



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE DIEZ VARIEDADES DE ALFALFA (*Medicago sativa L.*)

ÁLVAREZ VÁZQUEZ PERPETUO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2013

La presente tesis titulada: **Evaluación cuantitativa de diez variedades de alfalfa (*Medicago sativa L.*)**, realizada por el alumno: **Perpetuo Álvarez Vázquez**, 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
GANADERÍA**

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. Gilberto Aranda Osorio

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Agosto del 2013

EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE DÍEZ VARIEDADES DE ALFALFA

(*Medicago sativa* L.)

Perpetuo Álvarez Vázquez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2013

En México, la alfalfa es la leguminosa más utilizada en la alimentación del ganado lechero, debido a su alto rendimiento y valor nutritivo. El objetivo del presente estudio fue evaluar las variables que determinan el crecimiento y rendimiento de diez variedades de alfalfa a intervalos de corte definidos estacionalmente. El estudio se realizó de septiembre de 2011 a septiembre de 2012 en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, México. Las variedades de alfalfa estudiadas fueron: Vía Láctea, Chipilo, Atlixco, Oaxaca, San Miguelito, Cuf-101, Milenia, Aragón, Valenciana y Júpiter, distribuidas aleatoriamente en un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. El mayor rendimiento ($14,510 \text{ kg MS ha}^{-1}$), tasa de crecimiento anual ($40 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), radiación interceptada (43%), índice de área foliar (3.2), relación hoja:tallo (1.8), densidad de plantas ($19 \text{ plantas por m}^2$), densidad de tallos (578 tallos m^2) y peso por tallo (0.45 g), lo registró la variedad Júpiter ($P < 0.05$), mientras que el menor rendimiento ($7,890 \text{ kg MS ha}^{-1}$), índice de área foliar (1.2), densidad de tallos (282 tallos m^2), lo presentó la variedad San Miguelito ($P < 0.05$). La menor tasa de crecimiento la presentaron las variedades San Miguelito, Cuf-101 y Valenciana con $22 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ($P < 0.05$), en tanto que Cuf-101 y San Miguelito registraron la menor radiación interceptada con 27% ($P < 0.05$). La variedad Valenciana mostró la menor densidad de plantas con 8 plantas m^{-2} ($P < 0.05$). El menor peso por tallo lo registró la variedad Cuf-101 con 0.31 g. La mayor altura la presentó la variedad Vía Láctea (35 cm) y la menor las variedades Cuf-101 y Valenciana con 29 cm ($P < 0.05$). En conclusión debido a sus atributos cuantitativos la mejor la variedad fue Júpiter.

Palabras clave: *Medicago sativa* L., Rendimiento, radiación interceptada, índice de área foliar, densidad de plantas.

QUANTITATIVE EVALUATION OF TEN ALFALFA VARIETIES

(*Medicago sativa* L.)

Perpetuo Álvarez Vázquez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2013

In Mexico, alfalfa is the legume most used to feed dairy cattle, due to its high herbage yield and nutritional value. The aim of this study was to evaluate the different variables that determining plant growth and herbage yield of ten alfalfa varieties cut at specific intervals defined according to the year season. The study was carried out from September 2011 to September 2012 at the experimental field in the Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Edo. de México. The evaluated alfalfa varieties were: Vía Láctea, Chipilo, Atlixco, Oaxaca, San Miguelito, Cuf-101, Milenia, Aragón, Valenciana, and Júpiter. The experimental design was a complete randomized deseing with four replicates. The highest herbage yield (14,510 kg DM ha⁻¹), annual growth rate (40 kg DM ha⁻¹ d⁻¹), intercepted radiation (43%), leaf area index (3.2), leaf:stem ratio (1.8), plant density (19 plants m⁻²), tiller density (578 tillers m⁻²), and tiller weight (0.45 g) were observed in the Júpiter variety (P<0.05), whiles the lowest herbage yield (7890 kg DM ha⁻¹), leaf area index (1.2), tiller density (282 tiller m⁻²), were observed in San Miguelito variety (P<0.05). The lowest annual growth rate was observed in Cuf-101, San Miguelito, and Valenciana varieties with 22 kg DM ha⁻¹ d⁻¹ (P<0.05), whiles Cuf-101 and San Miguelito varieties showed the lowest radiation intercepted with 27% (P<0.05). Valenciana variety showed the lowest average plant density with 8 plantas m⁻² (P<0.05). The lowest tiller weight was observed in Cuf-101 variety with 0.31 g (P<0.05). Vía Láctea had the highest height (35 cm) whiles Cuf-101 and Valenciana had the lowest value with 29 cm (P<0.05). In conclusion, due to its good quantitative attributes and highest herbage yield the best variety was Jupite.

Key words: *Medicago sativa*, herbage yield, intercepted radiation, leaf area index, plant density.

DEDICATORIAS

Esta tesis se la dedico primeramente a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi esposa Sandra:

Dedico esta tesis a mi esposa Sandra Meraz Martínez, con amor, respeto y agradecimiento por su apoyo, comprensión y paciencia durante la realización de mis estudios.

A mis Hijos Alex Mizraim y Heysel Eden:

Porque son mi motivo de superación, ya que en los momentos más difíciles, con su sola presencia, me han levantado e impulsado a seguir adelante, para ellos con todo mi amor.

A mi familia papa y hermanos:

Por su apoyo incondicional en todo momento, enseñanzas y consejos a lo largo de mi vida y de mi preparación académica.

Dedicatoria especial:

Con muy especial cariño, dedico este logro a mi madrecita Antonia Vázquez Torres y a mi querido abuelo Don Pedro Álvarez Avelar, que se nos adelantaron en el camino, pero siempre con la esperanza de volverlos a ver nuevamente.

AGRADECIMIENTOS

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

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

Al Ph. D. Alfonso Hernández Garay, por su invaluable asesoría, dirección de la investigación, paciencia en la revisión de mi tesis, pero sobre todo, por mostrarse siempre como amigo orientándome siempre a una enseñanza integral. De igual forma por el apoyo moral y persistencia para que culminara este trabajo.

A mis asesores, los doctores; J. Alberto Escalante Estrada, José Luis Zaragoza Ramírez y Gilberto Aranda Osorio, por su apoyo, disposición y atinados comentarios para el desarrollo de la investigación y elaboración de esta tesis.

A la línea prioritaria de investigación 11 (Sistemas de producción agrícola, pecuaria, forestal, acuícola y pesquera) del Colegio de Postgraduados, por todo el apoyo brindado durante el desarrollo de mi investigación.

A todos y cada uno de mis amigos con los que compartí la educación integral en la sección de forrajes, que de una u otra forma me apoyaron, en especial el agradecimiento a Sergio I. Mendoza Pedroza y a Rafael A. Rojas García.

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

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1. Descripción botánica y agronómica de alfalfa.....	2
2.2. Importancia de la alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	3
2.3. Descripción de las variedades estudiadas	4
2.3.1. Vía Láctea.....	4
2.3.2. Chipilo	4
2.3.3. Atlixco	5
2.3.4. Oaxaca	5
2.3.5. San Miguelito	6
2.3.6. Cuf-101	6
2.3.7. Milenia	7
2.3.8. Aragón	7
2.3.9. Valenciana	7
2.3.10. Júpiter	8
2.4. Rendimiento y crecimiento estacional de forraje	8
2.5. Influencia del clima en el rendimiento de forraje	10
2.5.1. Temperatura	11
2.5.2. Radiación solar	12
2.5.3. Humedad	13
2.6. Frecuencia e intensidad de cosecha	14
2.7. Factores que afectan el rebrote	16
2.7.1. Reservas de carbohidratos.....	17
2.7.2. Meristemas de crecimientos.....	18
2.7.3. Índice de área foliar.....	19
2.7.4. Densidad en la población de tallos	20
2.7.5. Dormancia	23

2.8.	Factores que afectan el rendimiento.....	23
2.8.1.	Fertilización.....	24
2.8.2.	Factores edáficos.....	25
2.8.3.	Plagas y enfermedades	27
2.9.	Conclusiones de la revisión de literatura	29
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1.	Localización y descripción del sitio experimental	30
3.2.	Manejo de las variedades estudiados.....	31
3.3.	Variables medidas y calculadas	31
3.3.1.	Rendimiento de forraje	31
3.3.2.	Tasa de crecimiento del forraje	32
3.3.3.	Composición botánica y morfológica	32
3.3.4.	Relación hoja:tallo.....	33
3.3.5.	Altura de la planta.....	33
3.3.6.	Índice de área foliar.....	33
3.3.7.	Radiación solar interceptada.....	34
3.3.8.	Peso por tallo.....	34
3.3.9.	Densidad de tallos.....	34
3.3.10.	Densidad de plantas.....	34
3.4.	Análisis estadístico	34
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1.	Rendimiento de forraje.....	36
4.2.	Tasa de crecimiento del forraje.....	38
4.3.	Composición botánica y morfológica.....	40
4.4.	Relación hoja:tallo.....	42
4.5.	Altura de la planta	43
4.6.	Índice de área foliar	45
4.7.	Radiación interceptada	47
4.8.	Peso por tallo.....	48
4.9.	Densidad de tallos.....	50

4.10. Densidad de plantas	52
5. CONCLUSIONES.....	54
LITERATURA CITADA	55
ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Nombre común de las variedades de alfalfa estudiadas, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco, México, 2011 - 2012.....	31
Cuadro 2. Rendimiento estacional y anual de forraje (kg MS ha ⁻¹) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco, México, 2011-2012.	37
Cuadro 3. Cambios estacionales en la tasa de crecimiento (kg MS ha ⁻¹ día ⁻¹) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco, México, 2011-2012.....	39
Cuadro 4. Cambios estacionales en la relación hoja:tallo (R: H/T) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco México, 2011-2012.....	43
Cuadro 5. Cambios estacionales en la altura (cm) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco, México, 2011-2012.....	44
Cuadro 6. Cambios estacionales en el índice de área foliar de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco México, 2011-2012.....	46
Cuadro 7. Cambios estacionales en la radiación solar interceptada (%) en diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco México, 2011-2012.....	47
Cuadro 8. Cambios estacionales en el peso por tallo (g tallo ⁻¹) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco México, 2011-2012.....	49
Cuadro 9. Cambios estacionales en la densidad de tallos (tallos m ⁻²) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco México, 2011-2012.....	51
Cuadro 10. Cambios estacionales en la densidad de plantas (plantas m ⁻²) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco, México, 2011-2012.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Temperatura media mensual máxima y mínima y precipitación acumulada mensual del área de estudio en Montecillo, Texcoco, México, (2011 – 2012).....	30
Figura 2. Cambios estacionales en la composición botánica y morfológica (%) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente (4 semanas para primavera – verano, 5 semanas en otoño y 6 en invierno). Montecillo, Texcoco, México, (2011-2012).....	41

INDICE DE ANEXOS

	Página
Cuadro A 1. Cambios mensuales en el peso por tallo (g tallo^{-1}) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a diferentes intervalos de corte definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco. México, 2011-2012.	66
Cuadro A 2. Cambios mensuales en la densidad de tallos (tallos m^{-2}) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a diferentes intervalos de corte definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco. México, 2011-2012.....	67
Cuadro A 3. Cambios mensuales en la densidad de plantas (plantas m^{-2}) de diez variedades de alfalfa cosechadas a diferentes intervalos de corte definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco. México, 2011-2012.....	68

1. INTRODUCCIÓN

En México, la alfalfa (*Medicago sativa L.*) es uno de los cultivos forrajeros importantes en la alimentación del ganado lechero, debido a su alto rendimiento de materia seca, alto contenido de proteína y aceptable digestibilidad. Ésta especie es sumamente versátil, ya que puede ser cosechada en verde, apacentada, henificada o ensilada (Lancefield *et al.*, 1998). En las regiones árida, semiárida y templada, es ampliamente utilizada para alimentar al ganado lechero (Améndola *et al.*, 2005). Sin embargo, los elevados costos de producción representan un problema para los productores que utilizan a la alfalfa como la principal fuente de alimento para el ganado, el cual se acentúa en la época de invierno, cuando la producción de forraje no es suficiente para satisfacer la demanda. Las causas de que se eleven los costos son, principalmente, la baja producción invernal y la limitada persistencia de la pradera (Rivas *et al.*, 2005).

Por otra parte, la persistencia y rendimiento de una pradera depende de la frecuencia de defoliación y riegos, ya que influyen en la dinámica de crecimiento (cambios en densidad y tamaño de tallos), la tasa de aparición, elongación y vida media de las hojas (Chapman y Lemaire, 1993; Matthew *et al.*, 1997; Hernández-Garay y Martínez, 1997). Pérez *et al.* (2002) demostraron que conocer la velocidad de rebrote entre defoliaciones sucesivas es fundamental para entender el efecto de la frecuencia y severidad de cosecha sobre el rendimiento. Hernández *et al.* (1992) evidenciaron que la frecuencia de corte de alfalfa debe definirse con base en el estado de desarrollo de la planta, para lograr los máximos rendimientos anuales de forraje y persistencia. Debido a ello, es necesario determinar a través del año las frecuencias de corte apropiadas, con la finalidad de obtener una mayor persistencia y alta productividad de la alfalfa.

Dado lo anterior, el objetivo del presente estudio fue: evaluar las variables que determinan el crecimiento y rendimiento de diez variedades de alfalfa a intervalos de corte definidos estacionalmente. Por lo que para cumplir el objetivo anterior, se planteó como hipótesis que existen diferencias en el rendimiento anual y estacional entre las diez variedades de alfalfa, como respuesta a la interacción genotipo – ambiente.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción botánica y agronómica de alfalfa

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) originaria de Irán y Asia Menor, es la planta más utilizadas como forraje en el mundo (Bouton, 2001). Es una planta perenne, de crecimiento erecto, tallo de 60 a 100 cm de altura poco ramificado, 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, dependiendo de la variedad (Del Pozo, 1983).

La alfalfa es cultivada en una amplia variedad de suelos y climas. Se adapta a altitudes comprendidas entre 700 y 2800 msnm, a suelos profundos, bien drenados, alcalinos y tolera la salinidad moderada; sin embargo, su desarrollo es limitado en pH inferior a 5.0. La acidez provoca que no sobreviva y se multiplique el *Rhizobium meliloti* específico y no soporta el encharcamiento, por lo que se considera una especie muy sensible a la acidez del suelo. El pH crítico para su desarrollo varía de 5-6, debajo del cual es necesario, corregir la acidez del suelo. La temperatura óptima de crecimiento fluctúa entre los 15 y 25 °C durante el día y de 10 a 20 °C en la noche. Por la longitud y profundidad de sus raíces, es resistente a la sequía, pues obtiene agua de las capas profundas del suelo (Muslera y Ratera, 1991). Por pertenecer a la familia de las Fabaceae, hace un notable consumo de Ca y Mg que, de contenerlos el suelo en proporciones suficientes para el requerimiento de la planta, hace necesario solamente el agregar fertilizantes fosfatados y potásicos (Juncafranca, 1983).

La toxicidad por Mn y Al, es una de las causas principales del escaso crecimiento de la alfalfa en suelos ácidos, afectando adversamente al desarrollo de las raíces. Existe, además, una interacción negativa entre el P y el Al, que hace que disminuya la cantidad de P disponible, cuando el contenido de Al libre en el suelo es alto (Muslera y Ratera, 1991). Es por ello, que en suelos ácidos es necesario aplicar cal y P con la finalidad de incrementar el rendimiento de forraje y su persistencia (Soto *et al.*, 2004).

2.2. Importancia de la alfalfa (*Medicago sativa* L.)

Bouton (2001) menciona que la alfalfa, es la leguminosa forrajera, más utilizada a nivel mundial en la alimentación del ganado lechero, con aproximadamente 32000000 ha cultivadas; Estados Unidos y Argentina tienen la mayor superficie sembrada con 16 millones de ha. La introducción de esta especie al continente Americano se realizó primero en la región Sur (Argentina, Chile, Perú y México) donde fue llevada por los conquistadores. En 1850 fue introducida en California como “trébol de Chile” y su expansión y popularidad aumentó a partir de ese momento en América del Norte, aunque anteriormente hubo otros intentos de su introducción (Muslera y Ratera, 1991).

En México la alfalfa es la principal fuente de alimentación del ganado productor de leche, cuyas producciones ocupan cada día un lugar más importante en la alimentación del hombre, por lo que frecuentemente ha sido llamada la reina de las plantas forrajeras (Del Pozo, 1983). A nivel nacional, los cultivos forrajeros con mayor participación en el rubro económico, son la avena forrajera con 942 mil has y con un valor económico en el medio rural de \$ 4,567/ton. Por su parte, la alfalfa, participa con 387 mil has con un valor económico de \$ 2,604/ton (SAGARPA, 2011). La superficie sembrada de alfalfa en México se ha incrementado de 287,128 ha en 1997 a 393,180 ha en el 2010, con una producción de 29'653,784 ton materia verde, y un promedio anual de 75.9 t ha⁻¹, siendo los estados de Baja California Sur y San Luis los que tienen los mejores rendimientos a nivel nacional con 128 y 144 t MV ha⁻¹, respectivamente (SAGARPA, 2010).

La alfalfa, se cultiva principalmente en las cuencas lecheras de Durango, Coahuila, Hidalgo, Estado de México, Puebla, entre otras. Comparativamente con otros cultivos perennes, la alfalfa, después de los pastizales y praderas, es de los más importantes como alimento para el ganado lechero, considerando las necesidades de leche que demanda la población nacional (Mendoza *et al.*, 2000). El comportamiento de la producción nacional de alfalfa, disminuyó del año de 1985 a 1991 y de éste a 1997 aumentó ligeramente, mismo comportamiento se reportan del año 2007 al 2011, en el rubro, superficie sembrada y producción (SAGARPA –SIAP, 2012).

2.3. Descripción de las variedades estudiadas

Dada la gran importancia que tiene la alfalfa a nivel mundial, existe una constante liberación de nuevas variedades en el mercado internacional. Estas son introducidas en el mercado nacional, lo cual genera cierta incertidumbre, en cuanto a su adaptación y persistencia (Zaragoza *et al.*, 1992). Salinas (1988) menciona que existen alrededor de 23 variedades de alfalfa en el mercado nacional, y las que han mostrado mayor rendimiento, son las que no presentan dormancia en invierno, refiriéndose a aquellas variedades criollas nacionales o las que no han sido formadas por selección a partir de éstas, que destacan por su rendimiento de forraje y buenas características agronómicas.

Ruggieri (2001) señala que la adaptabilidad de genotipos a diferentes medios, es importante para alcanzar altos rendimientos y mantener su persistencia, mejorando los sistemas forrajeros. En México, existen numerosos ecotipos locales y variedades, adaptadas a las más diversas condiciones de clima, suelo y explotación. Sin embargo, son susceptibles a plagas y enfermedades; otras tienen una recuperación lenta después del corte, presentan dormancia en invierno o su rendimiento es bajo (Mulsera y Ratera, 1991). Al respecto, Gerlinas (1988) consigna que para que el cultivo del alfalfa sea exitoso, es importante seleccionar la variedad a emplear, que tenga resistencia a plagas y enfermedades, mayor número de hojas por tallo y sea fácil de manejar.

A continuación se hace una breve descripción de las variedades utilizadas en el presente trabajo:

2.3.1. Vía Láctea

En esta variedad no se han reportado datos sobre su origen. Sin embargo, en cuanto a su rendimiento de materia seca (MS), Rojas (2011), encontró al evaluar 10 variedades de alfalfa en Montecillo, Estado de México, que esta variedad fue una de las sobresalientes, con un rendimiento acumulado anual de 17,412 kg MS ha⁻¹. También señala que registró una de las mayores alturas promedio de planta (51 cm), únicamente superada por la variedad Júpiter.

2.3.2. Chipilo

En esta variedad no se han reportado datos sobre su origen, por su nombre se considera que se generó en Chipilo, Puebla. Rojas (2011) al evaluarla en condiciones de clima templado

juntamente con otras 9 variedades, registró un rendimiento acumulado anual de 18,035 kg MS ha⁻¹, con un índice de área foliar de 4.7, superior al resto de las variedades, a excepción de Milenia y Júpiter.

2.3.3. Atlixco

Genotipo que toma su nombre de su lugar de origen (Atlixco, Puebla) (Robles, 1990). Es de hábito erecto y arbustivo, a diferencia de los otros genotipos, éste es de mayor resistencia a bajas temperaturas; requieren de tierras fértiles y de temperatura cálida y su color es verde claro. Su rendimiento supera a los genotipos de Estados Unidos y casi siempre supera a la San Miguelito y Oaxaca. Su tallo es sólido, resistente a enfermedades del follaje, posee generosa longevidad (Flores, 1987; ITESM, 2002), además de ser resistente al pulgón verde (Huerta, 1992).

2.3.4. Oaxaca

Es una variedad obtenida por selección recurrente, a partir de la variedad Valenciana; presenta un crecimiento erecto, tallos fuertes, regular porcentaje de hoja y producciones (Barajas y Tapia, 1991); requiere de suelos fértiles y permeables; resiste poco el frío intenso y disminuye su producción en climas fríos. Esta variedad es susceptible a la peca, pulgón manchando y pulgón verde. Presenta un crecimiento rápido después de los cortes, inclusive en otoño e invierno (Álvarez y López, 1992).

Rivas *et al.* (2005) reportaron un rendimiento promedio anual de 32 t MS ha⁻¹ en Montecillo, Municipio de Texcoco, México, al evaluar tres regímenes de cosecha en el comportamiento productivo de 5 variedades comerciales de alfalfa, mientras que Villegas *et al.* (2004) al evaluar patrones estacionales de crecimiento en dos variedades (Valenciana y Oaxaca) reporta para la variedad Oaxaca, una máxima acumulación de 4.1 t MS ha⁻¹, en la séptima semana de rebrote durante el verano.

De acuerdo a ITESM (2002), esta es una variedad criolla de Oaxaca, tiene aceptable longevidad, y es una de las más extensivamente sembrados en el valle de Oaxaca, México e Hidalgo. Los tallos son altos, erectos con abundante follaje, se recupera rápidamente después del corte, de madurez precoz, susceptible a enfermedades de la hoja. Crece durante el invierno, aun que disminuye notablemente su rendimiento debido a las bajas temperaturas. Con un manejo apropiado, puede ser aprovechada hasta por siete años.

2.3.5. San Miguelito

Variedad que toma su nombre de su lugar de origen San Miguel Octópan, Guanajuato (Robles, 1990). Variedad criolla más diseminada y muy popular entre los agricultores y ganaderos del centro de México, preferida por su rusticidad, resistencia a la sequía y alto rendimiento de forraje (Martínez, 2002; ITESM, 2002). Genotipo para corte adaptado a clima templado, árido y semiárido; su temperatura óptima para germinar es de 12 °C, su longevidad varía de 3 a 5 años, prefiere suelos neutros a ligeramente alcalinos, requiere de 15,000 – 16,000 m³ ha⁻¹ año⁻¹ de agua. Se siembra a una profundidad de 2 cm, de calidad nutritiva aceptable, la altura promedio de planta de 50 – 55 cm, un rendimiento potencial de forraje de 18 a 20 t MS ha⁻¹ año⁻¹. Se recomienda cosechar a una altura de 4 a 6 cm. Presenta tolerancia al frío, inundaciones y sequía. Se adapta al Norte y Centro de México (Casa Semillera Berentsen, 2002). Mendoza *et al.* (2010), reportan un máximo rendimiento anual acumulado de 29,674 kg MS ha⁻¹, en una frecuencia de cosecha de 7 y 6 semanas para otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente.

2.3.6. Cuf-101

Es una variedad importada de Estados Unidos, la cual no ha tenido un buen comportamiento en México en lo que se refiere a rendimiento, posee una gran cantidad de hojas en todo lo largo de su tallo delgado y alta digestibilidad (Salinas y Montes, 1992). Es un genotipo, creado en la Universidad de California, muy popular en México desde hace 15 años. Es susceptible a las enfermedades de raíz, nematodos, antracnosis y moderadamente tolerante al mildiú veloso, se recomienda su explotación durante dos o tres años (ITESM, 2002).

Variedad para corte, adaptada a climas templados, áridos y semi-áridos, la temperatura óptima del suelo para germinar es 12 °C. Longevidad excelente (3 a 5 años), prefiere suelos con pH de 6 a 7.5, necesita de 18,000 a 20,000 m³ ha⁻¹ año⁻¹ de agua. Hábito de crecimiento erecto, una profundidad de siembra de máximo 2 cm, la altura promedio de la planta es 45 – 55 cm. Su rendimiento potencial de forraje es de 18 a 20 t MS ha⁻¹ año, con una altura de forraje residual de 4 a 6 cm, de regular tolerancia al pisoteo, buena resistencia al frío, susceptible a inundaciones, regular tolerancia a la sequía. Adaptada al Norte y Centro de México (Martínez, 2002).

2.3.7. Milenia

En esta variedad no se han reportado datos sobre su origen. Rojas (2011), al compararla con nueve variedades más en condiciones de clima templado subhúmedo, la caracterizó conjuntamente con la variedad Júpiter, como la variedad con el mejor comportamiento productivo, al registrar un rendimiento anual de 20,644 kg MS ha⁻¹, con una tasa de crecimiento promedio anual de 57 kg MS ha⁻¹ día⁻¹, un índice de área foliar de 5.2 y la mayor densidad de plantas (33 plantas m⁻²).

2.3.8. Aragón

Su origen se centra en el valle medio del Ebro y sur de Navarra, España. Se adapta a climas con veranos cálidos y prolongados, en condiciones de regadío, soporta de cinco a siete cortes. Durante el invierno tolera, sin dificultad, temperaturas de -15 °C. A los cuatro o cinco años se reduce claramente la producción. La calidad de su forraje es buena, ya que posee igual proporción de hoja que de tallos. Por su porte erecto, incluso en el otoño, no tolera bien el pastoreo; menos del 2% de las flores son variegadas (Del Pozo 1983). Se le considera como alfalfa *sativa* pura con característica distintiva de flores azules. Esta variedad, perteneciente al grupo *Medicago sativa*, es superada significativamente bajo riego por otras variedades de tipo más mediterráneo, de mayor rapidez de rebrote y crecimiento invernal, adaptadas a los veranos muy cálidos e inviernos templados de las costas mediterráneas y Valles de Guadalquivir y Guadiana (Extremadura) (Muslera y Ratera, 1991). Presenta una digestibilidad del 79.4% y un contenido de proteína cruda del 22.7% (Salinas y Montes, 1992). Barajas y Tapia (1991) reportaron una digestibilidad de 72.8% y un contenido de proteína cruda del 21.6%.

2.3.9. Valenciana

Se le considera como un sub-ecotipo de variedades mediterráneas (Hidalgo, 1965). Esta variedad es originaria del valle del Ebro, España, donde se señala que su productividad no ha sido superada, por ninguna otra variedad nacional o extranjera. La variedad Valenciana requiere de suelos profundos, fértiles, libres de malas hierbas y cultivos, que le proporcionen buena aireación y retengan la humedad por más tiempo (Flores, 1987). Se le pueden efectuar hasta seis cortes anuales, con las máximas producciones en el segundo y tercer año, con persistencia notable hasta el cuarto año (Mulsera y Ratera, 1991). De acuerdo a Oropeza (1956), esta variedad tiene grandes cualidades, tales como alta abundancia de hojas, soporta niveles bajos de agua y se

adapta a diversos suelos. Durante la estación invernal tolera temperaturas de -15°C . A los 4 o 5 años de establecida, disminuye su producción. La calidad de forraje es buena, ya que posee igual proporción de hoja que de tallo, no tolera bien el pastoreo (Del Pozo, 1983).

2.3.10. Júpiter

Primer variedad seleccionada y formada en México por una empresa privada. Los técnicos de semillas Berentsen la seleccionaron por su resistencia a pudrición de la raíz y por su potencial de rendimiento (Martínez, 2002). Variedad para corte y de rápido establecimiento, germina a una temperatura óptima de 12°C , persistente (longevidad de 3.5 años), requiere suelos neutros a ligeramente alcalinos, de $15,000 - 16,000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de agua, se recomienda sembrarla en otoño-invierno, la altura promedio varia de $40 - 50 \text{ cm}$, con altas producciones de forraje por año ($18 - 20 \text{ t MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y gran calidad nutritiva; posee tolerancia al frío, sequía e inundaciones. Se adapta al Centro y Norte de México (ITESM, 2002; Martínez, 2002).

2.4. Rendimiento y crecimiento estacional de forraje

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 cultiven. No existe una mejor variedad para todas las condiciones productivas, la elección acertada de alguna variedad depende de combinaciones de condiciones climáticas, edáficas, prácticas de manejo, particularmente la forma de aprovechamiento de la pradera, ya sea corte o pastoreo (Salinas, 2005).

De esta manera, el rendimiento de MS es la acumulación de los diferentes componentes morfológicos de la planta a través del tiempo, por lo que, conforme crece la especie de interés y aumenta el tiempo entre una cosecha y otra, el rendimiento incrementará, con una reducción en la calidad, como resultado de mayor acumulación de carbohidratos estructurales (Jiménez y Martínez, 1984; Duthill, 1989).

Por otra parte, 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).

Bajo el concepto de que las condiciones ambientales, particularmente el clima determinan la estacionalidad en la producción de MS, 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. Volenec *et al.* (1996) indican que la alfalfa, en invierno reduce el crecimiento vegetativo, mientras continúa el crecimiento de su raíz, para posteriormente volver a disminuir. En primavera, la fotosíntesis es máxima por el mayor número de horas luz; sin embargo, las necesidades respiratorias son ya importantes, al elevarse paulatinamente la temperatura. 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.

La capacidad que posee una pradera para producir MS, depende de la disponibilidad de nutrientes, agua y, principalmente, del grado de intercepción de la radiación solar por la lámina 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.*, 2006a).

Hernández-Garay y Martínez (1997) mencionan que el conocimiento de la estacionalidad en la producción de forraje, es un aspecto primordial para optimizar la interacción suelo-planta-animal,

ya que permite detectar los tiempos de mayor y menor disponibilidad de forraje y, con ello, adoptar diferentes condiciones de manejo, con el propósito de maximizar la disponibilidad de forraje y, por ende, la producción animal. 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).

Rojas (2011) al evaluar 10 variedades de alfalfa, encontró que independientemente de la variedad, el mayor rendimiento estacional de forraje se observó en verano, seguido de primavera, otoño e invierno, presentando un promedio estacional de las variedades con el siguiente orden: Verano 36% > Primavera 27% > Otoño 24% > Invierno 13%. Por su parte, Morales *et al.* (2006a) al evaluar 14 variedades de alfalfa lograron una producción promedio de MS de 4.16 t ha⁻¹ corte⁻¹ y encontraron que la mayor producción coincidió con los meses más calurosos, debido a que la temperatura e intensidad de luz fueron mayores; en contraste, la menor producción ocurrió en los meses más fríos. También, 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.

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

2.5. Influencia del clima en el rendimiento de forraje

De acuerdo a Muslera y Ratera (1991) los objetivos en cualquier explotación a base de forrajes deben ser; mantener un nivel de reservas de carbohidratos en raíces y coronas elevado, permitiendo que se recuperen las plantas después del corte y obtener un máximo de producción

de forraje con una calidad de forraje elevada. Para lograr lo anterior es necesario considerar ciertos factores de manejo y ambientales que se describen a continuación:

2.5.1. Temperatura

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

La temperatura controla 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). La semilla de alfalfa comienza a germinar a temperaturas de 2 a 3 °C, siempre que los factores restantes (humedad, fertilizantes, etc.), no actúen como limitantes. La germinación es más rápida cuanto más alta sea la temperatura, hasta alcanzar el óptimo, aproximadamente, a los 28 - 30 °C (Muslera y Ratera, 1991). Temperaturas por encima de los 38 °C resultan ya letales para la joven plántula (Hanson, 1988; Duthill, 1989).

Distintos son los requerimientos en temperaturas para la planta en activo crecimiento y producción forrajera. Durante los meses fríos del invierno la alfalfa detiene su crecimiento, especialmente algunas variedades, toleran, sin dificultad, temperaturas tan bajas entre los 10 y 15 °C bajo cero. Al elevarse la temperatura durante el año (propias de primavera y verano), la producción se incrementa, con temperaturas medias anuales alrededor de 15 °C, la producción es ya significativa. El óptimo se sitúa, según las variedades, en un intervalo entre 18 y 28 °C (Del Pozo, 1983).

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

Rojas (2011) reportó diferencias entre variedades, observando una marcada estacionalidad en la tasa de crecimiento, con los menores y mayores valores en invierno y verano con, 28 y 74 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, respectivamente. Lo cual lo atribuyó, a que las tasas de crecimiento aumentaban conforme se presentaron las temperaturas óptimas para el crecimiento de la alfalfa. Por otra parte, Rivas *et al.* (2005) al evaluar cinco variedades de alfalfa encontraron que el mayor rendimiento de MS por corte se presentó en los meses de julio y agosto, con un promedio de 2.82 t de MS ha⁻¹ por corte, correspondiente, con una temperatura mínima promedio de 8 °C, máxima de 30 °C y una precipitación superior a 80 mm. Dorantes (2000) observó que en la región de Texcoco, México, la alfalfa mostró un rendimiento de forraje más alto en mayo, debido a las temperaturas altas, favorecieron una mayor acumulación de MS.

2.5.2. Radiación solar

La radiación solar es la responsable de la variación estacional del rendimiento de forraje, de tal forma que, la mayor producción en climas templados se encuentra en la estación de verano y no de invierno, esto es debido a que en verano la cantidad de radiación solar es mayor, y permite un mayor crecimiento de la planta, y conjuntamente con la temperatura influyen favorablemente sobre la tasa de fotosíntesis, creando condiciones para una mayor producción de biomasa comparada con la temperatura de invierno, en donde la producción de forraje decrece debido a que hay menor captación de radiación solar y fotosíntesis (Zaragoza, 2000).

La calidad y periodicidad de la luz influyen en el crecimiento y 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 foto receptor 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 rojo:rojo lejano, provocan tres respuestas principales en las plantas: aumento de asignación de recursos a la parte aérea, alargamiento de los órganos ya existentes, reducción del macollo y, eventualmente, una

reducción en la tasa de aparición de hojas (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).

Por otra parte, el crecimiento de una planta es abastecido por la energía en forma de azúcares simples, producidos en el proceso de la fotosíntesis, cuando la clorofila de la hoja verde es expuesta a la luz solar. Mayor será la cantidad de luz interceptada y la tasa de crecimiento a medida que el IAF aumenta (Hodgson, 1990; Horrocks y Vallentine, 1999). Carambula (1977), Pearson y Ison (1987); y Horrocks y Vallentine (1999) mencionan, que la capacidad que posee una pradera para producir (MS), depende principalmente, del grado de intercepción de la radiación solar por las hojas y de la disponibilidad de nutrientes y agua. Con el aumento en la cantidad de hojas, se tiene una mayor intercepción de luz, pero las hojas en los estratos inferiores reciben menor intensidad y calidad de luz, por lo que provocan la reducción del crecimiento o de la tasa de asimilación neta; por ello, el mayor rendimiento de los forrajes, coincide con el mayor índice de área foliar y la mayor masa foliar verde (Donald y Black, 1958; Salas, 1998; Velasco *et al.*, 2001; Morales *et al.*, 2006b).

2.5.3. Humedad

En la alfalfa la humedad disponible del suelo influye en el crecimiento de plántulas. Una apropiada 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. El efecto del estrés hídrico, en el crecimiento, es más acentuado en los tejidos que se desarrollan rápidamente; estos tejidos constituyen la mayor parte de la planta, durante la germinación, emergencia y crecimiento inicial (Espinoza y Ramos, 2001).

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 las inundaciones, 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 (avena, cebada y trigo) solamente precisan de 500 a 600 kilogramos, y los cereales de verano (maíz y sorgo) de 300 a 350 kilogramos (Del Pozo, 1983; Muslera y Ratera, 1991).

Carambula (1977), Pearson y Ison (1987) y Horrocks y Vallentine (1999) mencionan que la capacidad que posee una pradera para producir materia seca, depende de la disponibilidad de agua. Alcántara y Trejo (2007), consignan que la adquisición de recursos ambientales (luz, CO₂, temperatura y humedad), depende de la proporción de hojas, tallos y raíces de las plantas que, mediante los procesos fisiológicos de fotosíntesis, absorción de agua y nutrimentos, crecimiento y desarrollo, determinan la productividad de las plantas.

2.6. Frecuencia e intensidad de cosecha

Para obtener una máxima productividad de las especies forrajeras, se requiere conocer el comportamiento de las especies presentes, frente a la cosecha periódica por corte ó pastoreo. La frecuencia y la altura con que son cosechadas, determinan el rendimiento de forraje por unidad de superficie y los componentes de las especies vegetales presentes en la pradera, generalmente la frecuencia es más importante que la altura de corte (Hodgson, 1979). Sin embargo, la altura de cosecha determina el tiempo de recuperación y la persistencia de la pradera (Mulsera y Ratera, 1991).

La altura de corte o intensidad de cosecha, es la distancia que existe entre el nivel del suelo y los tejidos del forraje remanente después de la cosecha. La altura de corte afecta de diferente manera el crecimiento y acumulación de forraje en una pradera (Becerra, 1989), debido a que influye en la rapidez o posibilidad de formación de nuevo tejido o rebrote, por lo que a medida que disminuye la altura de corte, el área foliar remanente es menor lo que ocasiona que la capacidad de rebrote sea más lenta debido a la baja intercepción de la luz, fotosíntesis y nivel de

carbohidratos de reserva; la altura de corte también influye en el crecimiento de la raíz y persistencia de la pradera (Carmona, 1991).

La frecuencia de cosecha se refiere al tiempo que transcurre entre dos cosechas consecutivas; en este período la planta intenta recuperar el tejido fotosintético que le ha sido removido bajo las condiciones ambientales del lugar en que se encuentra (Speeding, 1971). El intervalo entre cosechas afecta primordialmente la cantidad de forraje y la calidad del mismo (Elizondo, 1984). En general, la acumulación de forraje de una pradera, es mayor a intervalos largos; sin embargo, su valor nutritivo es menor, por lo que es común que las praderas se corten o pastoreen antes de que alcancen la máxima acumulación de forraje (Velasco, 2001).

Zaragoza (2000), señala que la producción primaria que puede ser efectivamente cosechada, depende del promedio de vida de las hojas de la pradera en relación con la frecuencia de corte. Cuando el intervalo de tiempo entre cortes sucesivos es menor al ciclo de vida de las hojas, sólo la fracción de hoja localizada por debajo de la altura de corte podrá estar en senescencia y descomponerse. En esta circunstancia el uso eficiente del forraje acumulado en la pradera depende de la altura de corte y de las características estructurales de la pradera. Cuando el intervalo de tiempo entre cortes sucesivos es más largo que el ciclo de vida de las hojas, una gran cantidad del material producido puede perderse antes de efectuarse la cosecha, por senescencia y la diferencia entre producción primaria y la producción cosechada se incrementa, aun cuando la altura de corte sea cercana al suelo.

Cosechas a intervalos cortos y severos, tienden a formar praderas postradas y densas, mientras que frecuencias prolongadas y a una mayor altura del forraje residual, permiten que las especies forrajeras de crecimiento erecto tiendan a mostrar un mejor comportamiento en producción de forraje (Holmes, 1989). Becerra y Avendaño (1992) encontraron que, sin importar la altura de corte, todas las especies forrajeras evaluadas incrementaron su rendimiento de forraje al aumentar el intervalo de tiempo entre cosechas consecutivas bajo condiciones ambientales no limitantes al crecimiento vegetal.

Hughes *et al.* (1980) y Mendoza (2008) señalan los intervalos de corte muy reducidos provocan una disminución de las especies deseables y una invasión por malezas. Es por eso que

Hernández-Garay y Martínez (1997) consideran importante establecer la frecuencia de corte para las diferentes estaciones del año, con base en la velocidad de crecimiento estacional, por lo que las tasas de crecimiento serán diferentes y por consiguiente afecta directamente el rendimiento de forraje. Por su parte, 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 cosechó 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, siendo, las variedades Oaxaca y Tlacolula las que rindieron más forraje que las variedades Moapa y Valenciana.

En general, una estrategia de cosecha a menor altura con un intervalo de corte prolongado, puede favorecer mayores rendimientos de forraje al permitir que se exprese el rebrote en forma vigorosa por contar con las suficientes cantidades de compuestos de reserva, cuidando que la altura de corte ejercida no provoque la remoción de los tejidos u órganos de almacenamiento de compuestos de reserva (Vázquez, 1978).

2.7. Factores que afectan el rebrote

De acuerdo a Hunt (1990) el rebrote es el material nuevo que se acumula en el tiempo, sobre el nivel del suelo, después de una cosecha total o parcial. El rebrote está influenciado por gran número de factores, tales como climáticos, disponibilidad de nutrientes (principalmente nitrógeno), reservas de carbohidratos, hormonas, área foliar a partir de la cual se llevará acabo la fotosíntesis y la competencia intra e inter específica (Briske, 1991). Después de la cosecha, el rebrote de las especies forrajeras ocurre por translocación de carbohidratos de las raíces y base de tallos a los meristemos aéreos remanentes; de esta manera, en algunas especies, los cortes severos reducen considerablemente la disponibilidad de carbohidratos, provocando que la tasa de rebrote sea lenta y que la pradera sea invadida por maleza (Muslera y Ratera, 1991; Hernández-Garay y Martínez, 1997).

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 de la cantidad de meristemos de crecimiento

presentes. Tales atributos están relacionados con la cantidad de hojas disponibles, a partir de las cuales tendrá lugar la fotosíntesis, para iniciar el almacenaje de energía. Esta función es usada como una medida de la cantidad de luz interceptada, la cual a su vez, dependerá de la distribución espacial de las hojas (Chapman y Lemaire, 1993). Estos mismos autores, 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 colaterales 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. De igual forma, 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).

2.7.1. Reservas de carbohidratos

De acuerdo con Richards (1993) las reservas de carbohidratos, la cantidad y tipo de tejido removido (tejido remanente y meristemas de crecimiento), son los factores más importantes que determinan el impacto de la defoliación en la planta y las características que regulan la posterior recuperación. Cuando la defoliación es muy severa, el rebrote de las plantas forrajeras depende de los carbohidratos no estructurales presentes en la base del tallo y raíces y se ha observado la movilización específica de componentes de nitrógeno (N) del tejido residual, después de la defoliación, a zonas de crecimiento en varias especies forrajeras (Volecnec *et al.*, 1996).

En alfalfa, el crecimiento inicial, con frecuencia, depende de la movilización de las 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 bióxido de carbono (CO₂) y del suministro de N (Skinner *et al.*, 1999). Por lo que la velocidad de recuperación de las plantas forrajeras, está en función del almacenamiento de productos energéticos, los cuales son utilizados rápidamente en la respiración y en los procesos de crecimiento (Duthil, 1989; Hanson *et al.*, 1988). Varios tipos de azúcares (almidón y fructosas) y otros hidratos de carbono, son almacenados en las raíces y base de los tallos. Estos

glúcidos se almacenan cuando la fotosíntesis sobrepasa a la respiración, que ocurre cuando existe una alta captación de energía luminosa.

En la alfalfa las reservas de carbohidratos declinan durante el rebrote, mientras la nueva parte aérea es producida. Tal descenso continúa dos o tres semanas, en condiciones de campo, antes de que ocurra la recuperación (Ueno y Smith, 1970). El crecimiento de la alfalfa, también depende del número y tamaño de la yemas presentes en el área foliar remanente (Leach, 1968).

2.7.2. Meristemas de crecimientos

Los meristemas de crecimiento son regiones celulares de las plantas, formados por células que son embrionarias, pero cuya multiplicación y diferenciación se forma del resto de los tejidos. Se pueden distinguir entre meristemas primarios, de los que depende el crecimiento en longitud y meristemas secundarios, que producen engrosamiento de los tallos y raíces (Rojas, 1993). Sin embargo, la activación de las zonas meristemáticas están influenciadas 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).

Chapman y Lemaire (1993) mencionan que la posición de los meristemas depende del hábito de crecimiento de la planta. En las especies cespitosas, durante el estado vegetativo, los meristemas activos permanecen más o menos cerca de la superficie del suelo y escapan a la remoción. Richards (1993) menciona que 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.

En la alfalfa los meristemas apicales permanecen al alcance del corte o pastoreo, 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).

2.7.3. Índice de área foliar

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 que 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).

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 translocarse en los diferentes órganos; la fotosíntesis está directamente relacionada con la superficie foliar expresada como índice de área foliar (Legorburo *et al.*, 2007). 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 directamente relacionada con la tasa de aparición de nuevos rebrotes. La producción de hojas está dada por los 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 (Kirby y Perry, 1987).

Briske (1991) señala que 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 luz, la cual 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. Adicionalmente indica 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.

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 y baja en las últimas semanas. También observó que la tasa de aparición de hojas varió entre estaciones del año.

De acuerdo con Villegas (2002) la acumulación de forraje está relacionada directamente con el IAF; es decir, que a mayor IAF mayor intercepción de luz y, por tanto, mayor rendimiento. El efecto inmediato de la defoliación en las plantas forrajeras, es la reducción en la tasa fotosintética, al reducirse el área foliar y la cantidad de luz solar interceptada (Chapman y Lemaire, 1993; Richards, 1993), por lo que el régimen de cosecha y la respuesta de cada especie forrajera determinarán las características y la productividad de la pradera (Lemaire, 2001).

2.7.4. Densidad en la población de tallos

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), por tanto, su producción de forraje está en función del número de tallos por unidad de área y el peso de cada uno de ellos o

por una combinación de ambos. De tal forma, que la tasa de crecimiento de la pradera es la integral del crecimiento de sus componentes, la cual es influenciada por la tasa de producción de nuevos tallos y por sus tasas de crecimiento individual (Hernández-Garay *et al.*, 1999).

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), de esta forma, la radiación solar y la temperatura, 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). No obstante, Tomlinson y O'Connor (2004) mencionan que existen varios factores que intervienen en la aparición de nuevos tallos, entre los que destacan los hormonales, nutricionales, de fotosensibilidad, del ambiente que los rodea y del manejo dado a la pradera.

La productividad de cualquier especie forrajera está relacionada al número de tallos por unidad de área (Lemaire, 2001). La sobrevivencia y muerte de tallos, también es afectado por procesos fisiológicos, tales como la concentración de reguladores de crecimiento, que induce la dominancia apical, de tal forma que para anti auxinas 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).

Por su parte, Azcon-Bieto y Talon (1993) consignaron que el crecimiento de los tallos laterales está regulado por las auxinas y citoquininas; las auxinas se sintetizan en tejidos jóvenes, en el ápice del tallo o cerca de él y promueven el alargamiento celular, así como, la inhibición del crecimiento de las yemas laterales, mediante la movilización de reservas hacia los meristemos apicales; mientras que las citoquininas realizan una función antagónica, pues promueven la división celular, el crecimiento de los tallos laterales y movilizan los nutrientes de las plantas, por lo que sugieren, que esta hormona puede ser la responsable del crecimiento de los tallos aunque, en altas concentraciones, se ha observado que no desencadena este proceso (Bidwell, 1979; Rojas, 1993).

Tomlinson y O'Connor (2004) señalan que al realizar prácticas de manejo, como la aplicación de NO_3 , se estimula la producción de citoquininas, mientras que la aplicación de NH_4 incrementa el balance de auxinas:citoquininas, al aumentar la producción de forraje, con la consecuencia de que se reduce la aparición de tallos laterales. Según Del Pozo (1983), cuando la densidad de tallos es alta o la pradera empieza a cambiar a la fase reproductiva, el peso de los tallos es más importante. Sin embargo, aunque la producción de forraje ha sido explicada, en términos de respuestas en densidad o peso de tallos, también se ha señalado que el potencial productivo de una pradera está en función de la compensación tamaño-densidad (Hodgson *et al.*, 1981; Chapman y Lemaire, 1993).

Los factores que afectan la producción de tallos en leguminosas como la 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).

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

Por otra parte, se ha reportado que el rebrote está sujeto a la compensación tamaño-densidad; por lo general, existe aumento en la densidad de tallos pequeños y menos pesados en regímenes de defoliación severo y viceversa. La densidad de tallos, frecuentemente, se mide como indicador de persistencia de las praderas o como componente de una respuesta al manejo de la pradera, tal como la fertilización nitrogenada (Mazzanti *et al.*, 1994). En general, hay una disminución en la densidad de tallos más pesados, con regímenes de defoliación ligera; así, aumentos o disminuciones en la densidad de tallos, es un indicador ambiguo del vigor de la pradera y puede,

en algunos casos, reflejar el efecto de la compensación tamaño-densidad en respuesta a cambios en la intensidad y frecuencia de la defoliación (Matthew *et al.*, 1995).

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 frecuencia e intensidad de defoliación. Cadena (2009) al evaluar regímenes de defoliación en alfalfa variedad San Miguelito, observó que la mayor densidad de tallos se presenta cuando la alfalfa es cosechada cada 5 semanas en otoño-invierno, teniendo su máximo punto en noviembre con 565 tallos m²; sin embargo, a partir de febrero empezó a declinar hasta llegar al mínimo en los meses de mayo y junio. Los menores valores en densidad de tallos se presentan con la frecuencia de corte de 4 y 6 semanas para otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente.

2.7.5. Dormancia

Las variedades de alfalfa que han demostrado mejores rendimientos son las que no presentan dormancia en el invierno; es decir, son variedades que no son afectadas en su desarrollo por las bajas temperaturas ambientales (Salinas, 1988). Durante los meses fríos del invierno la alfalfa detiene su crecimiento, hasta que se incrementa la temperatura en primavera, lo que provoca que la alfalfa empiece a rebrotar (Del Pozo, 1983).

2.8. Factores que afectan el rendimiento

Las condiciones edafoclimáticas de un ambiente en particular, determinan los patrones de crecimiento estacional de las especies forrajeras predominantes. Cuando las plantas se encuentran 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 luz e intensidad luminosa (Hernández-Garay y Martínez, 1997). Diversos factores determinan la magnitud del crecimiento de una pradera tales como: prácticas de fertilización, frecuencia y severidad de cosecha, crecimiento vegetativo y reproductivo de la planta, variedades utilizadas, tipo de suelo y clima (Tablada, 1998).

2.8.1. 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 (N). La alfalfa, por pertenecer a la familia de las Fabaceae, hace un notable consumo de Ca y Mg que, de contenerlos el suelo en proporciones suficientes para el requerimiento de la planta, hace necesario solamente el agregar fertilizantes fosfatados y potásicos (Juncafresca, 1983). La alfalfa, como leguminosa tiene la capacidad de asociarse con bacterias del género *Rhizobium*, que fijan N (Carámbula, 1981). Espinoza y Ramos (2001) mencionan que el hecho de que la planta de alfalfa fije N en el suelo, en ocasiones es un proceso mal interpretado y es común que se piense que si la alfalfa aumenta los elementos nutritivos, no precisa de ninguno de ellos, por lo que algunos productores no fertilizan o fertilizan escasamente (Duthill, 1989; López *et al.*, 2000).

Las leguminosas como la alfalfa sólo necesitan baja cantidad de N en su etapa inicial hasta que se forman los nódulos de *Rhizobium*; en cambio, son importantes los aportes de fósforo y potasio en este periodo, llegando a requerir de 100 a 300 kg ha⁻¹ de P y de 100 a 500 kg ha⁻¹ de K y solo de 20 a 60 kg ha⁻¹ de N, por lo que no es recomendable la aplicación de N en la etapa de producción, debido a que la semilla inoculada con bacterias del género *Rhizobium* forman nodulaciones, por medio de las cuales, la planta se podrá autoabastecer del mismo (Rodríguez, 1989).

Por el contrario, las aplicaciones de N, sólo favorecen el crecimiento de maleza y de pastos invasores del cultivo, lo cual se traduce en una competencia con plantas indeseables (Espinoza y Ramos, 2001). No obstante, la alfalfa necesita absorber elementos mayores y menores para un buen desarrollo, siendo los más importantes: K, P, N, Ca, S, B, Cu, Zn, Fe y Mg. De estos elementos nutritivos los más requeridos en gran cantidad por la alfalfa y en orden de importancia son: P, K y N (Del Pozo, 1983; Rodríguez, 1989).

De acuerdo con Tovar (2006), las leguminosas y en particular la alfalfa, al realizar prácticas agronómicas como inoculación, encalado y fertilización, aumentan el rendimiento y el contenido de N y P en el follaje. Así también, López *et al.* (2000) consignan que el utilizar abonos orgánicos como fuente de nutrimentos, ayudan a mejorar las propiedades físicas del suelo y por tanto, se obtienen mayores rendimientos de forraje.

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 N y que las plantas con menor contenido de éste elemento, presentan menor tasa de aparición y producción total de hoja, ya que se encontró que estas plantas presentaron menor peso seco de raíz. Lestienne *et al.* (2006) indican que el N es el nutrimento que más limita el desarrollo de los tallos laterales, lo cual se relaciona con la evolución de las plantas, al existir una fuerte competencia de los tallos emergentes por este recurso, ya que de eso dependerá, en gran medida, su muerte o desarrollo. Johnson *et al.* (2001), Teutsch *et al.* (2005) y Tovar (2006), consignan que realizar prácticas agronómicas como fertilización nitrogenada, mejoran la digestibilidad y la proteína de los forrajes.

2.8.2. Factores edáficos

La alfalfa es una especie forrajera que se adapta a una gran variedad de suelos; sin embargo, se adapta mejor a 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). En terrenos arcillosos, siempre existe el peligro de perder el cultivo durante la etapa de establecimiento, debido a la formación de costras sólidas que afecta la emergencia de las plántulas. Además, el suelo compactado bajo condiciones de extremada sequía dificulta la respiración de las raíces y pone en riesgo la vida de la planta. De acuerdo a Muslera y Ratera (1991), Del Pozo (1983) y Espinoza y Ramos (2001) se deben considerar tres factores del suelo, que son de gran importancia para el establecimiento y rendimiento de la alfalfa, lo cuales se mencionan a continuación:

2.8.2.1. Acidez en el suelo

La acidez es probablemente uno de los factores que resultan de mayor trascendencia en la limitación al área de cultivo de la alfalfa en todo el mundo. El pH óptimo para el cultivo de la alfalfa sería de 7.2 (Muslera y Ratera, 1991), siendo necesario recurrir a encalados siempre que se estuviera por debajo de 6.8 (Soto *et al.*, 2004). La toxicidad por Mn y Al, es una de las causas principales del escaso crecimiento de la alfalfa en suelos ácidos, afectando adversamente al desarrollo de las raíces. Existe, además, una interacción negativa entre el P y el Al, que hace que disminuya la cantidad de P disponible, cuando el contenido de Al libre en el suelo es alto (Muslera y Ratera, 1991).

La acidez del terreno 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 Al y Mn con los posibles efectos tóxicos que ocasiona un exceso de los mismos (Del Pozo, 1983). El *Rhizobium meliloti*, es la bacteria nodulante en la alfalfa, es una especie neutrófila que no se reproduce con pH inferior a 5 (Soto *et al.*, 2004). Para pH inferiores a 6 conviene encalar los suelos, cuando menos, cada dos años, con el objetivo de prolongar la vida del cultivo (Espinoza y Ramos, 2001). Existe una cierta incompatibilidad, en relación a su absorción por las raíces de la alfalfa, entre los iones Ca por un lado, y el Al y Mn, por el otro, ya que la acidez del suelo se encarga de acentuar a favor de estos últimos, los cuales son tóxicos para la planta (Juncafrasca, 1983; Del Pozo, 1983; Rodríguez, 1989).

2.8.2.2. Salinidad y alcalinidad

Siendo la alfalfa una planta cuyo pH óptimo 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 P, Fe, Mn, B y Zn, es reducida, llegando en algunos casos hasta límites inadecuados para la vida de la planta (Rodríguez, 1989).

La salinidad en los suelos es consecuencia de distintas causas (Del Pozo, 1983): 1) Al realizar riegos con mal drenaje, puede producirse acumulación de sales por dificultad de eliminación de las mismas. Estos problemas se complican cuando se utiliza agua con altos niveles de sales, aunque sólo sea temporalmente (Espinoza y Ramos, 2001); 2) En condiciones de cierta aridez, cuando a la escasez de precipitación se une la intensa evapotranspiración. Las sales llevadas a la superficie por capilaridad no son obligadas a descender por lavado de las lluvias y la capa arable del terreno va elevando el contenido de sales; 3) Por último, cuando la presencia de una capa de agua salada próxima a la superficie permite la ascensión de las sales por capilaridad.

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 la parte aérea. El aumento de salinidad en el suelo produce disturbios en el equilibrio entre raíz y parte aérea, y por ello, aquellas plantas con mayor desarrollo radical aparecen como más resistentes a la salinidad, ya

que las raíces alcanzan diferentes profundidades en el suelo donde la salinidad no es ya tan extrema y resulta más tolerable (Del Pozo, 1983; Rojas, 1993).

2.8.2.3. Drenaje y profundidad del suelo

La alfalfa se desarrolla óptimamente en suelos profundos y bien drenados. Cuando existen encharcamientos por períodos prolongados, las raíces mueren lentamente por asfixia, lo cual puede evitarse con un buen trazo de riego que permita una distribución uniforme del agua en el terreno. Paralelamente los excesos de humedad traen consigo la acumulación de sales en los horizontes superiores del suelo (Del Pozo, 1983). La alfalfa prefiere suelos profundos, donde encuentra espacios suficientes para extender y desarrollar sus abundantes raíces (Juncafresca, 1983). 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).

Cuando el suelo tiene dificultades de drenaje, el agua se estanca, expulsando el aire de los poros del mismo y empobreciéndose paulatinamente el oxígeno. Las raíces, ante la falta del oxígeno, se asfixian (Rojas, 1993). Si el drenaje mejora, el agua de riego o lluvia se renueva con frecuencia en el suelo y ella trae disuelto el oxígeno, puesto de esta manera al alcance de las raíces de la planta (Del Pozo, 1983; Muslera y Ratera, 1991).

La alfalfa tolera la sequía 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).

2.8.3. Plagas y enfermedades

La alfalfa es afectada durante todo el año por diferentes tipos de insectos que originan daños de importancia económica, ya que provocan una disminución en el rendimiento y calidad del forraje.

De acuerdo con Espinoza y Ramos (2001) las plagas más frecuentes que atacan a la alfalfa en el Valle de México son el pulgón negro (*Aphis fabae*), pulgón verde (*Acyrtosiphon pisum*), gusano verde de la alfalfa (*Colias churríteme*), trips (*Frankliniella occidentalis*), diabrotica (*Diabrotica* spp.) y chicharritas (*Cicadellia* spp). Las enfermedades de la alfalfa se clasifican en foliares y de la raíz (Del Pozo, 1983); éstas últimas son las más dañinas para la planta y la reducción en el rendimiento al tercer año se le podría atribuir, en gran proporción, a una infestación por *Phytophthora* de la raíz. Estas enfermedades de la raíz son causadas por bacterias y hongos que producen marchitez (*Phytophthora megasperma*), pudrición de la corona (*Fusarium oxysporum*) y pudrición de la raíz (*Verticilium alboatrum*) (Espinoza y Ramos, 2001).

Las enfermedades de la alfalfa causan deterioro y muerte de las plantas y generan pérdidas económicas; sin embargo, su ocurrencia y severidad depende principalmente de las condiciones ambientales, del tipo de suelo y del manejo que se dé al cultivo. Desde el punto de vista económico existen pocas opciones para el control de enfermedades, por lo tanto, es recomendable seleccionar variedades resistentes a los patógenos. Para el caso de las enfermedades foliares su control químico no es recomendable, ya que al suministrar forraje con insecticidas a los animales se corre el riesgo de intoxicación del ganado. Una medida práctica para el control de las plagas consiste en realizar cortes prematuros, debido a que así se reduce su proliferación (Muslera y Ratera, 1991; Espinoza y Ramos, 2001). Las variedades que más se utilizan en el Valle de México, son aquellas de acuerdo al criterio de selección; persistencia de la alfalfa, su resistencia a plagas y enfermedades y el rendimiento de forraje por corte y anual, entre las cuales encontramos a San Miguelito, Valenciana, Moapa, Cuf-101, Júpiter, Oaxaca, Atlixco, INIA-76, Puebla-76, y Tanhuate (Perdomo, 2008).

2.9. Conclusiones de la revisión de literatura

- ❖ El crecimiento y rendimiento de los forrajes, varía a través del año, como consecuencia de factores ambientales y de manejo, que determinan la persistencia de las plantas forrajeras.
- ❖ El rebrote después de una defoliación, está influenciado principalmente por las reservas de carbohidratos, área foliar remanente y presencia de meristemas de crecimiento.
- ❖ La productividad de una pradera depende del balance entre la densidad poblacional de tallos y su peso individual.
- ❖ Una alta densidad y bajo peso de tallos, está relacionada con cosechas frecuentes e intensas, mientras que una baja densidad y mayor peso, están asociados con cosechas poco frecuentes y poco intensas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización y descripción del sitio experimental

El estudio se realizó en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Texcoco, Estado de México, ubicado a 19° 29' LN y 98° 53' LO, a una altitud de 2240 msnm. El clima es templado subhúmedo, el más seco de los sub-húmedos (Cw_0), con lluvias en verano y una precipitación media anual de 636.5 mm. La temperatura media anual es de 15.2 °C; la temperatura media del mes más frío oscila entre -3 y 18 °C y la temperatura del mes más caliente es mayor a 10 °C, con poca oscilación térmica (García, 2004). De acuerdo a Ortiz, (1997) el suelo del área es franco arenoso, ligeramente alcalino con un pH entre 7-8.

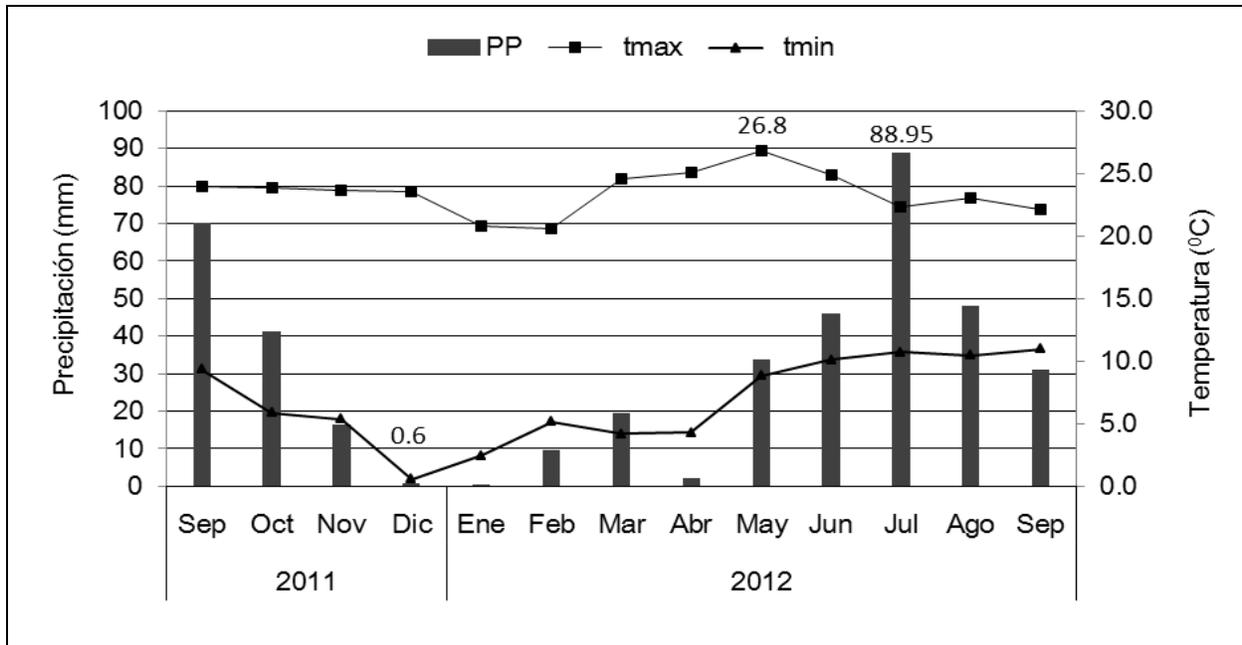


Figura 1. Temperatura media mensual máxima y mínima y precipitación acumulada mensual del área de estudio en Montecillo, Texcoco, México, (2011 – 2012).

La variación de la temperatura máxima y mínima y precipitación mensual acumulada, registrada de septiembre del 2011 a septiembre del 2012 en Montecillo, Texcoco, México, se presenta en la figura 1. La temperatura máxima varió de 20.6 a 26.8 °C y la mínima de 0.6 a 11 °C, registrándose en el mes de mayo la máxima temperatura promedio (26.8 °C) y en diciembre la mínima (0.6 °C). La distribución estacional de la precipitación fue del 41 % en verano (21 Junio 2012 – 20 septiembre 2012), 20 % en primavera (21 de marzo 2012 – 20 Junio 2012), 14% en

otoño (21 septiembre 2011 – 20 de diciembre del 2012) y 7% en invierno (21 de diciembre del 2012 – 20 de marzo del 2012), con una precipitación total acumulada de 408 mm.

3.2. Manejo de las variedades estudiados

Fueron estudiadas diez variedades comerciales de alfalfa (Cuadro 1). Éstas se sembraron el 18 de abril de 2008. El área de estudio se dividió en 40 parcelas de 63 m² (9 x 7 m), en las que se sembró el equivalente 30 kg ha⁻¹ de semilla pura germinable ajustada por peso de la semilla y porcentaje de germinación de cada variedad. Al inicio del experimento se realizó un corte de uniformización (29 de agosto de 2011), a una altura promedio de 5 cm, con un tractor-podador, la fase experimental concluyó el día 21 de septiembre de 2012. Durante el periodo experimental (septiembre de 2011 a septiembre de 2012) las parcelas fueron regadas, únicamente durante el periodo de seca, cada dos semanas a capacidad de campo y no se les aplicó fertilizante.

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 a las seis semanas.

Cuadro 1. Nombre común de las variedades de alfalfa estudiadas, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco, México, 2011.2012.

Variedad	Variedad
Vía Láctea	Cuf-101
Chipilo	Milenia
Atlixco	Aragón
Oaxaca	Valenciana
San Miguelito	Júpiter

Frecuencias de corte (4 semanas para primavera-verano, 5 semanas en otoño y 6 semanas en invierno).

3.3. Variables medidas y calculadas

3.3.1. Rendimiento de forraje

Para determinar el rendimiento de forraje por corte, en cada variedad, al inicio del estudio, se fijaron dos cuadros de 0.25 m² (50 x 50 cm) al azar, por repetición. Un día antes del corte, se cosechó el forraje presente en cada cuadro a una altura de 5 cm sobre el nivel del suelo. El forraje

cosechado se depositó en bolsas de papel previamente identificadas, 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 alcanzado el peso constante de forraje se registró el peso de la MS, para determinar el rendimiento por unidad de superficie (kg MS ha⁻¹). El rendimiento estacional se determinó como la suma del forraje cosechado en cada estación y el anual como la suma de todos los cortes realizados.

3.3.2. Tasa de crecimiento del forraje

El rendimiento de forraje por estación se calculó con la suma del forraje cosechado por corte dentro de cada estación. Los rendimientos de forraje se calcularon por hectárea, estos se dividieron por la duración, en días, de los intervalos entre cortes para estimar la tasa de crecimiento. Con estos datos se calculó la tasa promedio de crecimiento para cada estación y variedad de alfalfa, con la siguiente fórmula:

$$TC = \frac{FC}{T}$$

Dónde:

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

FC = Forraje cosechado (kg MS ha⁻¹).

T = Días transcurridos en cada estación.

3.3.3. Composición botánica y morfológica

Para determinar la composición botánica, a mediados de cada estación del año, se utilizaron dos muestras de forraje cosechado para estimar el rendimiento. De estas se tomó una sub-muestra de aproximadamente 200 g, representativa de cada una para separar los componentes botánicos, alfalfa y malezas. 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 determinó su peso seco.

Para determinar la importancia, en porcentaje en el forraje cosechado, del componente botánico se utilizó la siguiente fórmula:

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

Dónde:

PCM= Porcentaje por componente morfológico (%).

COMP= Sub-muestra del componente separado por especie.

R= Rendimiento de forraje (kg MS ha⁻¹).

3.3.4. Relación hoja:tallo

Los datos originados a partir de la composición morfológica (hoja y tallo) de las plantas de alfalfa, sirvieron para estimar la relación hoja:tallo, la cual se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$H:T = \frac{H}{T}$$

Dónde:

H:T = Relación hoja: tallo.

H = Peso seco del componente hoja (kg MS ha⁻¹).

T = Peso seco del componente tallo (kg MS ha⁻¹).

3.3.5. Altura de la planta

Para estimar la altura promedio, de las plantas de alfalfa, de cada variedad, un día antes del corte se tomaron al azar 20 lecturas de altura por repetición. Para ello, se utilizó una regla graduada de 100 cm, la cual se colocó al azar en cada parcela, de forma que la parte inferior de la regla graduada (0 cm) quedara a nivel de suelo. Posteriormente, un dispositivo con el que cuenta la regla, se colocó de manera vertical arriba del dosel vegetal y se deslizó hacia abajo, hasta que éste tocó algún componente morfológico y se registró la altura.

3.3.6. Índice de área foliar

Para estimar el índice de área foliar (IAF), en cada parcela, se cortaron a ras de suelo diez tallos de alfalfa y se separaron en tallo y hoja. Inmediatamente después se colocaron las hojas en un integrador de área foliar marca CID, Inc., modelo CI-202 de escáner, del cual se obtuvieron las lecturas de área foliar en cm² y se dividieron entre diez para obtener el área foliar por tallo. Estas lecturas conjuntamente con el número de tallos por metro cuadrado permitieron estimar el IAF mediante la siguiente fórmula:

$$IAF = AF * DT$$

Dónde:

IAF = Índice de área foliar.

AF = Área foliar por tallo (cm²).

DT = Densidad de tallos (tallos m²).

3.3.7. Radiación solar interceptada

Un día antes de cada corte se tomaron al azar 5 lecturas de radiación solar interceptada con el método metro de madera, por repetición. Las lecturas se realizaron aproximadamente entre las 12:00 y 13:00 h, debido a que a esta hora, el ángulo solar es alto y la intercepción de la luz cambia al mínimo. Para esto, la regla se colocó sobre la superficie del suelo por debajo del dosel, con orientación sur-norte. Posteriormente se contaron los centímetros sombreados, los cuales representaron el porcentaje de radiación interceptada por el dosel vegetal y se registró el porcentaje sombreado.

3.3.8. Peso por tallo

Para determinar el peso individual por tallo, un día previo a cada corte, se cosecharon aleatoriamente diez tallos a nivel de suelo por repetición, se separaron en hoja y tallo. Se secaron en una estufa de aire forzado a 55 °C por 72 h, para posteriormente registrar su peso. El peso seco de los diez tallos se dividió entre diez y con ello estimó el peso promedio por tallo.

3.3.9. Densidad de tallos

Al inicio del experimento, se establecieron al azar dos cuadros fijos de 0.20 m² (20 x 20 cm) de área, a nivel del suelo, por repetición de cada tratamiento; en donde mensualmente se contaron todos los tallos presentes dentro de cada cuadro y se registraron los cambios en la densidad poblacional de tallos durante el año.

3.3.10. Densidad de plantas

Al inicio del experimento se estableció un cuadro fijó de 1 m² de área por cada repetición, en donde mensualmente, se contabilizó el número de plantas de alfalfa presentes en cada cuadro y se registraron los cambios en la densidad poblacional de plantas de alfalfa durante el año.

3.4. Análisis estadístico

Para comparar el efecto de variedades en cada estación del año, se realizó un análisis de varianza mediante el procedimiento Modelos Mixtos (SAS, versión 9), 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:

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

Dónde:

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

μ = Media general

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

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

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

$Rep (T * E)_{ijk}$ = Repetición anidada en la interacción $(T * E)$ del año.

E_{ij} = Error experimental.

El modelo estadístico incluyó como efectos principales la variedad de alfalfa y la estación del año, así como la interacción de ambos factores principales. El componente aleatorio fue la repetición anidada en la interacción tratamiento por estación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento de forraje

El rendimiento anual de forraje y la distribución estacional de diez variedades de alfalfa, se presentan en el cuadro 2. Se observaron diferencias ($P < 0.05$) entre variedades, siendo, Júpiter y San Miguelito, las que registraron el mayor y menor rendimiento anual de forraje con 14,510 y 7,890 kg MS ha⁻¹, respectivamente por orden, poner aquí las de mayor producción, las intermedias y luego las de menor. Las variedades Valenciana y Cuf-101, conjuntamente con San Miguelito fueron las que presentaron los menores rendimientos anuales con un promedio de 8,000 kg MS ha⁻¹. El resto de las variedades presentaron un rendimiento intermedio (promedio de 11,550 kg MS ha⁻¹) siendo diferentes ($P < 0.05$) a Júpiter. La distribución estacional del rendimiento de forraje presentó diferencias ($P < 0.05$) entre variedades y entre estaciones del año (Cuadro 2). La distribución promedio estacional mostró el siguiente orden: verano > primavera > invierno > otoño con 3,508, 2,850, 2,306 y 2,122 kg MS ha⁻¹, respectivamente. De esta manera durante el verano se produjo el 33% del rendimiento promedio anual (10,784 kg MS ha⁻¹), seguido de primavera con 26%, invierno con 21%, y otoño con 20%. Resultados superiores fueron reportados por Rojas (2011), cómo se explican estos rendimientos tan bajos comparados con otros estudios, qué factores incidieron? quien encontró los mayores rendimientos anuales acumulados de 20,275 y 20,644 kg MS ha⁻¹ para las variedades Júpiter y Milenia, respectivamente, y en contraste, para la variedad Aragón y Cuf-101, los menores valores con 14,488 y 13,350 kg MS ha⁻¹, respectivamente, con una distribución estacional para verano 36% , primavera 27%, otoño 24%, invierno 13%, con un rendimiento promedio anual de 17,313 kg MS ha⁻¹.

Mendoza *et al.* (2010) observaron que el mayor rendimiento de forraje estacional y total de alfalfa variedad San Miguelito varió por efecto de la frecuencia de corte. La mayor producción de forraje total acumulado la registraron al cosechar cada 7 y 6 semanas, con 34,457 kg MS ha⁻¹ y presentó una distribución estacional de 31, 26, 23 y 20% para verano, primavera, otoño e invierno, respectivamente; mientras que el menor rendimiento total acumulado (21,888 kg MS ha⁻¹) se obtuvo en la frecuencias de 3 y 4 semanas, con una distribución estacional de 31, 27, 22 y 20% para primavera, otoño, verano e invierno, respectivamente.

Por otra parte, Cadena (2009) reportó el mayor rendimiento anual acumulado de alfalfa variedad San Miguelito (23,494 kg MS ha⁻¹) con la frecuencia de corte de cada 4 semanas en otoño-invierno y 6 semanas en primavera-verano. De este rendimiento, se presentó el siguiente orden: primavera 49%, verano 36%, otoño 8%, invierno 7%. El menor rendimiento anual acumulado (4,406 kg MS ha⁻¹) se registró en la frecuencia de 7 por qué razón, si contradice lo que se dice en líneas abajo y 3 semanas, durante otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente, con el siguiente orden: primavera 36%, verano 28%, otoño 21%, invierno 15%; en esta frecuencia se observó la pérdida de plantas reduciéndose considerablemente el rendimiento. De igual forma, Mendoza (2008) reporta que al incrementar la frecuencia de corte se reduce la persistencia de la pradera, probablemente por una considerable y constante reducción en la reserva de carbohidratos.

Cuadro 2. Rendimiento estacional y anual de forraje (kg MS ha⁻¹) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco, México, 2011.2012.

Variedad	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Anual	EEM
Vía Láctea	2350 BCb	2489 Abab	3613 Aa	3590 ABa	12042 AB	571
Chipilo	2116 CDa	2595 Aba	3156 ABCa	3247 ABa	11115 B	548
Atlixco	1962 CDEb	2445 ABb	2623 CDb	4527 Aa	11557 B	394
Oaxaca	2075 CDb	2793 Aab	3230 ABCab	3439 ABa	11537 B	640
San Miguelito	1692 DEb	1644 Bb	1872 Db	2682 Ba	7890 C	256
Cuf-101	1726 DEbc	1687 Bc	1931 Db	2745 Ba	8089 C	106
Milenia	2647 ABab	2414 ABb	2767 BCab	3638 ABa	11466 B	506
Aragón	2124 CDc	2292 ABbc	3516 ABab	3623 ABa	11554 B	614
Valenciana	1523 Ec	1806 ABb	1872 Db	2878 Ba	8080 C	510
Júpiter	2999 Ac	2883 Ac	3919 Ab	4709 Aa	14510 A	115
Promedio	2122 c	2306 c	2850 b	3508 a	10784	146
EEM	202	456	334	638	1138	

Frecuencias de corte (4 semanas para primavera-verano, 5 semanas en otoño y 6 semanas en invierno). Medias con letras mayúsculas iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes, y medias con letras minúsculas iguales en cada hilera nos son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). EEM=Error estándar de la media.

Por su parte, Rivas *et al.* (2005) registraron en 5 variedades de alfalfa, un rendimiento promedio anual de forraje de 31,132 kg MS ha⁻¹, con un calendario de corte de 4 semanas en primavera-verano, 5 semanas en otoños y 6 semanas en invierno; éste rendimiento presentó el siguiente orden a través del año: verano 31%, primavera 27%, otoño 22%, e invierno 20%. Villegas *et al.* (2004) cuando cosecharon la alfalfa cada 7 semanas en otoño-invierno y 5 semanas en primavera-verano reportaron rendimientos acumulados anuales de 21.6, 21.4, 20.0 y 20.1 t MS ha⁻¹, para las variedades Oaxaca, Tlacolula, Valenciana y Moapa, respectivamente.

Los bajos rendimientos observados en la presente investigación, con referencia a los autores antes mencionados, 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) menciona que la persistencia de la alfalfa en el Valle de México es de tres años como resultado de reducidos intervalos corte, dando con ello de 9 a 11 cortes. Por otra parte, Hernández *et al.* (1992) menciona 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.

4.2. Tasa de crecimiento del forraje

La tasa de crecimiento (TC) estacional y promedio anual de diez variedades de alfalfa, se presentan en el cuadro 3. Se observan diferencias ($P < 0.05$) entre variedades, siendo Júpiter la que registró la mayor tasa de crecimiento promedio anual con 40 kg MS ha⁻¹ día⁻¹. Las variedades San Miguelito, Cuf-101, y Valenciana fueron las que observaron las TC promedio anual más bajas con 22 kg MS ha⁻¹ día⁻¹. El resto de las variedades presentaron una TC intermedia (promedio de 32 kg MS ha⁻¹ día⁻¹), siendo diferentes ($P < 0.05$) a Júpiter. La distribución estacional de la TC presentó diferencias ($P < 0.05$) entre variedades y entre estaciones del año (Cuadro 3). La distribución promedio mostró el siguiente orden: verano, primavera, invierno y otoño con 38, 31, 25, y 23 kg MS ha⁻¹ día⁻¹, respectivamente.

Las estaciones de primavera y verano fueron las que presentaron las temperaturas óptimas para el crecimiento de la alfalfa (Figura 1), lo que se reflejó en la productividad de todas las variedades evaluadas, por lo que estos resultados dependieron de los factores climáticos (Monteith, 1977; McCluod y Bula, 1985; Corbea, 1992; Festo *et al.*, 2003) y de manejo (Ludlow, 1980; Enriquez

y Romero, 1999) presentes durante la fase experimental, ya que de ellos depende la productividad de la planta, particularmente la actividad fotosintética y tasa de crecimiento (Hodgson *et al.*, 1981).

Cuadro 3. Cambios estacionales en la tasa de crecimiento ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco, México, 2011-2012.

Variedad	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Promedio	EEM
Vía Láctea	26 BCb	27 Abab	39 Aa	39 ABa	33 AB	6
Chipilo	23 CDa	29 Aba	34 ABCa	35 ABa	30 B	6
Atlixco	22 CDEb	27 ABb	29 CDb	49 Aa	32 B	4
Oaxaca	23 CDa	31 Aa	35 ABCa	37 ABa	31 B	7
San Miguelito	19 DEb	18 Bb	20 Db	29 Ba	22 C	3
Cuf 101	19 DEb	19 Bb	21 Db	30 Ba	22 C	1
Milenia	29 ABab	27 ABb	30 BCab	40 ABa	31 B	5
Aragón	23 CDc	25 ABbc	38 ABab	39 ABa	32 B	7
Valenciana	17 Ec	20 ABb	20 Db	31 Ba	22C	5
Júpiter	33 Ac	32 Ac	43 Ab	51 Aa	40 A	1
Promedio	23 c	25 c	31 b	38 a	29	2
EEM	2	5	4	7	3	

Frecuencias de corte (4 semanas para primavera-verano, 5 semanas en otoño y 6 semanas en invierno). Medias con letras mayúsculas iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes, y medias con letras minúsculas iguales en cada hilera nos son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). EEM=Error estándar de la media.

Rojas (2011) al evaluar diez variedades de alfalfa encontró las mayores TC promedios anuales para las variedades Milenia y Júpiter con 57 y 56 $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, respectivamente, mientras que para Cuf-101 encontró la menor TC promedio anual con 37 $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Observó una marcada estacionalidad en la TC, con los menores y mayores valores en invierno (28 $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) y verano (74 $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$), respectivamente. Por su parte, Cadena (2009) al evaluar cuatro frecuencias de corte en alfalfa variedad San Miguelito, encontró diferencias para las estaciones del año en donde las TC más altas se alcanzaron con el mayor periodo de reposo (6 y 7 semanas, primavera – verano, respectivamente) con 63.13 $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, mientras que la menor tasa de crecimiento la registró en el período de 3 y 4 semanas de reposo, con 14.22 $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$. De forma similar, Mendoza (2008) encontró la menor TC en invierno (61 $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) y la mayor en verano (108 $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) al evaluar cuatro frecuencias de corte en alfalfa

variedad San Miguelito en Montecillo, Texcoco, México, bajo un clima templado subhúmedo, con riegos en época de estiaje.

4.3. Composición botánica y morfológica

Los cambios estacionales en la composición botánica y morfológica de diez variedades de alfalfa, se presentan en la figura 2. Independiente de la variedad, la alfalfa constituyó en promedio el 56% de la especie deseada en la pradera durante todo el periodo de estudio. En otoño y primavera la alfalfa representó más del 60% de la especie deseable. En contraste, durante verano la maleza fue la dominante con un porcentaje superior al 60%. De igual forma, se presentaron diferencias ($P < 0.05$) entre variedades a través del año, siendo la variedad Valenciana la que presentó la mayor invasión por malezas con un promedio de 50% y Júpiter la de menor con el 36%. Rojas (2011) observó en su estudio que la alfalfa constituyó más del 90% de la especie deseable y que sólo en primavera y verano hubo mayor presencia de malezas, siendo la variedad Cuf-101 con 4.7% la que registró la mayor invasión por malezas y Milenia, Atlixco y Chipilo las de menor invasión con 2.4%.

Independientemente de la variedad, no se observaron diferencias ($P > 0.05$) entre estaciones del año en la aportación de hoja al rendimiento, a excepción ($P < 0.05$) de la estación de verano. El comportamiento estacional del componente hoja fue el siguiente orden: otoño, primavera, invierno, verano, con 31, 31, 29, y 14 %, respectivamente. Similar comportamiento se observó en el componente tallo, donde los mayores y menores valores ($P < 0.05$) se presentaron en primavera y verano, con 29 y 15%, respectivamente. El componente material muerto tuvo su mayor aportación en la estación de otoño (14%) superando ($P < 0.05$) a las estaciones de verano, invierno y primavera con 8, 7 y 6%.

Por su parte, Mendoza *et al.* (2010) al evaluar diferentes frecuencias de corte en la variedad San Miguelito, encontraron que conforme aumenta el intervalo de corte, la contribución de tallo al rendimiento de forraje, fue mayor en todas las estaciones del año, así mismo la mayor cantidad de hoja se obtuvo en invierno, con un valor promedio de 65% y la mayor cantidad de material muerto en verano, con un valor promedio de 7%, indicando que conforme se reducen las frecuencias de corte, se incrementa la cantidad de tallos y material muerto.

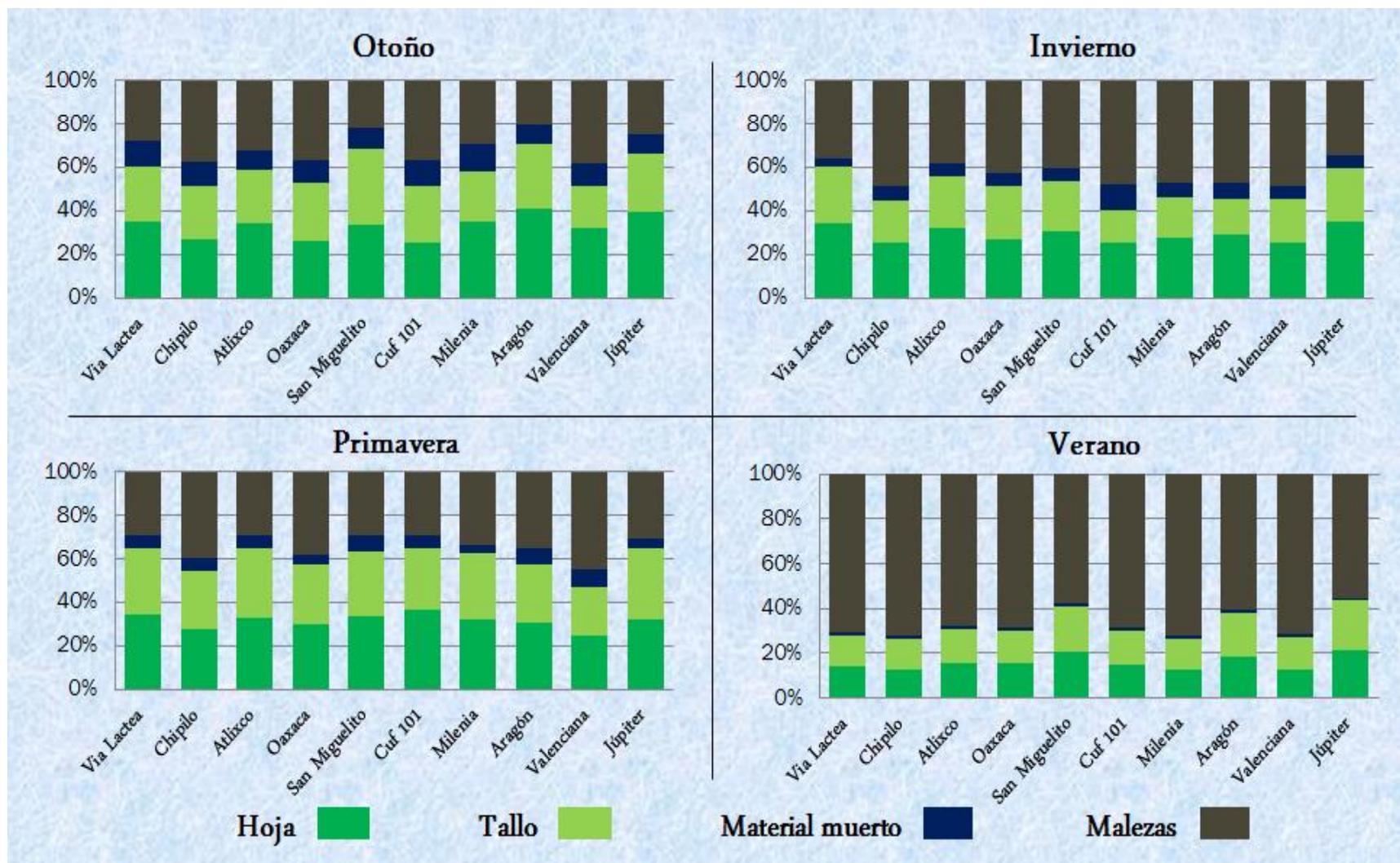


Figura 2. Cambios estacionales en la composición botánica y morfológica (%) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente (4 semanas para primavera – verano, 5 semanas en otoño y 6 en invierno). Montecillo, Texcoco, México, (2011-2012).

La contribución de 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). Al respecto, Hernández-Garay y Martínez (1997), observó 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 ocurren por translocación de carbohidratos de las raíces y bases de los 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 estacional y promedio anual de las diez variedades de alfalfa, se presenta en el cuadro 4. Se observan diferencias ($P < 0.05$) entre variedades, siendo, la variedad Júpiter la que registró la mayor relación hoja:tallo promedio anual con 1.8. El resto de las variedades presentaron una relación hoja:tallo promedio de 1.3, siendo diferentes ($P < 0.05$) a Júpiter. Los cambios estacionales en la relación hoja:tallo presentaron diferencias ($P < 0.05$) entre estaciones del año (Cuadro 4). El comportamiento promedio estacional mostró el siguiente orden: otoño, invierno, primavera y verano con 1.6, 1.4, 1.1, y 1.0, respectivamente. Al respecto, Cadena (2009) al evaluar diferentes intervalos de corte, observó que la menor relación hoja:tallo se registró cuando la alfalfa se cosechó cada 4 semanas en otoño-invierno y 6 semanas en primavera-verano, mientras que la mayor se registró con 7 y 3 semanas para otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente.

Rojas (2011) al evaluar diez variedades de alfalfa encontró la mayor relación hoja:tallo promedio anual en las variedades Aragón, Valenciana y Cuf-101 con 1.3 y la menor en la variedad Oaxaca con 1.1, y que independientemente de la variedad, estacionalmente, en otoño e invierno se presentó la mayor relación hoja:tallo (1.5) siendo diferentes a verano y primavera con valores de 0.9 y 1.0, respectivamente. Por su parte, 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.

Cuadro 4. Cambios estacionales en la relación hoja:tallo (R: H/T) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco México, 2011-2012.

Variedad	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Promedio	EEM
Vía Láctea	1.5 Ba	1.3 BCab	1.4 Aa	1.0 ABb	1.3 B	0.1
Chipilo	1.0 Ba	1.2 BCa	1.1 ABCa	0.9 ABa	1.1 B	0.2
Atlixco	2.0 Ba	1.4 ABCab	0.9 Cab	0.7 Bb	1.1 B	0.3
Oaxaca	2.1 ABa	1.2 Ca	1.1 ABCa	1.3 Aa	1.4 AB	0.6
San Miguelito	1.0 Ba	1.1 Ca	1.2 BCa	1.0 ABa	1.1 B	0.1
Cuf-101	0.8 Bb	1.7 Aba	1.1 ABCb	1.0 ABb	1.2 B	0.1
Milenia	1.6 Ba	1.5 ABCa	1.0 BCa	1.0 ABa	1.2 B	0.3
Aragón	1.4 Bab	1.6 ABCa	1.3 ABab	1.1 ABb	1.3 B	0.2
Valenciana	1.8 Ba	1.2 BCa	1.0 BCa	1.0 ABa	1.3 B	0.4
Júpiter	3.3 Aa	1.7 Ab	1.0 BCc	1.0 ABc	1.8 A	0.2
Promedio	1.6 a	1.4 ab	1.1 bc	1.0 c	1.3	0.1
EEM	0.6	0.1	0.1	0.2	0.1	

Frecuencias de corte (4 semanas para primavera-verano, 5 semanas en otoño y 6 semanas en invierno). Medias con letras mayúsculas iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes, y medias con letras minúsculas iguales en cada hilera nos son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). EEM = Error estándar de la media.

Rivas *et al.* (2005) reportaron valores 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, se presentaron en enero y noviembre con 1.05 y 0.62, respectivamente. De igual forma, Morales, A. J., *et al.* (2006) registraron un promedio anual de 0.68 para catorce variedades de alfalfa.

4.5. Altura de la planta

La altura promedio estacional y anual de diez variedades de alfalfa, se presentan en el cuadro 5. Se observaron diferencias ($P < 0.05$) entre variedades, siendo Vía Láctea y Valenciana las que registraron la mayor y menor altura promedio de planta con 35 y 29 cm,

respectivamente. Las variedades restantes presentaron una altura intermedia (promedio de 32 cm), y fueron únicamente diferentes ($P < 0.05$) a Vía Láctea. El comportamiento estacional de la altura mostró diferencias ($P < 0.05$) entre variedades y entre estaciones del año (Cuadro 5). El promedio estacional mostró el siguiente orden: verano, primavera, otoño e invierno con 37, 36, 28, y 25 cm, respectivamente. Al respecto, Rojas (2011) reportó la mayor y menor altura promedio anual para las variedades Júpiter y Cuf-101 con 51 y 41 cm, respectivamente, observando diferencias entre las estaciones del año, registrando la mayor altura en verano, seguido de primavera, otoño e invierno, con 60, 55, 47, y 26 cm, respectivamente.

Cuadro 5. Cambios estacionales en la altura (cm) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco, México, 2011-2012.

Variedad	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Promedio	EEM
Vía Láctea	31 Ab	26 ABc	41 Aa	40 Aa	35 A	1.2
Chipilo	28 ABb	25 ABb	37 Ba	37 ABCa	32 AB	1.6
Atlixco	29 ABb	26 ABb	39 ABa	41 Aa	33 AB	1.6
Oaxaca	28 ABb	27 Ab	36 BCDA	36 BCa	31 BCD	1.7
San Miguelito	29 ABb	25 ABc	37 BCa	36 BCa	31 ABC	0.6
Cuf-101	26 Bb	24 ABc	33 CDA	33 Ca	29 CD	0.6
Milenia	28 ABb	25 ABc	36 BCDA	37 ABCa	32 BCD	1.0
Aragón	27 Bb	24 ABb	38 ABa	38 ABa	31 BCD	2.8
Valenciana	26 Bc	23 Bd	32 Db	35 BCa	29 D	0.9
Júpiter	31 Ab	27 Ac	39 ABa	41 Aa	34 AB	1.3
Promedio	28 b	25 c	36 a	37 a	32	0.4
EEM	1.4	1.4	1.4	1.7	1.1	

Frecuencias de corte (4 semanas para primavera-verano, 5 semanas en otoño y 6 semanas en invierno). Medias con letras mayúsculas iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes, y medias con letras minúsculas iguales en cada hilera nos son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). EEM = Error estándar de la media.

Por su parte, Cadena (2009) para la variedad San Miguelito en respuesta a diferentes frecuencias de cosecha, observó un aumento progresivo en la altura de las plantas cuando la alfalfa fue cosechada cada 7 y 3 semanas en otoño-invierno y primavera-verano (promedio

anual 24.5 cm), respectivamente, con respecto a intervalos de corte de 7 y 6 semanas en otoño-invierno y primavera-verano (promedio anual de 48.8 cm), respectivamente. De igual forma, Mendoza (2008) reportó un promedio anual de 30 cm cuando la alfalfa se cosechó cada 4 y 3 semanas y un promedio anual de 61 cm al ser cosechada cada 7 y 6 semanas para otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente.

Ramos y Hernández (1970) recomiendan que para el Valle de México, el mayor rendimiento de alfalfa, se puede obtener con cortes a una altura de la planta de 65 cm en verano y de 32 cm en invierno con un intervalo de cosecha de 40 días. Por su parte, Salas (1998), encontró una altura máxima en verano de 54 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 8 y de 40 cm en cortes efectuados cada 4 o 6 semanas. De acuerdo con Muslera y Ratera (1991) el rendimiento de materia seca y el aumento en altura, se incrementa cuando el intervalo entre cortes es mayor a cinco semanas.

4.6. Índice de área foliar

El comportamiento estacional y promedio anual del índice de área foliar (IAF) de diez variedades de alfalfa, se presentan en el cuadro 6. Se observaron diferencias ($P < 0.05$) entre variedades, siendo, Júpiter, Atlixco y Milenia, las que registraron el mayor índice de área foliar promedio anual con 3.2, 3.0, y 2.8, respectivamente. Por su parte, la variedad San Miguelito fue la que mostró el menor índice área foliar con 1.2. Las demás variedades presentaron valores intermedios (promedio de 1.9), siendo diferentes ($P < 0.05$) a aquellas con los mayores y menores valores ($P < 0.05$). El comportamiento estacional del IAF presentó diferencias ($P < 0.05$) entre estaciones, siendo otoño la que presentó el menor promedio anual (Cuadro 6). El comportamiento promedio estacional mostró el siguiente orden: primavera, verano, invierno y otoño con 2.7, 2.5, 2.5, y 1.0, respectivamente.

Mendoza *et al.* (2010) al evaluar diferentes frecuencia de corte en alfalfa variedad San Miguelito, encontró que la mayor área foliar por tallo ocurrió en verano en el corte a 5 semanas, con un valor promedio de $108 \text{ cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$, valor que fue similar al obtenido a 6 semanas ($105 \text{ cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$). Mientras que la menor área foliar ($17 \text{ cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$) se presentó en

invierno, en el intervalo de corte a 4 semanas, observaron, que el área foliar por tallo se incrementó conforme se redujo la frecuencia de corte. Por su parte, Rojas (2011) en su estudio reporta el mayor promedio anual de índice de área foliar para la variedad Milenia (5.2) y en contraste la variedad Cuf-101 con el menor promedio anual (2.8), registrando diferencias entre estaciones del año, con el siguiente orden: verano (5.6), primavera (4.6), otoño (3.9) e invierno (2.2).

Cuadro 6. Cambios estacionales en el índice de área foliar de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco México, 2011-2012.

Variedades	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Promedio	EEM
Vía Láctea	1.2 ABb	2.6 ABCa	3.0 ABCDa	2.4 ABa	2.3 ABC	0.3
Chipilo	0.7 Bb	1.6 Ca	2.1 BCDa	1.7 Ba	1.5 CD	0.2
Atlixco	1.4 Ab	3.3 Aa	3.6 ABa	3.6 Aa	3.0 A	0.7
Oaxaca	1.1 ABa	2.7 ABCa	2.6 ABCDa	2.2 ABa	2.2 ABCD	1.1
San Miguelito	0.6 Bb	1.3 Ca	1.7 CDa	1.3 Ba	1.2 D	0.3
Cuf-101	0.9 ABb	2.4 ABCa	2.0 BCDa	1.7 Ba	1.8 BCD	0.3
Milienia	1.1 ABb	3.4 Aa	3.0 ABCDa	3.8 Aa	2.8 A	0.6
Aragón	1.1 ABb	3.1 Aba	3.4 ABCa	2.6ABa	2.5 AB	0.7
Valenciana	0.7 Ba	1.6 BCa	1.5 Da	1.3 Ba	1.3 CD	0.4
Júpiter	1.4 Ab	3.4 Aa	4.0 Aa	3.8 Aa	3.2 A	0.6
Promedio	1.0 b	2.5 a	2.7 a	2.5 a	2.2	0.2
EEM	0.2	0.6	0.7	0.7	0.4	

Frecuencias de corte (4 semanas para primavera-verano, 5 semanas en otoño y 6 semanas en invierno). Medias con letras mayúsculas iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes, y medias con letras minúsculas iguales en cada hilera nos son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). EEM = Error estándar de la media.

Pérez *et al.* (2002) mencionan que el área foliar es una de la 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. Asimismo menciona que el área foliar 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.

4.7. Radiación interceptada

La radiación interceptada (RI) promedio anual y estacional de diez variedades de alfalfa, se presentan en el cuadro 7. Se observaron diferencias ($P < 0.05$) entre variedades, siendo, la variedad Júpiter, la que registró el mayor promedio anual de RI con 43 %. Las variedades San Miguelito y Cuf-101, fueron las que registraron los menores promedios anuales de RI con 27 %, ambas. El resto de la variedades presentaron una RI intermedia (promedio de 35 %), siendo diferentes ($P < 0.05$) a Júpiter ($P < 0.05$). El comportamiento estacional de la RI presentó diferencias ($P < 0.05$) entre variedades y entre estaciones del año (Cuadro 7). El comportamiento promedio estacional mostró el siguiente orden: otoño, invierno, primavera y verano con 44, 34, 31, y 27 %, respectivamente.

Cuadro 7. Cambios estacionales en la radiación solar interceptada (%) en diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco México, 2011-2012.

Variedad	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Promedio	EEM
Vía Láctea	46 Aba	38 Aab	36 ABb	32 ABCb	38 AB	3.7
Chipilo	44 Aba	34 ABCab	31 BCab	26 ABCDb	34 BC	7.0
Atlixco	45 Aba	36 Aba	35 Aba	35 ABa	38 AB	7.2
Oaxaca	44 Aba	39 Aab	29 BCbc	22 CDc	33 BCD	6.4
San Miguelito	35 Ba	30 BCab	25 Cbc	20 Dc	27 D	3.0
Cuf-101	34 Bb	30 Cab	25 Cbc	21 CDc	27 D	3.1
Milenia	49 Aba	35 ABCb	28 BCb	29 ABCDb	35 B	6.0
Aragón	47 Aba	31 BCb	35 ABb	29 ABCDb	35 B	5.1
Valenciana	37 Aba	29 Cb	23 Cb	23 BCDb	28 CD	3.3
Júpiter	55 Aa	39 Ab	41 Ab	36 Ab	43 A	4.9
Promedio	44 a	34 b	31 bc	27 c	34	2.7
EEM	7.9	2.5	3.8	5.0	2.4	

Frecuencias de corte (4 semanas para primavera-verano, 5 semanas en otoño y 6 semanas en invierno). Medias con letras mayúsculas iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes, y medias con letras minúsculas iguales en cada hilera nos son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). EEM = Error estándar de la media.

Mendoza *et al.* (2010) con la variedad San Miguelito en respuesta a diferentes frecuencias de corte reportó, un valor mayor promedio anual del 90 % al cosechar la alfalfa cada 6 y 7 semanas, mientras que los menores promedios (48 %) se registraron en los cortes a 3 y 4 semanas. En general, observó que conforme se incrementa la frecuencia de corte, se redujo la RI. Por su parte, Cadena (2009) encontró la RI más alta cuando la alfalfa se cosechó cada 4 y 6 semanas en otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente, con un promedio anual de 58% de RI y la más baja (promedio anual de 34%) cuando la frecuencia de corte fue de 7 semanas durante otoño-invierno y de 3 semanas en primavera-verano.

Asimismo, García (2011) registró la mayor RI promedio anual para la variedad Júpiter con un 85% y el menor valor promedio anual para las variedades Cuf-101, Aragón y Valenciana con 71, 74, y 74%, respectivamente. Pearson e Ison (1987) y Horrocks y Vallentine (1999) mencionan que la capacidad que posee una pradera para producir materia seca, depende de las condiciones ambientales y, principalmente, del grado de intercepción de la radiación solar por las hojas. Con el aumento en la cantidad de hojas, se tiene una mayor intercepción de luz, pero las hojas en los estratos inferiores reciben menor intensidad y calidad de luz, por lo que provocan la reducción del crecimiento o de la tasa de asimilación neta; por ello, el mayor rendimiento de los forrajes, coinciden con el mayor índice de área foliar y la mayor masa foliar verde (Donald y Black, 1958; Velasco *et al.*, 2001; Morales R. E. J., *et al.*, 2006).

4.8. Peso por tallo

Los cambios estacionales y mensuales en el peso por tallo de diez variedades de alfalfa se presentan en los cuadros 8 y 11, respectivamente. Se observan diferencias ($P < 0.05$) entre variedades, siendo, Júpiter y Cuf-101, las que registraron el mayor y menor peso por tallo promedio anual con 0.45 y 0.31 g MS tallo⁻¹, respectivamente. Las variedades Valenciana y San Miguelito conjuntamente con Cuf-101 fueron las que presentaron los menores pesos por tallo promedios anuales con 32 g MS tallo⁻¹, siendo diferentes ($P < 0.05$) a Júpiter. Los cambios estacionales en el peso por tallo presentó diferencias ($P < 0.05$) entre variedades y entre estaciones del año, a excepción de otoño (Cuadro 8). Los promedios estacionales mostraron el siguiente orden: primavera (0.51), verano (0.43), otoño (0.30) e invierno (0.25) g MS tallo⁻¹. Por otra parte, los promedios mensuales en el peso por tallo, también

presentaron diferencias ($P < 0.05$) entre variedades (Cuadro 11), a excepción de los meses de diciembre, marzo y abril ($P > 0.05$). Los mayores valores se presentaron en los meses de abril a junio (promedio de $0.51 \text{ g MS tallo}^{-1}$), correspondientes a la estación de primavera, mientras que en enero se presentó el valor más bajo ($0.18 \text{ g MS tallo}^{-1}$).

Cuadro 8. Cambios estacionales en el peso por tallo (g tallo^{-1}) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco México, 2011-2012.

Variedad	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Promedio	EEM
Vía Láctea	0.32 Ac	0.27 ABc	0.58 ABa	0.47 ABb	0.41 AB	0.04
Chipilo	0.31 Ab	0.25 ABb	0.52 ABCa	0.42 ABCa	0.38 ABC	0.04
Atlixco	0.36 Ab	0.28 ABb	0.55 ABa	0.46 ABCa	0.42 AB	0.04
Oaxaca	0.29 Ab	0.26 ABb	0.49 ABCa	0.42 ABCa	0.36 BC	0.06
San Miguelito	0.31 Ac	0.22 Bd	0.41 Ca	0.36 Cb	0.32 C	0.01
Cuf-101	0.22 Ac	0.22 Bc	0.46 BCa	0.35 Cb	0.31 C	0.01
Milienia	0.27 Ab	0.24 ABb	0.53 ABCa	0.44 ABCa	0.37 BC	0.06
Aragon	0.31 Ab	0.25 ABb	0.52 ABCa	0.42 ABCa	0.38 ABC	0.09
Valenciana	0.23 Ac	0.22 Bc	0.45 BCa	0.39 BCb	0.32 C	0.02
Jupiter	0.36 Ac	0.31 Ac	0.62 Aa	0.52 Ab	0.45 A	0.04
Promedio	0.30 c	0.25 d	0.51 a	0.43 b	0.37	0.01
EEM	0.05	0.03	0.05	0.04	0.03	

Frecuencias de corte (4 semanas para primavera-verano, 5 semanas en otoño y 6 semanas en invierno). Medias con letras mayúsculas iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes, y medias con letras minúsculas iguales en cada hilera nos son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). EEM = Error estándar de la media.

Por su parte, García (2011) al evaluar diez variedades de alfalfa, reportó diferencias entre variedades, con un promedio de peso por tallo de $0.7 \text{ g MS tallo}^{-1}$, teniendo para el promedio de los tratamientos el siguiente orden: primavera (0.9), verano (0.8), otoño (0.7) e invierno ($0.4 \text{ g MS tallo}^{-1}$).

Se observó una tendencia a mayor peso en los meses de mayor temperatura (Figura 1). Al respecto, Dorantes (2000) al evaluar la respuesta productiva de tres variedades de alfalfa en dos intensidades de pastoreo, que en los meses de junio a agosto existieron diferencias

entre variedades y tratamientos, también observó una disminución en el peso de los tallos conforme avanzó el estudio.

La reducción en el peso por tallo coincidieron con el aumento en la densidad de tallos (Cuadro 9), comportamiento encontrado por otros autores (Hernández-Garay y Martínez., 1997; Hirata y Pakinding, 2004), quienes señalan que el aumentó en la densidad de tallos por unidad de área ocasiona una disminución en el peso individual de los tallos, efecto que es explicado por la ley de “auto aclareo”, elaborado por Yoda *et al.* (1963) y confirmada por varios investigadores (Bircham y Hodgson, 1983; Davies, 1988; Chapman y Lemaire, 1993). Martínez (2008) y Cab (2008) observaron una inhibición del crecimiento de los tallos en las estaciones de otoño e invierno debido al descenso de la temperatura y a la alta nubosidad (Ludlow, 1980; Man y Wiktorsson, 2003; Garza *et al.*, 2005).

4.9. Densidad de tallos

Los cambios estacionales y mensuales en la densidad de tallos de diez variedades de alfalfa se presentan en los cuadros 9 y 12 respectivamente. Se observan diferencias ($P < 0.05$) entre variedades, siendo, Júpiter y Aragón, las que registraron los mayores promedios anuales en la densidad de tallos con 578 y 542 tallos m^{-2} , respectivamente. La variedad San Miguelito fue la que registró la menor densidad de tallos con 282 tallos m^{-2} , siendo diferentes ($P < 0.05$) a Júpiter y Aragón. Las demás variedades presentaron valores intermedios (promedio 421 tallos m^{-2}). Los cambios estacionales en la densidad de tallos presentó diferencias ($P < 0.05$) entre variedades y entre estaciones. Los promedios por estación mostraron el siguiente orden: invierno (546), otoño (450), verano (380) y primavera (362) tallos m^{-2} .

Por otra parte, los promedios mensuales en la densidad de tallos de alfalfa, presentaron deferencias ($P < 0.05$) entre variedades, con la excepción de los meses de diciembre a marzo, agosto y septiembre. Los mayores valores se presentaron en los meses de diciembre a marzo (promedio de 547 tallos m^{-2}), correspondientes a la estación de invierno, mientras que de mayo a julio (finales de primavera e inicios de verano), se presentaron los valores más bajos (promedios 355 tallos m^{-2}).

García (2011) al evaluar diez variedades de alfalfa, no reportó diferencias entre variedades, no así entre los promedios estacionales, teniendo un promedio general de 568 tallos m⁻², con el siguiente orden estacional: verano (684), otoño (608), invierno (526) y primavera (457) tallos m⁻². Por su parte, Cadena (2009) en cuatro frecuencias de corte en alfalfa variedad San Miguelito, reportó la mayor densidad de tallos cuando la alfalfa fue cosechada cada 5 semanas en otoño-invierno, teniendo la máxima densidad en noviembre con 565 tallos m⁻², en contraste, encontró que a partir de febrero empieza a declinar este valor hasta llegar al mínimo en los meses de mayo y junio. Los valores más bajos los observó con la frecuencia de corte de 7 y 3 semanas en los meses de julio y agosto con 23 y 27, respectivamente.

Cuadro 9. Cambios estacionales en la densidad de tallos (tallos m⁻²) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco México, 2011-2012.

Variedad	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Promedio	EEM
Vía Láctea	422 ABCDb	531 ABb	542 Aa	428 ABa	481 ABC	35
Chipilo	382 ABCDa	457 Aba	313 BCDEa	301 ABa	363 ABC	109
Atlixco	563 ABCa	588 Aba	415 ABCDa	536 Aa	525 AB	118
Oaxaca	423 BCDa	506 Aba	360 ABCDEa	340 ABa	407 ABC	172
San Miguelito	299 Db	425 Ba	173 Ed	232 Bc	282 C	26
Cuf-101	358 CDb	540 Aba	263 CDEc	270 ABbc	358 ABC	42
Milienia	488 ABCDa	596 Aba	452 ABCa	430 ABa	492 ABC	84
Aragon	579 ABa	690 Aa	390 ABCDEa	508 ABa	542 A	215
Valenciana	385 ABCDa	422 Ba	213 DEa	256 Ba	319 BC	112
Júpiter	601 Aab	711 Aba	505 ABb	496 ABb	578 A	69
Promedio	450 b	546 a	362 c	380 bc	435	34
EEM	91	138	91	115	94	

Frecuencias de corte (4 semanas para primavera-verano, 5 semanas en otoño y 6 semanas en invierno). Medias con letras mayúsculas iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes, y medias con letras minúsculas iguales en cada hilera nos son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). EEM = Error estándar de la media.

La temperatura y la humedad en el suelo, son los principales factores climáticos que influyen en la densidad y tamaños de los tallos, por lo que la tasa y aparición y muerte de

tallos, está relacionado con las condiciones ambientales, ya que cuando las condiciones son favorables existen una constante producción de tallos, dando como resultado un aumento en la producción de biomasa de forraje en la pradera (Michel y Helen, 2000). De la misma forma, Hernández-Garay *et al.* (1999) mencionan que existe una relación inversa entre la densidad de tallos y la producción de materia seca, señalan que un mayor número de tallos resulta en un menor rendimiento de forraje, debido posiblemente al bajo peso individual de cada uno de ellos.

4.10. Densidad de plantas

La densidad de plantas promedio anual, los cambios estacionales y mensuales de diez variedades de alfalfa, se presentan en los cuadros 10 y 13, respectivamente. Se observan diferencias ($P < 0.05$) entre variedades, siendo, Júpiter, Vía Láctea, Milenia, Atlixco y Oaxaca, las variedades que presentaron los mayores valores (promedio 17 plantas m^{-2}). La variedad Valenciana con 8 plantas m^{-2} , registro el menor valor. Las demás variedades presentaron valores intermedios (promedio 11 plantas m^{-2}), siendo diferentes ($p < 0.05$) con las que presentaron los mayores y menores valores. Los cambios estacionales presentaron diferencias ($P < 0.05$) entre variedades y entre estaciones del año (Cuadro 10). Los promedios estacionales mostraron el siguiente orden: otoño (20), invierno (16), primavera (13) y verano (11) plantas m^{-2} .

Los cambios mensuales en la densidad de plantas de las diez variedades evaluadas (Cuadro 13), muestran que únicamente en los meses de octubre, enero, abril y mayo no existió diferencia ($P \geq 0.05$) entre variedades. Se observó una tendencia a disminuir el número de plantas conforme transcurrieron los meses de estudio, iniciando en el mes de octubre con un promedio de 22 plantas m^{-2} y finalizando en septiembre con 9 plantas m^{-2} . Rojas (2011) encontró que la densidad de plantas se vio disminuir en todas las variedades conforme transcurrió el periodo experimental, de 32 plantas m^{-2} en verano a 22 plantas m^{-2} en primavera ($P < 0.05$). Esto puede deberse a periodo que lleva establecida la pradera (4 años), ya que conforme pasa el tiempo, la persistencia y rendimiento de esta se ve mermada.

Por su parte, Cadena (2009) al evaluar diferentes frecuencias de cosecha en alfalfa variedad San Miguelito, observó que en la frecuencia de 5 semanas es la que mantiene la mayor

densidad de plantas en la pradera, mientras que el tratamiento con menor periodo de reposo tuvo la mayor pérdida (3 semanas). También observó que la mayor densidad de plantas se presenta en los meses al final de año (octubre a diciembre). Al respecto, Sevilla *et al.* (2002) mencionan que, la muerte de plantas es mayor en primavera y verano, y que posterior a este periodo la densidad de plantas tiende a incrementarse.

Cuadro 10. Cambios estacionales en la densidad de plantas (plantas m⁻²) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a intervalos de cortes definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco, México, 2011-2012.

Variedad	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Promedio	EEM
Vía Láctea	23 Aa	20 Ab	17 Ac	14 Ad	18 A	1
Chipilo	19 ABa	14 Aba	11 Aba	9 Aba	13 AB	6
Atlixco	21 Aba	19 Aa	15 Aba	14 Aa	17 A	4
Oaxaca	21 ABa	17 Abab	15ABab	10 Abb	16 A	4
San Miguelito	19 ABa	13 ABb	10 ABb	8 Abb	12 AB	2
Cuf 101	17 ABa	15 Abab	12ABab	10ABb	14 AB	3
Milienia	21 ABa	17 Aab	15 ABb	14 Ab	17 A	2
Aragon	19 Aba	14 Aba	13 Aba	10 Aba	14 AB	6
Valenciana	14 Ba	9 Bb	6 Bbc	5 Bc	8 B	2
Júpiter	22 Aa	19 Aab	17 Ab	14 Ab	18 A	3
Promedio	20 a	16 b	13 bc	11 c	15	2
EEM	3	4	4	3	3	

Frecuencias de corte (4 semanas para primavera-verano, 5 semanas en otoño y 6 semanas en invierno). Medias con letras mayúsculas iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes, y medias con letras minúsculas iguales en cada hilera nos son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). EEM = Error estándar de la media.

5. CONCLUSIONES

- ❖ Para la región de estudio, la evaluación de diez variedades de alfalfa demostró que la mejor respuesta productiva la presentaron las variedades Júpiter y Vía Láctea, mientras que la menor la presentaron las variedades San Miguelito, Valenciana y Cuf-101.
- ❖ Todas las variedades de alfalfa mostraron una distribución estacional del rendimiento de forraje con el siguiente orden descendente: verano > primavera > invierno > otoño.
- ❖ La tasa de crecimiento, altura y peso por tallo están altamente relacionadas con el rendimiento de materia seca dentro de las estaciones.
- ❖ Conforme avanzó el estudio la persistencia de las variedades de alfalfa fueron afectadas negativamente, reflejándose en una menor densidad de tallos, plantas, radiación interceptada y composición botánica de la pradera.

LITERATURA CITADA

- Álvarez, F. G. y López, O. R. 1992.** Rendimiento agronómico, digestibilidad (*In vitro*) y contenido de proteína de nueve variedades de alfalfa. Tesis de licenciatura. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo, México. 75 p.
- 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_stm. 52 p. (revisada el 08-07-11).
- Azcon-Bieto, J. y Talon, M. 1993.** Fisiología y Bioquímica Vegetal. Ed. Interamericana McGraww-Hill. Madrid, España. 581 p.
- Baguet, H. A. y Bavera, G. A. 2001.** Fisiología de la planta pastoreada. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional del Río Cuarto. Provincia de Córdoba, Argentina. http://www.produccionovina.com.ar/produccioymanejo,pasturas/pastoreosistemas/04fisiologia_de_la_planta_pastoreada.htm (revisada el 10-07-12).
- Barajas, L. V. y Tápia, N. A. 1991.** Producción de forraje, digestibilidad y contenido de proteína cruda se nueve variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en Nazareno, Etlá, Oaxaca. Tesis de licenciatura. Departamento de Zootecnia, UACH, Chapingo, Edo, de México. 141 p.
- Becerra, B. J. y Avendaño, J. C. 1992.** Efecto de la severidad de defoliación sobre la producción de forraje y los carbohidratos de reserva en especies forrajeras tropicales. Revista Técnica Pecuaria en México.
- Bidwell, R. G. S. 1979.** Fisiología Vegetal. A. G. T. Editor. A. A. México. 784 p.
- Bircham, J. S. and Hodgson, J. 1983.** The influence of sward conditions on rates of herbage growth and senescence in mixed swards and continuous grazing management. Grass and Forages Science. 323-331p.
- Bouton, J. H. 2001.** Alfalfa. In: Proceedings of the XIX International Grassland Congress. Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil. 545-547 p.

- 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 C-labelling. *Oecologia*. 151-159 p.
- 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. 85-108 p.
- Bula, R. J. and Massengale, M. A. 1972.** Environmental Physiology. In: CH. Hanson (eds) *Alfalfa Science and Technology*. American Society of Agronomy. 167-184 p.
- Cadena, V. S. 2009.** Dinámica de crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferentes frecuencias de cosecha. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 70 p.
- Casa Semillera Berentsen.** <http://www.semillasberentsen.com.mx/nueva.swf>. (Revisada el 08-07-2012).
- Carámbula, M. 1977.** Producción y Manejo de pasturas sembradas. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 464 p.
- Carámbula, M. 1981.** Producción de Semillas de Plantas Forrajeras. Editorial Hemisferio Sur. SRL. Montevideo, Uruguay. 518 p.
- Cartelon, A. E. And Cooper, C. S. 1972.** Seed size effects upon seedling vigor of three forage legumes. *Crop Science*. 183 – 186 p.
- Carmona, M. R. 1991.** Efecto de tres cargas animal sobre la velocidad de rebrote del pasto *Brachiaria* spp. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México. 70 p.
- Chapman, D. F. and Lemaire, G. 1993.** Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *Proceedings of the XVII International Grassland Congress*. New Zealand and Australia. 95-104 p.
- Corbea, L. A. 1992.** Principales métodos aerotécnicos empleados en la siembra y establecimiento de los pastos. *Fomento y Explotación de los Patos Tropicales*. Compendio de conferencias. Perico-Matanzas, Cuba. 47-59 p.
- Cowett, E. R. and Sprague, M. A. 1962.** Factors affecting tillering in alfalfa. *Agronomia Journal*. 283-372 p.

- Davies, A. 1988.** The regrowth of grass swards. In: Jones M. B. and Lazenby A. (eds). The Grass Crops. Chapman and Hall. London. 85-127 p.
- 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 flooding. Pesquisa Agropecuária. Brasil, Brasília. 35 1959-1966 p.
- Donald, C. M. and Black, J. N. 1958.** The significance of leaf area in pasture growth. Herbage Abstracts. 1-6 p.
- Dorantes, J. J. 2000.** Respuesta productiva de tres variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a dos intensidades de pastoreo. Tesis de Maestría. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Colegio de Posgraduados. 65 p.
- Duthil, J. 1989.** Producción de forrajes. Editorial Mundi-prensa. Madrid, España. 367 p.
- Elizondo, B. J. R. 1984.** Efecto de la frecuencia de corte sobre la producción de materia seca y digestibilidad in vitro en Zacate Guinea *Panicum maximum*. Tesis profesional. ITESM. Monterrey, México. 26 p
- Enríquez, Q. J. F. y Romero, M. 1999.** Tasa de crecimiento estacional a diferentes edades de rebrote de 16 ecotipos de *Brachiaria* spp. en Isla Veracruz. Revista Agrociencia.
- 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 Fitotecnia Mexicana.
- 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. Cironoc-inifap. (Revisado 08-07-12).
- Festo, J. M., Sabed, N. A. and Jeremy, A. R. 2003.** The impact of temperature on leaf appearance in bamba groundnut landraces. Crop Science. 1375-1379 p.
- Flores, M. J. A. 1987.** Manual de Alimentación Animal, Vol. 2, Tercera reimpresión. Editorial Limusa. Impreso en México D.F. 446 p.
- García, E. 2004.** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.

- Garza, C. R. D., Méndez, R. A. y Zárata, F. P. 2005.** Acumulación estacional de forraje en praderas de Zacate Buffel Milenio en el norte de Tamaulipas. In: XIX Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Tampico, Tamaulipas, México. 335-337 p.
- Gerlinas, C. 1988.** Germinais seeds: Se abre camino en México. Síntesis Lechera. 46-47 p.
- Hanson, A. A., Barnes, R. D. K. and Hill, A. 1988.** Alfalfa and alfalfa improvent. American Society of Agronomy Inc. Madison, USA. 1084 p.
- Hernández, G. A., Pérez, P. J. y Hernández, G. V. A. 1992.** Crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferentes regímenes de cosecha. Revista Agrociencia.
- Hernández, G. 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. 8-24 p.
- Hernández, G. A. y Pérez, P. J. 1998.** Determinación del estado fisiológico óptimo de corte de alfalfa. XIII Congreso Nacional de Manejo de Pastizales. 32 p.
- Hernández, G. A., Matthew, C. and Hodgson, J. 1999.** Tiller size/density compensation in perennial miniature swards subject to differing defoliation heights and a proposed productivity index. Grass and Forage Science. 347-356 p.
- Hirata, M. y Pakiding, W. 2001.** Tiller dynamics in Bahia grass (*Paspalum notatum*) pasture under cattle grazing. Tropical Grassland. 15-160 p.
- Hodgson J. 1979.** Nomenclatural and definition in grazing studies. Grass and forage Science. 11-18 p.
- Hodgson, J. 1981.** Swards studies: Objectives and priorities. In: Hodgson J., R. D Braker, A. Davies, A. S. Laidlaw, and J. D. Leaver (eds.). Sward Measurement Handbook. The British Grasslands Society. Berkshire, England. 1-14 p.
- 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.

- Holmes, W. 1989.** Grazing management. *In:* Grass its production and utilization. W. Holmes. 2nd Ed. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 130-172 p.
- Horrocks, R. D. and Vallentine, J. F. 1999.** Harvested Forages. Academic Press. OvalRoad, London. United Status of América. 426 p.
- Huerta, P. R. A. 1992.** Plagas insectiles de especies forrajeras en México. Departamento de Parasitología Agrícola. UACH. Chapingo, México. 33-40 p.
- Hughes, H. D., Heath, M. E., and Metcalf, D. S. 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.
- ITESM, (2002).** Henificado. Instituto Tecnológico de estudios superiores de Monterrey <http://gro.items.mx.agronmia2.extensivos>. (Revisado 12-07-2012)
- Johnson, C. R., Reiling, B. A., Mislevy, P. and Hall, M. B. 2001.** Effects of nitrogen fertilization and harvest date on yield, digestibility, fiber and protein fractions of tropical grasses. Journal Animal Science. 2439-2448 p.
- Jiménez, M. A. y Martínez, H. P. A. 1984.** Utilización de praderas. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 85 p.
- Juncafresca, B. 1983.** Forrajes, Fertilizantes y Valor Nutritivo. 2ª edición. Editorial Aedos Barcelona, España. 203 p.
- Kephart, K. D., Twidwell, E. K., Bortnem, R. and Boe, A. 1992.** Alfalfa yield component responses to seeding rate several years after establishment. Agronomy Journal. 827-831 p.
- Kirby, E. J. M. and Perry, M. W. 1987.** Leaf emergence rates of wheat in a Mediterranean environment. Australia Journal of Agricultural Research. 455-464 p.
- Lacnfield, G. D. 1998.** Alfalfa: Queen of the forage crops. In. The 28th National Alfalfa Symposium & 18th Annual Kentucky Alfalfa Conference. Certified Alfalfa Seed Council. 77-79 p.
- 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. CIAT, Cali Colombia. 347-383 p.

- Leach, G. J. 1968.** The growth of the Lucerne plant after cutting: the effect of cutting at different stages of maturity and at different intensities. *Australia Journal of Agricultural Research*. 517-530 p.
- Legorburo, F. J. Montero, J. A. de Juan y Picornell, Ma. R. 2007.** Estudio comparativo de tres sistemas de estimación del área foliar en *Vitis vinifera* L. (cv. Cencibel). XI Congreso SECH. Albacete. Actas de Horticultura. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. 343 p.
- 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. 39-40 p.
- Lemaire, G., Hodgson, J., De Moraes, A., Carvalho, P. C. de F. and Nabinger C. 2000.** Grassland ecophysiology and grazing ecology. Cab International. 422 p.
- Lestienne, F., Thornton, B. and Gastal, F. 2006.** Impact of defoliation intensity and frequency on N uptake and mobilization in *Lolium perenne*. *Journal Experimental Botany*. 997-1006 p.
- Longnecker, N. and Robson, A. 1994.** Leaf emergence of spring wheat receiving nitrogen supply at different stages of development. *Annals of Botany*. 1-7 p.
- López, M. J. D., Gutiérrez, P. G. y Berúmen, P. S. 2000.** Labranza de conservación usando coberturas de abono orgánico en alfalfa. *Revista Terra Latinoamericana*.
- Ludlow, M. M. 1980.** Stress physiology of tropical pasture plants. *Journal Tropical grassland*. 136-145 p.
- Man, N. and Wiktorsson, H. 2003.** Forage yield, nutritive value, feed intake and digestibility of three grass species as affected by harvest frequency. *Journal Tropical Grassland*. 101-110 p.
- Matthew, C. and Hodgson, J. 1997.** Form and function of grass. CD ROM. Grass view. Institute of Natural Resources, Massey University, New Zealand.
- Matthew, C., G., Lemaire, N. R., Sackville, H. and Hernández, G. A. 1995.** A modified self-thinning equation to describe size/density relationships for defoliated swards. *Annals of Botany*. 579-587 p.

- Mazzanti, A. G., Lemaire, G. and Gastel, F. 1994.** The effect of nitrogen fertilization upon herbage production of tall fescue swards continuously grazed with sheep. Herbage growth dynamics. *Grass and Forage Science*. 111-120 p.
- McCloud, D. E. and Bula, R. J. 1985.** Climatic factors in forage production. In: *The Science of Grassland Agricultural*. Heat, M. E., Barnes, R. F. y Metcalfe (Eds). Iowa State University. Iowa, U.S.A. 33-42 p.
- Mendoza, P. S. I., Hernández, G. 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*.
- Mendoza, P. S. I. 2008.** Dinámica de crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferente frecuencia de corte. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 103 p.
- Mendoza, P. S. I., Hernández, G. A., Pérez. P. J., Quero, C. A. R., Escalante, E. J. A. S., Mendoza, G. R., Gómez, G. A. A., Caamal, C. y González, E. A. 2000.** Producción y rentabilidad de alfalfa en el Municipio de Texcoco, Estado de México. *Producción y Rentabilidad Agrícola*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México. 188 p
- Monteith, L. J. 1997.** Climate. In: Paulo de T. Alvim and T. T. Kozlowski (eds). *Ecophysiology of Tropical Crops*. Academic Press, New Cork, U.S.A. 1-28 p.
- Morales, A. J., Jiménez, V. J. L., Velasco, V. V. A., Villegas, A. Y., Enríquez, del V. J. R. y Hernández, G. A. 2006.** Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertirriego en la mixteca de Oaxaca. *Técnica Pecuaria en México*.
- Morales, R. E. J., Escalante, E. J. A., Tijerina, Ch. L., Volke, H. V. y Sosa, M. E. 2006.** Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar del agroecosistema girasol-fríjol. *Revista Terra Latinoamericana*.
- Muslera, P. E. y G. Ratera C. 1991.** Praderas y Forrajes, Producción y Aprovechamiento. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 674 p.
- Oropeza, V. M. 1956.** Factores determinantes para el mayor rendimiento en el cultivo de alfalfa. Chapingo, México. Mimeografiado. 47 p.

- Ortíz, S. C. 1997.** Colección de Monolitos. Depto. Génesis de Suelos. Edafología. Irenat. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- Pearson, C. J. and Ison, R. L. 1987.** Agronomy of Grassland Systems. Cambridge University Press. Great Britain. 169 p.
- Perdomo, G. R. 2008.** Comportamiento productivo de 65 genotipos de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en Chapingo, México. Tesis de Licenciatura. Departamento de Zootecnia. Chapingo, Texcoco, México. 78 p.
- Pérez, B. M. T., Hernández, G. A., Pérez, P. J., Herrera, H. J. G., y Bárcena, G. R. 2002.** Respuesta productiva y dinámica de rebrote del pasto ballico perenne a diferentes alturas de corte. Técnica Pecuaria en México.
- Ramos, S. A. y Hernández, X. E. 1970.** Ecología de la alfalfa en México. COTECOCA y Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 49 p.
- Rivas, J. M. A., López, C. C., Hernández, G. A., 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.
- Richards, J. H. 1993.** Physiology of plants recovering from defoliation. In: Proceedings of the XVII International Grassland Congress. New Zealand and Australia. 85 - 94 p.
- Robles, S. R. 1990.** Producción de Granos y Forrajes. Quinta Edición. Editorial Limusa. México D. F. 489-518 p.
- Rodríguez, S. F. 1989.** Fertilizantes. Nutrición Vegetal. A. G. T. Editor, S. A. México, D. F. 157 p.
- Roggieri, A. C., Monteiro, A. I. G. y Gilberto, R. 2001.** Adaptability and stability of alfalfa cultivars. Proceeding. XIX. International Grassland Congress. San Paulo, Brazil. 538-539 p.
- Rojas, G. A. R. 2011.** Dinámica de crecimiento y rendimiento de forraje de diez variedades de alfalfa. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 70 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).
- SAGARPA, 2012.** Producción Agrícola en México. Centro de Estadística Agropecuaria. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/> (Revisada el 12-05-12).
- 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, 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 (Revisado 22-07-2012).
- Salinas, S. C. 1988.** La alfalfa reina de las forrajeras. Síntesis Lechera. 33-40 p.
- Salinas, B. M. y Montes, S. V. J. 1992.** Comportamiento agronómico de doce variedades de alfalfa en Bermejillo Durango. Tesis de Licenciatura. Chapingo, UACH, México. 80 p.
- SAS. 1999.** User's Guide. Statistics, Version 8. Sixth Edition. SAS Inc. Cary, North Carolina, USA. 956 p.
- Sevilla, G. H., Pasinato, A. M. y García, J. M. 2002.** Producción de forraje y densidad de plantas de alfalfa irrigada comparando diferentes densidades de siembra. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 164-170 p.
- Skinner, R. H., J. A. Morgan and Hanson, J. D. 1999.** Carbon and nitrogen reserve remobilization following defoliation: nitrogen and elevated CO₂ effects. Crop Science. 1749-1756 p.
- Soto, O. P., Jahn, B. E. Velasco, H. R. y Arredondo, S. S. 2004.** Especies leguminosas forrajeras para corte en suelos arcillosos de mal drenaje. Agricultura Técnica. 157-164 p.
- Speeding, C. R. W. 1971.** Grassland Ecology. Clarendon press. Oxford, Great Britain. 221 p.

- Steel, R. G. y Torrie, J. H. 1988.** Bioestadística: Principios y procedimientos. 2ª edición
Mc Graw – Hill. México. 622 p.
- 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*. 99-112 p.
- Tablada, A. Y. 1998.** Comportamiento de una pradera alfalfa-ovillo a diferentes
frecuencias de pastoreo con borregos. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.
Montecillo, Texcoco. Edo. de México. 76 p.
- Teutsch, C. D., Fike, J. H and Tilson. 2005.** Yield, digestibility and nutritive value of
crabgrass as impacted by nitrogen fertilization rate and source. *Agronomy Journal*.
1640-1646 p.
- Tomlinson, K. W. and O'Connor, T. G. 2004.** Control of tiller recruitment in
bunchgrasses: Uniting Physiology and Ecology. *Funct Ecology*. 489-496 p.
- 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. *Revista de la Facultad de Ciencias. Edición especial*. 61-72 p.
- Ueno, M. and Smith, D. 1970.** Growth and carbohydrate changes in the root wood and
bark of different sized alfalfa plants during regrowth after cutting. *Crop Science*.
396-399 p.
- Varella, A. C., Peri P. L., Lucas R. J., Moot D. J., and Mcneil D. L. 2001.** Dry matter
production and nutritive value of alfalfa and orchardgrass under different light
regimes. *Proceedings XIX International Grassland Congress*. San Paulo, Brazil. 659
- 660 p.
- Vázquez, G. J. 1978.** Efecto del nitrógeno, época del año, frecuencia y altura de corte en
las reservas de los carbohidratos y materia seca en Estrella Africana (*Cynodon
plectostachyus* K.) Schum. y Pará *Brachiaria mutica* (Fork) Stapf . Tesis de
Maestría. Colegio Superior de Agricultura Tropical. Cárdenas, Tabasco. 78 p.
- Velasco, Z. Ma. E., Hernández, G. A., González, H. V. A., Pérez, P. J., Vaquera, H. H.,
Galvis, S. A. 2001.** Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto ovillo
(*Dactylis Glomerata* L.). *Técnica Pecuaria en México*.

- Villegas, A. Y., Hernande, G. 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.
- Villegas, A. Y., Hernández, G. A., 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.
- Villegas, A. Y. 2002.** Análisis de crecimiento estacional y componentes del rendimiento de cuatro variedades de alfalfa. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 91 p.
- Volenc, J. J., A. Ourry and B. C. Joern. 1996.** A role for nitrogen reserves in forage regrowth and stress tolerance. Plant Physiology. 185-193 p.
- Yoda, K., Kira, T., Ogawa, H. y Hozumi, K. 1963.** Intraspecific competition among higher plants. XI. Self-tinting in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. J. of Institute o Polytechnic. Osaka City. University series. 107 - 129 p.
- Zaragoza, R. J. L., Martínez, H. P. A., Jiménez, M. A., Castrellón, J. L., Cadena, A. y Huerta, A. 1992.** Rendimiento de forraje de 14 variedades de alfalfa en tres localidades de México. Resúmenes del IX Seminario Científico Nacional Hispanoamericano de Pastos y Forrajes de la Estación Experimental “Indio Harvey”. Cuba.
- Zaragoza E. J. A. 2000.** Crecimiento y acumulación de forraje de los pastos Ballico *Lolium perenne* L. y Ovillo *Dactylis glomerata* L. a diferentes frecuencias de corte. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. México. 98 p.
- Zaragoza, R. J. L., Ramírez, R. O. 2010.** Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. Revista Mexicana de Ciencia Pecuaria.

ANEXOS

Cuadro A 1. Cambios mensuales en el peso por tallo (g tallo⁻¹) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a diferentes intervalos de corte definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco. México, 2011-2012.

Variedad	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL	EEM	SIG
Vía Láctea	0.37	0.37	0.22	0.18	0.26	0.37	0.58	0.61	0.56	0.46	0.46	0.49	0.41	0.07	*
Chipilo	0.34	0.34	0.26	0.18	0.24	0.34	0.57	0.51	0.47	0.42	0.46	0.39	0.38	0.06	*
Atlixco	0.43	0.45	0.22	0.19	0.28	0.38	0.59	0.51	0.56	0.52	0.43	0.45	0.42	0.60	*
Oaxaca	0.30	0.30	0.27	0.19	0.27	0.32	0.55	0.48	0.44	0.48	0.42	0.37	0.36	0.80	*
San Miguelito	0.33	0.35	0.25	0.13	0.22	0.32	0.41	0.39	0.43	0.37	0.33	0.37	0.32	0.03	*
Cuf-101	0.25	0.23	0.19	0.14	0.22	0.30	0.51	0.45	0.41	0.35	0.39	0.31	0.31	0.09	*
Milenia	0.29	0.29	0.22	0.20	0.22	0.32	0.64	0.47	0.48	0.47	0.47	0.39	0.37	0.90	*
Aragón	0.34	0.34	0.26	0.19	0.24	0.32	0.61	0.50	0.46	0.47	0.38	0.43	0.38	0.10	*
Valenciana	0.21	0.26	0.22	0.15	0.18	0.32	0.43	0.45	0.48	0.43	0.41	0.35	0.32	0.12	*
Júpiter	0.40	0.39	0.29	0.23	0.32	0.40	0.66	0.63	0.57	0.55	0.51	0.49	0.45	0.05	*
Promedio	0.32	0.33	0.24	0.18	0.24	0.34	0.55	0.50	0.49	0.45	0.42	0.40	0.37	0.02	*
EEM	0.07	0.07	0.06	0.03	0.05	0.05	0.10	0.08	0.05	0.06	0.07	0.06	0.03		
SIG	*	*	NS	*	*	NS	NS	*	*	*	*	*	*		

Frecuencias de corte (4 semanas para primavera-verano, 5 semanas en otoño y 6 semanas en invierno)

NS = No significancia ($p > 0.05$), * $p \leq 0.05$.

EEM = Error Estándar de la Media

Cuadro A 2. Cambios mensuales en la densidad de tallos (tallos m⁻²) de diez variedades de alfalfa, cosechadas a diferentes intervalos de corte definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco. México, 2011-2012.

Variedad	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL	EEM	SIG
Vía Láctea	315	433	519	548	534	511	559	531	538	538	363	384	481	57	*
Chipilo	375	333	438	416	483	471	300	319	319	319	283	300	363	123	NS
Atlixco	513	519	658	588	581	594	444	400	400	400	617	592	525	148	NS
Oaxaca	419	394	456	475	550	494	394	344	344	344	319	356	407	194	NS
San Miguelito	219	292	385	473	432	369	192	163	164	170	233	292	282	46	*
Cuf-101	298	339	438	563	531	527	256	281	250	254	300	256	358	77	*
Milenia	500	400	565	631	600	556	406	475	475	475	363	453	492	136	*
Aragón	413	631	694	725	713	631	494	338	338	338	606	581	542	243	NS
Valenciana	331	375	450	451	402	413	213	213	213	214	318	238	319	124	*
Júpiter	591	563	650	750	694	688	513	527	475	491	495	501	578	84	*
Promedio	397	428	525	562	552	525	377	359	351	354	390	395	435	38	
EEM	100	126	151	153	175	142	128	101	103	101	174	151	99		
SIG	*	*	NS	NS	NS	NS	*	*	*	*	NS	NS	*		

Frecuencias de corte (4 semanas para primavera-verano, 5 semanas en otoño y 6 semanas en invierno)

NS = No significancia ($p > 0.05$), * $p \leq 0.05$.

EEM = Error Estándar de la Media

Cuadro A 3. Cambios mensuales en la densidad de plantas (plantas m⁻²) de diez variedades de alfalfa cosechadas a diferentes intervalos de corte definidos estacionalmente. Montecillo, Texcoco. México, 2011- 2012.

Variedad	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL	EEM	SIG
Vía Láctea	26	22	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	18	1	*
Chipilo	21	19	18	15	14	12	11	12	11	10	8	8	13	7	*
Atlixco	25	20	20	20	19	18	15	15	14	15	13	14	17	5	*
Oaxaca	23	21	20	16	17	17	17	15	14	12	10	8	16	4	*
San Miguelito	22	18	17	14	13	11	11	11	9	10	6	7	12	3	*
Cuf-101	20	16	17	16	14	14	13	13	12	12	10	7	14	3	*
Milenia	25	19	20	18	16	17	16	15	14	15	15	13	17	3	*
Aragón	21	19	17	15	15	14	13	13	12	10	10	9	14	7	*
Valenciana	18	13	13	12	8	6	6	6	5	6	5	5	8	2	*
Júpiter	24	22	21	20	19	18	18	16	17	16	13	12	18	3	*
Promedio	22	19	18	17	15	15	14	13	12	12	10	9	15	2	*
EEM	6	3	4	4	4	5	5	5	4	3	4	4	3		
SIG	NS	*	*	NS	*	*	NS	NS	*	*	*	*	*		

Frecuencias de corte (4 semanas para primavera-verano, 5 semanas en otoño y 6 semanas en invierno)

NS = No significancia ($p > 0.05$), * $p \leq 0.05$.

EEM = Error Estándar de la Media