la TC, los mismos autores reportan 25% en la explicación lograda por  $T_{max}$ , sólo para los crecimientos de primavera.

For winter and spring, the estimation of GR with the quadratic expression of  $T_{max}$  explained 55% of the changes in the response of alfalfa to this independent variable, a very similar value to the 50% reported for the overall yield of alfalfa in the second year in the state of Minnesota, USA, located at a latitude of  $44^{\circ}\text{ N}$ , using the "Vernal" variety, which has a winter dormancy of grade "2" (Sharratt *et al.*, 1986). For the growth occurred in summer and autumn,  $T_{max}$  succeeded in explaining 26% of the variability in GR; the same authors reported that  $T_{max}$  explained 25% of the changes in GR during the spring.

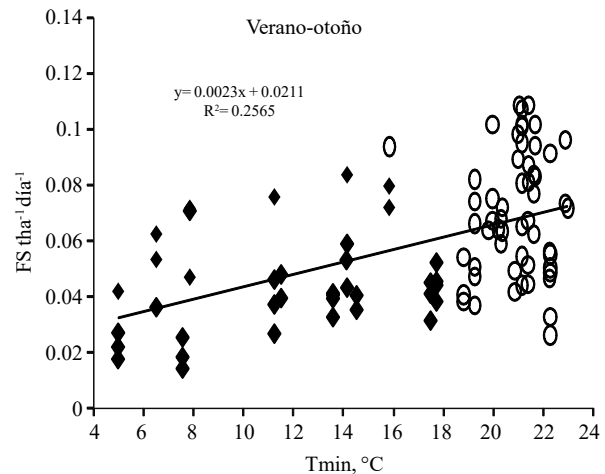
### Temperatura mínima promedio (Tmin)

La respuesta de la alfalfa en su TC, mostró las mismas tendencias para Tmin a las encontradas para Tmax (Figura 2). Una respuesta de segundo grado para los crecimientos ocurridos durante invierno y primavera; y lineal para el período verano-otoño. En el caso del período invierno-primavera, se encontró que la máxima TC ocurrió en el rango de 15 a 17 °C; conforme aumentó Tmin durante el invierno, la TC incrementó linealmente hasta éste rango de temperatura; después la TC inició a decrecer conforme Tmin superó el rango mencionado anteriormente, posiblemente por un incremento en la respiración nocturna en respuesta a una mayor Tmin (Heichel, *et al.*, 1988). Al igual que con Tmax, los porcentajes de explicación en los cambios de TC fueron similares para Tmin, 55% y 26% para ambos períodos de crecimiento. Sharratt *et al.* (1986) encontraron que con Tmin se explicó entre 24 y 34% de la variación en la producción de alfalfa.



### Average minimum temperature (Tmin)

The response of the alfalfa GR showed the same trends for Tmin than for Tmax (Figure 2): a quadratic response to the growth occurred during winter and spring, and a linear one for the summer-autumn period. In the case of the winter-spring period, it was found that the maximum GR occurred in the range of 15-17 °C; as Tmin increased during winter, the GR increased linearly until this temperature range was reached, then began to decrease when Tmin exceeded the above range, possibly due to an increase in nocturnal respiration in response to a higher Tmin (Heichel *et al.*, 1988). As with Tmax, the percentages of explanation for the GR changes were similar for Tmin, 55% and 26% for both periods of growth. Sharratt *et al.* (1986) found that Tmin explained between 24 and 34% of the variation in the production of alfalfa.



**Figura 2. Respuesta en la TC de alfalfa ( $t \text{ FS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) al promedio diario de temperatura mínima ( $T_{\text{min}}$ ) ocurrida en cada uno de los crecimientos durante el invierno (■), primavera ( $\Delta$ ), verano ( $\circ$ ) y otoño ( $\blacklozenge$ ).**

**Figure 2. Response of the alfalfa GR ( $t \text{ FS ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) to the minimum average daily temperature ( $T_{\text{min}}$ ) occurred at each step of growth during winter (■), spring ( $\Delta$ ), summer ( $\circ$ ) and autumn ( $\blacklozenge$ ).**

### GDD<sub>05</sub>

Los modelos basados en la acumulación de GDD<sub>05</sub> durante cada crecimiento, para ambos períodos, fueron cuadráticos y altamente significativos ( $p \leq 0.01$ ). Sin embargo, de todas las variables independientes fue la que explicó en menor grado los cambios observados en la TC: 27 y 10% para los crecimientos de invierno-primavera y verano-otoño, respectivamente (Figura 3 y Cuadro 1). Posiblemente esto es debió a que en la latitud donde se desarrolló el presente estudio, existen otras variables climatológicas de mayor peso y de mayor relación al grado de aridez característico;

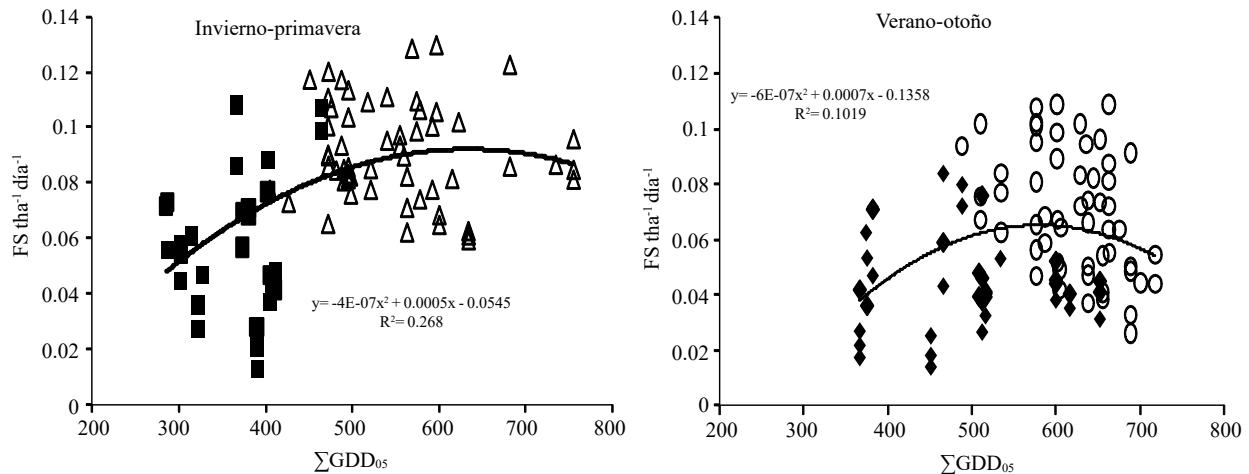
### GDD<sub>05</sub>

The models based on the accumulation of GDD<sub>05</sub> at each step of growth for both periods were quadratic and highly significant ( $p \leq 0.01$ ). However, of all the independent variables, this was the one that least explained the changes observed in the GR of alfalfa: 27 and 10% for the growth of winter-spring and summer-autumn, respectively (Figure 3 and Table 1). This was possibly due to the fact that at the latitude at which this study took place there are other more influential climatic variables related to the characteristic aridity of the region;



de aquí la gran variabilidad mostrada en ambos períodos. Lo anterior se contrapone con otros estudios realizados en latitudes alrededor de los 43° N, donde se han desarrollado modelos en base a  $GDD_{05}$  (Selerio y Brown, 1979; Fick, 1984; Quiroga *et al.*, 1992 y 1993). En nuestro caso, para ambos períodos de crecimiento, las mayores TC observadas se presentaron alrededor de los 550 - 650  $GDD_{05}$ .

hence the great variability observed in both periods. This contrasts with other studies in latitudes around 43° N, where models based on  $GDD_{05}$  have been developed (Selerio and Brown, 1979; Fick, 1984; Quiroga *et al.*, 1992 and 1993). In our case, the highest GR observed, for both periods of growth, occurred around 550-650  $GDD_{05}$ .



**Figura 3. Respuesta en la TC de alfalfa ( $t\ FS\ ha^{-1}\ día^{-1}$ ) a la acumulación de  $GDD_{05}$  en cada uno de los crecimiento durante el invierno (■), primavera (Δ), verano (○) y otoño (◆).**

**Figure 3. Response of the alfalfa GR ( $t\ FS\ ha^{-1}\ day^{-1}$ ) to the accumulation of  $GDD_{05}$  at each step of growth during winter(■), spring (Δ), summer (○) and autumn (◆).**

### Tdif

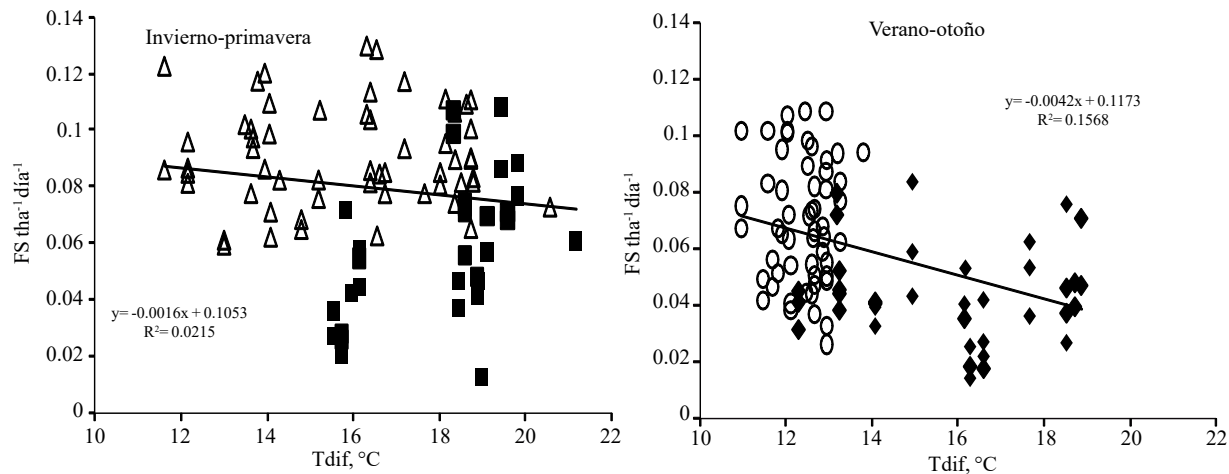
El diferencial entre  $T_{max}$  y  $T_{min}$  pudiera ayudar a entender la baja relación entre  $GDD_{05}$  y TC. En la Figura 4, el verano fue la estación donde Tdif fue menor, fluctuando en promedio de 11 a 14° C en el día. También en esta estación se presentaron las mayores  $T_{min}$  (Cuadro 2) las cuales fácilmente rebasaron los 20° C, considerando que la temperatura óptima nocturna para la alfalfa es entre 10 y 20° C (Sharratt *et al.*, 1986 y 1987); la tasa de respiración nocturna debió de afectar a la TC. Y si se considera que el rango de temperatura óptimo para la acumulación de materia seca en alfalfa es de 25 a 30° C (Brown y Radcliffe, 1986), podemos concluir que principalmente durante el verano es cuando se presentan las condiciones menos propicias para la producción de alfalfa, esto es sin considerar en número de horas diarias en las que la temperatura rebasó el óptimo (30° C) para la alfalfa. En este caso la máxima TC se alcanzó cuando  $T_{max}$  alcanzó los 33° C (Figura 1). Aunque los valores de las regresiones para ambos periodo no son los buscados para una estimación de confianza, Tdif puede llegar a

### Tdif

The differential between  $T_{max}$  and  $T_{min}$  could help understand the relationship between  $GDD_{05}$  and GR. In Figure 4, the summer was the season when Tdif was lower, ranging on average from 11 to 14° C during the day. Also, this season had the highest  $T_{min}$  (Table 2), which easily exceeded 20° C, whereas the optimum night temperature for alfalfa is between 10 and 20° C (Sharratt *et al.*, 1986 and 1987); the night respiration rate must have affected the GR. When one considers that the optimum temperature range for dry matter accumulation in alfalfa is 25-30° C (Brown and Radcliffe, 1986), it can be concluded that it is mainly during the summer when conditions are less conducive to alfalfa production; this is without considering the number of hours per day in which temperature was above the optimum level (30° C) for alfalfa. In this case, the maximum GR was reached when  $T_{max}$  reached 33° C (Figure 1). Although the values of the regressions for both periods were not what is required for a trustworthy estimation, Tdif can actually be of help to some estimation model or simulation where it competes and works in conjunction with other climatic variables.

contribuir en algún modelo de estimación o simulación donde entre en competencia y en conjunto con otras variables climáticas.

Both in spring and summer, Tmax exceeded 33 °C 50 and 68% of the days of each of these two seasons, respectively; the variability of GR during the summer was more



**Figura 4. Respuesta en la TC de alfalfa (t FS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) al diferencial de temperatura diaria en cada uno de los crecimiento durante el invierno (■), primavera (Δ), verano (○) y otoño (◆).**

**Figure 4. Response of the alfalfa GR (t FS ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>) to the daily temperature differential at each of the growth steps during winter (■), spring (Δ), summer (○) and autumn (◆).**

**Cuadro 2. Temperaturas (°C) mínimas y máximas extremas, ocurridas en cada una de las estaciones durante los cinco años del estudio; y número de días en los cuales la temperatura mínima fue inferior a los 5 °C y la temperatura máxima fue superior a los 33 °C.**

**Table 2. Extremes minimum and maximum temperatures (°C) occurred in each of the seasons during the five years of the study; and number of days in which the minimum temperature was below 5 °C and the maximum temperature was higher at 33 °C.**

Año	Invierno		Primavera		Verano		Otoño	
	Tmin <sup>†</sup> Ext.	# Días <5°C	Tmax Ext.	# Días 33°C<	Tmin Ext.	# Días <5°C	Tmax Ext.	# Días 33°C<
2006	-3.4	21	35.2	2	7.1	0	38.1	62
2007	-2.7	38	35.1	1	4.6	1	39.2	47
2008	-3.5	49	34.3	5	2.8	1	39.8	62
2009	-1.9	23	34.3	6	5.3	0	39.2	56
2010	-2.8	40	31.4	0	0.5	5	40.4	57

<sup>†</sup> Tmin= temperatura mínima °C; Tmax= temperatura máxima °C.

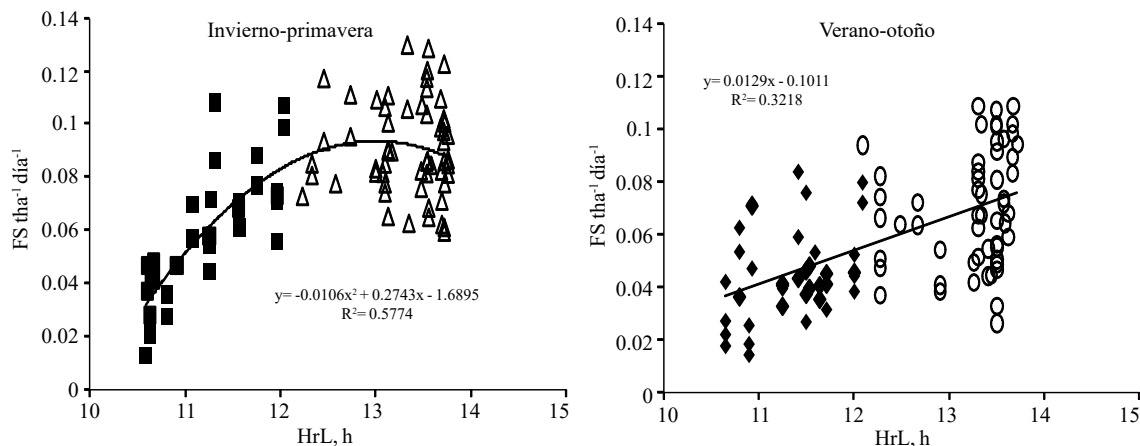
Tanto en primavera como en verano, Tmax superó los 33 °C, entre 50 y 68% de los días en cada una de estas dos estaciones; siendo más notoria la variabilidad de la TC durante el verano por las altas temperaturas nocturnas (Tmin). En cambio, durante la primavera se presentaron las mayores Tmax, pero las Tmin fueron mucho menores a las ocurridas en el verano y rara vez bajaron del mínimo para el crecimiento activo de la alfalfa (5 °C), Cuadro 2. Por otra parte, tanto en el otoño como en el invierno se presentaron temperaturas por debajo del punto de congelación o heladas, solo en los otoños de 2008 y 2010 se presentó una temperatura < -4 °C,

noticeable because of the high night temperatures (Tmin). In contrast, the highest Tmax occurred during the spring but the Tmin were much lower than those that occurred in the summer and rarely were below the minimum required for the active growth of alfalfa (5 °C), Table 2. On the other hand, below-freezing temperatures, or frosts, occurred both in the autumn and winter; only in the autumns of 2008 and 2010 there was a temperature of < -4 °C, which is the threshold for considering a frost as a "black" one, capable of burning the aerial growth of alfalfa (Sharratt *et al.*, 1986 and 1987).

considerado como el límite para considerar a una helada como “negra”, capaz de quemar el crecimiento aéreo de la alfalfa (Sharratt *et al.*, 1986 y 1987).

### Fotoperiodo (HrL)

La TC de la alfalfa aumentó conforme se incrementó el fotoperíodo hasta las 13 h luz en el periodo invierno-primavera (Figura 5). A partir de este punto la TC decreció; ya que la alfalfa es una planta de días largos (Fick, *et al.*, 1988; Major, *et al.*, 1991) y el número de días necesarios para alcanzar el inicio de su etapa reproductiva se reducen y por consiguiente su TC. Aunque en este estudio no se incluyó la información del primer crecimiento después de la siembra, Major *et al.* (1991), reportan que a partir de las 18 h de fotoperíodo, la alfalfa independientemente de su grado de latencia invernal, inicia su floración en promedio a los 18-20 días después de la siembra. En éste periodo (invierno-primavera), el fotoperíodo con su respuesta cuadrática explicó 58% de la variación en la TC de la alfalfa.



**Figura 5. Respuesta en la TC de alfalfa ( $t \text{ FS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) al fotoperíodo o promedio diario de horas luz (HrL) ocurrida en cada uno de los crecimiento durante el invierno (■), primavera (Δ), verano (○) y otoño (◆).**

**Figure 5. Response of the alfalfa GR ( $t \text{ FS ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) to the photoperiod, or daily average or light hours (HrL), occurred at each of the growth steps during winter (■), spring (Δ), summer (○) and autumn (◆).**

Para el periodo verano-otoño, la precisión de la respuesta de la alfalfa al fotoperíodo bajó a 32%; lo anterior puede ser el resultado que durante el verano el diferencial entre las temperaturas diurnas y nocturnas es bajo; esto es altas  $T_{min}$ , que se verán reflejadas en una menor fotosíntesis neta; también las altas temperaturas diurnas pueden inducir periodos temporales de estrés hídrico que afectaran la tasa de fotosíntesis (Aranjuelo *et al.*, 2011). Durante el otoño, el diferencial entre las temperaturas diurnas y nocturnas es muy fluctuante, pudiendo tener noches frías pero también

### Photoperiod (HrL)

The GR of alfalfa increased as the photoperiod increased to 13 h of light in the winter-spring period (Figure 5). From this point the GR decreased, since alfalfa is a long day plant (Fick *et al.*, 1988; Major *et al.*, 1991) and the number of days required to reach the beginning of its reproductive stage is reduced, thereby reducing its GR. Although this study did not include information from the first growth after planting, Major *et al.* (1991) reported that after a photoperiod of 18 h, alfalfa starts flowering on average 18-20 days after sowing, regardless of its degree of winter dormancy. In this period (winter-spring), the photoperiod, with its quadratic response, explained 58% of the variation in the GR of alfalfa.

For the summer-autumn period, the accuracy of the estimation of the response of alfalfa to the photoperiod dropped to 32%; this may due to the fact that, during the summer, the difference between day and night temperatures is low, that is,  $T_{min}$  are high, which is reflected in a lower

net photosynthesis; also, higher daytime temperatures can induce temporary water stress periods which affect the rate of photosynthesis (Aranjuelo *et al.*, 2011). During the autumn, the differential between day and night temperatures is very fluctuating, and it is possible to have cold nights but also warm nights, with their corresponding effects on the rate of respiration of alfalfa; in this period the average  $T_{min}$  reaches up to 18 °C (Figure 2). As with HrL, the accuracy of the estimation of the GR of alfalfa during summer-autumn was also lower then  $T_{max}$  and  $T_{min}$  were analyzed.

noches cálidas y sus efectos sobre la tasa de respiración de la alfalfa,  $T_{min}$  promedio de hasta  $18^{\circ}\text{C}$  (Figura 2). Al igual que con HrL, la precisión en la estimación de la TC de la alfalfa durante el verano-otoño, también fue menor cuando se analizaron tanto  $T_{max}$ , como  $T_{min}$ .

### Evapotranspiración ( $E_{To}$ , mm día<sup>-1</sup>)

La respuesta en la TC de alfalfa a la  $E_{To}$  promedio diaria se muestra en la Figura 6, y al igual que las otras variables climatológicas estudiadas se observó la misma tendencia: una respuesta cuadrática o de segundo orden en los crecimientos de invierno-primavera y lineal para los crecimientos de verano-otoño. También una mayor precisión para los crecimientos del invierno y primavera, con 59% en la explicación de la variación de la TC de la alfalfa; que para los crecimientos del verano y otoño, con sólo 31% en la explicación y lineal, de la variación en la TC de la alfalfa.

Al estimar la eficiencia de la alfalfa en base a  $E_{To}$ , y analizando la respuesta del crecimiento invierno-primavera como lineal, obtenemos que la eficiencia durante éste período fue de  $1.20 \text{ t FS mm}^{-1}$  de  $E_{To}$ , y de  $1.03 \text{ t FS mm}^{-1}$  de  $E_{To}$  para el periodo verano-otoño. Estos valores no distan mucho a los obtenidos de estudios diseñados específicamente para medir la eficiencia en el uso del agua (UEA) por la alfalfa, se reporta que la alfalfa presenta como eficiencias máximas entre  $1.60$  y  $1.70 \text{ t FS mm}^{-1}$  de  $E_{To}$  (Lindenmayer, *et al.*, 2011); e incluso se sugiere que el UEA de la alfalfa tiende a decrecer conforme se incrementa  $E_{To}$  (Grimser, 2001); tal y como se observa en la respuesta cuadrática del crecimiento invierno-primavera.

### Evapotranspiration ( $E_{To}$ , mm day<sup>-1</sup>)

The response of the alfalfa GR to daily average  $E_{To}$  is shown in Figure 6; it showed the same trend as the other climatic variables studied: a quadratic response for the winter-spring growth, and a linear response for the summer-autumn growth. Also, the winter and spring growth were more accurately estimated, with  $E_{To}$  explaining 59% of the variation of the GR of alfalfa, than the summer and autumn growth, for which only 31% of the variation of the GR of alfalfa was explained by  $E_{To}$ .

When estimating the efficiency of alfalfa based on  $E_{To}$  and analyzing the response of the winter-spring growth as linear, we obtain that the efficiency during this period was  $1.20 \text{ t FS mm}^{-1}$  of  $E_{To}$ , and  $1.03 \text{ t FS mm}^{-1}$  of  $E_{To}$  for the summer-autumn period. These values are not much different than those obtained from studies designed specifically to measure the water use efficiency (WUE) of alfalfa, which reported that alfalfa presented peak efficiencies between  $1.60$  and  $1.70 \text{ t FS mm}^{-1}$  of  $E_{To}$  (Lindenmayer *et al.*, 2011), and even suggest that the WUE of alfalfa tends to decrease when  $E_{To}$  increases (Grimser, 2001), just as observed in the quadratic response of winter-spring growth.

### Conclusions

The information generated in this study with respect to each climatological variable (except  $T_{dif}$ ) can serve as a basis for the development of models to estimate the growth of alfalfa

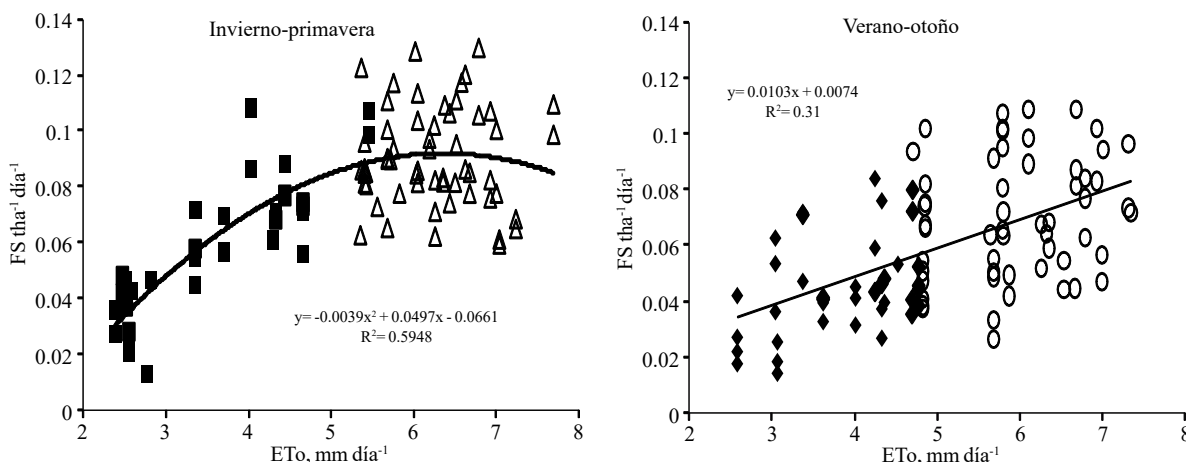


Figura 6. Respuesta en la TC de alfalfa ( $\text{t FS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) al promedio diario de evapotranspiración ( $E_{To}$ ,  $\text{mm día}^{-1}$ ) ocurrida en cada uno de los crecimientos durante el invierno ( $\blacksquare$ ), primavera ( $\Delta$ ), verano ( $\circ$ ) y otoño ( $\blacklozenge$ ).

Figure 6. Response of the alfalfa GR ( $\text{t FS ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) to daily average evapotranspiration ( $E_{To}$ ,  $\text{mm day}^{-1}$ ) occurred at each of the growth steps during winter ( $\blacksquare$ ), spring ( $\Delta$ ), summer ( $\circ$ ) and autumn ( $\blacklozenge$ ).

## Conclusiones

La información generada en este estudio, con cada variable climatológica (excepto Tdif), puede servir como base para el desarrollo de modelos de estimación del crecimiento de la alfalfa para las condiciones de la "Comarca Lagunera" (25 °N) y otras regiones similares en México; ya que los modelos existentes actualmente, han sido desarrollados para latitudes superiores y para alfalfas con mayor grado de latencia invernal. Queda claro que modelos basados solo en la simple acumulación de unidades calor o GDD<sub>05</sub>, no serán precisos debido a que en estas latitudes se presentan condiciones extremas durante el verano.

Para las condiciones en las que se condujo el presente estudio, la intensidad en la respuesta de la alfalfa a las diferentes variables climatológicas no fue constante a lo largo de las estaciones del año; por lo que para desarrollar modelos de predicción no podrá ser un modelo único para todo el año, sino que deberá de ser de acuerdo a la época o estación del año. Claramente las estaciones de invierno y primavera (incremento del fotoperíodo), fueron diferentes al verano y otoño (reducción del fotoperíodo). Lo anterior es el efecto combinado del fotoperíodo en conjunto a las fluctuaciones en las temperaturas y a la tasa de evapotranspiración, por lo extremo del verano en la región. Las mayores temperaturas mínimas ocurren en el verano en combinación con el mayor fotoperíodo, y esto afecta a la tasa de crecimiento por una mayor tasa de respiración; reduciendo el período entre cortes, producción de FS, reserva radicular de carbohidratos, etc.

## Literatura citada

- Al-Hamdani, S. and Todd, G. W. 1990a. Effect of temperature on photosynthate partitioning in alfalfa. *Can. J. Plant Sci.* (70):203-208.
- Al-Hamdani, S. and Todd, G. W. 1990b. Effect of temperature regimes on photosynthesis, respiration, and growth in alfalfa. *Proc. Okla. Acad. Sci.* (70):1-4.
- Antolín, M. C. and Sánchez, D. M. 1993. Effects of temporary droughts on photosynthesis of alfalfa plants. *J. Exp. Bot.* (44):1341-1349.
- Aranjuelo, I; Molero, G.; Erice, G.; Avicé, J. C. and Nogués, S. 2011. Plant physiology and proteomics reveals the leaf response to drought in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *J. Exp. Bot.* (62):111-123.
- Benli, B.; Kodal, S.; Ilbeyi, A. and Ustun, H. 2006. Determination of evapotranspiration and basal crop coefficient of alfalfa with a weighing lysimeter. *Abric. Water Management.* (81):358-370.

under the conditions present in the "Laguna Region" (25° N) and other similar regions in Mexico, considering that the current models were developed for higher latitudes and for alfalfa varieties with a higher degree of winter dormancy. It is clear that models based only on the simple accumulation of heat units, or GDD<sub>05</sub> will not be accurate, because in these latitudes extreme conditions are present during the summer.

The intensity of the response of alfalfa to different climatic variables was not constant throughout the year for the conditions under which the present study was conducted; therefore, it is necessary to develop multiple predicting models, one for each epoch or season. Clearly, the winter and spring seasons (increased photoperiod) were different from the summer and autumn seasons (reduced photoperiod). This is the result of the combined effect of the photoperiod in conjunction with the fluctuations in temperature and the evapotranspiration rate, given the extreme nature of summer in the region. The highest temperatures occur in the summer, in combination with the longest photoperiod, affecting the growth rate of alfalfa due to an increased respiration rate, and reducing the time between cuts, FS production, root carbohydrate reserves, etc.

*End of the English version*



- Brown, R. H. and Radcliffe, D. E. 1986. A comparison of apparent photosynthesis in sericeae lespedeza and alfalfa. *Crop Sci.* (26):1208-1211.
- Chaves, M. M.; Flexas, J. and Pinheiro, C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Ann. Bot.* (103):551-560.
- Fick, G. W. and Onstad, D. 1984. ALSIM (Level 0). Description, performance, and user instructions for base-line model of alfalfa yield and quality. *Agron. Mimeo* 83-26. Dept. Agron. Cornell Univ. Ithaca, NY, EUA.
- Fick, G. W.; Holt, D. A. and Lugg, D. G. 1988. Environmental physiology and crop growth. *In: Hanson, A. A.; Barnes, D. K. and Hill, R. R. (Eds.). Alfalfa and alfalfa improvement. Agronomy* 29. Am. Soc. Agron. Madison, WI, EUA. 163-194 pp.
- Flexas, J. and Medrano, H. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C<sub>3</sub> plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Ann. Bot.* (89):183-189.
- Grismer, M. E. 2001. Regional alfalfa yield, Etc, and water value in Western Sates. *J. Irrigation and Drainage Eng.* (127):131-139.
- Hanson, B.; Putnam, D. and Snyder, R. 2007. Deficit irrigation of alfalfa as a strategy for providing water for water-short areas. *Abric. Water Management.* (93):73-80.
- Heichel, G. H.; Delaney, R. H. and Cralle, H. T. 1988. Carbon assimilation, partitioning, and utilization. *In: Hanson et al. (Ed.) Alfalfa and alfalfa improvement. Agronomy* 29. American Society of Agronomy. Madison, WI, EUA. 195-228 pp.



- Holt, D. A.; Bula R. J.; Miles G. E.; Schreiber M. M. and Peart, R. M. 1975. Environmental physiology modeling and simulation of alfalfa. I. Conceptual development of SIMED. Purdue Agric. Exp. Sta. Bull 907.
- Lindenmayer, R. B.; Hansen, N. C.; Brummer, J. and Pritchett, J. G. 2011. Deficit irrigation of alfalfa for water-savings in the great plains and intermountain west: a review and analysis of literature. *Agron. J.* (103):45-50.
- Major, D. J.; Hanna, M. R. and Beasley, B. W. 1991. Photoperiod response characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars. *Can. J. Plant Sci.* (71):87-93.
- Medrano, H.; Escalona, J. M.; Bota, J.; Gulías, J. and Flexas, J. 2002. Regulation of photosynthesis of C<sub>3</sub> plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. *Ann. Bot.* (89):895-905.
- Orloff, S. and Hanson, B. 2008. Conserving water through deficit irrigation of alfalfa in the Intermountain area of California. *Forage and Grazingland* (<http://www.plantmanagementnetwork.org/fg/>). doi:10.1094/FG-2008-0421-01-RS.
- Quiroga, G. H. M. y Faz, C. R. 2008. Incremento de la eficiencia en el uso del agua por la alfalfa mediante la suspensión de riegos en el verano. *TERRA Latinoamericana.* (26):111-117.
- Quiroga, G. H. M.; Winch, J. E. y Brown, D. M. 1992. Estimación de la calidad de la alfalfa utilizando parámetros climatológicos. *ITEA.* (88):133-141.
- Quiroga, G. H. M.; Winch, J. E. y Brown, D. M. 1993. El uso de la acumulación de grados día como base para el establecimiento de un calendario de cortes en alfalfa. *ITEA.* (89):91-102.
- Selerio, I. S. and Brown, D. M. 1979. Soil moisture-based simulation of forage yield. *Agric. Meteorol.* (20):99-114.
- Sharratt, B. S.; Baker, D. G. and Sheaffer, C. C. 1986. Climatic effect on alfalfa dry matter production. Part I. Spring harvest. *Agric. Forest Meteorol.* (37):123-131.
- Sharratt, B. S.; Baker, D. G. and Sheaffer, C. C. 1987. Climatic effect on alfalfa dry matter production. Part II. Summer harvest. *Agric. Forest Meteorol.* (39):121-129.