



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

**DINÁMICA DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE ALFALFA EN
RESPUESTA A DIFERENTE FRECUENCIA DE CORTE**

SERGIO IBÁN MENDOZA PEDROZA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2008

La presente tesis titulada: **Dinámica de crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferente frecuencia de corte**, realizada por el alumno: **Sergio Ibán Mendoza Pedroza**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERIA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



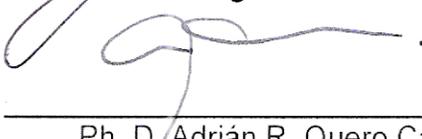
Ph. D. Alfonso Hernández Garay

ASESOR



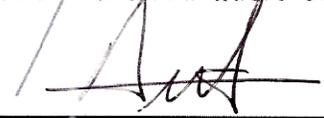
Dr. Jorge Pérez Pérez

ASESOR



Ph. D. Adrián R. Quero Carrillo

ASESOR



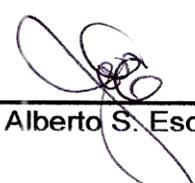
Ph. D. Pedro A. Martínez Hernández

ASESOR



Ph. D. José Luis Zaragoza Ramírez

ASESOR



Ph. D. J. Alberto S. Escalante Estrada

Montecillo, Texcoco, México, Octubre de 2008.

DINÁMICA DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE ALFALFA EN RESPUESTA A DIFERENTE FRECUENCIA DE CORTE

Sergio Ibán Mendoza Pedroza, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2008

En México, la alfalfa es la leguminosa más utilizada en la alimentación del ganado lechero, debido a su alta cantidad y calidad de forraje obtenido por superficie. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la frecuencia de corte en la dinámica de crecimiento, rendimiento y calidad de la alfalfa. El estudio se realizó de agosto de 2006 a agosto de 2007 en el Colegio de Postgraduados con alfalfa Variedad "San Miguelito". Los tratamientos fueron cuatro frecuencias (3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano y 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno) distribuidos aleatoriamente en un Diseño Experimental Completamente al Azar, con 4 repeticiones. En rendimiento acumulado existieron diferencias significativas ($P < 0.05$), mostrando el menor rendimiento para la frecuencia de 4 y 3 semanas ($22,252 \text{ kg MS ha}^{-1}$) y el mayor para la frecuencia de 7 y 6 semanas ($29,674 \text{ kg MS ha}^{-1}$). Conforme se reduce la frecuencia de corte, tendió a disminuir ($P < 0.05$), teniendo el mayor valor (1.86) en invierno con cortes cada 4 semanas y la menor (0.60) en verano con cortes cada 6 semanas. También se incrementa la altura, el área foliar y la radiación interceptada; pero existe una disminución en la calidad del forraje al reducirse la cantidad de proteína y su digestibilidad. A mayor frecuencia de corte, la densidad de tallos es mayor, pero menor el peso individual por tallo y, viceversa.

Palabras clave: *Medicago sativa*, frecuencia de corte, rendimiento, calidad, área foliar.

GROWTH DYNAMICS AND HERBAGE YIELD OF ALFALFA SWARD IN RESPONSE TO DIFFERENT CUTTING FREQUENCIE

Sergio Ibán Mendoza Pedroza, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2008

In Mexico, the alfalfa is the most specie used in dairy cattle, due to its high herbage yield and quality. The aim of this study was to evaluate the effect of cutting frequency on sward dynamics, yield and quality of alfalfa sward. The study was carried out from August 2006 to August 2007 at the Colegio de Postgraduados in alfalfa sward variety San Miguelito. Four cutting frequencies (3, 4, 5 and 6 weeks during spring-summer and 4, 5, 6 and 7 during autumn-winter), were evaluated and randomly allocated with four replicates. The highest (29674 kg DM ha⁻¹) and lowest (22252 kg DM ha⁻¹) cumulative herbage mass were recorded with cuts every 6 and 7 weeks, and 3 and 4 weeks, respectively ($P \leq 0.05$). The leaf stem ratio tended to decreased ($P \leq 0.05$) as cutting frequency decreased, being highest (1.86) in winter with cuts every 4 weeks and lowest (0.60) during summer with cuts every 6 weeks. Also, there were an increase in herbage height, leaf area and intercepted radiation; but, there were a reduction on crude protein and digestibility to higher cutting frequency higher tiller population density, but lower tiller weight, and viceversa.

Key words: *Medicago sativa*, cutting frequency, yield, quality, leaf area.

Dedico esta tesis a:

A mi esposa Sandra Luz Torres Suárez, con amor, respeto y agradecimiento por su apoyo, comprensión y paciencia durante la realización de mis estudios, las quiero.

A mi hija, Yovana Lorely Mendoza Torres, con cariño y amor, esperando ser un ejemplo de esfuerzo, dedicación y superación profesional.

A mis padres J. Ascensión Mendoza Trujillo y Enriqueta Mendoza Álvarez, por sus enseñanzas, amor, comprensión y sacrificios que han realizado en todo momento.

A mis hermanos Juan Antonio y Francisco, por todo su apoyo brindado, a pesar de las adversidades. Gracias.

A mis sobrinos, Eddy, Alan, Jessua y Alberto, con cariño

A mis amigos, Claudio, Meregildo, Valdivia, Edgar, Ixkin, Belisario⁺, Silvestre⁺, Jorge, Omar, Oscar, Said, Rigo y, a todas aquellas personas que de alguna forma hicieron posible la culminación de mis estudios de Maestría.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico, que hizo posible la realización de mis estudios de Maestría.

Al Colegio de Postgraduados y en especial al Programa de Ganadería, por contribuir en mi formación como profesionista.

Al Ph. D. Alfonso Hernández Garay, por su invaluable asesoría, dirección de la investigación, paciencia en la revisión de mi tesis, pero sobre todo, por su disposición en todo momento y enseñanza integral. Muchas gracias.

Al Dr. Jorge Pérez Pérez, por sus consejos, asesoría, sugerencias, conocimientos y apoyo en el desarrollo de la investigación, así como, la paciencia en la revisión de mi tesis, muchas gracias.

A mis asesores Ph. D. Adrián R. Quero Carrillo, Pedro A. Martínez Hernández, José Luís Zaragoza Ramírez y Ph. D. J. Alberto S. Escalante Estrada por su apoyo, disposición y sugerencias en el desarrollo de la investigación y elaboración de esta tesis.

Al C. Remedios Caballero Zamora por su apoyo en el Laboratorio de Forrajes, así como al personal administrativo del Colegio de Postgraduados, por su cooperación, disposición y amabilidad.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Descripción botánica y agronómica de alfalfa	3
2.2. Estacionalidad en el crecimiento y rendimiento de forraje.....	5
2.3. Frecuencia e intensidad de cosecha	10
2.4. Rebrote	13
2.4.1. Reserva de carbohidratos	15
2.4.2. Índice de área foliar	17
2.4.3. Meristemas de crecimiento.....	19
2.5. Población de tallos.....	21
2.6. Valor nutritivo en los forrajes.....	24
2.7. Conclusiones de la revisión de literatura	28
3. MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1. Localización del sitio experimental	29
3.2. Manejo de praderas.....	30
3.3. Tratamientos y diseño experimental	30
3.4. Variables evaluadas	31
3.4.1. Rendimiento de forraje	31
3.4.2. Tasa de crecimiento del forraje	32
3.4.3. Composición botánica y morfológica	32
3.4.4. Relación hoja:tallo	33

3.4.5. Altura de la planta	33
3.4.6. Área foliar por tallo	34
3.4.7. Radiación interceptada.....	34
3.4.8. Densidad de tallos	34
3.4.9. Peso por tallo	35
3.4.10. Proteína en hojas y tallos.....	35
3.4.11. Digestibilidad <i>in situ</i> de hojas y tallos.....	36
3.4.12. Rendimiento de proteína por hectárea en hoja y tallo	36
3.4.13. Materia seca digestible total en hoja y tallo	36
 3.5. Análisis estadístico	 37
 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	 39
4.1. Rendimiento de forraje	39
4.2. Tasa de crecimiento del forraje.....	42
4.3. Composición botánica y morfológica	44
4.4. Relación hoja:tallo.....	47
4.5. Altura de la planta	49
4.6. Área foliar por tallo.....	53
4.7. Radiación interceptada	58
4.8. Densidad de tallos	62
4.9. Peso por tallo.....	66
4.10. Proteína en hoja y tallo	69
4.11. Digestibilidad de hoja y tallo	73
4.12. Rendimiento de proteína por hectárea en hoja y tallo.....	76

4.13. Materia seca digestible total en hoja y tallo de alfalfa	79
5. CONCLUSIONES	83
6. LITERATURA CITADA.....	84
7. ANEXOS	98

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Rendimiento anual y estacional de alfalfa (kg MS ha ⁻¹) cosechada a diferente frecuencia.....	40
Cuadro 2. Rendimiento promedio por corte de alfalfa (kg MS ha ⁻¹), cosechada a diferente frecuencia.....	42
Cuadro 3. Tasa de crecimiento promedio estacional (kg MS ha ⁻¹ d ⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.	44
Cuadro 4. Promedio estacional de relación hoja:tallo de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.	49
Cuadro 5. Promedio estacional de altura (cm) antes del corte de la alfalfa, con diferente frecuencia.....	52
Cuadro 6. Promedio estacional de área foliar por tallo de alfalfa (cm ²), cosechada a diferente frecuencia.....	55
Cuadro 7. Promedio estacional de radiación solar interceptada (%) en la alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.	60
Cuadro 8. Promedio estacional en la densidad de tallos en alfalfa (tallos m ²), cosechada a diferente frecuencia.....	65
Cuadro 9. Peso promedio por tallo de alfalfa (g), cosechada a diferente frecuencia.	68
Cuadro 10. Promedio estacional en el contenido de proteína en hojas de alfalfa(%), cosechada a diferente frecuencia.....	70
Cuadro 11. Promedio estacional en el contenido de proteína en tallos de alfalfa (%), cosechada a diferente frecuencia.....	71

Cuadro 12. Porcentaje estacional en la digestibilidad de hojas de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.....	73
Cuadro 13. Porcentaje estacional en la digestibilidad de tallos de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.....	75
Cuadro 14. Rendimiento de proteína en hoja de alfalfa (kg ha^{-1}), cosechada a diferente frecuencia.	77
Cuadro 15. Rendimiento de proteína en tallo de alfalfa (kg ha^{-1}), cosechada a diferente frecuencia.	79
Cuadro 16. Materia seca digestible total (kg ha^{-1}) en hoja de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.....	81
Cuadro 17. Materia seca digestible (Kg ha^{-1}) en tallo de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Temperatura media mensual máxima y mínima y precipitación acumulada mensual (2006 y 2007). Montecillo, México, 2006-2007. .	29
Figura 2. Distribución de las frecuencias de corte.	31
Figura 3. Composición botánica y morfológica (%) de alfalfa cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2006-2007.	46
Figura 4. Relación hoja:tallo de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2006-2007.	48
Figura 5. Altura (cm) de alfalfa antes del corte, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2006-2007.	50
Figura 6. Relación entre el rendimiento de forraje (Kg MS ha ⁻¹) y la altura de la planta (cm). Montecillo, México, 2006-2007.	53
Figura 7. Área foliar (cm ²) por tallo de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2006-2007.	54
Figura 8. Relación entre el rendimiento de forraje (kg MS ha ⁻¹) y el área foliar por tallo de alfalfa. Montecillo, México, 2006-2007.	56
Figura 9. Relación entre el área foliar por tallo (cm ²) y la altura de la planta de alfalfa (cm). Montecillo, México, 2006-2007.	57
Figura 10. Radiación interceptada (%) en alfalfa, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2006.2007.	59
Figura 11. Relación entre la radiación interceptada (%) y el rendimiento de alfalfa (kg MS ha ⁻¹). Montecillo, México, 2006-2007.	61

Figura 12. Relación entre la radiación interceptada (%) y la altura de la planta de alfalfa (cm). Montecillo, México, 2006-2007.	62
Figura 13. Densidad de tallos de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2006-2007.	64
Figura 14. Peso por tallo (g) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2006-2007.	67
Figura 15. Relación entre la densidad y peso de tallos (g) de alfalfa durante el periodo de estudio. Montecillo, México, 2006-2007.	69

ÍNDICE DE ANEXOS

Cuadro A 1. Análisis de varianza para rendimiento acumulado (kg MS ha⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia	98
Cuadro A 2. Análisis de varianza para rendimiento promedio corte⁻¹ (kg MS ha⁻¹ d⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia	98
Cuadro A 3. Análisis de varianza para tasa de crecimiento (kg MS ha⁻¹ d⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia	98
Cuadro A 4. Análisis de varianza para composición botánica y morfológica (%) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.....	99
Cuadro A 5. Análisis de varianza para relación hoja:tallo de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.....	99
Cuadro A 6. Análisis de varianza para altura (cm) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.....	99
Cuadro A 7. Análisis de varianza para área foliar (cm²) en alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.....	100
Cuadro A 8. Análisis de varianza para radiación interceptada (%) en alfalfa, cosechada a diferente frecuencia	100
Cuadro A 9. Análisis de varianza para densidad de tallos (tallos m⁻²) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.....	100
Cuadro A 10. Análisis de varianza para peso de tallos (g) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.....	101
Cuadro A 11. Análisis de varianza para contenido de proteína en hoja (%)de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.....	101

Cuadro A 12. Análisis de varianza para contenido de proteína en tallo (%)de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.....	101
Cuadro A 13. Análisis de varianza para digestibilidad en hoja (%) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia	102
Cuadro A 14. Análisis de varianza para digestibilidad en tallo (%) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia	102
Cuadro A 15. Análisis de varianza para contenido de rendimiento de proteína en hoja (kg ha⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.....	102
Cuadro A 16. Análisis de varianza para contenido de rendimiento de proteína en tallo (kg ha⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.....	103
Cuadro A 17. Análisis de varianza para materia seca digestible total en hoja (kg ha⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia	103
Cuadro A 18. Análisis de varianza para materia seca digestible total en tallo (kg ha⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia	103

1. INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los países latinoamericanos y del mundo, los forrajes constituyen, aproximadamente el 80% del alimento consumido por los rumiantes durante su vida productiva (González, 1993). En México, la alfalfa (*Medicago sativa* L.) es la leguminosa forrajera más utilizada para la alimentación del ganado lechero, en las regiones árida, semiárida y templada. El forraje es cortado y llevado a los corrales para ser ofrecido a los animales (Améndola *et al.*, 2005). Su importancia radica tanto por la cantidad de forraje obtenido por unidad de superficie cultivada, como por su valor nutritivo, contenido de proteína y, otras sustancias minerales y, por ser apetecible y consumido por gran número de animales, sea en estado fresco, henificada, deshidratada o ensilada (Juncafresa, 1983). En México, en 1969 se sembraron 160,000 ha, con una producción de 9 millones de toneladas de materia verde (Hanson, 1972). Sin embargo, para el año 2006 la superficie establecida con alfalfa fue de 379,103 ha y se cosecharon 28 millones de toneladas de forraje verde, con un promedio anual de 75.24 t ha^{-1} de forraje verde (SAGARPA, 2006).

La persistencia y rendimiento de una pradera depende del manejo que se practique, el cual influye en su dinámica de crecimiento, es decir, en los cambios en población y tamaño de tallos, los cuales están estrechamente relacionados con la tasa de aparición, elongación y vida media de las hojas (Chapman y Lemaire, 1993; Matthew *et al.*, 1996; Hernández-Garay y Martínez, 1997).

Estudios de crecimiento foliar en gramíneas y leguminosas de clima templado (Hernández-Garay y Martínez, 1997; Pérez *et al.*, 2002), han demostrado que es importante conocer la velocidad de rebrote entre defoliaciones sucesivas, para entender el efecto de la frecuencia y severidad de cosecha en el rendimiento; asimismo, Hernández *et al.* (1992) evidenciaron que para alfalfa, la frecuencia de corte debe definirse con base en el estado de desarrollo de la planta, para lograr los máximos rendimientos anuales de forraje y persistencia. Una vez caracterizada la velocidad de crecimiento estacional de la alfalfa, la frecuencia de corte puede definirse con base en días transcurridos entre cortes sucesivos, con la precaución de que la frecuencia sea definida para cada estación del año y las distintas condiciones climáticas (Hernández *et al.*, 1993). No obstante, la persistencia de esta especie forrajera es, generalmente, de tres años, debido a la alta frecuencia de corte, cuando normalmente se realizan de 9 a 11 cortes por año (Améndola *et al.*, 2005). Es por ello, que para obtener una mayor persistencia y alta productividad, es necesario que se le proporcione un manejo apropiado, mediante pastoreo o corte y se determine el tiempo de ocupación y descanso con pastoreo o, en su caso, las intensidades y frecuencias de corte.

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la frecuencia de corte en la dinámica estacional de crecimiento, rendimiento y calidad de la alfalfa, para la región del altiplano central de México. Para cumplir con el objetivo anterior se planteó como hipótesis que a menor frecuencia de corte, se incrementa la acumulación de materia seca, disminuye la densidad de tallos y se incrementa el peso de los mismos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción botánica y agronómica de alfalfa

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es originaria de Irán y Asia Menor y es una de las plantas más utilizadas como forraje en el mundo, con aproximadamente 32 000 000 ha cultivadas; Estados Unidos de América y Argentina, con 16 millones de ha, tienen la mayor superficie sembrada (Hanson, 1972; Bouton, 2001). Esta especie fue introducida a América del Sur en el siglo XVI, por los portugueses y españoles y en 1870 fue introducida a Perú, México y a Estados Unidos, por misioneros españoles (Walton, 1983; Muslera y Ratera, 1991).

La alfalfa es una planta perenne, de crecimiento erecto, tallo poco ramificado de 60 a 100 cm de altura; tiene hojas trifoliadas, con un pedicelo intermedio más largo que los laterales, folíolos ovalados, generalmente sin pubescencia, con márgenes lisos y bordes superiores ligeramente dentados (Muslera y Ratera, 1991). Los tallos son delgados, sólidos o huecos y la raíz es pivotante y alcanza varios metros de longitud, con una corona, de la cual emergen los rebrotes, que dan origen a los nuevos tallos; las flores son de color azul o púrpura, dependiendo de la variedad (Del Pozo, 1983).

En el Estado de México, la región del Bajío, así como en Hidalgo y Querétaro, se ubica la mayor parte de las unidades de producción lechera que dependen de la alfalfa. La producción nacional de alfalfa, así como la superficie sembrada, muestran una tendencia estable desde 1992 y la mayor superficie sembrada y cosechada se

encuentra en los estados de Hidalgo, Guanajuato y Baja California y, en menor proporción, en Coahuila, Durango, Estado de México y Puebla (SAGARPA, 2002).

Se cultiva en una amplia variedad de suelos y climas. Se adapta mejor en alturas comprendidas entre 700 y 2800 msnm. Es un cultivo que se adapta a suelos profundos, bien drenados, alcalinos y tolera la salinidad moderada; sin embargo, no su desarrollo es limitado en pH inferior a 5, debido a la acidez provoca la supervivencia y multiplicación del *Rhizobium meliloti* específico y no soporta el encharcamiento, por lo que se considera una especie muy sensible a la acidez del suelo. El pH crítico para su desarrollo de 5-6, por debajo del cual es necesario, en ocasiones corregir la acidez del suelo. La temperatura óptima de crecimiento fluctúa entre los 15 y 25 °C durante el día y de 10 a 20 °C en la noche. Por la longitud y profundidad de sus raíces, es resistente a la sequía, pues obtiene agua de las capas profundas del suelo (Hanson, 1972; Hughes *et al.*, 1980; Muslera y Ratera, 1991). Por pertenecer a la familia de las Fabaceae, hace un notable consumo de Ca y Mg que, de contenerlos el suelo en proporciones suficientes para el requerimiento de la planta, hace necesario solamente el agregar fertilizantes fosfatados y potásicos (Juncafresca, 1983).

La toxicidad por Mn y Al, es una de las causas principales del escaso crecimiento de la alfalfa en suelos ácidos, afectando adversamente al desarrollo de las raíces. Existe, además, una interacción negativa entre el P y el Al, que hace que disminuya la cantidad de P disponible, cuando el contenido de Al libre en el suelo es alto (Muslera y Ratera, 1991).

La temperatura es una variable ambiental importante, que varía durante la estación de crecimiento e influye en la morfología de la alfalfa, por lo que se considera que ésta es una especie de día largo y la floración es mayor en regiones con fotoperíodo superior a 12 h (Muslera y Ratera, 1991; Horrocks y Vallentine, 1999).

2.2. Estacionalidad en el crecimiento y rendimiento de forraje

El crecimiento de las plantas es definido como “un incremento irreversible en tamaño y en peso de tejido nuevo”, de tallos o de hojas y raíces, a través del tiempo (Bidwell, 1979; Hodgson, 1979); el crecimiento es el aumento en la masa de la planta y es, por tanto, un fenómeno cuantitativo susceptible de medirse y expresarlo como aumento de longitud o del diámetro del cuerpo del vegetal y peso (Rojas, 1993) y es producto de diversas interacciones del clima con las especies vegetales, suelo y prácticas de manejo (Pearson e Ison, 1987; Velasco *et al.*, 2001). Por su parte, Jiménez y Martínez (1984), mencionan que la variación de temperatura y humedad, afectan el crecimiento de las especies forrajeras; sin embargo, Valentine y Matthew (1999), Alcántara y Trejo (2007), consignan que la adquisición de recursos ambientales (luz, CO₂, temperatura y humedad), depende de la proporción de hojas, tallos y raíces de las plantas que, mediante los procesos fisiológicos de fotosíntesis, absorción de agua y nutrientes, crecimiento y desarrollo, determinan la productividad de las plantas. En éstas el mayor crecimiento, división y alargamiento celular, está restringido a la región meristemática y zonas adyacentes; las áreas meristemáticas comprenden los ápices de raíz y tallo, los meristemas del cambium en tallos y raíces y

meristemas laterales e intercalares en las hojas en desarrollo (Causton y Venus, 1981).

El crecimiento y rendimiento de las plantas forrajeras, se evalúa por la cantidad de forraje, ya que es un índice de crecimiento de la planta total, por lo que se considera de interés práctico, puesto que es la base de la producción animal (Speeding, 1971; Rojas, 1993). Por su parte, Hernández-Garay *et al.* (1992) señalan una serie de índices de eficiencia del crecimiento vegetal, tales como la tasa de crecimiento del cultivo (g d^{-1}), que indica el incremento del material vegetal por unidad de tiempo; la tasa relativa de crecimiento ($\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$) que mide el incremento en material vegetal por unidad de material vegetal presente por unidad de tiempo; la primera variable representa la actividad fotosintética de la pradera y varía según el manejo y condiciones ambientales, de tal manera que es difícil predecir el crecimiento, particularmente a largo plazo (Hodgson *et al.*, 1981).

Jiménez y Martínez (1984) señalan que el aumento de la temperatura afecta la respiración y la energía aleatoria de la planta y se duplica o triplica la producción de anhídrido carbónico por cada 10 °C que aumenta la temperatura, mientras no sea superior a los 45 °C, por lo que aumenta así la formación de materia orgánica de la planta. De acuerdo con Chapman y Lemaire (1993) la tasa de acumulación neta de forraje, está en un máximo cuando se alcanza el mayor índice de área foliar.

Por ello, las condiciones edafoclimáticas de un ambiente particular, determinan los patrones de crecimiento estacional de las especies forrajeras predominantes; en igualdad de condiciones de manejo, las diferencias en producción total y estacional, dependerán de la especie y de su interacción con el clima, tales como la precipitación, tasa de evaporación, temperatura, viento, horas e intensidad luminosa (Hernández-Garay y Martínez, 1997). Diversos factores determinan la magnitud del crecimiento de una pradera tales como: prácticas de fertilización, frecuencia y severidad de cosecha, crecimiento vegetativo y reproductivo de la planta, variedades utilizadas, tipo de suelo y clima (Tablada, 1998).

Carambula (1977), Pearson y Ison (1987) y Horrocks y Vallentine (1999) mencionan que la capacidad que posee una pradera para producir materia seca (MS), depende de la disponibilidad de nutrientes, agua y, principalmente, del grado de intercepción de la radiación solar por las hojas. Con el aumento en la cantidad de hojas, se tiene una mayor intercepción de luz, pero las hojas en los estratos inferiores reciben menor intensidad y calidad de luz, por lo que provocan la reducción del crecimiento o de la tasa de asimilación neta; por ello, el mayor rendimiento de los forrajes, coincide con el mayor índice de área foliar y la mayor masa foliar verde (Donald y Black, 1958; Salas, 1998; Velasco *et al.*, 2001; Morales *et al.*, 2006b).

De acuerdo con Tovar (2006), en las leguminosas y en particular la alfalfa, al realizar prácticas agronómicas como inoculación, encalado y fertilización, se aumenta el rendimiento y se eleva el contenido de N y P en el follaje.

Hernández-Garay y Martínez (1997) mencionan que la estacionalidad, en el desarrollo y producción de forraje de especies de interés en una determinada región, es un aspecto primordial para optimizar la interrelación suelo-planta-animal, ya que permite detectar los tiempos de mayor y menor disponibilidad de forraje y, con ello, adoptar diferentes prácticas de manejo, con el propósito de maximizar la disponibilidad de forraje y, por tanto, la producción animal.

Para el Valle de México, Ramos y Hernández (1970) mencionan que el mayor rendimiento de alfalfa, se logra con cortes a una altura de la planta de 65 cm en verano y de 32 cm en invierno, con 40 días entre cortes. Hernández y Pérez (1998) observaron que la variedad Moapa, alcanzó la mayor acumulación de MS durante el verano, a la cuarta semana de rebrote, mientras que Salas (1998) obtuvo el máximo rendimiento de forraje a la cuarta y quinta semanas de rebrote en verano y otoño, respectivamente. Por otra parte, Villegas *et al.* (2004) obtuvieron el mayor IAF en primavera, cuando las condiciones favorecieron a esta especie. Anteriormente, Hernández-Garay *et al.* (1992) consignan que en alfalfa se ha observado que el mayor rendimiento y tasa de crecimiento, están asociados con la alta tasa absoluta de crecimiento.

Morales *et al.* (2006a) al evaluar 14 variedades de alfalfa lograron una producción promedio de MS de 4.16 t ha⁻¹ corte⁻¹ y encontraron que la mayor producción coincidió con los meses más calurosos, debido a que la temperatura e intensidad de luz fueron más altos; en contraparte, la producción más baja ocurrió en los meses más fríos.

Dorantes (2000) observó que en la región de Texcoco, Estado de México, la alfalfa mostró un rendimiento de forraje más alto en mayo, debido a las temperaturas altas del ambiente, que favoreció una mayor acumulación de MS. Asimismo, Rivas *et al.* (2005) al evaluar cinco variedades de alfalfa encontraron que el mayor rendimiento de MS por corte fue en julio y agosto, con un promedio de 2.82 t de MS ha⁻¹ por corte. El alto rendimiento mas alto coincidió, con una temperatura mínima promedio de 8 °C y máxima promedio de 30 °C y precipitación superior a 80 mm. El rendimiento estacional de MS acumulada, expresado como porcentaje del rendimiento de MS total (31, 132 kg de MS ha⁻¹), presentó el siguiente orden descendente: verano 31% >primavera 27% >otoño 22% >invierno 20%.

Villegas *et al.* (2004) registraron que en primavera, la alfalfa variedad Valenciana con 4.7 t MS ha⁻¹, alcanzó el máximo rendimiento a la sexta semana. Lo anterior, en comparación con la variedad Oaxaca que tuvo la máxima acumulación de MS hasta la séptima semana con 4.1 t MS ha⁻¹, en respuesta al registro de mayores temperaturas y horas luz, sin limitaciones de agua, que favorecieron la velocidad de crecimiento de la alfalfa. Así, también se muestra que el rendimiento promedio anual presentó el siguiente orden descendente: Oaxaca, Tlacolula, Valenciana y Moapa con 21.6, 21.4, 20.0 y 20.1 t de MS ha⁻¹.

2.3. Frecuencia e intensidad de cosecha

Hodgson (1979) consigna que para el manejo de especies forrajeras, y maximizar su productividad, se requiere conocer su comportamiento ante la cosecha periódica por corte o pastoreo. La frecuencia y severidad de cosecha de las plantas forrajeras, determinan el rendimiento de forraje por unidad de superficie y la contribución de cada especie en la pradera. Se entiende por frecuencia de cosecha al intervalo en tiempo entre un corte y el siguiente, o bien, el número de cortes realizados en una pradera en un período de tiempo determinado, generalmente, en una estación o durante todo el año (Speeding, 1971; Jiménez y Martínez, 1984). Si una pradera es pastoreada o cortada con regímenes de corte severos, no permite el tiempo a que la planta se recupere y por tanto, la densidad de plantas de las especies deseables disminuye rápidamente (Hughes *et al.*, 1980). Mientras que la altura de corte ó pastoreo se denomina severidad o intensidad de defoliación y es el grado o altura a la que ocurre la cosecha, o bien, es el porcentaje o cantidad de biomasa cosechada, con respecto a la cantidad de forraje total presente. La severidad de cosecha es de gran importancia para el crecimiento y persistencia de las especies forrajeras, porque afecta directamente las reservas de carbohidratos y el IAF remanente, indispensables para iniciar un nuevo rebrote.

Después de la cosecha, el rebrote de las especies forrajeras ocurre por traslocación de carbohidratos de las raíces y base de tallos, a los meristemas aéreos remanentes; de esta manera, en algunas especies, los cortes severos reducen considerablemente la disponibilidad de carbohidratos, provocando que la tasa de

rebrote sea lenta y que la pradera sea invadida por maleza (Del Pozo, 1983; Jiménez y Martínez, 1984; Muslera y Ratera, 1991; Hernández-Garay y Martínez, 1997).

El efecto inmediato de la defoliación en las plantas forrajeras, es la reducción de la tasa fotosintética, al reducirse el área foliar y la cantidad de luz solar interceptada (Chapman y Lemaire, 1993; Richards, 1993), por lo que el régimen de cosecha y la respuesta de cada especie forrajera determinarán las características y la productividad de la pradera (Lemaire, 2001). Uno de los factores de manejo que más afecta el rendimiento y la persistencia de los forrajes, es la altura de corte, ya que de ella depende el área foliar remanente, las reservas de carbohidratos y la cantidad de zonas meristemáticas, que interactúan con factores ambientales, como la concentración de CO₂ atmosférico, disponibilidad de nitrógeno en el suelo, humedad disponible, temperatura y cantidad de radiación solar recibida para aumentar o reducir la capacidad de rebrote de la planta (Cornacchione, 2003).

A medida que disminuye la altura de corte, el área foliar remanente es menor, lo que ocasiona que la capacidad de rebrote sea lenta. Esto se debe a la poca capacidad que tiene la planta recién cortada para realizar la fotosíntesis, por lo que aumenta el uso de las reservas de carbohidratos, para llegar a un estado de desarrollo en el cual la fotosíntesis, además de cubrir las demandas de mantenimiento, sea capaz de aumentar la formación de tejido foliar (Bahmani *et al.*, 2000).

El rendimiento de forraje disminuye significativamente al reducir el intervalo entre cortes; sin embargo, cuando éste es mayor, se incrementa el rendimiento de materia seca, pero se reduce la digestibilidad y proteína total de la misma (Judd y Radcliffe, 1970; Enríquez *et al.*, 2003). Debido a ello, cosechas muy frecuentes hacen desaparecer rápidamente las especies perennes y, generalmente, ocurre lo mismo en praderas cortadas a ras de suelo (Duthil, 1989). Por lo tanto, el rendimiento de forraje puede incrementarse, ya sea aumentando la cantidad de forraje por medio de diferentes técnicas agronómicas o al reducir las pérdidas de forraje en la pradera por muerte y descomposición, mediante diferentes estrategias de defoliación (Matthews *et al.*, 1999).

De acuerdo con Villegas *et al.* (2006) al evaluar cuatro variedades de alfalfa con dos calendarios de corte severo y ligero, el severo consistió en cosechar cada 28 d en primavera-verano y cada 42 d en otoño-invierno; en el ligero se cosechó cada 35 y 49 d en primavera-verano y otoño-invierno, respectivamente; encontraron que en verano y otoño el rendimiento fue favorecido con el calendario ligero, mientras que en invierno fue mejor el calendario severo y que las variedades Oaxaca y Tlacolula rindieron más forraje que las variedades Moapa y Valenciana; no obstante, el mayor número de cortes efectuados con el calendario severo, promovió una mejor relación hoja:tallo que con el calendario ligero, sin reducir el rendimiento de forraje.

Por su parte Rivas *et al.* (2005) mencionan que la producción de forraje de alfalfa, en el Valle de México, se puede maximizar si se practican regímenes de corte de

acuerdo a la estación del año, esto es, cortes cada cuatro semanas durante primavera-verano y cada cinco y seis semanas, en otoño e invierno, respectivamente. Sin embargo, de acuerdo con Kallenbach (2002), la cosecha frecuente de alfalfa mejoró la calidad del forraje, pero tuvo poco impacto en la densidad de plantas. De acuerdo con Brown *et al.*, (1990) y Sheaffer *et al.*, (2000) la alfalfa podría ser cosechada cada 30 a 35 d durante la estación de crecimiento, para maximizar el rendimiento de forraje, calidad y persistencia.

2.4. Rebrote

El rebrote es el material nuevo que se acumula en el tiempo, sobre el nivel del suelo, después de una cosecha total o parcial (Hunt, 1990). De acuerdo con Tomlison y O'Connor (2004) el rebrote está influenciado por gran número de factores, tales como climáticos, reservas de carbohidratos, hormonales, disponibilidad de nutrientes (principalmente nitrógeno), área foliar a partir de la cual se llevará acabo la fotosíntesis y la competencia entre plantas y tallos. El rebrote rápido se debe a la presencia de regiones meristemáticas activas de los tallos, que permanecen en la planta después de una defoliación, lo cual acelera la expansión foliar (Briske, 1991).

La cosecha de forraje es la acción más importante que se ejerce sobre las plantas forrajeras. Además de reducir el área foliar, con sus efectos colaterales en el contenido de carbohidratos y crecimiento de raíz y tallo, también se alteran el microambiente, penetración de luz, temperatura y humedad del suelo, lo que influye en el crecimiento de las plantas (Chapman y Lemaire, 1993). Similarmente, se reduce la

disponibilidad de carbono fotosintético, lo cual crea un desbalance fuente-demanda y modifica las prioridades de asignación de carbono en toda la planta y, como resultado de ello, se produce una asignación preferencial al crecimiento de la parte aérea (Escalante *et al.* 1995), que es el primer paso para su recuperación; el abastecimiento ocurre hacia las zonas de crecimiento de tallos y queda en segundo orden las raíces (Richards, 1993; Briske *et al.*, 1996)

La capacidad de rebrote de una planta, después de una defoliación, esta influenciada por numerosos factores fisiológicos, entre los que destacan las reservas de carbohidratos presentes en la raíz y el área foliar remanente. Ambos atributos están relacionados con la cantidad de hojas disponibles, a partir de las cuales tendrá lugar la fotosíntesis, para iniciar el almacenaje de energía. Esta función es usada como una medida de la cantidad de luz interceptada, la cual a su vez, dependerá de la distribución espacial de las hojas (Chapman y Lemaire, 1993). De acuerdo con Lemaire (2001), la defoliación tiene un efecto directo en el funcionamiento de las plantas y un efecto indirecto al modificar su microambiente y el de las plantas vecinas. Después de la defoliación la planta presenta dos fases: una de transición, que es inmediata y se relaciona con mecanismos de movilización de C y N, pocas horas después de efectuarse la defoliación y otra que requiere varias semanas, en la cual ocurre un reajuste fisiológico y una integración morfogénica en la planta (Richards, 1993). La respuesta de la plantas a la defoliación, puede considerarse como metas de restauración y mantenimiento de patrones de crecimiento homeostático, cuando todos

los recursos se utilizan en forma balanceada, para lograr el crecimiento óptimo de la planta (Lemaire, 2001).

Inmediatamente después de una defoliación moderada a severa la planta inicia una fase transitoria con variación en sus patrones de disponibilidad y distribución de C y nutrientes, para reestablecer el balance previo existente entre el tallo y la raíz; así pues, la disponibilidad de recursos modifica la prioridad de asignación, pues pueden alterar la relación raíz:tallo (parte aérea) y la magnitud de los recursos entre estos órganos (Briske *et al.*, 1996). De acuerdo con Briske (1991) y Richards (1993) las reservas de carbohidratos, la cantidad y tipo de tejidos removidos (tejido remanente y meristemas de crecimiento), son los factores más importantes, que determinan el impacto de la defoliación en la planta y las características que regulan la posterior recuperación.

2.4.1. Reserva de carbohidratos

La velocidad de recuperación de las plantas forrajeras, está en función del almacenamiento de productos energéticos, los cuales son utilizados rápidamente en la respiración y en los procesos de crecimiento (Duthil, 1989; Hanson *et al.*, 1988). Varios tipos de azúcares (almidón y fructosas) y otros hidratos de carbono, son almacenados en las raíces y base de los tallos. Estos glúcidos se almacenan cuando la fotosíntesis sobrepasa a la respiración, que ocurre cuando existe una alta captación de energía luminosa. Así pues, posterior a una defoliación intensa, la respiración

sobrepasa a la fotosíntesis y es cuando las plantas hacen uso de sus reservas de carbohidratos para su crecimiento.

Las reservas de carbohidratos y N, en varias partes de la planta, han sido consideradas, tradicionalmente, una fuente importante de nutrimentos para el rebrote, después de una defoliación (Simpson y Culvenor, 1987). El crecimiento inicial, con frecuencia, depende de la movilización de las reservas de N y carbohidratos no estructurales (CNE) almacenadas en raíces y coronas (Volenec *et al.*, 1996). El grado con el cual la movilización de CNE y N contribuyen al rebrote, depende de las concentraciones internas y externas de CO₂ y del suministro de N (Skinner *et al.*, 1999).

El rebrote de las plantas forrajeras se ha atribuido, primariamente, a los carbohidratos no estructurales (Richards, 1993); sin embargo, se ha observado la movilización específica de componentes de N del tejido residual, después de la defoliación, a zonas de crecimiento en varias especies forrajeras (Volenec *et al.*, 1996). La recuperación inicial de las plantas, después de la defoliación, involucra movilización de carbohidratos del tejido remanente para la formación de tejido nuevo, pero el rebrote puede depender en mayor proporción de la disponibilidad de N orgánico, en vez de las reservas de C. Así, en alfalfa más del 61% del C almacenado fue usado para la respiración de la raíz, 30 d después de la cosecha, mientras solo una pequeña proporción (5%) fue recuperada en los nuevos brotes (Avice *et al.*, 1996). Estudios en alfalfa, con diferente contenido inicial de N o almidón después de la

defoliación, mostraron gran rendimiento de los brotes, que fue asociado con abundantes reservas de N, aún cuando el contenido inicial de almidón fue bajo (Ourry *et al.*, 1994).

La cantidad de carbohidratos de reserva usados en el rebrote, depende de la severidad de la cosecha, la capacidad fotosintética de las hojas remanentes y las condiciones ambientales para la fotosíntesis durante el crecimiento. Las reservas de carbohidratos de la alfalfa declinan durante el rebrote, mientras la nueva parte aérea es producida. Tal descenso continúa dos o tres semanas, en condiciones de campo, antes de que ocurra la recuperación (Ueno y Smith, 1970). El crecimiento de la alfalfa, también depende del número y tamaño de la yemas presentes en el área foliar remanente (Leach, 1968).

2.4.2. Índice de área foliar

Según Hodgson (1990) el índice de área foliar (IAF) se refiere a la superficie de las hojas presentes por unidad de área de suelo. A medida que el IAF aumenta, menor será la cantidad de la luz que pueda llegar al suelo y mayor será la tasa de crecimiento. Cuando prácticamente toda la luz incidente es interceptada, la tasa de crecimiento es máxima y el IAF es el óptimo. Puede ocurrir que la superficie de hojas sea excesiva. Por lo tanto el IAF es superior al óptimo y las hojas basales no reciben suficiente luz. En estos casos, es común observar un incremento en el amarillamiento y muerte de las hojas ubicadas en la base del tallo (Baguet y Bavera, 2001).

De acuerdo con Lemaire (2001), una defoliación ligera ocasiona poca reducción en la tasa de asimilación de C y puede tener efectos positivos si, al remover hojas de plantas vecinas, se elimina el sombreado entre plantas; en cambio, después de una defoliación severa, el abastecimiento de C se reduce significativamente, en relación a la demanda para mantenimiento y crecimiento; esto implica que el balance de carbono en la planta es temporalmente negativo, hasta la generación de nueva área foliar. La defoliación severa provoca fuerte disminución de carbono en las raíces y reducción temporal en la absorción de N. También menciona este autor que la principal adaptación fisiológica de las plantas a la defoliación, se refiere a la asignación de C a los meristemos del tallo, para maximizar la expansión de nueva área foliar, también señala que el hecho de aumentar el área foliar específica, permite elevar la eficiencia de expansión y exposición de área foliar; finalmente, resalta que la capacidad de almacenamiento de reservas de N y C, representan una importante adaptación fisiológica de las plantas a la defoliación, los cuales son rápidamente movilizados y usados para nueva expansión de lámina foliar.

El área foliar remanente va a ser importante en el rebrote, para realizar la fotosíntesis después de la defoliación y poder promover la formación de nueva biomasa (Briske, 1991). La tasa fotosintética del follaje en plantas defoliadas es, generalmente, más alta que en aquellas no defoliadas, lo cual refleja un rejuvenecimiento de las hojas o una declinación en la capacidad fotosintética de las hojas viejas y senescentes. Hay que considerar que la fotosíntesis compensatoria puede resultar solo de cambios en el ambiente lumínico o por cambios en factores

endógenos, que son afectados por la defoliación o por la combinación de ambos (McNaughton, 1983). Así, el crecimiento de una planta es abastecido por la energía en forma de azúcares simples, producidos en el proceso de la fotosíntesis, cuando la clorofila de la hoja verde es expuesta a la luz solar. A medida que el IAF aumenta, será mayor la cantidad de luz interceptada y la tasa de crecimiento (Hodgson, 1990; Horrocks y Vallentine, 1999). De acuerdo con Villegas (2002) la acumulación de MS está relacionada directamente con el IAF, es decir, que a más IAF se presenta mayor intercepción de luz y, por tanto, mayor rendimiento.

2.4.3. Meristemas de crecimiento

Los meristemas son regiones celulares de las plantas, formados por células que, perpetuamente, son embrionarias, pero cuya multiplicación y diferenciación se forma del resto de los tejidos. Se pueden distinguir entre meristemas primarios, de los que depende el crecimiento en longitud y meristemas secundarios, que producen engrosamiento de los tallos y raíces (Rojas, 1993). Sin embargo, la activación de las zonas meristemáticas está influenciada por el balance entre auxinas y citoquininas y, dependiendo del balance, se va a inducir la formación de hojas jóvenes, que son capaces de producir auxinas, necesarias para promover el desarrollo de nuevo tejido foliar y radicular (Bidwell, 1979).

La velocidad de rebrote, se considera una característica distintiva de las especies tolerantes a la defoliación; entre las características más importantes se consideran a los meristemas activos de tallos remanentes (Richards, 1993). Si la cosecha se realiza

muy cercana al suelo, las especies rastreras se favorecen en relación a las erectas, pero si la cosecha no es cercana al suelo son las especies erectas las que responden más rápido. Esto se ha atribuido a que, conforme van creciendo las plantas los puntos de crecimiento se alejan del suelo, lo que origina que la recuperación sea más favorecida por las reservas almacenadas, que por el área foliar, lo cual no sucede en pastos rastreros en los que es más difícil efectuar una cosecha, que implique dejar sin área foliar remanente a la pradera.

De acuerdo con Chapman y Lemaire (1993) y Lemaire (2001), algunas especies forrajeras, conforme son expuestas a defoliaciones severas, desarrollan una morfología que les permite mantener área foliar verde por debajo de la altura de cosecha, por lo que de esta manera disminuye el impacto de defoliaciones posteriores y optimiza su dinámica de rebrote, que implica una modificación progresiva y reversible de sus rasgos morfológicos, es decir, desarrolla plasticidad fenotípica. De acuerdo con Gold y Caldwell (1989), la posición de los meristemas depende del hábito de crecimiento de la planta. En las especies cespitosas, durante el estado vegetativo, los meristemas activos permanecen más o menos cerca de la superficie del suelo y escapan a la remoción.

En leguminosas como la alfalfa, en la que los meristemas apicales permanecen al alcance del corte o pastoreo, durante una gran parte del período vegetativo y estado reproductivo, como consecuencia de la elongación de sus tallos, el rebrote posterior a la defoliación, se produce desde las yemas de la corona y meristemas axilares de los

tallos más bajos. Su activación requiere cierto tiempo, por lo que el rebrote es demorado, ya que la activación de las yemas de la corona, se maximiza cuando la planta está en estado reproductivo, situación que no se alcanza, normalmente, en condiciones de pastoreo (Hanson *et al.*, 1988; Baguet y Bavera, 2001).

2.5. Población de tallos

La producción de forraje en una pradera, está en función de dos componentes: el número de tallos por unidad de área y el peso de cada uno de ellos o por una combinación de ambos (Bircham y Hodgson, 1983; Volenec y Nelson, 1983). Durante el desarrollo de una pradera, los tallos están continuamente emergiendo, creciendo y muriendo a tasas que difieren apreciablemente, dependiendo de las condiciones ambientales, del estado de desarrollo de la planta y del manejo (Hodgson *et al.*, 1981). La tasa de crecimiento de la pradera es la integral de la tasa de crecimiento de sus componentes, la cual es influenciada por la tasa de producción de tallos y por sus tasas de crecimiento individual (Milthorpe y Davidson, 1966). Sin embargo, la radiación solar y la temperatura, también influyen en la aparición de nuevos tallos que, a su vez, están controlados por la tasa de aparición de hojas (Matthew y Hodgson, 1997; Hernández-Garay *et al.*, 1999; Lemaire, 2001).

Cuando la densidad de tallos es alta o la pradera empieza a cambiar a la fase reproductiva, el peso de los tallos empieza a ser más importante (Volenec y Nelson, 1983). Sin embargo, aunque la producción de forraje ha sido explicada, en términos de respuestas en densidad de tallos o peso de tallos, también se ha señalado el potencial

productivo de una pradera que está en función de la compensación tamaño-densidad (Hodgson *et al.*, 1981; Bircham y Hodgson, 1983; Davies, 1988; Chapman y Lemaire, 1993).

La aparición de tallos en las plantas es regulada por el IAF de la pradera y la primera causa de reducción, es la disminución progresiva de la tasa de aparición de hojas, conforme la pradera se desarrolla, como resultado de la respuesta de las plantas a cambios en la calidad de luz interceptada por las hojas; así, conforme el sombreado llega a ser más severo, el sitio de llenado también es afectado (Skinner y Nelson, 1992; Lemaire, 2001). No obstante, Tomlinson y O'Connor (2004) mencionan que existen varios factores que intervienen en la aparición de nuevos tallos, entre los que destacan los hormonales, nutricionales, de fotosensibilidad, del ambiente que los rodea y del uso dado a la pradera. Así, Azcon-Bieto y Talon (1993) consiguieron que el crecimiento de los tallos laterales está regulado por las auxinas y citoquininas; las auxinas se sintetizan en tejidos jóvenes, en el ápice del tallo o cerca de él y promueven el alargamiento celular, así como, la inhibición del crecimiento de las yemas laterales, mediante la movilización de reservas hacia los meristemas apicales, mientras que las citoquininas realizan una función antagónica, pues promueven la división celular, el crecimiento de los tallos laterales y movilizan los nutrientes de las plantas, por lo que sugieren, que esta hormona puede ser la responsable del crecimiento de los tallos aunque, en altas concentraciones, se ha observado que no desencadena este proceso (Bidwell, 1979; Rojas, 1993).

Tomlinson y O'Connor (2004) señalan que al realizar prácticas de manejo, como la aplicación de NO_3 , se estimula la producción de citoquininas, mientras que la aplicación de NH_4 incrementa el balance de auxinas:citoquininas, al aumentar la producción de MS, con la consecuencia de que se reduce la aparición de tallos laterales. Lestienne *et al.* (2006) indican que el nitrógeno es el nutriente que más limita el desarrollo de los tallos laterales, lo cual se relaciona con la evolución de las plantas, al existir una fuerte competencia de los tallos emergentes por este recurso, ya que de eso dependerá, en gran medida, su muerte o desarrollo.

Asimismo, la densidad de tallos también se puede manipular con el manejo en el campo; es decir, modificando la frecuencia e intensidad de defoliación se puede incrementar el número de tallos por unidad de área, así como reducir la muerte de los mismos, al controlar la acumulación de forraje (L'Huillier, 1987). Por otra parte, se ha reportado que el rebrote está sujeto a la compensación tamaño-densidad; por lo general, existe aumento en la densidad de tallos pequeños y menos pesados en regímenes de defoliación severo y viceversa. La densidad de tallos, frecuentemente, se mide como indicador de persistencia de las praderas o como componente de una respuesta al manejo de la pradera, tal como la fertilización nitrogenada (Mazzanti *et al.*, 1994). En general, hay una disminución en la densidad de tallos más pesados, con regímenes de defoliación ligera; así, aumentos o disminuciones en la densidad de tallos, es un indicador ambiguo del vigor de la pradera y puede, en algunos casos, reflejar el efecto de la compensación tamaño-densidad en respuesta a cambios en la intensidad y frecuencia de la defoliación (Matthew *et al.*, 1995).

Para el caso de la alfalfa, su productividad está relacionada al número de tallos por unidad de área; sin embargo, la alfalfa tiene alta habilidad para ajustar el número de tallos, dependiendo de la densidad de plantas y de la competencia (Cowett y Sprague, 1962). De acuerdo con Zaragoza (2004), en alfalfa encontró que a mayor severidad de pastoreo existió mayor densidad de tallos. Lo contrario ocurrió con el peso de los mismos, ya que a menor severidad se obtuvo un mayor peso por tallo, con presencia de la mayor población en invierno.

2.6. Valor nutritivo en los forrajes

De acuerdo con Jiménez y Martínez (1984) el valor nutritivo de los forrajes es el producto de la concentración de nutrimentos y se define en términos de la respuesta en producto animal. El valor nutritivo de los forrajes lo determina su capacidad para proporcionar los elementos que necesita el animal que los consume (Church y Pond, 1990). A medida que una planta forrajera madura, hasta completar su ciclo reproductivo, los cambios físicos y químicos que experimenta, provocan disminución en la digestibilidad y en el contenido de proteína, por lo que, la relación entre la madurez y calidad de los forrajes es inversa (Jiménez y Martínez, 1984; Melvin, 2001).

Johnson *et al.* (2001), Teutsch *et al.* (2005) y Tovar (2006), consignan que realizar prácticas agronómicas como fertilización nitrogenada, mejoran la digestibilidad y la proteína de los forrajes. Por otra parte, Smit *et al.* (2006), mencionan que hay diferencias en preferencia o apetencia por el ganado lechero, entre variedades o

cultivares en una especie debido, principalmente a la cantidad de carbohidratos solubles y a la digestibilidad del forraje. Sin embargo, la calidad nutritiva del forraje también se ve afectada por la especie, la madurez y el tipo de tejido removido en la planta (Jiménez y Martínez, 1984; Karn *et al.*, 2006).

Hodgson y Brookes (1999) consideran a la digestibilidad de la MS, como un indicador primario del valor nutritivo de los forrajes, por lo que este aspecto reviste gran importancia, dado que el consumo voluntario está relacionado directa y linealmente con la digestibilidad del forraje (Church y Pond, 1990; Smit *et al.*, 2006). Existen diferencias en el patrón de digestibilidad entre especies y variedades de las plantas forrajeras, que se explican por cambios en la relación hoja:tallo, en estados similares de madurez (Norton y Poppi, 1995; Karn *et al.*, 2006). Sin embargo, la lignificación de la pared celular de las especies forrajeras, ha sido correlacionada con una reducción en la digestibilidad *in vitro* e *in situ* de la MS. Otros factores en el forraje, además de la lignina, que limitan la degradación es el contenido de cutinas, ceras y sílice; éste último ha demostrado que causa un decremento de 3% en la digestibilidad *in vitro* de la MS por unidad de incremento de sílice, principalmente, por decremento en la digestión de los polisacáridos de la pared celular (Ramírez *et al.*, 2002).

Destaca la alfalfa por su elevada riqueza en proteínas y minerales, en comparación con otras especies forrajeras, aún cuando su fibra es relativamente abundante, especialmente en los tallos, por lo que la calidad nutritiva de las hojas es diferente, con respecto a la de tallos, con un promedio de 24 y 10.7 %, respectivamente; por

ello, en la práctica, es necesario considerar la relación hoja:tallo, ya que varía según la fase de desarrollo en que la planta se encuentre. Las hojas son más abundantes en la fase vegetativa y disminuyen conforme progresa la fase reproductiva (Del Pozo, 1983).

Si bien es cierto que la acumulación de forraje en una pradera, es mayor si el intervalo entre defoliaciones es prolongado, el valor nutritivo del forraje es menor, así que las praderas deben cosecharse antes de que alcancen la máxima acumulación de forraje ha^{-1} (Humpreys, 1975; Jiménez y Martínez, 1984). La calidad y el consumo de forraje disminuye con intervalos largos de defoliación, como consecuencia de una reducción en la relación hoja:tallo y en la proporción de material vivo: material muerto (Poppi *et al.*, 1987). Al respecto, Jahn *et al.* (2000) en alfalfa encontraron que la calidad de la pradera disminuyó a medida que bajó la disponibilidad, esto es, se presentó 18.8 % y 13 % de proteína, al inicio y al final del pastoreo, respectivamente. Por otra parte, Gómez *et al.* (2000) en diferentes variedades de alfalfa en Chapingo, Estado de México, observaron que a medida que avanza la edad de la planta, disminuye la calidad nutritiva, es decir, la proteína descendió de 31 a 17 % y la digestibilidad de 74 a 64%, con 7 y 49 días, respectivamente.

En un estudio realizado por González *et al.* (2004), con diferentes niveles de asignación de forraje de alfalfa y gramíneas (2, 4 y 7%) y en cada uno con cinco muestreos a diferentes tiempos (0, 3, 6, 21 y 24 h) en el periodo de pastoreo, encontraron que la menor cantidad de proteína (14.32%) se obtuvo con asignaciones

de 2%; también observaron que la proteína en el forraje disminuyó significativamente durante las primeras horas del periodo de pastoreo, como consecuencia de la selectividad de los animales, por consumir primero la masa vegetal en crecimiento y evitar la senescente.

Quiroga y Salinas (2005), al evaluar la alfalfa a una altura de 40cm con 20% de floración, obtuvieron 21.1% de proteína y 80.9% de digestibilidad *in vitro*; al compararlo con diferentes tasas de degradación ruminal *in situ*, se tuvo 79.1% de digestibilidad, teniéndose así que los valores de digestibilidad *in vitro e in situ*, estuvieron muy relacionados, por lo que ambos son una alternativa confiable, utilizando como único punto de observación, 48 o 72h de incubación. De acuerdo con Horrocks y Vallentine (1999) el porcentaje de proteína de alfalfa, puede variar de 17.3 a 23.9, de acuerdo al estado fisiológico en que se encuentre. McMahon *et al.* (1997) reportaron valores de proteína total para hojas de alfalfa de 41.9% y un contenido de ácido acético, propiónico y butírico de 19.69, 6.65 y 0.89%, respectivamente. De igual forma, Núñez *et al.* (1995) obtuvieron un contenido de proteína total de 19.8% para el heno de alfalfa en la Comarca Lagunera.

2.7. Conclusiones de la revisión de literatura

- ❏ El crecimiento y rendimiento de los forrajes, varía a través del año, como consecuencia de factores ambientales y de manejo.

- ❏ El rebrote después de una defoliación, está influenciado principalmente por las reservas de carbohidratos, área foliar remanente y presencia de meristemos de crecimiento.

- ❏ La productividad de una pradera depende del balance entre la densidad poblacional de tallos y su peso individual. Una alta densidad y bajo peso de tallos, está relacionada con cosechas frecuentes e intensas, mientras que una baja densidad y mayor peso, están asociados con cosechas poco frecuentes y poco intensos.

- ❏ El valor nutritivo de los forrajes varía con la frecuencia de defoliación.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El experimento se realizó de agosto del 2006 a agosto del 2007, en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México, ubicado a 19° 29' de LN y 98° 53' de LO, a una altura de 2240 m s n m. El clima del lugar es templado subhúmedo el más seco de los subhúmedos, con precipitación media anual de 636.5 mm. Tiene un régimen de lluvias en verano de junio a octubre y temperatura media anual de 15.2 °C (García, 2004). El suelo del área es franco arenoso y ligeramente alcalino con pH 7 - 8 (Ortiz, 1997). Los datos de temperatura y precipitación durante el periodo de evaluación se presentan en la Figura 1.

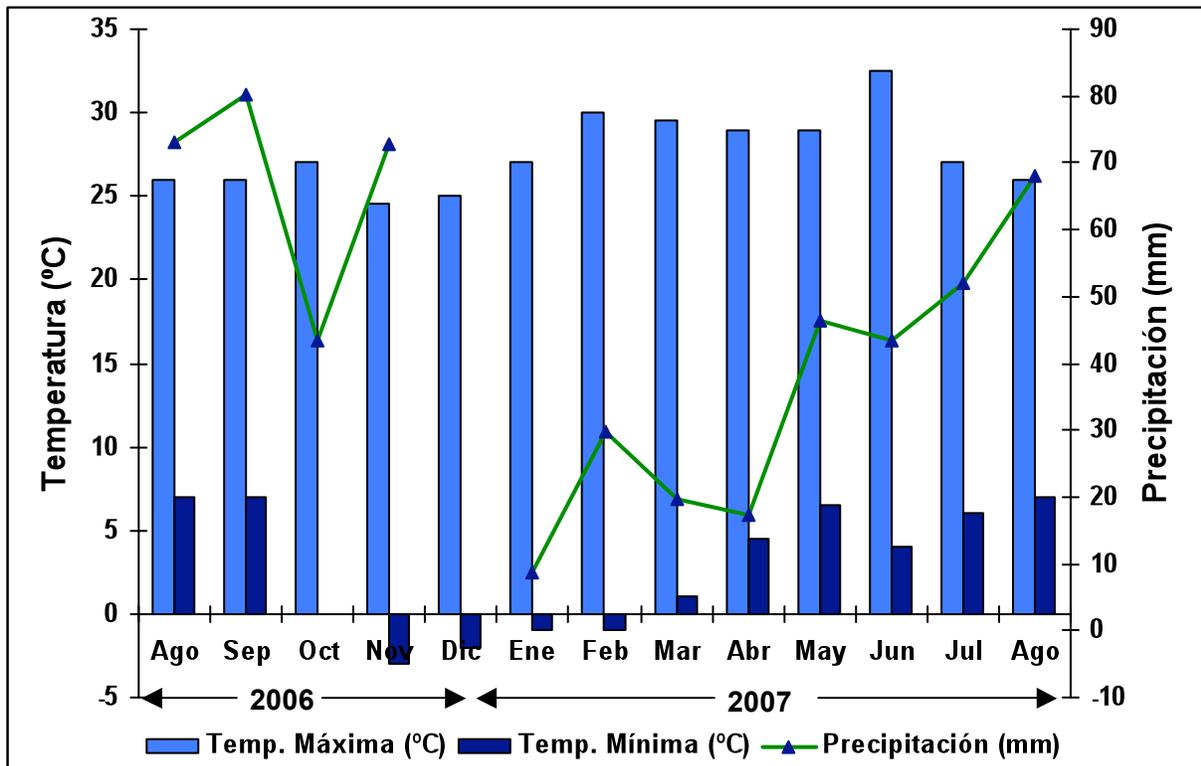


Figura 1. Temperatura media mensual máxima y mínima y precipitación acumulada mensual (2006 y 2007). Montecillo, México, 2006-2007.

Durante la fase experimental, la temperatura máxima promedio mensual fue de 32 °C y se registró en junio de 2007, mientras que las temperaturas mínimas mensuales se registraron en noviembre - diciembre de 2006 y enero – febrero de 2007 éstas fueron de -3, -1, -1 y -1 °C, respectivamente. La mayor precipitación (mm) mensual acumulada fue en septiembre de 2006 con 80.2 mm y la menor en enero de 2007 con 8.8 mm, teniendo una precipitación acumulada durante la fase experimental de 554.3 mm. En diciembre de 2006, no existió registro de precipitación.

3.2. Manejo de praderas

Se utilizó una pradera de alfalfa, variedad San Miguelito, establecida en octubre del año 2004. El área se dividió en 16 parcelas de 63 m² (9*7m). Al inicio del experimento se realizó un corte de uniformización (26 de agosto de 2006), a una altura promedio de 5 cm, con un tractor–podador. Al final de este corte se cortaron al azar cinco parcelas de 0.25 m², para determinar el forraje residual. La fase experimental concluyó el día 10 de agosto de 2007.

Durante el periodo experimental (agosto de 2006 a agosto de 2007) las parcelas fueron regadas por aspersión, únicamente durante el periodo de seca, cada dos semanas durante cuatro horas (una lámina de riego aproximada de 5mm).

3.3. Tratamientos y diseño experimental

Se evaluarán cuatro tratamientos, los cuales fueron cuatro frecuencias de corte (3, 4, 5 y 6 semanas en primavera – verano y 4, 5, 6 y 7 semanas en otoño – invierno)

a una altura de 5 cm sobre el nivel del suelo. Las frecuencias de defoliación se asignaron al azar siguiendo los principios de un Diseño Experimental Completamente al Azar, con 4 repeticiones. Las parcelas cosechadas con intervalos en otoño-invierno, se les asignaron menores intervalos de corte para primavera-verano (Fig. 2). Cada frecuencia de corte se cosechó con tractor en la fecha que le correspondía, también a una altura de 5 cm sobre el nivel del suelo.

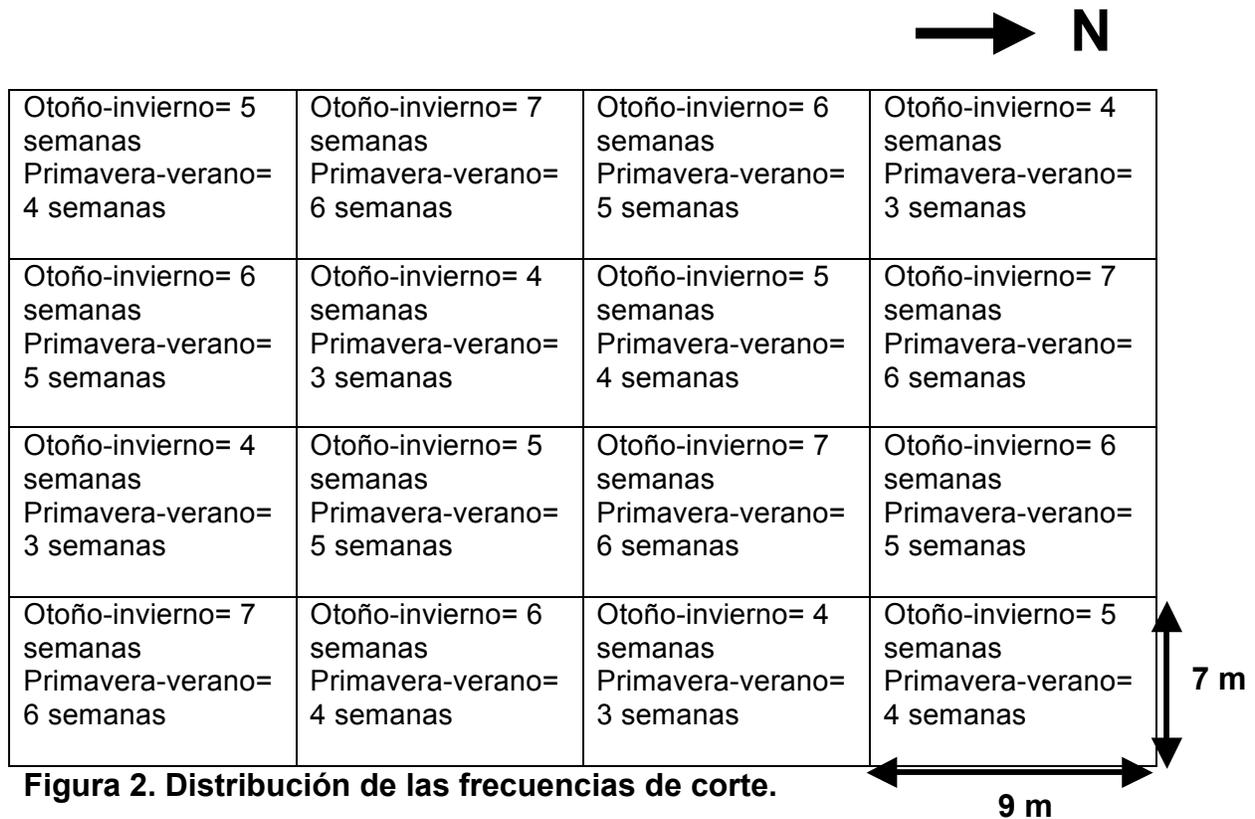


Figura 2. Distribución de las frecuencias de corte.

3.4. Variables evaluadas

3.4.1. Rendimiento de forraje

La cantidad de peso seco acumulado por el alfalfar, se estimó con dos cuadros fijos de 0.25 m², previamente ubicados al azar en cada repetición, al inicio del experimento. El forraje presente dentro de cada cuadro se cosechó un día antes del corte. Éste se

depositó en bolsas de papel etiquetadas, se registró el peso en fresco, se lavó y se expuso a un proceso de secado en una estufa de aire forzado, a una temperatura de 55 °C durante 72 h. Una vez seca la muestra de forraje se registró en peso seco, para determinar el rendimiento por unidad de superficie (kg MS ha⁻¹).

3.4.2. Tasa de crecimiento del forraje

La tasa de crecimiento del forraje crecido del cultivo, se calculó con los datos de rendimiento promedio estacional, de cada una de las repeticiones.

$$TC = R / T$$

Donde:

TC = Tasa promedio de crecimiento estacional (kg MS ha⁻¹ d⁻¹).

R = Rendimiento promedio estacional (kg MS ha⁻¹).

T = Días transcurridos entre un corte y otro.

3.4.3. Composición botánica y morfológica

De las dos muestras de forraje, cosechado para determinar el rendimiento, se tomó una submuestra de cada una. El contenido de cada submuestra se separó en alfalfa y malezas para así determinar la composición botánica. La alfalfa se separó en sus componentes, hojas, tallos, material muerto y flor, para determinar la composición morfológica. Cada componente separado se secó en una estufa de aire forzado, a una temperatura de 55 °C por 72 h y se determinó su peso seco. Para determinar la contribución (porcentaje) en el rendimiento se utilizó la siguiente fórmula:

$$CBM = (COMP * 100) / R$$

Donde:

CBM= Composición botánica y morfológica (%)

COMP= Submuestra del componente separado y especie

R= Rendimiento (Kg MS ha⁻¹)

3.4.4. Relación hoja:tallo

Lo datos originados a partir de la composición morfológica, sirvieron para calcular la relación hoja:tallo, la cual se obtuvo con la siguiente fórmula:

Hoja:tallo = H / T

Donde:

Hoja:tallo = Relación hoja: tallo.

H = Peso seco de la hoja (kg MS ha⁻¹).

T = Peso seco de tallo (kg MS ha⁻¹).

3.4.5. Altura de la planta

La altura de las plantas de alfalfa se midió al tomar 10 lecturas al azar en cada repetición, un día antes de cada corte. Se utilizó una regla graduada de 100 cm la cual se colocó al azar en las parcelas, de forma que la parte inferior de la regla graduada (0 cm) quedara al nivel de suelo, posteriormente se deslizó un dispositivo con el que cuenta la regla hasta éste toco la parte superior de algún componente morfológico y se registró la altura.

3.4.6. Área foliar por tallo

Para determinar el área foliar (AF), se tomaron al azar y por cada repetición 5 tallos, un día antes de cada corte. Los tallos se cortaron a nivel del suelo, se separaron las hojas de cada tallo para medir su área con un integrador de área foliar marca LI COR, modelo LI-1856. De esta forma se estimó el AF de las hojas por tallo.

3.4.7. Radiación interceptada

Un día previo a cada corte (dependiendo de la frecuencia de corte), se tomaron 5 lecturas de radiación (fotones) con el radiómetro lineal, al azar en cada repetición. Las lecturas se realizaron aproximadamente a la 13:00 h (con la finalidad de estimar el nivel de energía de los rayos solares en posición perpendicular al radiómetro) sobre el dosel y a nivel de suelo. El cálculo de radiación interceptada se realizó con la siguiente fórmula:

$$RI = \left(\frac{RT - RS}{RT} \right) * 100$$

Donde:

RI: Radiación interceptada (%)

RT: Radiación total sobre el dosel (fotones)

RS: Radiación a nivel de suelo (fotones)

3.4.8. Densidad de tallos

Al inicio del experimento, se colocaron al azar dos cuadros fijos, delimitados con un hilo de 0.4 m² (20 * 20 cm), colocado a nivel del suelo en cada repetición. Mensualmente se contaron todos los tallos presentes, dentro de cada cuadro para

estimar la densidad de tallos por m^2 . Para estimar la densidad por m^2 se utilizó la siguiente fórmula:

$$D = (DT(1000)) / 400$$

Donde:

D= Densidad de tallos por m^2 (tallos m^2)

DT= Densidad de tallos en $0.4 m^2$ (tallos en $0.4 m^2$)

3.4.9. Peso por tallo

Un día antes de cada corte, se cortaron 10 tallos a nivel de suelo. Éstos fueron seleccionados de forma aleatoria. Se secaron en una estufa de aire forzado a $55\text{ }^\circ\text{C}$ por 72 h, para posteriormente registrar su peso. Con el peso de los 10 tallos se estimó el peso promedio individual de cada tallo.

3.4.10. Proteína en hojas y tallos

Se determinó el contenido de proteína total en hojas y tallos de alfalfa para cada frecuencia de corte. En cada frecuencia de corte se colectó una cantidad de 5 g de MS de tallo y 5 g de MS de hoja, a mediados de cada estación del año. Se determinó el contenido de Nitrógeno, mediante el método de Microkjendhal (AOAC, 1965) y el valor de Nitrógeno, se multiplicó por 6.25, para obtener el contenido de proteína total (%).

3.4.11. Digestibilidad *in situ* de hojas y tallos

Para determinar la digestibilidad *in situ* (DISMS) se tomaron por frecuencia de corte una cantidad de 10 g de MS de tallo y 10 g de MS de hoja, a mediados de cada estación del año. Se determinó la DISMS con la metodología descrita por Mehrez y Orskov (1977), a un tiempo de digestión de 72 h.

3.4.12. Rendimiento de proteína por hectárea en hoja y tallo

La cantidad de proteína en kilogramos por hectárea, de hoja y tallo de alfalfa, se calculó con los datos obtenidos para proteína por frecuencia de corte y los rendimientos por estación. El cálculo de los kilogramos de proteína por hectárea de hoja y tallo se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$RP = P * R$$

Donde:

RP: Kilogramos de proteína por hectárea en hoja o tallo

P: Proteína (%) en hoja o tallo

R: Rendimiento total de MS (kg MS ha⁻¹)

3.4.13. Materia seca digestible total en hoja y tallo

Para calcular la materia seca digestible total en hoja y tallo de alfalfa se utilizaron los datos obtenidos de digestibilidad por frecuencia de corte y los rendimientos por estación. El cálculo de la materia seca digestible total en hoja o tallo se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{MSDT} = D * R$$

Donde:

MSDT: Materia seca digestible total en hoja o tallo

D: Digestibilidad (%) en hoja o tallo

R: Rendimiento total de MS (kg MS ha^{-1})

3.5. Análisis estadístico

Para comparar el efecto de las frecuencias de corte, se realizó un análisis de varianza con el procedimiento de Modelo Mixtos (SAS, 1999), con un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ajustada ($\alpha = 0.05$) según Steel y Torrie (1988). Para ello se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + E_j + (T * E)_{ij} + \text{Rep} (T * E)_{ijk} + E_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor de la variable de respuesta en el tratamiento i, repetición j.

μ = Media general

T_i = Efecto de i-ésimo tratamiento, $i = 1, 2, 3, 4$.

E_j = Estación del año, $j =$ otoño, invierno, primavera, verano.

$(T * E)_{ij}$ = Interacción del tratamiento con la estación del año

$\text{Rep} (T * E)_{ijk}$ = Repetición anidada en la interacción tratamiento por estación del año

E_{ij} = Error experimental

El modelo estadístico incluyó como efectos principales el efecto de frecuencia de corte y de estación del año, así como su interacción. El componente aleatorio fue la repetición anidada en la interacción tratamiento por estación.

Las graficas correspondientes a las regresiones lineales entre las diferentes combinaciones entre rendimiento, altura, área foliar y radiación interceptada, fueron realizadas con Excel 2003 y su comparación se realizó mediante el procedimiento de regresión lineal en SAS (1999).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento de forraje

El rendimiento anual acumulado de forraje y estacional, varió por efecto de la frecuencia de corte (Cuadro 1). El mayor rendimiento acumulado de forraje se registró en la frecuencia de corte de 7 semanas en otoño-invierno y 6 semanas en primavera-verano, con 29, 674 kg MS ha⁻¹. De éste rendimiento, se presentó el siguiente orden descendente: primavera 32% > otoño 27% > invierno 23% > verano 18%. El menor rendimiento anual acumulado de MS se registró en la frecuencia de 4 y 3 semanas, durante otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente, con 22, 252 kg MS ha⁻¹, con el siguiente orden descendente: otoño 42% > primavera 31% > invierno 15% > verano 12%. En ambos casos el menor rendimiento acumulado ocurrió en el verano, debido a que para la frecuencia de corte de 4-3 semanas, se realizaron únicamente tres cortes en la estación y para la frecuencia de 7-6 semanas solamente se efectuó un corte.

Rivas *et al.* (2005) registraron para cinco variedades de alfalfa, un rendimiento promedio anual de forraje de 31, 132 kg de MS ha⁻¹, con un calendario de corte de 4 semanas en primavera-verano, 5 semanas en otoño y 6 semanas en invierno; éste rendimiento obtenido presentó el siguiente orden a través del año: verano 31% > primavera 27% > otoño 22% > invierno 20%. Mientras que Villegas *et al.* (2004) cuando cosecharon la alfalfa cada 7 semanas en otoño-invierno y 5 semanas en primavera-verano registraron rendimientos acumulados anuales inferiores al del presente estudio con el siguiente orden descendente en las variedades Oaxaca,

Tlacolula, Valenciana y Moapa con 21.6, 21.4, 20.0 y 20.1 t de MS ha⁻¹, respectivamente. Los primeros autores de los señalados anteriormente mencionan que la producción de forraje de alfalfa, en el Valle de México, se puede maximizar si se practican regímenes de corte, de acuerdo a la estación del año, esto es, cortes cada 4 semanas durante el verano y cada 5 y 6 semanas, en otoño e invierno, respectivamente.

Cuadro 1. Rendimiento anual y estacional de alfalfa (kg MS ha⁻¹) cosechada a diferente frecuencia.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Total acumulado
4-3	9,371 Aa	3,414 Cc	6,859 Bb	2,608 Bc *	22,252 B
5-4	8,034 Bab	6,343 Bb	9,505 Aa	2,997Bc **	26,879 A
6-5	7,707 Ca	6,689 Aa	9,384 Aa	4,227 ABb**	28,007 A
7-6	7,975 BCab	6,872 Abc	9,352 Aa	5,475 Ac **	29,674 A
EEM	345.44	245.02	329.25	307.23	

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
 abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes (P>0.05).
 ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes (P>0.05).
 * = Se realizaron 3 cortes en la estación. ** = Se realizó 1 corte en la estación.

El rendimiento anual mostró cambios significativos por la frecuencia de corte (P<0.05) en 25% menos, cuando los intervalos entre cortes fueron de 4 y 3 semanas (22,252 kg MS ha⁻¹), para otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente y comparada con cortes cada 7 semanas en otoño-invierno y 6 en primavera-verano (29,674 kg MS ha⁻¹). Camacho y García (2003) al evaluar en Chapingo, Estado de

México, diferentes variedades de alfalfa asociadas con trébol blanco (*Trifolium repens*, var. Ladino), ballico perenne (*Lolium perenne*, var. Barlatra), pasto ovilla (*Dactylis glomerata*, var. Baraula) y festuca alta (*Festuca arundinacea*, var. Barcel), encontraron con la variedad Júpiter el mayor rendimiento de forraje (33.7 t MS ha⁻¹).

El rendimiento promedio de forraje en cada estación y por frecuencia de corte, se muestra en el Cuadro 2, en donde se evidencia que hubo variación por efecto de frecuencia de corte. Existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) para la estación de verano, con la interacción de frecuencias de corte y hubo menor rendimiento para la frecuencia de 3 semanas y mayor con 6 semanas (869 y 5, 475 kg MS ha⁻¹, respectivamente). Independientemente de la estación de año, se observó que, a medida que aumentó el intervalo entre cortes, se incrementó el rendimiento promedio de materia seca por hectárea, aproximadamente en 66% cuando la alfalfa fue cortada a 7 semanas en otoño-invierno y 6 para primavera-verano (promedio anual de 4,393 kg MS ha⁻¹) comparado con intervalos de cortes de 4 y 3 semanas para otoño-invierno y primavera-verano (promedio anual de 1,500 kg MS ha⁻¹), respectivamente. Hernández y Pérez (1998) observaron que la variedad Moapa, alcanzó la mayor acumulación de materia seca durante el verano, en la cuarta semana de rebrote, mientras que Salas (1998) reportó el máximo rendimiento de forraje a la cuarta y quinta semanas de rebrote en verano y otoño, respectivamente.

En la frecuencia de corte de 7 y 6 semanas existió diferencia significativa ($P < 0.05$) por estación, cuando el mayor rendimiento se obtuvo en verano (5,475 kg MS ha⁻¹) y

el menor para invierno (3,436 kg MS ha⁻¹); sin embargo, para la frecuencia de 4 y 3 semanas se observó que no existieron diferencias significativas (P>0.05) entre invierno y verano, con 1138 y 869 kg MS ha⁻¹; en este caso existió disminución en el rendimiento, probablemente, por un agotamiento de las reservas de carbohidratos en las plantas, al existir poco tiempo de recuperación entre cortes. Al respecto Duthil (1989), señala que los cortes o pastoreos muy frecuentes, hacen desaparecer rápidamente las especies perennes, por agotamiento de sus reservas de carbohidratos.

Cuadro 2. Rendimiento promedio por corte de alfalfa (kg MS ha⁻¹), cosechada a diferente frecuencia.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	EEM
4-3	2,343 Ca	1,138 Cb	1,653 Cac	869 Dc	151.79
5-4	2,678 BCa	2,114 BCa	3,169 Ba	2,997 Ca	112.09
6-5	3,503 ABb	3,063 ABb	3,792 ABab	4,227 Ba	131.74
7-6	3,988 Abc	3,436 Ac	4,676 Aab	5,475 Aa	210.78
EEM	176.09	234.31	293.08	244.91	

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
 abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma fila, no son diferentes (P>0.05).
 ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes (P>0.05).

4.2. Tasa de crecimiento del forraje

El Cuadro 3 presenta la tasa de crecimiento (TC) estacional de alfalfa cosechada a diferente frecuencia de corte. Independientemente de la frecuencia de corte, las más bajas TC (P<0.05) se registraron en la estación de invierno, con 41 y 61 kg MS ha⁻¹

d^{-1} , para la frecuencia entre cortes de 4 y 5 semanas, respectivamente. Probablemente, esto se relacionó con la temperatura más baja y el mayor número de heladas ocurridas durante el año (Fig. 1). Entre las frecuencias de corte se observa la TC ($P < 0.05$) más baja con cortes cada 4 y 3 semanas en otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente, con un promedio anual en la TC de $69 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Para la frecuencia antes mencionada la menor TC ($P < 0.05$) se obtuvo en invierno y la mayor en otoño con 41 y $84 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, respectivamente.

Independientemente de la estación del año, en general, la TC se incrementó ($P < 0.05$) conforme aumento el intervalo entre cortes, con excepción de otoño (Cuadro 3). Durante el otoño, no existió diferencia significativa ($P > 0.05$) entre las frecuencias de corte. Sin embargo, en las demás estaciones al cosechar cada 4 semanas en otoño-invierno y 3 semanas en primavera-verano ($P < 0.05$) presentó las menores TC. No se observaron diferencias significativas entre intervalos de corte superiores a 4 y 3 semanas.

En general, se apreció que las mayores TC ($P < 0.05$) ocurrieron en el periodo de primavera-verano, con 45% menos cuando los intervalos de corte fueron cada 3 semanas durante primavera-verano, comparados con intervalos de 6 semanas para el mismo periodo. En los meses comprendidos en éstas estaciones se presentaron las temperaturas más altas, que favorecieron el desarrollo de la alfalfa ya que, de acuerdo con Muslera y Ratera (1991), la temperatura óptima de crecimiento de la alfalfa, fluctúa entre 15 y $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el día y de 10 a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en la noche.

Cuadro 3. Tasa de crecimiento promedio estacional (kg MS ha⁻¹ d⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	EEM
4-3	84 Aa	41 Bb	79 Ba	72 Bb	5.56
5-4	77 Abc	61 ABb	113 Aa	107 Aac	5.74
6-5	84 Abc	73 Ac	108 ABab	121 Aa	5.30
7-6	82 Abc	70 ABc	112 Aab	130 Aa	6.37
EEM	2.52	3.47	4.22	7.21	

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
 abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes (P>0.05).
 ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes (P>0.05).

4.3. Composición botánica y morfológica

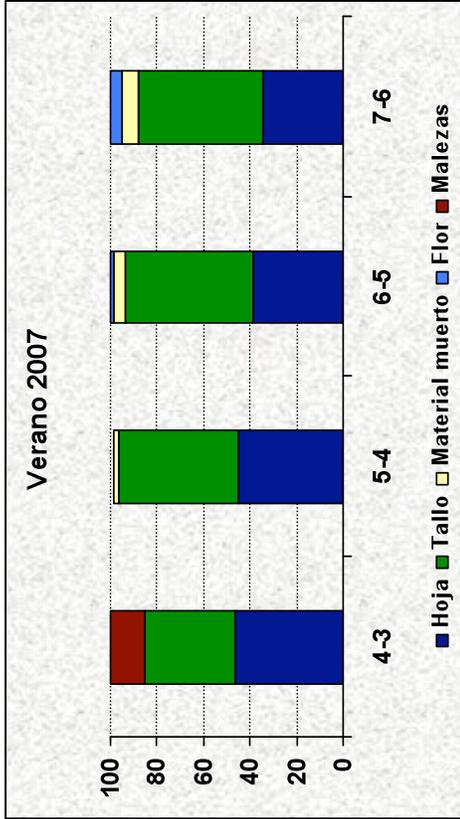
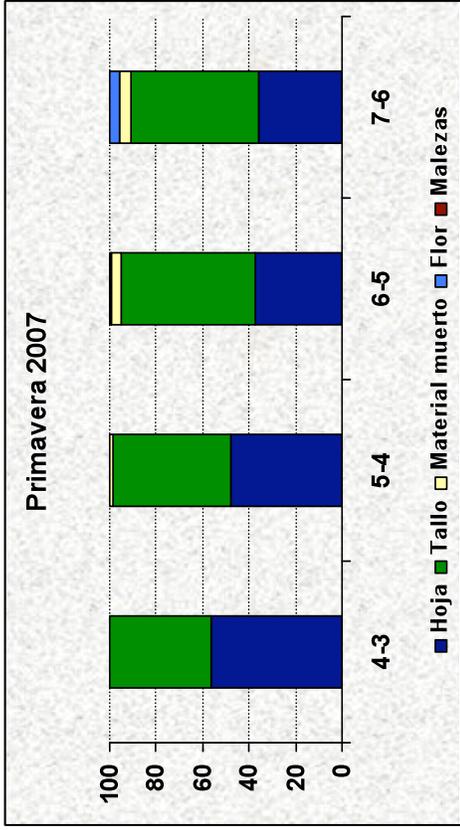
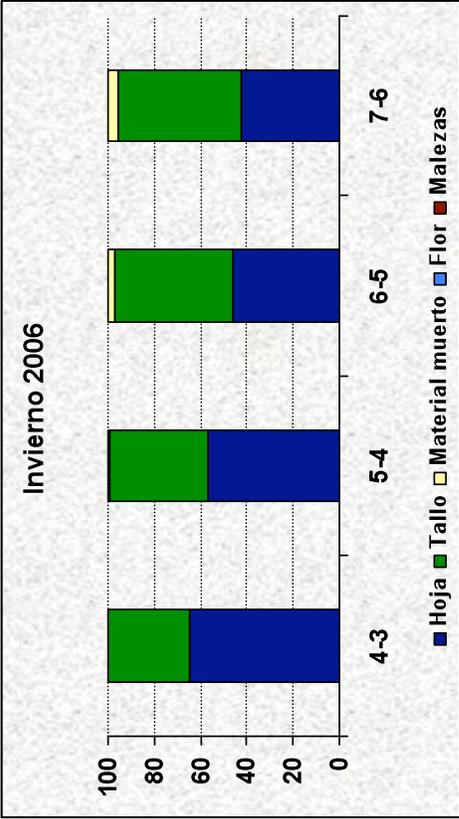
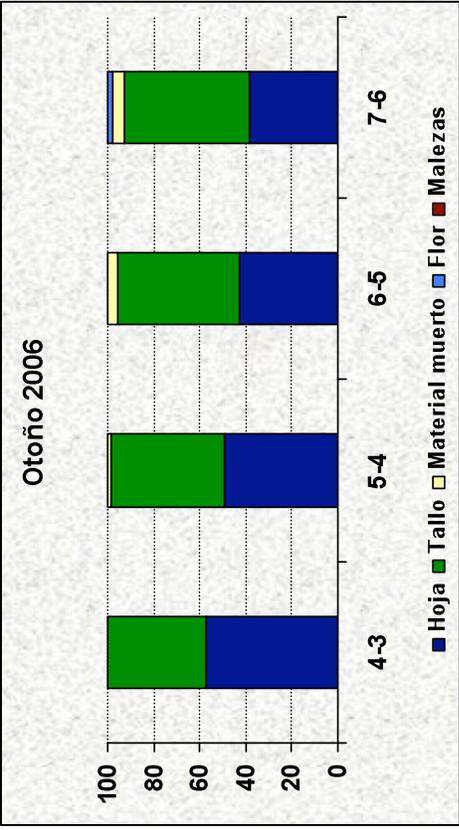
La variación estacional en la composición botánica y morfológica de la alfalfa se presenta en la Figura 3. Se observa que existió diferencia significativa (P<0.05) en la interacción entre estación del año con frecuencias de corte, en la aportación de hojas. En la Figura 3 se observó que conforme aumentó el intervalo de corte la distribución de MS en el tallo fue mayor en todas la estaciones del año.

Independientemente de la estación del año, la mayor distribución en hoja ocurrió con cortes cada 4 y 3 semanas. La estación con mayor aporte de hoja fue invierno con 65% (P<0.05). Sin embargo, se observa que al llegar a la primavera, se redujo la presencia de alfalfa y se incrementó el porcentaje de malezas. Al respecto, Hernández-Garay y Martínez (1997), consignan que cosechas muy frecuentes aumentan la calidad nutritiva de la especie, por tener mayor porcentaje de hoja; sin

embargo, los cortes frecuentes hacen desaparecer rápidamente las especies perennes, por agotamiento de las reservas de carbohidratos, ya que el rebrote de las especies forrajeras ocurre por traslocación de carbohidratos de las raíces y base de tallos, a los meristemos aéreos remanentes; de esta manera, en algunas especies, los cortes severos reducen considerablemente la disponibilidad de carbohidratos, provocando que la tasa de rebrote sea más lenta y que la pradera sea invadida por maleza.

Conforme se reducen las frecuencias de corte, se incrementa la cantidad de tallo y material muerto. En verano se presentó la mayor cantidad de material muerto con 7%. Por tanto, el forraje cosechado puede incrementarse, ya sea aumentando la cantidad de forraje por emplear diferentes técnicas agronómicas o por reducir las pérdidas de forraje en la pradera por muerte y descomposición del mismo, mediante diferentes estrategias de defoliación (Matthews *et al.*, 1999).

Durante otoño, primavera y verano, se observó que al reducirse la frecuencia de corte, se presentó la mayor cantidad de flor, por lo que se puede decir, que la planta empieza su etapa reproductiva. No obstante, en verano hubo la mayor cantidad de flor, probablemente por existir las condiciones óptimas de temperatura para un mejor crecimiento. De acuerdo a Jiménez y Martínez (1984), a medida que una planta madura hasta completar su ciclo reproductivo, los cambios físicos y químicos que experimenta, provocan disminución en la digestibilidad y en el contenido de proteína, por lo que la relación entre la madurez y la calidad de los forrajes es inversa, ya que al



4-3, 5-4, 6-5, 7-6 = Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño – invierno y de 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera – verano, respectivamente.

Figura 3. Composición botánica y morfológica (%) de alfalfa cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2006-2007.

disminuir la cantidad de hoja, aumenta la cantidad de material muerto y tallo con más fibra.

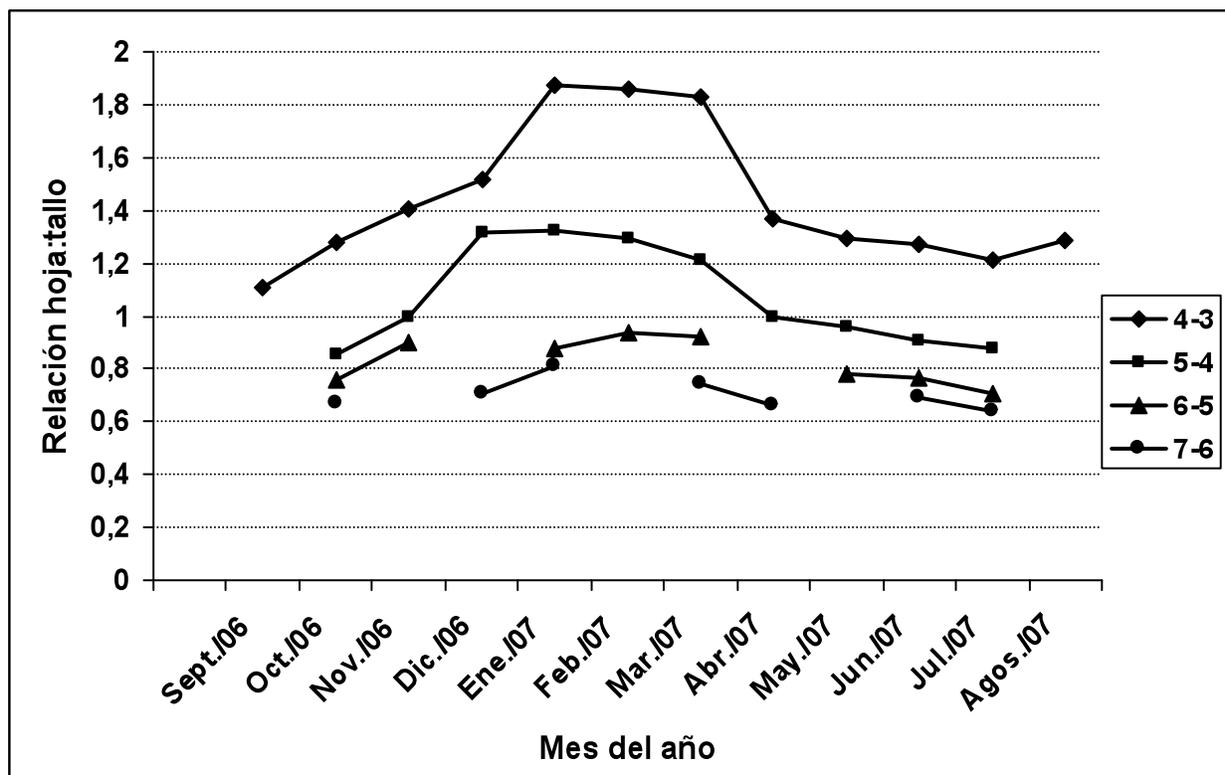
4.4. Relación hoja:tallo

La relación hoja:tallo (Figura 4) fue mayor cuando se cosechó a una frecuencia de 4 y 3 semanas durante otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente y menor cuando se cosechó cada 7 y 6 semanas durante otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente; por lo que hubo efecto significativo ($P < 0.05$) en la interacción de frecuencia de corte por estación (Cuadro 4). Por ello, para una óptima cosecha debe existir un balance entre la calidad y la cantidad de forraje, ya que para este caso los menores rendimientos de forraje coinciden con la mayor aportación de hoja y, a su vez, cuando se reduce la frecuencia de corte disminuye la calidad, al aumentar la cantidad de tallo, pero con un incremento en el rendimiento de forraje.

Independientemente de la frecuencia de corte, se observa que la mayor relación hoja:tallo ($P < 0.05$) ocurrió en enero y la menor en julio. Asimismo, no existió diferencia significativa ($P > 0.05$) entre la estación de primavera con respecto al verano, por efecto de tratamiento (Cuadro 4).

Conforme se redujo la frecuencia de corte la relación hoja:tallo tendió a disminuir ($P < 0.05$) y se encontró que el mayor valor ocurrió en invierno con cortes cada 4 semanas, con 1.86 y el menor valor de 0.60 con la frecuencia de 6 semanas en verano. Por ello la calidad del forraje disminuye, con intervalos largos entre corte,

como consecuencia de una reducción en la relación hoja:tallo (Jiménez y Martínez, 1984). También, Villegas *et al.* (2006) registraron la mayor relación hoja:tallo en otoño (1.29) y la menor (0.72) en primavera y con un promedio anual de 1.33 para la variedad Valenciana, cuando la alfalfa fue cosechada cada 5 y 7 semanas durante primavera-verano y otoño-invierno, respectivamente.



4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente.

Figura 4. Relación hoja:tallo de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2006-2007.

Se registró un promedio anual superior de 51% más en la relación hoja:tallo, cuando la alfalfa fue cortada cada 4 semanas en otoño-invierno y cada 3 en primavera-verano

con 1.45, con respecto a intervalos de cortes de 7 semanas para otoño-invierno y 6 en primavera-verano, con un promedio de 0.74. Camacho y García (2003) registraron un promedio anual en la relación hoja:tallo de 0.72, para la variedad San Miguelito asociada con trébol blanco, ballico perenne, pasto ovillo y festuca alta.

Cuadro 4. Promedio estacional de relación hoja:tallo de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.

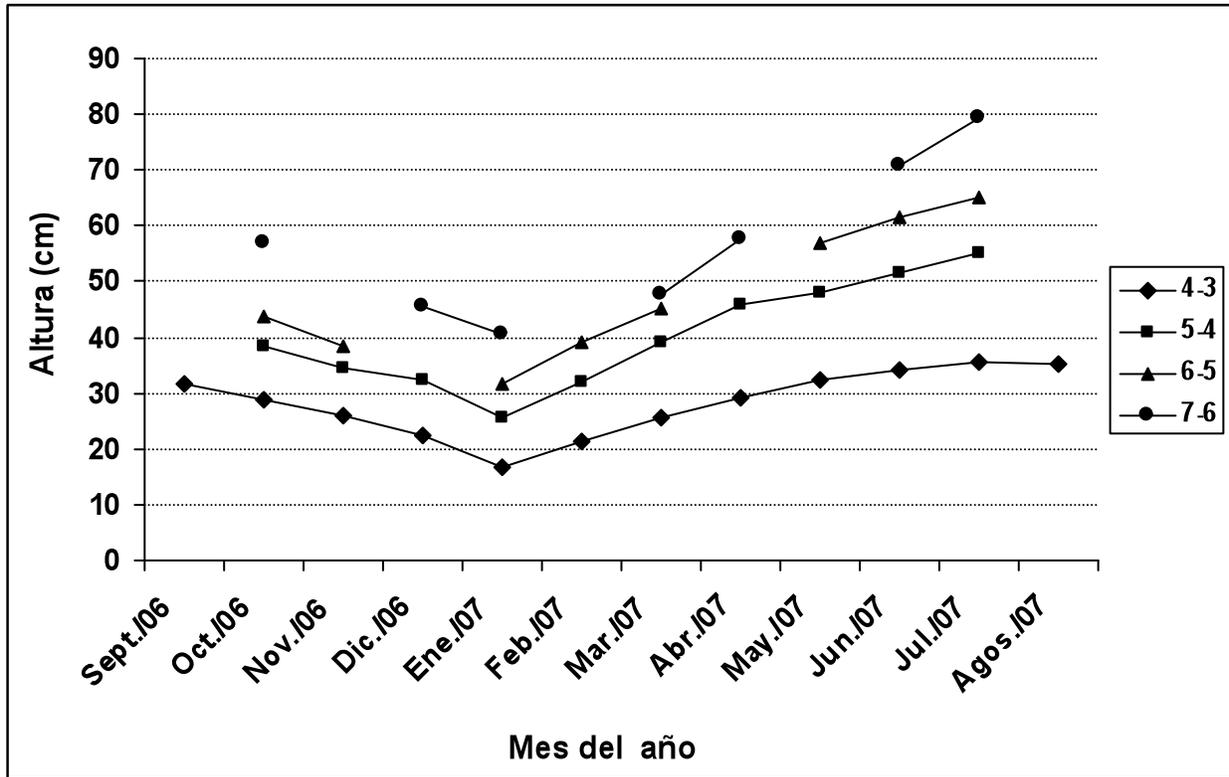
Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	EEM
4-3	1.51 Ab	1.86 Aa	1.33 Ac	1.20 Ac	0.06
5-4	1.23 Bb	1.40 Ba	1.00 Bc	0.91 Bc	0.05
6-5	0.89 Cb	1.16 Ca	0.78 Cbc	0.71 Cc	0.04
7-6	0.77 Cab	0.90 Da	0.68 Cbc	0.60 Cc	0.02
EEM	0.07	0.09	0.06	0.05	

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
 abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes (P>0.05).
 ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes (P>0.05).

4.5. Altura de la planta

Se observó que a través del año los menores valores se registraron en enero y los mayores en julio, en todas las frecuencias; al comparar la interacción de éstas con los meses del año, se diferencia que cuando la alfalfa fue cortada cada 4 semanas en otoño-invierno y cada 3 semanas en primavera-verano, propiciaron los menores valores de altura, registrándose el valor más bajo (17 cm) en enero y la mayor altura la presentó la frecuencia de corte cada 7 semanas para otoño-invierno y 6 durante

primavera-verano, en la cual se presentó el mayor valor entre las frecuencias en julio con 79 cm (Figura 5).



4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente.

Figura 5. Altura (cm) de alfalfa antes del corte, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2006-2007.

Al respecto, Salas (1998) encontró una altura máxima en verano de 53.9 cm, para la variedad CUF-101 y de 47.3 cm en la variedad Valenciana, cosechadas a 7 semanas de rebrote. En general, se observa que existió un aumento progresivo en la altura de las plantas cuando la alfalfa fue cortada cada 4 y 3 semanas en otoño-invierno y primavera-verano (promedio anual de 30 cm), respectivamente con relación

a intervalos de corte de 7 semanas en otoño-invierno y 6 para primavera-verano (promedio anual de 61 cm).

Al analizar estacionalmente los datos de altura promedio (Cuadro 5), existió efecto ($P < 0.05$) en la interacción de frecuencia de corte por estación. La tendencia en altura para las frecuencias de corte fue en orden descendente, de la siguiente forma: verano > primavera > otoño > invierno. La mayor altura ($P < 0.05$) fue de 79 cm en verano con 6 semanas entre cortes y la menor (21 cm) en invierno con frecuencia de 4 semanas. En este aspecto, Hernández-Garay *et al.* (1992) reportaron una altura de 58 cm con cortes espaciados cada ocho semanas y de 40 cm en cortes efectuados cada cuatro o seis semanas. De acuerdo con Muslera y Ratera (1991) el rendimiento de materia seca y el aumento en altura, se incrementan cuando se alarga el intervalo entre cortes, a más de cinco semanas.

Cuando la alfalfa se cosechó a intervalos de corte de 4 semanas en otoño-invierno y cada 3 en primavera-verano, se registró un promedio de altura de 30 cm y de 61 cm cuando fue cortada cada 7 semanas en otoño-invierno y 6 para primavera-verano, con una diferencia con ésta última frecuencia de 49%, esto es, de 31 cm. Al respecto, Morales *et al.* (2006^a) registraron un promedio en altura de 64.4 cm en la variedad Júpiter, cuando la alfalfa fue cosechada cada 45 d.

Cuadro 5. Promedio estacional de altura (cm) antes del corte de la alfalfa, con diferente frecuencia.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	EEM
4-3	28 Dc	21 Dd	33 Db	39 Da	1.73
5-4	37 Cc	31 Cd	47 Cb	55 Ca	2.43
6-5	44 Bc	39 Bd	56 Bb	65 Ba	2.69
7-6	54 Ac	44 Ad	68 Ab	79 Aa	2.50
EEM	2.27	2.45	1.37	3.37	

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
 abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($P>0.05$).
 ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes ($P>0.05$).

En la Figura 6 se observa la relación que existe entre la altura y el rendimiento de materia seca ($R^2=0.835$), la cual es directamente proporcional, esto es, a mayor altura mayor rendimiento de alfalfa. Esto indica que para lograr una mayor altura y rendimiento, es necesario reducir la frecuencia de corte (mayor número de semanas entre cortes). Para este estudio, la mayor altura fue de 79 cm en julio (verano), cuando fue cortada cada 6 semanas en primavera-verano, dato que coincide con el mayor rendimiento promedio (Cuadro 2) en la estación (5, 475 Kg MS ha⁻¹) con la misma frecuencia.

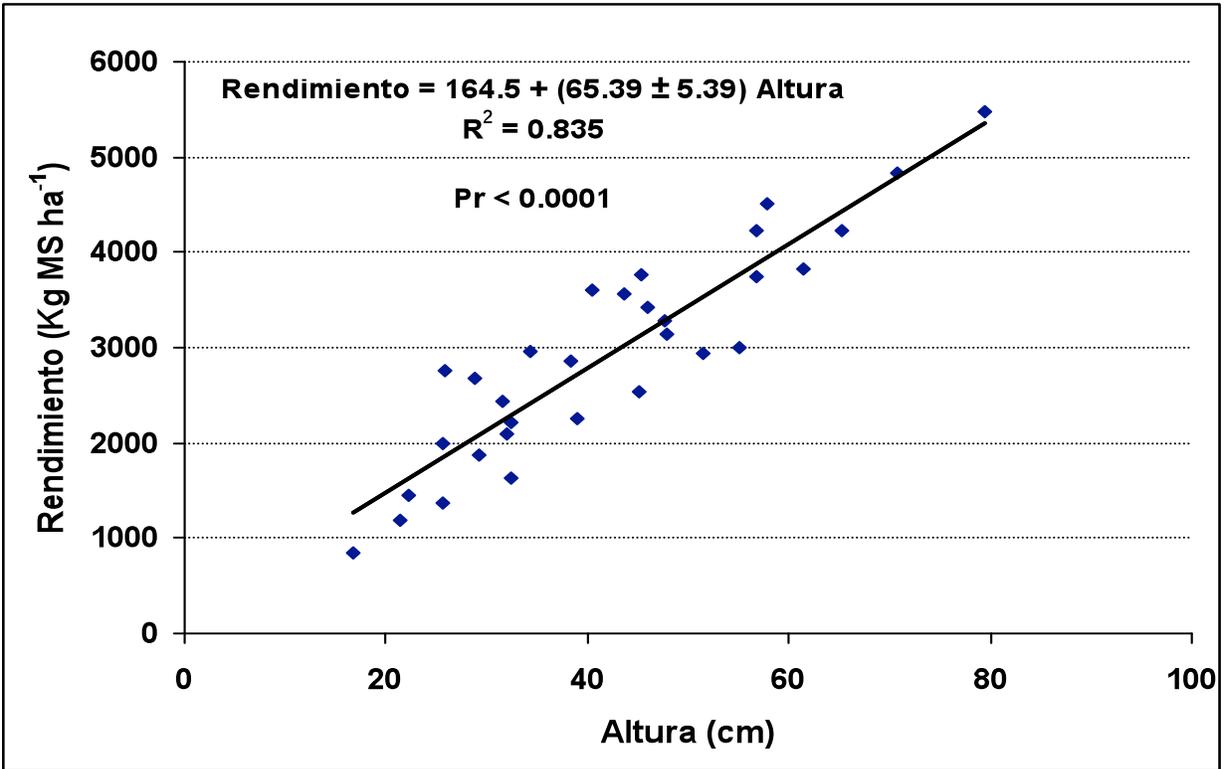
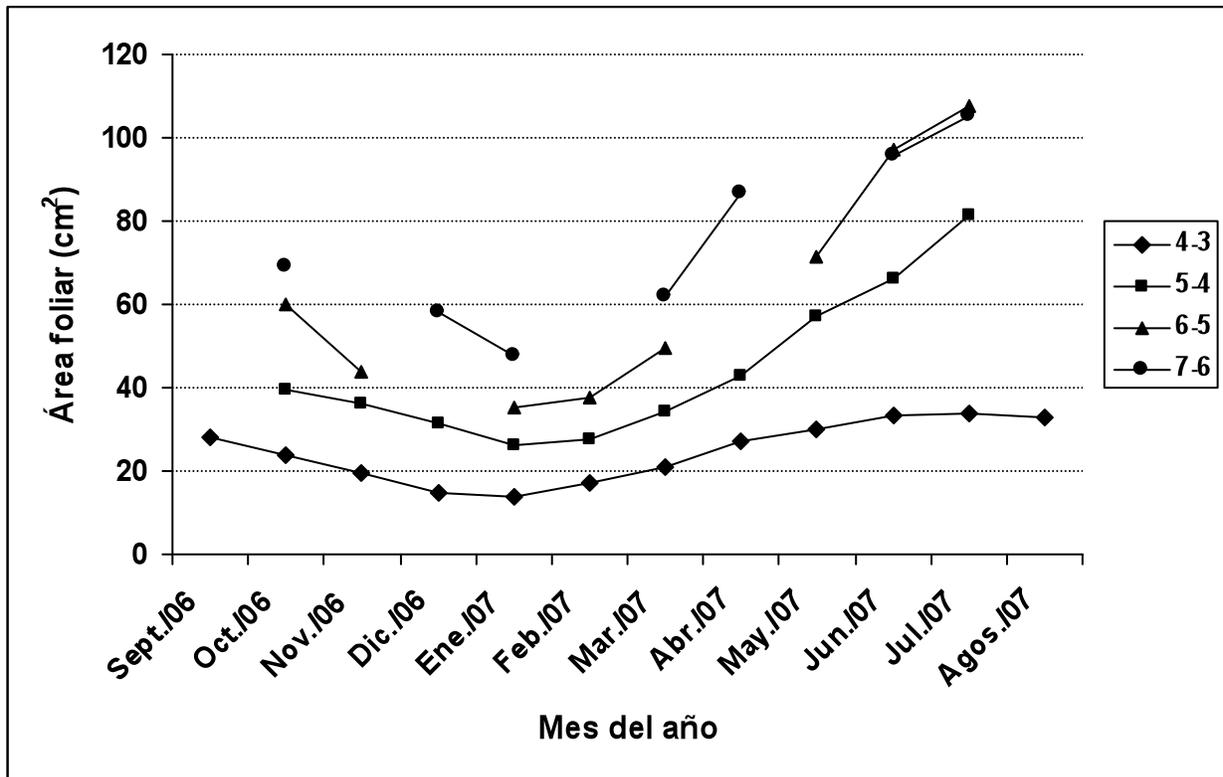


Figura 6. Relación entre el rendimiento de forraje (Kg MS ha⁻¹) y la altura de la planta (cm). Montecillo, México, 2006-2007.

4.6. Área foliar por tallo

La Figura 7 presenta el área foliar (AF) por tallo de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia de corte. Independiente de la frecuencia de corte, la mayor AF ($P < 0.05$) se observó en verano y la menor en invierno, lo cual coincide con el patrón obtenido en altura. El menor valor en AF por tallo, fue de 13.9 cm^2 en enero, cosechando a 4 semanas y el mayor (107.5 cm^2) en julio, con cortes de 5 semanas. La tendencia que se observa, es que cuando se reduce el intervalo entre cortes, el área foliar por planta disminuye; para este caso la reducción es en promedio de 33 cm^2 equivalente a 58%, entre la frecuencia de corte de 4 semanas en otoño-invierno y 3 para primavera-verano (área foliar promedio anual de 25 cm^2), con respecto a intervalos de corte de 7 y 6

semanas para otoño-invierno y primavera verano, respectivamente (área foliar promedio anual de 58 cm²). El valor de AF por tallo de alfalfa, en las diferentes frecuencias de corte es mayor para los meses de verano, seguidos de primavera, otoño e invierno (Figura 7).



4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente.

Figura 7. Área foliar (cm²) por tallo de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2006-2007.

El Cuadro 6 que presenta los valores estacionales promedio de AF por tallo. Se observa que existió diferencia significativa ($P < 0.05$) entre frecuencias de corte y entre estaciones. La mayor aportación promedio estacional de AF por tallo, se presentó en verano con 107.5 cm² tallo⁻¹, en la frecuencia de 5 semanas, seguido de la de 6

semanas con 105.2 cm² tallo⁻¹; en éste último fue menor, ya que se observó que durante esta estación, existió la caída de gran número de hojas, por madurez de las mismas, por lo que probablemente, se tuvo una menor AF por tallo. El menor promedio de AF por tallo fue de 17.2 cm² (P<0.05) en invierno, cuando la alfalfa fue cortada cada 4 semanas. En general, el AF por tallo se incrementó al reducir la frecuencia de corte (P<0.05). De acuerdo con Chapman y Lemaire (1993), la tasa de acumulación neta de forraje es máxima, cuando se alcanza el mayor índice de AF. A medida que el IAF aumenta, será mayor la cantidad de luz interceptada y más alta la tasa de crecimiento (Horrocks y Vallentine, 1999).

Cuadro 6. Promedio estacional de área foliar por tallo de alfalfa (cm²), cosechada a diferente frecuencia.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	EEM
4-3	23.8 Db	17.2 Dc	26.9 Db	33.9 Ca	1.56
5-4	36.3 Cc	27.5 Cd	42.9 Cb	81.3 Ba	5.31
6-5	59.9 Bc	37.6 Bd	71.5 Bb	107.5 Aa	6.53
7-6	69.2 Ac	47.8 Ad	86.5 Ab	105.2 Aa	5.48
EEM	4.65	2.94	6.07	7.64	

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
 abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes (P>0.05).
 ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes (P>0.05).

Hernández-Garay *et al.* (1992) obtuvieron mayor AF en alfalfa, al cortar cada 6 y 8 semanas, mientras que el corte frecuente afectó la capacidad de rebrote, la altura y área foliar de la alfalfa, disminuyó el rendimiento y, por tanto, se esperarí una menor

persistencia del cultivo. Sin embargo, Zaragoza (2004) en una asociación alfalfa pasto ovillo, encontró que los mayores valores de AF de alfalfa, se obtuvieron en verano (julio-septiembre) y octubre (193 y 184 cm² tallo⁻¹, respectivamente), que coincidieron con los rendimientos más elevados de forraje.

En las Figura 8 y 9 se presenta la relación que existe entre la altura con el AF por tallo de alfalfa y, como consecuencia con el rendimiento.

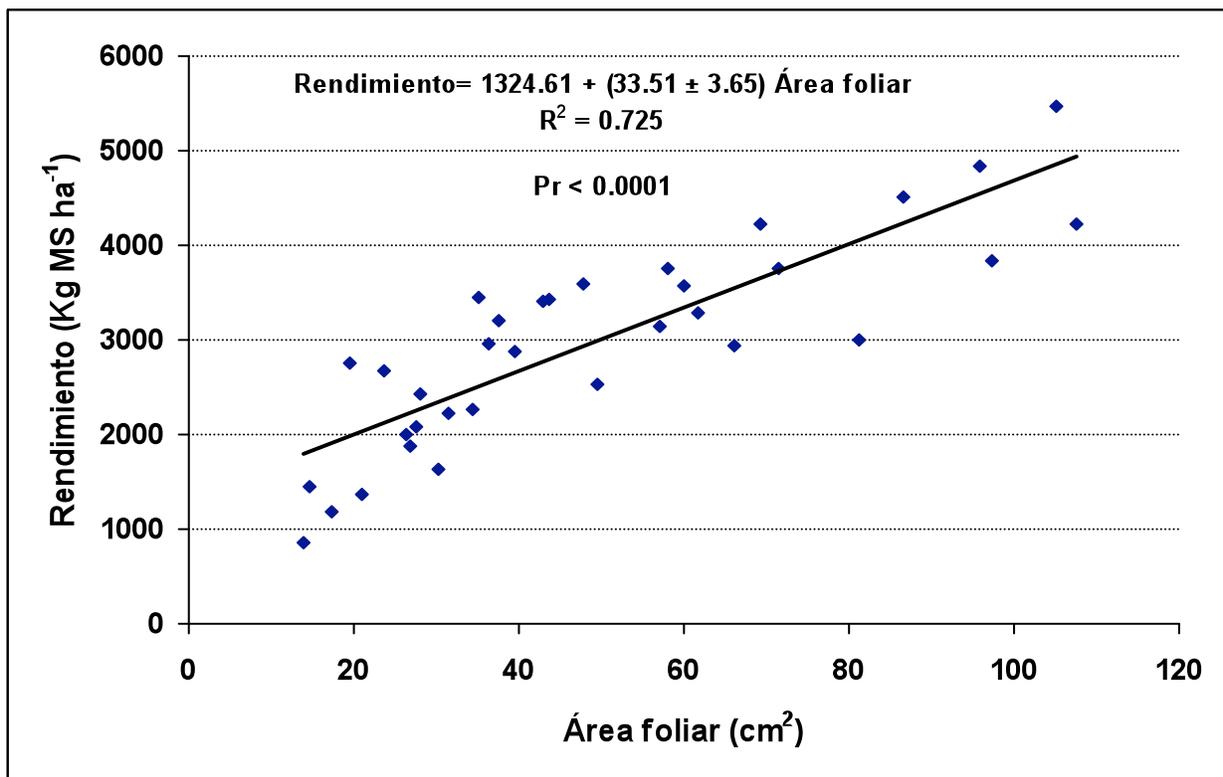


Figura 8. Relación entre el rendimiento de forraje (kg MS ha⁻¹) y el área foliar por tallo de alfalfa. Montecillo, México, 2006-2007.

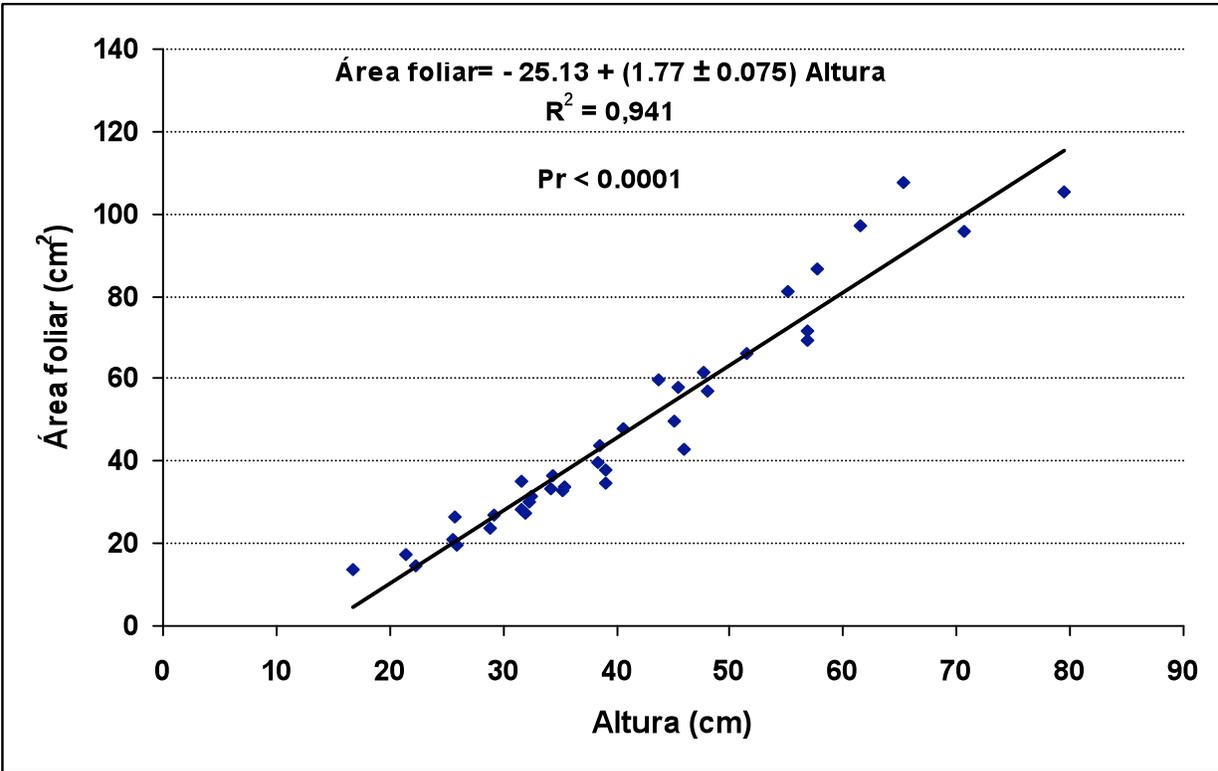


Figura 9. Relación entre el área foliar por tallo (cm²) y la altura de la planta de alfalfa (cm). Montecillo, México, 2006-2007.

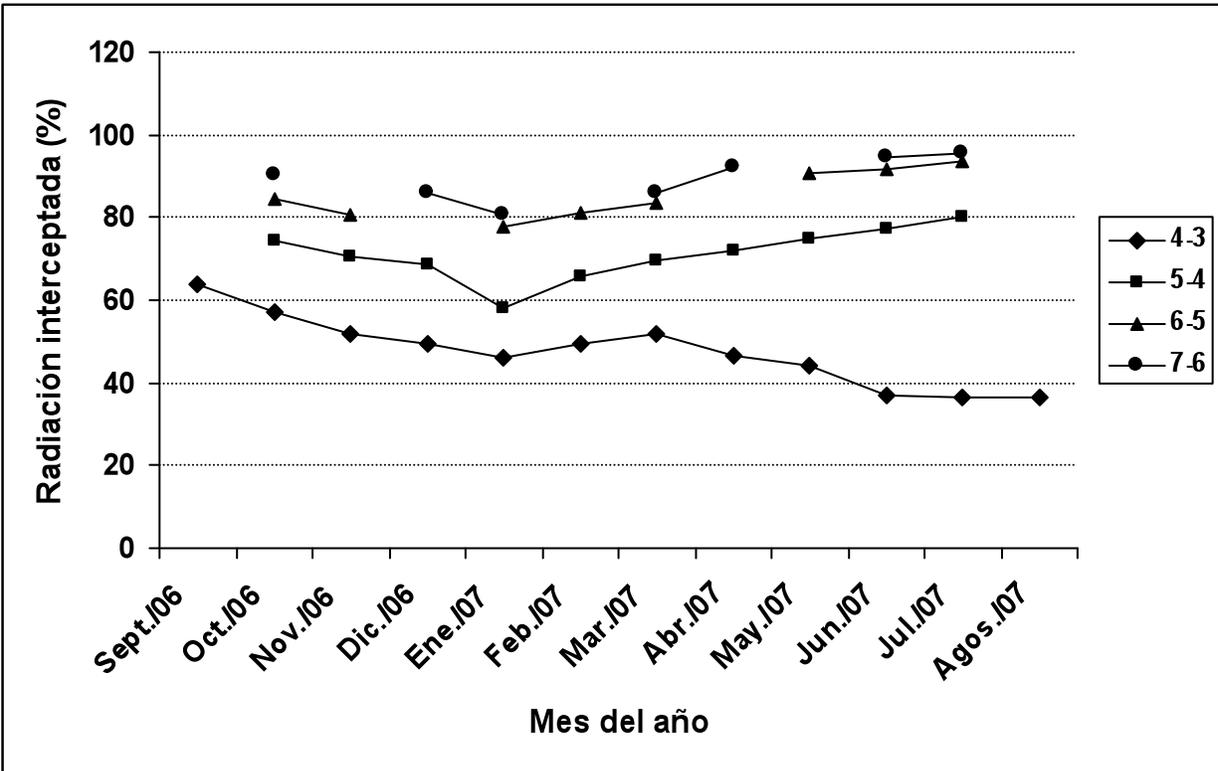
En las Figuras 8 y 9 se observó que, al aumentar la frecuencia de corte, disminuyó la altura de la planta, reflejado en una menor AF por tallo y, por tanto, una reducción en el rendimiento. Para este caso los menores valores de AF por tallo (13.8 cm²), coincidieron con los menores valores de altura (16.8cm) y con el menor rendimiento (855 Kg MS ha⁻¹), que se registraron en enero, cuando fue cortada cada 4 semanas en otoño-invierno y los mayores de 105.2 cm² tallo⁻¹, 79.43 cm de altura y un rendimiento de 5475 kg MS ha⁻¹, con frecuencias de corte cada 6 semanas en primavera-verano. Por ello, de manera general, se puede mencionar que para incrementar el rendimiento de materia seca por hectárea, es necesario incrementar los

intervalos entre cortes de la alfalfa, mismos que coinciden con los mayores valores de altura y de AF registrados, mediante un aumento en el intervalo de cortes de la alfalfa.

4.7. Radiación interceptada

La radiación interceptada (RI) se presenta en la Figura 10. Los mayores valores de RI ocurrieron cuando la alfalfa se cosechó cada 7 semanas en otoño-invierno y cada 6 en primavera-verano, con un promedio anual de 89% de radiación interceptada. Los menores valores ocurrieron (promedio anual de 48%) cuando las frecuencias de corte fueron de 4 semanas para otoño-invierno y para primavera-verano de 3 semanas; en ésta frecuencia de corte, la caída en la intercepción de radiación ocurrió a partir de abril como resultado de una disminución en el rendimiento y mayores espacios vacíos entre las plantas que permitieron mayor llegada de la luz al suelo. Entre las diferentes frecuencias de corte, la menor RI ocurrió en agosto con 35%, cuando fueron cosechadas las plantas cada 3 semanas y el mayor valor ocurrió en julio (96 %), con frecuencias de corte cada 6 semanas.

La RI fue afectada significativamente ($P < 0.05$) por la frecuencia de corte y la estación (Cuadro 7). Los menores valores se presentaron con intervalos de corte de 4 y 3 semanas, durante todo el periodo de evaluación ($P < 0.05$) con 36% de RI para verano. En la misma frecuencia de corte (4 y 3 semanas), el mayor valor de radiación interceptada, ocurrió en otoño, seguido de invierno y primavera, con 57, 50 y 47%, respectivamente.



4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente.

Figura 10. Radiación interceptada (%) en alfalfa, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2006.2007.

En las frecuencias de corte de 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 4, 5 y 6 para primavera-verano se registró el mayor porcentaje de radiación en verano (80, 94 y 96% para la frecuencia de 4, 5 y 6 semanas, respectivamente), seguido de primavera (72, 91 y 92% para la frecuencia de 4, 5 y 6 semanas, respectivamente), luego otoño (70, 75 y 90% para la frecuencia de 5, 6 y 7 semanas, respectivamente) e invierno (66, 78 y 90% para la frecuencia de 5, 6 y 7 semanas, respectivamente), lo cual coincide con el patrón de área foliar por tallo y de altura de la alfalfa, por lo que a medida que se incrementa la cantidad de área foliar por planta y la altura, se incrementa la RI, por tanto, menor será la radiación que llegue al suelo.

La mayor RI se presentó en verano, en cortes cada 6 semanas con 96%. Al respecto Baguet y Babera (2001), consignan que a medida que el IAF aumenta, menor será la cantidad de luz que llegue al suelo y mayor será la TC de las plantas y cuando, prácticamente, toda la luz es interceptada, la TC es máxima y el valor del IAF se denomina "IAF óptimo", aunque también puede ocurrir que la superficie de hojas sea excesiva, por lo que el IAF es superior al óptimo y las hojas basales no reciben suficiente luz y, en estos casos, es común observar hojas basales amarillentas y muertas llegando en algunos casos a tener un crecimiento neto negativo.

Cuadro 7. Promedio estacional de radiación solar interceptada (%) en la alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	EEM
4-3	57 Da	50 Cb	47 Cb	36 Cc	1.97
5-4	70 Cbc	66 Bc	72 Bb	80 Ba	1.35
6-5	85 Bb	78 Ab	91 Aa	94 Aa	1.29
7-6	90 Ab	82 Ac	92 Aab	96 Aa	1.46
EEM	3.35	3.30	4.79	6.16	

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes (P>0.05).
ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes (P>0.05).

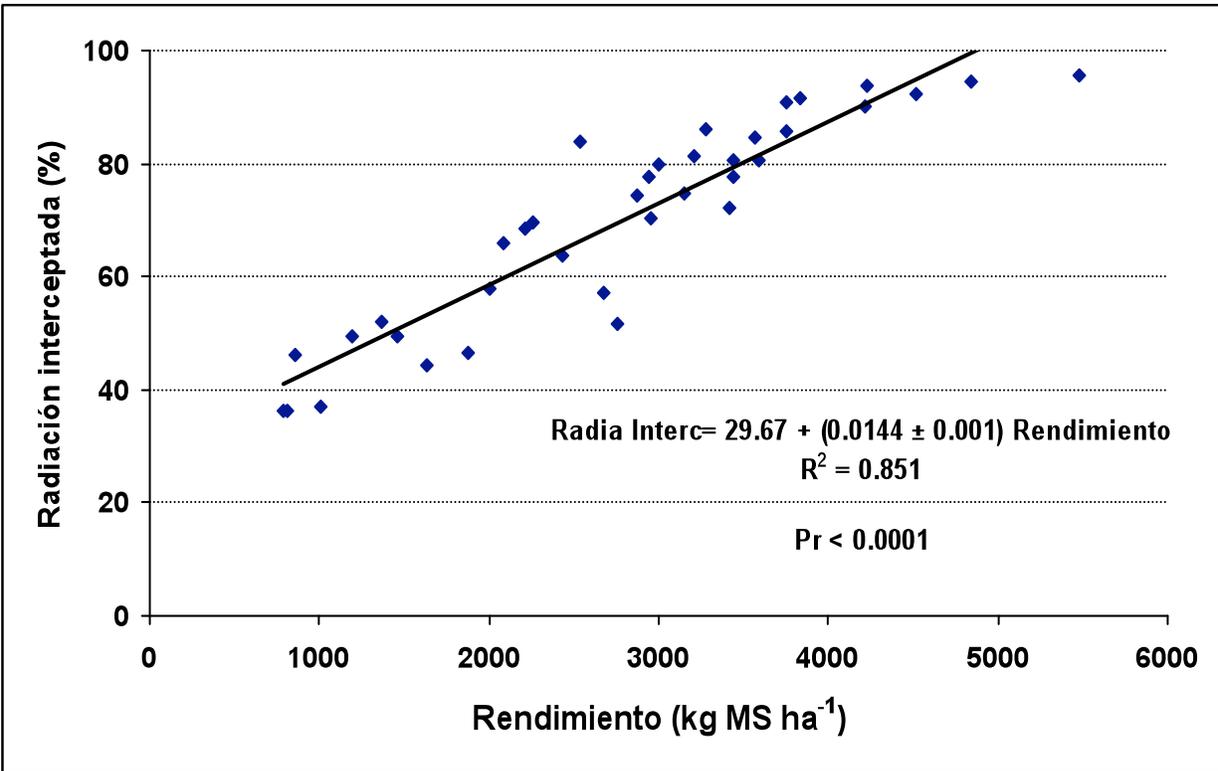


Figura 11. Relación entre la radiación interceptada (%) y el rendimiento de alfalfa (kg MS ha⁻¹). Montecillo, México, 2006-2007.

En general, se observa que a medida que se incrementó la frecuencia de corte, la RI fue menor, como resultado de una relación directa con menores valores de altura ($R^2=0.814$) y de rendimientos ($R^2=0.851$). Por lo que se puede mencionar, que a medida que existe menor altura y menores rendimientos, mayor será la radiación que pase hacia el suelo (Figuras 11 y 12).

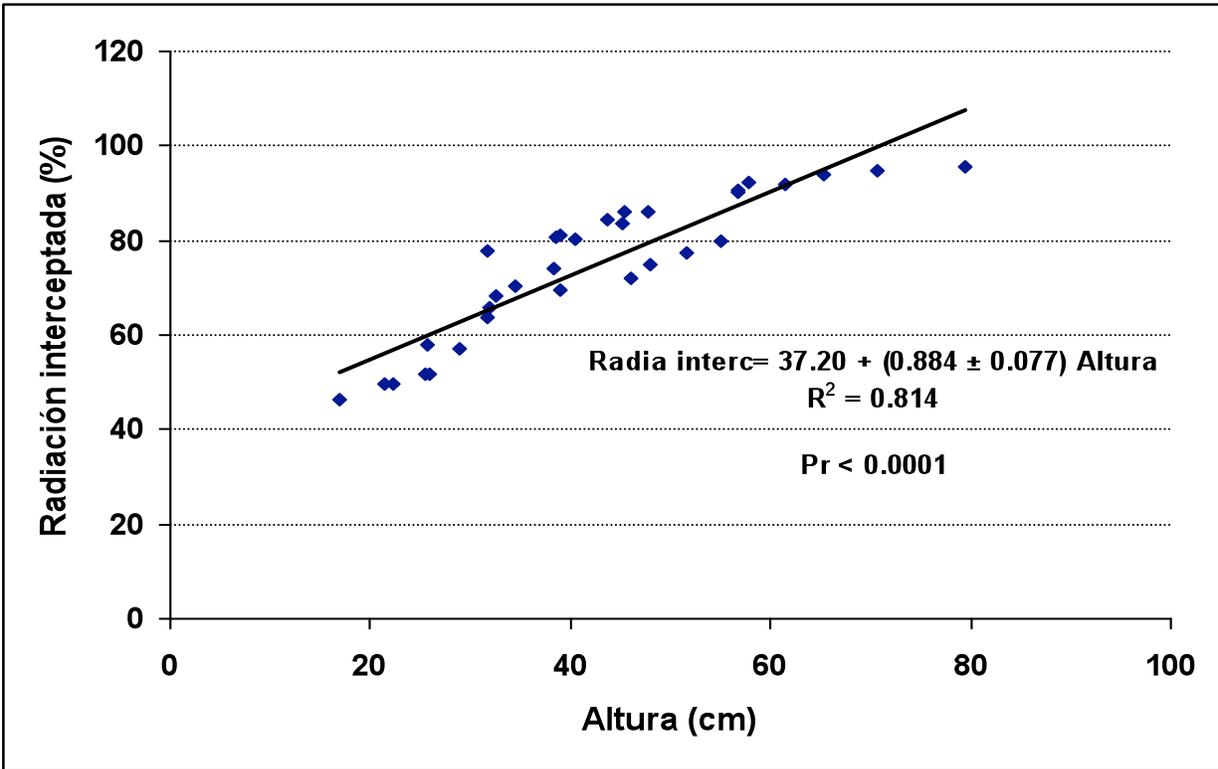


Figura 12. Relación entre la radiación interceptada (%) y la altura de la planta de alfalfa (cm). Montecillo, México, 2006-2007.

4.8. Densidad de tallos

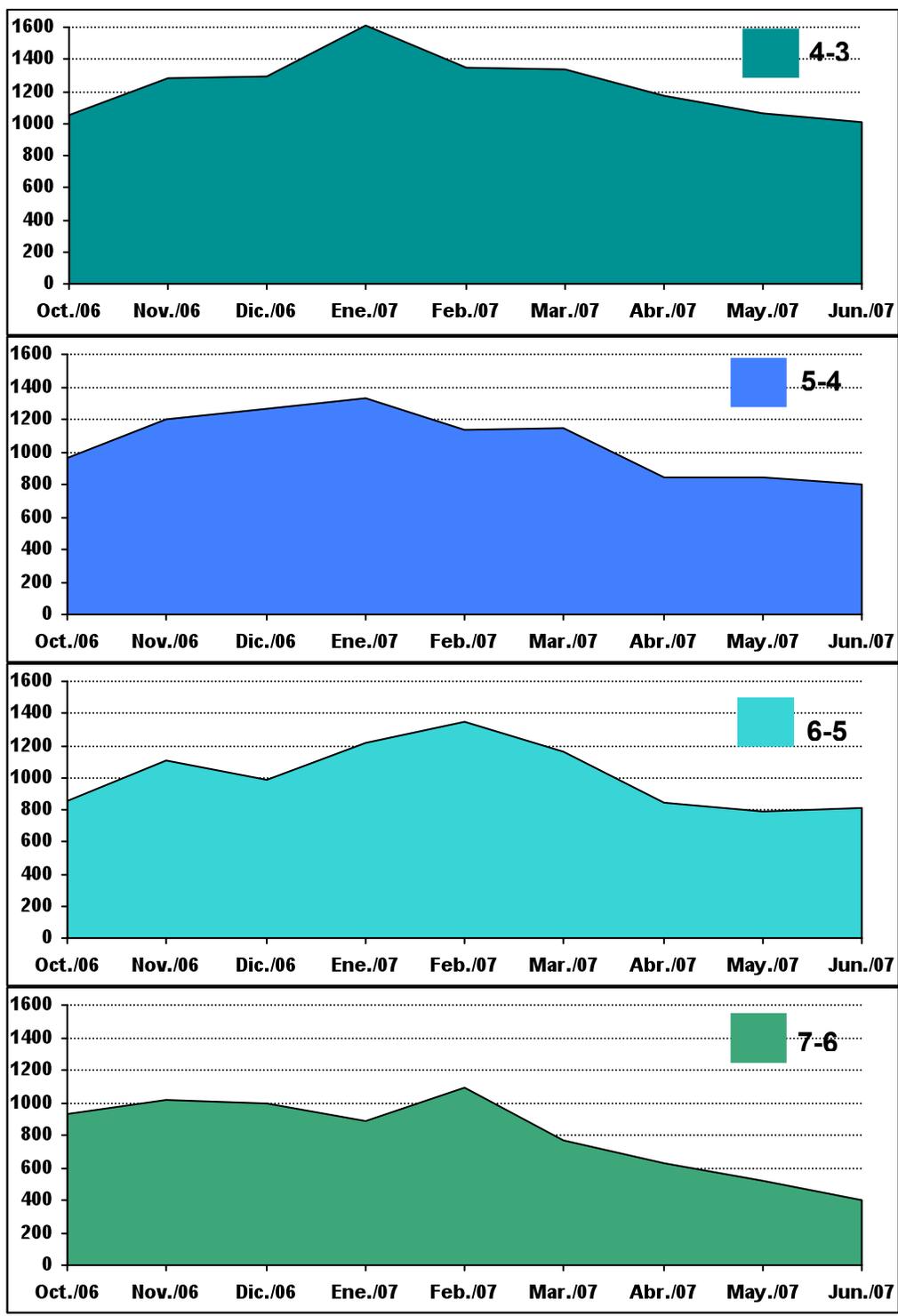
La densidad de tallos de alfalfa se presenta en la Figura 13. Para todas las frecuencias de corte se observa que la mayor densidad de tallos ocurrió en enero con 1610, 1330, 1210 y 900 tallos m^{-2} , cuando fueron cosechadas las plantas cada 4, 5, 6 y 7 respectivamente; es decir, conforme aumentó el intervalo entre cortes, disminuyó la densidad de tallo m^{-2} . También se observó que a partir de marzo comenzó a declinar la densidad de tallos, hasta alcanzar los menores valores en junio con 1006, 803, 806 y 4003 tallos m^{-2} para las frecuencias de corte de 3, 4, 5 y 6 semanas, respectivamente.

Al comparar las frecuencias de corte, se observa que, al incrementar el intervalo entre cortes, la densidad de tallos se redujo y que cuando los cortes fueron muy frecuentes se incrementó la densidad. Para este caso, la mayor densidad de tallos ocurrió cuando la alfalfa fue cosechada cada 4 semanas en otoño-invierno y 3 en primavera-verano, con un promedio para los nueve meses de 1224 tallos m^2 y los menores valores se presentaron con frecuencias de 7 y 6 semanas en otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente, con 805 tallos m^2 .

Para la frecuencia de 4 y 3 semanas se observó que, al pasar el tiempo se incrementó la densidad de tallos, hasta llegar a un máximo en enero y, posteriormente, tendió a disminuir y concluyó en junio con 1006; no obstante, cuando la alfalfa fue cosechada cada 7 y 6 semanas, ocurrió una marcada reducción de tallos, iniciando en octubre con 931 para terminar en junio con 403.

Con respecto al promedio estacional de tallos m^2 (Cuadro 8) se observó que a medida que los intervalos de corte son menores, la densidad de tallos fue mayor ($P < 0.05$). Entre las diferentes frecuencias de corte, el mayor valor ($P < 0.05$) se registra en invierno (1584 tallos m^2) cuando la alfalfa se cosechó cada 4 semanas y el menor (403 tallos m^2) para la estación de verano, con cortes cada 6 semanas. Entre las diferentes frecuencias de corte, solamente existió diferencia significativa ($P < 0.05$) en primavera y verano, cuando la alfalfa se cosechó cada 3 semanas, comparada con cortes de 6 semanas.

D e n s i d a d d e t a l l o s m²



M e s d e l a ñ o

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas en otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas en primavera-verano, respectivamente.

Figura 13. Densidad de tallos de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.

Montecillo, México, 2006-2007.

Cuadro 8. Promedio estacional en la densidad de tallos en alfalfa (tallos m²), cosechada a diferente frecuencia.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	EEM
4-3	1250 Aab	1584 Aa	1291 Aab	909 Ab	24.54
5-4	966 Aab	1281 Aa	1119 ABab	803 ABb	41.18
6-5	854 Aa	1136 Aa	1099 ABa	806 ABa	38.47
7-6	932 Aa	888 Aa	768 Bab	403 Bb	42.49
EEM	34.20	29.09	45.97	49.87	

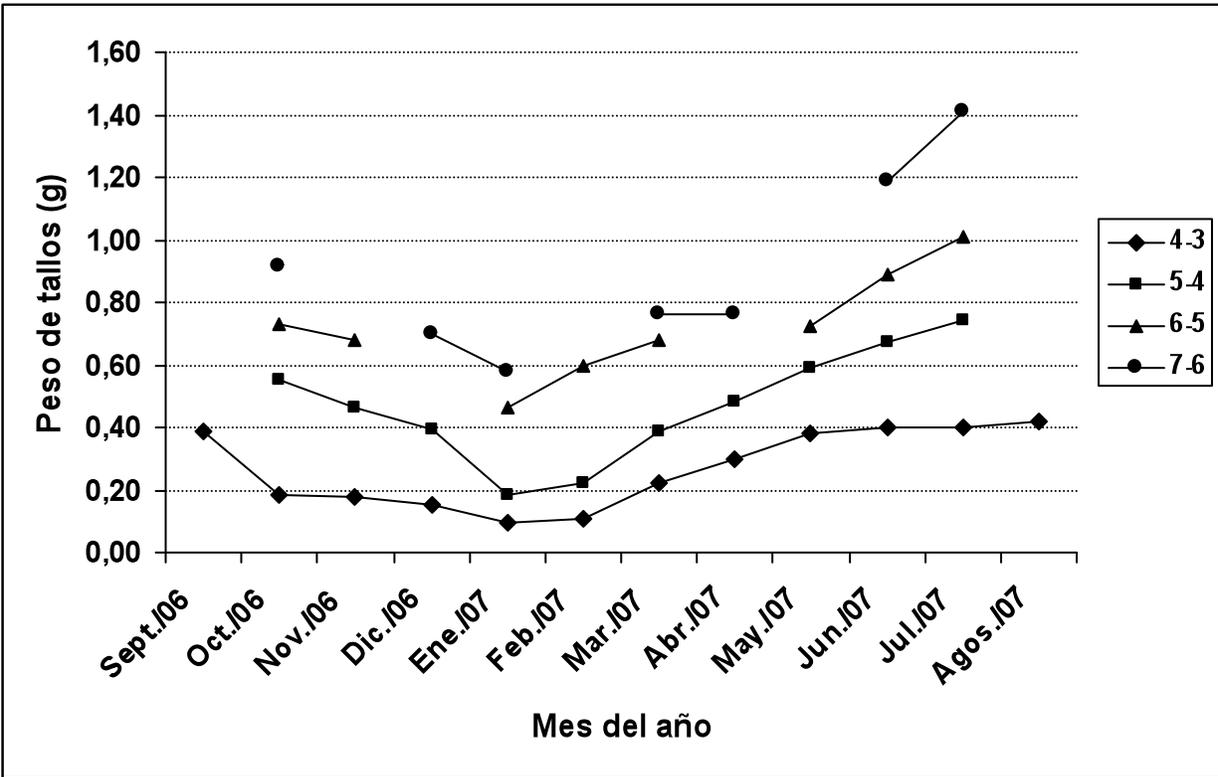
4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
 abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes (P>0.05).
 ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes (P>0.05).

De manera general, se observa que a medida que las frecuencias de corte son mayores, el número de tallos se incrementa y cuando las frecuencias de corte son menores, el número de tallos se reduce; en este caso se presentó un promedio de 1259 tallos m² durante el periodo de estudio, cuando la alfalfa fue cosechada cada 4 semanas en otoño-invierno y cada 3 para primavera-verano comparada con intervalos de corte de 7 y 6 semanas para otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente, misma que presentó una densidad promedio de 748 tallos m², estos datos presentan una diferencia de 41% de la primera frecuencia con esta última, equivalente a 511 tallos m². Resultados similares reportó Zaragoza (2004), al realizar un estudio con alfalfa asociada con ovillo, quién encontró que a mayor severidad de pastoreo, existió mayor densidad de tallos durante enero y febrero (1340-1360 tallos m²) y la más baja en junio, julio y septiembre (entre 640 y 730 tallos m²).

4.9. Peso por tallo

En la Figura 14 se observa que a medida que se redujo el intervalo entre cortes se disminuyó el peso por tallo de alfalfa. En este caso el menor peso (g) por tallo se presentó cuando la alfalfa se cosechó cada 4 o 3 semanas, con una media de 0.27 g por periodo y el mayor peso por tallo con frecuencia de corte de 7 y 6 semanas, con 0.90 g, por tallo en promedio. El mayor peso promedio por tallo de alfalfa fue de 1.41 g y se registró en julio cosechada cada 6 semanas y el más bajo (0.10 g) ocurrió en enero, cuando la alfalfa se cortó cada 4 semanas. Independientemente de la frecuencia de corte los valores más bajos se registraron en enero (0.10, 0.18, 0.46 y 0.58 g para la frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas, respectivamente) y los más altos en julio (0.40, 0.74, 1.01 y 1.41 g para frecuencias de corte de 3, 4, 5 y 6 semanas, respectivamente).

El peso por tallo de alfalfa mostró cambios significativos ($P < 0.05$) por interacción de corte con estación (Cuadro 9). Sin importar los tratamientos evaluados los menores valores de peso por tallo, ocurrieron en invierno y los mayores durante verano ($P < 0.05$), coincidiendo con los meses más fríos y más calurosos, respectivamente (Fig. 1). Por su parte Zaragoza (2004) encontró el mayor peso por tallo en primavera y el menor en invierno con 1.3 y 0.30 g, respectivamente.



4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente.

Figura 14. Peso por tallo (g) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2006-2007.

Conforme se incrementa el intervalo de corte de 4 y 3 semanas para otoño-invierno y primavera-verano a intervalos de corte más largos se observó, un aumento progresivo en el peso de los tallos de alfalfa, en todas las frecuencias de corte. El valor más bajo se registró en invierno (0.110 g) cuando se cosechó cada 4 semanas y el más alto (1.410) en verano con intervalo entre cortes de 6 semanas.

Cuadro 9. Peso promedio por tallo de alfalfa (g), cosechada a diferente frecuencia.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	EEM
4-3	0.200 Dbc	0.110 Dc	0.310 Dab	0.410 Da	0.029
5-4	0.463 Cab	0.335 Cc	0.510 Cb	0.670 Ca	0.032
6-5	0.748 Bab	0.618 Bc	0.825 Bb	1.010 Ba	0.038
7-6	0.915 Ac	0.723 Ad	1.070 Ab	1.410 Aa	0.067
EEM	0.062	0.071	0.075	0.058	

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
 abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($P>0.05$).
 ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes ($P>0.05$).

Como se puede observar en la Figura 15 existió una relación lineal inversa ($R^2=0.74$) entre la densidad de tallos y el peso de los mismos, es decir, que cuando se incrementó la densidad de los tallos se redujo el peso de los mismos, y viceversa, por lo que, la densidad menor de tallos ($403 \text{ tallos m}^{-2}$) y el peso más alto (1.41 g), se registraron en julio, cuando los intervalos de corte fueron de 6 semanas y cuando la densidad de tallos fue mayor, se registró el menor tallo ($1610 \text{ tallos m}^{-2}$ y 0.15 g, respectivamente) en enero, cuando la alfalfa fue cosechada con intervalos de corte cada 4 semanas.

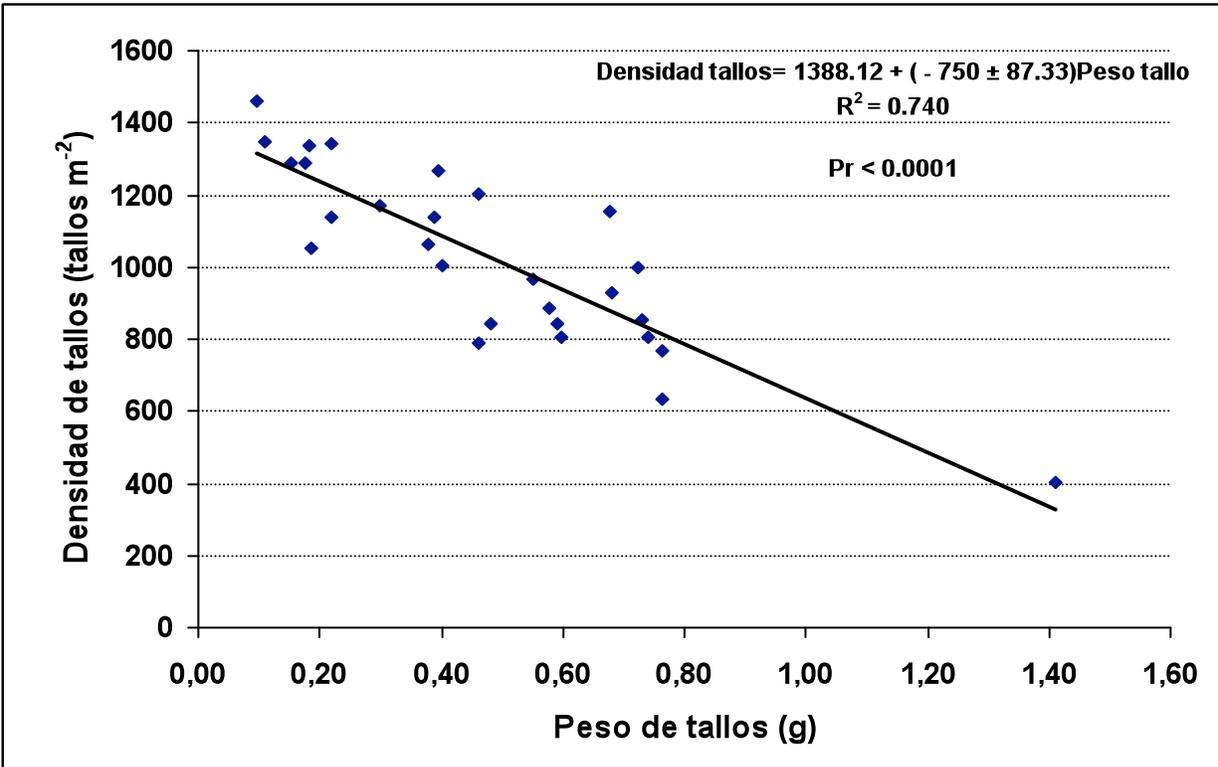


Figura 15. Relación entre la densidad y peso de tallos (g) de alfalfa durante el periodo de estudio. Montecillo, México, 2006-2007.

4.10. Proteína en hoja y tallo

Los porcentajes de proteína en tallos y hojas de alfalfa, cosechada a diferentes frecuencias, se presentan en los Cuadros 10 y 11. En ambos casos se observa que existió efecto ($P < 0.05$) por tratamiento y por estación. El mayor y menor valor de proteína en hoja se registró durante el invierno (38.0 %) con cortes cada 4 semanas y la menor con 23.4 % en verano, cosechada cada 6 semanas ($P < 0.05$). Al igual que en el peso por tallo de alfalfa, independientemente del tratamiento, los mayores valores de proteína ocurrieron durante el invierno y los menores en verano ($P < 0.05$). En orden descendente el porcentaje de proteína fue: invierno > primavera > otoño > verano con 38.0, 35.8, 34.2 y 33.2 % de proteína en hojas.

Los menores porcentajes de proteína se presentaron en la frecuencia de corte de 7 y 6 semanas para otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente. En éste tratamiento el mayor valor de proteína en hojas, ocurrió en invierno, seguido de otoño, primavera y verano, con 29.0, 28.3, 27.0 y 23.4%, respectivamente.

El patrón que existió en el porcentaje de proteína en hoja fue que aumentó, al incrementarse la frecuencia de corte, es decir, los mayores porcentajes de proteína en hojas, ocurrieron con frecuencias de corte cada 4 y 3 semanas y los menores con 7 y 6 semanas, lo cual coincide con lo que establece la teoría, intervalos de corte largos presentan plantas con mayor madurez y por lo tanto con menor valor nutritivo (Jiménez y Martínez, 1984).

Cuadro 10. Promedio estacional en el contenido de proteína en hojas de alfalfa(%), cosechada a diferente frecuencia.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	EEM
4-3	34.2 Ac	38.0 Aa	35.8 Ab	33.2 Ad	0.43
5-4	32.9 Bc	36.1 Ba	34.4 Bb	31.5 Bd	0.50
6-5	31.2 Cc	33.4 Ca	32.3 Cb	25.4 Cd	0.88
7-6	28.3 Db	29.0 Da	27.0 Dc	23.4 Dd	0.59
EEM	0.61	0.86	0.85	1.07	

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
 abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes (P>0.05).
 ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes (P>0.05).

En un estudio realizado por Gómez *et al.* (2000) encontraron un comportamiento similar, pues hubo una reducción en el porcentaje de proteína al avanzar la edad de la alfalfa, con un valor de proteína de 31 a 17%, cuando fue cortada a 7 y 49 días, respectivamente. De igual forma Salas (1998), al comparar dos variedades de alfalfa (Valenciana y CUF-101), observó que a medida que fue cosechada la planta, conforme aumentó la edad al corte, disminuyó el porcentaje de proteína de 34% a 32%, para la tercera y séptima semanas de rebrote, respectivamente.

El porcentaje de proteína en tallo de alfalfa se observa en la Cuadro 11. Se nota que a medida que las frecuencias de corte son mayores, la cantidad de proteína en el tallo es también mayor y viceversa ($P < 0.05$).

Cuadro 11. Promedio estacional en el contenido de proteína en tallos de alfalfa (%), cosechada a diferente frecuencia.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	EEM
4-3	16.4 Ac	18.1 Aa	16.8 Ab	14.7 Ad	0.38
5-4	15.8 Bc	17.4 Ba	16.3 Bb	13.8 Bd	0.38
6-5	13.1 Cc	15.7 Ca	14.5 Cb	12.1 Cd	0.33
7-6	12.1 Db	13.5 Da	11.2 Dc	10.3 Dd	0.36
EEM	0.45	0.47	0.58	0.44	

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
 abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($P > 0.05$).
 ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes ($P > 0.05$).

Independientemente del tratamiento evaluado los mayores porcentajes de proteína se presentan en invierno y los menores en verano ($P < 0.05$). Al comparar los porcentajes de proteína entre tratamientos, el mayor valor ocurrió en invierno con cortes cada 4 semanas y el menor en verano, cosechada cada 6 semanas, con 18.1 y 10.3%, respectivamente. Entre tratamientos se observa que los mayores porcentajes de proteína se presentan para la frecuencia de corte de 4 y 3 semanas ($P < 0.05$). Entre estaciones el mayor valor de proteína fue en invierno, seguido por otoño, primavera y verano con 18.1, 16.4, 16.3 y 14.7%, respectivamente. Asimismo, el tratamiento que presentó el menor porcentaje de proteína en tallo fue el cosechado cada 7 y 6 semanas para otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente; por lo que existió efecto ($P < 0.05$) entre estaciones con mayor valor para invierno, seguido por otoño, primavera y verano, con 13.5, 12.1, 11.2 y 10.3%, respectivamente. Al respecto Jiménez y Martínez (1984), señalan que a medida que una planta forrajera madura, hasta completar su ciclo reproductivo, los cambios físicos y químicos que experimenta, provocan disminución en el contenido de proteína, por lo que la relación entre la madurez y la calidad de los forrajes es inversa. Datos similares reporta Salas (1998), al comparar dos variedades de alfalfa en verano y otoño, pues observó que hubo más proteína en hoja que en tallo y que el mayor valor lo tuvo la variedad Valenciana con 23.07%, para la tercera semana de rebrote en verano.

Al comparar los valores de proteína en hoja contra la del tallo de invierno, en la frecuencia de corte cada 4 semanas, se presentó una diferencia de 19%, disminuyendo a 13% en hoja contra la de tallo; en la estación de verano cuando fue

cosechada cada 6 semanas. Estos resultados indican que existe, aproximadamente, 50% menos proteína en tallo, con respecto a la de hoja y que, tanto la hoja como el tallo, contienen mayor cantidad de proteína en invierno y menor en verano.

4.11. Digestibilidad de hoja y tallo

Los porcentajes de digestibilidad de hoja y tallo de alfalfa se muestran en los Cuadros 12 y 13. Se observa que a medida que se redujo la frecuencia de corte, disminuyó también el porcentaje de digestibilidad y que conforme se incrementó la frecuencia de corte aumentó la digestibilidad en hojas de alfalfa. El mayor valor de digestibilidad se registró en invierno ($P<0.05$) con 89.4%, con intervalo de cortes de 4 semanas y el menor (75.3%) en el verano a intervalos de 6 semanas, con una diferencia de 14.1 %.

Cuadro 12. Porcentaje estacional en la digestibilidad de hojas de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	EEM
4-3	87.6 Aab	89.4 Aa	87.4 Aab	85.3 Ab	0.42
5-4	86.3 ABa	86.6 ABa	84.1 ABa	82.9 ABa	0.51
6-5	83.4 BCab	84.6 Ba	82.5 BCab	79.8 Bb	0.57
7-6	80.6 Ca	83.5 Ba	79.9 Ca	75.3 Cb	0.82
EEM	0.72	0.64	0.77	0.94	

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
 abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($P>0.05$).
 ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes ($P>0.05$).

Los mayores porcentajes de digestibilidad ocurrieron con frecuencias de corte cada 4 y 3 semanas y solo existió diferencia significativa ($P < 0.05$) entre invierno y verano (89.4 y 85.3 %, respectivamente). Los menores porcentajes de digestibilidad de hojas de alfalfa se presentaron cuando fue cosechada cada 7 y 6 semanas, cuando hubo efecto ($P < 0.05$) en verano (75.3 %), con respecto a las demás estaciones; así este mismo tratamiento, tuvo el mayor valor de digestibilidad en invierno con 83.5 %. Cuando la alfalfa fue cosechada a 5 y 4 semanas, no se presentó efecto ($P > 0.05$) por estación, ni tampoco en los tratamientos que tuvieron 4 y 3 semanas y para cada 6 y 5 semanas.

El porcentaje de digestibilidad en tallos de alfalfa, se muestra en el Cuadro 13. Independientemente de la frecuencia de corte los mayores valores se presentaron en invierno, seguido de primavera, otoño y verano ($P < 0.05$). El valor más alto (78.6 %) de digestibilidad ($P < 0.05$) se registró en invierno con 4 semanas entre cortes y el menor (58.7 %) durante el verano a 6 semanas, con una diferencia entre ambos de 19.9%. Estos resultados muestran que, conforme se reducen las frecuencias de corte, la planta tiende a madurar y, como consecuencia, hay también una reducción en el porcentaje de digestibilidad en el tallo. Resultados similares encontraron Gómez *et al.* (2000), al analizar diferentes variedades de alfalfa en Chapingo, Estado de México, cuando a medida que avanzó la edad de la planta, disminuyó la digestibilidad de 74 a 64 %, al comparar la planta de alfalfa, con 7 y 49 días de rebrote, respectivamente.

Entre las frecuencias de corte los mayores valores de digestibilidad se observaron al cosechar la alfalfa cada 4 y 3 semanas de rebrote, en el cual no existió efecto

($P>0.05$) de estación y los menores valores ocurrieron con frecuencia de cortes de 7 y 6 semanas, en el verano ($P<0.05$).

Al comparar los porcentajes de digestibilidad de hoja de alfalfa, con relación a los del tallo, cosechada cada 7 semanas en invierno, ocurrió una diferencia del 10.8%. También hubo una diferencia de 16.6 %, en hojas contra tallos de alfalfa, cuando se cosecharon cada 6 semanas en verano, por lo que estos resultados indican que existe, aproximadamente, un promedio de 17 % menos de digestibilidad en tallo, con respecto al de hoja y, que tanto la hoja como el tallo, presentan mayor digestibilidad en invierno y menor en verano.

Cuadro 13. Porcentaje estacional en la digestibilidad de tallos de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	EEM
4-3	74.6 Ab	78.6 Aa	76.2 Aab	73.4 Aab	0.54
5-4	66.9 Bbc	77.3 Aa	70.1 Bb	65.4 Bc	0.94
6-5	65.3 Bbc	72.2 Ba	68.7 Bab	62.8 Bc	0.96
7-6	63.3 Bb	69.5 Ba	65.8 Bb	58.7 Cc	0.73
EEM	0.84	0.99	1.02	0.86	

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
 abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($P>0.05$).
 ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes ($P>0.05$).

Si bien es cierto que la acumulación de forraje en una pradera, es mayor si el intervalo entre defoliaciones es largo, el valor nutritivo de la misma es menor, por lo

que las praderas deben cosecharse antes de que alcancen la máxima acumulación de materia seca por hectárea.

4.12. Rendimiento de proteína por hectárea en hoja y tallo

El Cuadro 14 presenta el rendimiento por hectárea de proteína en hoja de alfalfa. Se presentó efecto ($P < 0.05$) de tratamiento por estación. Los menores valores ($P < 0.05$) se registraron con intervalos de corte cada 4 y 3 semanas, y presentaron el siguiente orden descendente de otoño > primavera > invierno > verano con 796, 594, 419 y 289 kg proteína ha^{-1} , respectivamente; en esta frecuencia de corte, el menor valor se observó en verano debido a que en éste se registró menor rendimiento (869 kg MS ha^{-1}) y se presentó el menor contenido de proteína (33.2 %).

La mayor cantidad en kg proteína ha^{-1} se registró cuando la alfalfa tuvo intervalos entre cortes de 7 y 6 semanas, durante todo el estudio ($P > 0.05$); de igual forma sucedió cuando se cosechó cada 6 y 5 semanas. Esto se debió a una compensación entre el rendimiento y contenido de proteína, ya que aunque para otoño-invierno existió mayor contenido de proteína, pero el rendimiento fue menor y cuando se obtuvieron altos rendimientos promedio (primavera-verano) el contenido de proteína fue menor. Cuando la alfalfa fue cosechada cada 3 y 4 semanas en verano, se observa un valor menor ($P < 0.05$) con respecto a primavera, debido a que a partir de esta última, se empezó a perder plantas de alfalfa, por lo que el rendimiento también disminuyó, teniendo como consecuencia menores valores de proteína ha^{-1} .

En la interacción de tratamiento con estación del año el menor y mayor valor ($P < 0.05$) se registraron en verano con 289 y 1296 kg proteína ha^{-1} , cuando la alfalfa se cosechó a frecuencias de 3 y 6 semanas, respectivamente. Al comparar los tratamientos en invierno y primavera, se observó que la única frecuencia de corte que presentó efecto significativo ($P < 0.05$) con respecto a las demás, fue la de 4 y 3 semanas.

Cuadro 14. Rendimiento de proteína en hoja de alfalfa (kg ha^{-1}), cosechada a diferente frecuencia.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	EEM
4-3	796 Aa	419 Bbc	594 Bab	289 Cc	51.9
5-4	875 ABab	763 Ab	1089 Aa	945 Bab	35.3
6-5	1092 ABa	1035 Aa	1233 Aa	1088 BCa	38.7
7-6	1131 Aa	998 Aa	1277 Aa	1296 Aa	40.6
EEM	39.5	66.3	74.5	100.9	

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
 abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($P > 0.05$).
 ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes ($P > 0.05$).

En general, se observa que a medida que la frecuencia de corte se redujo, el rendimiento de proteína en hoja aumentó progresivamente, de un valor promedio entre las estaciones de 524 kg proteína ha^{-1} , con cortes cada 4 y 3 semanas a 1176 kg proteína ha^{-1} con intervalos de 7 y 6 semanas, con una diferencia entre ellos de 652 kg proteína ha^{-1} , equivalente al 55%, aproximadamente.

El menor y mayor valor de proteína ha^{-1} en tallo de alfalfa se registró en verano, con 128 y 565 kg proteína ha^{-1} , cuando la alfalfa se cosechó cada 3 y 6 semanas, respectivamente (Cuadro 15). Los menores valores de rendimiento de proteína en tallo ($P < 0.05$) se obtuvieron con cortes cada 4 y 3 semanas; siendo en verano (128 kg proteína ha^{-1}) cuando se registró el menor valor. Este resultado se esperaría que ocurriera en invierno, como sucedió en las demás frecuencias de corte; sin embargo, esto se debió a que hubo una pérdida de plantas por cortes frecuentes, por tanto, hubo menor rendimiento, aunado a que en verano se tuvo menor contenido de proteína (14.7%) con respecto a las demás estaciones del año. Los mayores valores de proteína se registraron cuando la alfalfa se cosechó cada 7 y 6 semanas, en el orden descendente siguiente: verano > primavera > otoño > invierno, con 565; 524; 504 y 474 kg proteína ha^{-1} , respectivamente ($P > 0.05$). No existió diferencia significativa ($P > 0.05$) por efecto de estación cuando se cosechó cada 6 y 5 semanas. Lo anterior pudo deberse a que existió una compensación entre el rendimiento y contenido de proteína, ya que en otoño-invierno existió mayor contenido de proteína, pero el rendimiento promedio por corte fue menor y cuando se obtuvieron altos rendimientos (primavera-verano) la proteína fue menor (Cuadro 2 y 11, respectivamente). Con cortes cada 3 y 4 semanas en verano se observa un valor menor de rendimiento de proteína ($P < 0.05$) con respecto a primavera, atribuido a que a partir de esta estación se empezó a perder planta de alfalfa, por lo que el rendimiento también se disminuyó, produciendo como consecuencia, menores rendimientos de proteína ha^{-1} .

Cuadro 15. Rendimiento de proteína en tallo de alfalfa (kg ha⁻¹), cosechada a diferente frecuencia.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	EEM
4-3	383 Ba	206 Bbc	269 Bab	128 Cc	25.3
5-4	419 ABab	365 Ab	532 Aa	414 Bbc	18.1
6-5	464 ABa	468 Aa	565 Aa	520 ABa	14.8
7-6	504 Aa	474 Aa	524 Aa	565 Aa	11.4
EEM	14.5	29.1	31.9	44.8	

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
 abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes (P>0.05).
 ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes (P>0.05).

En general, se observa que a medida que los intervalos de corte se incrementaron, los rendimientos de proteína por hectárea en tallo aumentaron progresivamente, de un promedio entre las estaciones de 246 kg proteína ha⁻¹, cuando se cortó cada 4 y 3 semanas a 517 kg proteína ha⁻¹ con intervalos de corte de 7 y 6 semanas, con una diferencia de 271 kg proteína ha⁻¹, equivalente al 53%, aproximadamente.

4.13. Materia seca digestible total en hoja y tallo de alfalfa

La materia seca digestible total (MSDT) en hoja y tallo, se presentan en los Cuadros 16 y 17. En ambos casos existió efecto significativo (P<0.05) por interacción de estación por frecuencia de corte. Los mayores valores (P<0.05) se registraron cuando la alfalfa fue cosechada cada 7 y 6 semanas, con el siguiente orden descendente: verano > primavera > otoño > invierno con 4118; 3733; 3213 y 2870 kg de MSDT; en verano se presentó la menor digestibilidad de la materia seca (75.3 %),

pero se compensó al existir el mayor rendimiento promedio (5,475 kg MS ha⁻¹), teniendo como resultado mayor cantidad de MSDT. Los menores valores de MSDT se observaron con intervalos de corte de 4 y 3 semanas; siendo en verano cuando se presentó el menor valor (742 kg MSDT) debido a una menor digestibilidad (85.3 %) y rendimiento (869 Kg MS ha⁻¹), que provocó como resultado menor MSDT en esta frecuencia (4 y 3 semanas).

Conforme la frecuencia de corte fue menor, los kg de MSDT en hoja de alfalfa aumentaron paulatinamente, de un promedio de 1311 kg MSDT cuando la alfalfa tuvo intervalos de corte de 4 y 3 semanas, y de 3484 Kg MSDT cuando se cosechó cada 7 y 6 semanas (P<0.05).

Los rendimientos de MSDT en tallo se presentan en el Cuadro 17. En general se observó que conforme aumento el intervalo entre cortes se incrementó la MSDT. El menor valor se presentó en verano (655 kg MSDT) al cortar cada 3 semanas y se debió a que en esta frecuencia existió una pérdida de plantas a partir de la primavera y, por tanto, en el rendimiento, atribuido a cortes excesivos durante estaciones previas; aunado a que en esta estación se presentó la menor digestibilidad (73.4 %).

Cuadro 16. Materia seca digestible total (kg ha⁻¹) en hoja de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	EEM
4-3	2040 Ca	1018 Cbc	1444 Cab	742 Dc	132.3
5-4	2309 BCab	1831 Bb	2667 Ba	2482 Cab	87.3
6-5	2924 ABab	2595 Ab	3128 ABab	3375 Ba	100.3
7-6	3213 Abc	2870 Ac	3733 Aba	4118 Aa	134.2
EEM	129.1	190.6	224.3	329.9	

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
 abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes (P>0.05).
 ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes (P>0.05).

Los mayores rendimientos de MSDT se presentaron cuando la alfalfa fue cosechada cada 7 y 6 semanas, con el siguiente orden descendente: 3106 > 2841 > 2522 > 2388 kg MSDT para primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente (P<0.05). Los menores valores se registraron con intervalos de corte de 4 y 3 semanas con 1715; 1259, 893 y 655 kg MSDT para otoño, primavera, invierno y verano, respectivamente (Cuadro 17). En ésta frecuencia (4 y 3 semanas) el mayor valor se registró en otoño, por tener un alto rendimiento de forraje (2,343 kg MS ha⁻¹) y una alta digestibilidad (74.6 %) con respecto a las demás estaciones.

No existió diferencia significativa (P>0.05) entre frecuencias de corte de 6-5 y 7-6 semanas, debido a una compensación entre el rendimiento promedio con la digestibilidad, ya que cuando se cosechó cada 6-5 semanas la digestibilidad fue mayor

pero el rendimiento menor, con respecto a la frecuencia de corte cada 7 y 6 semana, durante otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente. En general se observa que tanto en hoja como en tallo, la MSDT se incrementa cuando la frecuencia de corte de reduce y vicerversa y que existe un 50% menos de MSDT en tallos con respecto a las hojas.

Cuadro 17. Materia seca digestible (Kg ha⁻¹) en tallo de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	EEM
4-3	1715 Ca	893 Cbc	1259 Cab	655 Cc	108.6
5-4	1791BCab	1636 Bb	2222 BCa	1961 Bab	65.7
6-5	2288 ABa	2214 Aa	2605 ABa	2654 Aa	73.2
7-6	2522 Aa	2388 Ab	2841 Aab	3106 Aa	83.5
EEM	154.9	94.0	162.1	243.9	

4-3, 5-4, 6-5 y 7-6= Frecuencia de corte de 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño-invierno y 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera-verano, respectivamente. EEM= Error estándar de la media
abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes (P>0.05).
ABCD=Medias con la misma literal mayúscula en una misma columna, no son diferentes (P>0.05).

5. CONCLUSIONES

- ✓ El mayor rendimiento anual de forraje se registró al cosechar la alfalfa cada 6 y 7 semanas.
- ✓ Existió un balance entre densidad- peso de tallos, ya que a medida que se redujo la frecuencia de corte, también disminuyó el número de tallos, con incremento en el peso de los mismos y cuando se incrementó la frecuencia de corte ocurrió lo contrario.
- ✓ A medida en que se incrementó la frecuencia de corte, aumentó el contenido de proteína y digestibilidad del forraje y también la relación hoja:tallo, con menor presencia de material muerto, y menor rendimiento de MS por hectárea.
- ✓ Los cortes frecuentes disminuyen la altura, área foliar por planta, radiación interceptada, y por tanto, el rendimiento, por lo que se logra en el tiempo una menor persistencia de la pradera.
- ✓ Los mayores rendimientos estacionales se presentaron con cortes cada 6 semanas en otoño e invierno y a la quinta y cuarta semana durante primavera y verano, respectivamente.

6. LITERATURA CITADA

- Alcántara, G. G., y Trejo, T. L. 2007. Nutrición de cultivos. Colegio de Postgraduados. 1ª Edición. Editorial Mundi Prensa. Montecillo, México S. A. 705 p.
- Améndola, M. R. D., Castillo, G. E. y Martínez, H. P. A. 2005. Pasturas y cultivos forrajeros. http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/spanishtrad/mexico_sp/Mexico_sp.htm 52 p.
- AOAC. 1965. Oficial methods of analysis. Association of Oficial Analytical Chemists 14th ed. Washington, D. C. 183 p.
- Avice, J. C., A. Ourry, G. Lemaire and J. Boucaud. 1996. Nitrogen and carbon flows estimated by ¹⁵N y ¹³C pulse chase labeling during regrowth of *Medicago sativa* L. Plant Physiology. 112:281-290.
- Azcon-Bieto, J. y Talon, M. 1993. Fisiología y bioquímica vegetal. Ed. Interamericana McGraww-Hill. Madrid, España. 581 p.
- Baguet, H. A. y Bavera, G. A. 2001. Fisiología de la planta pastoreada. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional del Río Cuarto. Provincia de Córdoba, Argentina. http://www.produccionovina.com.ar/produccioymanejo/pasturas/pastoreosistemas/04fisiologia_de_la_planta_pastoreada.htm
- Bahmani, I. , Hazard L., Varlet – Grancher C., Betin M., Lemaire G., Matthew C. y Thom E. R. 2000. Differences in tillering of long and short leaved perennial ryegrass genetic lines under full light and shade treatments. Crop Sci. 40 : 1095 – 1102.
- Bidwell, R. G. S. 1979. Fisiología Vegetal. . A. G. T. Editor. A. A. México. 784 p.

- Bircham, J. D. and J. Hodgson. 1983. The influence of sward conditions on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous grazing management. *Grass and Forage Science*. 38:323-331.
- Bouton, J. H. 2001. Alfalfa. In: *Proceedings of the XIX International Grassland Congress*. Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil. pp: 545-547.
- Brown, L. G., C. S. Hoveland and K. J. Karnok. 1990. Harvest management effects on alfalfa yield and root carbohydrates in three Georgia environments. *Agron. J.* 82:267-273.
- Briske, D. D. 1991. Development morphology and physiology of grasses. In: *Grazing Management: an ecological perspective*. Heitschmidt, R. K., Stuth J. W. (eds.). Timber Press, Portland, Oregon, USA. pp. 85-108.
- Briske, D. D., Boutton, T. W. and Wang, Z. 1996. Contribution of flexible allocation priorities to herbivore tolerance in C4 perennial grasses: an evaluation with 13 Clabelling. *Oecologia*. 105:151-159.
- Camacho, G. J. L. y García, M. J. G. 2003. Producción y calidad del forraje de cuatro variedades de alfalfa asociadas con trébol blanco, ballico perenne, festuca alta y pasto ovillo. *Veterinaria de México*. 34(2): 151-177.
- Carámbula, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 464 p.
- Causton, R. D. and J. C. Venus. 1981. *The Biometry of plant growth*. (ed.). Edward Arnold Limited. London. 144 p.
- Cornacchione, M. 2003. La alfalfa, crecimiento y manejo para un uso. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional del Río Cuarto. Provincia de

Córdoba, Argentina. http://www.produccionovina.com.ar/produceionymanejo_pasturas/pastoreosistemas/04fisiologia_de_la_planta_pastoreada.htm

Cowett, E. R. and Sprague, M. A. 1962. Factors affecting tillering in alfalfa. *Agron. J.* 54(4): 283 – 372.

Chapman, D. F. y Lemaire G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *Proceedings of the XVII International Grassland Congress. New Zealand and Australia.* PP. 95 -104.

Church, D. C. y Pond, W. G. 1990. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales.* Editorial Limusa. México. 438 p.

Davies, A. 1988. The regrowth of grass swards. In: Jones M. B. and Lazenby A. (eds). *The Grass Crop.* Chapman and Hall. London. pp. 85-127.

Del Pozo, M. 1983. *La Alfalfa. Su Cultivo y Aprovechamiento.* Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 380 p.

Donald, C. M. and Black, J. N. 1958. The significance of leaf area in pasture growth. *Herbage Abstracts.* 28(1): 1-6.

Dorantes, J. J. 2000. Respuesta productiva de tres variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a dos intensidades de pastoreo. Tesis de Maestría en Ciencia. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Colegio de Posgraduados.

Duthill, J, 1989. *Producción de forrajes.* Editorial Mundiprensa. Madrid, España. 367 p.

Enríquez, Q. J. F., Hernández, G. A., Pérez, P. J., Quero, C. A. R. y Moreno, C. J. G. 2003. Densidad de siembra y frecuencias de corte en el rendimiento de *Cratylia Argentea* (Desvaux) O. Kuntze en el sur de Veracruz. *Técnica Pecuaria en México.* 41(1): 75 – 84.

- Escalante, E. J. A., Martínez, V. E., Escalante, E. L. E. y Kohashi, S. J. 1995. Relaciones fuente-demanda en frijol. II. Efecto de la remoción de flores sobre el rendimiento y sus componentes. *Revista. Fitotec. Mex.* 18:61-68.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.
- Gold, W. G. and Calwell, M. M. 1989. The effects of the spatial pattern of defoliation on regrowth of a tussock grass. *Grass responses. Oecologia.* 80: 289-296.
- Gómez, S. F., Joaquín, S. H. A. y Molina, M. P. 2000. Crecimiento estacional y valor nutritivo de ocho variedades de alfalfa. Tesis de Licenciatura. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 64p.
- González, S. S. 1993. Improving utilization of poor quality forages with yeast cultura. In Lyons TP (Ed) *Biotechnology in the Feed Industry. Proceedings of the Ninth Annual Symposium.* Nicholasville, Kentucky, USA. Pp: 255-267.
- González, A. S. X., Días, S. H., López, T. R., Aizpuru, G. E., Garza, C. H. M. y Sánchez, R. F. 2004. Consumo, calidad nutritiva y composición botánica de una pradera de alfalfa y gramíneas perennes con diferentes niveles de asignación de forraje. *Técnica Pecuaria en México.* 42(1): 29-37.
- Hanson, C. H. 1972. *Alfalfa. Science and Technology.* American Society of Agronomy. Inc. Number 15. Serie Agronomy. 812 p.
- Hanson, A. A., Barnes, R. D. K. and Hill, A. 1988. *Alfalfa and alfalfa improvent.* American Society of Agronomy Inc. Madison, USA. 1084 p.

- Hernández-Garay, A., Pérez, P. J. y Hernández, G. V. A. 1992. Crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferentes regímenes de cosecha. *Agrociencia*. 2:131-144.
- Hernández-Garay, A., Pérez, P. J. y Hernández, J. A. 1993. Rendimiento y parámetros del crecimiento de la alfalfa con diferentes frecuencias y alturas de cosecha. *Ciencia e Inv. Agr.* 20: 180-184.
- Hernández-Garay, A. y Martínez, H. P. A. 1997. Utilización de pasturas tropicales. En: Torres H. G. y Díaz, R. P (Eds.) *Producción de ovinos en zonas tropicales*. Fundación Produce-Inifap pp 8-24.
- Hernández-Garay, A. y Pérez, P..J. 1998. Determinación del estado fisiológico óptimo de corte de alfalfa. XIII Congreso Nacional de Manejo de Pastizales. p. 32.
- Hernández-Garay, A., C. Matthew and J. Hodgson. 1999. Tiller size/density compensation in perennial miniature swards subject to differing defoliation heights and a proposed productivity index. *Grass and Forage Science*. 54: 347-356.
- Hodgson, J. 1979. Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass and Forage Science*. 34: 11-18.
- Hodgson, J. 1990. *Grazing management. Science into Practice*. Longman Scientific and Technical. Harlow, England. 204 p.
- Hodgson, J., Bircham, A. L., Grant and King, J.1981. The influence of cutting and grazing management on herbage growth and utilization. In: Wright. C. E. (Ed.) *Plant Physiology and Herbage Production*. The British Grassland Society. Occasional Symposium No. 13:51.

- Hodgson, J. and Brookes, I. M. 1999. Nutrition of grazing animals. In: White, J. and Hodgson, J. (eds). New Zealand Pasture and Crop. Science. Auckland, N. Z. Oxford University Press. 323 p.
- Horrocks, R. D. and Vallentine, J. F. 1999. Harvested Forages. Academic Press. Oval Road, London. United States of America. 426 p.
- Hughes, H.D., M. E. Heath and D. S. Metcalf. 1980. Forrajes. Editorial CECOSA. México. 758 p.
- Hunt, R. 1990. Plant growth curves. The Functional Approach to Plant Growth Analysis. Edward Arnold. London, England. 248 p.
- Humphreys, L. R. 1975. Defoliation and regrowth. In: Australian Institute of Agricultura Science. Management of improved tropical pasture. University of Queensland, Australia. pp. 26-38.
- Jahn, B. E., Vidal, A. y Soto, O. O. 2000. Sistema de producción de leche basado en alfalfa (*Medicago sativa* L.) y maíz (*Zea mays*) para la zona centro sur. II Consumo y calidad de forraje. Agricultura Técnica (Chile). 60. No. 2. Abril-Junio. pp: 99.111.
- Jiménez, M. A. y Martínez, H. P. A. 1984. Utilización de praderas. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 85 p.
- Johnson, C. R., Reiling, B. A., Mislevy, P. and Hall, M. B. 2001. Effects of nitrogen fertilization and harvest date on yield, digestibility, fiber and protein fractions of tropical grasses. J. Anim. Sci. 79: 2439 - 2448.

- Judd, P. and Radcliffe, J. C. 1970. The influence of cutting on the yield, composition and persistence of irrigated Lucerne. *Aust. J. Agri. and Animal Husb.* 10 (2): 48-52.
- Juncafresca, B. 1983. *Forrajes, fertilizantes y valor nutritivo*. 2ª edición. Editorial Aedos Barcelona, España. 203 p.
- Kallenbach, R. L., C. J. Nelson and J. H. Coutts. 2002. Yield, quality and persistence of grazing-and hay-type alfalfa under three harvest frequencies. *Agron. J.* 94:1094-1103.
- Karn, J. F., Berdahl, J. D. and Frank, A. B. 2006. Nutritive quality of four perennial grasses as affected by species, cultivar, maturity and plant tissue. *Agron. J.* 98: 1400 – 1409.
- Leach, G. J. 1968. The growth of the Lucerne plant after cutting: the effect of cutting at different stages of maturity and at different intensities. *Aust. J. Agr. Res.* 19: 517:530.
- Lemaire, G. 2001. Ecophysiology of grasslands. Aspects of forage plant population in grazed swards. In: *Proceedings of the XIX International Grassland Congress*. Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil. pp: 39-40.
- Lestienne, F., Thornton, B. and Gastal, F. 2006. Impact of defoliation intensity and frequency on N uptake and mobilization in *Lolium perenne*. *J. Experimental Bot.* 57(4): 997 – 1006.
- L'Huillier, P. J. 1987. Effect of dairy cattle stocking rate and degree of defoliation on herbage accumulation and quality in ryegrass-white clover pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research.* 30:149-157.

- Matthew, C., A. Hernández-Garay and J. Hodgson. 1996. Making sense of the link between tiller density and pasture production. New Zealand Grassland Association. 57:83-87.
- Matthew, P. N. P., Harrington, K. C. and Hampton, L. G. 1999. Management of grazing systems. *In*: White. J. and Hodgson, J. (eds). New Zealand Pasture and Crop Science. Ed. Auckland. N. Z. Oxford University Press. 323 p.
- Matthew, C. and J. Hodgson. 1997. Form and function of grass. CD ROM. Grassview. Institute of Natural Resources, Massey University, New Zealand.
- Matthew, C., G. Lemaire, N. R. Sackville Hamilton and A. Hernández-Garay. 1995. A modified self-thinning equation to describe size/density relationships for defoliated swards. *Annals of Botany*. 76:579-587.
- Mazzanti, A. G., Lemaire, G. and Gastel, F. 1994. The effect of nitrogen fertilization upon herbage production of tall fescue swards continuously grazed with sheep. 1. Herbage growth dynamics. *Grass and Forage Science*. 49: 111-120.
- McMahon, L. R., M.Boto, T. A., McAllister, G. A. Jones, G. A. and Cheng, K. J. 1997. Comparison of the *in vitro* fermentation characteristics of fractionated alfalfa and sainfoin. XVIII International Grassland Congress. Winnipeg, Manitoba Saskatoon, Saskatchewan, Canada. 8:15-16
- McNaughton, S. J. 1983. Compensatory plant growth as a response to herbivory. *Oikos*. 40:329-336.
- Mehrez, A. Z. and Orskov, E. E. 1977. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feed in the rumen. *J. Agric. Sci.* 88:645 – 655.

- Melvin, G. 2001. Annual Rangeland Forage Quality. Rangeland Management Series. Agriculture and Natural Resources. University of California. Publication 8022. pp. 1-13. [http://agronomy.ucdavis.edu/calrng/range1 .htm](http://agronomy.ucdavis.edu/calrng/range1.htm)
- Milthorpe, F. L. and J. L. Davidson. 1966. Physiological aspects of regrowth in grasses. In: F. L. Milthorpe and J. D. Ivins (eds.). The Growth of Cereal and Grasses. Butterworths, London. pp. 241-254.
- Morales, A. J., Jiménez, V. J. L., Velasco, V. V. A., Villegas, A. Y., Enríquez, del V. J. R. y Hernández-Garay, A. 2006a. Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertirriego en la mixteca de Oaxaca. Técnica Pecuaria en México. 44(3):277-288.
- Morales, R. E. J., Escalante, E. J. A., Tijerina, Ch. L., Volke, H. V. y Sosa, M. E. 2006b. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar del agroecosistema girasol-fríjol Revista terra *Latinoamericana*. 24 (1): 55-64.
- Muslera, P., E. y G. Ratera C. 1991. Praderas y Forrajes, Producción y Aprovechamiento. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 674 p.
- Norton, B. W. and Poppi, D. P. 1995. Composition and nutritional attributes of pasture legumes. In: D'Mello J. P. F. and Devendra, C. (eds.). Tropical Legumes in Animal Nutrition. Ed. CAB International. Wallingford, U. K. pp. 23-48.
- Núñez, H. G., Hernández, Y. C., Santamaría, C. J. y Márquez, O. J. 1995. Producción de forrajes bajo condiciones limitadas de agua para riego. LALA. Ciclo

- Internacional de Conferencias sobre Nutrición y Manejo. Comarca Lagunera, Durango. pp. 29-37.
- Ortíz, S. C. 1997. Colección de Monolitos. Depto. Génesis de Suelos. Edafología. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texoco, Estado de México.
- Ourry, A., T. H. Kim and J. Boucaud. 1994. Nitrogen reserve mobilization during regrowth of *Medicago sativa* L.: Relationships between their availability and regrowth yield. *Plant Physiology*. 105:831-837.
- Pearson, C. J. and Ison, R. L. 1987. *Agronomy of grassland systems*. Cambridge University Press. Great Britain. 169 p.
- Pérez, B. M. T., A. Hernández-Garay, J. Pérez, P., J. G. Herrera, H. y R. Bárcena, G. 2002. Respuesta productiva y dinámica de rebrote del pasto ballico perenne a diferentes alturas de corte. *Técnica Pecuaria México*. 40:251-263.
- Poppi, D. P., Hughes, T. P. and L'Huillier, P. J. 1987. Intake of pasture by grazing ruminants. In: A. M. Nicol (ed.) *Feeding livestock on pasture*. New Zealand Society of Animal Production. Occasional publication No. 10. pp. 55-63.
- Quiroga, G. H. M y Salinas, G. H. 2005. Tasas de degradación ruminal *in situ* de la MS y proteína del trébol alejandrino y la alfalfa. Publicación semestral de Investigación Científica. Universidad Juárez del Estado de Durango. Venecia, Dgo., México. *Producción Pecuaria. Agrofaz* 5 (2): 821-829.
- Ramírez, O. R., Ramírez, L. R. G. y López, G. F. 2002. Factores estructurales de la pared celular del forraje que afectan su digestibilidad. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. *Ciencia UANL*. 5 (2). pp. 180-189.

- Ramos, S. A. y Hernández, X. E. 1970. Ecología de la alfalfa en México. COTECOCA y Colegiode Postgraduados. Chapingo, México. 49 p.
- Richards, J. H. 1993. Physiology of plants recovering from defoliation. In: Proceedings of the XVII International Grassland Congress. New Zealand and Australia. pp. 85-94.
- Rivas, J. M. A., López, C. C., Hernández-Garay, A. y Pérez. P. J. 2005. Efecto de tres regímenes de cosecha en el comportamiento productivo de cinco variedades comerciales de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Técnica Pecuaria en México. 43(1):79-92.
- Rojas, G. M. 1993. Fisiología Vegetal Aplicada. 4ª Edición. Editorial Interamericana McGraw-Hill. México. 275 p.
- SAGARPA. 2002. Producción Agrícola en México. Centro de Estadística Agropecuaria. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>
- SAGARPA. 2006. Producción Agrícola en México. Centro de Estadística Agropecuaria. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>
- Salas, B. J. E. 1998. Estado fisiológico óptimo de corte en alfalfa durante el verano y otoño. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 88 p.
- SAS. 1999. User's guide. Statistics, version 8. Sixth edition. SAS Inc. Cary, North Carolina, USA. 956 p.

- Sheaffer, C. C., N. P. Martin, J. F. S. Lamb, G. R. Cuomo, J. G. Jewett and S. R. Quering. 2000. Leaf and stem properties of alfalfa entries. *Agron. J.* 92:733-739.
- Simpson, R. J. and Vulvenor, R. A. 1987. Photosynthesis, carbon partitioning and herbage yield. *Temperate Pastures*. pp. 113 – 114.
- Skinner, R. H. and C. J. Nelson. 1992. Estimation of potential tiller production and site usage during tall fescue canopy development. *Annals of Botany*. 70:493-499.
- Skinner, R. H., J. A. Morgan and J. D. Hanson. 1999. Carbon and nitrogen reserve remobilization following defoliation: nitrogen and elevated CO₂ effects. *Crop Science*. 39:1749-1756.
- Smit, H. J., Tamminga, S and Elgersma, A. 2006. Dairy cattle grazing preference among six cultivars of perennial ryegrass. *Agron. J.* 98: 1213 – 1220.
- Speeding, C. R. W. 1971. *Grassland Ecology*. Clarendon press. Oxford, Great Britain. 221 p.
- Steel, R. G. y Torrie, J. H. 1988. *Bioestadística: Principios y procedimientos*. 2ª edición. Mc Graw – Hill. México. 622 p.
- Tablada, A. Y. 1998. Comportamiento de una pradera alfalfa-ovillo a diferentes frecuencias de pastoreo con borregos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. Edo. de México. 76 p.
- Teutsch, C. D., Fike, J. H and Tilson. 2005. Yield, digestibility and nutritive value of crabgrass as impacted by nitrogen fertilization rate and source. *Agron. J.* 97: 1640-1646.

- Tomlinson, K. W. and O'Connor, T. G. 2004. Control of tiller recruitment in bunchgrasses: uniting physiology and ecology. *Funct. Ecol.* 18: 489-496.
- Tovar, F. J. 2006. Incremento en invernadero de la cantidad y calidad del follaje de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Florida 77 causado por la combinación de fertilización biológica y química en un suelo de la serie Bermeo de la sabana de Bogotá. *Universitas Scientiarum. Revista de la Facultad de Ciencias. Edición especial.* 11: 61-72. <http://radalyc.uaemex.mx>
- Ueno, M. and Smith, D. 1970. Growth and carbohydrate changes in the root wood and bark of different sized alfalfa plants during regrowth after cutting. *Crop Science.* 10: 396 – 399.
- Valentine, I. and Matthew, C. 1999. Plant growth, development and yield. In: White, J. and Hodgson, J. (eds.) *New Zealand Pasture and Crop. Science.* Oxford University Press. Auckland, N. Z. 323 p.
- Velasco Z., Ma. E., Hernández-Garay, A., González, H. V., Pérez, P. J., Vaquera H. H., Galvis, S. A. 2001. Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto ovillo (*Dactylis Glomerata* L.). *Técnica Pecuaria en México.* 39 (1):1-14.
- Villegas, A. Y. 2002. Análisis de crecimiento estacional y componentes del rendimiento de cuatro variedades de alfalfa. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 91 P.
- Villegas, A. Y., Hernández-Garay, A., Pérez, P. J., López, C. C., Herrera, H. J., Enríquez, Q. J. y Gómez, V. A. 2004. Patrones estacionales de crecimiento

- de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Técnica Pecuaria en México. 42(2):145-158.
- Villegas, A. Y., Hernández-Garay, A., Martínez, H. P. A., Pérez, P. J., Herrera, H. J. G. y López, C. C. 2006. Rendimiento de forraje de variedades de alfalfa en dos calendarios de corte. Revista Fitotecnia Mexicana. 29 (4): 369 – 372.
- Volenec, J. J. and Nelson, C. J. 1983. Responses of tall fescue leaf meristem to N fertilization and harvest frequency. Crop Science. 23:720-724.
- Volenec, J. J., A. Ourry and B. C. Joern. 1996. A role for nitrogen reserves in forage regrowth and stress tolerance. Plant Physiology. 97:185-193.
- Walton, D.P. 1983. Production and management of cultivated forages. Prentice Hall. Reston Virginia. United States of America. pp: 161-168.
- Zaragoza, E. J. A. 2004. Dinámica de crecimiento y productividad de la alfalfa (*Medicago sativa* L.)-pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) con diferente manejo de defoliación. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 120 p.

7. ANEXOS

Cuadro A 1. Análisis de varianza para rendimiento acumulado (kg MS ha⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	32.13	<.0001
Estación del año (E)	218.43	<.0001
F * E	31.53	<.0001
Rep (F * E)	*	*
Error experimental	4.9	<.0001

Cuadro A 2. Análisis de varianza para rendimiento promedio corte⁻¹ (kg MS ha⁻¹ d⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	337.14	<.0001
Estación del año (E)	41.19	<.0001
F * E	16	<.0001
Rep (F * E)	*	*
Error experimental	4.9	<.0001

Cuadro A 3. Análisis de varianza para tasa de crecimiento (kg MS ha⁻¹ d⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	74.81	<.0001
Estación del año (E)	94.64	<.0001
F * E	19.20	<.0001
Rep (F * E)	4.82	<.0001
Error experimental	*	*

Cuadro A 4. Análisis de varianza para composición botánica y morfológica (%) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	133.27	<.0001
Estación del año (E)	11.15	<.0001
F * E	18.20	<.0001
Rep (F * E)	4.90	<.0001
Error experimental	*	*

Cuadro A 5. Análisis de varianza para relación hoja:tallo de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	690.49	<.0001
Estación del año (E)	197.18	<.0001
F * E	18.51	<.0001
Rep (F * E)	*	*
Error experimental	4.90	<.0001

Cuadro A 6. Análisis de varianza para altura (cm) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	1687.29	<.0001
Estación del año (E)	1266.94	<.0001
F * E	28.48	<.0001
Rep (F * E)	*	*
Error experimental	4.90	<.0001

Cuadro A 7. Análisis de varianza para área foliar (cm²) en alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	4488.65	<.0001
Estación del año (E)	3567.10	<.0001
F * E	230.70	<.0001
Rep (F * E)	3.23	<.0001
Error experimental	*	*

Cuadro A 8. Análisis de varianza para radiación interceptada (%) en alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	3861.81	<.0001
Estación del año (E)	109.84	<.0001
F * E	119.84	<.0001
Rep (F * E)	2.99	<.0001
Error experimental	*	*

Cuadro A 9. Análisis de varianza para densidad de tallos (tallos m⁻²) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	25.38	<.0001
Estación del año (E)	27.56	<.0001
F * E	1.80	0.0923
Rep (F * E)	4.90	<.0001
Error experimental	*	*

Cuadro A 10. Análisis de varianza para peso de tallos (g) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	763.01	<.0001
Estación del año (E)	216.53	<.0001
F * E	9.75	<.0001
Rep (F * E)	0.01	0.4953
Error experimental	*	*

Cuadro A 11. Análisis de varianza para contenido de proteína en hoja (%)de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	121.35	<.0001
Estación del año (E)	51.35	<.0001
F * E	3.33	0.0031
Rep (F * E)	*	*
Error experimental	4.90	<.0001

Cuadro A 12. Análisis de varianza para contenido de proteína en tallo (%)de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	138.35	<.0001
Estación del año (E)	65.05	<.0001
F * E	3.14	0.0047
Rep (F * E)	4.89	<.0001
Error experimental	*	*

Cuadro A 13. Análisis de varianza para digestibilidad en hoja (%) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	95.56	<.0001
Estación del año (E)	43.03	<.0001
F * E	1.94	0.0688
Rep (F * E)	3.13	0.0009
Error experimental	*	*

Cuadro A 14. Análisis de varianza para digestibilidad en tallo (%) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	284.03	<.0001
Estación del año (E)	144.83	<.0001
F * E	10.75	<.0001
Rep (F * E)	3.12	0.0009
Error experimental	*	*

Cuadro A 15. Análisis de varianza para contenido de rendimiento de proteína en hoja (kg ha⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	139.18	<.0001
Estación del año (E)	17.47	<.0001
F * E	6.79	<.0001
Rep (F * E)	4.90	<.0001
Error experimental	*	*

Cuadro A 16. Análisis de varianza para contenido de rendimiento de proteína en tallo (kg ha⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	168.50	<.0001
Estación del año (E)	18.40	<.0001
F * E	12.32	<.0001
Rep (F * E)	4.90	<.0001
Error experimental	*	*

Cuadro A 17. Análisis de varianza para materia seca digestible total en hoja (kg ha⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	283.0	<.0001
Estación del año (E)	29.72	<.0001
F * E	12.98	<.0001
Rep (F * E)	4.90	<.0001
Error experimental	*	*

Cuadro A 18. Análisis de varianza para materia seca digestible total en tallo (kg ha⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia

	Valor de F	Pr > F
Frecuencia de corte (F)	223.19	<.0001
Estación del año (E)	16.37	<.0001
F * E	10.96	<.0001
Rep (F * E)	4.90	<.0001
Error experimental	*	*