



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

DINÁMICA DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE ALFALFA (*Medicago sativa* L.) EN RESPUESTA A DIFERENTES FRECUENCIAS DE COSECHA

SAID CADENA VILLEGAS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2009

La presente tesis, titulada: "Dinámica de crecimiento y rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en respuesta a diferentes frecuencias de cosecha", realizada por el alumno Said Cadena Villegas, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

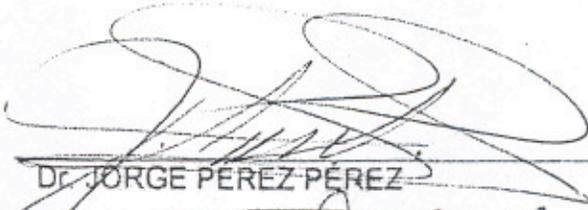
MAESTRO EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. JORGE PÉREZ PÉREZ

ASESOR



DR. EUSEBIO ORTEGA JIMENEZ

ASESOR



Dr. JOSÉ ALBERTO ESCALANTE ESTRADA

Montecillo, México, Septiembre del 2009

DEDICATORIA

A DIOS:

Por darme la oportunidad de vivir.

A mis Hijos Paco y Zaira:

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 Esposa Claudia:

Por ser mi compañera y apoyo.

A mis Padres Rosa María y Alejandro:

Por ser mis guías durante la primera parte de mi vida.

A mis Abuelos Ernestina y Ricardo†:

Porque en los momentos de mayor desamparo siempre fueron un apoyo inquebrantable.

A mis Hermanas Cereolith y Yosadara:

Por ser una parte importante a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por brindarme el apoyo para realizar los estudios de postgrado.

Un agradecimiento muy especial al Dr. Alfonso Hernández Garay por el apoyo incondicional en la dirección del trabajo de campo y revisión de la presente tesis, además de la amistad brindada y enseñanza integral.

Al Dr. Jorge Pérez Pérez, por la amistad brindada a lo largo de mi estancia en el Colegio de Postgraduados y el apoyo en este proyecto de superación personal y académica.

A los Doctores Eusebio Ortega Jiménez y J. Alberto Escalante Estrada por los atinados comentarios y tiempo dedicado al presente trabajo.

A todos mis compañeros con los que compartí la educación integral que se nos impartió en la sección de forrajes: Rigo, Iban, Omar, Aldenamar, Santiago, Pedro, Nestor y Raúl.

A mis compañeros del CEFOAH que me apoyaron para culminar el proyecto de postgrado: Dante, Leo, Juan Carlos, Juan y Misael.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Descripción botánica y agronómica de la alfalfa.....	3
2.2 Importancia económica de la alfalfa en el Estado de México.....	5
2.3 Rendimiento estacional de forraje.....	7
2.4 Factores que afectan el rendimiento.....	12
2.4.1. Temperatura.....	12
2.4.2. Agua.....	13
2.4.3. Fertilización.....	14
2.4.4. Factores edáficos.....	15
2.4.4.1. Acidez en el suelo.....	15
2.4.4.2. Salinidad y alcalinidad.....	16
2.4.4.3. Drenaje y profundidad del suelo.....	17
2.4.5. Plagas y enfermedades.....	18
2.4.6. Frecuencia e intensidad de cosecha.....	20
2.5. Factores que afectan el rebrote.....	22
2.5.1. Reserva de carbohidratos.....	23
2.5.2. Índice de área foliar.....	25
2.5.3. Meristemas de crecimiento.....	26
2.6. Densidad de tallos.....	28
3. MATERIALES Y MÉTODOS	31

3.1. Localización del sitio experimental.....	31
	Página
3.2. Manejo de las parcelas.....	32
3.3. Tratamientos y diseño experimental.....	33
3.4. Variables evaluadas.....	34
3.4.1. Rendimiento de forraje.....	34
3.4.2. Tasa de crecimiento del forraje.....	35
3.4.3. Composición botánica y morfológica.....	35
3.4.4. Relación hoja:tallo.....	36
3.4.5. Altura de la planta.....	36
3.4.6. Índice de área foliar.....	36
3.4.7. Radiación interceptada.....	37
3.4.8. Peso por tallo.....	38
3.4.9. Densidad de tallos.....	38
3.4.10. Densidad de plantas.....	38
3.5. Análisis estadístico.....	39
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1. Rendimiento de forraje.....	39
4.2. Tasa de crecimiento del forraje.....	44
4.3. Relación hoja:tallo.....	46
4.4. Altura de la planta.....	47
4.5. Área foliar por tallo.....	50
4.6. Radiación interceptada.....	54
4.7. Peso por tallo.....	56
4.8. Densidad de tallos.....	57
4.9 Densidad de plantas.....	59
5. CONCLUSIONES.....	62
6. BIBLIOGRAFIA.....	63

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Densidad de plantas y de tallos de alfalfa por metro cuadrado previo al inicio del experimento.....	32
Cuadro 2. Representación esquemática de los tratamientos en campo.....	34
Cuadro 3. Rendimiento anual y estacional de alfalfa (kg MS ha ⁻¹) cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2007-2008.....	41
Cuadro 4. Porcentaje de malezas dentro del rendimiento de forraje en praderas de alfalfa, en Montecillo, México, 2007-2008.....	42
Cuadro 5. Rendimiento de alfalfa (kg de MS/ h) en Montecillo, México, 2007-2008.....	43
Cuadro 6. Tasa de crecimiento promedio estacional (kg MS ha ⁻¹ d ⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2007-2008.....	45
Cuadro 7. Promedio estacional de relación hoja:tallo de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2007-2008.....	46
Cuadro 8. Promedio estacional de altura (cm) antes del corte de la alfalfa, con diferente frecuencia. Montecillo, México, 2007-2008.....	49
Cuadro 9. Promedio estacional de área foliar por tallo de alfalfa (cm ²), cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2007-2008.....	51
Cuadro 10. Resultados para la variable índice de área foliar en función de la frecuencia de corte y estación del año.....	52
Cuadro 11. Promedio estacional de radiación solar interceptada (%) en la alfalfa, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2007-2008.....	55
Cuadro 12. Peso promedio por tallo de alfalfa (g), cosechada a diferente frecuencia de corte. Montecillo, México, 2007-2008.....	57
Cuadro 13. Densidad de tallos de alfalfa (tallos m ²), cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2007-2008.....	59
Cuadro 14. Densidad de plantas de alfalfa (plantas m ²), cosechada a diferente frecuencia de corte. Montecillo, México, 2007-2008.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Participación en la superficie establecida de cultivos perennes 2007, en el Estado de México.....	6
Figura 2 Relación entre el rendimiento de forraje (Kg MS ha^{-1}) y la altura de la planta (cm). Montecillo, México, 2007-2008.....	50
Figura 3 Relación entre el índice de área foliar y la intercepción de luz en Montecillo, México, 2007- 2008.....	54
Figura 4 Relación entre la radiación interceptada (%) y el rendimiento de alfalfa (kg MS ha^{-1}). Montecillo, México, 2007-2008.....	56

1. INTRODUCCIÓN

La producción animal depende, principalmente, de la producción de forrajes, por lo que, es importante considerar que la capacidad de una especie para producir forraje representa el balance entre la tasa de crecimiento y la pérdida de tejido por senescencia y descomposición del mismo, que varía dependiendo de la estación del año. Por ello, el conocer los cambios estacionales en la velocidad de crecimiento de las diferentes especies forrajeras, permite determinar la frecuencia de cosecha con la cual se puede obtener el mayor rendimiento y más alta calidad posible de forraje (Rivas *et al.*, 2005).

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es uno de los cultivos forrajeros más importantes en México, debido a su alto rendimiento de materia seca, alto contenido de proteína y buena digestibilidad, además de ser una especie sumamente versátil, ya que puede ser utilizado en verde, con pastoreo o corte, pero también en forma de heno y ensilado, incluso puede mejorar las condiciones del suelo y ayudar a evitar la pérdida de éste (Lancefield *et al.*, 1998). Sin embargo, los elevados costos de producción representan un problema para los productores que utilizan esta especie como la principal fuente de alimento para el ganado, el problema 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, 2002).

Al respecto, Hernández-Garay y Martínez (1997) mencionan que la persistencia y rendimiento de una pradera depende de las prácticas de manejo, a las cuales es expuesta, lo que influye en la dinámica de crecimiento, es decir, en los cambios en población y tamaño de tallos, los cuales están estrechamente relacionados con la tasa de aparición, elongación y vida media de las hojas.

Es por ello que Pérez *et al.* (2002) han demostrado que es importante conocer la velocidad de rebrote entre defoliaciones sucesivas, para entender el efecto de la frecuencia y severidad de cosecha en el rendimiento. Anteriormente 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. No obstante, Mendoza (2008) encontró que con intervalos de cortes reducidos, disminuye el rendimiento y la persistencia de alfalfa. 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.

El objetivo de este estudio fue determinar la frecuencia de corte que permita obtener el mayor rendimiento de forraje y la mejor persistencia del cultivo de alfalfa. Para cumplir con el objetivo anterior se planteó como hipótesis que a mayor frecuencia de corte, se reduce la acumulación de materia seca, se incrementa la densidad de tallos y se disminuye el peso de los mismos, con un aumento en la relación hoja-tallo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción botánica y agronómica de alfalfa

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

La alfalfa es una planta perenne, de crecimiento erecto, tallo poco ramificado de 60 a 100 cm de altura; tiene hojas trifoliadas, con un pedicelo intermedio más largo que los laterales, folíolos ovalados, generalmente sin pubescencia, con márgenes lisos y bordes superiores ligeramente dentados (SAGARPA, 2008). 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 se cultiva en una amplia variedad de suelos y climas. Se adapta a altitudes comprendidas entre 700 y 2800 msnm y se adapta 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 (Hughes *et al.*, 1980; Muslera y Ratera, 1991). Pertenece a la familia de las Fabaceae y tiene un notable consumo de Ca y Mg que, de contenerlos el suelo en proporciones suficientes para satisfacer sus requerimientos, es necesario solamente el agregar fertilizantes fosfatados y potásicos (Juncafrasca, 1983).

La toxicidad por manganeso y aluminio, es una de las causas principales del escaso crecimiento de la alfalfa en suelos ácidos, afectando el desarrollo de las raíces. Existe, además, una interacción negativa entre el fósforo y el aluminio, que hace que disminuya la cantidad de fósforo disponible, cuando el contenido de aluminio libre en el suelo es alto (Del Pozo, 1983)). 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)

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

2.2. Importancia económica de la alfalfa en el Estado de México

La alfalfa frecuentemente ha sido llamada la reina de las plantas forrajeras y 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 (Del Pozo, 1983). A nivel nacional, los cultivos forrajeros con mayor participación son la avena forrajera con 763 mil has y con un valor económico de \$3, 448, 292. La alfalfa, prácticamente, participa en un segundo término con 377 mil has con valor económico de \$9, 400, 017 (SAGARPA, 2008). En México el cultivo de la alfalfa, se concentra 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). En el Estado de México, región del Bajío, Hidalgo y Querétaro, se ubica la mayor parte de las unidades de producción lechera que dependen mayormente de la alfalfa (SAGARPA, 2008).

Del comportamiento de la producción, la superficie sembrada de alfalfa, disminuyó del año de 1985 a 1991 y de éste, a 1997 aumentó ligeramente. En este mismo año los estados que tuvieron un crecimiento importante, respecto al año de 1985, fueron los estado de México, con una tasa de crecimiento del 281%, Coahuila con 59.2%, Durango con 54% y Aguascalientes con 53.8% (Mendoza *et al.*, 2000).

De acuerdo con SAGARPA (2008b) para el Estado de México, la participación en la superficie establecida de cultivos perennes para el año 2007, fue de 67.8% en pastos y

praderas, 12.7% de nopal (tuna), 8.9% de alfalfa, 2.6% de durazno y el 8% lo integran el resto de los cultivos (Figura 1).

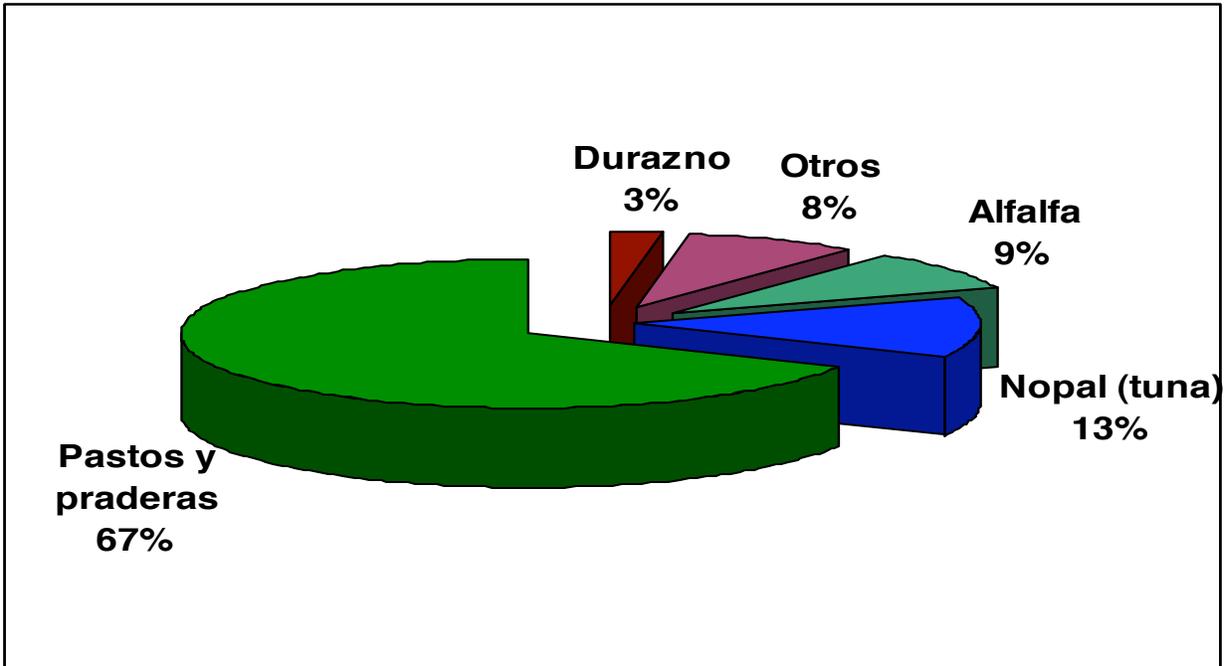


Figura. 1. Participación en la superficie establecida de cultivos perennes 2007, en el Estado de México.

Dentro del comportamiento de la producción de alfalfa en el Estado de México el distrito con mayor superficie es Zumpango con 8,194 hectáreas sembradas, equivalente al 81%, y en segundo lugar el Distrito de Desarrollo Rural (DDR) de Texcoco con 1,669 hectáreas, equivalentes al 17% y el resto (206 ha) lo representa otros distritos del Estado de México con un 2%. En lo que confiere al DDR de Texcoco, los cuatro Municipios que más contribuyen a la producción de alfalfa son: en primer lugar, el Municipio de Texcoco con 660 ha, seguido de Atenco con 212 ha y posteriormente Chiautla y Chalco con 165 ha para ambos, sumando un total de 1,202 ha, de las 1669 ha que se dedican a la siembra de alfalfa en el Distrito de Texcoco (Mendoza *et al.*, 2000; SAGARPA, 2008b).

La comercialización de alfalfa en el municipio de Texcoco, se realiza básicamente en dos formas: alfalfa verde y alfalfa achicalada. El análisis de costos para la producción de alfalfa en verde, con baja mecanización y sin fertilización tiene una relación beneficio-costos de 1.26 y de 1.30 cuando tiene una alta mecanización y fertilización; para ambos casos (con y sin mecanización y fertilización), se utiliza semilla mejorada y riego por gravedad en la mayor parte de las explotaciones (Mendoza *et al.*, 2000). Las variedades que más se utilizan en el Valle de México es San Miguelito, Valenciana, Moapa, CUF101, Júpiter, Oaxaca, Atlixco, INIA-76, Puebla-76, Tanhuate, entre otras, siendo algunos de los criterios de selección para la explotación, la persistencia de la alfalfa, su resistencia a plagas y enfermedades y el rendimiento de forraje por corte y anual (Perdomo, 2008).

2.3. Rendimiento 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 cultiva cada una de ellas. 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 y la forma de aprovechamiento de la pastura, ya sea corte o pastoreo (Salinas, 2005).

El rendimiento de materia seca 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 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).

El crecimiento de las plantas es definido como “un incremento irreversible en tamaño y en peso de tejido nuevo”, de tallos, hojas y raíces, a través del tiempo. El crecimiento es el aumento en la masa de la planta y es por tanto, un fenómeno cuantitativo susceptible de medirse y expresarlo como aumento de longitud o diámetro del cuerpo del vegetal y peso (Bidwell, 1979; Rojas, 1993) y es producto de diversas interacciones del clima con las especies vegetales, suelo y prácticas de manejo.

Por su parte, Jiménez y Martínez (1984); Horrocks y Vallentine (1999) mencionan que la variación de temperatura y humedad, afectan el crecimiento de las especies forrajeras. Sin embargo, 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. El mayor crecimiento, división y alargamiento celular, está restringido a la región meristemática y zonas adyacentes; las áreas meristemáticas comprenden los ápices de raíz y tallo, los meristemos del cambium en tallos y raíces y meristemos laterales e intercalares en las hojas en desarrollo (Bidwell, 1979).

El crecimiento y rendimiento de las plantas forrajeras, se evalúa por la cantidad de forraje, ya que es un índice de crecimiento de la planta total, por lo que se considera

de interés práctico, puesto que es la base de la producción animal (Jiménez y Martínez, 1984). Por su parte, Hernández-Garay *et al.* (1992) señalan una serie de índices de eficiencia del crecimiento vegetal, tales como la tasa de crecimiento del cultivo (g d^{-1}), que indica el incremento del material vegetal por unidad de tiempo; la tasa relativa de crecimiento ($\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$) que mide el aumento en material vegetal por unidad de material vegetal presente por unidad de tiempo; la primera variable representa la actividad fotosintética de la pradera y varía según el manejo y condiciones ambientales, de tal manera que es difícil predecir el crecimiento, particularmente a largo plazo (Hodgson *et al.*, 1981).

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

Por ello, las condiciones edafoclimáticas de un ambiente particular, determinan los patrones de crecimiento estacional de las especies forrajeras predominantes; en igualdad de condiciones de manejo, las diferencias en producción total y estacional, dependerán de la especie y de su interacción con los elementos clima, tales como la precipitación, tasa de evaporación, temperatura, viento, horas e intensidad luminosa (Hernández-Garay y Martínez, 1997). Diversos factores determinan la magnitud del

crecimiento de una pradera tales como: prácticas de fertilización, frecuencia y severidad de cosecha, crecimiento vegetativo y reproductivo de la planta, variedades utilizadas, tipo de suelo y clima (Tablada, 1998).

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

De acuerdo con Soto *et al.* (2004), en las leguminosas y en particular la alfalfa, al realizar prácticas agronómicas como inoculación, encalado y fertilización, se aumenta el rendimiento y se eleva el contenido de N y P en el follaje. Así también, López *et al.* (2000) consignan que el utilizar abonos orgánicos como fuente de nutrientes, ayudan a mejorar las propiedades físicas del suelo y por tanto se obtienen mayores rendimientos de materia seca.

Hernández-Garay y Martínez (1997) mencionan que la estacionalidad, en el desarrollo y producción de forraje de especies de interés en una determinada región, es un aspecto primordial para optimizar la interrelación suelo-planta-animal, ya que permite

detectar los tiempos de mayor y menor disponibilidad de forraje y, con ello, adoptar diferentes prácticas de manejo, con el propósito de maximizar la disponibilidad de forraje y, por tanto, la producción animal (Jiménez y Martínez, 1984).

De acuerdo con Hernández-Garay y Pérez (1998) en alfalfa variedad Moapa, observaron que la mayor acumulación de MS ocurrió durante el verano, a la cuarta semana de rebrote. Morales *et al.* (2006) al evaluar 14 variedades de alfalfa lograron una producción promedio de MS de $4.16 \text{ t ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$ y encontraron que la mayor producción coincidió con los meses más calurosos, debido a que la temperatura e intensidad de luz fueron mayores; en contraparte, la menor producción ocurrió en los meses más fríos. Dorantes (2000) observó que en la región de Texcoco, Estado de México, la alfalfa mostró un rendimiento de forraje más alto en mayo, debido a las temperaturas altas, que favorecieron una mayor acumulación de MS. Asimismo, Rivas *et al.* (2005) al evaluar cinco variedades de alfalfa encontraron que el mayor rendimiento de MS por corte fue en julio y agosto, con un promedio de $2.82 \text{ t de MS ha}^{-1}$ por corte. El rendimiento más alto coincidió, con una temperatura mínima promedio de $8 \text{ }^\circ\text{C}$ y máxima de $30 \text{ }^\circ\text{C}$ y precipitación superior a 80 mm . Estos autores reportaron el rendimiento estacional de MS, expresado como porcentaje del rendimiento de MS total ($31,132 \text{ kg de MS ha}^{-1}$), se presentó en el siguiente orden descendente: verano 31% < primavera 27% < otoño 22% < invierno 20% .

Villegas *et al.* (2004) registraron que en primavera, la alfalfa variedad Valenciana con 4.7 t MS ha^{-1} , alcanzó el máximo rendimiento a la sexta semana de rebrote. Lo anterior, en comparación con la variedad Oaxaca que tuvo la máxima acumulación de

MS hasta la séptima semana con 4.1 t MS ha⁻¹, en respuesta al registro de mayores temperaturas y horas luz, sin limitaciones de agua, lo que favoreció la velocidad de crecimiento de la alfalfa. Estos autores también encontraron que el rendimiento promedio anual presentó el siguiente orden descendente: Oaxaca > Tlacolula > Valenciana > Moapa con 21.6, 21.4, 20.0 y 20.1 t de MS ha⁻¹ respectivamente.

De igual forma Mendoza (2008) para la variedad San Miguelito, observó que la frecuencia de corte afectó significativamente el rendimiento, registrando los mayores valores para intervalos entre cortes de 7 semanas durante el otoño-invierno y 6 semanas para primavera-verano, teniendo un total anual de 29.6 ton de MS ha⁻¹.

2.4 Factores que afectan el rendimiento de MS

Los objetivos a perseguir al marcar un cierto ritmo de explotación deberían ser los siguientes: a) mantener un nivel de reservas en raíces y coronas elevado, permitiendo que se recuperen las plantas después del corte, b) obtener un máximo de producción de forraje y c) conseguir una calidad de forraje elevada (Muslera y Ratera, 1991; Duthill, 1989). Para poder lograr ello, es necesario considerar diversos factores que a continuación se mencionan.

2.4.1 Temperatura

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. Al iniciarse la elevación de la temperatura, las cuales son propias de primavera y verano. La alfalfa, especialmente algunas variedades, toleran, sin dificultad, temperaturas tan bajas como los 10 y 15 °C bajo cero. Con temperaturas medias anuales de alrededor de 15 °C, la producción es ya importante. El óptimo se sitúa, según las variedades, en el intervalo entre 18 y 28 °C (Del Pozo, 1983).

2.4.2 Agua

La alfalfa es considerada como planta resistente a la sequía. Naturalmente, la cantidad necesaria de agua para el debido desarrollo de la alfalfa depende de varias condiciones de clima (temperatura, humedad ambiental, viento etc.) y suelo (Espinoza y Ramos, 2001). En general, se considera que para producir un kg de MS por la planta de alfalfa se necesitan 700 a 800 kg de agua, mientras que los cereales de invierno (cebada y trigo) solamente precisan de 500 a 600, y el maíz y trigo de 300 a 350 kg (Del Pozo, 1983; Muslera y Ratera, 1991).

La limitación de agua restringe la producción de la alfalfa, pero no llega a frenar por completo su crecimiento; así también, la alfalfa es sensible a la inmersión, especialmente cuando se encuentra en periodo de crecimiento activo. Durante el invierno puede aún tolerar el encharcamiento por períodos reducidos (dos a tres días),

si el tiempo se prolonga o se encuentra el 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; Muslera y Ratera, 1991).

2.4.3 Fertilización

Espinoza y Ramos (2001) mencionan que el hecho de que la planta de alfalfa fije nitrógeno en el suelo, en ocasiones es un proceso mal interpretado y es común que se piense que si la alfalfa aumenta los elementos nutritivos del suelo, no precisa de ninguno de ellos, por lo que algunos productores no fertilizan o fertilizan escasamente (Duthill, 1983; López *et al.*, 2000). Las leguminosas como la alfalfa sólo necesitan un poco de nitrógeno en su etapa inicial hasta que se forman los nódulos de *Rhizobium*; en cambio, son importantes los aportes de fósforo y potasio en este periodo, llegando a requerir de 100 a 300 kg ha⁻¹ de fósforo, y de 100 a 500 kg ha⁻¹ de potasio y solo de 20 a 60 kg ha⁻¹ de nitrógeno (Rodríguez, 1989).

En alfalfa no es recomendable la aplicación de nitrógeno 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. Por el contrario, las aplicaciones nitrogenadas, 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: Potasio, Fósforo, Nitrógeno, Calcio, Magnesio, Azufre, Boro, Cobre, Zinc, Hierro y Magnesio. De estos elementos nutritivos los más requeridos en gran cantidad por la alfalfa y en orden de importancia son Fósforo, Potasio y Nitrógeno (Del Pozo, 1983; Rodríguez, 1989).

2.4.4 Factores edáficos

La alfalfa es una especie forrajera que se adapta a una gran variedad de suelos; sin embargo, prefiere los de textura media, profundos y con buen drenaje. Cuando el suelo no tiene estas características la planta no puede expresar su potencial de rendimiento (Salinas, 2005). En terrenos arcillosos, siempre existe el peligro de perder el cultivo durante la etapa de establecimiento, debido a la formación de costras sólidas que retienen la emergencia de las plántulas. Además, el suelo compactado bajo condiciones de extrema 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), deben considerarse tres factores del suelo, que son de gran importancia para el establecimiento y rendimiento de la alfalfa, los cuales son: a) acidez, b) salinidad y alcalinidad y c) profundidad del suelo y drenaje.

2.4.4.1 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 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 aluminio y manganeso, 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 calcio, por un lado, y el aluminio y manganeso, 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).

2.4.4.2 Salinidad y alcalinidad

La alfalfa es una planta cuyo valor óptimo de pH se sitúa en la zona de neutralidad, tolera mejor la alcalinidad que la acidez (Musiera y Ratera, 1991). Sin embargo, cuando la alcalinidad alcanza valores altos, la disponibilidad de ciertos elementos, tales como el fósforo, hierro, manganeso, boro y zinc, es reducida, llegando en algunos casos hasta límites inadecuados para la vida de la planta (Rodríguez, 1989).

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 una 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 las partes aéreas. El aumento de salinidad en el suelo produce disturbios en el equilibrio entre raíz y partes aéreas, y por ello, aquellas plantas con mayor desarrollo radical aparecen como más resistentes a la salinidad, ya que las raíces alcanzan niveles del suelo donde la salinidad no es ya tan extrema y resulta más tolerable (Del Pozo, 1983; Rojas, 1993).

2.4.4.3 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 los 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).

2.4.5 Plagas y enfermedades

La alfalfa es atacada 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 (*Verticillium 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 de 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).

2.4.6. Frecuencia e intensidad de cosecha

De acuerdo con Hughes *et al.* (1980) y Mendoza (2008), el realizar la cosecha con intervalos de corte muy reducidos provoca una disminución en las especies deseables, y una invasión por malezas. No obstante, Jiménez y Martínez (1984) mencionan que el ampliar el tiempo entre un corte y otro, ayuda a aumentar el rendimiento de materia seca por hectárea, pero con una reducción considerable en la calidad del mismo, referido a cantidad de proteína y digestibilidad de la materia seca. En base a ello, Hernández-Garay y Martínez (1997) consideran importante determinar la frecuencia de corte a través del año, debido a que el crecimiento de forraje es estacional, por lo que las tasas de crecimiento serán diferentes y por consiguiente afectan directamente el rendimiento de forraje.

La frecuencia e intensidad de cosecha de las plantas forrajeras, determinan el rendimiento de forraje por unidad de superficie y la contribución de cada especie en la pradera. Se entiende por frecuencia de cosecha al intervalo en tiempo entre un corte y el siguiente, o bien, el número de cortes realizados en una pradera en un período de tiempo determinado, generalmente, en una estación o durante todo el año (Jiménez y Martínez, 1984). Si una pradera es pastoreada o cortada con regímenes severos y frecuentes no se le da el tiempo suficiente para que la planta se recupere y por tanto, la densidad de plantas de las especies deseables disminuye rápidamente (Hughes *et al.*, 1980). Para el caso particular de alfalfa, Mendoza (2008) encontró que realizar la

cosecha con intervalos de corte de tres semanas, disminuye drásticamente la persistencia de ésta especie.

La altura de corte ó pastoreo se denomina severidad o intensidad de defoliación y es el grado o altura a la que ocurre la cosecha, o bien, es el porcentaje o cantidad de biomasa cosechada, con respecto a la cantidad de forraje total presente. La severidad de cosecha es de gran importancia para el crecimiento y persistencia de las especies forrajeras, porque afecta directamente las reservas de carbohidratos y el IAF remanente, indispensables para iniciar un nuevo rebrote (Jiménez y Martínez, 1984).

Después de la cosecha, el rebrote de las especies forrajeras ocurre por traslocación de carbohidratos de las raíces y base de tallos, a los meristemas aéreos remanentes; de esta manera, en algunas especies, los cortes severos reducen considerablemente la disponibilidad de carbohidratos, provocando que la tasa de rebrote sea lenta y que la pradera sea invadida por malezas (Muslera y Ratera, 1991; Hernández-Garay y Martínez, 1997).

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

Las cosechas muy frecuentes hacen desaparecer rápidamente las especies perennes y, generalmente, ocurre lo mismo en praderas cortadas a ras de suelo (Duthil, 1989). Por lo tanto, el rendimiento de forraje puede incrementarse, ya sea aumentando la cantidad de forraje por medio de diferentes técnicas agronómicas o al reducir las pérdidas de forraje en la pradera por muerte y descomposición, mediante diferentes estrategias de defoliación (Matthew *et al.*, 1999).

Por su parte Rivas *et al.* (2005) mencionan que la producción de forraje de alfalfa, en el Valle de México, se puede maximizar si se practican cortes cada cuatro semanas durante primavera-verano y cada cinco y seis semanas, en otoño e invierno, respectivamente.

2.5 Factores que afectan el rebrote

Según 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. De acuerdo con Del Pozo (1984) el rebrote está influenciado por gran número de factores, tales como climáticos, reservas de carbohidratos, hormonales, disponibilidad de nutrientes (principalmente nitrógeno), área foliar a partir de la cual se llevará a cabo la fotosíntesis y la competencia entre plantas y tallos.

La capacidad de rebrote de una planta, después de una defoliación, está determinada por numerosos factores fisiológicos, entre los que destacan las reservas de

carbohidratos presentes en la raíz y el área foliar remanente, así como los meristemos de crecimiento presentes, después de la cosecha. Ambos atributos están relacionados con la cantidad de hojas disponibles, a partir de las cuales tendrá lugar la fotosíntesis, para iniciar el almacenaje de energía. Esta función es usada como una medida de la cantidad de luz interceptada, la cual a su vez, dependerá de la distribución espacial de las hojas (Chapman y Lemaire, 1993).

2.5.1 Reserva de carbohidratos

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

De acuerdo con Del Pozo (1983) 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. Varios tipos de azúcares (almidón y fructosas) y otros hidratos de carbono, son almacenados en las raíces y base de los tallos. Estos glúcidos se almacenan cuando la fotosíntesis

sobrepasa a la respiración, que ocurre cuando existe una alta captación de energía luminosa. Así pues, posterior a una defoliación intensa, la respiración sobrepasa a la fotosíntesis y es cuando las plantas hacen uso de sus reservas de carbohidratos para su crecimiento.

Las reservas de carbohidratos y nitrógeno (N), en varias partes de la planta, han sido consideradas, tradicionalmente, una fuente importante de nutrimentos para el rebrote, después de una defoliación (Rojas, 1993). 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 CO₂ y del suministro de N (Skinner *et al.*, 1999).

El rebrote de las plantas forrajeras se ha atribuido, primariamente, a los carbohidratos no estructurales (Richards, 1993); sin embargo, se ha observado la movilización específica de componentes de N del tejido residual, después de la defoliación, a zonas de crecimiento en varias especies forrajeras (Volenec *et al.*, 1996). La cantidad de carbohidratos de reserva usados en el rebrote, depende de la severidad de la cosecha, la capacidad fotosintética de las hojas remanentes y las condiciones ambientales para la fotosíntesis durante el crecimiento.

2.5.2 Índice de área foliar

El índice de área foliar (IAF) se refiere a la superficie de las hojas presentes por unidad de área de suelo. A medida que el IAF aumenta, menor será la cantidad de la luz que pueda llegar al suelo y mayor será la tasa de crecimiento (Hodgson, 1990). Cuando prácticamente toda la luz incidente es interceptada, la tasa de crecimiento es máxima y el IAF es 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).

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

fisiológica de las plantas a la defoliación, los cuales son rápidamente movilizados y usados para nueva expansión de lámina foliar.

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

2.5.3 Meristemas de crecimiento

El rebrote rápido se debe a la presencia de regiones meristemáticas activas de los tallos, que permanecen en la planta después de una defoliación, lo cual acelera la expansión foliar (Briske, 1991). Los meristemas son regiones celulares de las plantas, formados por células que, perpetuamente, son embrionarias, pero cuya multiplicación y diferenciación se forma del resto de los tejidos. Se pueden distinguir entre meristemas primarios, de los que depende el crecimiento en longitud y meristemas secundarios, que producen engrosamiento de los tallos y raíces (Rojas, 1993). Sin embargo, la activación de las zonas meristemáticas está influenciada por el balance entre auxinas y citoquininas y, dependiendo del balance, se va a inducir la formación de hojas jóvenes, que son capaces de producir auxinas, necesarias para promover el desarrollo de nuevo tejido foliar y radicular (Bidwell, 1979).

La velocidad de rebrote, se considera una característica distintiva de las especies tolerantes a la defoliación; entre las características más importantes se consideran a los meristemas activos de tallos remanentes (Del Pozo, 1983; Richards, 1993). Si la cosecha se realiza muy cercana al suelo, las especies rastreras se favorecen en relación a las erectas, pero si la cosecha no es cercana al suelo son las especies erectas las que responden más rápido. Esto se ha atribuido a que, conforme van creciendo las plantas los puntos de crecimiento se alejan del suelo, lo que origina que la recuperación sea más favorecida por las reservas almacenadas, que por el área foliar, lo cual no sucede en pastos rastreros en los que es más difícil efectuar una cosecha, que implique dejar sin área foliar remanente a la pradera.

Lemaire (2001), señala que algunas especies forrajeras, conforme son expuestas a defoliaciones severas, desarrollan una morfología que les permite mantener área foliar verde por debajo de la altura de cosecha, por lo que de esta manera disminuye el impacto de defoliaciones posteriores y optimiza su dinámica de rebrote, que implica una modificación progresiva y reversible de sus rasgos morfológicos, es decir, desarrollan plasticidad fenotípica. 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.

En leguminosas como la alfalfa, en la que los meristemas apicales permanecen al alcance del corte o pastoreo, durante una gran parte del período vegetativo y estado reproductivo, como consecuencia de la elongación de sus tallos, el rebrote posterior a la defoliación, se produce desde las yemas de la corona y meristemas axilares de los tallos más bajos. Su activación requiere cierto tiempo, por lo que el rebrote es demorado, ya que la activación de las yemas de la corona, se maximiza cuando la planta está en estado reproductivo, situación que no se alcanza, normalmente, en condiciones de pastoreo (Del Pozo 1983; Baguet y Bavera, 2001).

2.6 Densidad de tallos

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

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).

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

Así, Azcon-Bieto y Talon (1993) consignan que el crecimiento de los tallos laterales está regulado por las auxinas y citoquininas; las auxinas se sintetizan en tejidos jóvenes, en el ápice del tallo o cerca de él y promueven el alargamiento celular, así como, la inhibición del crecimiento de las yemas laterales, mediante la movilización de reservas hacia los meristemas apicales, mientras que las citoquininas realizan una función antagónica, pues promueven la división celular, el crecimiento de los tallos

laterales y movilizan los nutrientes de las plantas, por lo que sugieren, que esta hormona puede ser la responsable del crecimiento de los tallos aunque, en altas concentraciones, se ha observado que no desencadena dicho proceso (Bidwell, 1979; Rojas, 1993).

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

Asimismo, la densidad de tallos también se puede manipular con el manejo en el campo; es decir, modificando la frecuencia e intensidad de defoliación se puede incrementar el número de tallos por unidad de área, así como reducir la muerte de los mismos, al controlar la acumulación de forraje (Hernández-Garay *et al.*, 1999). 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 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. Asimismo, Mendoza (2008), también en alfalfa registró que, independientemente de la frecuencia de corte, la mayor población de tallos ocurrió en el invierno y la menor para verano, teniendo además que en general, frecuencias de corte reducidas incrementaron la densidad de tallos pero con menor peso y viceversa.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El estudio se realizó de agosto del 2007 a agosto del 2008, en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México, ubicado a 19° 29' de LN y 98° 53' de LO, a una altura de 2240 msnm. El clima se clasifica como templado sub-húmedo, con verano fresco largo, lluvias en verano y una precipitación promedio anual de 645 mm, con un porcentaje de lluvia invernal menor al 5%; la temperatura media anual es de 15°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, y corresponde a una fórmula climática Cw (García, 1988).

3.2. Manejo de las parcelas

Se utilizó una pradera de alfalfa de 2 años de establecida, en la que se tenía sembrada la variedad San Miguelito. Se le programaron riegos por aspersión cada 20 días en la época de estiaje.

Durante el año previo al inicio del estudio, se condujo una investigación en la cual se evaluaron las siguientes frecuencias de corte: 3, 4, 5 y 6 semanas para primavera – verano y 4, 5, 6 y 7 semanas para otoño - invierno. Dado que el tratamiento con el menor intervalo entre cortes tendió a perder persistencia, ya que las praderas presentaban la menor densidad de plantas y tallos m^{-2} (Cuadro 1), se decidió cambiar la frecuencia de corte de 3 a 7 semanas durante otoño-invierno y regresar a 3 semanas para las estaciones de primavera-verano, con la finalidad de observar la capacidad de recuperación de la alfalfa cuando es sometida a un manejo muy intenso.

Cuadro 1. Densidad de plantas y de tallos de alfalfa por m^2 previo al inicio del experimento.

Frecuencia de cortes (Semanas)	Densidad de plantas (Número de plantas m^{-2})	Densidad de tallos (tallos m^{-2})
3-4	7	180
4-5	13	627
5-6	14	592
6-7	9	276

Previo a comenzar el trabajo de campo se dió un corte de homogenización y deshierbe de manera manual el 10 de septiembre del 2007 con la finalidad de iniciar la investigación en un mismo tiempo para los diferentes frecuencias, aunado a este corte, se realizó un muestreo inicial en donde se estimó el rendimiento de las praderas, la composición botánica y morfológica. El corte del forraje se realizó por la mañana, al término del cual, se juntaba el forraje y sacaba de las praderas, en donde se ponía a secar y se ofrecía para la alimentación de los animales en la granja.

El estudio contempló las cuatro estaciones del año (otoño, invierno, primavera y verano), dando inicio el 25 de septiembre del 2007 con el otoño y llegó a su fin el 23 de septiembre del 2008 al final del verano. La cosecha se realizó con una máquina podadora marca Gravelin a una altura de 5 cm del suelo.

3.3. Tratamientos y diseño experimental

En el presente experimento se evaluaron cuatro diferentes tratamientos, correspondientes a cuatro frecuencias de corte de 3, 4, 5 y 6 semanas durante las estaciones de primavera – verano y de 7, 6, 5 y 4 semanas para otoño – invierno (Cuadro 2). El diseño experimental fue completamente al azar, con 4 repeticiones, en donde cada parcela tuvo un área de 9 X 7m (63 m²).

Cuadro 2. Representación esquemática de los tratamientos en campo.

Otoño-invierno= 5 semanas Primavera-verano= 5 semanas	Otoño-invierno= 7 semanas Primavera-verano= 3 semanas	Otoño-invierno= 6 semanas Primavera-verano= 4 semanas	Otoño-invierno= 4 semanas Primavera-verano= 6 semanas
Otoño-invierno= 6 semanas Primavera-verano= 4 semanas	Otoño-invierno= 4 semanas Primavera-verano= 6 semanas	Otoño-invierno= 5 semanas Primavera-verano= 5 semanas	Otoño-invierno= 7 semanas Primavera-verano= 3 semanas
Otoño-invierno= 4 semanas Primavera-verano= 6 semanas	Otoño-invierno= 5 semanas Primavera-verano= 5 semanas	Otoño-invierno= 7 semanas Primavera-verano= 3 semanas	Otoño-invierno= 6 semanas Primavera-verano= 4 semanas
Otoño-invierno= 7 semanas Primavera-verano= 3 semanas	Otoño-invierno= 6 semanas Primavera-verano= 4 semanas	Otoño-invierno= 4 semanas Primavera-verano= 6 semanas	Otoño-invierno= 5 semanas Primavera-verano= 5 semanas

3.4. Variables evaluadas

3.4.1. Rendimiento de forraje

Para determinar la acumulación de forraje, se utilizaron dos cuadros fijos de 0.25 m² (50 x 50 cm) por repetición, colocados al azar al inicio del experimento; se cortó el forraje presente en cada cuadro a una altura de 5 cm y se depositó en bolsas de papel previamente identificadas. Posteriormente, se pesaron las muestras en fresco y se registró el peso verde y secaron en una estufa de aire forzado a una temperatura de 55 °C durante 72 h, al término de las cuales se pesaron y registraron los pesos secos para estimar el rendimiento en materia seca.

3.4.2. Tasa de crecimiento del forraje

Para su cálculo se utilizaron los datos de peso seco de cada corte y se convirtieron a rendimiento por hectárea y conociendo el intervalo entre cortes, se calculó la tasa de crecimiento con la siguiente fórmula:

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

Donde:

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

FC = Forraje cosechado (kg MS ha⁻¹).

T = Días transcurridos entre un corte y el siguiente.

3.4.3. Composición botánica y morfológica

Para el caso de la composición botánica, los muestreos se realizaron a la mitad de cada estación, así los valores obtenidos reflejan los cambios en la población de las diferentes especies presentes en la pradera, de igual forma, proporciona información de los cambios que se reflejan en la composición del rendimiento de materia seca obtenido en cada estación del año y en el rendimiento anual acumulado. De las dos muestras de forraje cosechado para determinar el rendimiento, se tomó una submuestra de cada una. El contenido de esta submuestra se separó en alfalfa y malezas para así determinar la composición botánica. La alfalfa se separó en sus componentes, hojas, tallos, material muerto y flor, para determinar la composición morfológica. Cada componente por separado, se secó en una estufa de aire forzado, a una temperatura de 55 °C por 72 h y se determinó su peso seco.

3.4.4. Relación hoja:tallo

Se utilizaron submuestras de las muestras obtenidas para rendimiento de forraje. Se separaron en los componentes morfológicos (hojas y tallos), se secaron y se pesaron para posteriormente estimar el porcentaje de hoja y tallo en la muestra. La relación hoja:tallo se determinó al dividir el rendimiento de hoja entre el de tallo.

3.4.5. Altura de la planta

La altura de las plantas de alfalfa se midió al tomar 10 lecturas al azar en cada repetición, un día antes de cada corte. Para ello, se utilizó una regla graduada de 100 cm de longitud, la cual se colocó al azar en las parcelas, de forma que la parte inferior de la regla graduada (0 cm) quedara al nivel de suelo. Posteriormente, un dispositivo con el que cuenta la regla, se colocaba de manera vertical arriba del dosel vegetal y se deslizó hacia abajo, hasta que éste toco algún componente morfológico y se registró la altura. Adicionalmente se tomo una lectura, dentro de cada cuadro fijo, por repetición y con esos datos y los de rendimiento por cuadro, se obtuvo la ecuación de regresión para estimar rendimiento a partir de la altura de la planta.

3.4.6. Índice de área foliar

Para estas lecturas se utilizaron 5 tallos de cada repetición, de cada tratamiento. Se separaron las hojas y se colocaron en un integrador de área foliar marca CID, Inc, modelo CI-202 de escáner, de donde se obtuvieron las lecturas en dm^2 por planta. Estas lecturas en conjunto con el número de tallos por planta y el número de plantas

por metro cuadrado permitieron estimar el Índice de Área Foliar por medio de la siguiente fórmula:

$$IAF = \frac{AFP * DT}{AP}$$

Donde:

IAF= Índice de área foliar

AFP= Área foliar por tallo (dm²)

DT = Densidad de tallos m²

AP= Área de la población (m²)

3.4.7. Radiación interceptada

Para esta variable se utilizó un sensor lineal de quantums, el cual se colocaba de manera horizontal arriba del dosel vegetal, antes de cada corte, con orientación de oriente a poniente y se registraba la incidencia de luz arriba del dosel, lo que se consideró como 100% de incidencia de luz, después, se colocaba debajo del dosel en la misma orientación y se registraba la incidencia de luz. Esta medición se consideraba la luz no interceptada, de tal manera que para obtener el porcentaje de intercepción de luz se utilizó la siguiente fórmula:

$$RI=(100-((LNI/IL)*100))$$

Donde:

RI=% de luz interceptada

LNI= Radiación bajo el dosel

IL= Radiación sobre el dosel

3.4.8. Peso por tallo

Para determinar el peso por tallo, un día antes de cada corte, se cosecharon aleatoriamente 10 tallos a ras de suelo en cada repetición, se separaron en hoja, tallo e inflorescencia; una vez separados los componentes se metieron a la estufa de aire forzado y se secaron durante 72 h a 55 °C, al término de este tiempo se registraba el peso seco de cada componente. El peso por tallo se obtuvo al sumar cada uno de los componentes y dividirlo entre 10.

3.4.9. Densidad de tallos

Antes de iniciar el experimento se fijó un cuadro a ras de suelo de 0.2 m² de área en cada repetición de cada tratamiento, en donde se contaron mensualmente los tallos presentes y registraron los cambios que se manifestaban en la densidad de población.

3.4.10. Densidad de plantas

Al inicio del experimento se fijó un área de 1 m² en cada frecuencia de corte de cada repetición, en donde de manera mensual, se contabilizó el número de plantas de alfalfa presentes y se registraron los cambios en la población durante la duración del experimento.

3.5. Análisis estadístico

Para comparar el efecto de las frecuencias de corte, se realizó un análisis de varianza con el procedimiento PROC MIXED (SAS, Versión 9), con un diseño completamente al azar y cuatro repeticiones. La comparación de medias se efectuó mediante la prueba de Tukey ajustada ($\alpha= 0.05$) según Steel y Torrie (1988). Para ello se utilizó el siguiente modelo estadístico:

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

Donde:

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

μ = Media general

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

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

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

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

E_{ij} = Error experimental

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento de forraje

El rendimiento anual acumulado de forraje y estacional, varió por efecto de la frecuencia de corte (Cuadro 3). El mayor rendimiento acumulado de forraje ($P<0.05$) se registró en la frecuencia de corte de cada 4 semanas en otoño-invierno y 6 semanas en primavera-verano, con $23,494 \text{ kg MS ha}^{-1}$. De éste rendimiento, se

presentó el siguiente orden descendente: primavera 49% > verano 36% > invierno 8% > otoño 7%. El menor rendimiento anual acumulado de MS se registró en la frecuencia de 7 y 3 semanas, durante otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente, con 4,406 kg MS ha⁻¹, con el siguiente orden descendente: 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. Al respecto Duthil (1989), señala que los cortes o pastoreos muy frecuentes, hacen desaparecer rápidamente las especies perennes, por agotamiento de sus reservas de carbohidratos.

Mendoza (2008) registró el mayor rendimiento de forraje en alfalfa variedad san miguelito, cuando se cosechó cada 7 semanas en otoño-invierno y 6 semanas en primavera-verano, con 29,674 kg MS ha⁻¹, presentando el siguiente orden descendente: primavera 32% > otoño 27% > invierno 23% > verano 18%. El menor rendimiento anual acumulado de MS lo observo en la frecuencia de 4 y 3 semanas, durante otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente, con 22, 252 kg MS ha⁻¹, con el siguiente orden descendente: otoño 42% > primavera 31% > invierno 15% > verano 12%. Mientras que Villegas *et al.* (2004) cuando cosecharon la alfalfa cada 7 semanas en otoño-invierno y 5 semanas en primavera-verano registraron rendimientos acumulados anuales inferiores al del presente estudio con el siguiente

orden descendente en las variedades Oaxaca, Tlacolula, Valenciana y Moapa con 21.6, 21.4, 20.0 y 20.1 t de MS ha⁻¹, respectivamente.

Cuadro 3. Rendimiento anual y estacional de alfalfa (kg MS ha⁻¹) cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2007-2008.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Total Acumulado
7-3	914 c C	680 c D	1,601 c A	1,211 c B	4,406 d
6-4	2,760 a C	2,510 a C	4,269 b B	6,029 b A	15, 569 c
5-5	3,068 a C	1,765 b D	4,981 b B	7,063 b A	16, 878 b
4-6	1,686 b C	1,967 b C	11,496 a A	8,343 a B	23, 494 a

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

abcd = Medias con la misma literal minúscula en una misma columna, no son diferentes (P>0.05).

ABCD= Medias con la misma literal mayúscula en una misma hilera, no son diferentes (P>0.05).

Independientemente de la frecuencia de corte, el menores rendimientos se registró en invierno, probablemente como consecuencia de bajas temperaturas y presencia de heladas en esta época; así también el mayor rendimiento se obtuvo cuando la temperatura estuvo por arriba de los 15 °C (primavera-verano) que favoreció el crecimiento de la alfalfa. Al respecto, Muslera y Ratera (1991), indican que la temperatura óptima de crecimiento de la alfalfa, fluctúa entre 15 y 25 °C durante el día y de 10 a 20 °C en la noche.

Rivas *et al.* (2005) señalan que la producción de forraje de alfalfa, en el Valle de México, se puede maximizar si se practican regímenes de corte, de acuerdo a la estación del año, esto es, cortes cada 4 semanas durante el verano y cada 5 y 6 semanas, en otoño e invierno, respectivamente.

Otro aspecto importante del rendimiento es su composición botánica; para tal efecto, se muestra en el cuadro 4 los diferentes porcentajes de malezas presentes en las en las diferentes estaciones del año.

Cuadro 4. Porcentaje de malezas dentro del rendimiento de forraje en praderas de alfalfa, en Montecillo, México, 2007-2008.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
7-3	37aD	47aC	55aB	74aA
6-4	28bB	36cC	44bB	57cA
5-5	25bC	38cB	39cB	46dA
4-6	26bD	41aC	56aB	64bA

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

abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma columna, no son diferentes ($P>0.05$).

ABCD= con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($P>0.05$).

En general se observó que conforme transcurrieron las estaciones del año, la contribución de las malezas al rendimiento se incremento, siendo más importante en la frecuencia de 7 y 3 semanas (Cuadro 4). Al inicio del estudio (otoño), en todas las frecuencias, se presento un porcentaje de malezas superior al 25 %, con 37 % en la frecuencia de 7 semanas ($P< 0.05$). Al final del periodo experimental (verano), el porcentaje de malezas presento el siguiente orden descendente verano > primavera > invierno > otoño. Dentro de cada frecuencia se observaron diferencias significativas, entre estaciones ($P <0.05$), siendo las estaciones de otoño y verano las que registraron el menor y mayor porcentaje de malezas.

A lo largo del experimento se pudo observar que la frecuencia de 5 semanas de descanso, es la que se mantuvo más estable en cuanto a la composición botánica del rendimiento, al contrario de las frecuencias de 3 y 6 semanas de reposo en donde la invasión de malezas fue más marcado (74 y 62%, respectivamente); en la frecuencia de corte de 3 semanas posiblemente debido a la falta de reposo de las praderas y asociado con la velocidad de crecimiento de las malezas, trajo como consecuencia la pérdida de las praderas.

La gran contribución de las malezas al rendimiento, se ve reflejado en el rendimiento de alfalfa en la pradera (Cuadro 5), en donde la frecuencia con el mayor periodo de reposo muestra el mayor rendimiento de alfalfa sin observar diferencias significativas ($P>0.05$) con el tratamiento de 5 semanas de descanso.

Cuadro 5. Rendimiento de alfalfa (kg de MS/ ha) en Montecillo, México, 2007-2008.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Rendimiento anual acumulado
7-3	288cA	92bC	144dB	105dB	1979c
6-4	994bA	536aC	797cB	864cB	8577b
5-5	1151aB	547aC	1013bB	1907aA	10248 ^a
4-6	1248aC	502aD	1680aA	1493bB	10275 ^a

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

abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma columna, no son diferentes ($P>0.05$).

ABCD= con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($P>0.05$).

No obstante que se amplió el periodo de reposo a 7 semanas en las estaciones de otoño-invierno, las parcelas manejadas con este régimen de corte no se pudieron reponer de la defoliación frecuente (3 y 4 semanas) que sufrieron durante el año anterior al experimento. Al cambiar a 3 semanas de reposo en la estación de primavera-verano se produjo la menor cantidad de forraje de alfalfa, y se relaciona directamente con la invasión de malezas (Cuadro 5) y a la pérdida de plantas en dicha frecuencia de corte.

4.2. Tasa de crecimiento del forraje

La tasa de crecimiento (TC) estacional de alfalfa cosechada a diferente frecuencia de corte se presenta en el Cuadro 5. Independientemente de la frecuencia de corte, los menores valores en TC se registraron en el invierno ($P < 0.05$), con 6 y 23 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, para la frecuencia entre cortes de 7 y 4 semanas, respectivamente. Mendoza (2008), observó una tendencia similar en invierno, como resultado probable de temperaturas bajas y el mayor número de heladas ocurridas durante el año. A través del año y sin considerar la frecuencia de corte, se observa que las mayores TC se registraron en primavera; teniendo el menor valor ($P < 0.05$) para la frecuencia de corte de 3 semanas con 15 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ y el mayor con 91 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ para una frecuencia de corte de 6 semanas. Estos resultados se relacionan a que durante estos meses del año se presentan temperaturas superiores a los 15 °C, mismas que favorecen el crecimiento de esta especie y por tanto, mayor acumulación de forraje. Independientemente de la estación del año, en general, la TC se incrementó ($P < 0.05$) conforme aumento el intervalo entre cortes, con excepción de otoño. Durante el otoño,

solo existió diferencia significativa para la frecuencia de corte de 7 semanas con respecto a las demás frecuencias de corte.

Cuadro 6. Tasa de crecimiento promedio estacional (kg MS ha⁻¹ d⁻¹) de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2007-2008.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
7-3	16 b B	6 b C	15 c B	19 c A
6-4	35 a C	21 a B	44 b B	63 b A
5-5	36 a C	21 a D	47 b B	99 a A
4-6	39 a B	23 a C	91 a A	100 a A

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

abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma columna, no son diferentes (P>0.05).

ABCD= con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes (P>0.05).

Las tasas de crecimiento más altas se observaron cuando la alfalfa se cosechó a intervalos de corte de 4 y 6 semanas para otoño-invierno y primavera- verano, respectivamente; estos resultados coinciden con la mayor acumulación de forraje. Al respecto, Rivas *et al.* (2005) registraron las mayores tasas de crecimiento de alfalfa variedad san miguel en primavera verano y las menores durante el invierno. Similares resultados fueron reportados por otros autores (Velasco *et al.*, 2001 y 2002; Villegas *et al.*, 2004) quienes señalan que de las diferentes especies forrajeras deben ser manejadas estacionalmente y que las frecuencias de defoliación deben ser establecidas con base en los patrones estacionales de crecimiento, a fin de obtener la máxima producción de forraje por unidad de superficie. Al respecto, Villegas *et al.* (2004) al realizar un análisis de crecimiento de la alfalfa observaron que, en el estado de Oaxaca, la alfalfa debe cosecharse a las 4 semanas en las estaciones de primavera

y verano para obtener los mayores rendimientos de MS, cada 5 semanas en otoño y cada 6 semanas en invierno.

4.3. Relación hoja:tallo

La relación hoja:tallo se muestra en el Cuadro 7. Independientemente de la estación del año, no existen diferencias significativas ($P>0.05$) entre frecuencias de corte de 6-4 semanas con respecto a frecuencias de corte de 5-5 para otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente.

Cuadro 7. Promedio estacional de relación hoja:tallo de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2007-2008

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
7-3	1.19 aB	1.80 aA	0.95 aC	0.95 aC
6-4	0.99 bA	0.95 bA	0.98 aA	1.03 aA
5-5	0.94 bA	0.98 bA	1.01 aA	0.93 aA
4-6	0.90 bA	0.90 bA	0.80 bB	0.75 bC

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

abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma columna, no son diferentes ($P>0.05$).

ABCD= con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($P>0.05$).

La menor relación hoja:tallo se registró ($P<0.05$) cuando la alfalfa se cosechó cada 4 semanas en otoño-invierno y 6 para primavera-verano y la mayor con 7 y 3 semanas para otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente. Por ello, para una óptima cosecha debe existir un balance entre la calidad y la cantidad de forraje, ya que para este caso los menores rendimientos de forraje coinciden con la mayor aportación de

hoja y, a su vez, cuando aumenta el intervalo entre cortes disminuye la calidad, al aumentar la cantidad de tallo, pero con un incremento en el rendimiento de forraje.

Al respecto, Mendoza (2008) registró que conforme se reduce la frecuencia de corte la relación hoja:tallo tiende a disminuir ($P < 0.05$) encontrando que el mayor valor ocurrió en invierno de corte de 4 semanas, con 1.86 y el menor valor de 0.60 con la frecuencia de 6 semanas en verano. Con base en lo anterior, Jiménez y Martínez (1984) consignan que la calidad del forraje disminuye, con intervalos largos entre corte, como consecuencia de una reducción en la relación hoja:tallo. Por otra parte, Villegas *et al.* (2006) registraron la mayor relación hoja:tallo en otoño (1.29) y la menor (0.72) en primavera y con un promedio anual de 1.33 para la variedad Valenciana, cuando la alfalfa fue cosechada cada 5 y 7 semanas durante primavera-verano y otoño-invierno, respectivamente.

4.4. Altura de la planta

En general, se observa que existió un aumento progresivo en la altura de las plantas (Cuadro 8) cuando la alfalfa fue cortada cada 7 y 3 semanas en otoño-invierno y primavera-verano (promedio anual de 24.5 cm), respectivamente con relación a intervalos de corte de 7 semanas en otoño-invierno y 6 para primavera-verano (promedio anual de 48.8 cm). Al respecto, Mendoza (2008) reportó un promedio anual en altura de 30 cuando la alfalfa se cosechó cada 4 y 3 semanas y un promedio anual de 61 cm con intervalos de corte de 7 y 6 semanas para otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente. Al respecto, Salas (1998) encontró una altura máxima en verano de 53.9 cm, para la variedad CUF-101 y de 47.3 cm en la variedad Valenciana,

cosechadas a 7 semanas de rebrote. En este aspecto, Hernández-Garay *et al.* (1992) reportaron una altura de 58 cm con cortes espaciados cada ocho semanas y de 40 cm en cortes efectuados cada cuatro o seis semanas. De acuerdo con Muslera y Ratera (1991) el rendimiento de materia seca y el aumento en altura, se incrementan cuando se alarga el intervalo entre cortes, a más de cinco semanas.

Independientemente de la frecuencia de corte los menores valores se registraron en invierno con un promedio de 24.2 cm y los mayores en verano con un promedio de 47.2 cm. Probablemente estos resultados se debieron a que durante el invierno se presentaron temperaturas por debajo de los 10 °C y heladas que detuvieron el crecimiento, mientras que para los meses de verano se registraron temperaturas superiores a los 15 °C, favoreciendo así, su crecimiento y altura de la planta. La tendencia en altura para las frecuencias de corte fue en orden descendente, de la siguiente forma: verano > primavera > otoño > invierno. La mayor altura ($P < 0.05$) fue de 61 cm en verano con 6 semanas entre cortes y la menor (17 cm) en invierno con frecuencia de 3 semanas.

Al analizar la altura en las frecuencias de corte, se observa que no existió efecto ($P > 0.05$) cuando la alfalfa fue cosechada cada 6 y 4 semanas con respecto a frecuencias de 5 y 5 semanas para otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente.

Cuadro 8. Promedio estacional de altura (cm) antes del corte de la alfalfa, con diferente frecuencia. Montecillo, México, 2007-2008.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
7-3	24 cB	17 cC	25 cB	32 cA
6-4	30 bB	23 bC	40 bA	47 bA
5-5	33 bB	26 bC	43 bA	49 bA
4-6	47 aC	31 aD	56 aB	61 aA

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

abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma columna, no son diferentes ($P>0.05$).

ABCD= con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($P>0.05$).

En la Figura 2 se observa la relación que existe entre la altura y el rendimiento de materia seca ($R^2=0.855$), en la cual se aprecia que conforme aumenta la altura se incrementa el rendimiento de alfalfa. Esto indica que para lograr una mayor altura y rendimiento, es necesario incrementar el intervalo entre cortes. Para este estudio, la mayor altura fue de 61 cm en verano, cuando la alfalfa fue cosechada cada 6 semanas en primavera-verano, dato que coincide con el mayor rendimiento acumulado.

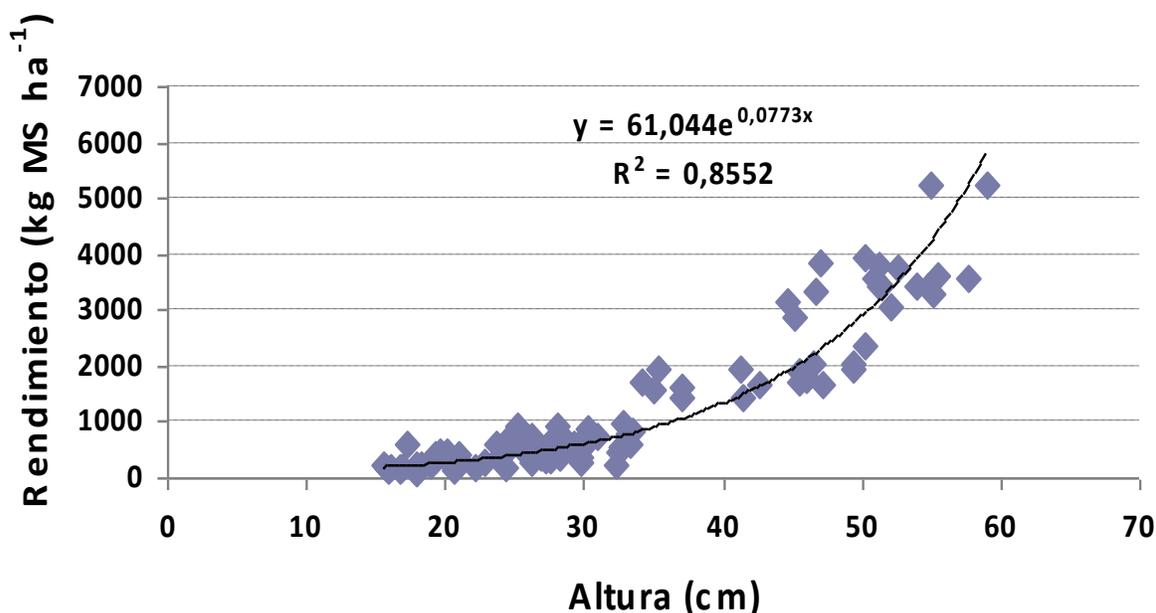


Figura 2. Relación entre el rendimiento de forraje (Kg MS ha⁻¹) y la altura de la planta (cm). Montecillo, México, 2007-2008.

4.5. Área foliar por tallo

El Cuadro 9 presenta el área foliar (AF) por tallo de alfalfa, cosechada a diferente frecuencia de corte. Independiente de la frecuencia de defoliación, la mayor AF ($P < 0.05$) se observó en verano y la menor en invierno, lo cual coincide con el patrón obtenido en altura y rendimiento. El menor valor en AF por tallo, fue de 25 cm² en invierno, cosechando a 7 semanas y el mayor (76 cm²) en verano, con cortes cada 6 semanas. Hernández-Garay *et al.* (1992) obtuvieron mayor AF en alfalfa, al cortar cada 6 y 8 semanas, mientras que el corte frecuente afectó la capacidad de rebrote, la altura y área foliar de la alfalfa, disminuyó el rendimiento y, por tanto, se esperaba una menor persistencia del cultivo. Sin embargo, Zaragoza (2004) en una asociación alfalfa pasto ovillo, encontró que los mayores valores de AF de alfalfa, se obtuvieron en verano (julio-septiembre) y octubre (193 y 184 cm² tallo⁻¹, respectivamente), que coincidieron

con los rendimientos más elevados de forraje. Por otra parte, Mendoza (2008) reportó un área foliar de 105 cm² tallo⁻¹ cuando la alfalfa fue cosechada cada 5 semanas en verano, mientras que tan solo un 17 cm² tallo⁻¹ en invierno y con intervalos de corte de 4 semanas. Horrocks y Vallentine (1999) mencionan que a medida que el área foliar aumenta, será mayor la cantidad de luz interceptada y más alta la tasa de crecimiento.

La tendencia del AF por tallo en las diferentes frecuencias de corte fue en orden descendente, de la siguiente forma: verano > primavera > otoño > invierno. Los menores valores se registraron con frecuencias de corte de 7 semanas para otoño-invierno y 3 para primavera-verano, con un promedio anual de 33 cm² tallo⁻¹, mientras que los mayores valores (66 cm² tallo⁻¹) se observaron cuando la alfalfa se cosechó cada 4 y 6 semanas para otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente, teniendo una diferencia entre ambos valores del 50%.

Cuadro 9. Promedio estacional de área foliar por tallo de alfalfa (cm²), cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2007-2008.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
7-3	32 cB	25 cC	35 cB	41 cA
6-4	28 dD	33 bC	39 cB	46 cA
5-5	47 bC	57 aB	63 bA	65 bA
4-6	59 aB	55 aB	72 aA	76 aA

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

abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma columna, no son diferentes (P>0.05).

ABCD= con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes (P>0.05).

Con base en lo anterior, podemos observar el comportamiento del índice de área foliar

(IAF) para cada frecuencia en las diferentes estaciones del año (Cuadro 10).

Para esta variable encontramos que existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos, en donde la frecuencia de corte de 5 semanas con 1.9 presentó el mayor IAF, seguido por la frecuencia de 4 semanas con 1.35, frecuencia de 6 semanas con 1.12 y el tratamiento de mayor frecuencia de corte 3 semanas con el menor valor 0.435.

Cuadro 10. Promedio estacional del índice de área foliar en función de la frecuencia de corte y estación del año.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
7-3	0.76c B	0.85b A	0.25c C	0.10c D
6-4	1.11b D	1.36a B	1.20b C	1.64b A
5-5	1.48a B	1.35a C	2.53a A	2.44a A
4-6	0.77c B	0.62c B	1.45b A	1.32b A

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

abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma columna, no son diferentes ($P > 0.05$).

ABCD= con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($P > 0.05$).

Así mismo, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la interacción tratamiento estación del año, en donde el mayor IAF se alcanzó en primavera al cosechar cada 5 semanas (2.53) y el menor se obtuvo en la estación de verano en el intervalo entre cortes de 3 semanas (0.1991). Esto se debió a que en este tratamiento las plantas de alfalfa casi habían desaparecido de la parcela.

En la figura 3 se puede observar la relación que existe entre el IAF y la interceptación de luz. En general se aprecia que a mayor IAF se incrementa la interceptación de luz en las

plantas de alfalfa; sin embargo, la intercepción de luz se incrementa rápidamente hasta un IAF de uno, a partir del cual, las plantas ya no absorben con la misma eficiencia la luz, posiblemente a causa de la pérdida de tallos por planta y plantas en la pradera, lo que ocasionó también, que no se llegara a obtener el 100% de intercepción de luz.

Esta baja relación puede explicar, en parte, la baja productividad de la pradera. Al respecto Pérez *et al.* (2004), mencionan que el área foliar es una de las principales variables que afectan el crecimiento por favorecer cambios en la actividad fotosintética. En este sentido, el contenido de N en las plantas disminuye con el crecimiento y presenta una alta correlación con la producción de materia seca. Así mismo, menciona que el AF varía con la intensidad lumínica y la época del año, las especies más demandantes de luz presentan una mayor AF, además de elevadas concentraciones de N en las hojas.

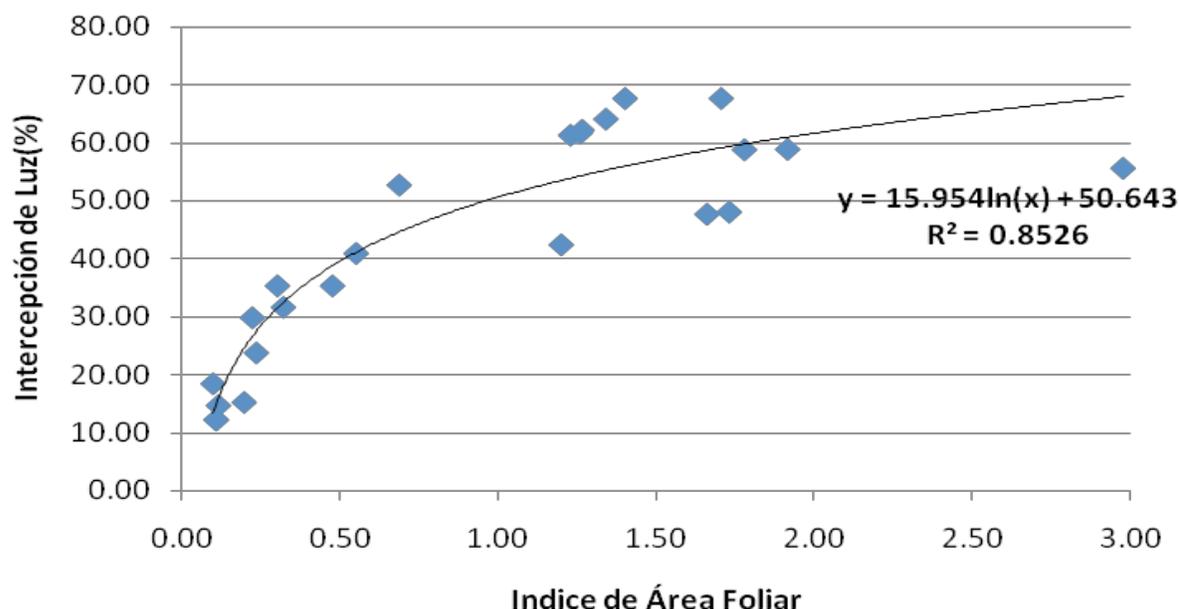


Figura 3. Relación entre el índice de área foliar y la intercepción de luz en Montecillo, México, 2007- 2008.

4.6. Radiación interceptada

La radiación interceptada se presenta en el Cuadro 11. La RI más alta se encontró cuando la alfalfa se cosechó cada 4 semanas en otoño-invierno y cada 6 semanas en primavera-verano, con un promedio anual de 58 % de RI. Los valores de RI más bajos ocurrieron (promedio anual de 34%) cuando la frecuencia de corte fue de 7 semanas durante otoño-invierno y de 3 semanas en primavera-verano; en ésta frecuencia de corte, se observa una reducción en la RI a partir de la primavera, lo cual puede deberse a una disminución en el rendimiento, provocando la existencia de mayores espacios vacíos entre plantas que permitieron mayor llegada de la luz al suelo.

En general, se observa que entre las frecuencias de corte de 6–5 en otoño-invierno y 4-5 durante primavera-verano, no existieron diferencias significativas ($P > 0.05$). La

mayor RI se presentó en verano, al cortar cada 6 semanas con 96%. Al respecto, Baguet y Babera (2001), consignan que a medida que el AF aumenta, menor será la cantidad de luz que llegue al suelo y mayor será la tasa de crecimiento de las plantas.

Cuadro 11. Promedio estacional de radiación solar interceptada (%) en la alfalfa, cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2007-2008.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
7-3	49 bA	43 bA	27 cB	15 cC
6-4	75 aA	45 aD	58 bC	66 bB
5-5	75 aA	54 aC	66 aB	72 bA
4-6	32 cC	38 cC	69 aB	96 aA

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

abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma columna, no son diferentes ($P>0.05$).

ABCD= con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($P>0.05$).

En general, se observa que a medida que se incrementó la frecuencia de corte, existe una menor RI (Figura 4) y en consecuencia menor rendimiento ($R^2=0.80$), debido a que la luz se perdía más en el suelo, por una menor cantidad de tallos por planta y plantas por unidad de superficie.

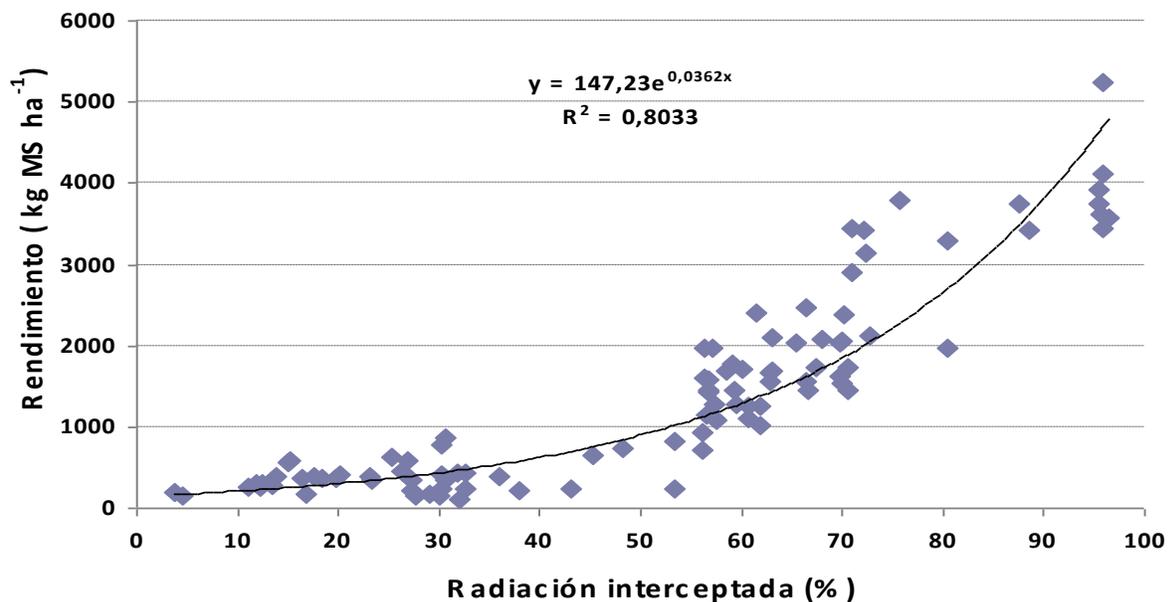


Figura 4. Relación entre la radiación interceptada (%) y el rendimiento de alfalfa (kg MS ha⁻¹). Montecillo, México, 2007-2008.

4.7. Peso por tallo

En la Cuadro 12 se presenta el peso por tallo (g) de alfalfa cosechado a diferente frecuencia de corte. El valor más bajo se registró en primavera con 0.26 g cuando la alfalfa se cosechó cada 3 semanas y el mayor valor (1.07 g) en verano con intervalo de corte de 6 semanas. Resultados similares reportó Mendoza (2008) en donde el valor más bajo se registró en invierno (0.110 g) cuando se cosechó cada 4 semanas y el más alto (1.410) en verano con intervalo entre cortes de 6 semanas. Por su parte Zaragoza (2004) en una asociación de alfalfa ovillo encontró el mayor peso por tallo de alfalfa en primavera y el menor en invierno con 1.3 y 0.30 g, respectivamente.

Cuadro 12. Peso promedio por tallo de alfalfa (g), cosechada a diferente frecuencia de corte. Montecillo, México, 2007-2008.

Frecuencia de corte (semanas)	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
7-3	0.39 cA	0.30 cB	0.26 Cc	0.35 Ca
6-4	0.63 bA	0.37 bD	0.48 bC	0.55 bB
5-5	0.73 bA	0.49 aB	0.73 aA	0.69 bA
4-6	0.85 aB	0.50 aC	0.84 aB	1.07 aA

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

abcd=Medias con la misma literal minúscula en una misma columna, no son diferentes ($P>0.05$).

ABCD= con la misma literal minúscula en una misma hilera, no son diferentes ($P>0.05$).

El menor peso por tallo se registró cuando la alfalfa se cosechó cada 7 semanas en otoño-invierno y 3 en primavera verano, con un promedio anual de 0.33 g, mientras que los mayores valores se presentaron con intervalos de corte de 4 y 6 semanas para otoño-invierno y primavera verano, respectivamente, con un promedio anual de 0.82 g por tallo, teniendo una diferencia de ambos del 60%. Al respecto, Mendoza (2008) menciona que conforme se incrementa el intervalo de corte de 4 y 3 semanas para otoño-invierno y primavera-verano a intervalos de corte más largos, existe aumento progresivo en el peso de los tallos de alfalfa, en todas las frecuencias de corte, dando lugar a un balance entre el peso y la densidad de tallos, como medida de sobrevivencia de la planta.

4.8. Densidad de tallos

La densidad de tallos de alfalfa se presenta en el Cuadro 13. Para todas las frecuencias de corte se observa que la mayor densidad de tallos ocurrió en otoño e

invierno y la menor durante primavera-verano. La mayor densidad se presenta cuando la alfalfa es cosechada cada 5 semanas en otoño-invierno, teniendo su máximo punto en noviembre con 565 tallos m^2 ; sin embargo, a partir de febrero empieza 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.

En general, se observa que las mayores densidades de tallos se encuentran en las frecuencias de corte de 6-5 y 4-5 para otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente. Los valores en la densidad de tallos de esta investigación son menores con respecto a otros autores, debido a una disminución en la persistencia de las praderas, la cual tenía aproximadamente 3 años de establecida y a la gran cantidad de malezas que presento, al inicio del estudio (Cuadro 2).

De acuerdo con Mendoza (2008) encontró que a medida que las frecuencias de corte son mayores, el número de tallos se incrementa y cuando las frecuencias de corte son menores, el número de tallos se reduce; registrando un promedio de 1259 tallos m^{-2} durante el periodo de estudio, cuando la alfalfa fue cosechada cada 4 semanas en otoño-invierno y cada 3 para primavera-verano comparada con intervalos de corte de 7 y 6 semanas para otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente, misma que presentó una densidad promedio de 748 tallos m^{-2} . Resultados similares reportó Zaragoza (2004), al realizar un estudio con alfalfa asociada con ovillo, quién encontró que a mayor severidad de pastoreo, existió mayor densidad de tallos durante enero y

febrero (1340-1360 tallos m⁻²) y la menor en julio y septiembre (entre 640 y 730 tallos m⁻², respectivamente).

Cuadro 13. Densidad de tallos de alfalfa (tallos m²), cosechada a diferente frecuencia. Montecillo, México, 2007-2008.

Frecuencia de corte	Mes del año											
	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
7-3	222b	262b	304c	30d	28d	27d	37d	89c	54d	66c	23c	27d
6-4	405a	391a	418b	407b	403b	389b	282b	228b	348a	360a	348a	341a
5-5	437a	462a	565a	527a	535a	476a	325a	302a	207b	204b	207b	216b
4-6	129c	100c	132d	113c	130c	98c	103c	252b	180c	179b	172b	176c

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

4.9. Densidad de plantas

En el cuadro 14 se muestra la densidad de plantas de alfalfa en los diferentes meses del año, donde se puede observar que la frecuencia de 5 semanas de reposo es la que mantiene la mayor densidad de plantas en la pradera (P<0.05), mientras que el tratamiento con el menor periodo de reposo tuvo la mayor pérdida en la densidad de plantas.

La influencia de la época del año también muestra diferencias significativas (P<0.05), ya que es posible observar que la mayor densidad de plantas se muestra en los meses al final del año (octubre a diciembre).

Cuadro 14. Densidad de plantas de alfalfa (plantas m²), cosechada a diferente frecuencia de corte. Montecillo, México, 2007-2008.

Frecuencia de corte	Mes del año											
	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
7-3	9b	10a	12a	12a	12c	8c	5c	8b	7b	7b	2c	2c
6-4	11a	8b	9b	10a	9b	8b	6c	10a	7c	8b	7c	7c
5-5	10b	11a	13a	13a	13a	11a	8c	7c	5d	5d	5d	5d
4-6	4c	3c	4c	4c	4c	3c	3c	8a	6b	6b	6b	6b

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

Como se muestra en el cuadro 14 de resultados, en algunos tratamientos se observa un incremento en la cantidad de plantas de alfalfa en la pradera, situación que no podría parecer real, sin embargo, esto se debe a que en algunas parcelas experimentales las tuzas destruyeron el área que se estaba utilizando para el conteo de las plantas, motivo por el cual el cuadro se tuvo que mover a un lugar similar en donde se inicio nuevamente el conteo.

Al respecto, Hernandez-Garay *et al.* (1999) mencionan que, la densidad de tallos y de plantas puede ser manipulada por la defoliación, modificando la frecuencia e intensidad de cosecha, se puede incrementar la densidad de tallos en la pradera.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Sevilla *et al.* (2002) quienes mencionan que, la muerte de plantas es mayor en primavera y verano, al cabo de este periodo la densidad de plantas tiende a incrementarse, además, la densidad mínima necesaria de plantas para que no se afecte el rendimiento es de 30, por debajo de esta densidad, la pradera disminuye marcadamente la producción de MS, en dicho experimento se paso este valor crítico al cuarto año de establecida la pradera.

5. CONCLUSIONES

- ✓ El mayor rendimiento anual de forraje de alfalfa ocurre al cosechar la alfalfa cada 6 semanas durante la estación de primavera-verano y 5 semanas en otoño e invierno.

- ✓ La reducción de los intervalos de corte, disminuye el rendimiento, densidad de tallos, peso por tallo y densidad de plantas, es decir, existe una menor persistencia de la alfalfa.

- ✓ Al aumentar el intervalo entre cortes se incrementa la altura, el área foliar por tallo, la radiación interceptada y el rendimiento de MS.

- ✓ La frecuencia de corte de 3 semanas ocasiona la pérdida de plantas de alfalfa en la pradera, invasión de malezas y disminución del rendimiento de MS, por lo que no se recomienda cosecharla a ese intervalo.

6. BIBLIOGRAFIA

- Alcántara, G. G., y Trejo, T. L. 2007. Nutrición de cultivos. Colegio de Postgraduados. 1ª Edición. Editorial Mundi Prensa. Montecillo, México S. A. 705 p.
- Améndola, M. R. D., Castillo, G. E. y Martínez, H. P. A. 2005. Pasturas y cultivos forrajeros. http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/spanishtrad/mexico_sp/Mexico_sp.htm 52 p.
- 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/produccioym_an_ejo_pasturas/pastoreosistemas/04_isiologiadelaplantapastoreada.htm
- Bahmani, I. , Hazard L., Varlet – Grancher C., Betin M., Lemaire G., Matthew C. y Thom E. R. 2000. Differences in tillering of long and short leaved perennial ryegrass genetic lines under full light and shade treatments. *Crop Sci.* 40 : 1095 – 1102.
- Bidwell, R. G. S. 1979. Fisiología Vegetal. . A. G. T. Editor. A. A. México. 784 p.
- Bouton, J. H. 2001. Alfalfa. In: Proceedings of the XIX International Grassland Congress. Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil. pp: 545-547.
- Briske, D. D. 1991. Development morphology and physiology of grasses. In: Grazing Management: an ecological perspective. Heitschmidt, R. K., Stuth J. W. (eds.). Timber Press, Portland, Oregon, USA. pp. 85-108.

- Briske, D. D., Boutton, T. W. and Wang, Z. 1996. Contribution of flexible allocation priorities to herbivore tolerance in C4 perennial grasses: an evaluation with 13 Clabelling. *Oecologia*. 105:151-159.
- Chapman, D. F. y Lemaire G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. Proceedings of the XVII International Grassland Congress. New Zealand and Australia. PP. 95 -104.
- Del Pozo, M. 1983. La Alfalfa. Su Cultivo y Aprovechamiento. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 380 p.
- Dorantes, J. J. 2000. Respuesta productiva de tres variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a dos intensidades de pastoreo. Tesis de Maestría en Ciencia. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Colegio de Posgraduados.
- Duthill, J, 1989. Producción de forrajes. Editorial Mundiprensa. Madrid, España. 367 p.
- Espinoza, C. J. Ma. y Ramos, G. J. L. 2001. El cultivo de alfalfa y su tecnología de manejo. Folleto para productores. No. 22. Fundación Produce de Aguascalientes e INIFAP. Campo Experimental Pabellón. CIRNOC-INIFAP. Pp. 11 inifap@codagea.edoags.gob.mx
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.
- Hanson, A. A., Barnes, R. D. K. and Hill, A. 1988. Alfalfa and alfalfa improvent. American Society of Agronomy Inc. Madison, USA. 1084 p.
- Hernández-Garay, A., Pérez, P. J. y Hernández, G. V. A. 1992. Crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferentes regímenes de cosecha. *Agrociencia*. 2:131-144.

- Hernández-Garay, A. y Martínez, H. P. A. 1997. Utilización de pasturas tropicales. En: Torres H. G. y Díaz, R. P (Eds.) Producción de ovinos en zonas tropicales. Fundación Produce-Inifap pp 8-24.
- Hernández-Garay, A. y Pérez, P..J. 1998. Determinación del estado fisiológico óptimo de corte de alfalfa. XIII Congreso Nacional de Manejo de Pastizales. p. 32.
- Hernández-Garay, A., C. Matthew and J. Hodgson. 1999. Tiller size/density compensation in perennial miniature swards subject to differing defoliation heights and a proposed productivity index. Grass and Forage Science. 54: 347-356.
- Hodgson, J. 1990. Grazing management. Science into Practice. Longman Scientific and Technical. Harlow, England. 204 p.
- Hodgson, J., Bircham, A. L., Grant and King, J.1981.The influence of cutting and grazing management on herbage growth and utilization. In: Wright. C. E. (Ed.) Plant Physiology and Herbage Production. The British Grassland Society. Ocasional Symposium No. 13:51.
- Horrocks, R. D. and Vallentine, J. F. 1999. Harvested Forages. Academic Press. Oval Road, London. United Status of America. 426 p.
- Hughes, H.D., M. E. Heath and D. S. Metcalf. 1980. Forrajes. Editorial CECSA. México. 758 p.
- Hunt, R. 1990. Plant growth curves. The Functional Approach to Plant Growth Analysis. Edward Arnold. London, England. 248 p.
- Jiménez, M. A. y Martínez, H. P. A. 1984. Utilización de praderas. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.85 p.

- Juncafresca, B. 1983. Forrajes, fertilizantes y valor nutritivo. 2ª edición. Editorial Aedos
Barcelona, España. 203 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. pp: 39-40.
- Lestienne, F., Thornton, B. and Gastal, F. 2006. Impact of defoliation intensity and
frequency on N uptake and mobilization in *Lolium perenne*. J. Experimental
Bot. 57(4): 997 – 1006.
- López, M. J. D., Gutierrez, P. G. y Berúmen, P. S. 2000. Labranza de conservación
usando coberturas de abono orgánico en alfalfa. Revista TERRA. Vol. 18.
No. 2. pp.161-171
- Matthew, P. N. P., Harrington, K. C. and Hampton, L. G. 1999. Management of grazing
systems. In: White. J. and Hodgson, J. (eds). New Zealand Pasture and
Crop Science. Ed. Auckland. N. Z. Oxford University Press. 323 p.
- Matthew, C., G. Lemaire, N. R. Sackville Hamilton and A. Hernández-Garay. 1995. A
modified self-thinning equation to describe size/density relationships for
defoliated swards. Annals of Botany. 76:579-587.
- Mendoza, G. R., Gómez, G. A. A., Caamal, C. i y González, E. A. 2000. Producción y
rentabilidad de alfalfa en el Municipio de Texcoco, Estado de México.
Producción y rentabilidad agrícola. PRONISEA-DICEA-UACH. Universidad
Autónoma Chapingo. Chapingo México. 188 pp

- Mendoza, P. S. I. 2008. Dinámica de crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferente frecuencia de corte. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 103 p.
- Morales, A. J., Jiménez, V. J. L., Velasco, V. V. A., Villegas, A. Y., Enríquez, del V. J. R. y Hernández-Garay, A. 2006a. Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertirriego en la mixteca de Oaxaca. *Técnica Pecuaria en México*. 44(3):277-288.
- Muslera, P., E. y G. Ratera C. 1991. Praderas y Forrajes, Producción y Aprovechamiento. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 674 p.
- Pérez, A. J., García M. E., Enríquez Q. J., Quero C.A., Hernández-Garay, J. Pérez, P., J. G. 2004. Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de N en hojas de pasto "mulato" (*Brachiaria* híbrido cv). *Técnica Pecuaria México*. 42 (3):447-458.
- Pérez, B. M. T., A. Hernández-Garay, J. Pérez, P., J. G. Herrera, H. y R. Bárcena, G. 2002. Respuesta productiva y dinámica de rebrote del pasto ballico perenne a diferentes alturas de corte. *Técnica Pecuaria México*. 40:251-263.
- 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.
- Richards, J. H. 1993. Physiology of plants recovering from defoliation. In: Proceedings of the XVII International Grassland Congress. New Zealand and Australia. pp. 85-94.

- Rivas, J. M. A., López, C. C., Hernández-Garay, A. y Pérez. P. J. 2005. Efecto de tres regímenes de cosecha en el comportamiento productivo de cinco variedades comerciales de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Técnica Pecuaria en México*. 43(1):79-92.
- Rojas, G. M. 1993. *Fisiología Vegetal Aplicada*. 4ª Edición. Editorial Interamericana McGraw-Hill. México. 275 p.
- Rodríguez, S. F. 1989. *Fertilizantes. Nutrición Vegetal*. A. G. T. Editor, S. A. México, D. F. 157 p.
- SAGARPA. 2008. *Producción Agrícola en México*. Centro de Estadística Agropecuaria. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>
- SAGARPA. 2008b. *Producción de cultivos perennes año 2007, en el Estado de México*. Delegación Federal en el Estado de México. Distritos de Desarrollo Rural de SAGARPA, Estado de México.
- 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
- 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. *Arch. Latinoam. de Prod. Anim.* 10(3):164-170.

- Skinner, R. H., J. A. Morgan and J. D. Hanson. 1999. Carbon and nitrogen reserve remobilization following defoliation: nitrogen and elevated CO₂ effects. *Crop Science*. 39:1749-1756.
- 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*. Vol. 65 No. 2. pp 157-164
- Tablada, A. Y. 1998. Comportamiento de una pradera alfalfa-ovillo a diferentes frecuencias de pastoreo con borregos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. Edo. de México. 76 p.
- Tomlinson, K. W. and O'Connor, T. G. 2004. Control of tiller recruitment in bunchgrasses: uniting physiology and ecology. *Funct. Ecol.* 18: 489-496.
- Villegas, A. Y. 2002. Análisis de crecimiento estacional y componentes del rendimiento de cuatro variedades de alfalfa. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 91 P.
- Villegas, A. Y., Hernández-Garay, A., Pérez, P. J., López, C. C., Herrera, H. J., Enríquez, Q. J. y Gómez, V. A. 2004. Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Técnica Pecuaria en México*. 42(2):145-158.
- Volenc, J. J., A. Ourry and B. C. Joern. 1996. A role for nitrogen reserves in forage regrowth and stress tolerance. *Plant Physiology*. 97:185-193.
- Zaragoza, E. J. A. 2004. Dinámica de crecimiento y productividad de la alfalfa (*Medicago sativa* L.)-pasto ovillo (*Dacylis glomerata* L.) con diferente manejo

de defoliación. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados.
Montecillo, Texcoco, Estado de México. 120 p.