

Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.)

Seasonal growth patterns of two varieties of alfalfa (*Medicago sativa* L.)

Yuri Villegas Aparicio^a, Alfonso Hernández Garay^b, Jorge Pérez Pérez^b, Cándido López Castañeda^c, José G. Herrera Haro^b, Javier F. Enríquez Quiroz^b, Armando Gómez Vázquez^b

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la edad de rebrote a la cual debe ser cosechada la alfalfa, en las diferentes estaciones del año. Se realizó un análisis de crecimiento estacional en las variedades de alfalfa Valenciana y Oaxaca, en los valles centrales de Oaxaca. Se utilizaron 64 parcelas de 2 x 2 m, distribuidas en un diseño completamente al azar con ocho tratamientos y cuatro repeticiones; los tratamientos consistieron en cortes semanales sucesivos, durante un ciclo de rebrote de ocho semanas, en cada estación del año. Inmediatamente después del corte de uniformización a 5 cm, se cosecharon cuatro cuadros de 0.25 m² por variedad, a ras de suelo, para determinar el forraje residual. Posteriormente, cada semana fueron cosechadas ocho parcelas diferentes (cuatro por variedad). Se evaluó semanalmente la acumulación de materia seca, tasa de crecimiento del cultivo (TCC), relación hoja:tallo, número de hojas por tallo e índice de área foliar (IAF). Los resultados obtenidos indican que la acumulación estacional, presentó el siguiente orden descendente: primavera > invierno > verano > otoño. Se observó que la acumulación de materia seca tiene una relación directa con la TCC y el IAF, no así con el número de hojas por tallo. Los resultados sugieren que para obtener la máxima producción de forraje, la cosecha debe realizarse en la variedad Valenciana en las semanas de rebrote 4, 4, 5 y 8 y en la Oaxaca a las semanas 6, 4, 5 y 6 para primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente.

PALABRAS CLAVE: Alfalfa, Crecimiento estacional, Rendimiento, Edad de rebrote, Intervalo entre cortes.

ABSTRACT

The aim of this research was to determine the optimum harvesting time of alfalfa during the different seasons of the year. The experiment was carried out from April 2000 to March 2001, at the Instituto Tecnológico Agropecuario research unit, in Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. The varieties used were: Valenciana and Oaxaca. Thirty-two plots (2 x 2 m) per variety were allocated in a completely randomized design with eight treatments and four replicates; treatments consisted of successive cuts at weekly intervals during a regrowth cycle (eight weeks) in each season of the year. All plots were cut to 5 cm and four samples of 0.25 m² were taken, per variety, to ground level to determine residual herbage mass; from then onwards, four different plots were harvested to ground level at weekly intervals. Cumulative herbage mass, growth rate (GR), leaf:stem ratio, leaf number per tiller and leaf area index (LAI) were evaluated. The results showed that cumulative herbage harvested had the following seasonal pattern: spring > winter > summer > autumn. It was observed that cumulative herbage mass was correlated with GR and LAI, but not with leaves number per tiller. The results suggests that, in order to obtain the maximum herbage production, alfalfa must be harvested at 4, 4, 5 and 8-weeks intervals for Valenciana and 6, 4, 5 and 6-weeks intervals for Oaxaca during spring, summer, autumn and winter, respectively.

KEY WORDS: Alfalfa, Seasonal growth curves, Yield, Regrowth period, Optimum harvest time.

Recibido el 18 de noviembre de 2002 y aceptado para su publicación el 17 de octubre de 2003.

a Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca. Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca

b IREGEP. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Estado de México. Tel. 01 (595) 9520200 ext 1726, 1727. hernan@colpos.mx. Correspondencia al segundo autor.

c Programa de Genética-IREGEP. Colegio de Postgraduados.

INTRODUCCIÓN

La alfalfa es la leguminosa forrajera más ampliamente utilizada en la alimentación del ganado lechero en los Estados Unidos y México^(1,2). La alfalfa produce un forraje de alta calidad que puede ser pastoreado, ensilado, henificado o suministrado en verde. El corte en verde de la alfalfa es la forma comercial de aprovechamiento más extendida en los valles centrales de Oaxaca; en ella es obligado que la programación de los cortes sea con base a su velocidad de crecimiento, la cual varía con la estación del año; por ello, el conocimiento de los cambios estacionales en el rendimiento acumulado de esta especie, permite determinar la frecuencia de defoliación para obtener la mayor producción de forraje de alta calidad⁽³⁾. Estudios realizados con el pasto festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb) demostraron que esta especie, después de una defoliación severa, alcanza su máxima acumulación neta a los 45 días de rebrote, lo que coincide con el incremento acelerado de la senescencia de las hojas⁽⁴⁾.

Estudios efectuados en suelos de textura migajón arenosa, con pasto orchard (*D. Glomerata* L.) indicaron que la acumulación de forraje total fue afectada por las fluctuaciones en temperatura y radiación solar, y que el mejor rendimiento de forraje podría obtenerse a partir de la tercera, cuarta, quinta y séptima semanas de rebrote en primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente⁽⁵⁾. En alfalfa, Hernández y Pérez,⁽⁶⁾ encontraron que la variedad Moapa, alcanzó la mayor acumulación de materia seca durante el verano, a la cuarta semana de rebrote, mientras que Salas⁽⁷⁾ reportó el máximo rendimiento de forraje a la cuarta y quinta semana de rebrote en verano y otoño, respectivamente. Estos resultados señalan que la acumulación de materia seca de las diferentes especies forrajeras puede ser maximizada, si se les permite rebrotar inmediatamente después de alcanzar el índice de área foliar (IAF) óptimo, cuando la tasa de acumulación neta de forraje alcanza un valor máximo⁽⁴⁾.

La dificultad para mantener rendimientos aceptables de alfalfa durante otoño e invierno en el valle de México, donde es ampliamente utilizada como

INTRODUCTION

Alfalfa constitutes the major forage legume utilized in feeding dairy cattle in the United States and México^(1,2). Alfalfa is a high quality forage and can be utilized by grazing animals, as silage, hay or green chop. Cut and carry the alfalfa to the livestock is the commercial form most people utilized in the central valleys of Oaxaca; under these circumstances it is necessary to have a harvest calendar according to growth potential, which varied with the season of the year; thus, the knowledge of the seasonal changes in herbage accumulation allows to define the defoliation frequency to obtain the highest herbage production of high quality⁽³⁾. Studies carried out with tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb) showed that this specie, after a severe defoliation, reaches its maximum net growth rate to the 45 d of regrowth, which is associated with an accelerated increase in leaf senescence⁽⁴⁾.

On the other hand, regarding the effect of climatic condition on herbage growth, studies conducted in orchard grass (*Dactylis Glomerata* L.) swards, in Texcoco, State of México, showed that cumulative herbage harvested was affected by temperature and solar radiation, recorded during the study period, and the highest herbage yield was obtained to the third, fourth, fifth and seventh week of regrowth in spring, summer, autumn and winter, respectively⁽⁵⁾. In alfalfa, Hernández and Pérez⁽⁶⁾ found that Moapa variety, reached its highest herbage accumulation during summer, to the fourth week of regrowth, whereas Salas⁽⁷⁾ reported the maximum forage yield four and five weeks of regrowth in summer and autumn, respectively.

These results point out that dry matter accumulation of a pasture could be maximized if pastures were allowed to regrowth to just beyond the optimum leaf area index (LAI) when rates of net herbage accumulation approaches a maximum⁽⁴⁾.

The difficulty of alfalfa to maintain good yields during autumn and winter in the México valley, where is widely utilized as a cut forage, is due principally to the low temperatures and incident radiation^(5,7). It has been observed in perennial

forraje de corte, se debe principalmente a la reducción del crecimiento por las bajas temperaturas y fotoperíodo^(5,7). Así mismo, en una asociación ballico perenne-trébol blanco, se ha observado que tanto la densidad de hijuelos por metro cuadrado del pasto ballico, como el número de meristemas de crecimiento del trébol blanco, y en consecuencia la producción de forraje, fueron significativamente influenciadas por la estación del año y el manejo de la defoliación⁽⁸⁾.

Estudios de crecimiento foliar, en gramíneas y leguminosas templadas^(9,10) han demostrado que es importante conocer la velocidad de rebrote entre defoliaciones sucesivas, para comprender el efecto de la frecuencia e intensidad de cosecha en el rendimiento y persistencia de los pastos, lo que permite un manejo más eficiente en términos de producción animal por hectárea. Sin embargo, en alfalfa, a pesar de su importancia nacional, la información disponible con relación a su manejo estacional óptimo es escasa, por lo que se requiere generar información en las diferentes regiones del país donde se cultiva, ya que las condiciones ambientales varían de una región a otra. El objetivo del presente estudio, fue determinar los patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa, para definir la frecuencia de corte a la que deben cosecharse en cada estación del año.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó de abril del 2000 a marzo del 2001, en la área agrícola experimental del Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca, en Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, localizado a 17° 02' Norte y 96° 44' Oeste y a una altitud de 1,530 msnm⁽¹¹⁾. El clima predominante es seco estepario (BS₁h'(h)), con temperatura promedio de 20.6 °C y precipitación media anual de 645 mm⁽¹²⁾.

El suelo, de textura franco arcillo arenoso, fue barbechado y rastreado hasta dejar una cama de siembra mullida. Las dos variedades de alfalfa empleadas fueron Valenciana y Oaxaca, las cuales se establecieron en noviembre de 1999, con una densidad de siembra de 30 kg ha⁻¹ de semilla pura viable. En la época de secas se aplicaron riegos

ryegrass and white clover mixtures, that tiller density in perennial ryegrass and number of growth points in white clover and consequently herbage production, were significantly influenced by the season of the year and defoliation management⁽⁸⁾.

Studies of tissue turnover, in temperate grasses and legumes^(9,10) have showed that it is important to know the regrowth speed between successive defoliation's, in order to understand the effect of frequency and intensity of defoliation on yield and persistence of pastures, which allows a more efficient management in terms of animal production per hectare. However, in alfalfa, despite of its national importance, the available information regarding its optimum seasonal management is scarce, therefore it is necessary to generate information for the different regions where is grown, due to variation in environmental condition from one region to another. The aim of this study was to determine the seasonal growth patterns of two varieties of alfalfa, in order to define the defoliation frequency to which it must be harvested in each season of the year.

MATERIALS AND MÉTHODS

The experiment was conducted from April 2000 to March 2001 at the Forage Evaluation Field Laboratory of the Livestock Institute of Oaxaca, Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca (17° 02' N, 96° 44' W) at an altitude of 1,530 mosl⁽¹¹⁾. The climate is dry tropic (BS₁h'(h)), with average temperature and rainfall of 20.6 °C and 645 mm⁽¹²⁾, respectively.

The soil, of sandy clay texture, was well prepared until having a good seedbed. The varieties of alfalfa Valenciana and Oaxaca were established on November 1999, using a seeding rate of 30 kg ha⁻¹. During the dry season alfalfa was watered every two weeks, or when it was required. Before starting the experimental period, two harvests to 90 and 120 d after planting were carried out at cutting high of 5 cm. All plots were not fertilized before and during the experimental period.

Four growth analyses were carried out in each variety, one per each season of the year, according

pesados por aspersión cada dos semanas o cuando lo requirió el cultivo, dependiendo de la estación del año. Se realizaron dos cortes de formación, el primero a 90 días de la siembra y el segundo 30 días después del primero, ambos a una severidad de 5 cm. Las praderas no se fertilizaron antes de iniciar el experimento ni durante el periodo de evaluación.

En cada variedad de alfalfa se efectuaron cuatro análisis de crecimiento, uno por estación del año, de acuerdo con la metodología descrita por Velasco *et al.*⁽⁵⁾. Los tratamientos consistieron en cortes sucesivos, a intervalos de siete días, durante un ciclo de crecimiento de ocho semanas distribuidas en un diseño completamente al azar con ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Para ello, en cada ocasión, se trazaron 32 parcelas de 2 x 2 m por variedad, donde se distribuyeron los tratamientos aleatoriamente. A mediados de cada estación, se realizó un corte de uniformización a 5 cm de altura con una podadora previamente calibrada; inmediatamente después se cortaron a ras de suelo ocho cuadros de 0.25 m² (cuatro por variedad), seleccionados al azar, para determinar el forraje residual. Posteriormente, se cosecharon semanalmente, a ras de suelo, ocho parcelas diferentes (cuatro por variedad).

El forraje cosechado se pesó en verde y se obtuvo una submuestra de aproximadamente 100 g, la cual se secó en una estufa de aire forzado a 55 °C durante 48 h. Con estos datos se determinaron los cambios semanales en acumulación de materia seca por hectárea (ms/ha), en las diferentes edades de rebrote. Los incrementos estacionales en biomasa total se obtuvieron restando la correspondiente biomasa residual del corte de uniformización a la biomasa cosechada semanalmente. La tasa de crecimiento de la alfalfa se calculó con los datos de materia seca total (hojas y tallos), en las diferentes edades de rebrote y se ajustaron con el método Quasi-Newton del programa estadística versión 6⁽¹³⁾. La tasa de crecimiento (TC) en kg MS ha⁻¹ d⁻¹ se determinó como:

$$TC = \frac{MSP_{t2} - MSP_{t1}}{T_2 - T_1},$$

Donde:

with the methodology described by Velasco *et al.*⁽⁵⁾. Treatments consisted in successive cuts at weekly intervals, during a regrowth period of 8 weeks arranged in a completely randomized design with eight treatments and four replicates. In each season, the experimental area was divided into 32 plots of 2 x 2 m per variety and treatments were allocated randomly. At the middle of each season, all plots were staged by mowing to a stubble height of 5 cm. Residual herbage mass was determined from eight 0.25 m² (four per variety) samples harvested to ground level, selected randomly. To measure cumulative herbage mass, eight different plots (four per variety) were harvested, to ground level, every week.

Total herbage harvested was weighed, and a sub sample of about 100 g was dried at 55 °C, and weighed. With this data were calculated the weekly changes in herbage accumulation per hectare (ms/ha), to the different ages of regrowth. The seasonal changes of total herbage mass were obtained from the herbage harvested every week minus the residual herbage mass present in the uniformity cut. Alfalfa growth rate was calculated with the data of total dry matter (leaves and stems), at the different ages of regrowth, and were adjusted with the Quasi-Newton method version 6⁽¹³⁾. Growth rate (GR) in kg DM ha⁻¹ d⁻¹ was determined like:

$$GR = \frac{PDM_{t2} - PDM_{t1}}{T_2 - T_1}$$

Where:

PDM_{t2} = Present dry matter at the time 2;

PDM_{t1} = Present dry matter at the time 1;

T₂-T₁ = number of days between samples.

From the herbage harvested a second sub-sample of about 100 g was taken, and was separated in its morphological components (leaves and stems), dried at 55 °C, and weighed. With these data were calculated the average amount of dry matter by morphological component and the leaf:stem ratio. Leaf area was determinate in each sample of leaves, obtained from morphological components using a leaf area integrator model CI-202 (LI-COR, Inc). With this information and with the sampled area,

MSP_{t2} = Materia seca presente en el tiempo 2;
 MSP_{t1} = Materia seca presente en el tiempo 1;
 T₂-T₁ = número de días transcurridos entre las mediciones.

Del forraje cosechado se tomó una segunda submuestra de alrededor de 100 g, la cual se separó en los componentes morfológicos: hojas y tallos; éstos se secaron a 55 °C por 48 h y se pesaron. Con los datos de peso seco se calculó la cantidad promedio de materia seca por componente morfológico y la relación hoja:tallo. A cada muestra de hojas, obtenida en la composición morfológica, se le determinó la área foliar con un integrador modelo CI-202 (LI-COR, Inc). Posteriormente, con los datos de área foliar y la superficie muestreada, se calculó el IAF, cuyos cambios semanales se ajustaron con el método Quasi-Newton⁽¹³⁾.

En cada variedad se estimó la tasa de aparición de hojas en cuatro ocasiones (una por estación). Para ello, un día después del corte de uniformización se seleccionaron al azar cuatro tallos por repetición y se marcaron con anillos de colores: a estos tallos se les contó el número de hojas presentes por tallo, cada siete días durante un ciclo de rebrote de ocho semanas. Inicialmente se planeó estimar la tasa de aparición de hojas, pero dado que esta especie tiende a tirar sus hojas durante el ciclo de crecimiento, se optó por reportarlas como número de hojas por tallo. Las curvas de acumulación de hojas por tallo se ajustaron con el método Quasi-Newton⁽¹³⁾.

También se registraron los datos de precipitación, temperatura promedio, mínima y máxima del aire, horas luz y humedad relativa. Estos datos se obtuvieron de la estación meteorológica, localizada a 5 km de distancia del sitio experimental, dependiente de la Comisión Nacional del Agua estatal.

La información obtenida se analizó en forma separada por variedad con los procedimientos Mixed y GLM de SAS⁽¹⁴⁾, para diseños experimentales con mediciones repetidas; los factores de clasificación fueron las estaciones del año y las

was estimated the LAI, which was adjusted using the Quasi-Newton method⁽¹³⁾.

Leaf appearance rate was determinate four times in each variety (one per season). A day after the uniform harvest, four tillers per replicate were chousing randomly and tag with color plastic ring: each week the number of leaves per tiller was recorded, during a regrowth period of 8 weeks. At the beginning it was tried to determine leaf appearance rate, but due to that this specie tends to drop its leaves during the regrowth cycle, it was chouse to report as a number of leaves per tiller. Leave accumulation curve per tiller were adjusted by the Quasi-Newton method⁽¹³⁾.

Also, climatic data were recorded (rainfall, average, temperature, day light and humidity relative). These data were obtained from the climatic station, located 5 km from the experimental area.

All data was analyzed in separated way by variety using the Mixed and GLM procedures of SAS⁽¹⁴⁾, for experimental designs with repeated measurements; the classification factors were the season of the year and weeks of regrowth⁽¹⁵⁾ and throughout growth analysis⁽¹⁶⁾. The data obtained at weekly intervals, were compared among season using Tukey test⁽¹⁵⁾.

RESULTS

Seasonal changes in herbage accumulation

Figures 1 and 2 show the weekly changes in herbage accumulation by morphological compounds, of both varieties of alfalfa, in the different seasons of the year. In all the seasons of the year, it was observed a progressive increase in herbage accumulation, as increased the regrowth age, until it reached a maximum value, which varied according with the season of the year and variety. Independently of the variety and age of regrowth, the maximum herbage accumulation was recorded in spring ($P < 0.05$), followed by winter, summer and autumn, respectively. In spring, the variety Valenciana with 4.7 t DM ha⁻¹ reached its maximum yield at the sixth week of regrowth (Figure 1) and tended to maintain and decreased from the seventh

semanas de muestreo⁽¹⁵⁾, y mediante el análisis de crecimiento⁽¹⁶⁾. Los datos obtenidos semanalmente, se compararon entre estaciones utilizando una prueba de Tukey⁽¹⁵⁾.

RESULTADOS

Cambios estacionales en la acumulación de forraje

Las Figuras 1 y 2 muestran los cambios semanales en la acumulación de forraje, de ambas variedades y los componentes morfológicos, en las diferentes estaciones del año. En todas las estaciones se observa un incremento progresivo en la acumulación de forraje, conforme aumentó la edad de rebrote, hasta alcanzar un valor máximo, el cual varió dependiendo de la estación del año y variedad. Independientemente de la variedad y edad de rebrote, la mayor acumulación de materia seca se registró en primavera ($P < 0.05$), seguido de invierno, verano y otoño. En primavera, la variedad Valenciana con 4.7 t MS ha⁻¹ alcanzó el máximo rendimiento en la sexta semana (Figura 1) y tendió a mantenerse e inclusive a descender a partir de la

week onwards, whereas Oaxaca reached its maximum herbage accumulation until the seventh week, with 4.1 t DM ha⁻¹. During summer, the variety Valenciana did not show significant increases ($P > 0.05$) from the third week of growth (Figure 1), although the highest herbage accumulation was recorded until the seventh week of regrowth, whereas Oaxaca reached its maximum yield during the fourth week of regrowth. In autumn was recorded the lowest seasonal yield, in both varieties, at the fifth week of regrowth. In winter, both varieties reached its maximum herbage accumulation after six week of regrowth, being Valenciana with 3.5 t DM ha⁻¹ the variety how showed the lower yield.

The weekly changes in leaf accumulation varied significantly among seasons of the year ($P < 0.05$). The highest leaf accumulation in Valenciana was recorded to the third week of regrowth, in spring and summer, whereas during autumn and winter it was observed to the fifth and eighth week, respectively. In Oaxaca the highest seasonal yield of leaves was recorded to the sixth, third, fifth and

Figura 1. Cambios semanales en la acumulación de materia seca, por componente morfológico, de alfalfa variedad Valenciana, en diferentes estaciones del año

Figure 1. Weekly changes in herbage accumulation, by morphological compound, of alfalfa variety Valenciana, in the different seasons of the year

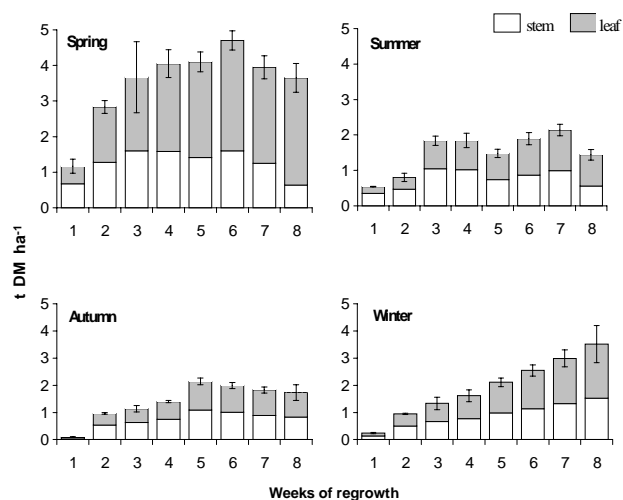
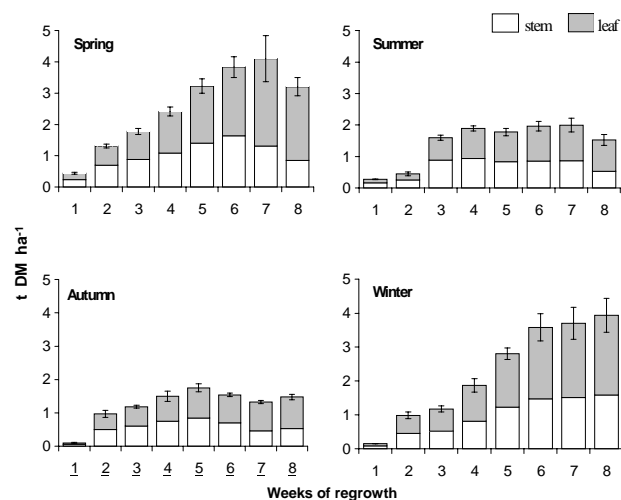


Figura 2. Cambios semanales en la acumulación de materia seca, por componente morfológico, de alfalfa variedad Oaxaca, en diferentes estaciones del año

Figure 2. Weekly changes in herbage accumulation, by morphological compound, of alfalfa variety Oaxaca, in the different seasons of the year



séptima semana. En cambio, la variedad Oaxaca alcanzó la máxima acumulación de materia seca hasta la séptima semana con 4.1 t de MS ha⁻¹. Durante el verano, la variedad Valenciana no presentó aumentos significativos ($P > 0.05$) a partir de la tercera semana de crecimiento, aunque la mayor acumulación de forraje la registró en la séptima semana de rebrote, en tanto que la variedad Oaxaca alcanzó el máximo rendimiento en la cuarta semana de rebrote. En otoño, se registró la menor acumulación estacional de forraje, en ambas variedades, a la quinta semana de rebrote. Durante el invierno, ambas variedades alcanzaron la mayor acumulación de forraje después de la sexta semana de rebrote, siendo la variedad Valenciana con 3.5 t de MS ha⁻¹ la que presentó el menor rendimiento.

Los cambios semanales en la acumulación de hojas varió significativamente entre estaciones del año ($P < 0.05$). La mayor acumulación de hojas en la variedad Valenciana se registró a la tercera semana, en primavera y verano, en otoño a la quinta y en invierno a la octava. En cambio el mayor rendimiento estacional de hojas en la variedad Oaxaca se observó a la sexta, tercera, quinta y sexta semanas de rebrote en primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente ($P < 0.05$).

Es importante señalar que en todas las estaciones del año, una vez que las variedades de alfalfa alcanzaron su máxima acumulación de hojas, el incremento en rendimiento de materia seca se debió a la biomasa de tallos, por lo que para definir la edad de rebrote a la cual debe cosecharse la alfalfa, es necesario considerar la edad a la cual se obtiene tanto el mayor rendimiento total como la máxima acumulación de hojas.

Tasa de crecimiento

Las mayores TC se registraron durante la primavera, independientemente de la variedad, seguidas de invierno, verano y otoño (Figura 3) ($P < 0.05$). La edad a la cual alcanzaron la mayor TC varió dependiendo de la estación del año y variedad. En primavera, la variedad Valenciana registró la mejor TC con 155 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, durante la tercera semana de rebrote, mientras que

sixth week of regrowth in spring, summer, fall and winter, respectively ($P < 0.05$).

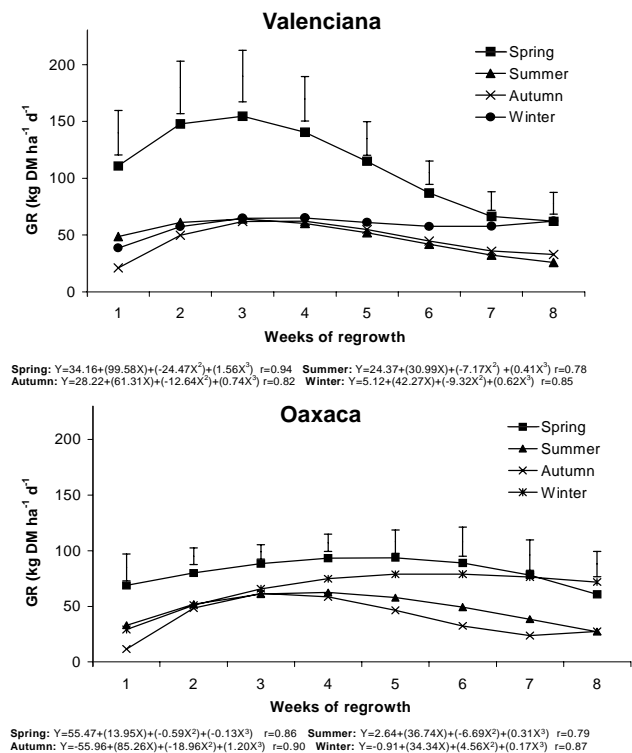
It is important to point out that in all the seasons of the year, once that the varieties of alfalfa reached its maximum leaf accumulation, the increase in yield was due to the stems biomass, therefore to define the age of regrowth to which must be harvested the alfalfa, it is necessary to consider the age to which it is obtain the highest total yield as well as the maximum leaf accumulation.

Growth rate

The highest GR was recorded in spring, independently of the variety, followed by winter, summer and fall (Figure 3) ($P < 0.05$). The age to which alfalfa reached its maximum GR varied

Figura 3. Cambios semanales en la tasa de crecimiento, de dos variedades de alfalfa, durante un ciclo de rebrote de ocho semanas, en las diferentes estaciones del año

Figure 3. Weekly changes in growth rate (GR), of two varieties of alfalfa, during a regrowth cycle of eight weeks, in the different seasons of the year



en verano, otoño e invierno esta variedad presentó los mayores valores ($P < 0.05$) entre la tercera y cuarta semana de crecimiento ($63 \text{ kg de MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$).

La variedad local Oaxaca registró las mayores TC en primavera, entre la cuarta y quinta semana de rebrote con $93 \text{ kg de MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ($P < 0.05$), mientras que en invierno se observó entre la quinta y sexta semana ($79 \text{ kg de MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$). Durante verano y otoño, se registraron las menores TC ($62 \text{ kg de MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), a la tercer semana de rebrote.

Relación hoja:tallo

Independientemente de la estación del año y variedad, conforme aumenta la edad de rebrote de 1 a 8 semanas, la relación hoja:tallo tendió a disminuir (Cuadro 1) ($P < 0.05$). Aunque no se realizaron comparaciones estadísticas entre variedades, al final del ciclo de rebrote de ocho semanas, se apreció que Valenciana fue la variedad que presentó una mayor relación hoja:tallo, en todas las estaciones del año. En ambas variedades, la

dependiendo de la estación del año. In spring, the variety Valenciana recorded the highest GR ($155 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) during the third week of regrowth, whereas in summer, autumn and winter this variety showed the greatest yield ($P < 0.05$) between the third and fourth week of growth ($63 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$).

The local variety (Oaxaca) recorded its highest GR between the third and fourth week of growth ($93 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$). During winter it was observed between the fifth and sixth week ($79 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$). The lowest GR was recorded to the third week of regrowth ($62 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) in summer and autumn.

Leaf:stem ratio

Independently of the season of the year and variety, as the age of regrowth increased from one to eight weeks, the leaf:stem ratio tended to decrease (Table 1) ($P < 0.05$). Although there were not statistical comparisons between varieties, at the end of regrowth period of eight weeks, Valenciana showed the highest leaf:stem ratio in all seasons of

Cuadro 1. Cambios semanales en la relación hoja:tallo, de dos variedades de alfalfa, durante un ciclo de rebrote de ocho semanas, en las diferentes estaciones del año

Table 1. Weekly changes in leaf:stem ratio of two varieties of alfalfa, during a regrowth cycle of eight weeks, in the different seasons of the year

	Weeks of regrowth								SE
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Spring 2000									
Valenciana	1.36 ^a	0.83 ^b	0.81 ^b	0.64 ^{bc}	0.55 ^{bc}	0.52 ^{bc}	0.52 ^{bc}	0.22 ^c	0.033
Oaxaca	1.13 ^a	1.13 ^a	0.99 ^{ab}	0.83 ^b	0.78 ^b	0.76 ^b	0.48 ^c	0.37 ^c	0.013
Summer 2000									
Valenciana	1.82 ^a	1.37 ^b	1.34 ^b	1.03 ^{bc}	1.0 ^{bc}	0.85 ^c	0.85 ^c	0.65 ^c	0.035
Oaxaca	1.47 ^a	1.31 ^{ab}	1.25 ^b	0.97 ^c	0.88 ^c	0.77 ^c	0.76 ^c	0.53 ^d	0.008
Autumn 2000									
Valenciana	2.94 ^a	1.41 ^b	1.25 ^b	1.14 ^{bc}	1.05 ^c	1.03 ^c	0.98 ^c	0.94 ^c	0.080
Oaxaca	1.48 ^a	1.06 ^b	1.06 ^b	1.01 ^b	0.93 ^b	0.84 ^{bc}	0.54 ^c	0.57 ^c	0.017
Winter 2001									
Valenciana	1.40 ^a	1.17 ^{ab}	1.00 ^{bc}	0.94 ^{bc}	0.90 ^{bc}	0.82 ^c	0.80 ^c	0.77 ^c	0.027
Oaxaca	1.45 ^a	0.88 ^b	0.80 ^b	0.78 ^b	0.79 ^b	0.71 ^b	0.69 ^b	0.67 ^b	0.024

abcd Values in the same row without a common superscript differ ($P < 0.05$)

SE = standard error.

relación hoja:tallo presentó el siguiente orden descendente: otoño > verano > invierno > primavera ($P < 0.05$).

Número de hojas presentes por tallo (NHT)

Las hojas representan la biomasa fotosintéticamente activa, la cual es responsable del crecimiento y potencial productivo de las especies forrajeras. Conforme aumentó la edad de rebrote se incrementó el NHT, hasta llegar a un máximo, el cual varió dependiendo de la variedad y estación del año (Figura 4). Una vez alcanzado este pico máximo, el NHT tendió a disminuir conforme aumentó la edad de rebrote, en ambas variedades; esta disminución fue más acentuada en primavera en Valenciana (de 45 a 15) y durante primavera (de 42 a 12) y verano (de 68 a 48) en Oaxaca ($P < 0.05$). Con excepción de primavera, donde el mayor NHT en Valenciana, se registró a la quinta semana de rebrote ($P < 0.05$), en las otras estaciones se observó a la sexta semana. Oaxaca registró la mayor cantidad de hojas por tallo a la sexta semana en todas las estaciones del año. La mayor cantidad de hojas por tallo ($P < 0.05$) se presentó durante primavera y verano en la variedad Valenciana y Oaxaca, respectivamente.

Índice de área foliar (IAF)

Los cambios estacionales en el IAF se muestran en la Figura 5. Al igual que la TC y el NHT, el IAF aumentó conforme se incrementó la edad de rebrote, hasta alcanzar un máximo, para luego disminuir progresivamente a consecuencia de la caída de las hojas. Para la variedad Valenciana el mejor IAF fue 2.6, 2.3, 1.4 y 1.4 para invierno, primavera, verano y otoño, respectivamente. Una tendencia similar se observó en la variedad Oaxaca, donde los máximos valores de IAF presentaron el siguiente orden descendente: invierno (2.2) > primavera (2.1) > verano (1.3) > otoño (1.1).

DISCUSIÓN

Técnicas de muestreo

El objetivo de utilizar 32 parcelas por variedad y muestrear cuatro diferentes cada semana, fue el de evitar que el tamaño relativamente pequeño de las

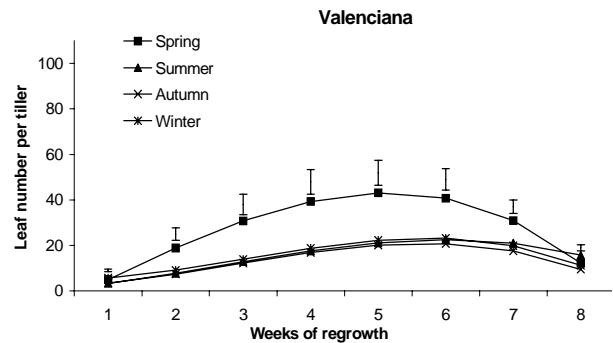
the year. In both varieties, leaf:stem ratio was ranked in the order autumn > summer > winter > spring ($P < 0.05$).

Number of leaves per tiller (NLT)

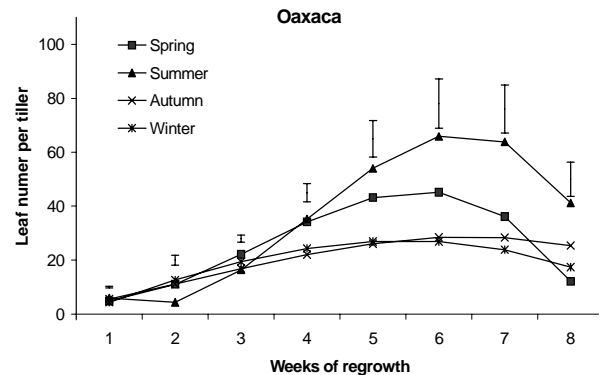
Leaves represent the photosynthetically active biomass, and they are responsible of growth and productive potential of the forage species. The number of leaves per tiller increased steadily from the start of the regrowth period until it reach a maximum, which varied depending of the variety and season of the year (Figure 4), and subsequently

Figura 4. Cambios semanales en el número de hojas por tallo, de dos variedades de alfalfa, durante un ciclo de rebrote, en las diferentes estaciones del año

Figure 4. Weekly changes in leaf number per tiller, of two varieties of alfalfa, during a regrowth cycle of eight weeks, in the different seasons of the year



Spring: $Y = 9.6 + (14.4X) + (0.38X^2) + (-0.02X^3)$ $r = 0.95$ Summer: $Y = 1.21 + (0.83X) + (1.55X^2) + (-0.18X^3)$ $r = 0.93$
 Autumn: $Y = 1.71 + (0.31X) + (1.66X^2) + (-0.20X^3)$ $r = 0.96$ Winter: $Y = 4.92 + (-1.12X) + (2.05X^2) + (-0.22X^3)$ $r = 0.94$



Spring: $Y = 6.71 + (-5.47X) + (6.20X^2) + (-0.68X^3)$ $r = 0.99$ Summer: $Y = 12.07 + (-11.69X) + (5.43X^2) + (-0.47X^3)$ $r = 0.99$
 Autumn: $Y = 0.93 + (2.49X) + (1.57X^2) + (-0.21X^3)$ $r = 0.99$ Winter: $Y = 4.57 + (-0.05X) + (1.28X^2) + (-0.14X^3)$ $r = 0.99$

parcelas afectara la composición botánica, persistencia y estructura de las praderas de alfalfa⁽⁷⁾.

En las curvas estacionales de acumulación de materia seca no se reportan pérdidas por senescencia, debido principalmente a que la alfalfa tiende a tirar las hojas que se encuentran en este proceso⁽¹⁷⁾, por lo que la mayor pérdida de hojas generalmente ocurrió inmediatamente después de que las plantas alcanzaron el mayor IAF, es decir, cuando las hojas superiores sombrea a las de la parte inferior por debajo de su punto de compensación de luz⁽⁴⁾, lo que ocasionó una

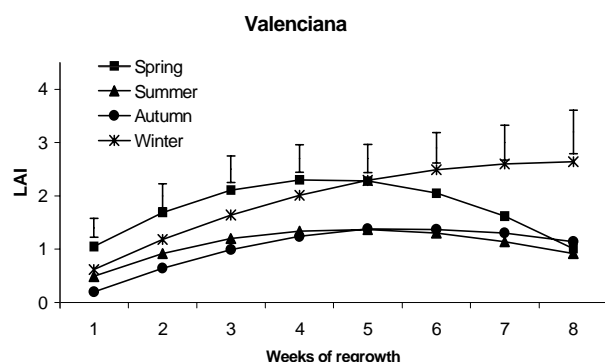
declined, in both varieties. This decline was greater in Valenciana (from 45 to 15) in spring and during spring (from 42 to 12) and summer (from 68 to 48) in Oaxaca. With exception of spring, where the highest NLT in Valenciana, was recorded to the fifth week of regrowth ($P < 0.05$), in the other seasons of the year it was observed to the sixth week. In all the seasons of the year, Oaxaca recorded the highest NLT to the sixth week of regrowth. The greatest NLT ($P < 0.05$) was observed in spring and summer in the varieties Valenciana and Oaxaca, respectively.

Leaf area index (LAI)

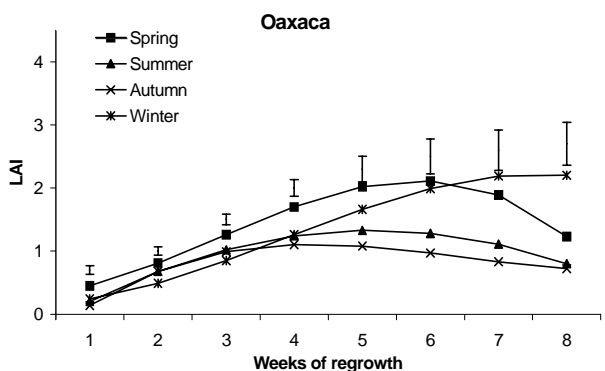
The weekly changes in LAI are showed in Figure 5. Similar than GR, and NLP, the LAI increased steadily from the start of regrowth period until reached a maximum, and subsequently decline, as a consequence of the loss of leaves (Figure 4). The highest LAI was 2.6, 2.3, 1.4 and 1.4 during winter, spring, summer and autumn, respectively. Similar tendency was observed in Oaxaca, with the four seasons ranked in the order winter (2.2) > spring (2.1) > Summer (1.3) > autumn (1.1), respectively.

Figura 5. Cambios semanales en el índice de área foliar, de dos variedades de alfalfa, durante un ciclo de rebrote de ocho semanas, en las diferentes estaciones del año

Figure 5. Weekly changes in leaf area index, of two varieties of alfalfa, during a regrowth cycle of eight weeks, in the different seasons of the year



Spring: $Y = 795.79 + (-1620.88X) + (1026.19X^2) + (-202.38X^3)$ $r = 0.91$; Summer: $Y = -2.80 + (-42.64X) + (134.36X^2) + (-66.51X^3)$ $r = 0.95$; Autumn: $Y = 3.62 + (1.25X) + (5.13X^2) + (1.26X^3)$ $r = 0.92$; Winter: $Y = 10.06 + (29.95X) + (53.287X^2) + (-18.35X^3)$ $r = 0.93$.



Spring: $Y = 12.94 + (-36.59X) + (50.11X^2) + (-11.62X^3)$ $r = 0.94$; Summer: $Y = 27.74 + (-151.35X) + (307.74X^2) + (-149.4X^3)$ $r = 0.85$; Autumn: $Y = -2.76 + (49.58X) + (-56.99X^2) + (29.98X^3)$ $r = 0.85$; Winter: $Y = 4.51 + (1.93X) + (12.26X^2) + (4.74X^3)$ $r = 0.96$.

DISCUSSION

Sampling techniques

The aim of using 32 plots per variety and harvest four different every week, was to avoid that the relatively small plot size affected the botanical composition, persistence and structure of the alfalfa sward⁽⁷⁾.

There were no losses per senescence, in the seasonal curves of cumulative herbage mass, due to that alfalfa tend to fall its leaves that are in senescence process⁽¹⁷⁾. The highest losses of leaves, generally occurred some time after the optimum LAI has been reached as leaves in the lower layers of the canopy are shaded below their light compensation point⁽⁴⁾ so that there is a net loss of NLT, due to fall of leaves⁽¹⁷⁾, and no further net accumulation of biomass results, specially in spring, when alfalfa reached the highest GR and rates of tissue turnover are faster⁽¹⁰⁾. Thus, the reduction in LAI and the

reducción en el NHT, debido a la caída de hojas⁽¹⁷⁾. Esto se reflejó en una disminución en el rendimiento total acumulado, principalmente durante primavera, cuando la planta alcanza sus mayores TC, y las tasas de recambio de tejido son más rápidas⁽¹⁰⁾. Así, la disminución en el IAF y en la contribución de las hojas al rendimiento, especialmente en las dos últimas semanas de rebrote fueron debidas a un menor número de hojas por tallo observado en ambas variedades.

Crecimiento estacional y productividad

Los resultados observados en este experimento muestran que las praderas de alfalfa son entes dinámicos, donde la velocidad de rebrote de las plantas varía de acuerdo con la estación del año, y que para poder obtener el máximo potencial de producción del cultivo, cada variedad debe recibir un manejo estacional específico.

La acumulación de materia seca fue más rápida en primavera, seguida de invierno, verano y otoño. Estos resultados no concuerdan con lo reportado por otros autores en praderas de ballico perenne⁽¹⁸⁾ y orchard⁽⁵⁾, en el valle de México. Ellos observaron el siguiente orden en las tasas de acumulación de forraje: primavera > verano > otoño > invierno. El ritmo de crecimiento de las plantas observado en ambas variedades, muestra que la edad de rebrote a la cual se sugiere cosechar la alfalfa varió con la estación de año y la variedad: Valenciana alcanzó el mejor rendimiento de materia seca a la sexta, séptima, quinta y octava semana, mientras que Oaxaca a la séptima, cuarta, quinta, y octava semana de rebrote para primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente. Sin embargo, en primavera e invierno, la máxima acumulación de forraje se debió al aumento en la masa de tallos y a la pérdida de hojas. Un comportamiento similar ha sido reportado por otros⁽¹⁷⁾, quienes señalan que los incrementos en el rendimiento de materia seca de la alfalfa están asociados con aumentos en la masa de tallos y a una disminución en la relación hoja:tallo. Por otro lado, la concentración de nutrientes es mayor en las hojas que en los tallos y conforme aumenta la madurez de la planta, la calidad del tallo disminuye a un porcentaje mayor que la calidad hoja⁽³⁾, por

contribución de leaves to total yield, specially during the last two weeks of regrowth were due a lower number of leaves per tiller observed in both varieties.

Seasonal growth and productivity

The results of this experiment showed that the swards of alfalfa are dynamic, and growth rates varied with the season of the year, and to maximize accumulation of herbage over time each variety has to have an specific seasonal manage.

Herbage accumulation was faster in spring, followed by winter, summer and autumn. These results are not according with the observed by other authors in perennial ryegrass⁽¹⁸⁾ and cocksfoot swards⁽⁵⁾, in the Mexican valley. The ranked accumulation rates in the order spring > summer > autumn > winter. The growth rates observed in both varieties showed that the regrowth age to which alfalfa must be harvested varied with the season of the year and variety: Valenciana reached the highest yield to the sixth, seventh, fifth and eighth, whereas Oaxaca to the seventh, fourth, fifth and eighth week of regrowth during spring, summer, autumn and winter, respectively. However, in spring the maximum herbage accumulation was due to greater stem biomass and the loss of leaves. Similar results were reported by Barnes and Sheaffer⁽¹⁷⁾, who pointed out that the increases in yield of alfalfa are associated with increases in stems biomass and a reduction in leaf:stem ratio. On the other hand, nutrient concentration is higher in leaves than stems and as plant maturity increases, stem quality decrease faster than the quality of leaves⁽³⁾, therefore the cut calendar must consider yield, quality and persistence of alfalfa swards^(1,17). Hence, the age to cut the alfalfa in spring and winter must be to the forth and sixth week for Valenciana and to the sixth week in Oaxaca, respectively.

The responses of the different forage species to management, has been attributed to differences in growth due to changes in temperature and seasonal factors⁽¹⁹⁾. In spring were recorded the highest temperature and light intensity, without water limitation, which increased the GR of alfalfa. The

lo que el calendario de cortes debe considerar el rendimiento, calidad y persistencia de las plantas de alfalfa^(1,17). Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, la edad al corte para primavera e invierno debe ser a partir de la cuarta y sexta semana para Valenciana y a la sexta semana en Oaxaca, respectivamente.

Las respuestas de las diferentes especies forrajeras al manejo, han sido atribuidas a diferencias en crecimiento debidas a cambios en temperatura y factores estacionales⁽¹⁹⁾. En primavera se registraron mayores temperaturas y horas luz, sin limitaciones de agua, lo que favoreció la velocidad de crecimiento de la alfalfa. Las edades de rebrote en que se registró la mayor TC están acordes con la curva de crecimiento sigmoideal, ya que el pico máximo corresponde al momento en que la TC comienza a decrecer⁽¹⁶⁾; resultados similares a los de Rechel y Novotny⁽²⁰⁾, quienes obtuvieron las mejores TC en las primeras dos a tres semanas después del corte, lo cual lo relacionan directamente con la área foliar, y a un incremento en la tasa de distribución de reservas de la raíz hacia hojas y tallos, que se traduce como un ascenso en la TC y producción de materia seca.

La tasa de acumulación neta de forraje está en un máximo, cuando el mayor IAF es alcanzado⁽⁴⁾. El IAF de la pradera en este punto es definido como el IAF óptimo, el cual varió entre variedades y estaciones del año, y fue mayor en primavera ($P < 0.05$), cuando las condiciones climáticas favorecen el crecimiento de esta especie. Al respecto, diversos autores^(4,5,7,18) consignan que el mayor rendimiento coincide con el mayor IAF y la mayor masa de hojas verdes. Con excepción de invierno, se observó una disminución en el IAF en las últimas semanas de crecimiento, en todas las estaciones del año. Esto podría explicar, al menos parcialmente, el menor NHT observado durante este periodo, lo cual se pudo deber a la caída de hojas a consecuencia de un incremento en la tasa de senescencia⁽²¹⁾.

Los menores valores en la relación hoja:tallo observados en primavera en la última semana (octava) del ciclo de rebrote, podrían estar asociados

regrowth ages in which was recorded the highest GR, are according with the sigmoidal curve of growth, due to that the maximum pick corresponded to the moment when GR started to decrease⁽¹⁶⁾. Similar results were observed by Rechel and Novotny⁽²⁰⁾, in alfalfa. They obtained the highest GR two or three weeks after cut, which was associated with the leaf area and an increased in the rate of distribution of carbohydrate reserves towards leaves and stems, increasing the GR and herbage production.

The net accumulation rate of biomass is at a maximum, when the optimum LAI has been reached⁽⁴⁾. The optimum LAI varies with season and with varieties of alfalfa; it was highest in spring ($P < 0.05$), when the climatic conditions increased the GR of this specie. Several researchers^(4,5,7,18) pointed out that the highest yield was obtained when it is observed the highest LAI and leaf mass. With exception of winter, it was observed a reduction in LAI during the last weeks of growth, in all the season of the year. This may explain, at less partially, the lower LNT observed during this period, Which may be due to the fall of leaves as a consequence of an increase in senescence⁽²¹⁾.

The lowest leaf:stem ratio observed in the last week of regrowth (eighth), in spring, may be related with the higher GR and tissue turnover rate recorded during this season of the year, and with the higher fall of leaves^(10,17). Similar tendencies have been observed in temperate swards^(5,18).

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

The optimum harvest time for both varieties of alfalfa varied with the season of the year, and to obtain the maximum herbage production, the cut must be carried out to the fourth and fifth week of regrowth during summer and autumn, respectively. During spring the optimum harvest time varied between varieties, therefore Valenciana and Oaxaca must be harvested to the fifth and sixth week, respectively. However, in winter, Oaxaca must be harvested to the sixth week of regrowth and Valenciana to the eighth week. The maximum herbage accumulation in both varieties and seasons

a que en esta estación se presentaron las mayores tasas de crecimiento, y en consecuencia el recambio de tejido fue más acelerado, lo que ocasionó una mayor caída de hojas, como lo han señalado algunos autores^(10,17). Tendencias similares han sido observados en gramíneas templadas^(5,18).

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

El momento óptimo de corte de las dos variedades varió con la estación del año, y para obtener la máxima producción de forraje, la cosecha debe realizarse a la cuarta y quinta semana de rebrote durante verano y otoño, respectivamente. En primavera el momento óptimo de aprovechamiento varió entre variedades, por lo que la variedad Valenciana debe cosecharse a la quinta semana de rebrote, mientras que la variedad Oaxaca a la sexta semana. Durante el invierno la variedad local (Oaxaca) debe cosecharse a la sexta semana de rebrote y la introducida (Valenciana) a la octava semana. La máxima acumulación de forraje en ambas variedades de alfalfa y estaciones del año, estuvo asociada con las mayores tasas de crecimiento e índice de área foliar. Finalmente, estos resultados se refieren a variedades puras de alfalfa, por lo que no es posible predecir con estos resultados cómo la adición de la variedad Valenciana a la Oaxaca alteraría la interacción entre las características estructurales y la edad de rebrote a la que se deben cosechar, por lo que se considera conveniente su estudio en asociación.

LITERATURA CITADA

- McGraw LR, Nelson JC. Legumes for Northern areas. In: Barnes FR, Nelson CJ, Colling M, Moore KJ editors. Forages an introduction to grassland agriculture. 6th ed. Iowa State Press, USA: 2003;171-190.
- SAGAR. Boletín bimestral de leche. Centro de Estadística Agropecuaria (CEA). 2000.
- Hodgson JG. Grazing management: Science into practice. Harlow, England: Longman Scientific & Technical; 1990.
- Chapman DF, Lemaire G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. Proceedings XVII international grassland congress. New Zealand and Australia. 1993;95-104.
- Velasco ZME, Hernández-Garay A, González HVA, Pérez PJ, Vaquera HH, Galvis SA. Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.). *Téc Pecu Méx* 2001;39(1):1-14.
- Hernández-Garay A, Pérez JP. Determinación del estado fisiológico óptimo de corte de alfalfa [resumen]. XIII Congreso nacional de manejo de pastizales XIII. Aguascalientes. Ags. 1998:32.
- Salas BJE. Estado fisiológico óptimo de corte en alfalfa durante el verano y otoño [tesis maestría]. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Colegio de Postgraduados; 1998.
- Hernández-Garay A, Matthew C, Hodgson J. Effect of spring grazing management on perennial ryegrass and ryegrass-white clover pastures. 2. Tiller and growing point densities and population dynamics. *New Zealand J Agric Res* 1997;(40):37-50.
- Pérez BMT, Hernández GA, Pérez PJ, Herrera HJG, Bárcena GR. Respuesta productiva y dinámica de rebrote del pasto ballico perenne a diferentes alturas de corte. *Téc Pecu Méx* 2002;(40):251-253.
- Hernández-Garay A, Hodgson J, Matthew C. Effect of spring grazing management on perennial ryegrass and ryegrass-white clover pastures. 1. Tissue turnover and herbage accumulation. *New Zealand J Agric Res* 1997;(40):25-35.
- Gobierno del Estado. Anuario estadístico del Estado de Oaxaca. Publicación de INEGI y Gobierno del Estado de Oaxaca. Oaxaca, México. 1994.
- García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 2nd ed. Instituto de Geografía, UNAM; 1973.
- Statistica. By Statsoft Inc. U.S. Version 6; 2000.
- SAS. SAS/STAT User's Guide (Release 8). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 1999.
- Winer BJ. Statistical principles in experimental design. 2nd ed. New York, USA: McGraw-Hill Book Co.; 1971.
- Hunt R. Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners. London, W1V 1FP, UK: Academic Division of Unwin Hyman Ltd.; 1990.
- Barnes KD, Sheaffer CC. Alfalfa. In: Barnes FR, Miller M, Nelson CJ editors. Forages an introduction to grassland agriculture. 1st ed. Iowa State Press, USA: 1995;205-216.
- Velasco-Zebadúa ME, Hernández-Garay A, González-Hernández VA, Pérez PJ, Vaquera-Huerta H. Curvas estacionales de crecimiento del ballico perenne. *Fit Mex* 2002;25(1):97-106.
- Barthram GT, Grant SA. Seasonal variation in growth characteristics of *Lolium perenne* and *Trifolium repens* in swards

End of english version

- under different managements. *Grass Forage Sci* 1994;(49):487-495.
20. Rechel EA, Novotny TJ. Growth analysis of alfalfa subjected to harvest traffic. *Crop Sci* 1996;(36):1006-1011.
 21. Hodgson J, Bircham JS, Grant SA, King J. The influence of cutting and grazing management on herbage growth and utilization: In: Wright CE editor. *Plant physiology and herbage production*. The British Grassland Society Occasional Symposium. 1987;13:51-62.