



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 FORRAJE DE
DIEZ VARIEDADES DE ALFALFA**

ADELAIDO RAFAEL ROJAS GARCÍA

T E S I S

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

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2011

La presente tesis titulada: **Dinámica de crecimiento y rendimiento de forraje de diez variedades de alfalfa**, realizada por el alumno: **Adelaido Rafael Rojas García**, 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



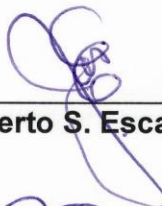
Ph. D. Alfonso Hernández Garay

ASESOR



Ph. D. José Luis Zaragoza Ramírez

ASESOR



Ph. D. J. Alberto S. Escalante Estrada

ASESOR



Ph. D. Adrián R. Quero Carrillo

Montecillo, Texcoco, México, 2011.

DINÁMICA DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE FORRAJE DE DIEZ

VARIETADES DE ALFALFA

Adelaido Rafael Rojas García, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2011

El objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta productiva de 10 variedades de alfalfa con intervalos de corte definidos estacionalmente. El estudio se realizó de junio de 2010 a junio de 2011 en el Colegio de Postgraduados. Las variedades evaluadas fueron: Aragón, Valenciana, Chipilo, Milenia, Oaxaca, San Miguelito, Júpiter, Atlixco, Vía láctea y Cuf 101, las cuales se distribuyeron en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Las variedades Júpiter y Milenia con 20,275 y 20,644 kg MS ha⁻¹ registraron los mayores rendimientos y el menor para las variedades Cuf 101 y Aragón con 13,350 y 14,488 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Las variedades con mayor tasa de crecimiento promedio anual fueron Milenia y Júpiter con 57 y 56 kg MS ha⁻¹d⁻¹, y la que presentó menor promedio fue Cuf 101 con 37 kg MS ha⁻¹d⁻¹. Las variedades Aragón, Valenciana y Cuf 101 con 1.3, registraron la mayor relación hoja:tallo. La variedad Júpiter registró la mayor altura (P<0.05) con 52 cm, la menor Cuf 101 con 41 cm. La variedad que presentó el mayor promedio de índice de área foliar fue Milenia con 5.2, la menor, Cuf 101 con 2.8. Para la radiación interceptada la que obtuvo el mayor porcentaje fue Júpiter con 85 %, y la menor Cuf 101 con 71%, en densidad de tallos se tiene un promedio de 568 tallos. En peso por tallo se presenta un promedio entre las variedades de 0.7 g por tallo y la variedad Júpiter y Milenia presentan la mayor densidad promedio de plantas con 33 plantas.

Palabras clave: *Medicago sativa*, rendimiento, radiación, índice de área foliar.

GROWTH DYNAMICS AND FORAGTE YIELD OF TEN ALFALFA VARIETIES

Adelaido Rafael Rojas García, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2011

The objective of the present study was to evaluate the productive performance of 10 alfalfa varieties with cut intervals defined seasonally. The study was done from June, 2010 to June 2011 in the Colegio de Postgraduados. The evaluated varieties were: Aragon, Valenciana, Chipilo, Milenia, Oaxaca, San Miguelito, Jupiter, Atlixco, Milky Way, and Cuf 101, which were distributed with a totally random design with four repetitions. Jupiter and Milenia varieties had the highest yields; 20,275 and 20,644 kg MS ha⁻¹; while Cuf 101 and Aragon had the lowest, 13,350 and 14,488 kg MS ha⁻¹, respectively. The varieties with the greatest mean annual growth rate were Milenia and Jupiter, 57 and 56 kg MS ha⁻¹d⁻¹; while Cuf 101 had the lowest, 37 kg MS ha⁻¹d⁻¹. Aragon, Valenciana, and Cuf 101 varieties had the greatest leaf:stem ratio at 1.3. The Jupiter variety registered the greatest height ($P<0.05$) at 52 cm, while Cuf 101 had the lowest at 41 cm. The variety with the greatest foliar area index was Milenia with 5.2; while Cuf 101 had the lowest with 2.8. The greatest percentage of intercepted radiation was that of Jupiter at 85%, and the one with the lowest was Cuf 101 at 71%. The mean stem density was 568 stems. Weight stem shows a mean among varieties of 0.7 g per stem and Jupiter and Milenia varieties showed the greatest mean plant density with 33 plants.

Key words: *Medicago sativa*, yield, radiation, foliar area index.

DEDICATORIA

A mis padres Adelaido Rojas Larios y Columba García Marín, por sus sacrificios, apoyo incondicional en todo momento, enseñanzas y consejos a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Pilar, Angélica, Gloria, Columba, María Elena, Leticia y Ricardo, por ese gran cariño que nos une, por todo su apoyo brindado, son una parte importante en mi vida, me alegra siempre verlos.

A mis sobrinos, esperando ser una muestra del camino a seguir, y ejemplo de superación profesional.

A mis cuñados, por esa amistad y buenos deseos de estar siempre unidos.

Al Dr. Jorge Pérez Pérez (q.e.p.d.), por ser parte importante de mi formación profesional, consejos, sugerencias, educación integral y legado a la ciencia.

A mis amigos Ibán y Santiago, que siempre me apoyaron desde la llegada al Colegio. Gracias. Y a Miguel, Iván, Daniel, Aldenamar y a todas aquellas personas que de alguna forma participaron directa o indirectamente en la realización de esta tesis.

A Felipe, Ascensión, Gumaro, Salvador, Arcelia, Concepción, Estela, Jaime, Gerardo y Jorge por los buenos momentos que pasamos juntos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico, otorgado, para la realización de mis estudios de Maestría.

Al Colegio de Postgraduados y en especial al programa de Ganadería, por darme la oportunidad de formación profesional.

En especial al Dr. Alfonso Hernández Garay, por el apoyo incondicional en la dirección de esta investigación, su invaluable asesoría, consejos, disposición, por ser un ejemplo a seguir y sobre todo la enseñanza integral. Gracias.

Al Dr. Juan de Dios Guerrero Rodríguez, por su apoyo, disposición y sugerencias.

Al Dr. Humberto Vaquera Huerta, por su asesoría en estadística, consejos y amistad.

A los Doctores J. Alberto S. Escalante Estrada, Adrian R. Quero Carrillo y José Luís Zaragoza Ramírez, por su apoyo, sugerencias y atinados comentarios en el desarrollo y elaboración de esta tesis.

Al C. Remedios Caballero Zamora, por su apoyo en la parte practica, así como a los integrantes del personal del Colegio de Postgraduados, que participaron en mi formación académica.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Descripción botánica y agronómica de alfalfa.....	3
2.2. Importancia de la alfalfa en México.....	4
2.3. Estacionalidad en el crecimiento y rendimiento de forraje.....	6
2.4. Factores ambientales que afectan la producción de forraje.....	11
2.4.1. Temperatura.....	11
2.4.2. Luz.....	12
2.4.3. Agua.....	13
2.4.4. Edáficos.....	14
2.4.4.1. Fertilización.....	16
2.5. Frecuencia e intensidad de defoliación.....	17
2.6. Factores que afectan el rebrote.....	21
2.6.1. Reserva de carbohidratos.....	22
2.6.2. Índice de área foliar.....	24
2.6.3. Meristemas de crecimiento.....	27
2.7. Población de tallos.....	29
2.8. Conclusión de literatura.....	31
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1. Localización del sitio experimental.....	32

3.2. Manejo de las variedades de alfalfa.....	33
3.3. Variables evaluadas.....	34
3.3.1. Rendimiento de forraje.....	34
3.3.2. Tasa de crecimiento del forraje.....	34
3.3.3. Composición botánica y morfológica.....	35
3.3.4. Relación hoja:tallo.....	35
3.3.5. Altura de la planta.....	36
3.3.6. Índice de área foliar.....	36
3.3.7. Radiación interceptada.....	36
3.3.8. Densidad de tallos.....	37
3.3.9. Peso por tallo.....	37
3.3.10. Densidad de plantas.....	37
3.4. Análisis estadísticos.....	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1. Rendimiento de forraje.....	39
4.2. Tasa de crecimiento del forraje.....	41
4.3. Composición botánica y morfológica.....	43
4.4. Relación hoja:tallo.....	46
4.5. Altura de la planta.....	48
4.6. Índice de área foliar.....	50
4.7. Radiación interceptada.....	52
4.8. Densidad de tallos.....	54
4.9. Peso por tallo.....	55

4.10. Densidad de plantas.....	57
5. CONCLUSIONES.....	59
6. LITERATURA CITADA.....	60

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Rendimiento estacional y anual (kg MS ha ⁻¹) de diez variedades de alfalfa.....	40
Cuadro 2. Cambios estacionales en la tasa de crecimiento (kg MS ha ⁻¹ d ⁻¹) de diez variedades de alfalfa.....	42
Cuadro 3. Cambios estacionales en la relación hoja:tallo (R; H) estacional (R/H) de diez variedades de alfalfa.....	47
Cuadro 4. Cambios estacionales en altura (cm) de diez variedades de alfalfa.....	49
Cuadro 5. Cambios estacionales en el índice de área foliar (cm ² m ⁻²) de diez variedades de alfalfa.....	51
Cuadro 6. Cambios estacionales en la radiación interceptada (%) de diez variedades de alfalfa.....	53
Cuadro 7. Cambios estacionales en la densidad de tallos (tallos m ⁻²) de diez variedades de alfalfa.....	55
Cuadro 8. Cambios estacionales en el peso por tallo (g tallo ⁻¹) de diez variedades de alfalfa.....	56
Cuadro 9. Cambios estacionales en la densidad de plantas (plantas m ⁻²) de diez variedades de alfalfa.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Temperatura media mensual máxima, mínima y precipitación acumulada mensual durante el periodo de estudio (junio 2010 a junio 2011).....	32
Figura 3. Cambios estacionales en la composición botánica y morfológica (%) de diez variedades de alfalfa.....	45

1. INTRODUCCIÓN

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. 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 Jalisco, Hidalgo, Guanajuato y Baja California y, en menor proporción, en Coahuila, Durango, Estado de México y Puebla (SAGARPA, 2010). La importancia de esta especie se debe a la cantidad de forraje obtenido por unidad de superficie, y alto valor nutritivo, por ser apetecible y consumido por gran número de animales, sea en estado fresco, henificada o ensilada (Juncafresca, 1983).

No obstante, Hernández-Garay *et al.* (1992) mencionan que la alfalfa, al igual que todas es especies forrajeras perennes, debe definirse estacionalmente el intervalo de corte con base en la velocidad de crecimiento de la planta, para lograr los máximos rendimientos anuales de forraje, sin afectar su persistencia. Por lo anterior, Morales *et al.* (2006a) evaluaron 14 variedades de alfalfa registrando una producción promedio de MS de $4.16 \text{ t ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$ 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 menor producción ocurrió en los meses más fríos. Dorantes (2000) observó que en la región de Texcoco, Estado de México, la alfalfa mostró un mayor rendimiento de forraje en mayo, debido a las temperaturas altas del ambiente, que favoreció una mayor crecimiento. 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 rendimiento estacional expresado como porcentaje del rendimiento anual, presentó el siguiente orden descendente: verano 31% >primavera 27% >otoño 22% >invierno 20%. También existen diferencias estacionales en el rendimiento entre variedades de la misma especie. Al respecto, Villegas *et al.* (2004) registraron que en primavera, la alfalfa variedad valenciana alcanzó la mayor acumulación de forraje a la sexta semana de rebrote con 4.7 t MS ha⁻¹, mientras que la variedad Oaxaca presentó la máxima acumulación de forraje a la séptima semana de crecimiento con 4.1 t MS ha⁻¹. Estos autores, también observaron diferencias anuales y estacionales entre variedades.

En base a lo anterior el objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta productiva de 10 variedades de alfalfa con intervalos de corte definidos estacionalmente.

Por lo tanto se plantea como hipótesis que la variedad Valenciana es la que mejores resultados productivos presentará.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción botánica y agronómica de alfalfa

La alfalfa es una planta perene, de crecimiento erecto, tallo poco ramificado de 60 a 100 cm de altura, hojas trifoliadas, con el foliolo central largo y los foliolos laterales ovalados, generalmente sin pubescencia, con márgenes lisos, bordes superiores ligeramente dentados y unidos al tallo por un peciolo (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, depende de la variedad (Del Pozo, 1983).

La alfalfa tiene la capacidad de asociarse con bacterias del género *Rhizobium*, las cuales fijan nitrógeno al suelo, además crece en un amplio rango de suelos y condiciones climáticas; este cultivo tiene el rendimiento de forraje y el valor alimenticio más alto, entre las leguminosas forrajeras perennes. Es un cultivo que puede utilizarse como ensilaje, heno, forraje en verde, pellets, etc. Además de ser una excelente fuente de néctar para las abejas (Lacefield, 1998).

Se conocen diversas especies del género *Medicago* y es *Medicago sativa* L., la especie más ampliamente distribuida en el mundo, ya que se adapta a alturas comprendidas entre 700 y 2800 msnm (Juncafresca, 1983). Los requerimientos hídricos de este cultivo dependen de las condiciones del clima y suelo (temperatura, humedad relativa, viento, etc.), que determinan la evapotranspiración; para climas templados se requieren 450 mm durante la estación anual de crecimiento, pero en

climas cálidos, áridos y desérticos, este requerimiento puede llegar a ser hasta de 1,400 mm (Del Pozo, 1983). Es un cultivo que se adapta a suelos profundos, bien drenados, alcalinos, tolera la salinidad moderada; su crecimiento es limitado a pH inferior a 5, y no soporta el encharcamiento. Requiere grandes cantidades de Ca y Mg (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 el 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). Por la longitud y profundidad de sus raíces, es resistente a la sequía, pues obtiene agua de las capas profundas del suelo (Hughes *et al.*, 1980; Muslera y Ratera, 1991).

2.2. Importancia de la alfalfa en México

La alfalfa es la leguminosa forrajera más utilizada a nivel mundial en la alimentación del ganado lechero, con aproximadamente 32, 000 000 ha cultivadas; Estados Unidos y Argentina con 16 millones de ha, tienen la mayor superficie sembrada (Bouton, 2001). Es originaria de Irán y Asia menor y 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 los misioneros españoles (Muslera y Ratera, 1991).

La importancia del cultivo de alfalfa en México, radica en la superficie sembrada, la cual se ha incrementado de 287 128 ha en 1997 (CEA, 1998) a 393,180 ha en 2010, con una producción de 29, 653, 784 de toneladas de materia verde, y un promedio

anual de 75.9 t ha⁻¹. Los estados de Baja California Sur y San Luis Potosí tienen los mejores rendimientos a nivel nacional con 128 y 114 t de MV ha⁻¹, respectivamente (SAGARPA, 2010). Sin embargo, se concentra en las cuencas lecheras de Jalisco, Durango, Coahuila, Hidalgo, Estado de México, Puebla, entre otras. En el Estado de México, región de Jalisco, Hidalgo y Querétaro, se ubica la mayor parte de las unidades de producción lechera que dependen mayormente la alfalfa (SAGARPA, 2010).

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es uno de los cultivos forrajeros más importantes en México, debido a su alto rendimiento de materia seca y alto contenido de proteína y digestibilidad (Farias y Estrella, 1991). Sin embargo, los elevados costos de producción representan un problema, para los productores, que utilizan esta especie como principal fuente de alimento para el ganado, sea verde o henificada; el problema se acentúa en la época de invierno cuando la producción de forraje no es suficiente para satisfacer la demanda. Los costos elevados se deben, principalmente a la baja persistencia de la pradera y al precio elevado de la semilla para siembra, ya que gran parte de la superficie cultivada con alfalfa, se siembra con semilla importada (Castro, 1993).

Comparativamente con otros cultivos perennes, la alfalfa, después de los pastizales y praderas, son los más importantes como alimento para el ganado lechero, considerando las necesidades de leche que demanda la población nacional (Mendoza *et al.*, 2000).

2.3. Estacionalidad en el crecimiento y rendimiento de forraje

El crecimiento es el aumento irreversible en la masa de la planta y es, por tanto, un fenómeno cuantitativo susceptible de medirse y expresarlo como aumento en longitud o 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). 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 mide el incremento en materia 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).

Las condiciones ambientales, particularmente el clima determinan la estacionalidad en la producción de forraje. Así se tiene para la región templada del país, una época de abundancia durante la primavera-verano producto de las condiciones climáticas favorables y un periodo de deficiencia en el otoño-invierno, a consecuencia de las bajas temperaturas y heladas. Al respecto, Villegas *et al.* (2004) señalaron que la edad al corte de la alfalfa varía con la estación del año y con la variedad.

La capacidad que posee una pradera para producir materia seca, depende de la disponibilidad de nutrientes, agua y, principalmente, del grado de intercepción de la

radiación solar por la lamina foliar (Horrock y Vallentine, 1999), con el aumento de 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 (Morales *et al.*, 2006).

. López-Castañeda y Muñoz-Orozco (1994), al evaluar diferentes variedades de alfalfa, en dos localidades con temporal y diferente cantidad de precipitación, encontraron que las variedades Bajío y Atlixco 76, tuvieron la más alta acumulación de peso seco y que este estuvo determinado por una mayor densidad de plantas establecidas y un mayor número de tallos m⁻².

Cada variedad de alfalfa representa una combinación específica de caracteres genéticos, cuyo potencial productivo se expresa de manera diferente, según las condiciones ambientales en las que se cultivan cada una de ellas. No existe una mejor variedad para todas las condiciones productivas, la elección acertada de alguna variedad depende de combinaciones climáticas, edáficas, prácticas de manejo y la forma de aprovechamiento de la pastura, ya sea corte o pastoreo (Salinas, 2005).

Volenc *et al.* (1987) indican que la alfalfa, en invierno reduce el crecimiento vegetativo, mientras continúa el crecimiento su raíz, para posteriormente volver a bajar. En primavera, la fotosíntesis es máxima por el mayor número de horas luz; sin

embargo, las necesidades respiratorias son ya importantes, al elevarse paulatinamente las temperaturas. Entre la respiración y el crecimiento, la planta agota los carbohidratos que asimila, por lo que las reservas se mantienen más o menos en su nivel anterior (Del pozo, 1983). Varella *et al.* (2001) indican que en primavera y verano, son las épocas con mayor producción de materia seca.

sin embargo, Alcántara y Trejo (2007), consignaron 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 nutrimentos, crecimiento y desarrollo, determinan la productividad de las plantas. En estas 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 meristemas laterales e intercalares en las hojas en desarrollo (Causton y Venus, 1981).

La altura de la alfalfa, es diferente durante el transcurso del año; esto se debe a dos factores que afectan la elongación de los entrenudos: la temperatura fluctúan durante el año y las diferentes condiciones de humedad edáfica. Durante la estación caliente y seca del año, se reduce la elongación de los entrenudos, debido a la reducción en la elongación celular (Bula y Massengale, 1972). Jiménez y Martínez (1984), señalan que el aumento de 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.

La altura de la planta, el diámetro, la longitud y número de tallos, son las principales fuentes de variación, para la producción de materia seca (Tovar, 2006); el número de tallos depende del vigor de la planta, cuando el potencial genético, para este carácter, es afectado por las condiciones ambientales en 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); otro aspecto importante relacionado con el rendimiento, es el efecto que tienen, en la aparición de los asimilados a las funciones de crecimiento, tales como la expansión de las hojas, elongación de entrenudos, desarrollo floral y acumulación de carbohidratos en los tejidos de la raíz (Bula y Masengale, 1972). De esta manera el crecimiento vegetativo de la planta, depende de la elongación de los entrenudos, número de tallos, elongación de las hojas, producción y tasa de aparición de hojas.

Rivas *et al.* (2005) al evaluar cinco variedades de alfalfa registraron rendimientos anuales de 38, 38, 36, 27 y 29 t de MS ha⁻¹ año⁻¹ en las variedades San Miguel, Oaxaca, Moapa, Valenciana y Cuf-101, respectivamente. Morales *et al.* (2006) al evaluar 14 variedades de alfalfa observaron una producción promedio de MS de 4.16 t

ha⁻¹ corte⁻¹ y consignaron 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.

Villegas *et al.* (2004) registraron 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. De acuerdo con Villegas *et al.* (2006) al evaluar cuatro variedades de alfalfa con dos calendarios de corte severo (cosechar cada 28 d en primavera-verano y cada 42 d en otoño-invierno) y ligero (cosecha cada 35 d en primavera-verano y 49 d otoño-invierno), 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 mayor relación hoja:tallo que con el calendario ligero, sin reducir el rendimiento de forraje.

Sin embargo Mendoza (2008) para la variedad San Miguelito, observó que la frecuencia de corte afectó significativamente el rendimiento, registrando los mayores valores para intervalos de corte de 7 semanas durante el otoño-invierno y 6 semanas para primavera-verano, teniendo un total de 29.6 t MS ha⁻¹ año⁻¹.

2.4. Factores ambientales que afectan la producción de forraje

Muslera y Ratera (1991) mencionan que los objetivos en cualquier explotación a base de forrajes deben ser los siguientes: a) mantener un nivel de reservas en raíces y coronas elevado, permitiendo que se recuperen las plantas después del corte, b) obtener un máximo de producción de forraje y c) conseguir una calidad de forraje elevada. Ya que para lograr esto es necesario considerar ciertos factores que se describen a continuación.

2.4.1 Temperatura

Numerosos factores influyen en la germinación de la semilla de alfalfa, entre los que destaca la temperatura (Musleta y Ratera, 1991). La semilla de alfalfa comienza a germinar a temperaturas de 2 a 3 °C, siempre que otros factores presentes en el medio (humedad, nutrientes, etc.), no sean limitantes. La germinación es más rápida, cuando la temperatura es cercana al óptimo, aproximadamente, entre 28 y 30 °C (Del Pozo, 1983). Temperatura por encima de los 38 °C resultan ya letales para la plántula joven (Hanson, 1988; Duthill, 1989).

La temperatura regula la velocidad de germinación, principalmente por su función en la regulación del metabolismo de la semilla; así, incrementos en la temperatura hasta cierto límite, aumentan la tasa de germinación y emergencia (Hanson, 1988; Duthill, 1989). Los requerimientos de temperatura para la planta son distintos en activo crecimiento y producción forrajera, durante los meses fríos de invierno la alfalfa detiene su crecimiento al pasar por debajo de su temperatura base de crecimiento que

es, según las variedades de 4 °C, al iniciarse la elevación de temperatura, las cuales son propias de primavera y verano, el óptimo se sitúa, según las variedades, en el intervalo entre 18 y 28 °C (Del Pozo, 1983).

2.4.2 Luz

La calidad y periodicidad de la luz influyen en el desarrollo de las plantas, porque estimulan o limitan la germinación, la floración de la planta y otros fenómenos (Lemaire *et al.*, 2000). La percepción del estímulo luminoso, se realiza mediante un fotoreceptor adecuado, como la clorofila, el caroteno o el fitocromo, que son sensibles a diferentes longitudes de onda (Sud y Dengler, 2000). Las principales respuestas fotomorfogénicas de las plantas, están mediadas por pigmentos fotosensibles: fitocromo (sensible en la porción del rojo (R) y el rojo lejano (RL) del espectro lumínico, criocromo (sensible a la porción azul) y UVcromo (sensible a los rayos ultra violeta).

En términos generales, una baja cantidad de luz y una baja relación R:RL, provocan tres respuestas principales en las plantas: aumento de asignación de recursos a la parte aérea (tallo: raíz alta), alargamiento de los órganos ya existentes, reducción del macollo y, eventualmente, una reducción en la aparición de hojas (Gautier *et al.*, 1999; Días y De Carvalho, 2000). Cuando la concentración de CO₂, la disponibilidad de agua y la temperatura no son limitantes, la tasa fotosintética es directamente proporcional, dentro de ciertos límites, a la radiación absorbida por la hoja, o sea, aquella de longitud de onda entre 400 y 700 nm (Lascano y Spain, 1988).

2.4.3 Agua

En la alfalfa la humedad disponible del suelo influye, mayormente, en el crecimiento de plántulas. Una buena disponibilidad de humedad en el suelo, durante el estado de plántula es importante, pero los excesos de humedad reducen la aireación del suelo y pueden resultar en un sistema radical amarillento y plantas con coronas pequeñas; una humedad excesiva en el suelo, provoca daño a las plántulas o pérdidas por varios patógenos. Espinoza y Ramos, (2001) señalan que el efecto del estrés hídrico, en el crecimiento, es más acentuado en los tejidos que están desarrollándose rápidamente; estos tejidos constituyen la mayor parte de la planta, durante la germinación, emergencia y crecimiento inicia. El crecimiento del dosel y de las raíces de plántulas de leguminosas, como la alfalfa, disminuye, debido al incremento en el estrés hídrico (Carleton y Cooper, 1972). La limitación de agua restringe la producción de la alfalfa, pero no llega a frenar por completo su crecimiento; así también, la alfalfa es sensible a la inmersión, especialmente cuando se encuentra en periodo de crecimiento activo. Durante el invierno puede aún tolerar el encharcamiento por períodos reducidos (dos a tres días), si el tiempo se prolonga o se encuentra en cultivo en plena estación productiva, entonces los rendimientos descienden rápidamente, debido al alto porcentaje de plantas que mueren al no poder respirar las raíces (Del Pozo, 1983; Juncafresca, 1983; y Muslera y Ratera, 1991). Se considera que para producir un kg de MS por planta de alfalfa se necesitan 700 a 800 kg de agua, mientras que los cereales de invierno (cebada y trigo) solamente precisan de 500 a 600, y el maíz y trigo de 300 a 350 kg (Del Pozo, 1983; Muslera y Ratera, 1991).

2.4.4 Edáficos

La alfalfa es una especie forrajera que se adapta a una gran variedad de suelos; sin embargo, prefiere los de textura media, profundos y con buen drenaje. Cuando el suelo no tiene estas características la planta no puede expresar su potencial de rendimiento (Salinas, 2005). Es un cultivo que se adapta a suelos profundos, bien drenados alcalinos y tolera la salinidad moderada; no soporta el encharcamiento, por lo que se considera una especie muy sensible a la acidez del suelo. El pH crítico para su desarrollo es de 5-6, por debajo del cual es necesario, en ocasiones corregir la acidez del suelo (Muslera y Ratera, 1991).

La acidez es probablemente uno de los factores que limitan el cultivo de la alfalfa en todo el mundo. El pH óptimo para la alfalfa sería de 7.2, siendo necesario recurrir a encalados siempre que se estuviera por debajo de 6.8 (Soto *et al.*, 2001). Para pH inferior a 6 conviene encalar los suelos, cuando menos, cada dos años, con el objetivo de prolongar la vida del cultivo (Espinoza y Ramos, 2001). El *Rhizobium meliloti*, es la bacteria nodulante en la alfalfa, es una especie neutrófila que no se reproduce con pH inferior a 5 (Del Pozo, 1983). La acidez del suelo determina fundamentalmente: a) la nodulación y, consecuentemente, la nutrición nitrogenada de la planta, b) la utilización del ión calcio y c) la absorción de los iones aluminio y manganeso, con los posibles efectos tóxico que ocasiona un exceso de los mismos (Juncafrasca, 1983; Del Pozo, 1983; Rodríguez, 1989).

La alfalfa es una planta cuyo valor óptimo de pH se sitúa en la zona de neutralidad, tolera mejor la alcalinidad que la acidez (Muslera y Ratera, 1991). Sin embargo, cuando la alcalinidad alcanza valores altos, la disponibilidad de ciertos elementos, tales como el fósforo, hierro, manganeso, boro y zinc, es reducida, llegando en algunos casos hasta límites inadecuados para la vida de la planta (Rodríguez, 1989). El efecto que ocasiona la salinidad, es que limita la absorción de agua por la planta, probablemente por diferencias en la presión osmótica entre la raíz y las partes aéreas, y por ello, aquellas con mayor desarrollo radical aparece como más resistente a la salinidad, ya que las raíces alcanzan profundidades donde la salinidad no es ya tan extrema y resulta más tolerable (Del Pozo, 1983; Rojas, 1993).

En la alfalfa se ha determinado que la profundidad del suelo tiene un efecto directo sobre el rendimiento de esta especie forrajera, siendo inversamente proporcional, esto es que, a menores profundidades del suelo el rendimiento de la alfalfa es menor. De esta forma, para lograr buenas producciones, se deben seleccionar suelos de profundidad igual o superior a 40 cm (Espinoza y Ramos, 2001). Tolerla la sequia debido al gran desarrollo radical que puede llegar a adquirir, razón por la cual, extrae el agua que necesita de las capas más profundas del suelo (Muslera y Ratera, 2001). Naturalmente, ello resulta difícil cuando existe una capa impermeable o la propia roca madre muy a flor de tierra. Las raíces no pueden alcanzar la profundidad que necesitarían para absorber el agua, y su vida en periodo de escasez se hace así muy precaria, como resultado de que la cantidad de agua que puede almacenarse en el suelo es disminuida (Espinoza y Ramos, 2001).

2.4.4.1 Fertilización

En México, el deterioro de la fertilidad de los suelos agrícolas, por la erosión que han sufrido a través de los años, no ha sido remediado por falta de incorporación de nutrimentos esenciales como el nitrógeno. Sin embargo, la alfalfa, que es una leguminosa tiene la capacidad de asociarse con bacterias del genero *Rhizobium*, que fijan nitrógeno en el suelo, además que es uno de los cultivos más antiguos, de ciclo estival, con bondades que han permitido llamarla “reina de las forrajeras” (Carámbula, 1981).

Espinoza y Ramos (2001), mencionan que el hecho de que la planta de alfalfa fije nitrógeno en el suelo, en ocasiones es un proceso mal interpretado y es común que se piense que si la alfalfa aumenta los elementos nutritivos del suelo, no precisa de ninguno de ellos, por lo que algunos productores no fertilizan o fertilizan escasamente (Juncafresca, 1983). No obstante, la alfalfa necesita absorber elementos mayores y menores para un buen desarrollo, siendo los más importantes: Potasio, Fósforo, Nitrógeno, Calcio, Magnesio, Azufre, Boro, Cobre, Zinc, Hierro y Magnesio. De estos elementos nutritivos los que requiere en gran cantidad son, en orden de importancia, Fosforo, Potasio y Nitrógeno. De acuerdo con Rodríguez (1989) las leguminosas como la alfalfa sólo necesitan un poco de nitrógeno en su etapa inicial hasta que se forman los nódulos de *Rhizobium*; en cambio, son importantes los aportes de Fosforo y Potasio en este periodo, llegando a requerir de 100 a 300 kg ha⁻¹ de Fosforo, y de 100 a 500 kg ha⁻¹ de Potasio y solo de 20 a 60 kg ha⁻¹ de Nitrógeno.

2.5. Frecuencia e intensidad de defoliación

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 forrajera. 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).

Johnson (1998) menciona que la alfalfa se debe de cortar para heno o forraje verde entre los 28 y 32 días de rebrote y que los cortes se deben de hacer cuando las plantas estén en estado tardío. Por su parte, Ball (1998) menciona que las decisiones hechas y acciones tomadas, previas y durante los procesos de establecimiento, son críticamente importantes y determinan el potencial productivo de una pradera de alfalfa. Sin embargo, se requiere un manejo adecuado después del establecimiento, para alcanzar ese potencial. El mismo autor señala que el estado de madurez al corte, tiene una influencia significativa en la calidad del forraje, ya que las plantas de alfalfa al avanzan del estado vegetativo a reproductivo (floración), son altas en fibra y lignina y bajas en proteína, digestibilidad y aceptabilidad por el ganado.

Los cortes de alfalfa requieren de un balance entre la calidad, rendimiento y persistencia de la pradera. El corte para heno, en un estado temprano (final de botón e

inicios de floración), es más alto en los componentes de calidad, es más apetecible y su consumo es mayor, que el del heno más maduro; así mismo, los cortes, varían entre y dentro de las etapas fenológicas de la planta y se relacionan con las condiciones climáticas y el uso de forraje. En general, el estado ideal entre las necesidades de calidad y rendimiento de forraje, son cortas cuando éstas están cambiando del estado vegetativo con abundante hoja, al reproductivo. El período final de botón a inicio de floración, resulta en una aceptable producción de alta calidad alimenticia (Rivas *et al.*, 2005).

En praderas establecidas se recomienda que la alfalfa llegue al invierno, con suficiente crecimiento y reservas de carbohidratos en la raíz, para proveerse protección contra los daños del invierno; las plantas dañadas o bajas en reservas de carbohidratos en la raíz, son más susceptibles a enfermedades. Salas (1998) al evaluar las variedades de alfalfa Cuf-101 y Valenciana, durante el verano y el otoño, para determinar el estado fisiológico óptimo de utilización, determinó que la máxima acumulación de materia seca fue de 2866 y 2615 kg ha⁻¹, respectivamente en el verano, a la cuarta semana de rebrote; en otoño se tuvo un crecimiento más lento y la máxima acumulación de materia seca ocurrió en la quinta semana de rebrote con 2891 kg de MS ha⁻¹ para Cuf-101 y 2646 kg de MS ha⁻¹ para Valenciana.

De acuerdo con Hughes *et al.* (1980) y Mendoza (2008), al realizar la cosecha con intervalos de corte muy reducidos provoca una disminución en las especies deseables, y una invasión por maleza. Jiménez y Martínez (1984) mencionan que el ampliar el

tiempo entre un corte y otro, ayuda a aumentar el rendimiento de materia seca por hectárea, pero con una reducción considerable en la cantidad de proteína y digestibilidad de materia seca. Es por eso que Hernández-Garay y Martínez (1997) consideran importante establecer la frecuencia de corte para las diferentes estaciones del año, debido a que la velocidad de crecimiento de forraje es estacional, por lo que las tasas de crecimiento serán diferentes y por consiguiente afectan directamente 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.

Si una pradera es cosechada con regímenes de cortes severos, no permite el tiempo a que la planta se recupere y por tanto, la densidad de plantas de la especie deseable 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 índice de área foliar remanente, indispensables para iniciar un nuevo rebrote.

Mientras Ottman y Rogers (2000) mencionan que la altura óptima de corte de la alfalfa (residual) varía de 5 a 10 cm y se puede utilizar para manipular la estimulación de tallos, originados de la corona y una mayor altura estimula las yemas de los tallos. Las primeras son más productivas que las segundas; un corte alto puede ser atractivo: 1) si el desarrollo de las yemas de la corona es suprimido o inhibido por cortes frecuentes, 2) para evitar el corte de las yemas del rebrote de la corona, sí la alfalfa se corta tarde y 3) durante el verano cuando el desarrollo de las yemas de la corona es bajo.

Hernández (1990) al estudiar tres frecuencias de corte (4, 6, 8 semanas) y dos alturas de corte (4 y 8 cm) en alfalfa, observó que las plantas cosechadas cada seis semanas a 4 cm, presentaron el mayor rendimiento de MS ha⁻¹, como resultado de haber promovido la mayor tasa de crecimiento. Además, incrementos en las frecuencias de corte, disminuyeron la tasa de crecimiento. Sin embargo 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 días en primavera-verano y cada 42 días en otoño-invierno; en el ligero se cosecho cada 35 y 49 días 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.

2.6. Factores que afectan el 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). El rebrote está influenciado por gran número de factores, tales como climáticos, reservas de carbohidratos, hormonas, disponibilidad de nutrientes (principalmente nitrógeno), área foliar a partir de la cual de llevará acabo la fotosíntesis y la competencia entre intra específica e inter específica (Briske, 1991).

La capacidad de rebrote de una planta, después de una defoliación, está determinada por numerosos factores fisiológicos, entre los que destacan las reservas de carbohidratos presentes en la raíz y el área foliar remanente, así como los meristemas de crecimiento presentes, después de la cosecha. Tanto las reservas de carbohidratos como el área foliar remante 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).

(Chapman y Lemaire, 1993) consignaron que 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 colorantes en el contenido de carbohidratos y crecimiento de raíz y tallo, también se altera el microambiente, particularmente la penetración de luz, temperatura y humedad del suelo, lo que influye en el crecimiento de las plantas. Similarmente, se reduce la disponibilidad de carbono, lo cual crea un desbalance

fuente-demanda y modificada 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).

2.6.1. Reserva de carbohidratos

De acuerdo con Briske (1991) y Richards (1993) las reservas de carbohidratos, la cantidad y tipo de tejido 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 su posterior recuperación. Volenec *et al.*(1987) indican que la alfalfa, en invierno reduce el crecimiento vegetativo, mientras continúa el crecimiento en la raíz, para posteriormente volver a bajar. En primavera, la fotosíntesis se máxima por el mayor número de horas luz; sin embargo, las necesidades respiratorias son ya importantes, al elevarse paulatinamente las temperaturas. Entre la respiración y el crecimiento, la planta agota los carbohidratos que asimila, por lo que las reservas se mantienen más o menos en su nivel anterior (Del pozo, 1983). Varella *et al.* (2001) indican que primavera y verano, son las épocas con mayor producción de materia seca.

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 restablecer el balance previo existente entre el tallo y la raíz; así la

disponibilidad de recursos modifica la prioridad de asignación, pues pueden alterar la relación raíz:parte aérea y la magnitud de los recursos entre estos órganos (Briske *et al.*,1996).

De acuerdo con Salinas y Mote (1992) en verano hay mejores condiciones ambientales como son altas temperaturas e intensidad de luz y abundante humedad y a medida que transcurre el tiempo disminuyen, lo que repercute en menor rendimiento en las estaciones posteriores. Durante el otoño la respiración se reduce sensiblemente, por lo que la planta sintetiza a un menor ritmo, pero tiene material de reserva suficiente para formar nuevas raíces, tallos y hojas (Hanson, 1972). Las reservas de carbohidratos más o menos se mantienen e, incluso, inician la recuperación al avanzar el invierno (Del Pozo, 1983). La alfalfa necesita un manejo cuidadoso durante el invierno, para mantener el cultivo vigoroso.

Las reservas de carbohidratos y nitrógeno (N), en varias partes de la planta, han sido consideradas, tradicionalmente, una fuente importante de nutrimentos para iniciar el rebrote después de una defoliación (Rojas, 1993). El crecimiento inicial, con frecuencia, depende de la movilización de reservas de N y Carbohidratos no estructurales (CNE) almacenadas en raíces y coronas. 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). Quiroga (1991) menciona que los cortes frecuentes repercuten negativamente en la concentración de reservas de carbohidratos, responsables de iniciar y mantener crecimientos vigorosos,

después de cada corte, por lo que al descender las reservas de las raíces, se afectará directamente la longevidad o persistencia del cultivo. Este problema se acentúa aún más en verano, cuando la interacción de diversos factores climáticos aceleran la maduración del cultivo, con menor intervalos entre corte, lo que ocasiona muerte de plantas e invasión de maleza, las cuales desplazan al cultivo y reducen la calidad del forraje.

2.6.2. Índice de área foliar

Las hojas, son las principales protagonistas, de numerosas funciones vitales para el crecimiento y desarrollo de las plantas; tales como la radiación interceptada, absorción solar incidente, fotosíntesis, transpiración, respiración, fotorespiración y sintetizan los carbohidratos que van a traslocarse en los diferentes órganos; la fotosíntesis está directamente relacionada con la superficie foliar expresada como índice de área foliar (Legorburo *et al.*, 2005).

(Hodgson, 1990) define el índice de área foliar (IAF) como la relación entre 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).

La producción y aparición de las hojas, son procesos fundamentales en el crecimiento y desarrollo de una planta, de tal forma que la tasa a la cual aparecen las hojas, es un componente del crecimiento de la hoja y está coordinada con la tasa de aparición de nuevos rebrotes. La producción de hojas está dada por grados día ($^{\circ}\text{Cd}$) y varía entre y dentro de genotipos y de acuerdo a las condiciones ambientales, en particular a las fechas de siembra, lo cual se debe al cambio en la longitud del día y al efecto de la temperatura. Se ha comprobado que la tasa de aparición de hojas disminuye, conforme se aumenta la temperatura por arriba de 25°C , por la disminución que sufre la tasa de aparición de hojas en cultivos templados como el trigo (Kirby y Perry, 1987).

Briske (1991) señala que la aparición de la energía fotosintética, es más importante en el crecimiento y desarrollo de tejido foliar, que en tallos. El ambiente afecta el crecimiento y desarrollo foliar, y este adquiere mayor importancia, si se considera que algunas características físicas de la hoja, pueden estar relacionadas con su capacidad fotosintética, ya que la fotosíntesis neta declina con la edad de la hoja, después de su expansión total y el peso específico de la hoja está influenciado por la intensidad de la luz y ésta cambia según las condiciones ambientales; así mismo, existe una alta correlación entre el peso específico de la hoja y la fotosíntesis neta y éstas cambian con variaciones en la intensidad de luz, en todos los estados de madurez. 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 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.

En un estudio realizado por Longnecker y Robson (1994), observaron que la tasa de aparición y número de hojas, es afectado por los niveles de fertilización con nitrógeno y que las plantas con menor contenido de éste elemento, presentan menor tasa de aparición de hojas y producción total de hoja, ya que se encontró que estas plantas presentaron menor peso seco de raíz. Otros autores, como Dorantes (2000) al realizar estudios en alfalfa, determinó que la tasa instantánea de aparición de hojas, es afectada por el pastoreo; cuando éste fue severo promovió la mayor tasa de aparición de hojas. Además, encontró que existen diferencias entre variedades, en la tasa de aparición de hojas y que ésta puede variar entre semanas, al ser alta en las primeras semanas de crecimiento de algunas variedades y bajas en las últimas semanas de

crecimiento. Este autor observó también que la tasa de aparición de hojas varío entre estaciones del año.

2.6.3. Meristemos de crecimiento

Briske (1991) consigno que la velocidad de rebrote depende de la presencia de regiones meristemáticas activas en los tallos, que permanecen en la plata después de una defoliación, lo cual acelera la expansión foliar. Hernández-Garay y Martínez (1997) mencionan que después de una cosecha, el rebrote de las especies forrajeras ocurre por traslocación de carbohidratos de raíces y base de tallos, a los meristemos de crecimiento; de esta manera, en algunos 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. Por su parte, Rojas (1993) reporto que el rebrote rápido se debe a la presencia de 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 puede distinguir entre meristemos primarios, de los que depende el crecimiento de longitud y meristemos secundarios, que producen engrosamiento de tallos y raíces. 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).

Lemaire (2001), señala que 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. Richards (1993) menciona 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.

En la alfalfa 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 (Baguet y Bavera, 2001).

2.7. Población de tallos

La producción de forraje de 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 (Hernández-Garay *et al.*, 1999). 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 y desarrollo de la planta y del manejo (Hodgson *et al.*, 1981). 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 (Lemaire, 2001).

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 (Hernández-Garay *et al.*, 1999). 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).

La productividad de cualquier especie forrajera está relacionada al número de tallos por unidad de área. Sin embargo, la alfalfa tiene una habilidad alta para ajustar el número de tallos, dependiendo de la densidad de plantas y competencia (Lemaire,

2001). El vigor de la planta está influenciado por las relaciones de energía y acumulación de carbohidratos en las raíces y coronas y, posiblemente, este es el factor más crítico que afecta la producción de tallos en alfalfa (Mendoza, 2008). El número de tallos o la muerte de éstos, también es afectado por procesos fisiológicos, tales como la concentración de reguladores de crecimiento, que induce la dominación apical, de tal forma que para antiauxinas en fotoperiodos cortos, el número de tallos aumenta. Así mismo, el tamaño de la corona es responsable del número de tallos en el siguiente corte (Kephart *et al.*, 1992).

Los factores que afectan la producción de tallos en alfalfa, está determinada por la humedad del suelo, radiación interceptada, temperatura, nutrición mineral y frecuencia de cortes, ya que alteran el desarrollo de brotes y tallos, en consecuencia, afectan el vigor y crecimiento de la planta, por lo tanto el número de tallos es mayor en plantas expuestas a luz solar intensa, que en las expuestas a baja intensidad de luz, el número de tallos aumenta con fotoperiodos largos (Matthew y Hodgson, 1997). Así mismo, Mendoza (2008), menciona que en alfalfa variedad san miguelito, independientemente de la frecuencia de corte, la mayor población de tallos ocurrió en el invierno y la menor durante verano, teniendo además que en general, frecuencias de corte reducidas incrementaron la densidad de tallos pero con menor peso y viceversa. De acuerdo con Hernández-Garay *et al.* (1999), 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 la frecuencia y intensidad de defoliación.

2.8. Conclusión de literatura

- a. Los elementos ambientales y manejo determinan el crecimiento, rendimiento y persistencia de las plantas forrajeras.

- b. Las reservas de carbohidratos, meristemas de crecimiento y área foliar remanente son factores que determinan el rebrote en una pradera.

- c. El mayor rendimiento de una pradera coincide con el mayor índice de área foliar, la mayor masa de hojas verdes, mayor número de tallos y mayor densidad de plantas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El experimento se realizó de junio del 2010 a junio del 2011, 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 msnm. El clima del lugar es templado subhúmedo, el más seco de los subhúmedos, con precipitación media anual de 636.5 mm, y 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, 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.

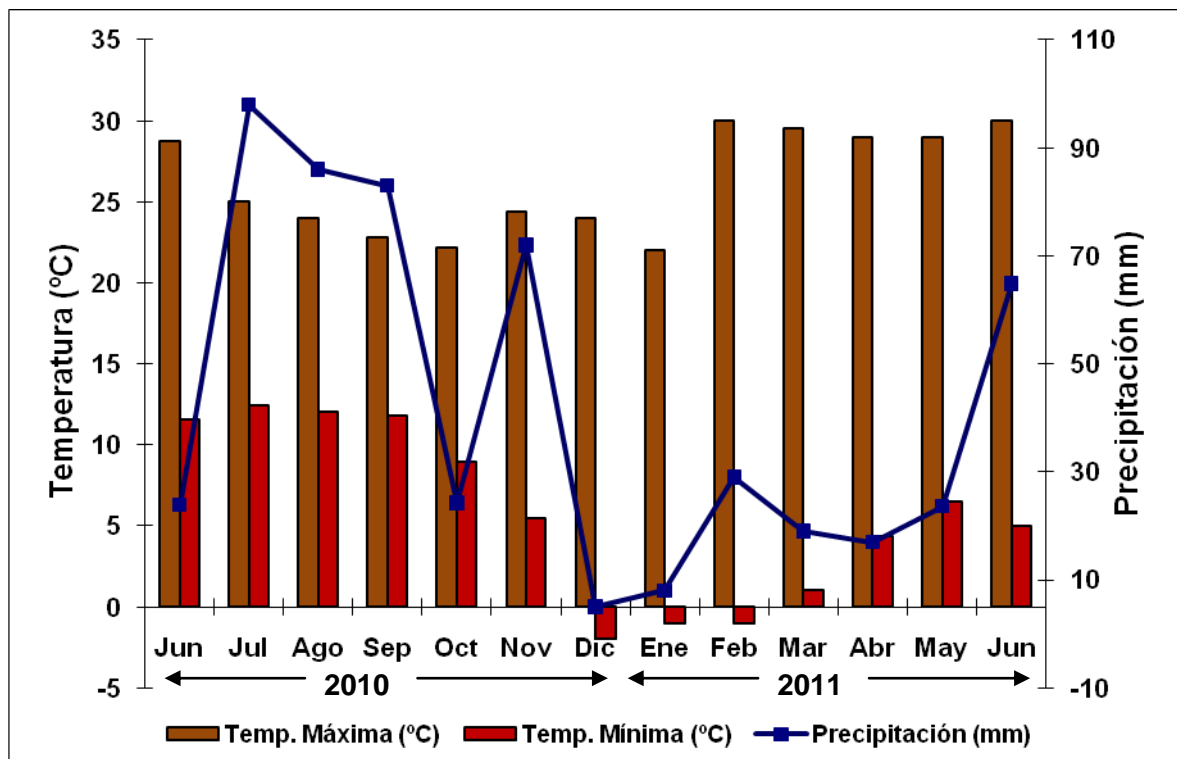


Figura 1. Temperatura media mensual máxima, mínima y precipitación acumulada mensual durante el periodo de estudio (junio 2010 a junio 2011).

Durante la fase experimental, la temperatura máxima promedio mensual fue de 30 °C y se registró en febrero, marzo y junio de 2011, mientras que las menores temperaturas mensuales se registraron en diciembre, enero y febrero de 2011 y fueron de -2, -1 y -1 °C, respectivamente. La mayor precipitación (mm) mensual acumulada se presentó en julio de 2010 con 98 mm y la menor en diciembre de 2011 con 5 mm, teniendo una precipitación acumulada durante la fase experimental de 555 mm.

3.2. Manejo de las variedades de alfalfa

Se utilizaron diez variedades comerciales de alfalfa, las cuales fueron: Aragón, Valenciana, Chipilo, Milenia, Oaxaca, San Miguelito, Júpiter, Atlixco, Vía láctea y Cuf 101, establecida el 18 de abril de 2008. El área de estudio se dividió en 40 parcelas de 63 m² (9*7m), con una densidad de siembra de 30 kg ha⁻¹ de semilla pura viable, la cual se ajustó por el peso de la semilla y el porcentaje de germinación de cada variedad. Al inicio del experimento se realizó un corte de uniformización (02 de junio de 2010), a una altura promedio de 5 cm, con un tractor-podador, la fase experimental concluyó el día 21 de junio de 2011. Durante el periodo experimental (junio de 2010 a junio de 2011) las parcelas fueron regadas, únicamente durante el periodo de seca, cada dos semanas a capacidad de campo.

Las variedades se asignaron al azar siguiendo los principios de un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió de una parcela de 7 x 9 m, y el intervalo entre cosechas varió de acuerdo a la estación del

año; en primavera y verano las plantas se cortaron a las cuatro semanas, en otoño cada cinco y en invierno cada seis semanas.

3.3. Variables evaluadas

3.3.1. Rendimiento de forraje

Para evaluar el rendimiento de forraje por corte, en cada variedad, al inicio del estudio, se colocaron al azar dos cuadros fijos de 0.25 m² por repetición. El forraje presente dentro de cada cuadro se cosechó un día antes del corte, 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).

3.3.2. Tasa de crecimiento del forraje

La tasa de crecimiento promedio estacional de las variedades de alfalfa, se calculó con los datos de rendimiento obtenidos en cada corte, en cada una de las repeticiones, con la siguiente fórmula:

$$TC = R / T$$

Donde:

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

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

T = Días transcurridos en cada estación.

3.3.3. Composición botánica y morfológica

De cada una de las muestras de forraje cosechado para estimar el rendimiento, se tomó una submuestra de aproximadamente 200 g y se separó en alfalfa y malezas, para así determinar la composición botánica. La alfalfa se separó en sus componentes morfológicos (hojas, tallos, material muerto y flor). Cada componente se secó por separado en una estufa de aire forzado, a una temperatura de 55 °C durante 72 h y se pesó. Para determinar la contribución (porcentaje) al rendimiento se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{PCM} = (\text{COMP} * 100) / \text{R}$$

Donde:

PCM= Porcentaje por componente morfológico (%) por especie

COMP= Submuestra del componente separado por especie

R= Rendimiento (kg MS ha⁻¹)

3.3.4. Relación hoja:tallo

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

$$\text{Hoja:tallo} = \text{H} / \text{T}$$

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).

3.3.5. Altura de la planta

Para estimar la altura promedio por planta de cada variedad, un día antes del corte se tomaron al azar 25 lecturas por repetición. Para ello 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 quedara a nivel de suelo. Posteriormente, un dispositivo con el que cuenta la regla, se colocaba de manera vertical arriba del dosel vegetal y se deslizó hacia abajo, hasta que éste toco algún componente morfológico y se registró la altura.

3.3.6. Índice de área foliar (IAF)

Para determinar el IAF se separaron las hojas de 5 tallos por repetición de cada variedad y se colocaron en un integrador de área foliar marca CID, Inc, modelo CI-202 de escáner, de donde se obtuvieron las lecturas en cm² por tallo. Estas lecturas en conjunto con el número de tallos por metro cuadrado permitieron estimar el IAF por medio de la siguiente fórmula:

$$IAF = AF * DT$$

Donde:

IAF = Índice de área foliar

AF = Área foliar por tallo

DT = Densidad de tallos (m²)

3.3.7. Radiación interceptada

Un día previo a cada corte se tomaron al azar 5 lecturas de radiación con el método del metro de madera, en cada repetición. Las lecturas se realizaron aproximadamente

a las 13:00 h (es el mejor tiempo para medir la cobertura en el dosel, porque a esta hora, el ángulo solar es alto y la intercepción de la luz cambia al mínimo). Para ello, la regla se colocó sobre la superficie del suelo (debajo del dosel), con orientación sur-norte, e inmediatamente después, se contaron los centímetros sombreados, los cuales representaron el porcentaje de radiación interceptada por el dosel vegetal.

3.3.8. Densidad de tallos

Al inicio del experimento, se colocaron al azar dos cuadros fijos de 20 * 20 cm, a nivel del suelo, en cada repetición de cada variedad; en donde se contaron mensualmente todos los tallos presentes dentro de cada cuadro y se registraron los cambios que se manifestaban en densidad.

3.3.9. Peso por tallo

Un día antes de cada corte, se cortaron aleatoriamente 10 tallos, a nivel de suelo. Se secaron en una estufa de aire forzado a 55 °C por 72 h, para posteriormente registrar su peso. El peso seco de los 10 tallos se dividió entre 10 y con ello estimó el peso promedio por tallo.

3.3.10. Densidad de plantas

Al inicio del experimento se colocó un cuadro fijo de 1 m² en cada repetición, en donde mensualmente se contó el número de plantas de alfalfa presentes y se registraron los cambios en densidad poblacional durante el año.

3.4. Análisis estadístico

Para comparar el efecto de las frecuencias de corte, se realizó un análisis de varianza con el procedimiento de Modelos 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.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento de forraje

En el cuadro 1 se presenta el rendimiento anual y estacional de 10 variedades de alfalfa. En general, se observa que las variedades Jupiter y Milenia con 20,275 y 20,644 kg MS ha⁻¹ registraron los mayores rendimientos anuales ($P < 0.05$). En contraste, la variedad Cuf 101 y Aragón presentaron los menores rendimientos anuales con 13,350 y 14,488 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Independientemente de la variedad, el mayor rendimiento estacional de forraje se observó en verano, seguido de primavera, otoño e invierno ($P < 0.05$). El promedio estacional de las variedades presenta el siguiente orden descendente: Verano 36% > Primavera 27% > Otoño 24% > Invierno 13%, con un rendimiento promedio anual de 17,313 kg MS ha⁻¹. Resultados similares fueron reportados por Villegas *et al.* (2004) quienes encontraron rendimientos anuales de 21.6, 21.4, 20.0 y 20.1 t de MS ha⁻¹ para las variedades Oaxaca, Tlacolula, Valenciana y Moapa, respectivamente, con intervalos entre cortes de 7 semanas en otoño-invierno y 5 semanas durante primavera-verano. Por otro lado, Mendoza (2008) reportó el mayor rendimiento anual acumulado de alfalfa variedad "San Miguelito" (29,674 kg MS ha⁻¹) con la frecuencia de corte de 7 semanas en otoño-invierno y 6 semanas en primavera-verano. De éste rendimiento, se presentó el siguiente orden descendente: primavera 32% > otoño 27% > invierno 23% > verano 18%. El menor rendimiento acumulado ocurrió en el verano, debido a que para la frecuencia de corte de 7-6 semanas solamente se efectuó un corte. Asimismo 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%.

Cuadro 1. Rendimiento estacional y anual (kg MS ha⁻¹) de diez variedades de alfalfa.

Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Anual
Aragón	5188 BCa	3334 ABb	1717 BCc	4248 Aab	14488 B
Valenciana	6407 ABa	4093 ABb	2035 ABCc	4294 Ab	16829 AB
Chipilo	6163 ABCa	4387 ABb	2412 ABCc	5073 Aab	18035 AB
Milenia	7149 Aa	4898 Ab	2776 Ac	5819 Aab	20644 A
Oaxaca	6299 ABCa	4512 ABb	2217 ABCc	4911 Aab	17939 AB
San Miguelito	6097 ABCa	4177 ABb	2069 ABCc	3891 Ab	16234 AB
Júpiter	7269 Aa	4833 Ab	2679 Ac	5494 Ab	20275 A
Atlixco	6506 ABa	4530 ABb	2469 ABc	4453 Ab	17958 AB
Vía Láctea	6522 ABa	4449 ABb	2361 ABCc	4080 Ab	17412 AB
Cuf 101	4888 Ca	3104 Bb	1508 Cc	3049 Aab	13350 B
Promedio	6248 a	4231 b	2224 c	4610 b	17313 AB

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 menores rendimientos observados en esta investigación se pueden atribuir a que las variedades fueron establecidas en abril de 2008, por lo que su persistencia y por tanto su rendimiento va en decremento conforme aumenta el tiempo después de la siembra. Al respecto, Améndola *et al.* (2005) consignan que la persistencia de la alfalfa en el Valle de México es de 3 años como resultado de reducidos intervalos de corte, dando con ello de 9 a 11 cortes. Por otro lado, Hernández *et al.*(1992) mencionan que para obtener una mayor persistencia y productividad, es necesario que

se le proporcione un manejo apropiado, desde el punto de vista intensidad y frecuencia de corte. En este sentido, Hernández y Pérez (1998) observaron en la variedad Moapa 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. Lo anterior probablemente se debe a que 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 °C durante el día y de 10 a 20 °C en la noche.

4.2. Tasa de crecimiento (TC)

En el cuadro 2 se presenta la tasa de crecimiento estacional y promedio anual de las 10 variedades de alfalfa. Se presentaron diferencias estadísticas entre variedades ($P < 0.05$), siendo Milenia y Júpiter con 57 y 56 kg MS ha⁻¹d⁻¹, las que registraron el mayor TC promedio anual, mientras que Cuf 101 presentó la menor TC promedio con 37 kg MS ha⁻¹d⁻¹. En general, se observó una marcada estacionalidad en la TC, con los menores y mayores valores en invierno (28 kg MS ha⁻¹ d⁻¹) y verano (74 kg MS ha⁻¹ d⁻¹), respectivamente. Lo anterior se puede atribuir a que las TC aumentan conforme se presentan las temperaturas óptimas para el crecimiento de la alfalfa. En esta investigación las estaciones de primavera y verano fueron las que presentaron horas luz y temperaturas óptimas (Figura 1), lo que benefició el crecimiento y productividad de todas las variedades evaluadas (Figuroa *et al.* 2004).

Cuadro 2. Cambios estacionales en la tasa de crecimiento (kg MS ha⁻¹d⁻¹) de diez variedades de alfalfa.

Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio
Aragón	57 BCa	37 BCb	19 BCc	46 Aab	40 BC
Valenciana	73 Aa	42 ABCb	23 ABCc	54 Ab	47 ABC
Chipilo	70 ABa	46 ABCbc	28 ABc	61 Aab	51 AB
Milenia	78 Aa	54 Ab	31 Ac	64 Aab	57 A
Oaxaca	72 ABa	47 ABCb	27 ABCc	61 Aab	51 AB
San Miguelito	71 ABa	44 ABCb	25 ABCc	48 Ab	46 ABC
Júpiter	80 Aa	54 ABb	30 ABc	60 Ab	56 A
Atlixco	74 Aa	48 ABCb	28 ABCc	54 Ab	51 AB
Vía Láctea	74 Aa	47 ABCb	28 ABCc	47 Ab	49 ABC
Cuf 101	53 Ca	35 Cb	16 Cc	42 Aab	37 C
Promedio	77 a	49 c	28 d	59 b	

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).

Por otra parte, Mendoza (2008) al evaluar diferentes intervalos de corte con alfalfa variedad San Miguelito encontró la menor TC en invierno (61 kg MS ha⁻¹ d⁻¹) y la mayor en verano (108 kg MS ha⁻¹ d⁻¹). Sin embargo, Cadena (2009) al evaluar cuatro frecuencia de corte en alfalfa variedad San Miguelito se encontraron diferencias significativas (P<0.05) para las estaciones del año en donde las mayores tasas de crecimiento se alcanzan con el mayor periodo de reposo, en donde el tratamiento 4 con 6 y 7 semanas de reposo obtuvo las mayores TC (63.13 kg MS ha⁻¹ d⁻¹) seguido de el tratamiento 3 con 5 y 6 semanas (51.47 kg MS ha⁻¹ d⁻¹), luego el tratamiento 2 con 4 y 5 semanas (40.67 kg MS ha⁻¹ d⁻¹) y la menor tasa de crecimiento se registro en el tratamiento 1 con 3 y 4 semanas de reposo (14.22 kg MS ha⁻¹ d⁻¹).

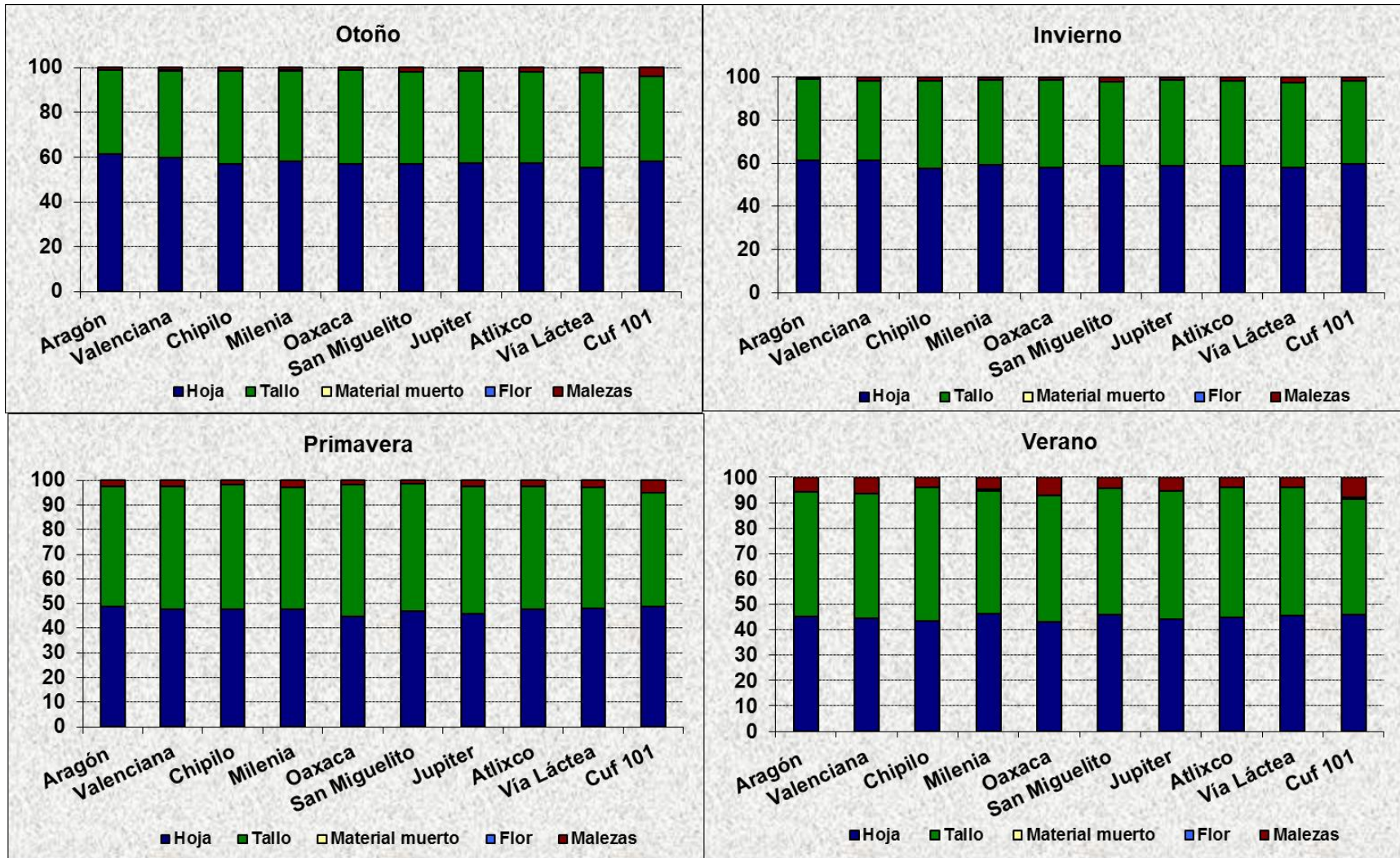
Así mismo Rivas *et al.* (2005) registraron para cinco variedades de alfalfa, una tasa de crecimiento promedio anual entre las variedades ($P < 0.05$) presenta el siguiente orden descendente: Oaxaca ($98 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), San Miguel ($97 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), Moapa ($92 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), Cuf 101 ($74 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) y Valenciana ($73 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), presentando para el promedio de las cinco variedades ($P < 0.05$) la menor TC se obtuvo en el mes de enero ($59 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) y la mayor en julio ($132 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), correspondiendo a la estación de invierno y verano, respectivamente; resultados que son similares a los del presente estudio.

4.3. Composición botánica y morfológica

En la figura 2 se presentan los cambios estacionales en la composición botánica y morfológica de las 10 variedades estudiadas. Independientemente de la variedad, la alfalfa constituyó más del 90% de la especie deseable en la pradera durante todo el periodo de estudio. Solo en primavera y verano hubo mayor ($P < 0.05$) presencia de malezas (pata de ganso-*Eleusine multiflora* -; pasto picudo-*Stipa tenuissima*- y cola de zorra -*Setaria geniculata*-), siendo el pasto picudo el predominante. De igual forma se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las variedades a través del año, siendo Cuf 101 con 4.7% la que presentó mayor invasión por malezas y Milenia, Atlixco y Chipilo las de menor invasión con 2.4%. Similares resultados fueron reportados por Mendoza *et al.* (2010), quienes observaron que al llegar a la primavera, se redujo la presencia de alfalfa y se incrementó el porcentaje de malezas.

Independientemente de la variedad, se observaron diferencias estadísticas entre estaciones del año en la aportación de las hojas al rendimiento ($P < 0.05$). Las estaciones de otoño e invierno con 57.9 y 59.2% de hoja superaron a las de primavera (47.9%) y verano (44.9%). Similar comportamiento se observó en el porcentaje de tallo ($P < 0.05$), en donde las variedades registraron las mayores cantidades en primavera y verano y las menores en otoño e invierno ($P < 0.05$). No se presentó material muerto en todo el periodo experimental, ya que la alfalfa tiende a tirar las hojas senescentes. Al respecto, Mendoza *et al.* (2010) reportaron datos similares a los del presente estudio, en donde al evaluar la variedad San Miguelito de alfalfa, independientemente de los intervalos de corte estudiados, la estación con mayor aporte de hoja fue invierno con 65% ($P < 0.05$).

La contribución del tallo al rendimiento tiene una relación inversa con su valor nutritivo, ya que al aumentar el porcentaje de tallo y disminuir la cantidad de hoja, decrece la digestibilidad y contenido de proteína y aumenta la cantidad de material muerto y fibra, reduciendo con ello la calidad de los forrajes (Bouton, 2001). Rivas *et al.* (2005) al evaluar cinco variedades de alfalfa registró el mayor porcentaje anual de hoja con 35 y 33% para las variedades Oaxaca y San Miguel, respectivamente y la variedad más baja Moapa con 30 % ($P < 0.05$).



Frecuencia de corte de 4 semanas para primavera – verano, de 5 semanas para otoño y de 6 para invierno.

Figura 2. Cambios estacionales en la composición botánica y morfológica (%) de diez variedades de alfalfa.

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 provocando que la tasa de rebrote sea lenta y que la pradera sea invadida por malezas.

4.4. Relación hoja:tallo

La relación hoja:tallo presentó efecto significativo ($P < 0.05$) entre variedades y estaciones del año (Cuadro 3). Las variedades Aragón, Valenciana y Cuf 101 con 1.3 registraron el mayor promedio en la relación hoja:tallo y la menor con 1.1 fue para la variedad Oaxaca. Independientemente de la variedad en otoño e invierno se presentó la mayor relación hoja tallo (1.5) siendo diferentes significativamente contra verano y primavera con valores de 0.9 y 1.0, respectivamente. Estos resultados coinciden con los presentados por Mendoza (2008) al evaluar diferentes intervalos de corte en alfalfa variedad San Miguelito en donde, independientemente del intervalo de corte, observó la mayor y menor relación hoja:tallo ($P < 0.05$) en enero y julio, respectivamente. La relación hoja:tallo de los forrajes puede considerarse como una medida indirecta de la calidad del forraje, siendo que valores mayores a uno indican una mejor calidad del mismo, comparado con valores menores a la unidad, buscando así la mejor relación entre el rendimiento y la calidad del forraje.

Cuadro 3. Cambios estacionales en la relación hoja tallo (R;H) de diez variedades de alfalfa.

Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio
Aragón	0.95 ABb	1.66 Aa	1.66 Aa	0.99 Ab	1.31 A
Valenciana	0.92 ABb	1.59 Aa	1.69 Aa	0.96 Ab	1.30 A
Chipilo	0.84 Bb	1.40 Aa	1.44 Aa	0.95 Ab	1.15 B
Milenia	0.95 ABb	1.49 Aa	1.51 Aa	0.97 Ab	1.23 AB
Oaxaca	0.87 Bb	1.38 Aa	1.44 Aa	0.83 Ab	1.13 B
San Miguelito	0.91 ABb	1.44 Aa	1.53 Aa	0.92 Ab	1.20 AB
Júpiter	0.88 ABb	1.46 Aa	1.52 Aa	0.89 Ab	1.19 AB
Atlixco	0.88 ABb	1.46 Aa	1.52 Aa	0.94 Ab	1.20 AB
Vía Láctea	0.91 ABb	1.39 Aa	1.50 Aa	0.98 Ab	1.19 AB
Cuf 101	1.02 Ab	1.55 Aa	1.55 Aa	0.98 Ab	1.29 A
Promedio	0.91 b	1.48 a	1.53 a	0.94 b	

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 Villegas *et al.* (2006) con cuatro variedades de alfalfa y dos regímenes de corte observaron que la variedad Moapa obtuvo el mejor comportamiento en la relación hoja:tallo y la menor fue para Tlacolula con 1.4 y 1.1, respectivamente. Por otra parte, Rivas *et al.* (2005) reportaron valores muy por debajo de los anteriores autores y del presente estudio, donde el valor promedio anual registrado para cinco variedades de alfalfa fue de 0.79, presentando variaciones a través del año, en donde el mayor y menor valor ($P<0.05$) se observaron en enero y noviembre con 1.05 y 0.62, respectivamente. De igual forma Morales *et al.*, (2006) registraron un promedio anual de 0.68 para catorce variedades de alfalfa ($P>0.05$). Sin embargo, Cadena (2009) al evaluar cuatro frecuencias de cortes en alfalfa variedad San Miguelito encontró la menor relación hoja:tallo cuando la frecuencia fue 4-6 semanas para las estaciones de verano y primavera con 0.75 y 0.80, respectivamente

y los valores más altos para la frecuencia de 7-3 semanas en las estaciones de invierno y otoño con 1.80 y 1.19, respectivamente.

4.5. Altura de la planta

En el cuadro 4 se presenta la altura promedio estacional y anual de 10 variedades de alfalfa. Independientemente de la estación del año la variedad Júpiter fue la que registro la mayor altura promedio ($P < 0.05$) con 52 cm y la que presentó menor altura fue Cuf 101 con 41 cm. Se observaron diferencias estadísticas entre estaciones del año ($P < 0.05$). La mayor altura se registro en verano, seguido de primavera, otoño e invierno ($P < 0.05$), con 60, 55, 47 y 26 cm, respectivamente.

Datos similares al del presente estudio, reportó Mendoza (2008) para la variedad San Miguelito. El reporto el siguiente comportamiento: verano > primavera > otoño > invierno con un valor promedio para la mayor altura ($P < 0.05$) de 60 cm (verano) y la menor de 32 cm (invierno).

Al respecto, Ramos y Hernández (1970) recomiendan que para el Valle de México, el mayor rendimiento de alfalfa, se logró con cortes a una altura de la planta de 65 cm en verano y de 32 cm en invierno y un intervalo entre cortes de 40 días.

Cuadro 4. Cambios estacionales en la altura (cm) de diez variedades de alfalfa.

Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio
Aragón	59 ABa	42 BCb	24 BCc	52 BCa	43 CD
Valenciana	58 ABa	44 BCb	26 BCc	53 BCab	45 BCD
Chipilo	62 Aa	49 ABCc	27 ABCd	57 ABb	48 ABC
Milenia	62 Aa	48 ABCc	28 ABd	59 ABb	49 ABC
Oaxaca	61 ABa	47 ABCc	26 ABCd	55 ABCb	47 ABCD
San Miguelito	61 ABa	46 ABCc	27 ABCd	56 ABCb	47 ABCD
Júpiter	64 Aa	54 Ab	32 Ac	61 Aa	52 A
Atlixco	62 Aa	50 ABb	27 ABCc	59 ABa	49 ABC
Vía Láctea	63 Aa	54 Ab	28 ABc	58 Abab	51 AB
Cuf 101	55 Ba	40 Cc	23 Cd	49 Cb	41 D
Promedio	60 a	47 c	26 d	55 b	

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 ($P>0.05$).

Por otra parte 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. Asimismo 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.

4.6. Índice de área foliar

En el cuadro 5 se presentan los cambios estacionales en el índice de área foliar (IAF) de 10 variedades de alfalfa. Se observaron diferencias estadísticas ($P<0.05$) entre las

diferentes variedades, teniendo el mayor promedio la variedad Milenia con 5.2. En contraste la variedad que obtuvo el menor promedio fue Cuf 101 con 2.8. También se registraron diferencias estadísticas entre estaciones del año ($P < 0.05$), teniendo el siguiente orden descendente para el promedio de las 10 variedades: verano 5.6 > primavera 4.6 > otoño 3.9 > invierno 2.2.

Por otra parte, Cadena (2009) al evaluar diferentes frecuencia de corte en alfalfa variedad San Miguelito, encontró diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos, en donde la frecuencia de corte de 5 semanas con 1.9 presentó el mayor IAF, seguido por la frecuencia de 4 semanas con 1.35, frecuencia de 6 semanas con 1.12 y el de 3 semanas con el valor 0.43. Este autor, también encontró diferencias significativas ($P < 0.05$) en la interacción frecuencia por estación del año, en donde el mayor IAF se alcanzó en primavera al cosechar cada 5 semanas (2.53) y el menor se obtuvo en la estación de verano en el intervalo entre cortes de 3 semanas (0.19). El autor atribuye estos resultados a que las plantas de alfalfa casi habían desaparecido y por tanto son inferiores a los de la presente investigación.

Por su parte Pérez *et al.* (2002), mencionan que el área foliar es una de las principales variables que afectan el crecimiento por favorecer cambios en la actividad fotosintética. En este sentido, el contenido de N en las plantas disminuye con el crecimiento y presenta una alta correlación con la producción de materia seca. Así mismo menciona que el AF varía con la intensidad lumínica y la época del año, las especies más

demandantes de luz presentan una mayor AF, además de elevadas concentraciones de N en las hojas.

Cuadro 5. Cambios estacionales en el índice de área foliar (cm² m⁻²) de diez variedades de alfalfa.

Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio
Aragón	4.9 BCa	3.2 Db	1.7 BCc	3.3 DEb	3.1 EF
Valenciana	5.8 Aa	4.0 BCb	2.5 ABCc	4.8 BCab	4.3 BCD
Chipilo	6.0 Aa	4.5 ABb	2.8 ABc	5.5 ABCab	4.7 ABC
Milenia	6.6 Aa	5.1 Ab	2.9 Ac	6.1 Aa	5.2 A
Oaxaca	5.8 Aa	4.2 BCb	2.1 ABCc	5.1 ABCa	4.3 BCD
San Miguelito	5.6 ABa	3.6 CDb	2.0 ABCc	4.3 CDab	3.9 D
Júpiter	6.4 Aa	4.8 ABb	2.8 ABc	5.8 ABa	5.0 AB
Atlixco	5.6 ABa	3.5 CDb	2.4 ABCc	4.7 BCa	4.0 CD
Vía Láctea	5.5 ABa	3.2 Dbc	2.2 ABCc	4.3 CDb	3.8 DE
Cuf 101	4.0 Ca	2.9 Db	1.2 Cc	3.0 Eb	2.8 F
Promedio	5.6 a	3.9 b	2.2 c	4.6 ab	

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).

4.7. Radiación interceptada

La radiación interceptada fue afectada significativamente (P<0.05) por la variedad y estación del año (Cuadro 6). Las variedad que mayor radiación interceptada registro fue Júpiter con un 85%; de la cual la distribución que presento a través de año fue 95% (primavera), 93% (verano), 82% (otoño) y 80% (invierno). El menor valor promedio anual observado lo presentaron para las variedades Cuf 101, Aragón y Valenciana con 71, 74 y 74%, respectivamente. La variedad Cuf 101 presento a través del año la

siguiente distribución: 81% (verano), 86% (primavera), 78% (otoño) y 78% (invierno). En general, se observó para todas las variedades una tendencia estacional ($P < 0.05$), con los siguientes valores promedio: 88, 86, 78 y 66% para verano, primavera, otoño e invierno, respectivamente. Resultados similares reportó Mendoza (2008) para la variedad San Miguelito, en donde la mayor radiación interceptada promedio fue en verano con 77 %, mientras que la menor de 68% para invierno.

Cuadro 6. Cambios estacionales en la radiación interceptada (%) de diez variedades de alfalfa.

Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio
Aragón	82 CDa	74 ABCa	57 CDb	81 DEa	74 E
Valenciana	87 BCa	69 Cb	56 CDc	83 CDEa	74 E
Chipilo	90 ABa	82 Ab	68 BCc	88 ABa	82 BCD
Milenia	95 Aa	82 Ab	70 ABc	92 Aa	85 AB
Oaxaca	88 Ba	81 ABb	65 BCc	87 ABCab	80 CD
San Miguelito	88 Ba	80 ABb	65 BCc	85 BCDab	79 D
Júpiter	95 Aa	82 Ab	80 Ab	93 Aa	87 A
Atlixco	86 BCab	80 ABb	72 ABc	91 ABa	82 BCD
Vía Láctea	89 Ba	82 Ab	76 ABb	91 ABa	84 ABC
Cuf 101	81 Da	73 BCb	52 Dc	78 Eab	71 E
Promedio	88 a	78 b	66 c	86 a	

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 ($P > 0.05$).

Pearson e Ison (1987) y Horrocks y Vallentine (1999) mencionan que la capacidad que posee una pradera para producir materia seca (MS), depende de las condiciones ambientales (nutrientes, clima) y, principalmente, del grado de interceptación 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; Velasco *et al.*, 2001; Morales *et al.*, 2006b).

De igual forma 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.

4.8. Densidad de tallos

En el cuadro 7 se presentan la densidad de tallos por estación del año (tallos m⁻²). No se presentaron diferencias estadísticas ($P > 0.05$) entre las diferentes variedades, teniendo un promedio general en densidad de tallos de aproximadamente 568 tallos m⁻²; sin embargo, si hubo efecto en el promedio por estación del año ($P < 0.05$) teniendo el siguiente orden descendente: Verano > otoño > invierno 23 > primavera (< 0.05).

Por su parte Zaragoza (2004), al estudiar la alfalfa asociada con ovilla, encontró que a mayor severidad de pastoreo, existió mayor densidad de tallos durante enero y febrero

(1340-1360 tallos m⁻²) y la más baja en junio y septiembre (entre 640 y 730 tallos m⁻², respectivamente).

Cuadro 7. Cambios estacionales en la densidad de tallos (tallos m⁻²) de diez variedades de alfalfa.

Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Anual
Aragón	716 Aa	661 Aa	588 Aa	577 Aa	635 A
Valenciana	710 Aa	682 Aa	482 Aa	505 Aa	594 A
Chipilo	739 Aa	692 Aa	525 Aab	319 Ab	569 A
Milena	667 Aa	592Aa	529 Aa	497Aa	571 A
Oaxaca	624 Aa	538 Aa	519 Aa	372 Aa	513 A
San Miguelito	700 Aa	594 Aa	488 Aa	407 Aa	547 A
Júpiter	757 Aa	661 Aa	629 Aa	558 Aa	651 A
Atlixco	695 Aa	613 Aa	622 Aa	594 Aa	631 A
Vía Láctea	666 Aa	548 Aa	529 Aa	499 Aa	560 A
Cuf 101	566 Aa	504 Aa	354 Aa	242 Aa	416 A
Promedio	684 a	608 ab	526 bc	457 c	

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 acuerdo con Mendoza (2008) encontró que a medida que las frecuencias de corte son mayores, el número de tallos se incrementa y cuando las frecuencia de corte son menores, el número de tallos se reduce; registrando un promedio de 1259 tallos m⁻² durante el periodo de estudio, cuando la alfalfa fue cosechada cada 4 semanas en otoño-invierno y cada 3 para primavera-verano, respectivamente, misma que presentó una densidad promedio de 748 tallos m⁻².

Por otra parte Cadena (2009) reporta una investigación donde se determino cuatro frecuencias de corte en alfalfa variedad San Miguelito, La mayor densidad se encontró cuando la alfalfa es cosechada cada 5 semanas en otoño-invierno, teniendo su máximo punto en noviembre con 565 tallos m^{-2} ; en contraste, a partir de febrero empieza a declinar hasta llegar al mínimo en los meses de julio y agosto. Los valores más bajos los encontró con la frecuencia de corte de 7 y 3 semanas en los meses de julio y agosto con 23 y 27, respectivamente.

4.9. Peso por tallo

No se presentaron diferencias estadísticas ($P>0.05$) entre las diferentes variedades, teniendo un promedio en peso por tallos entre ellas de aproximadamente 0.7 g por tallo (Cuadro 8). Sin embargo si hubo efecto por estación del año ($P<0.05$) para todas las variedades, teniendo el siguiente orden descendente para el promedio de los tratamientos: primavera 0.9 > verano 0.8 > otoño 0.7 > invierno 0.4 g tallo⁻¹, respectivamente. Resultados similares reportó Mendoza (2008) en donde el valor más bajo lo registro en invierno (0.110 g tallo⁻¹) cuando se cosechó cada 4 semanas y el más alto (1.41 g tallo⁻¹) en verano con intervalos de corte de 6 semanas. Este autor menciona que conforme se incrementa el intervalo de corte de 4 y 3 semanas para otoño-invierno y primavera-verano a intervalos de cortes más largos, existe un aumento progresivo en el peso de los tallos de alfalfa, en todas las frecuencias de corte, dando lugar a un balance entre el peso y la densidad de tallos como medida de sobrevivencia de la planta.

Cuadro 8. Cambios estacionales en el peso de tallos (g tallo⁻¹) de diez variedades de alfalfa.

Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio
Aragón	0.8 Aa	0.7 Aab	0.4 Ab	0.9 Aa	0.7 A
Valenciana	0.8 Aa	0.7 Aa	0.3 Ab	0.9 Aa	0.7 A
Chipilo	0.7 Aab	0.7 Ab	0.5 Ac	0.9 Aa	0.7 A
Milenia	0.8 Ab	0.7 Ab	0.3 Ac	1.0 Aa	0.7 A
Oaxaca	0.7 Aa	0.7 Aab	0.5 Ab	0.9 Aa	0.7 A
San Miguelito	0.8 Ab	0.7 Ab	0.3 Ac	1.0 Aa	0.7 A
Júpiter	0.8 Ab	0.6 Ac	0.4 Ad	1.1 Aa	0.7 A
Atlixco	0.8 Aa	0.6 Aab	0.4 Ab	0.9 Aa	0.7 A
Vía Láctea	0.7 Aa	0.6 Aa	0.4 Ab	0.8 Aa	0.6 A
Cuf 101	0.8 Aa	0.7 Aa	0.4 Ab	0.8 Aa	0.7 A
Promedio	0.8 b	0.7 c	0.4 d	0.9 a	

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).

Un comportamiento similar al de este estudio fue observado por Zaragoza (2004) en una asociación de alfalfa-pasto ovillo, quien encontró el mayor peso por tallo de alfalfa en primavera y el menor en invierno con 1.3 y 0.30 g tallo⁻¹, respectivamente. Cadena (2009) al evaluar cuatro frecuencia de corte encontró el valor más bajo cuando la alfalfa se cosechó cada 3 semanas con 0.26g en la estación de primavera, y el valor más alto cuando se cosechó cada 6 semanas con 1.07g para la estación de verano.

4.10. Densidad de plantas

Se registraron cambios estacionales en densidad de plantas (P<0.05) y entre variedades (Cuadro 9). En general, la densidad de plantas tendió a disminuir en todas las variedades conforme transcurrió el periodo experimental, de 32 plantas m⁻² en

verano a 22 plantas m⁻² en primavera (P<0.05). La mayor densidad promedio de plantas la presentaron Júpiter y Milenia con 33 plantas. Ambas perdieron 10 y 11 plantas desde el inicio (verano con 38 y 39 plantas m⁻²) al término del estudio (primavera con 28 plantas cada una). Esto pudo deberse, a los años que tenían de establecidas las variedades, ya que conforme pasa el tiempo la persistencia y rendimiento de la pradera va disminuyendo (las variedades fueron establecidas en abril de 2008) y por tanto tenían 2 años de establecidas al inicio del estudio, pero el promedio de vida útil de la pradera de alfalfa en el Valle de México es de 3 años, cuando se dan entre 9 y 11 cortes (Améndola *et al.*, 2005).

Cuadro 9. Cambios estacionales en la densidad de plantas (plantas m⁻²) de diez variedades de alfalfa.

Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio
Aragón	26 Da	22 Fb	20 DEb	18 CDb	22 CD
Valenciana	35 ABCa	32 ABCb	26 BCc	22 Bd	29 B
Chipilo	34 BCa	30 CDEab	26 BCbc	23 Bc	28 B
Milenia	39 Aa	36 Ab	31 Ac	28 Ad	33 A
Oaxaca	31 CDa	27 DEb	25 BCbc	22 Bc	26 B
San Miguelito	30 CDa	26 EFab	23 CDb	21 BCb	25 BC
Júpiter	38 ABa	34 ABb	32 Ac	28 Ad	33 A
Atlixco	35 ABCa	31 BCDB	27 Bbc	24 Bc	29 B
Vía Láctea	32 Ca	30 CDEb	26 Bc	23 Bd	28 B
Cuf 101	27 Da	23 Fb	19 Ec	16 Dd	21 D
Promedio	32 a	29 b	25 c	22 d	

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).

Por otra parte, Sevilla *et al.* (2002) mencionan que, la muerte de plantas es mayor en primavera y verano, al cabo de este periodo la densidad de plantas tiende a mantenerse, además, la densidad mínima necesaria de plantas para que no se afecte el rendimiento es de 30, por debajo de esta densidad, la pradera disminuye marcadamente la producción de MS. Al respecto, Hernández-Garay *et al.*, (1999) mencionan que, la densidad de tallos puede ser manipulada por la defoliación, modificando la frecuencia e intensidad de cosecha, se puede incrementar la densidad de tallos en pradera de ballico perenne.

5. CONCLUSIONES

- El mejor comportamiento productivo lo presenta la variedad Jupiter y Milenia y la menor para Cuf 101.
- Todas las variedades presentan un crecimiento estacional, siendo mayor en primavera-verano y menor en otoño-invierno.
- Conforme pasa el tiempo la persistencia de la pradera va disminuyendo al igual que el número de plantas, tallos y peso de los mismos.
- Se presenta una menor persistencia en la variedad Cuf 101.

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. (revisada el 08-07-11)
- 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 (revisada el 08-07-11)
- Ball, D. 1998. Putting the pices together for successful alfalfa production. In: The 28th National Alfalfa Symposium & 18 th Annual Kentucky Alfalfa Conference. Certified Alfalfa Seed Council, Inc., University of Kentucky, Kentucky Forage & Grassland Council, Kentucky Deparment of Agriculture, Western Kentucky Univesity and National Resousces Conservation Service. February 26 -27, 1998. Pp. 111 – 119.
- Bidwell, R. G. S. 1979. Fisiología Vegetal. . A. G. T. Editor. A. A. México. 784 p.
- Bouton, J. H. 2001. Alfalfa. In: Proceedings of the XIX International Grassland Congress. Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil. pp: 545-547.
- 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.
- Bula, R. J. and M. A. Massengale. 1972. Environmental Physiology. In: CH. Hanson (ed) *Alfalfa Science and Tecnology*. American Society of Agronomy. Agronomy 15 Pp. 167-184.
- Carámbula, M. 1981. Producción de semillas de plantas forrajeras. Editorial Hemisferio Sur. SRL. Montevideo, Uruguay. 518 p.
- Carámbula, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 464 p.
- Cartelon, A. E. And C.S. Cooper. 1972. Seed size effects upon seedling vigor of there forage legumes. *Crop Sic*. 12: 183 – 186.
- CEA. 1998. Sistema de Información Agropecuaria de consulta 1980 – 1998. CEA-SAGARPA. <http://www.sagarpa.gob.mx/>.
- Cadena, V. S. 2009. Dinámica de crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferentes frecuencias de cosecha. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 70 p.
- Castro A., L. 1993. Tecnología para producir semilla de Alfalfa. In: Situación actual de la producción, investigación y comercio de semillas en México. Mendoza O., L. E., E. Fabela Ch., P. Cano R. y J. H. Esparza M. (eds). *Memorias de Tercer Simposio Mexicano sobre Semillas Agrícolas*. SOMEFI. Chapingo, México. Pp. 189-200.

- Causton, R. D. and J. C. Venus. 1981. The Biometry of plant growth. (ed.). Edward Arnold Limited. London. 144 p.
- 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.
- Del Pozo, M. 1983. La Alfalfa. Su Cultivo y Aprovechamiento. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 380 p.
- Dias-Filho, M.B. and De Carvalho, C.J.R. 2000. Physiological and morphological responses of brachiaria spp. To flooding¹. Pesq. agropec. bras., Brasília, 35 (10):1959-1966.
- 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.
- 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.
- Espinoza, C. J. Ma. y Ramos, G. J. L. 2001. El cultivo de alfalfa y su tecnología de manejo. Folleto para productores. No. 22. Fundación Produce de Aguascalientes e INIFAP. Campo Experimental Pabellón. CIRNOC-INIFAP. Pp. 11 inifap@codagea.edoags.gob.mx (revisada el 08-07-11)

- Farías F., J. M. y M. Estrella M. 1991. Efecto de la fecha de siembra sobre el rendimiento de semilla del cultivo de alfalfa bajo condiciones de la Comarca Lagunera. In: SARH-INIFAP. Informe de investigaciones en forrajes 1982-1983. Centro de Investigaciones Forestales y agropecuarias Región Laguna. Matamoros, Coah., México. Pp. 15-30.
- Gautier, H., Varlet-Grancher, C. and Hazard, L. 1999. Tillering responses to the light environment and to defoliation in populations of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) selected for contrasting leaf length. *Annals of Botany* 83: 423-429.
- Hernández G., A. 1990. Crecimiento, fotosíntesis y rendimiento de alfalfa en respuesta a la defoliación. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 68 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. *Ocasional Symposium No. 13*:51.
- 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 CECSA. México. 758 p.
- Hunt, R. 1990. *Plant growth curves. The Functional Approach to Plant Growth Analysis*. Edward Arnold. London, England. 248 p.
- Jiménez, M. A. y Martínez, H. P. A. 1984. *Utilización de praderas*. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 85 p.
- Johnson, K. 1998. Alfalfa in my farming operation. In: *The 28th National Alfalfa Symposium & 18th Annual Kentucky Alfalfa Conference*. Certified Alfalfa Seed Council, Inc., University of Kentucky, Kentucky Forage & Grassland

- Council, Kentucky Department of Agriculture, Western Kentucky University and National Resources Conservation Service. February 26 – 27, 1998. Pp. 69 – 70.
- Juncafresca, B. 1983. Forrajes, fertilizantes y valor nutritivo. 2ª edición. Editorial Aedos Barcelona, España. 203 p.
- Kephart, K. D., E. K. Twidwell, R. Bortnem, and A. Boe. 1992. Alfalfa yield component responses to seeding rate several years after establishment. *Agron. J.* 84: 827 – 831.
- Kirby, E. J. M. and M. W. Perry. 1987. Leaf emergence rates of wheat in a Mediterranean environment. *Aust. J. Agric. Res.* 38: 455-464.
- Lascano, C. E., Spain, J.M. 1988. Establecimiento y renovación de pasturas. Memoria, VI reunión del comité de asesores de la RIEPT (Red internacional de evaluación de pastos tropicales) Veracruz, México.
- Lacenfield, G. D. 1998. Alfalfa: Queen of the forage crops. In. The 28th National Alfalfa Symposium & 18th Annual Kentucky Alfalfa Conference. Certified Alfalfa Seed Council. February 26 – 27, 1998. Pp, 1998. PP 77 -79.
- Legorburo, F.J. Montero, J.A. de Juan y M^a. R. Picornell, 2007. Estudio comparativo de tres sistemas de estimación del área foliar en *Vitis vinifera* L. (cv. Cencibel). Vicerrectorado de la Universidad de Castilla – La Mancha, Albacete, E. T. S. I. Agrónomos, Albacete, Centro Regional de Estudios del Agua, Universidad de Castilla – La Mancha, Albacete. XI Congreso SECH. Albacete. Actas de Horticultura nº 48. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas

- Lemaire, G., Hodgson, J., De Moraes, A., Carvalho, P.C. de F. and Nabinger C. 2000. Grassland ecophysiology and grazing ecology. Cab international. 422 pp.
- 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.
- Longnecker, N. and A. Robson. 1994. Leaf emergence of spring wheat receiving nitrogen supply at different stages of development. Ann. Bot. 74: 1- 7.
- Matthew, C. and J. Hodgson. 1997. Form and function of grass. CD ROM. Grassview. Institute of Natural Resources, Massey University, New Zealand.
- Mendoza, G. R., Gómez, G. A. A., Caamal, C. i y González, E. A. 2000. Producción y rentabilidad de alfalfa en el Municipio de Texcoco, Estado de México. Producción y rentabilidad agrícola. PRONISEA-DICEA-UACH. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México. 188 pp
- Mendoza, P. S. I. 2008. Dinámica de crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferente frecuencia de corte. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 103 p.
- Mendoza, P. S. I., Hernández-Garay, A., Pérez. P. J., Quero, C. A. R., Escalante, E. J. A. S., Zaragoza, R. J. L., Ramírez, R. O. 2010. Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. Revista Mexicana de Ciencia Pecuaria. 2010; 1(3):287-296.
- 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.
- Ottman, M. J. and M. T. Rogers. 2000. Alfalfa yield response to cutting height and cutting at dawn and dusk. *Forage and Grain*. College of Agriculture and Life Sciences. The University of Arizona. Tucson, Arizona. October, 2000 (Ed. M. Ottman). Pp. 5 - 7.
- 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.
- Quiroga G., H. M. 1991. Efectos del estado de madurez al corte sobre el rendimiento, calidad y persistencia de la alfalfa en la Comarca Lagunera. Informe de Investigación en Forrajes 1986. SARH, INIFAP. Región Lagunera. Matamoros, Coahuila, México. Abril. Pp. 1 - 21.

- Quiroga G., H. M. 1991. Efectos del estado de madurez al corte sobre rendimiento, calidad y persistencia de la alfalfa en la Comarca Lagunera. Informe de Investigación en Forrajes 1986. SARH, INIFAP. Región Lagunera, Matamoros, Coahuila, México. Abril. Pp. 1 -21.
- 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.
- Rodríguez, S. F. 1989. Fertilizantes. Nutrición Vegetal. A. G. T. Editor, S. A. México, D. F. 157 p.
- Rojas, G. M. 1993. Fisiología Vegetal Aplicada. 4ª Edición. Editorial Interamericana McGraw-Hill. México. 275 p.
- SAGARPA. 2010. Producción Agrícola en México. Centro de Estadística Agropecuaria. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. <http://www.siap.gob.mx/> (revisada el 08-07-11)
- 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.

- Salinas, C. S. 2005. Pasado, presente y futuro de la alfalfa en México. Ficha técnica de Semillas Berenten, S. A. de C. V. Departamento de investigación y desarrollo. www.sebesa.com.mx (revisada el 08-07-11)
- 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.
- Speeding, C. R. W. 1971. *Grassland Ecology*. Clarendon press. Oxford, Great Britain. 221 p.
- Sud, R.M. and Dengler, N.G. 2000. Cell lineage of vein formation in variegated leaves of the C4 grass *Stenotaphrum secundatum*. *Annals of Botany* 85: 99-112.
- 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> (revisada el 08-07-11)
- 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 ovilla (*Dactylis Glomerata* L.). *Técnica Pecuaria en México*. 39 (1):1-14.
- 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.

Volenc, J. J. and Nelson, C. J. 1983. Responses of tall fescue leaf meristem to N fertilization and harvest frequency. Crop Science. 23:720-724.

Zaragoza, E. J. A. 2004. Dinámica de crecimiento y productividad de la alfalfa (*Medicago sativa* L.)-pasto ovillo (*Dacylis glomerata* L.) con diferente manejo de defoliación. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 120 p.