



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

**DINÁMICA DE CRECIMIENTO DEL TRÉBOL BLANCO BAJO
CONDICIONES DE PASTOREO**

EDGAR HERNÁNDEZ MORENO

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

OCTUBRE, 2014

La presente tesis titulada: **Dinámica de crecimiento del trébol blanco bajo condiciones de pastoreo**, realizada por el alumno: **Edgar Hernández Moreno**, 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



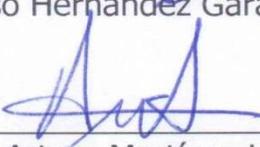
Dr. Juan De Dios Guerrero Rodriguez

ASESOR



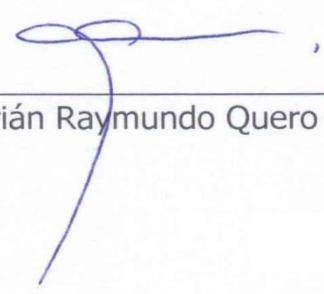
Dr. Alfonso Hernández Garay

ASESOR



Dr. Pedro Arturo Martínez Hernández

ASESOR



Dr. Adrián Raymundo Quero Carrillo

Montecillo, Texcoco, Estado de México. Noviembre de 2014

Dinámica de crecimiento del trébol blanco bajo condiciones de pastoreo

Edgar Hernández Moreno, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2014

Con el objetivo de estudiar la distribución estacional del trébol blanco (*Trifolium repens* L.) se realizó un análisis de crecimiento estacional en Montecillo, Texcoco, Estado de México. En praderas con dos años de establecidas, se trazaron 24 parcelas y se distribuyeron aleatoriamente en ocho tratamientos con tres repeticiones. Semanalmente se cosecharon tres parcelas para evaluar las siguientes variables: acumulación de materia seca, tasa de crecimiento del cultivo, composición botánica y morfológica, índice de área foliar y altura de la pradera. La mayor cantidad de forraje ($P < 0.05$) se presenta en la octava semana de primavera y otoño, séptima en verano y en invierno hacia la sexta semana se acumularon $1420 \text{ kg MS ha}^{-1}$. La hoja del trébol constituyó el principal componente del forraje excepto en verano. Los resultados sugieren que el pastoreo debe realizarse en la semana 7, 6, 7 y 5 para primavera, verano, otoño e invierno, cuando se ha alcanzado el mayor rendimiento de hoja. Adicionalmente se evaluó el efecto de tres frecuencias de pastoreo (cada 28 días en primavera verano y cada 35 días, 95 y 100% de RI, en otoño e invierno, 95 y 100% de radiación interceptada) sobre el comportamiento productivo del trébol blanco (*Trifolium repens* L.) en asociación con pasto ovilla (*Dactylis gomerata* L.). Los tratamientos se distribuyeron aleatoriamente en un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones. Las variables evaluadas fueron: acumulación de materia seca, composición botánica y morfológica, índice de área foliar, tasa de crecimiento y altura de la pradera. Solo se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) de los tratamientos para el invierno, cuando el pastoreo al 95% de RI fue mayor en 50 % al tratamiento con 100% RI y en 42% al de 35 días La frecuencia de pastoreo no afectó el rendimiento de la pradera, excepto en invierno donde el mejor rendimiento se obtuvo al pastorear al 95% de RI.

Palabras clave: *Trifolium repens* L., análisis de crecimiento, frecuencia de pastoreo, acumulación de materia seca, tasa de crecimiento.

Growth dynamic of white clover under grazing

Edgar Hernández Moreno, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2014

In order to study the seasonal growth curve of white clover (*Trifolium repens* L.) a growth analysis was carried out in Montecillo, Texcoco, Estate of México. In two years old sward, 24 plots were established and allocated randomly in eight treatments and three replications. Every week three plots were cut to evaluate the following variables: cumulative herbage mass, growth rate, botanical and morphological composition, leaf area index and sward height. The highest cumulative herbage mass ($P < 0.05$) was found at the eight weeks of regrowth in spring and autumn, seven in summer and six weeks in winter. The leaf clover constituted the main component of herbage mass, except in summer. Results suggest that grazing should be done in week 7, 6, 7, and 5 for spring, summer, autumn and winter, when it has reached the highest leaf mass yield. In addition it was evaluated the effect of three grazing frequencies (every 28 days during spring and summer and every 35 days in fall and winter, 95 and 100% of light interception) on the productive performance of white clover (*Trifolium repens* L.) associated with orchard grass (*Dactylis glomerata* L.). Treatments were allocated randomly with three replications. The evaluated variables were: cumulative herbage mass, growth rate, botanical and morphological composition, leaf area index and sward height. Only significant differences ($P < 0.05$) were found in winter, when treatment at 95% LI was 50% higher to 100% LI and 42% to 35 days. The grazing frequency did not affect herbage yield, except in winter when the best performance was obtained by grazing at 95% of LI.

Keywords: *Trifolium repens* L., growth analysis, grazing frequency, cumulative herbage mass, growth rate.

DEDICATORIA

A mis padres Jorge y Piedad: por el apoyo incondicional durante toda mi vida, la educación que me brindaron en base a sacrificios. Gracias por todo.

A mi esposa Graciela y mi hija Georgina, iluminan cada día de mi vida, me alientan a seguir y a superarme. Gracias por tanto amor.

A Dios por permitirme este momento.

A toda mi familia.

AGRADECIMIENTOS

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

Al Colegio de Postgraduados y en particular al Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería, por darme la oportunidad y el espacio.

Agradezco a la línea prioritaria de investigación número 11: Sistemas de Producción Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola y Pesquera, por sus facilidades otorgadas y apoyo para la realización de esta investigación.

En especial al Dr. Alfonso Hernández Garay y al Dr. Juan de Dios Guerrero Rodríguez, por el apoyo otorgado durante la investigación y elaboración de esta tesis, su asesoría, consejos, disposición, y paciencia hacia mi persona.

A mis asesores Dr. Pedro Arturo Martínez Hernández y Dr. Adrián Raymundo Quero Carrillo por sus consejos, enseñanzas y participación en la revisión de este documento.

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

A todos mis compañeros y amigos, por los momentos buenos y malos que pasamos juntos.

CONTENIDO

Hoja de firmas	ii
Resumen	iii
DEDICATORIA	v
CONTENIDO	vii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos:	2
Hipótesis:	2
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Características botánicas y agronómicas de Trébol blanco	3
2.1.1. Características botánicas de Trébol blanco	3
2.1.2. Características agronómicas del Trébol blanco	5
2.2. Factores que afectan la producción de forraje	8
2.2.1. Luz	9
2.2.3. Agua	12
2.2.4. Suelo	14
2.3. Factores de manejo que influyen en el crecimiento de trébol blanco	16
2.4. Frecuencia e intensidad de pastoreo	18
2.5. Rendimiento de forraje de Trébol blanco	22
2.6. Conclusiones de la revisión de literatura	23
LITERATURA CITADA	24
CAPÍTULO. 3. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO ESTACIONAL DE TRÉBOL BLANCO	31
INTRODUCCIÓN	33
MATERIALES Y MÉTODOS	34
Localización del área de estudio	34
Manejo de las praderas	34
Datos climáticos	35
Variables evaluadas:	35
Acumulación de materia seca	35
Composición botánica y morfológica.	36
Índice de área foliar (IAF)	36
Tasa de crecimiento	36
Métodos indirectos para estimar rendimiento de forraje	37

Radiación interceptada _____	37
Análisis estadístico _____	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____	38
Acumulación de materia seca _____	38
Composición botánica y morfológica _____	41
Índice de Área Foliar _____	44
Tasa de crecimiento _____	45
Métodos indirectos para estimar rendimiento de forraje _____	47
Altura de plantas _____	47
Ecuaciones de regresión _____	49
Radiación interceptada _____	50
CONCLUSIONES _____	52
LITERATURA CITADA _____	52
<i>CAPITULO 4. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DEL TREBOL BLANCO A TRES FRECUENCIAS DE PASTOREO _____</i>	<i>57</i>
INTRODUCCIÓN _____	59
MATERIALES Y MÉTODOS _____	60
Localización del área de estudio _____	60
Manejo de las praderas y tratamientos _____	60
Datos climáticos _____	61
Variables evaluadas: _____	62
Acumulación de materia seca _____	62
Composición botánica y morfológica _____	62
Índice de área foliar _____	62
Tasa de crecimiento _____	63
Altura de planta _____	63
Radiación interceptada _____	63
Análisis estadístico _____	64
RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____	64
Acumulación de materia seca _____	64
Tasa de crecimiento del cultivo _____	69
Composición botánica y morfológica _____	70
Altura de la pradera _____	73
CONCLUSIONES _____	75
LITERATURA CITADA _____	75
<i>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES _____</i>	<i>80</i>

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Temperatura media mensual máxima, mínima, promedio y precipitación mensual acumulada durante el periodo de estudio (marzo 2012 a abril 2013).	355
Figura 2. Curvas de crecimiento estacional del trébol blanco y por componente morfológico durante un ciclo de crecimiento de 8 y 9 semanas.	40
Figura 3. Composición botánica y morfología	433
Figura 4. Cambios semanales en el Índice de Área Foliar durante el análisis de crecimiento estacional	455
Figura 5. Cambios semanales en la tasa de crecimiento del trébol blanco durante un ciclo de rebrote de ocho semanas, en las diferentes estaciones del año.	466
Figura 6. Cambios semanales en la radiación interceptada durante el análisis de crecimiento estacional.	51
Figura 7. Composición botánica y morfológica de praderas de trébol blanco asociado con pasto ovillo, a tres frecuencias de pastoreo durante las estaciones del año.	72

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Altura promedio estacional con el método de regla y plato durante ocho semanas de crecimiento	488
Cuadro 2. Ecuaciones de regresión obtenidas por estación y anual en base a altura y relacionada con rendimiento de materia seca.	50
Cuadro 3. Rendimiento estacional y anual de forraje (kg MS ha ⁻¹) a tres frecuencias de pastoreo de trébol blanco asociado con pasto ovillo.	66
Cuadro 4. Rendimiento de forraje estacional y anual (kg MS ha ⁻¹) por especie deseable, a tres frecuencias de pastoreo en trébol blanco asociado con pasto ovillo.	65
Cuadro 5. Tasa de crecimiento (kg MS ha ⁻¹ dia ⁻¹) estacional y anual de trébol blanco con pasto ovillo, a tres frecuencias de pastoreo.	698
Cuadro 6. Altura (cm) promedio anual y estacional en plantas de trébol blanco asociado con pasto ovillo, a tres frecuencias de pastoreo.	74

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Como estrategia de utilización de la tierra, el pastoreo es de enorme importancia a escala mundial. Aproximadamente, 25 % de la superficie terrestre se clasifica como áreas de pastoreo, la cual aumenta si se considera que en ciertos sistemas los animales en pastoreo hacen también uso de tierras de cultivo, las cuales ocupan un 10-15 % más de la superficie de la tierra (Hodgson, 1990). En México la ganadería se practica en todo el país, abarcando, según datos de la Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA) de 2008, alrededor de 1.09 millones de km², es decir, cerca del 56% de la superficie total de la república. En cuanto a superficie agrícola sembrada en el país, de acuerdo al INEGI (2013) se sembraron cerca de 22 millones de hectáreas, de las cuales, 15 % fue sembrado con alguna especie forrajera.

Dentro de la diversidad de especies sembradas para forraje, las leguminosas ocupan un lugar preponderante y en ellas la Alfalfa y el Trébol blanco son las dominantes. Específicamente para el Trébol blanco (*Trifolium repens* L.), es una leguminosa forrajera de gran importancia en sistemas de producción ganaderos bajo pastoreo, y su manejo requiere el conocimiento de su distribución estacional a lo largo del año. Para tal fin, es común hacer un análisis de crecimiento de la especie de interés, tal y como se ha hecho en otros forrajes (Velasco *et al.*, 2001; Velasco *et al.*, 2002; Villegas *et al.*, 2004; Zaragoza *et al.*, 2009); sin embargo, para esta especie la información existente es muy escasa en México.

La producción o rendimiento de un forraje o cultivo está determinado por el efecto de los recursos ambientales en la tasa de crecimiento del cultivo y el desarrollo de la planta. La temperatura y la luz, por ejemplo, afectan la tasa de crecimiento del cultivo y la duración de las etapas fisiológicas como la floración, por tanto, el conocimiento de cómo los recursos ambientales afectan los cultivos y forrajes, es necesario para desarrollar prácticas de manejo que ayuden a garantizar altos rendimientos, consistentes y de calidad (McKenzie *et al.*, 1999).

En México existe escasa información con relación a los patrones estacionales de crecimiento de las principales gramíneas y leguminosas forrajeras, a pesar de su importancia práctica. El conocimiento de la estacionalidad en la producción y calidad del forraje, permite detectar temporadas de abundancia y escasez, así como la magnitud de éstas. Con el análisis de crecimiento de una especie, se puede determinar el manejo estacional de la defoliación que ayude a maximizar la producción de forraje y, por ende, la producción animal, con el menor deterioro de las praderas (Hodgson, 1990; Hernández-Garay y Martínez, 1997).

Objetivos:

Determinar la curva de crecimiento estacional del Trébol blanco como base para definir el momento fisiológico óptimo de su cosecha en el año.

Evaluar el efecto de la frecuencia de defoliación en la acumulación de forraje, componentes del rendimiento y composición botánica de trébol blanco.

Hipótesis:

Existe un momento óptimo de corte para el trébol blanco que varía con la estación del año, en el que puede cosecharse la mayor biomasa de hojas con la menor cantidad de material muerto.

El intervalo óptimo de corte permitirá mantener la mayor tasa de crecimiento en los tejidos los cuales aportaran la mayor cantidad de forraje digestible por hectárea y aseguraran la persistencia de la especie.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características botánicas y agronómicas de Trébol blanco

2.1.1. Características botánicas de Trébol blanco

El Trébol blanco es una especie nativa de la región mediterránea y se extendió naturalmente a Europa, Asia, Siberia, China y el Norte de África, y ha sido introducida a muchos otros países de clima templado (Valentine y Matthew, 1999). Es una leguminosa (Fabaceae) del género *Trifolium*, que se caracterizan por la formación de hojas compuestas de tres folíolos, con habilidad de fijar nitrógeno en el suelo (Ratray, 2005). Es muy importante como forraje y es considerada la planta más cultivada en sistemas agrícolas de zonas templadas y la clave de la ventaja internacional de sistemas de pastoreo en Nueva Zelanda (Ratray, 2005). Otros autores (Frame y Newbould, 1986) la consideran como la leguminosa forrajera más importante en las zonas templadas del mundo y de gran valor por su amplio rango climático de adaptación, alta calidad nutricional y digestibilidad de su forraje y la contribución significativa que hace a la economía de praderas de gramíneas/Trébol blanco mediante la fijación de nitrógeno atmosférico, especialmente en ausencia de fertilización nitrogenada.

Esta especie también es conocida como Trébol blanco Ladino, Trébol Ladino (Martínez, 1979). Su distribución en México fue registrada en Baja California Norte, Chiapas, Distrito Federal, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luís Potosí, Sonora, Tlaxcala, Veracruz (Villaseñor y Espinosa, 1998).

Rzedowski (2001), menciona que es una hierba perenne. Su altura puede ser de hasta 40 cm, pero generalmente más baja (alrededor de 20 cm). Posee tallo rastrero, con raíces en los nudos, muy ramificado, glabro o casi glabro. Las hojas son

trifoliadas alternadas con estípulas ovado-lanceoladas, de 8-15 mm de largo; glabras, con el pecíolo de 5-25 cm de largo, folíolos casi sésiles, anchamente elíptico-ovados o casi orbiculares, de 1-3 cm de largo, frecuentemente con una marca blanca, de ápice redondeado y base cuneada. Foliolos sub sentados, de ovoides a elípticos, planos y marginados u obtusos por el ápice, finamente dentados, con una mancha blanquecina en el centro (Aizpuru *et al.* 1999). La inflorescencia es una umbela globosa, densa, de 1-2 cm de diámetro, con pedúnculos más largos que las hojas; pedicelos de 1-6 mm de largo. Sus flores son entre 6 a 10 mm de largo, cáliz casi glabro, dientes angostos, acuminados, algo más cortos o tan largos como el tubo; corola blanca o rosada, 2-3 veces más larga que el cáliz.

Los frutos son una vaina oblonga-linear, 4-5 mm de largo y con 3-4 semillas con forma de riñón o riñón asimétrico, de 0.7 a 1.4 mm de largo y 0.7 a 1.2 mm de ancho, superficie casi lisa, color amarillento, café amarillento o café (Muslera y Ratera, 1991).

El Trébol blanco se adapta a una diversidad de climas. Burdon, (1983) concluye que crece sin restricción por las tendencias climáticas generales, aunque las áreas sujetas a fuertes heladas y sequías prolongadas no son propicias para su crecimiento y supervivencia. En climas templados se desarrolla en altitudes que van desde el nivel del mar, hasta 6000 m en los Himalayas (Burdon, 1983). En México, se ha registrado su cultivo en valles altos a una altura de 2,200 msnm (Castro *et al.*, 2012). En cuanto a las características físicas del suelo, se encuentra en texturas que varían desde arena hasta arcilla con cantidades muy variables de materia orgánica en el perfil. Crece en suelos con pH de entre 5.0 a 6.5 (Frame y Newbould, 1986). Su óptimo de crecimiento puede variar de 8, 000 a 10, 000 kg MS ha⁻¹, y se encuentra en climas templado – húmedos, con escasa sequía estival. No tolera el sombreado y para ser productivo requiere humedad y buenos niveles de fósforo y potasio en el suelo (Juscafresca, 1983; Burdon, 1983; Rattray, 2005).

La temperatura tiene un marcado efecto en el crecimiento de Trébol blanco, más aún cuando está asociado a gramíneas. Brock y Tilbrook (2000), reportan que la temperatura óptima para el crecimiento es mayor a los 24°C. La temperatura mínima de crecimiento del trébol blanco ha sido también identificada en 9 °C y cuando la humedad en el suelo no es un factor limitante, la sobrevivencia del trébol no se ve afectada a temperaturas de incluso 35 °C (Rattray, 2005).

2.1.2. Características agronómicas del Trébol blanco

Las dos principales funciones de los tréboles en un sistema de pastoreo son de aportar nitrógeno al suelo vía fijación de nitrógeno que se ha estimado hasta en 170 kg ha⁻¹ año⁻¹ (McNeil y Wood, 1990) y de proveer alimento de alta calidad al ganado (Brock y Tilbrook, 2000). La fijación de nitrógeno de la atmosfera es realizada por bacterias como las del género *Rhizobium*, y la transferencia a los pastos es a través del material muerto y la desecación de las raíces, o bien a través de la excreta de los animales. El crecimiento de los pastos es estimulado por el nitrógeno del suelo, dirigiendo eventualmente a una reducción en la producción de la leguminosa, a través de la competencia por luz, agua y nutrientes (Buxton y Fales, 1994).

De acuerdo a Frame y Newbould (1986), el Trébol blanco es usado principalmente como componente en praderas asociadas de gramíneas, las cuales son utilizadas principalmente en pastoreo *in situ*. No se cultiva como monocultivo debido a la dificultad de mantenerlo como una pradera libre de maleza, su baja producción anual, su corto crecimiento estacional y debido a que produce timpanismo y posibles problemas reproductivos en los animales que lo pastorean. Estos autores mencionan que raramente es utilizado como forraje de conservación (ensilaje o heno) debido a la debilidad y caída de las hojas cuando se henifica, su poca producción y problemas en la fermentación al realizar el proceso de ensilado.

En praderas asociadas con Ballico perene, las producciones medias oscilan entre 9-13 t MS ha⁻¹ (Frame y Newbould, 1986). El forraje que proporciona es de gran

calidad, rico en proteína, reportándose niveles que van desde 23% (Cupina *et al.*, 2013) hasta 29 % (Fulkerson *et al.*, 2007) y con una digestibilidad elevada de la MS de 85% (Rattray, 2005) y sostenida a lo largo de su ciclo (Brock *et al.*, 1989). Duthil (1989) menciona que la ingesta única de Trébol Blanco puede provocar meteorismo (aunque en menor medida que el *Trifolium pratense* L.) y la mejor forma de aprovechamiento es mediante pastoreo, resiste muy bien el pisoteo y, dado que las defoliaciones sólo afectan a las hojas y a los pedúnculos florales, el rebrote es rápido porque no quedan dañados los puntos de crecimiento.

El trébol blanco forma mezclas estables con pastos como el Ballico perenne haciendo praderas más productivas que la siembra como monocultivo. La interacción entre los componentes de pastos y trébol ha sido el objeto de diversos estudios a través de los años y es altamente compleja. La orientación horizontal de las hojas del trébol, le permite una capacidad de recuperar más rápido la intercepción de luz que los pastos después de la defoliación, además, trébol blanco tiene una temperatura óptima de crecimiento de 24 °C, comparado con 20°C para el ballico perenne (Valentine y Matthew, 1999).

El Trébol blanco tiene similitud con los pastos pues se ha adaptado a las defoliaciones periódicas. En particular, la estrategia de crecimiento del trébol, implica un vástago verdadero, denominado estolón y que comprende una cadena de tallos; como en los pastos, nuevos tallos son agregados regularmente de un punto de crecimiento o meristemo apical, que está usualmente por debajo de la altura de corte, mientras los tallos viejos mueren y se descomponen en el otro extremo del estolón (Valentine y Matthew, 1999).

El Trébol blanco se extiende por estolones rastreros, con raíces y nudos que forman nuevas plantas. Éstos reemplazan a las plantas originadas en la siembra a los pocos años. La persistencia es alta en cultivos con altas densidades de estolones, las plantas florecen y producen semillas en la pradera, particularmente en pastoreos ligeros. Esta es una forma de resiembra proveniente de las semillas producidas en la

misma pradera, un método que puede ser muy importante bajo condiciones de sequía (Ratray, 2005; Brock, 1989).

Dependiendo del tamaño de la hoja, se distinguen tréboles blancos de hoja pequeña o enanos (p.ej. Aberystwyth S 184, Rivendel), empleados para pastoreo de ovinos y en jardinería, tréboles de hoja intermedia (p.ej. Huia, Lirepa y Milka) y tréboles de hoja grande o ladinos (p.ej. California, Regal, Tamar y Olwen), más productivos y utilizados para corte o para pastoreo de ganado vacuno (Ratray, 2005).

Los tréboles con hojas largas, por lo regular, son llamados “ladinos”, poseen crecimiento alto y erecto, tienen estolones gruesos y raíces robustas. Este tipo de trébol puede ser usado en pastoreo rotacional, particularmente, para la producción de leche. Por tanto, estas praderas mejoran la producción debido a las características de hojas largas y pocos estolones; sin embargo, están relacionadas con una baja capacidad de rebrote y persistencia. Los estolones son, por lo regular, pisados y removidos por el pastoreo, debido a su gran tamaño, por esta razón, mezclando este tipo de trébol con los de hoja más pequeña pueden incrementar la persistencia del mismo, especialmente en praderas que serán sometidas al pastoreo (Ratray, 2005).

Muslera y Ratera (1991) mencionan que se establece sin dificultad aunque la siembra de la semilla debe ser superficial debido a su tamaño pequeño. Su persistencia es de periodo largo, siempre y cuando no se den factores que limiten su desarrollo (fuertes sequías estivales, exceso de abonado nitrogenado, sombros prolongados, intervalos amplios entre cortes, entre otros). La densidad de siembra va de 1.5 a 3 kg ha⁻¹ en praderas mixtas (en las mezclas se recomienda que la proporción de Trébol Blanco establecido no supere el 30%).

2.2. Factores que afectan la producción de forraje

Las funciones principales de las plantas forrajeras en las praderas son captar la luz del sol en el follaje con el fin de asegurar un suministro de energía para el crecimiento y absorber agua y nutrientes minerales del suelo vía las raíces, pero estas funciones son fuertemente influenciadas por las estrategias adoptadas para sobrevivir las consecuencias de la defoliación y la perturbación ocasionada por los animales que las consumen (Hodgson, 1990). De acuerdo a Nurjaya y Tow (2001) el crecimiento de las plantas es afectada directamente por el genotipo, y por las condiciones ambientales en las que se incluyen los factores de manejo. Prácticamente todos los aspectos del ambiente, pueden influir en el crecimiento vegetal. Las principales fuentes ambientales son: la luz, CO₂, nutrientes minerales, agua, y temperatura, las cuales afectan procesos de la planta (fotosíntesis, absorción de nutrientes, absorción de agua y desarrollo) que determinan la productividad. Además, la disponibilidad de esas fuentes ambientales requeridas para el crecimiento de la planta están influenciadas por factores como el tipo de suelo, (pH, profundidad, estructura), altitud, disponibilidad, y decisiones de manejo (fertilización, época de establecimiento, tiempo de cosecha, riego, densidad de siembra, entre otros) (McKenzie *et al.*, 1999). Tales factores no actúan por separado, debido a que el crecimiento de la planta responde a una interacción entre ellos (Perreta *et al.*, 1997; Moliterno, 2002). Al respecto, se ha señalado que la tasa de crecimiento de cualquier especie forrajera, es más sensible a la temperatura ambiental, en comparación con la tasa de fotosíntesis y respiración. Esto es debido a que la temperatura interviene directamente en la aparición y expansión de la lámina foliar, aparición y muerte de tallos y estolones, así como, en el crecimiento radical, por lo que las especies forrajeras logran la mayor producción de biomasa, cuando se encuentran en sus rangos óptimos de temperatura (McKenzie *et al.*, 1999).

La producción de forraje en sistemas de pastoreo es regulada por variables ambientales, morfogénesis de la planta y características de la pradera. La planta acumula tejido a través de la aparición y elongación de la hoja que a su vez es

susceptible de envejecer y morir, lo cual conduce a una acumulación de material muerto y posteriormente a la descomposición. El tejido de la hoja es además susceptible de defoliaciones eventuales, y de acuerdo a la frecuencia y severidad de estas, se afecta la tasa producción de nuevo tejido vegetal. La cantidad de forraje cosechado es el producto de la tasa de crecimiento del tejido acumulado en nuevas plantas y la eficiencia del proceso de cosecha (definido como la proporción de forraje que es cosechado antes de comenzar el proceso de senescencia, estos dos procesos son esencialmente competitivos, y los factores que influyen en el balance entre ellos dos, así como la sustentabilidad y máxima productividad, han sido el objeto de estudio de la investigación en forrajes durante 40 años (Lemaire *et al.*, 2009).

La frecuencia de defoliación es definida como la probabilidad para cada unidad de la planta (hoja o tallo) de ser defoliada cada día (Lemaire *et al.*, 2009). El intervalo entre defoliaciones, representa el tiempo promedio transcurrido entre dos defoliaciones sucesivas sobre el mismo tallo u hoja individual. La intensidad de defoliación se expresa como la proporción entre la longitud de hoja o tallo removido por la defoliación en un evento único y la longitud de la hoja o el tallo antes de la defoliación (Lemaire *et al.*, 2009).

2.2.1. Luz

La radiación es energía proveniente del sol. Muchos términos y unidades son usadas para describir la radiación o la luz que afecta a las plantas, las principales son: irradiancia (la energía radiante por unidad de área de la superficie de una planta, se mide en Wm^{-2}); flujo de fotones (el número de moles de fotones por unidad de área de una superficie por el tiempo, se mide en $(\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$ PAR (luz fotosintéticamente activa, longitud de onda entre 400 y 700 nm) (McKenzie *et al.*, 1999).

De la luz depende el proceso de fotosíntesis el cual implica una serie compleja de reacciones químicas que resulta en la conversión de CO_2 y agua (H_2O) a

carbohidratos. La energía para las reacciones de la fotosíntesis proviene de la luz del sol al ser captada por la clorofila y otros pigmentos en el cloroplasto. Esta conversión de energía luminosa en energía química, es vía de una serie de reacciones de reducción/oxidación, en el ciclo fotosintético de reducción del carbono, conocido también como ciclo de Calvin (McKenzie *et al.*, 1999).

De acuerdo a Lemaire y Chapman (1996), la cantidad de carbono fijada por el dosel forrajero por unidad de tiempo depende directamente de la calidad de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por las hojas verdes. Estos autores mencionan que la eficiencia de absorción es determinada por características estructurales como índice de área foliar (IAF), ángulo foliar y propiedades ópticas de las hojas, como transmitancia y reflectancia de los componentes de onda visible de la luz incidente.

El índice de área foliar definido como la superficie de área de hoja por unidad de suelo, es el componente más importante que determina la intercepción de luz y por consecuencia el rendimiento. El índice de área foliar al cual se intercepta el 95 % de la radiación incidente se le conoce como índice de área foliar crítico (Lemaire y Chapman, 1996).

El 95 % de intercepción luminosa comenzó a utilizarse como criterio de momento de cosecha del forraje desde 1982, como necesidad de hacer una utilización óptima del forraje y de mayor calidad; después de que Braugham (1955) describiera la curva sigmoidea del crecimiento de los forrajes y sus tres fases, y la importancia del índice de área foliar y la intercepción luminosa en el manejo de forrajes (Da Silva y Nascimento, 2007).

Diversas investigaciones realizadas con gramíneas tropicales (Carneiro *et al.*, 2009, Giacomini *et al.*, 2009) evaluaron frecuencias de pastoreo, encontrando que el 95 % de intercepción luminosa resultó en una mayor acumulación de hojas y una menor acumulación de material muerto, en comparación con el 100%, los autores recomiendan considerar el 95% de intercepción luminosa como el momento de

cosecha, ya que es cuando se tiene la mayor cantidad de hoja y la menor cantidad de material senescente.

2.2.2. Temperatura

La temperatura constituye un importante factor abiótico que determina la distribución, adaptabilidad y productividad de las plantas; las vías y procesos metabólicos son controlados por enzimas, que tienen su acción catalizada por la temperatura, indicando que las tasas de crecimiento y acumulación de materia seca, además de diversos procesos asociados, varían con la temperatura (Da Silva *et al.*, 2008).

La temperatura mínima diaria del ambiente, donde crece una pradera, regula la velocidad con que ocurren las reacciones enzimáticas del ciclo de Calvin, siempre que no afecte la integridad de la membrana celular (Simpson y Vulnevor, 1987). La máxima actividad enzimática ocurre en la zona térmica correspondiente a la temperatura óptima. En gramíneas tropicales ocurrirá a temperaturas entre 35 y 39 °C, y en leguminosas tropicales entre 30 y 35 °C, para el trébol blanco se ha reportado entre 18 y 30, con un óptimo de 30°C. Cuando las plantas están expuestas a temperaturas de 20 °C la tasa de fotosíntesis será menor, y casi insignificante a temperaturas entre 0 y 15 °C (Baruch y Fisher, 1991; Frame y Newbould, 1986) y consecuentemente la cantidad de peso seco que se acumula en la pradera es menor.

En gramíneas templadas, temperaturas superiores a la óptima causan que la enzima responsable de la reacción de carboxilación tenga mayor afinidad por el oxígeno originándose así el fenómeno de fotorrespiración reduciéndose la tasa de fotosíntesis (Salisbury y Roos, 1992), y consecuentemente la tasa de crecimiento de la pradera (Jiménez y Martínez, 1984; Duran *et al.*, 1999). Esto es, porque el peso seco acumulado por día es en realidad la cantidad de fibra formada a partir de la sacarosa y otras hexosas formadas en el ciclo de Calvin razón por la cual se señala que el crecimiento de las gramíneas forrajeras es muy sensible a la temperatura (McKenzie

et al., 1999; Buxton, 1994). Además de la temperatura, la precipitación y humedad en el suelo influyó sobre la tasa de acumulación de peso en praderas de ballico perenne con trébol rojo (*T. pratensis*) y trébol blanco (Brougham, 1955). Por su parte Clark *et al.* (1996) mencionan que la temperatura tiene muchos efectos importantes en el crecimiento del Trébol blanco, particularmente en los procesos que influyen el crecimiento y aparición de las hojas y del estolón. Estos autores afirman que el trébol blanco tiene una menor tasa de crecimiento que el Ballico a temperaturas inferiores a 10°C, pero su tasa de crecimiento sigue aumentando hasta los 24 °C mientras que los picos de crecimiento de Ballico ocurren a los 15 - 20 °C.

Clark *et al.* (1995), han mostrado que la asociación Ballico perenne-Trébol blanco expuesta a elevadas concentraciones de CO₂ y temperatura incrementaron la tasa de fotosíntesis y por consiguiente la producción de forraje. Las concentraciones de CO₂ de 350 y 700 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ no produjeron diferencias en la tasa de elongación, la longitud de la lámina y la senescencia de Ballico perenne; así como la tasa de aparición de hojas en el Trébol blanco. Sin embargo, la combinación de las concentraciones de CO₂ con tres temperaturas (10/4, 16/10 y 22/16 °C día/noche) afectó el peso del área foliar y del pecíolo, por unidad de longitud, del Trébol blanco. Los incrementos fueron de 4, 23 y 13 % con el aumento de la temperatura (10/4, 16/10 y 22/16 °C). El mayor rendimiento de materia seca, a elevadas concentraciones de CO₂, se atribuyó a un balance en las respuestas del trébol blanco y ballico perenne (Clark *et al.*, 1995).

2.2.3. Agua

El agua es la molécula más común de las muchas que circulan dentro de las células de los organismos vivos. Dentro de las plantas, el transporte de agua y minerales, que se da en largas distancias, ocurre en el interior de vasos conductores llamados xilema, que se extienden de la raíz a las hojas. En las plantas, aproximadamente el 99 % del agua absorbida por las raíces son liberados de vuelta a la atmosfera en forma de vapor de agua en un proceso conocido como transpiración. Esta pérdida de

agua puede acontecer en cualquier parte del organismo vegetal, pero las hojas son los principales órganos de transpiración (Da Silva *et al.*, 2008).

La cantidad de agua que es absorbida por las plantas, está en función de la cantidad de energía solar interceptada, se puede decir que el agua no puede ser considerada exactamente como una fuente para el crecimiento, si no más como un medio de disipar el exceso de energía solar recibida por las hojas y evitar un calentamiento excesivo, degeneración y desecación de los tejidos vegetales (Da Silva *et al.*, 2008).

Bajo condiciones de déficit hídrico, las plantas responden con cambios morfológicos y fisiológicos que les permiten disminuir la pérdida de agua y mejorar la eficiencia en el uso de este recurso. El déficit hídrico afecta negativamente la expansión del área foliar (Passioura, 1982), esto es debido a que el primer efecto del déficit hídrico, a nivel celular, es la reducción de la elongación y división celular (Turner y Begg, 1978). Como consecuencia de lo anterior, además se tienen efectos en reducción de la tasa de crecimiento foliar, menor tamaño de las hojas, reducción de la tasa de aparición de tallos, número de hojas vivas por tallo, y aumentos de los procesos de senescencia de hojas y macollos (Turner y Begg, 1978). Así que, la vida media foliar tiende a ser más corta y las coberturas menos densas bajo condiciones de estrés hídrico.

Brook y Hay, (1996) mencionan que el Trébol blanco es difícil de mantener en condiciones de sequía y, cuando ésta ocurre, los efectos en su desarrollo pueden ser dramáticos. Ellos estiman que puede haber pérdidas hasta del 90% de la población cuando el pastoreo es de forma rotacional, en comparación con pastoreo continuo. Al comparar ambos métodos de pastoreo en condiciones de sequía, no hubo pérdidas de estolones en el método continuo. Los autores atribuyen este efecto a la densidad de tallos de las praderas que fueron de 1-15000 tallos m^{-2} en pastoreo continuo, contra 5-6000 tallos m^{-2} en pastoreo rotacional, este último con grandes áreas de suelo descubierto, mientras que en pastoreo continuo, la mayor densidad de tallos proporcionó sombra y lo cubrió de la radiación solar directamente.

En un estudio bajo invernadero y dando condiciones de estrés hídrico durante 30 días a plantas de Ballico, Festuca y Trébol blanco, Karsten y MacAdam (2001), encontraron que la cantidad de materia seca se redujo en comparación con las plantas con condiciones de humedad. Después de 10 días de recuperación al estrés hídrico, las plantas de Ballico perenne, tenían menor concentración de carbohidratos de reserva en comparación con el Trébol blanco, además este último se recuperó mejor en comparación con el Ballico después de este periodo.

2.2.4. Suelo

Muchos factores del suelo (material parental, textura, densidad aparente, clase de drenaje, pH, contenido de materia orgánica, nutrientes vegetales disponibles y componentes microbianos) afectan el crecimiento del trébol blanco y, debido a que estos factores interactúan, es difícil determinar las influencias dominantes de los datos publicados. Sin embargo, en general se acepta que el trébol blanco tiene necesidades físicas y químicas más específicas del que la gramínea que lo acompaña (Frame y Newbould, 1986).

En cuanto a los aspectos físicos del suelo, según Burdon (1983), el Trébol blanco se ha encontrado en suelos que van de textura arenosa a arcillosa, con cantidades muy variables de materia orgánica en el perfil, pero raramente en suelos de turba. Está ausente en suelos inundados continuamente pero puede sobrevivir en dunas de arena, no se le encuentra en suelos pocos profundos propensos a la sequía y en suelos fuertemente salinos (Burdon, 1983).

Andrew (1976) trabajando en un suelo arenoso, encontró que el crecimiento del Trébol blanco, bajo condiciones simbióticas fue casi nulo a un pH de 4.0 y se incrementó linealmente de pH 4.0 a 6.0; la nodulación se redujo a un pH por debajo de 5, por eso la sugerencia de que el Trébol blanco requiere un pH no menor de 5.5 con cantidades suficientes de calcio, sigue siendo aceptada (Frame y Newbould, 1986).

Kemp *et al.* (1999) definen la fertilidad del suelo, como la capacidad de suplir cantidades adecuadas de nutrientes minerales para satisfacer los requerimientos de la planta. También mencionan que la productividad de un sistema de pastoreo depende de la fertilidad del suelo y una combinación de otros factores biológicos, físicos y químicos que determinan el crecimiento del forraje y de los animales. La fertilidad del suelo, es una variable que puede ser alterada por los productores a través de la aplicación de fertilizantes, mientras que otros factores no son alterables fácilmente. Existen una cantidad de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas forrajeras, que al igual que todas las plantas necesitan y se pueden clasificar en macronutrientes como nitrógeno, azufre, fósforo, potasio, calcio y magnesio, y algunos micronutrientes como zinc, boro, manganeso, entre otros (Da Silva *et al.*, 2008).

Respecto al nitrógeno en el crecimiento del Trébol blanco es bien sabido que uno de los principales usos del trébol es la fijación de nitrógeno atmosférico y así mantener la fertilidad del suelo (Brook y Hay, 1996). Sin embargo, una aplicación pequeña (20-60 kg N⁻¹ ha⁻¹) al momento de la siembra es necesaria para el establecimiento del trébol hasta que se formen los nódulos y la fijación de nitrógeno comience (Haystead y Marriot, 1987).

El Trébol blanco es capaz de crecer en condiciones donde la cantidad de nitrógeno es deficiente y la de otros nutrientes están disponibles. Sin embargo, la fijación de nitrógeno no es obligatoria y el Trébol blanco utilizará el nitrógeno mineral del suelo si está disponible y, en segundo lugar, la fijación de nitrógeno atmosférico para hacer frente a una caída del nutriente, es decir, la fijación de nitrógeno opera predominantemente en condiciones de deficiencia de N dentro de la planta (Brook y Hay, 1996). Al respecto, Caradus *et al.* (1996), señalan que la cantidad de nitrógeno fijada por el Trébol blanco puede ser tan alta como 600 a 700 kg ha⁻¹ año⁻¹ cantidad que depende de muchos factores que limitan el crecimiento del trébol, tales como la disponibilidad de otros nutrientes, humedad del suelo, temperatura, manejo del

pastoreo, competencia intraespecífica y cepas apropiadas de *Rhizobium*. Cuando estos factores son deficientes la cantidad de nitrógeno fijado puede bajar tanto como $17 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ al igual que la producción del Trébol.

El fósforo (P) es el segundo nutriente limitante para el crecimiento del Trébol blanco después del nitrógeno (Aerts y Chapyn, 1999). La mayoría de los suelos requieren cantidades anuales de fósforo y azufre para un rendimiento adecuado del Trébol blanco, mientras que el potasio adicional es necesario en sistemas de pastoreo intensivo, tales como la producción de leche; los requerimientos de estos nutrientes aumentan a medida que las tasas de extracción aumentan (Woodfield y Caradus, 1996).

El molibdeno es particularmente importante para el trébol blanco, ya que es esencial para la nitrogenasa, enzima responsable de la fijación de nitrógeno en los nódulos de trébol; otros elementos importantes para el crecimiento de las plantas o para la fijación de N, pero en general no hay deficiencias en los suelos, incluyen cobre, cobalto y boro (Brook *et al.*, 1989).

2.3. Factores de manejo que influyen en el crecimiento de trébol blanco

El Trébol blanco, es una especie que se extiende vegetativamente hacia nichos favorables, mediante extensiones laterales de un sistema de estolones a través del punto de crecimiento apical y con un crecimiento indeterminado. Normalmente el crecimiento en el ápice es equilibrado por una muerte periódica del estolón basal viejo y remplazado por el nuevo en crecimiento liberando las ramificaciones para formar nuevas plantas de tamaño variable y de ramificaciones complejas. Tal fragmentación produce una población de plantas, que aunque en proceso de cambio continuo, mantiene una relativa estabilidad entre las categorías la mayor parte del año, excepto en primavera (Brook y Hay 1996). En particular, la estrategia de crecimiento del trébol, implica un vástago verdadero, denominado estolón y que

comprende una cadena de tallos. Como en los pastos, nuevos tallos son agregados regularmente de un punto de crecimiento o meristemo apical, que está usualmente por debajo de la altura de corte, mientras los tallos viejos mueren y se descomponen en el otro extremo del estolón (Valentine y Matthew, 1999).

Black *et al.* (2009) describen el hábito de crecimiento del Trébol blanco detalladamente: tiene una morfología segmentada, la cual es visible en el tallo, cada tallo está compuesto por cadenas de segmentos (fitomeros), nuevos segmentos son formados en la yema apical, la cual se encuentra en la punta del tallo. Cada segmento tiene un nudo, que comprende una hoja, peciolo, el brote o yema axilar y un entrenudo. La yema axilar es capaz de formar raíces, flores o nuevos tallos. Cada nuevo segmento va hacia un ciclo de vida similar; así como un segmento crece envejece y muere, es remplazado por uno nuevo. La morfología segmentada permite la cosecha repetida y el rebrote de las hojas y peciolos. El Trébol blanco tiene un hábito de crecimiento estolonífero y un sistema de raíces adventicias. Las yemas axilares del tallo primario comienzan a desarrollar nuevos tallos, los cuales, subsecuentemente se desarrollan en estolones que crecen en la superficie del suelo. Las hojas, peciolos y raíces adventicias se forman en los nudos a lo largo del estolón, eventualmente los segmentos viejos mueren y los estolones se ven aislados de la planta madre, estos estolones fragmentados, se vuelven plantas independientes y pueden formar nuevos estolones; lo cual significa que el trébol blanco se auto reemplaza por lo que ha sido nombrado como hábito de crecimiento “clonal”. En el mismo artículo, se señala que el hábito de crecimiento estolonífero del Trébol blanco, minimiza la pérdida de las yemas o puntos de crecimiento durante el pastoreo.

Al igual que en todas las especies vegetales, las estaciones del año tienen un marcado efecto sobre el crecimiento del Trébol blanco. Caradus *et al.*, (1996) mencionan que durante el invierno, cerca del 90 % de los estolones pueden ser enterrados por el pisoteo del ganado y la actividad de las lombrices de tierra, con nuevos estolones estableciéndose en la superficie del suelo durante primavera y

verano. Sin embargo, durante la primavera la población de plantas del trébol es frágil y susceptible al mal manejo y estrés ambiental. En verano, los estolones aumentan la masa hasta que el equilibrio entre la formación de nuevos estolones y la muerte de los viejos se vuelve a establecer, este equilibrio se mantiene hasta el final del invierno.

Black *et al.* (2009) mencionan que la población de los puntos de crecimiento (aquellos que producen hojas cosechables) en plantas de Trébol blanco, siguen un ciclo anual. Este pasa de una baja población en primavera, a su concentración máxima hacia finales de julio. Después, declina de manera constante hacia el otoño y a la entrada del invierno, de modo que los estolones viejos mueren y no son reemplazados. A principios de la primavera, las reservas de carbohidratos en el estolón se encuentran en el nivel más bajo, lo cual significa que el trébol está más vulnerable para la competencia con la gramínea que lo acompaña, por tal razón, el pastoreo necesita ser controlado a principio y mediados de primavera (mediante pastoreo frecuente y minimizando la aplicación de nitrógeno) para mantener el dosel bajo y que la luz llegue al estolón y se estimule la ramificación y al mismo tiempo permitir a las hojas del trébol fotosintetizar y acumular reservas en el estolón. A finales del otoño y en el invierno, se necesita cuidado para evitar daño y el enterramiento de los estolones durante el pastoreo, lo cual puede conducir a un incremento en la muerte de estolones durante el invierno (Patterson *et al.*, 1995).

2.4. Frecuencia e intensidad de pastoreo

La intensidad y frecuencia de pastoreo pueden influenciar fuertemente el balance entre el Trébol blanco y la especie que lo acompaña (Caradus *et al.*, 1996). El sobrepastoreo en verano es perjudicial para el trébol blanco, posiblemente debido a la excesiva pérdida de estolones. Estos estolones a menudo tienen menos y desarrollaron menos raíces nodales cuando la superficie de la tierra está seca (Caradus *et al.*, 1996).

Frame y Newbold (1986) mencionan que se ha demostrado mediante muchos estudios de corte que la producción total de forraje de praderas de trébol blanco con gramíneas generalmente se incrementa cuando el intervalo entre defoliaciones se alarga. Los mismos autores, indican que a altas tasas de aplicación de nitrógeno, hay un efecto benéfico del corte frecuente, ya que se aumentan los puntos de crecimiento, se promueve la aparición de hojas fotosintéticamente activas y reduce la competitividad del pasto en asociación. En praderas mixtas que recibieron hasta 400 kg N ha⁻¹ año⁻¹, la producción de Trébol blanco se incrementó al incrementar los intervalos de defoliación de 3 a 6 semanas, pero la proporción del trébol disminuyó o se mantuvo igual.

La interacción de frecuencia con severidad de defoliación, tiene marcados efectos sobre la morfología del Trébol blanco, (peso seco, área foliar, longitud y diámetro del entrenudo) y la tasa de sobrevivencia de las unidades de crecimiento (estolones y tallos). La defoliación no frecuente pero severa, tal como se practica en el pastoreo rotacional, al tiempo que permite el desarrollo de grandes órganos (hojas, tallos, etc.), también da lugar a la muerte o desaparición de muchas unidades nuevas de crecimiento bajo pastoreo rotacional (Hunt, 1982) y las praderas permanecen relativamente bajas en tallos y densidad de plantas. En defoliaciones más frecuentes y ligeras, como la experimentada en pastoreo continuo, hay una restricción del tamaño de los órganos; sin embargo, se mejora la supervivencia de tallos y estolones, de igual forma aumenta la densidad de la gramínea en asociación. Estos efectos tienen mayor influencia sobre la gramínea cuando acompaña al trébol, donde la severidad de defoliación es directamente proporcional al tejido removido del arreglo vertical de las hojas. Con el Trébol blanco, donde las hojas expandidas completamente se encuentran sobre lo más alto del dosel, la severidad de pastoreo es menos importante, ya que aparentemente todas las láminas foliares expandidas son removidas tempranamente. Por tanto, el potencial de acumulación de materia seca del Trébol blanco es controlado ampliamente por la frecuencia de defoliación (Brook y Hay 1996).

Ratray (2005), menciona que en praderas asociadas, el pastoreo frecuente favorece al Trébol blanco, mientras que el pastoreo menos frecuente favorece al Ballico. Por su parte Brook y Hay (1996) indican que el pastoreo frecuente durante la primavera, favorece el crecimiento posteriormente en el verano, lo cual puede ser logrado con pastoreo continuo, o pastoreo rotacional frecuente, no obstante, el pastoreo continuo es recomendado por su fácil manejo. Estas defoliaciones frecuentes durante la primavera e inicios del verano controlan el crecimiento del pasto Ballico y la aparición del pedúnculo floral y semillas (Ratray, 2005).

Widdup y Turner (1983) evaluaron cuatro cultivares de trébol blanco a diferente periodo de pastoreo de 4 y 6 semanas de rebrote, en monocultivo y en asociación con *Lolium perenne*. Los autores reportan mayor acumulación de materia seca en el tratamiento con seis semanas de descanso. De los cuatro cultivares, el de menor rendimiento fue el cultivar Kent, el cual se clasifica como trébol de hoja pequeña, en contraste el cultivar Pitau, (trébol de hoja grande) que tuvo siempre mayores rendimientos. Dentro de frecuencia de pastoreo, praderas que contenían Kent produjeron los rendimientos más bajos de trébol, pero el mayor rendimiento de gramíneas asociadas. Por el contrario, la pradera basada en Pitau (hoja más grande) tuvo el mayor rendimiento de trébol, pero más bajo rendimiento de la gramínea. Los tréboles con características morfológicas intermedias dieron proporciones de gramínea- trébol intermedios.

Black *et al.* (2009), mencionan que el efecto del cultivar y el patrón de defoliación sobre la acumulación de materia seca y la persistencia del Trébol blanco están intrínsecamente vinculadas. Los autores señalan que cada cultivar de trébol, mantiene una plasticidad que permite cierto nivel de adaptación morfológica a cambios en el patrón de defoliación, en un intento por mantener el índice de área foliar para interceptar luz a diferentes niveles de la masa de forraje. Así, cuando la frecuencia e intensidad son más severos, el trébol responde produciendo hojas más pequeñas, peciolo más cortos y estolones cortos y dispersos, los cuales aumentan la densidad de los puntos de crecimiento del estolón. Dicha capacidad varia

marcadamente entre cultivares, así por ejemplo, Brock (1988), comparó diferentes cultivares de trébol bajo pastoreo rotacional y continuo, pastoreados por ovejas, donde el autor encontró que el cultivar de hoja pequeña (cv. Tahora), redujo su tamaño lo suficiente como para sobrevivir al pastoreo continuo y el contenido de trébol se incrementó. En contraste, un cultivar de hoja grande, (cv. Kopu) que fue pastoreado continuamente, tuvo menor número de hojas por punto de crecimiento, causando que declinara la cantidad de estolón y el contenido de trébol. Por eso, la selección del cultivar correcto es importante y depende del sistema de pastoreo (Brock y Hay, 1996; Brock y Tilbrook, 2000).

En lo que respecta a intensidad de pastoreo del Trébol blanco, Brougham (1956) realizó un estudio en una pradera de pasto Ballico, Trébol rojo y Trébol blanco, cortando a una altura de 2.5, 7.5 y 12.5 cm de altura. Durante 32 días y un intervalo de 4 días, se realizaron mediciones de cantidad de materia seca, área de hoja sobre área de superficie y el porcentaje de luz interceptada a 2.5 cm sobre la superficie del suelo. A la altura de 2.5 cm, el 95 % de intercepción luminosa se alcanzó al día 24, mientras que en los tratamientos de 7.5 12.5 cm, se alcanzó casi el 100 % de intercepción luminosa a los días 16 y 4 respectivamente, la cantidad de materia seca fue de 1,500 kg ms ha⁻¹ independientemente del tratamiento.

En un estudio realizado en Irlanda por Phelan *et al.* (2012) quienes evaluaron tres alturas del forraje residual (4, 5 y 6 cm) con el objetivo de medir el efecto en el contenido de trébol blanco, la acumulación de materia seca y la producción de leche en praderas de trébol con ballico perenne en un sistema de pastoreo en franjas. Los autores encontraron que los tratamientos no afectaron significativamente el contenido de trébol en la pradera; sin embargo, el rendimiento de trébol y pasto fue significativamente mayor en el tratamiento de 4 cm de altura del forraje residual, siendo el promedio anual de tres años de 11.1, 10.2 y 9.1 t de MS ha⁻¹ para los tratamientos de 4, 5 y 6 cm de altura de forraje residual. Los autores le atribuyen el efecto a que cuando se tuvo menor altura del forraje residual se evitó el sombreado

de los puntos de crecimiento tanto del pasto como del trébol; manejar praderas similares a una altura de 4 cm del forraje residual es recomendado por los autores.

2.5. Rendimiento de forraje de Trébol blanco

Brook y Hay (1996) mencionan que el forraje del Trébol blanco es superior que las gramíneas en cuanto a calidad de alimento se refiere, pero debido a su hábito de crecimiento estolonífero y su pobre capacidad competitiva por nutrientes, este ocupa un posición secundaria en praderas mixtas dominadas por pastos que generalmente se consideran más competitivos, con su límite máximo de producción regulado por la fertilidad del suelo. Es claro que tener como objetivo una pradera con alto rendimiento y con elevado porcentaje de Trébol blanco es probablemente irreal, incluso con el mejor manejo y recursos.

Frame y Newbold (1986) reportan rendimientos del Trébol blanco, bajo riego y en monocultivo, de 11.8 t MS ha⁻¹ pero con un pasto como maleza, manteniendo el monocultivo limpio mediante aplicaciones de herbicida, se reportan 10.3 t MS ha⁻¹. Clark y Harris (1996) citan rendimientos del trébol blanco como monocultivo de 11.2 y 10.8 t MS ha⁻¹ con y sin riego respectivamente; sin embargo, estos rendimientos se consideran insuficientes para cubrir los requerimientos energéticos en un sistema intensivo de producción de leche.

Hullier (1987) realizó un estudio para medir el efecto de la carga animal sobre la acumulación de materia seca del Trébol blanco en praderas mixtas con Ballico perenne y bajo pastoreo con vacas lecheras. Este autor reporta que bajo dos diferentes cargas animal, una baja (2.77) y otra alta (4.28 vacas ha⁻¹) la acumulación fue de 3.23 y 3.5 t MS ha⁻¹, respectivamente. El porcentaje presente de trébol cambió entre estaciones en 30 % en verano y 14 % en invierno, reportándose tasas de crecimiento que fueron de 5.7 a 24. 2 kg MS ha⁻¹ d⁻¹.

Por su parte, Castro *et al.* (2012) en Texcoco, estado de México, reportan rendimientos del Trébol blanco en diversas asociaciones con pasto Ovillo y Ballico perenne en donde el porcentaje de trébol siempre fue del 40 %. Estos rendimientos fueron de 5.1 t MS ha⁻¹ cuando la asociación fue con 60 % de pasto Ovillo a 10.1 t MS ha⁻¹ con 20% de Ovillo y 40% de ballico Perenne, alcanzándose tasas de crecimiento que fueron de 15 a 28 kg MS ha⁻¹ d⁻¹.

En Provincia de Buenos Aires, Argentina, Sevilla *et al.* (2001) estudiaron las curvas de crecimiento de forrajes templados, entre ellos el Trébol blanco, bajo condiciones de riego y en una región donde la temperatura media anual es de 15 °C y una temperatura máxima y mínima media anual de 22 y 9 °C, respectivamente. La tasa de crecimiento del trébol blanco registró un promedio en tres años de 10.7 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, con un valor máximo de 31.6 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ en la primavera del primer año de estudio y tan bajo como 2.1 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ en el verano del tercer año de estudio y fue la leguminosa con menores valores en comparación con Alfalfa, Lotus y Trébol rojo.

2.6. Conclusiones de la revisión de literatura

El trébol blanco es una leguminosa forrajera que aporta grandes beneficios a los sistemas de pastoreo, tales como aumento en la calidad del forraje consumido, y disminución en el uso de fertilizante nitrogenado al fijar mediante simbiosis con bacterias del genero *Rhizobium* nitrógeno atmosférico. Sin embargo su crecimiento es afectado por factores climáticos, manejo y propios de la especie.

Su rendimiento como monocultivo es menor en comparación con otras leguminosas como la alfalfa, por lo tanto es frecuentemente asociado con gramíneas tales como Ballico perenne y pasto Ovillo.

LITERATURA CITADA

Aerts R., and S. Chapin III, F. 1999. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Advances in ecological research*, 30: 1-67.

Aizpuru, I., C.Aseginolaza, P. Uribe-Echebarría, M., P. Urrutia, y I. Zorrakin, 1999. Claves ilustradas de la flora del país vasco y territorios limítrofes. Servicio central de publicaciones del gobierno vasco, Vitoria, España. 245 p.

Baruch, Z., y J. Fisher, M. 1991. Factores climáticos de competencia que afectan el desarrollo de la planta en el crecimiento. En: *Establecimiento y renovación de pasturas. Conceptos, experiencia y enfoques de la investigación*, Red de Investigación y Evaluación de Pastos Tropicales. CIAT. Colombia. Pp: 103-142.

Black A., D., S. Laidlaw, A., J. Moot, D., and P. O'Kiely. 2009. Comparative growth and management of white and red clovers. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 45:149-166.

Brock J.,L. 1988. Evaluation of New Zealand bred white clover cultivars under rotational grazing and set stocking with sheep. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 49: 203–206.

Brock J., L., R. Caradus J., and M. Hay M. J. 1989. "Fifty years of white clover research in New Zealand." *Proceedings New Zealand Grassland Association* 50: 25-39.

Brock J., L., and M. Hay, M. J. 1996. A review of the role of grazing management on the growth and performance of white clover cultivars in lowland New Zealand pastures. *Special Publication-Agronomy Society Of New Zealand*. 28: 65-70.

Brock J., L., and C. Tilbrook J. 2000. Effect of cultivar of white clover on plant morphology during the establishment of mixed pastures under sheep grazing. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 43: 335-343.

Brougham R.,W. 1956. Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture. Australian Journal of Agricultural Research. 7: 377–387.

Brougham R., W. 1955. A study in rate of pasture growth. Crop and Pasture Science, 6(6), 804-812.

Burdon J., J. 1983. Trifolium repens L. The Journal of Ecology. 24:307-330.

Buxton D., R and L. Fales S. 1994. Plant environment and quality. In: Faher G., C. editor. Forage quality, evaluation and utilization. Madison (Ne): University of Nebraska. American Society of Agronomy. 56: 155-199.

Caradus J., R., R. Woodfield D. and V. Stewart A. 1996. Overview and vision for white clover. Special publication-Agronomy Society of New Zealand. 11: 1-6.

Carneiro B., Pedreira, C. G. S. P., y S. Da Silva C. 2009. Acúmulo de forragem durante a rebrotaç o de capim-xara s submetido a tr s estratégias de desfolha o1. R. Bras. Zootec, 38(4): 618-625.

Castro R., R., A. Hernández G., J. Pérez P., J. Hernández G., A. R. Quero C., J. F. Enríquez Q., y P. A. Martínez H. 2012. Comportamiento productivo de cinco asociaciones gramíneas-leguminosas bajo condiciones de pastoreo. Revista Fitotecnia Mexicana. 35(1):87-95.

Clark D., A., and L. Harris S. 1996. White clover or nitrogen fertiliser for dairying?. Special Publication-Agronomy Society Of New Zealand, 107-114.

Clark H., Newton P.C.D., Bell C.C., and Glasgow E.M. 1995. The influence of elevated CO2 and simulated seasonal changes in temperature on tissue turnover in pasture turves dominated by ryegrass (*Lolium perenne*) and white clover (*Trifolium repens*). Journal of Applied Ecology. 32: 128-136.

COTECOCA. 2008. Comisión Técnica Consultiva de Coeficientes de Agostadero. SAGARPA, México.

Ćupina B., Mikić, A., Krstić, Đ., Antanasović, S., D'Ottavio, P., and Erić, P. 2013. Yield Dynamics and Quality in White Clover and Perennial Ryegrass in the First cut of the Establishment year. In *Breeding strategies for sustainable forage and turf grass improvement* pp. 327-332.

Da Silva S., C., y D. Nascimento Júnior D. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 36: 122-138.

Da Silva S., C., Nascimento Júnior, D. Do, Euclides, V. P. B .2008 *Pastagens: conceitos básicos, produção e manejo*. Viçosa, MG: Suprema. 115 p.

Duran J., L., R Schäufele, and F Gastal. 1999. Grass leaf elongation rate as a function of developmental stage and temperature: Morphological analysis and modeling. *Annals of Botany*. 83: 577-588.

Duthil, J. 1989. *Producción de forrajes*. 4ª edición. Ediciones Mundiprensa. España. 443 p.

Fulkerson, W. J., Neal, J. S., Clark, C. F., Horadagoda, A., Nandra, K. S., and Barchia, I. 2007. Nutritive value of forage species grown in the warm temperate climate of Australia for dairy cows: grasses and legumes. *Livestock science*,107(2): 253-264.

Frame J. and Newbould P. 1986. *Agronomy of white clover*. *Advances in Agronomy*; 40: 1-88.

Giacomini, A. A., Silva, S. C. D., Sarmiento, D. O. D. L., Zeferino, C. V., Trindade, J. K. D., Souza Júnior, S. J. and Nascimento Júnior, D. D. 2009. Components of the leaf area index of marandu palisadegrass swards subjected to strategies of intermittent stocking. *Scientia Agricola*, 66(6): 721-732.

Hernández-Garay, A y Martínez-Hernández P. A. 1997. Utilización de pasturas tropicales. En Torres H. G y P. Díaz R. (Eds.) *Producción de ovinos en zonas tropicales*. Fundación produce-INIFAP. pp. 8-24.

Hodgson, J. 1990. *Grazing Management. Science into Practice*. Longman Scientific and Technical. Essex, England. 203 p.

Hunt, R. 1982. *Plant growth curves. The Functional Approach to Plant Growth Analysis*. Edward Arnold. London, England. 248 p.

INEGI. 2013. Superficie sembrada de los principales cultivos anuales en el año agrícola 2013. Consultado en línea <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx>

Jiménez, M. A. y Martínez, H. P. A. 1984. *Utilización de praderas*. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 85 p.

Juscafresca, B. 1983. *Forrajes, fertilizantes y valor nutritivo*. 2ª edición. Editorial Aedos Barcelona, España. 203 p.

Karsten, H. D. and MacAdam J. W. 2001. Effect of drought on growth, carbohydrates, and soil water use by Perennial Ryegrass. Tall Fescue and White Clover. *Crop Science*. 41:156-166.

Kemp, L.M., Condrón, L.M. and Mathew, C. 1999. Pastures and soil fertility. In: *New Zealand pasture and crop science*. White, J., and Hodgson, J. eds. Oxford University Press. New Zealand. 321 p.

Lemaire, G., Da Silva, S. C., Agnusdei, M., Wade, M. and Hodgson, J. 2009. Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. *Grass and Forage Science*. 64: 341–353.

Lemaire, G., and Chapman, D. 1996 "Tissue flows in grazed plant communities." *The ecology and management of grazing systems*. Wallingford: CAB International: 3-36.

Martínez, M. 1979. *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*. Fondo de Cultura Económica, México, D.F.

McKenzie, B. A., Kemp, P. D., Moot, D. J., Matthew, C., Lucas, R. J. 1999. Environmental effects on plant growth and development. In: White J, Hodgson J editors. New Zealand Pasture Crop Science. Auckland, N. Z: Oxford University Press. Pp: 29-44.

Moliterno, E. A. 2002. Variables básicas que definen el comportamiento productivo de mezclas forrajeras en su primer año. *Agrociencia*. 6: 40-52.

Muslera, P. E. y Ratera C. G. 1991. Praderas y Forrajes, Producción y Aprovechamiento. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 674 p.

Nurjaya, IG. M. O. and Tow P. G.. 2001. Genotype and enviromental adaptation as regulators of competitiveness. In: Philip G. and Alec Lazenby (Eds.). *Competition and succession in pastures*. CABI Publishing. Wallingford. UK. Pp: 43-62.

Passioura, J. B. 1982. Water in the soil-plant atmosphere continuum. In: O. L. Lange, P. S. Nobel, C. B. Osmond, and H. Ziegler (eds.), *Physiological plant ecology II. Water relations and carbon assimilation*. Springer Verlag, New York. 12: 5-33.

Patterson, J.D., Laidlaw, A.S. and McBride, J. 1995. The influence of autumn management and companion grass on the development of white clover over winter in mixed swards. *Grass and Forage Science* 50: 345–352.

Perreta, M. y Vegetti A. 1997. Formas de crecimiento y efectos del corte en gramíneas forrajeras. *Revista FAVE*. 2: 68-80.

Phelan, P., Casey, I. A. and Humphreys, J. 2013. The effect of target postgrazing height on sward clover content, herbage yield, and dairy production from grass-white clover pasture. *Journal of dairy science*. 96(3): 1598-1611.

Ratray, P. V. 2005. Clover management, research, development & extension in the New Zealand pastoral industries. Report. Sustainable Farming Fund. Commissioned by Sustainable Farming Fund (SFF). New Zealand.

Rzedowski, G. C. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro, Michoacán, México.

Salisbury, F.B. and Ross, C.W. 1992. Plant physiology. 4.ed. California:Wadsworth Publishing Company. 682p.

Sevilla G A, A Pasinato, J M García. 2001. Curvas de crecimiento de forrajeras templadas irrigadas. Archives of Latin America Animal Production. 9: 91-98.

Simpson, R. J. and Vulvenor, R. A. 1987. Photosynthesis, carbon partitioning and herbage yield. Temperate Pastures. Pp: 113 – 114.

Turner, N.C. and Begg, J.E. 1978. Responses of pasture plants to water deficits. *In* Plant Relations in Pastures (J.R.Wilson, Ed). Pp: 50-66.

Valantine I. and C. Natthew. 1999. Plant growth, development and yield. In: New Zealand Pasture and crop science. Oxford university press. New Zeland. Pp: 11-27

Velasco, Z. M. E., Hernández, G. A., González, H. V. A., Pérez, P. J., Vaquera, H. H., y Galvis, S. A. 2001. Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto Ovillo (*Dactylis glomerata* L.). Técnica Pecuaria en México. 39(1):1-14.

Velasco, Z. M. E., Hernández, G. A., González, H. V. A., Pérez, P. J., Vaquera, H. H. 2002. Curvas estacionales de crecimiento del ballico perenne. Revista Fitotecnia Mexicana. 25(1): 97-106.

Villaseñor Ríos, J. L. y Espinosa García F. J. 1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario y Fondo de Cultura Económica, México, D.F.

Villegas A Y, G A Hernández, P J Pérez, C C López, H J Herrera, Q J Enríquez, V A Gómez. 2004. Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Técnica Pecuaria en México. 42(2): 145-158.

Widdup, K. H., & Turner, J. D. 1983. Performance of 4 white clover populations in monoculture and with ryegrass under grazing. *New Zealand journal of experimental agriculture*, 11(1): 27-31.

Woodfield, D. R. and Caradus, J. R. 1996. Factors affecting white clover persistence in New Zealand pastures. In *Proceedings Of The Conference-New Zealand Grassland Association*. Pp: 229-236.

Zaragoza, E. J., Hernández, G. A., Pérez, P. J., Herrera, H. J. G., Osnaya, G. F., Martínez, H. P. A., González, M. S., y Quero, C. A. R. 2009. Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto Ovillo. *Técnica Pecuaria en México*. 47(2):173-188.

CAPÍTULO. 3. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO ESTACIONAL DE TRÉBOL BLANCO

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue estudiar el crecimiento estacional del Trébol blanco como base para determinar el momento fisiológico óptimo de cosecha, para ello se realizó un análisis de crecimiento, por estación, en una pradera de dos años de establecida donde persistía una población de Trébol blanco se trazaron 24 parcelas de 3 x 3 m, distribuidas en un diseño completamente al azar con ocho tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en cortes semanales sucesivos, durante un ciclo de rebrote de ocho semanas, a mediados de cada estación del año. Al inicio del estudio se realizó un corte de uniformización y se determinó el forraje residual, mediante tres muestras de 0.25 m² tomadas a ras de suelo; posteriormente, cada semana se cosecharon, de la misma forma, tres muestras en parcelas diferentes. Las variables evaluadas fueron: acumulación de materia seca, tasa de crecimiento del cultivo, composición botánica y morfológica, índice de área foliar y altura de la pradera. En los resultados se observa que la mayor cantidad de forraje ($P < 0.05$) se presenta en la octava semana de primavera y otoño, séptima en verano, (2694, 1482 y 2070 kg MS ha⁻¹) y en invierno hacia la sexta semana se acumularon 1420 kg MS ha⁻¹. La mayor tasa de crecimiento ($P < 0.05$) se presentó en la octava semana en primavera y otoño, en la quinta en verano e invierno (46, 29, 43 y 29 kg MS ha⁻¹ d⁻¹). El mayor índice de área foliar se alcanzó en la octava semana en primavera y otoño ($P < 0.05$), en la quinta en verano y en la sexta en invierno (3.0, 1.9, 2.0 y 1.5). La hoja del trébol constituyó el principal componente del forraje excepto en verano. Los resultados sugieren que el pastoreo debe realizarse en la semana 7, 6, 7 y 5 para primavera, verano, otoño e invierno, cuando se ha alcanzado el mayor rendimiento de hoja.

Palabras clave: *Trifolium repens* L., análisis de crecimiento, Acumulación de forraje, tasa de crecimiento.

ABSTRACT

The aim of this research was to study the seasonal growth of white clover as the basis for determining the optimal physiological time to harvest. To this end, a seasonal growth analysis was carried out. Twenty four (24) plots (3 x3 m) were allocated in a completely randomized design with eight treatments and three replicates. Treatments consisted of successive cuts at weekly intervals during an eight weeks regrowth cycle at the middle of each season. At the beginning of the trail all plots were cut to 5 cm height and three samples of 0.25 m² were cut at ground level to determine residual herbage mass. From then on three different plots were harvested each week of the same way. The evaluated variables were cumulative herbage mass, growth rate, botanical and morphological composition, leaf area index and forage height. Results showed that the highest cumulative herbage mass (P<0.05) was found at the octave week of regrowth in spring and autumn, seventh in summer with (2694, 1482 y 2070 kg DM ha⁻¹, respectively, in winter toward six week of regrowth were accumulated 1420 kg DM ha⁻¹ before a frost damage the crop. The highest growth rate (P<0.05) was recorded at the octave week in spring and autumn and in the fifth in summer and winter (46, 29, 43 y 29 kg DM ha⁻¹ d⁻¹). The highest leaf area index was seen at 8 week in spring and autumn (P<0.05) at 5 week in summer and 6 week in winter (3.0, 1.9, 2.0 y 1.5). The leaf clover constituted the main component of forage except in summer. Results suggest that grazing should be done in week 7, 6, 7, and 5 for spring, summer, autumn and winter, when it has reached the highest leaf yield.

Keywords: *Trifolium repens* L., growth analysis, cumulative herbage mass, growth rate.

INTRODUCCIÓN

Las curvas de distribución de forraje han sido utilizadas común y exitosamente en la evaluación de especies forrajeras (Mazzanti *et al.*, 1992). Radford (1967) describe un método de análisis de crecimiento utilizado para estudiar la curva de crecimiento del forraje durante el rebrote. El análisis utiliza variables que permiten inferencias sobre algunos aspectos fisiológicos del desarrollo de las plantas como la fotosíntesis, respiración y asignación de carbono (McGraw y Garbutt, 1990) en investigaciones agronómicas. Estas mismas variables pueden utilizarse para evaluar el impacto de las estrategias de manejo de pastoreo sobre las respuestas de la planta bajo condiciones de campo y contribuyen a la comprensión agronómica del funcionamiento general de las plantas en pastoreo bajo condiciones experimentales. De acuerdo con Enríquez y Romero (1999), la evaluación agronómica de especies forrajeras no se debe basar únicamente en la cosecha final del producto, ya que esto no permite conocer el efecto particular de los factores ambientales sobre la capacidad productiva de las plantas a lo largo de su ciclo biológico. Por eso, es de gran importancia describir su comportamiento fisiológico, la producción y la composición nutricional (Mora y Figueroa, 2005). Por tal motivo, el análisis de crecimiento vegetal, constituye una herramienta de gran valor para conocer la formación y acumulación de biomasa, determinada por los factores internos de la planta y por el ambiente en que se desarrolla (Rodríguez y Larqué-Saavedra, 1988).

El uso de leguminosas solas o asociadas con gramíneas permite mejorar el rendimiento y calidad nutricional del forraje que a su vez, mejoran las ganancias de peso, producción de leche, y la fertilidad del suelo por el aporte de nitrógeno atmosférico, así como una mejor intercepción de luz y distribución estacional de la producción de biomasa (Sanderson *et al.*, 2005). Es por ello que objetivo del presente estudio, fue determinar la curva de crecimiento estacional del Trébol blanco (*Trifolium repens* L.) para definir el momento fisiológico óptimo de cosecha durante el año.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El estudio se realizó en una pradera establecida con Trébol blanco en 2009, ubicada en el campo experimental del Colegio de Posgraduados, en Montecillo, Texcoco, Estado de México. El suelo del lugar es franco-arenoso, ligeramente alcalino (pH 7.8) con 2.4 % de materia orgánica y clasificado como typic ustipsamments (Ortiz, 1997). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación media anual de 645 mm y temperatura media anual de 15 °C; la temperatura promedio mensual mínima es de 11.6 °C y ocurre en enero y la máxima en mayo con 18.4 °C (García, 1988).

Manejo de las praderas

Se realizaron cuatro análisis de crecimiento, uno para cada estación. Inicialmente, la pradera estaba constituida por la asociación de dos gramíneas, pasto Ovillo (*Dactylis glomerata* L.) y Ballico perenne (*Lolium perenne* L.); sin embargo; al realizar el experimento durante la primavera del 2012, la presencia de estas especies era casi nula y prevalecía Trébol blanco como especie dominante. Los tratamientos consistieron en cortes sucesivos a intervalos de siete días, durante un ciclo de crecimiento de ocho semanas, distribuidos en un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Se trazaron 24 parcelas de 3.75 x 1.7 m donde se distribuyeron los tratamientos aleatoriamente. Durante el periodo de sequía, las praderas se regaron por gravedad a capacidad de campo cada dos semanas. Las praderas no fueron fertilizadas. A mediados de cada estación, se realizó un pastoreo de uniformización utilizando borregos como defoliadores, dejando el forraje residual a una altura de 5 cm aproximada. Después se cortaron a ras de suelo tres cuadros de 0.25 m² seleccionados al azar para determinar el forraje residual. Posteriormente, se cosecharon semanalmente tres cuadros de 0.25 m² dentro de parcelas diferentes en cada semana.

Datos climáticos

Los promedios mensuales de temperatura a la intemperie (máxima, media y mínima) y la precipitación mensual durante el periodo de estudio, se obtuvieron de la estación meteorológica del Colegio de Postgraduados, situada a 100 m del sitio experimental (Figura 1).

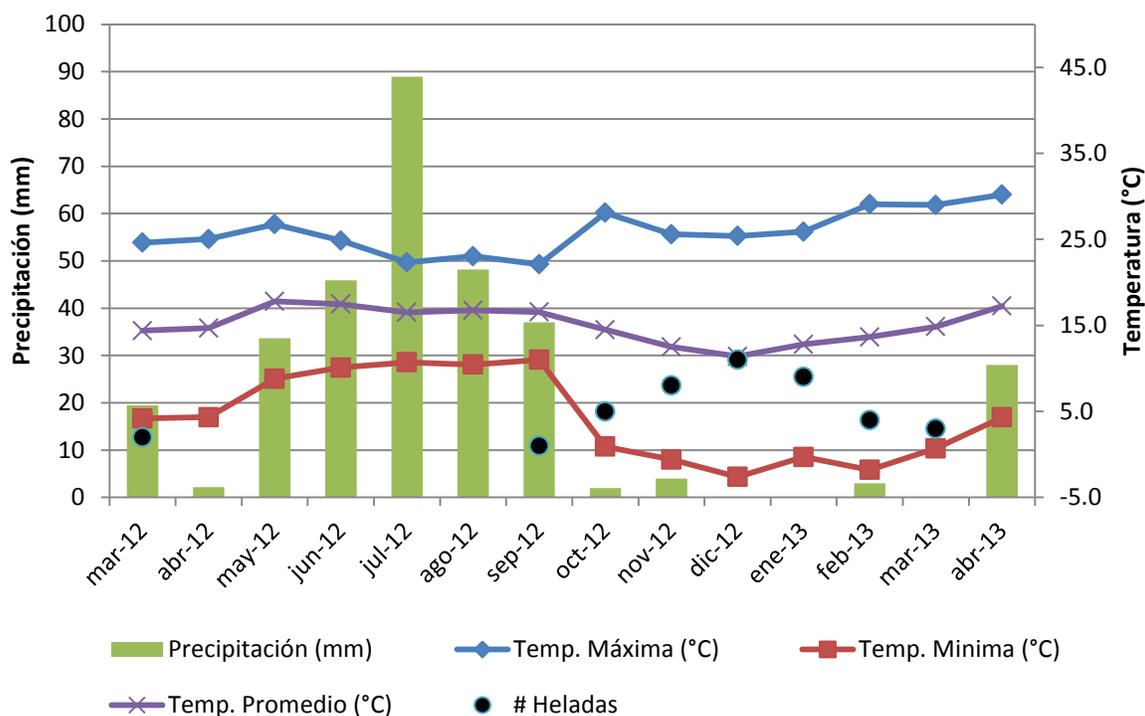


Figura 1. Temperatura media mensual máxima, mínima, promedio y precipitación mensual acumulada durante el periodo de estudio (marzo 2012 a abril 2013).

VARIABLES EVALUADAS:

Acumulación de materia seca

Después del pastoreo de uniformización, en un cuadro de 0.25 m² se realizaron cortes cada siete días a ras de suelo por repetición al centro de cada parcela

experimental. El forraje cosechado se lavó y secó en una estufa de aire forzado a 55 °C durante 72 horas para estimar la cantidad de materia seca por hectárea a las diferentes edades de rebrote.

Composición botánica y morfológica.

Para conocer la composición botánica del forraje cosechado, se tomó una submuestra de aproximadamente del 10 % y se separó en los siguientes componentes: material muerto, malezas, gramíneas y trébol blanco. Los componentes morfológicos de Trébol blanco fueron separados en hoja, peciolo, estolón y flor. Cada componente botánico y morfológico fue colocado en bolsas de papel, identificadas y secadas de igual forma que el resto del forraje; posteriormente, se procedió a determinar el peso de cada componente. Los incrementos estacionales en biomasa se obtuvieron restando la biomasa residual del pastoreo de uniformización a la biomasa cosechada semanalmente.

Índice de área foliar (IAF)

A cada muestra de hojas obtenida en la composición morfológica del Trébol blanco, se le determinó el área foliar con un integrador modelo LI-3100 (LI-COR, Inc.). Con los datos obtenidos y superficie de muestreo, se estimó el IAF.

Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento promedio se calculó con la cantidad de forraje (FC, en kg MS ha⁻¹), cosechado en cada corte y el tiempo transcurrido entre una defoliación a otra (t, en días), se calculó la tasa de crecimiento (Chapman y Lemaire, 1993) de la pradera (TC, en kg MS ha⁻¹ d⁻¹):

$$TC = FC/t$$

Métodos indirectos para estimar rendimiento de forraje

Con la finalidad de estimar de manera rápida la cantidad de forraje presente en determinado momento y sin tener que cortarlo, se relacionó la altura del dosel vegetal con el rendimiento de materia seca. Una de las herramientas que se utiliza es la regresión lineal. La altura de la planta se midió antes del corte, con una regla graduada de 50 cm de longitud y 1 mm de precisión, en los cuadros. Se tomaron 20 muestras al azar en toda la unidad experimental, para lo cual se colocó la regla por arriba de la superficie cubierta por las especies presentes y se deslizó hasta tocar el primer componente morfológico de la asociación y se registró el dato. De la misma manera, se tomaron 20 muestras al azar con el plato (*Rising Plate Meter*), el cual consiste en un plato de aluminio de 900 cm³ de área que se desplaza libremente hacia arriba o abajo en una columna central. Para estimar la altura con este instrumento, se coloca de manera vertical sobre el forraje, deslizándolo hasta que es contenido por la masa de forraje. Posteriormente, se registró la altura correspondiente (Hodgson *et al.*, 1999).

Para calibrar ambas técnicas de muestreo, antes de cortar el forraje presente en los cuadros asignados, se tomó la lectura con regla y plato, para posteriormente, obtener una ecuación de regresión, que correlacionó el muestreo obtenido de cada técnica con el rendimiento de forraje. Una vez derivada la ecuación de regresión, se sustituyeron los valores promedios de cada tratamiento por corte, para obtener los valores de rendimiento por corte.

Radiación interceptada

La radiación interceptada, se realizó antes de cada pastoreo mediante el método de la regla de madera (Adams y Arkin, 1977). Para ello, se tomaron lecturas en cada unidad experimental y consistió en deslizar una regla de madera de 1 m de longitud por debajo del dosel vegetal con una orientación sur-norte. En seguida, se contabilizaron los centímetros sombreados, los cuales representaron el porcentaje de

radiación interceptada por el dosel vegetal. La lectura se realizó entre las 12:00 y 13:00 horas del uso horario correspondiente, ya que es el momento adecuado debido a que el ángulo solar es alto y la intercepción de luz cambia al mínimo.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron por los procedimientos GLM de SAS (SAS, 2002), para un diseño experimental completamente al azar, con 8 tratamientos (correspondientes a igual número de estadios de crecimiento) con tres repeticiones y un análisis de regresión para cada variable, con el objetivo de describir la tendencia, a partir de seleccionar el mejor modelo, de acuerdo con el coeficiente de determinación y con el grado de significancia del modelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acumulación de materia seca

En la Figura 2 se presentan los cambios semanales en la acumulación estacional de forraje por componente morfológico de Trébol blanco. En todos los casos, la materia seca total aumentó con la edad de rebrote, hasta alcanzar el máximo rendimiento en la octava semana para primavera y otoño (2,688 kg MS ha⁻¹ y 1,515, respectivamente), y séptima en verano (2,070 kg MS ha⁻¹). Respecto a invierno, se presentó una helada intensa el 3 de marzo de 2013 que coincidió con la sexta semana de rebrote, lo cual afectó considerablemente el crecimiento. La cantidad de MS total acumulada durante esta semana fue de 1,420 kg MS ha⁻¹. La máxima acumulación de forraje se presentó durante primavera y fue superior en 48, 44 y 23 % a invierno, otoño y verano, respectivamente, habiendo diferencias significativas (P<0.05) entre primavera e invierno solamente.

La máxima acumulación de MS de hojas se presentó antes de la máxima acumulación de MS total en la semana 7 con 1,126 kg ms ha⁻¹ durante primavera y para verano, otoño e invierno coincidió con la máxima acumulación de MS con 844, 910, y 743 kg ms ha⁻¹, respectivamente. Durante primavera- verano, la producción de forraje fue favorecida por las condiciones climáticas que estimularon el buen crecimiento del trébol, incrementando la producción. Estos datos concuerdan con lo que Mooso y Wedin (1990) mencionan respecto a las condiciones favorables sobre la producción de biomasa. Por otro lado, en un estudio realizado en gramíneas y leguminosas templadas, Sevilla *et al.*, (2009) encontraron que la mayor tasa de crecimiento en Trébol blanco cultivar Lucero se presentó durante la primavera con un valor de 31.6 kg MS ha⁻¹ día⁻¹. En su caso, esto fue debido a que se presentaron condiciones de humedad y temperatura favorables.

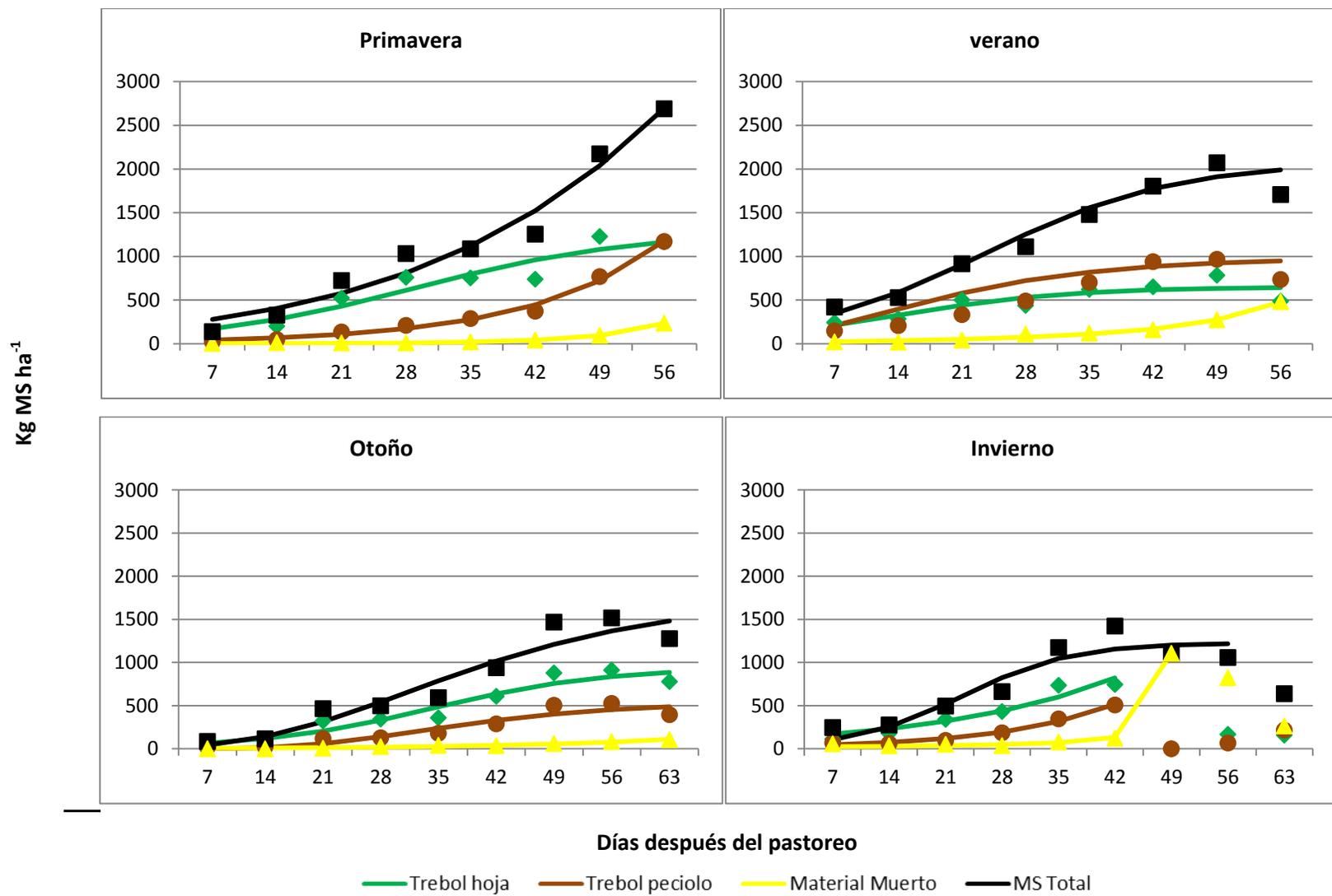


Figura 2. Curvas de crecimiento estacional del trébol blanco y por componente morfológico durante un ciclo de crecimiento de 8 y 9 semanas.

En crecimiento del trébol blanco mostró la tendencia a ser una curva clásica de crecimiento, tipo sigmoideal. Esta tendencia en el crecimiento, es semejante a la obtenida por Bircham y Hodgson (1983) y Chapman y Lemaire (1993), quienes al estudiar la dinámica de crecimiento en pastos templados, observaron que la acumulación neta de forraje se reduce, una vez que la planta alcanza el IAF óptimo, momento a partir del cual, el sombreado en capas inferiores se incrementa, principalmente cuando existen asociaciones con especies de diferente hábito de crecimiento, como sucede entre gramínea y leguminosa.

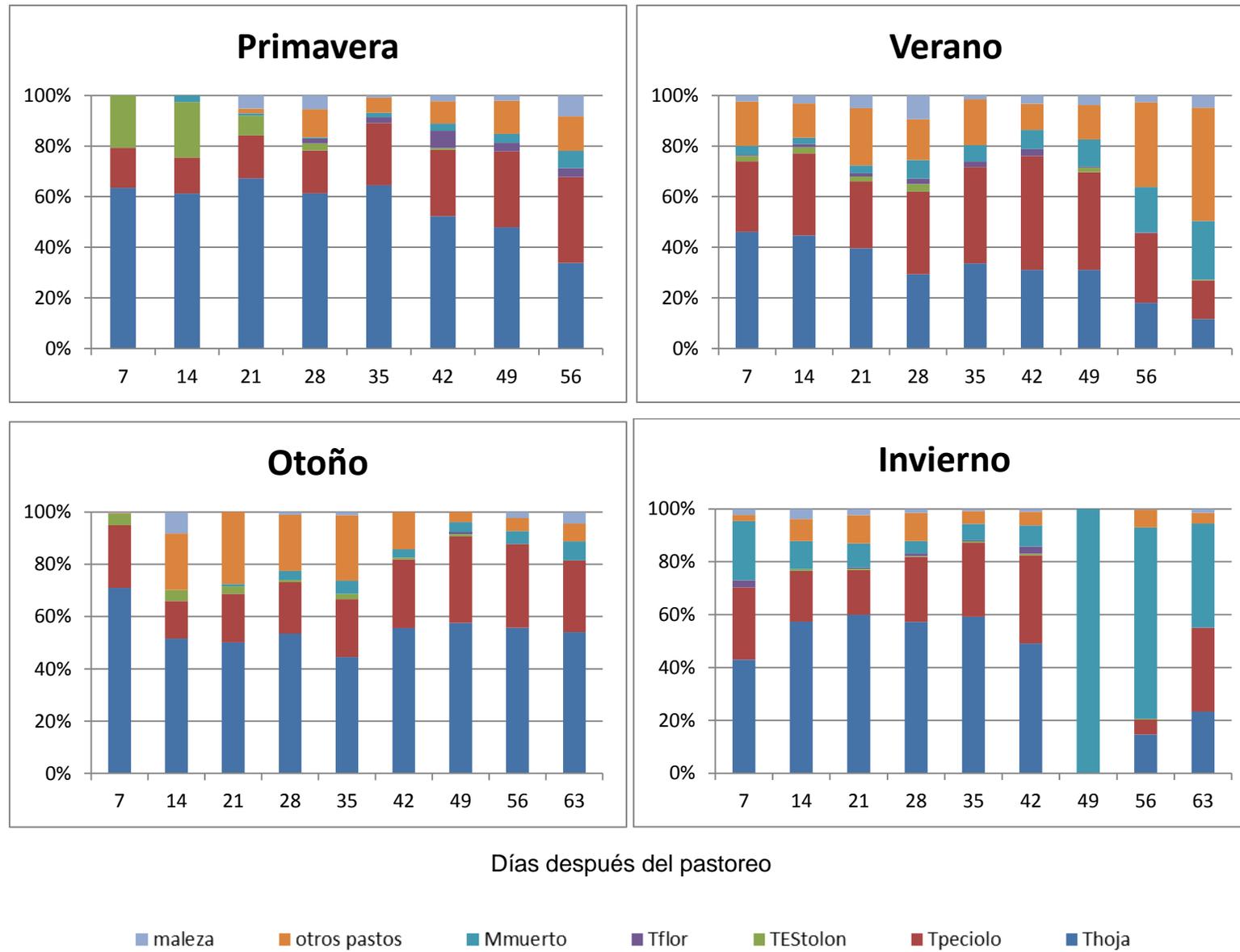
Composición botánica y morfológica

La composición botánica y morfológica se presenta en la Figura 3. De manera general, la proporción de Trébol blanco siempre estuvo por encima del 70 %, y fue en verano y otoño cuando se presentaron malezas y otros pastos. Respecto a los componentes morfológicos de trébol blanco, se pudo apreciar que el componente que más contribuyó al rendimiento fue la hoja, con una aportación superior al 50 % en todas las estaciones, excepto verano. La gran aportación de hoja, indica que la cantidad y calidad del forraje cosechado puede ser mayor con la asociación trébol blanco – gramíneas, como lo demuestran (Castro *et al.*, 2012) quienes encontraron que al sembrar un 40% de Trébol blanco más pasto Ovillo y Ballico en diferentes proporciones, se obtuvo mayor rendimiento que solo Trébol más una gramínea.. Ambos parámetros, cantidad y calidad pueden ser afectados por el porcentaje de trébol y gramínea en el forraje cosechado en cada estación del año (Carlassare y Karsten, 2002), como consecuencia de la competencia entre componentes botánicos de la pradera (Scheneiter, 2005). En praderas de trébol blanco asociado con pasto Ovillo, Aerts y Cahpin (1999) encontraron que el mayor rendimiento (6,090 kg MS ha⁻¹) se obtuvo en praderas con 75% de trébol blanco más 25% de Ovillo, en comparación a las que contenían solamente pasto ovillo, de igual forma la cantidad de proteína aumento significativamente, lo que se le atribuye a la mayor presencia de Trébol blanco.

La mayor presencia de flor de trébol se presentó durante primavera y verano a partir de la tercera semana, pero su aporte al rendimiento no fue significativo.

La intensidad de pastoreo, pudo ser el factor que permitió al Trébol blanco persistir durante todo el periodo experimental, ya que por tener un hábito de crecimiento estolonífero, es menos susceptible a perder gran cantidad de meristemas de crecimiento que especies erectas como Ballico perenne y Ovillo (Hodgson, 1990).

Figura 3. Composición botánica y morfología

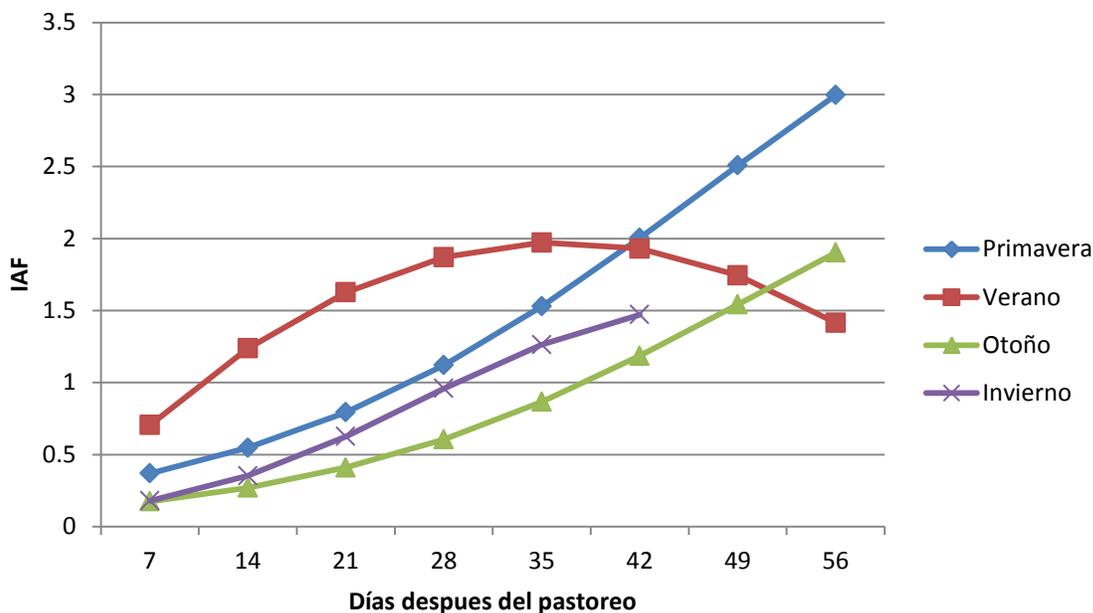


Adicionalmente, si se considera que el arreglo horizontal de sus hojas, le permitió a las plantas de Trébol blanco restablecer su área foliar después del pastoreo, para utilizar la luz solar más rápido que el Ballico perenne y pasto Ovillo como lo mencionan Brock *et al.* (1989).

Índice de Área Foliar

Los cambios estacionales en el IAF se muestran en la Figura 4. El mayor valor (3.0) se presentó en la semana ocho durante primavera y no se observó el punto de inflexión. En verano, el mayor valor (1.9) se presentó en la semana cinco; posteriormente, disminuyó progresivamente. En otoño, solo se obtuvo 1.8 de IAF, en la semana ocho. Durante invierno, el valor máximo (1.5) se obtuvo antes de la incidencia de helada la cual repercutió en la pradera. Al respecto, se ha señalado que la temperatura ejerce influencia directa sobre la tasa de aparición y expansión foliar y, aunado a un adecuado nivel de humedad, las praderas alcanzan rápidamente su IAF óptimo en primavera y verano, como lo consignaron Velazco *et al.* (2001; 2005), para pasto Ovillo y Ballico perenne y Clark *et al.* (1995) y Brock *et al.* (1989) en Trébol blanco.

Para Da Silva *et al.* (1997), en pastoreo continuo, la máxima productividad animal requiere de mantener bajos valores de IAF, en los cuales una gran proporción del tejido producido es efectivamente cosechado, además, las tasas de fotosíntesis neta de la parte aérea serán menores a los máximos. La cantidad de tejido perdido por senescencia y muerte puede ser menor en pastoreo continuo en comparación al de pastoreo rotacional.



$$IAF_{\text{primavera}} = 4.67 / (1 + 0.11 \cdot \exp(-0.0619t))$$

$$r = 0.97$$

$$IAF_{\text{verano}} = 0.03 + 0.11t - 0.0015t^2 \quad r = 0.83$$

$$IAF_{\text{otoño}} = 3.13 / (1 + 26.85 \cdot \exp(-0.0666t)) \quad r = 0.98$$

$$IAF_{\text{invierno}} = 1.70 / (1 + 18.91 \cdot \exp(-0.1142t))$$

$$r = 0.96$$

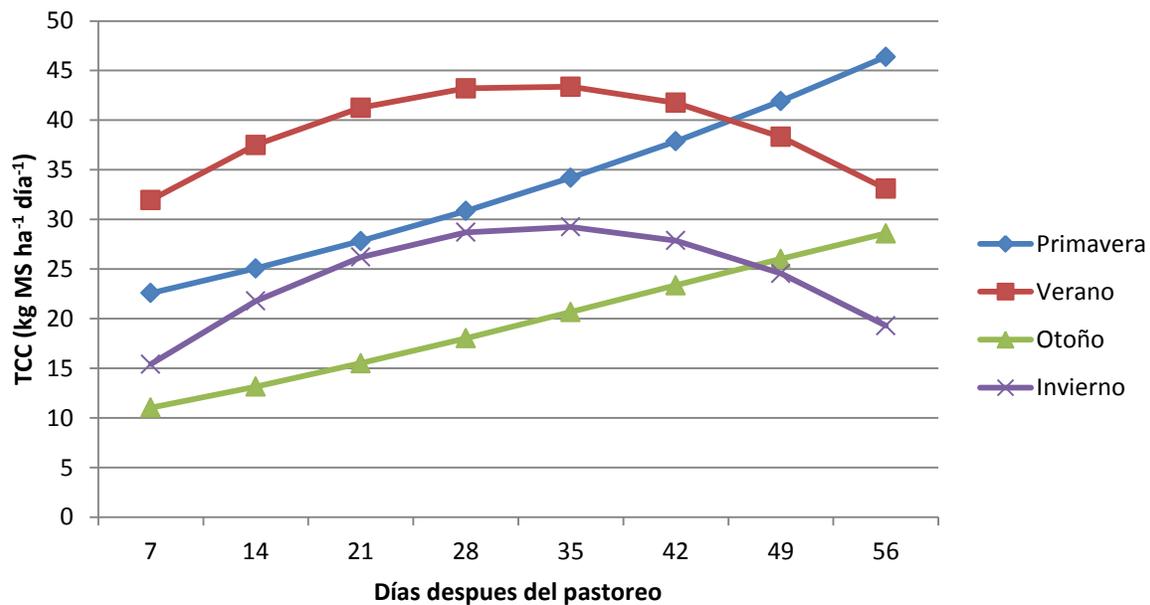
Figura 4. Cambios semanales en el Índice de Área Foliar durante el análisis de crecimiento estacional.

Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento del Trébol blanco varió en las diferentes estaciones del año ($P < 0.05$; Figura 5). Las mayores tasas de crecimiento se presentaron en primavera y verano, con 47 y 46 kg MS ha⁻¹ día⁻¹, respectivamente. El mayor valor se obtuvo a las ocho semanas para primavera y a las cuatro durante verano. Durante otoño e invierno se presentaron los valores menores (29 kg ms ha⁻¹ día⁻¹) en la tercera semana en invierno y octava en otoño. Estos resultados coinciden con lo observado por Velasco *et al.* (2001 y 2005) quienes registraron las mayores TC durante el verano en praderas puras de Ovillo y Ballico perenne y con Castro *et al.* (2013) quienes encontraron la mayor TC promedio se registró durante verano con 63 kg MS

ha⁻¹ d⁻¹ y superó en 20, 53 y 215 % a las de primavera, invierno y otoño, respectivamente.

La tasa de crecimiento del trébol durante verano tiene una tasa de sobrevivencia y crecimiento más rápido lo que restablece el equilibrio de la especie (Brock *et al.*, 2000). Sin embargo, en este experimento el mayor estrés por frío se dio en otoño, por lo que el restablecimiento del trébol se dio a mediados del invierno.



$$\begin{aligned}
 TC_{\text{primavera}} &= 631.73 / (1 + 30.07 \cdot \exp(-0.0155t)) & r &= 0.86 \\
 TC_{\text{verano}} &= 24.61 + 1.17t - 0.18t^2 & r &= 0.87 \\
 TC_{\text{otoño}} &= 44.81 / (1 + 3.89 \cdot \exp(-0.034t)) & r &= 0.85 \\
 TC_{\text{invierno}} &= 7.1 + 1.33t - 0.0198t^2 & r &= 0.88
 \end{aligned}$$

Figura 5. Cambios semanales en la tasa de crecimiento del trébol blanco durante un ciclo de rebrote de ocho semanas, en las diferentes estaciones del año.

A pesar de que durante el verano se presentaron las mayores TC del Trébol blanco, estos valores son similares y algunos superiores en otras épocas a los reportados por Sevilla *et al.* (2001) en praderas puras de Trébol blanco. Por otro lado, la tasa de crecimiento obtenida en este estudio, confirma lo consignado por Hodgson *et al.* (1981), quienes mencionan que la tasa de crecimiento del forraje en un punto dado,

puede estar limitada por el suministro de fotoasimilados y por las reservas de la planta o por el número, tamaño y actividad meristemática.

Métodos indirectos para estimar rendimiento de forraje

Altura de plantas

En el Cuadro 1, se presentan los resultados obtenidos de las mediciones por el método del plato y regla, donde se puede observar que la altura incrementó a través del tiempo, alcanzando la máxima altura ($P < 0.01$) hacia la semana 8 para el verano, primavera y otoño, en el caso de invierno, se alcanzó una altura de 17 cm hacia la sexta semana, antes de que la presencia de una fuerte helada, terminara con la parte aérea del forraje. En verano fue la estación cuando se presentó la mayor ($P < 0.01$) altura, lo que era de esperarse, ya que existe una relación positiva entre la altura y el rendimiento de MS, y al presentarse las condiciones adecuadas durante este periodo, se manifestó el potencial de la especie.

Castillo *et al.* (2009) señalan que la altura de la pradera, presenta una relación positiva con el forraje presente, y concluyen que se puede estimar con confiabilidad la materia seca presente a partir de la altura estimada, antes del pastoreo. Ellos encontraron que los resultados de las alturas en las asociaciones son similares con el rendimiento de forraje. De acuerdo con Hodgson (1990) la altura de la pradera, aunada a la densidad del forraje, determina la cantidad de forraje que se produce, mientras que la diversidad entre especies determina la calidad de la materia seca disponible.

Cuadro 1. Altura promedio estacional con el método de regla y plato durante ocho semanas de crecimiento.

Estación	Semanas								EEM	Sig
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Método de regla (cm)										
Primavera	2.7Cc	6.8Cb	7.0Cb	7.0Cb	12.7Bb	15.5Bbc	18.0ABb	23.3Ab	1.1	**
Verano	12.3Ea	15.7EDa	20.7CDa	21Ca	23.7BCa	23.3BCa	27.3ABa	32.0Aa	1	**
Otoño	6.7Bb	7.3Bb	7.7Bb	9.7ABb	13.0Ab	13.3Ac	13.3Ab	14.0Ac	0.9	**
Invierno	6.3Db	6.7Db	9.3Cb	11BCb	12.7 Bb	17.0Ab			0.5	**
EEM	0.8	0.6	0.6	1	1.2	0.7	1.7	0.7		
Sig.	**	**	**	**	**	**	**			
Método del plato (cm)										
Primavera	3.3Eb	3.7Eb	3.7Eb	7.3DEb	8.7CDb	12.3BCb	16.7B	22.7A	1	**
Verano	10Ca	15.7BCa	23Aa	23.7Aa	23.7Aa	26.3Aa	21.3AB	23.3A	1.4	**
Otoño	6.0CDb	5.3Db	7.0CDb	11.3ABCDb	7.7CDb	13.0ABCb	14.3AB	17.3A	1.4	**
Invierno	5.7Bb	6.0Bb	6.3Bb	9.0Bb	10.7ABb	15.0Ab			1.1	*
EEM	0.8	0.8	0.8	1.4	1	1.2	1.8	2		
Sig.	**	**	**	**	**	**	NS	NS		

ABCD letras mayúsculas en cada fila indican diferencias significativas. abcd Letras distintas en cada columna, indican diferencia significativa. EEM = Error estándar de la media. * = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$; NS = No significativo

Ecuaciones de regresión

Con la información presente en el Cuadro 1 y rendimiento de materia seca obtenida en el cuadrante de 0.25 m² que se cortó y posteriormente se calculó la materia seca presente, se realizaron las regresiones y ecuaciones y se presentan en el Cuadro 2.

En el Cuadro 2, se muestran las ecuaciones de regresión lineal y los coeficientes de determinación, obtenidas por época del año, y anual. Los valores muestran que en la época de primavera se registró la r^2 de mayor valor para ambos métodos (0.85 y 0.84, regla y plato, respectivamente), y en la ecuación de regresión anual la regla mostró un coeficiente mayor (0.56) con respecto al método del plato (0.52). Por lo anterior, puede esperarse que el método de la regla sea más confiable. Al respecto diferentes autores coinciden y difieren con los resultados obtenidos, debido a que los valores de r^2 reportados en diferentes estudios son variables. Ganguli *et al.* (2000), menciona que la lectura de plato, es mejor que la toma de datos con regla, ya que presenta un mayor coeficiente de correlación (0.83 y 0.60, respectivamente). Braga *et al.* (2009) menciona que el método de la regla graduada presentó un coeficiente de determinación mayor que el método del plato 0.91 y 0.82, respectivamente y Castillo *et al.* (2009) encontraron correlaciones en el método de la regla superiores a 0.83. Sin embargo, a pesar de estos valores, algunos autores mencionan que los métodos indirectos para medir el forraje son imprecisos y no exactos, ya que presentaron un error del 26 al 36 % con respecto al cosechado en cuadros fijos para medir el rendimiento, por lo que la calibración para diferentes áreas del muestreo es fundamental (Sanderson *et al.*, 2001).

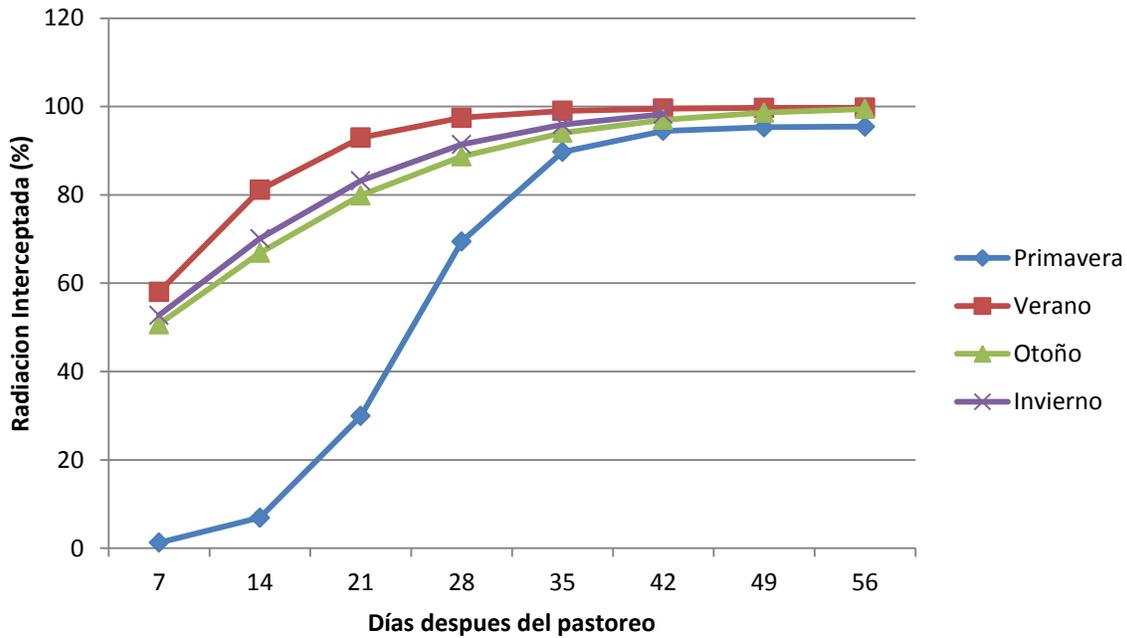
Cuadro 2. Ecuaciones de regresión obtenidas por estación y anual en base a altura y relacionada con rendimiento de materia seca.

Método		Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Anual
Regla	Ecuación	$y = 113.74x$ - 46.71	$y = 78.1x$ - 464.88	$y = 135.26x$ - 727.86	$y = 111.52x$ - 459.34	$y = 71.98x$ - 21.60
	r^2	0.85	0.54	0.64	0.81	0.56
Plato	Ecuación	$y = 113.71x$ + 62.1	$y = 70.84x$ - 226.27	$y = 102.75x$ - 343.98	$y = 114.64x$ - 294.66	$y = 68.6x$ + 110
	r^2	0.84	0.36	0.74	0.83	0.52

Al respecto, López *et al.* (2011) al comparar diferentes métodos de estimación de biomasa, encontraron que todas las ecuaciones de regresión de la masa de forraje estimada con tres métodos indirectos fueron significativas ($P < 0.01$) como era esperado debido al procedimiento de estandarización de Haydock and Shaw (1975).

Radiación interceptada

El porcentaje de radiación interceptada se presenta en la Figura 6. A mayor radiación estacional interceptada, mayor fue la tasa de crecimiento del forraje. Se observó que durante primavera, de 7 a 35 días de rebrote, se obtuvieron los menores porcentajes de radiación interceptada en comparación a verano, otoño e invierno, en donde la radiación interceptada siguió una curva con la misma tendencia ($P < 0.05$). Durante verano, se observó que el 100 % de radiación interceptada se obtuvo entre el quinto y sexto corte (35 y 42 días, respectivamente). Para otoño e invierno, se observa que se obtuvo después de los 50 días y finalmente; para primavera, en ningún corte se alcanzó el 100 % de radiación interceptada. Los resultados encontrados indican la capacidad que tiene el Trébol blanco para interceptar radiación, además de las condiciones ambientales a las que fueron expuestas durante su crecimiento previo a cada cosecha (Frederck *et al.*, 1999; Horrocks y Vallentine, 1999; Da Silva y Hernández-Garay, 2010).



$$R_{\text{primavera}} = 95.5 / (1 + 436.57 \cdot \exp(-0.2521t))$$

$$r = 0.98$$

$$R_{\text{otoño}} = 100.33 / (1 + 1.91 \cdot \exp(-0.0958t))$$

$$r = 0.99$$

$$R_{\text{verano}} = 99.76 / (1 + 2.25 \cdot \exp(-0.1632t))$$

$$r = 0.99$$

$$R_{\text{invierno}} = 100.49 / (1 + 1.89 \cdot \exp(-0.1052t))$$

$$r = 0.99$$

Figura 6. Cambios semanales en la radiación interceptada durante el análisis de crecimiento estacional.

El Trébol blanco tiende a tener mayor área foliar remanente después del pastoreo, debido a su hábito de crecimiento rastrero y a la presencia de hojas que le permiten a esta especie interceptar la radiación solar y capturar el dióxido de carbono (Arne y Mortensen, 1995; Hodgson, 1990). En un estudio realizado en asociaciones de pasto Ovillo, Ballico y Trébol blanco, Flores (2013) encontró que todas las asociaciones registraron la mayor radiación interceptada en primavera – verano con valores de 92 y 93 %, respectivamente.

CONCLUSIONES

La materia seca se incrementa con la edad del rebrote, hasta alcanzar el máximo en la octava semana durante primavera y otoño y en la séptima en verano y sexta durante el invierno. Sin embargo para cosechar la mayor cantidad de hojas, el momento óptimo de defoliación del trébol blanco debe ser 7, 6, 7 y 5 semanas para primavera, verano otoño e invierno respectivamente, una vez que la biomasa de hojas verdes ha alcanzado su más alto nivel y antes que se acelere la pérdida por senescencia.

El componente morfológico que más contribuyó al rendimiento fue la hoja. Durante primavera es cuando se obtuvo el máximo IAF.

La mayor r^2 para ambos métodos se obtuvo durante la primavera; sin embargo; los métodos indirectos para medir el forraje son imprecisos y no exactos, por lo que se recomienda calibrarlos con cuadros fijos para medir el rendimiento. La mayor radiación interceptada se presentó durante el verano.

LITERATURA CITADA

Abberton, M. T., Michaelson-Yeates, T. P. T., Macduff, J. H. 1998. Characterization of novel inbred lines of white clover (*Trifolium repens* L.). I. Dynamics of plant growth and nodule development in flowing solution culture. *Euphytica*, 103(1), 35-43.

Adams, J. E., Arkin, G. F. 1977. A light interception method for measuring row crop ground cover. *Soil Science Society of America Journal*, 41(4), 789-792.

Arne S, Mortensen LM. 1995. Growth and regrowth of *Phleum pratense*, *Lolium perenne*, *Trifolium repens* and *Trifolium pratense* at normal and elevated CO₂ concentration. *Agr Ecosyst* 55(1), 29-35.

Aerts, R., Chapin III, F. S. 1999. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Advances in ecological research*, 30, 1-67.

Agnusdei, M. G., Colabelli, M. R., Fernández Grecco, R. C. 2001. Crecimiento estacional de forraje de pasturas y pastizales naturales para el sudeste bonaerense. *Boletín técnico*. (152), 0522-0548.

Bircham, J. S., Hodgson, J. 1983. The influence of sward condition on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous stocking management. *Grass and forage Science*, 38(4), 323-331.

Black, A. D., Laidlaw, A. S., Moot, D. J., O'Kiely, P. 2009. Comparative growth and management of white and red clovers. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 149-166.

Brock, J.L.; Caradus, J.R.; Hay, M.J.M. 1989. Fifty years of white clover research in New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 50, 25–39

Brock, J. L., Hay, M. J. M. 1996. A review of the role of grazing management on the growth and performance of white clover cultivars in lowland New Zealand pastures. *Special Publication-Agronomy Society Of New Zealand*, 65-70.

Brock, J. L., & Tilbrook, J. C. 2000. Effect of cultivar of white clover on plant morphology during the establishment of mixed pastures under sheep grazing. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 43(3), 335-343.

Castillo Gallegos, E., Valles de la Mora, B., Jarillo Rodríguez, J. 2012. Relación entre materia seca presente y altura en gramas nativas del trópico mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 47(1), 79-a.

Castro RR, Hernández GA, Pérez PJ, Hernández GJ, Quero CAR, Enríquez QJF. 2012. Comportamiento productivo de cinco asociaciones gramíneas-leguminosas bajo condiciones de pastoreo. *Rev Fitotecnia Mex.* 35(1):87-95.

Chapman, D. F., Lemaire, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In *International Grassland Congress*. 17, 95-104.

Clark, H., Newton, P. C. D., Bell, C. C., Glasgow, E. M. 1995. The influence of elevated CO₂ and simulated seasonal changes in temperature on tissue turnover in pasture turves dominated by perennial ryegrass (*Lolium perenne*) and white clover (*Trifolium repens*). *Journal of applied ecology*, 128-136.

Da Silva, S. C., Pedreira, C. G. S. 1997. Princípios de ecologia aplicados ao manejo de pastagem. simpósio sobre ecossistemas de pastagens, 3, 1-62.

Da Silva SC, Hernández GA. 2010 Manejo del pastoreo en praderas tropicales. In. Velasco ZME, Hernández-Garay A, Perezgrova GRA, Sánchez MB. Forrajes y su impacto en el trópico. Chiapas, México: Universidad Autónoma de Chiapas.63-95.

Enríquez Quiroz, J. F., Romero Mora, J. 1999. Tasa de crecimiento estacional a diferentes edades de rebrote de 16 ecotipos de *Brachiaria* spp. en Isla, Veracruz= Seasonal growth rate at different regrowth ages of 16 *Brachiaria* spp. ecotypes in Isla, Veracruz. *Agrociencia.*, 33(2), 141-148.

Frederick, J. R., Bauer, P. J. 1999. Physiological and numerical components of wheat yield. *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*, 45-65.

García E. 1988. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köpen. 4a. ed. Universidad Nacional Autónoma De México, México D.F.

Hay, M. J. M., Chapman, D. F., Hay, R. J. M., Pennell, C. G. L., Woods, P. W., Fletcher, R. H. 1987. Seasonal variation in the vertical distribution of white clover stolons in grazed swards. *New Zealand journal of agricultural research*, 30(1), 1-8.

Hodgson, J., Bircham, J. S., Grant, S. A., King, J. 1981. The influence of cutting and grazing management on herbage growth and utilization. *Plant physiology and herbage production*. Nottingham: British Grassland Society, 51-62.

Hodgson, J. 1990. *Grazing management. Science into practice*. Longman Group UK Ltd.

Hodgson J, Matthews PNP, Matthew C, Lucas RJ. 1999. Pasture measurement. In: New Zealand Pasture and Crop Science. White J, Hodgson J editores. Auckland, N. Z. Oxford University.:59-65.

Horrocks, R. D., Valentine, J. F. 1999. Harvested forages. Academic Press. United States of America. 426.

Karsten HD, Carllassare M. 2002. Describing the botanical compositions of a mixed species northeastern U. S. Pasture rotationally grazed by cattle. Crop Sci (42):882-889.

Mazzanti, A., Castaño, J., Sevilla, G., Orbea, J. 1992. Características agronómicas de especies y cultivares de gramíneas y leguminosas forrajeras adaptadas al sudeste de la provincia de Buenos Aires. CERBAS-INTA EEA Balcarce.

McGraw, J. B., Garbutt, K. 1990. The analysis of plant growth in ecological and evolutionary studies. Trends in ecology evolution, 5(8), 251-254.

Mooso, G. D., Wedin, W. F. 1990. Yield dynamics of canopy components in alfalfa-grass mixtures. Agronomy Journal, 82(4), 696-701.

Ortiz SC. Colección de monolitos. Génesis de suelos 1997. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México: Edafología, IRENAT. Colegio de postgraduados.

Rodríguez ZC, Larqué-Saavedra A. 1988. Análisis de crecimiento y tasa de uso de agua en cuatro cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agrociencia (71):401-416.

Sanderson, M. A., Soder, K. J., Muller, L. D., Klement, K. D., Skinner, R. H., Goslee, S. C. (2005). Forage mixture productivity and botanical composition in pastures grazed by dairy cattle. Agronomy journal, 97(5), 1465-1471.

Flores, S., del Jesús, E. 2013. Comportamiento productivo y patrón de rebrote de la asociación de pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.).

Scheneiter, O. 1999. Mezclas de especies forrajeras perennes templadas. Forrajes y Granos.15-28

Sevilla, G. A., Pasinato, A., García, J. M. 2001. Curvas de crecimiento de forrajeras templadas irrigadas. Arch. Latinoam. Animal Prod, 9, 91-98.

Velasco, Z. M. E. A Hernández G, VA González H, J Pérez P, H Vaquera H, A Galvis S 2001 Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.). Técnica Pecuaria en México, 39, 1-14.

Velasco, Z, M. E., Hernández, G. A., González, H. V. A. 2005. Rendimiento y valor nutritivo del ballico perenne (*Lolium perenne* L.) en respuesta a la frecuencia de corte. Técnica Pecuaria en México, 43(2), 247-258.

CAPITULO 4. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DEL TREBOL BLANCO A TRES FRECUENCIAS DE PASTOREO

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de tres frecuencias de pastoreo sobre el comportamiento productivo del trébol blanco (*Trifolium repens* L.) en asociación con pasto ovilla (*Dactylis gomerata* L.), se realizó un experimento en Montecillo, Texcoco, Estado de México. El pastoreo con ovinos se hizo cada 28 días, 95 y 100% de radiación interceptada (RI) en primavera verano y cada 35 días, 95 y 100% de RI, en otoño e invierno, en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron: acumulación de materia seca, tasa de crecimiento, composición botánica y morfológica, índice de área foliar, y altura de la pradera. Los datos se organizaron de manera estaciona y anual para hacer comparaciones de medias mediante el procedimiento PROC MIXED de SAS. Solo se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) de los tratamientos para el invierno, cuando el pastoreo al 95% de RI fue mayor en 50 % al tratamiento 100%RI y en 42% al de 35 días. El rendimiento anual mostro la siguiente tendencia: pastoreo cada 28-35 días, 100 % RI y 95 % RI con una diferencia de solo el 4 % entre el valor mayor y el menor. Únicamente en la primavera, el tratamiento 28-35 días presentó una TC mayor en un 4 % al tratamiento de 100 % RI y 26 % al tratamiento de 95 % de RI ($P < 0.05$). El Trébol blanco aportó más del 50 % durante primavera, 60 % durante otoño e invierno y, sólo 40 % en verano. Durante ésta época, pasto Ovilla aportó el mayor porcentaje (40%) durante el año ($P < 0.01$). La frecuencia de pastoreo no afecto el rendimiento de la pradera, excepto en invierno cuando el mejor rendimiento se obtuvo al pastorear al 95% de RI.

Palabras clave: *Trifolium repens* L., frecuencia de pastoreo, rendimiento de materia seca, tasa de crecimiento.

PERFORMANCE OF WHITE CLOVER UNDER THREE GRAZING FREQUENCY

ABSTRACT

In order to evaluate the effect of three grazing frequencies on the productive performance of white clover (*Trifolium repens* L.) sown with orchard grass (*Dactylis glomerata* L.) an experiment was carried out in Montecillo, Texcoco, Estado de México. Grazing with sheep was made every 28 days, 95 and 100% of light interception (LI) in spring-summer and every 35 days, 95 and 100% of LI in fall and winter, in a randomized block design with three replicates. The evaluated variables were: cumulative herbage mass, growth rate, botanical and morphological composition, leaf area index and forage height. Data were organized by season and annually for comparisons of means using the SAS procedure PROC MIXED. Only significant differences ($P < 0.05$) were found for the winter by treatments, when grazing at 95% LI was superior in 50% to 100% LI treatment and 42% at 35 days. Cumulative herbage mass by year showed the following trend: grazing every 28-35 days, 100% and 95% LI, with a difference of only 4% between the highest and lowest. Only in the spring, 28-35 days treatment had a higher growth rate by 4% to 100% LI treatment and 26% to 95% treatment of LI ($P < 0.05$). White clover contributed more than 50% in the spring, 60% during autumn and winter and only 40% in summer. During this time, orchard grass contributed the upper percentage (40%) during the year ($P < 0.01$). The grazing frequency did not affect pasture yield, except in winter when the best performance was obtained by grazing at 95% of LI.

Keywords: *Trifolium repens* L., grazing frequency, cumulative herbage mass, growth rate.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el uso de leguminosas de clima templado como el trébol blanco (*Trifolium repens* L.), trébol rojo (*T. pratense* L.) y alfalfa (*Medicago sativa* L.), entre otras, asociadas a gramíneas, es un tema de gran importancia debido a las múltiples interacciones en la pradera (Cardinale *et al.*, 2007; Kirwan *et al.*, 2009) y al incremento en el contenido de proteína de la dieta. Al respecto, en la región templada de México, el Trébol blanco puede contener en promedio de 168 a 270 g de proteína cruda kg^{-1} MS (Cook *et al.*, 1990; Rojas *et al.*, 2005) y fijar de 57 a 232 kg de nitrógeno ha^{-1} (Zanetti *et al.*, 1996).

Por otro lado, utilizar defoliaciones frecuentes e intensas ocasionan reducción en la intercepción luminosa por los tejidos fotosintéticos, agotamiento de reservas metabólicas de las plantas, reducción de absorción de nutrientes y agua (Da Silva *et al.*, 1997). El manejo del pastoreo se basa en el control de la frecuencia e intensidad de defoliación (Carnevali *et al.*, 2006; Barbosa *et al.*, 2007; Pedreira *et al.*, 2007), ya que la combinación de éstas afecta la estructura del dosel.

El estudio de la frecuencia de pastoreo es importante ya que se debe mantener un IAF adecuado, donde se alcance la máxima acumulación de láminas foliares. Varios experimentos han mostrado que cuando el dosel intercepta 95 % de la luz incidente, tanto en plantas templadas como tropicales, es el mejor momento de entrada de los animales en un sistema de pastoreo rotacional (Mello y Pedreira, 2004; Carnevali *et al.*, 2006; Pedreira, 2007; Zeferino, 2006; Barbosa *et al.*, 2007).

Bajo condiciones de pastoreo rotativo, el tiempo en que se alcance el 95 % de intercepción de luz, dependerá de la estación del año y disponibilidad de nutrientes, principalmente, nitrógeno (Difante, 2005; Carnevali *et al.*, 2006; Barbosa *et al.*, 2007; Zanine, 2007). Asimismo, habría inconsistencia de respuestas y limitaciones en adoptar o determinar períodos de descanso fijos, puesto que, dependiendo de la época del año y de las condiciones de crecimiento, ese intervalo puede ser muy

corto, elevando las pérdidas en cantidad; o muy largo, acarreado pérdidas en calidad y cantidad, o que pudiera, inclusive, promover degeneración de la estructura y este mismo a la degradación de las praderas (Da Silva y Nascimento Jr., 2007). Por todo lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la frecuencia de defoliación en la acumulación de forraje, componentes del rendimiento y composición botánica de *Trifolium repens* L.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El estudio se realizó en una pradera establecida con trébol blanco en 2009, ubicada en el campo experimental del Colegio de Posgraduados, en Montecillo, Texcoco, Estado de México. El suelo del lugar es franco arenoso, ligeramente alcalino (pH 7.8) con 2.4 % de materia orgánica y clasificado como *typic ustipsamments* (Ortiz, 1997). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación media anual de 645 mm y temperatura media anual de 15 °C; la temperatura promedio mensual mínima es de 11.6 °C y ocurre en enero y la máxima en mayo con 18.4 °C (García, 1988).

Manejo de las praderas y tratamientos

Para conocer el efecto de la frecuencia de pastoreo sobre la acumulación de materia seca, altura de la pradera y otras variables estudiadas, en una pradera de dos años de establecida con diferentes proporciones de Trébol blanco, pasto Ovillo y pasto Ballico perenne, se evaluaron tres tratamientos que consistieron en pastorear cada 28 días, 95 y 100 % de radiación interceptada durante primavera - verano y cada 35 días, 95 y 100 % durante otoño - invierno. Se utilizaron nueve parcelas, de 9 x 7 m (63 m²) donde se distribuyeron los tratamientos bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Al inicio del experimento (primavera de 2012) se realizó un pastoreo de uniformización utilizando borregos como defoliadores, dejando el

forraje residual a una altura de 5 cm, aproximadamente. Después se cortaron a ras de suelo tres cuadros de 0.25 m² seleccionados al azar para determinar el forraje residual. Posteriormente se cosecharon dos cuadros de 0.25 m² dentro de cada repetición justo antes de cada pastoreo. Durante el periodo de sequía, las praderas se regaron por gravedad a capacidad de campo cada dos semanas. Las praderas no fueron fertilizadas.

Datos climáticos

Los promedios mensuales de temperatura a la intemperie (máxima, media y mínima) y la precipitación mensual durante el periodo de estudio, se obtuvieron de la estación meteorológica del Colegio de Postgraduados, situada a 100 m del sitio experimental (Figura 1).

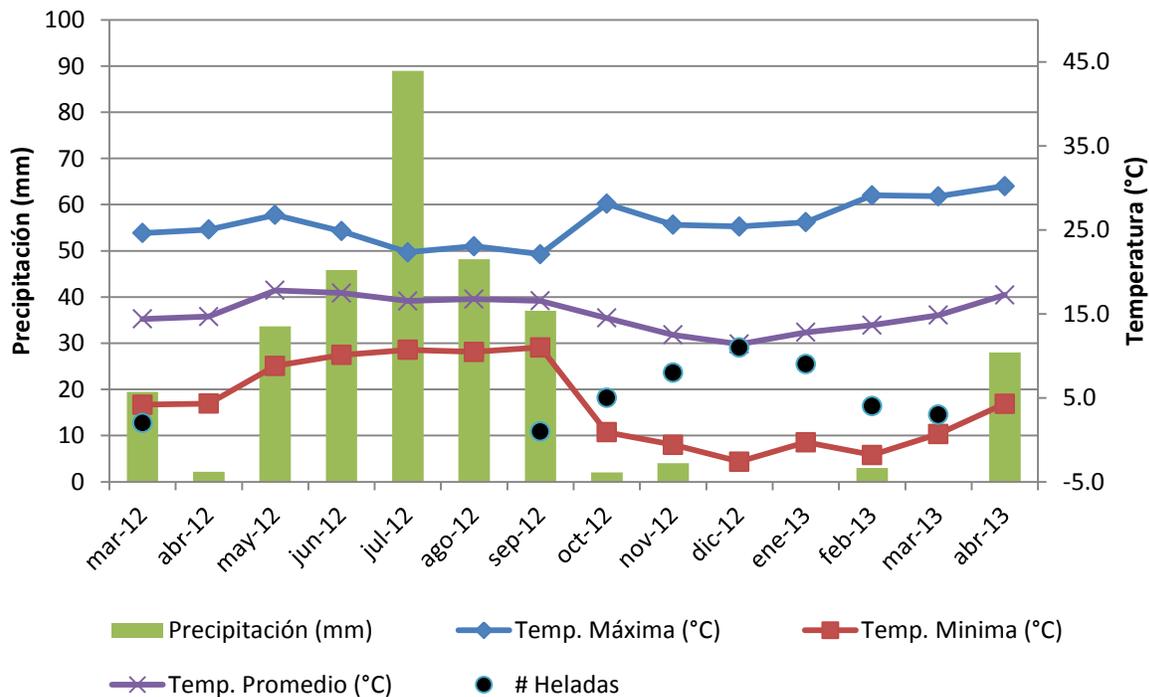


Figura 1. Temperatura media mensual máxima, mínima, promedio y precipitación mensual acumulada durante el periodo de estudio (marzo 2012 a abril 2013).

Variables evaluadas:

Acumulación de materia seca

Para conocer la acumulación de materia seca, antes de cada pastoreo y de acuerdo al tratamiento correspondiente, se cortaron al azar dos cuadros de 0.25 m² por repetición. El forraje cosechado se lavó y secó en una estufa de aire forzado a 55 °C durante 72 h. Con este dato y del forraje residual, se estimó la cantidad de materia seca por ha.

Composición botánica y morfológica

Para conocer la composición botánica del forraje cosechado, se tomó una submuestra aproximadamente del 10 % y se separó en los siguientes componentes: material muerto, malezas, gramíneas y trébol blanco. Los componentes morfológicos de trébol blanco fueron separados en hoja, peciolo, estolón y flor. Cada componente botánico y morfológico fue colocado en bolsas de papel, identificadas y secadas de igual forma que el resto del forraje, posteriormente se procedió a determinar el peso de cada componente. Los incrementos estacionales en biomasa se obtuvieron restando la biomasa residual del pastoreo de uniformización a la biomasa cosechada semanalmente.

Índice de área foliar

A cada muestra de hojas obtenida en la composición morfológica del trébol blanco, se le determinó el área foliar con un integrador modelo LI-3100 (LI-COR, Inc.) y con estos datos y considerando superficie de muestreo, se estimó el IAF.

Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento promedio se calculó con la cantidad de forraje cosechado (FC, kg MS ha⁻¹), al momento de cada corte y considerando el tiempo transcurrido entre una defoliación y otra (t en días), mediante la siguiente fórmula (TC, en kg MS ha⁻¹ d⁻¹):

$$TC = FC/t$$

Altura de planta

Previo a cada pastoreo, se determinó la altura de planta con una regla de 1 m de longitud y graduada en mm. Se tomaron al azar 20 puntos por parcela, aproximando verticalmente la regla hacia el tejido vegetal y deslizando la misma hasta tocar el punto más alto y a continuación se registró el valor correspondiente (Hodgson *et al.*, 1990)

Radiación interceptada

La radiación interceptada, se realizó antes de cada pastoreo mediante el método de la regla de madera (Adams y Arkin, 1977). Para ello, se tomaron lecturas en cada unidad experimental y consistió en deslizar una regla de madera de 1 m de longitud por debajo del dosel vegetal con una orientación sur-norte y a posteriormente se contabilizaron los centímetros sombreados, los cuales representaron el porcentaje de radiación interceptada por el dosel vegetal. La lectura se realizó entre las 12:00 y 13:00 horas, ya que es el momento adecuado debido a que el ángulo solar es alto y la intercepción de luz cambia al mínimo. Este procedimiento se realizó constantemente en la pradera para monitorear el momento de cosecha, específicamente en los tratamientos de 95 y 100 % de radiación interceptada.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de cada variable se organizaron de manera estacional y anual para su análisis estadístico, conforme a un diseño de bloques completos al azar, y se utilizó el análisis de varianza el cual fue implementado en el procedimiento General Linear Model (SAS). Para comparar las medias de tratamientos se utilizó el procedimiento de Tukey ($\alpha=0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acumulación de materia seca

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en el rendimiento anual de forraje ($P>0.05$, Cuadro 3) y mostraron una tendencia similar. Los valores encontrados oscilaron alrededor de 16,000 kg MS ha⁻¹. El rendimiento anual mostró la siguiente tendencia: pastoreo cada 28-35 días, 100 % RI y 95 % RI con una diferencia de solo el 4 % entre el valor mayor y el menor. Al respecto, se ha señalado que la temperatura ejerce influencia directa sobre la tasa de aparición y expansión foliar y aunado a un adecuado nivel de humedad, las praderas alcanzan rápidamente su IAF óptimo en primavera y verano, como lo consignaron Velazco *et al.* (2001; 2005), para pasto Ovillo y Ballico perenne y Clark *et al.* (1995) y Brock *et al.* (1989) en Trébol. La mayor aportación del Trébol blanco al rendimiento anual, particularmente en las épocas de primavera y verano, se debió a que la temperatura ambiental osciló alrededor de las temperaturas óptimas para el crecimiento de esta especie, que es de 24 °C (Ratray, 2005; Brock y Tilbrook, 2000), mientras que para Ballico perenne y Ovillo es entre 18 y 21°C, lo que las puso en desventaja con Trébol blanco. Además de las condiciones prevalecientes, el trébol blanco tiene la capacidad de ser tolerante al pastoreo (Quero *et al.*, 2007), plasticidad y capacidad de fijar nitrógeno (Tallec *et al.*, 2008).

Los resultados muestran que la mayor acumulación de MS se concentró en las épocas de primavera y verano (70 %) y el resto, durante otoño e invierno, y fue en otoño cuando se presentó el menor valor (14 %; $P < 0.01$). Entre tratamientos, se registró la misma tendencia al rendimiento anual entre estaciones y únicamente en invierno se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$). El mayor rendimiento ($3,885 \text{ kg MS ha}^{-1}$) se obtuvo al 95 % de radiación interceptada y fue superior en 50 % al tratamiento de 100 % de radiación interceptada. El mayor rendimiento del Trébol blanco durante primavera - verano, se debió a que las condiciones ambientales, principalmente la temperatura óptima, estimuló el crecimiento del trébol, en praderas puras y asociadas (Brock *et al.*, 1989). Al respecto, Rattray (2005) señala que después de una defoliación, el restablecimiento del rebrote de Trébol blanco resulta del equilibrio entre la luz y la temperatura y el número y tamaño de las hojas presentes. Asimismo, el arreglo horizontal de los folíolos del Trébol blanco ayuda a restablecer su área foliar más rápidamente que las gramíneas. Por otro lado, Flores (2013) en asociaciones de pasto Ovillo, Ballico perenne y Trébol blanco, encontró que los mayores rendimientos se obtuvieron durante la primavera y verano en comparación con otoño e invierno, independientemente de la mezcla de dichas especies.

Cuadro 3. Rendimiento estacional y anual de forraje (kg MS ha⁻¹) a tres frecuencias de pastoreo de trébol blanco asociado con pasto ovillo.

Estación del año	Frecuencia de pastoreo						EEM	Sig.	Promedio
	28-35 días	RI (%)	95 % RI	Int	100 % RI	Int			
Primavera	5,740 a	92	4,385 a	27	5,667 a	30	272	NS	5,263 a
Verano	5,797 a	93	4,658 a	26	5,341 a	30	252	NS	5,265 a
Otoño	2,674 b	92	2,915 b	32	3,297 b	39	376	NS	2,221 b
Invierno	2,250 bB	84	3,885 aA	38	1,960 cB	56	312	*	2,698 b
Promedio	4,115		3,960		4,066		168	NS	
EEM	326		198		242				156
Sig.	**		**		**				**
Rendimiento Anual	16,461		15,843		16,265		835	NS	

Medias con letras mayúsculas diferentes representan diferencia significativa y medias con letras minúsculas en cada representan diferencia significativa (Tukey, 0.05). Sig. = Significancia; * = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$. Int= Intervalo entre pastoreo, en días. NS= no significativo

Independientemente de la frecuencia de pastoreo, el rendimiento tuvo el siguiente orden: 34, 34, 17 y 14 % para verano, primavera, invierno y otoño, respectivamente. Lo anterior pudo deberse a que en las estaciones de primavera y verano se presentaron condiciones climáticas favorables (Figura 1) para el desarrollo del cultivo. Se sabe que la temperatura y humedad, entre otros factores son determinantes en el rendimiento de materia seca, lo cual permitió a las especies desarrollar su potencial genético. Al respecto, Velazco *et al.* (2001) y Castro *et al.* (2012) reportaron una distribución similar del rendimiento de forraje a través del año en la misma especie y bajo las mismas condiciones. Por otro lado, Da Silva y Hernández-Garay (2010) mencionan que la variación en el rendimiento estacional se atribuye a la respuesta de las especies a las condiciones ambientales en la cuales crecieron.

Al comparar la contribución de trébol blanco y ovilla al rendimiento anual (Cuadro 4), se observó que trébol aportó aproximadamente el 50 %, independientemente del tratamiento. Por otro lado, pasto ovilla aportó aproximadamente 30 % al rendimiento, sin diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los casos. La distribución estacional por especie, presentó una tendencia similar a la MS total. En primavera se presentó la mayor aportación anual (42 %), verano (25 %), invierno (18 %) y otoño (14 %) ($P<0.01$). En pasto Ovilla, el mayor porcentaje se presentó en verano, seguido de primavera, otoño e invierno con valores de 47, 29, 15 y 9 % respectivamente ($P<0.01$).

Cuadro 4. Rendimiento de forraje estacional y anual (kg MS ha⁻¹) por especie deseable, a tres frecuencias de pastoreo en trébol blanco asociado con pasto ovillo.

Estación del año	Frecuencia de pastoreo			EEM	Sig.	Promedio
	28-35 d	95 % RI	100 % RI			
Trébol blanco (kg MS ha ⁻¹)						
Primavera	3,034 a	2,905 a	3,816 a	324	NS	3,252 a
Verano	2,175 b	1,745 b	1,925 b	180	NS	1,948 b
Otoño	1,266 c	1,550 b	1,527 b	196	NS	1,086 c
Invierno	1,504 bc	1,464 b	1,184 b	198	NS	1,384 c
Promedio	1,994	1,916	2,113	162	NS	
EEM	170	100	176			106
Sig.	**	**	**			**
Rend. anual	7,979	7,665	8,452	805	NS	
Pasto Ovillo (kg MS ha ⁻¹)						
Primavera	1,603 a	757 b	1,157 b	218	NS	1,172 b
Verano	1,770 a	1,695 a	2,288 a	291	NS	1,918 a
Otoño	644 b	939 ab	1,032 bc	118	NS	654 c
Invierno	287 b	426 b	401 c	57	NS	371 d
Promedio	1,076	954	1,219	117	NS	
EEM	102	162	132			54
Sig.	**	**	**			**
Rend. Anual	4,304	3,816	4,879	586	NS	

Medias con letras mayúsculas diferentes representan diferencia significativa y medias con letras minúsculas en cada representan diferencia significativa (Tukey, 0.05). Sig. = Significancia; * = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$. Int= Intervalo entre pastoreo, en días. NS= no significativo

En otoño se presentó el menor rendimiento para Trébol blanco y en invierno, para Ovillo, ya que durante este periodo las condiciones no favorecieron el crecimiento, debido a que las bajas temperaturas afectan el crecimiento de los forrajes presentándose tasas bajas de crecimiento (Hernández-Garay *et al.*, 1997).

Tasa de crecimiento del cultivo

La tasa de crecimiento (TC) estacional de las tres frecuencias de pastoreo se presenta en el Cuadro 5. Únicamente en la primavera, el tratamiento 28-35 días presentó una TC mayor en un 4 % al tratamiento de 100 % RI y 26 % al tratamiento de 95 % de RI ($P<0.05$). En las demás estaciones, no se encontraron diferencias significativas. Al comparar entre estaciones, se aprecia que de manera similar a la distribución de forraje, las mayores TC se presentaron en primavera y verano y fueron superiores en 50 % a otoño e invierno ($P<0.01$). Cabe resaltar que la tasa de crecimiento en primavera fue estadísticamente igual a la de verano y la de otoño con la de invierno, respectivamente. Estos resultados son similares a los observados por Castro *et al.*, (2012) quienes compararon diversas asociaciones de Trébol blanco con pasto Ovillo y Ballico, y reportaron las mayores TC en primavera y verano. La misma tendencia encontraron Velasco *et al.* (2001) y Velasco *et al.* (2005) con praderas puras de pasto Ovillo y Ballico.

Cuadro 5. Tasa de crecimiento ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) estacional y anual de trébol blanco con pasto ovillo, a tres frecuencias de pastoreo.

Estación del año	Frecuencia de pastoreo			EEM	Sig.	Promedio
	28-35 d	95 % RI	100 % RI			
Primavera	70 aA	52 aB	66 aAB	5	*	63 a
Verano	67 a	56 a	56 ab	4	NS	60 a
Otoño	31 b	31 b	40 bc	5	NS	34 b
Invierno	27 b	41 ab	25 c	4	NS	31 b
Promedio	49	44	46	2	NS	
EEM	6	4	4			3
Sig.	**	*	**			**

Medias con letras mayúsculas diferentes representan diferencia significativa y medias con letras minúsculas en cada representan diferencia significativa (Tukey, 0.05). Sig. = Significancia; * = $P< 0.05$; ** = $P< 0.01$. Int= Intervalo entre pastoreo, en días. NS= no significativo

Los resultados observados en este estudio durante otoño e invierno, debido a las bajas temperaturas presentadas en esta temporada del año, son valores aún mayores a los reportados por Castro *et al.*, (2012) quienes observaron en la asociación 40-60 % de Trébol blanco con pasto Ovillo valores de 16 y 29 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ para otoño e invierno respectivamente.

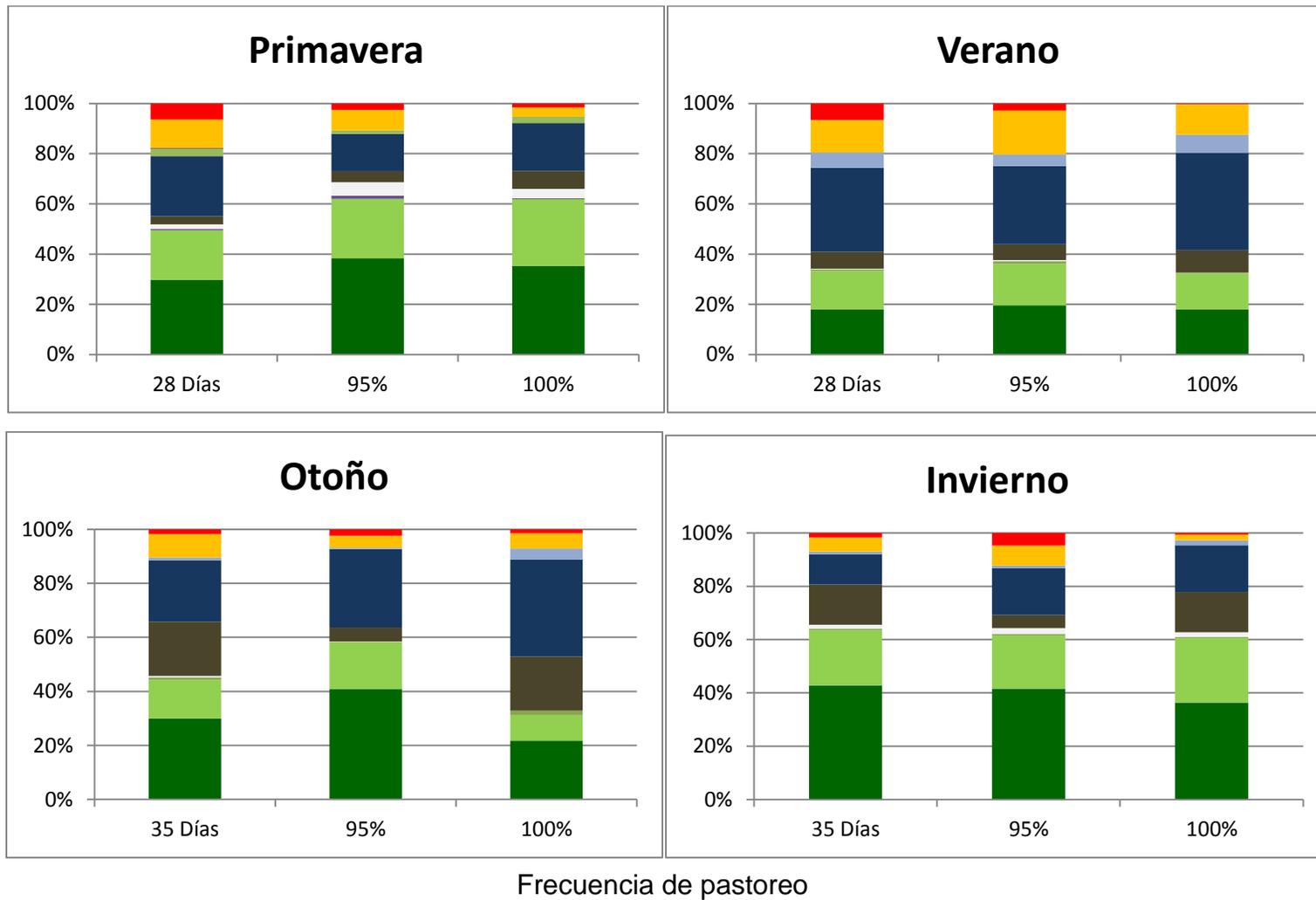
Composición botánica y morfológica

En la Figura 7 se muestran los cambios estacionales en la composición botánica y morfológica de las praderas bajo tres frecuencias de pastoreo. Independientemente de la frecuencia de pastoreo, el Trébol blanco aportó más del 50 % durante primavera, 60 % durante otoño e invierno y, sólo 40 % en verano. Durante ésta época, pasto Ovillo aportó el mayor porcentaje (40%) durante el año ($P<0.01$), pero además, se presentó el mayor porcentaje de otros pastos y malezas, componente que tuvo mayor aportación en primavera, seguido de verano, invierno y el menor, en otoño ($P<0.05$). Resultados similares se encontraron en un estudio, donde el Trébol blanco fue el componente principal (26 a 66 %) en las asociaciones evaluadas como consecuencia de su mayor capacidad para competir con especies de crecimiento erecto y tolerar la defoliación (Flores, 2013).

En pasto Ovillo, el mayor aporte al rendimiento fue durante el verano, seguido de primavera, otoño e invierno ($P<0.05$). Estos resultados coinciden a los reportados por Velazco *et al.* (2001), quienes en un análisis de crecimiento en la misma región, reportaron una distribución estacional similar. El mayor rendimiento de flor (80 kg MS ha⁻¹), se presentó durante la primavera, sin aportación importante al rendimiento ($P<0.05$). Al comparar los tratamientos durante las estaciones del año, sólo el material muerto fue el único componente que presentó diferencias significativas para primavera y verano y el menor valor (67 kg MS ha⁻¹) se registró en el tratamiento de 95 % RI ($P<0.05$). Un comportamiento similar se presentó durante otoño e invierno, pero sin diferencias significativas. La dominancia de trébol sobre la gramínea puede ser resultado de la interacción que existen en la pradera entre las especies presentes

en la pradera y que condicionará las persistencia de las mismas (Tallec *et al.*, 2008, Nyfeler *et al.*, 2011, Flores, 2013). Por otro lado, Balocchi y Olivares (1992) mencionan que para obtener ventajas de la presencia de *Trifolium repens* en la pradera, debe representar al menos 30 % de la materia seca promedio por año.

Figura 7. Composición botánica y morfológica de praderas de trébol blanco asociado con pasto ovillo, a tres frecuencias de pastoreo durante las estaciones del año.



Altura de la pradera

En el Cuadro 6 se presenta la altura promedio estacional y anual de la pradera, a tres frecuencias de pastoreo. Las mayores alturas se presentaron durante verano y correspondieron al tratamiento de 28-35 días y 100 % RI, con valores de 26 y 25 cm, respectivamente ($P<0.05$) y superaron 20 % al tratamiento de 95 % RI. Al respecto, en asociaciones de pasto Ovillo, Ballico y Trébol blanco, Flores (2013) encontró la mayor altura (38 cm) durante verano, lo cual coincidió con este estudio. En invierno, el mayor valor correspondió al tratamiento 100 % RI; sin embargo, no coincide con el máximo rendimiento de MS durante esta época. Al respecto, Castillo *et al.* (2009) indicaron que la altura de la planta tiene relación positiva con la cantidad de forraje acumulado y el rendimiento se puede estimar a partir de este valor. No obstante, es pertinente aclarar que la altura promedio durante la estación y el rendimiento obtenido, disminuyó debido a la constante presencia de heladas las cuales atrasaron el crecimiento y cobertura del dosel vegetal para alcanzar el 100 % de radiación interceptada. En promedio, la mayor altura (19 cm) se presentó en el tratamiento 100 % RI y superó en 11 y 21 % a los tratamientos de 28-35 días y 95 % RI ($P<0.01$).

Cuadro 6. Altura (cm) promedio anual y estacional en plantas de trébol blanco asociado con pasto ovilla, a tres frecuencias de pastoreo.

Estación del año	Frecuencia de pastoreo			EEM	Sig.	Promedio
	28-35 d	95 % RI	100 % RI			
Primavera	18 ab	17 a	19 b	1.3	NS	18 b
Verano	26 aA	21 aB	25 aA	0.7	*	24 a
Otoño	14 b	13 b	16 b	1	NS	14 c
Invierno	11 bB	12 bB	17 bA	0.5	**	13 c
Promedio	17 B	15 C	19 A	0.5	**	
EEM	1.8	0.8	0.8			1
Sig.	*	**	**			**

Medias con letras mayúsculas diferentes representan diferencia significativa y medias con letras minúsculas en cada representan diferencia significativa (Tukey, 0.05). Sig. = Significancia; * = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$. Int= Intervalo entre pastoreo, en días. NS= no significativo

Independientemente de la frecuencia de pastoreo, la altura varió significativamente a través de las estaciones del año ($P < 0.01$). El valor más alto se obtuvo en primavera, seguido de verano, otoño e invierno. Lo obtenido en este estudio coinciden con Castro *et al.* (2012) quienes encontraron el mismo patrón de alturas al evaluar diferentes asociaciones de trébol blanco con pasto Ovilla y Ballico perenne. De acuerdo con Hodgson (1990), la altura de la pradera, aunada a la densidad del forraje, determina la cantidad de forraje que se produce, mientras que la diversidad entre especies determina la calidad de la materia seca disponible.

A pesar de que no existieron diferencias significativas entre tratamientos en el rendimiento de forraje (Cuadro 4), existió la tendencia a incrementar conforme aumentó la altura promedio de la pradera en el tratamiento de 100 % IR, lo cual indica que existe una relación positiva entre altura y rendimiento de materia seca encontrada en otros estudios (Castro *et al.*, 2012; Flores, 2013). Sin embargo,

algunos autores mencionan que utilizar estos métodos (no destructivos) se sobreestima el rendimiento real de la pradera, con un error alrededor de 26 a 36 %, respecto al corte; por lo que se hace hincapié en la importancia de calibrar estos métodos para reducir el error (Sanderson *et al.*, 2001).

CONCLUSIONES

La frecuencia de pastoreo no afectó el rendimiento de materia seca, de praderas de trébol blanco en asociación con pasto ovillo, excepto en el invierno, cuando al cosechar al 95% de radiación interceptada, se obtuvo el mayor rendimiento.

Las praderas de Trébol blanco fueron afectadas por las estaciones del año, sin embargo; mostró alta persistencia en la pradera a través del año, debido, principalmente, a su hábito de crecimiento postrado.

La radiación interceptada y altura de planta tienen una correlación positiva con el rendimiento de forraje en la mayoría de las praderas.

LITERATURA CITADA

Adams, J. E., and Arkin, G. F. (1977). A light interception method for measuring row crop ground cover. *Soil Science Society of America Journal*, 41(4), 789-792.

Balocchi O. y Olivares, J. 1992. Leguminosas en praderas permanentes. En Latrille L. y Balocchi O.: *Producción Animal*. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Serie B-116. Valdivia, Chile. 339 p.

Barbosa R. A., Nascimento Jr. D., Euclides V. P. B., Da Silva S. C., Zimmer A. H., Torres Jr. R. A. A. 2007. Capim-tanzânia submetido a combinações entre intensidade e frequência de pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(3):329-340.

Brock, J. L., Caradus, J. R., and Hay, M. J. M. 1989. "Fifty years of white clover research in New Zealand." Proceedings New Zealand Grassland Association 50: 25-39.

Brock, J. L., and Tilbrook J. C. 2000. Effect of cultivar of white clover on plant morphology during the establishment of mixed pastures under sheep grazing. New Zealand Journal of Agricultural Research 43: 335-343.

Cardinale, B. J., Wright, J. P., Cadotte, M. W., Carroll, I. T., Hector, A., Srivastava, D. S. and Weis, J. J. 2007. Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(46), 18123-18128.

Carnevali R. A., Da Silva S. C., Bueno A. A. O., Uebele M. C., Bueno F. O., Silva G. N., Moraes J. P. 2006. Herbage production and grazing losses in *Megathyrus maximus* cv. Mombaça under four grazing managements. Tropical Grasslands, 40:165–176.

Castillo, E. G., Valles, M. B., and Jarillo, R. J. 2009. Relación entre materia seca presente y altura en gramas nativas del trópico mexicano. Técnica Pecuaria en México. 47(1)79-92.

Castro, R. R., Hernández G. A., Pérez P. J., Hernández G. J., Quero C. A. R., Enríquez Q. J. F., Martínez H. P. A. 2012. Comportamiento productivo de cinco asociaciones gramíneas-leguminosas bajo condiciones de pastoreo. Revista Fitotecnia Mexicana. 35(1):87-95.

Clark, H., Newton P.C.D., Bell C.C., and Glasgow E.M. 1995. The influence of elevated CO₂ and simulated seasonal changes in temperature on tissue turnover in pasture turves dominated by ryegrass (*Lolium perenne*) and white clover (*Trifolium repens*). Journal of Applied Ecology, 1995, 32, 128-136.

Cook, B. G., Williams, R. J., and Wilson, G. P. M. 1990. Register of Australian herbage plant cultivars. B. Legumes. 21. Arachis.(a) Arachis pintoii Krap. et Greg.

nom. nud.(Pinto peanut) cv. Amarillo. Australian journal of experimental agriculture. 30(3): 445-456.

Da Silva S.C., y Hernández G.A. 2010. Manejo del pastoreo en praderas tropicales. Velasco ZME, Hernández-Garay A, Perezgrova GRA, Sánchez MB (eds.) Forrajes y su impacto en el trópico. Chiapas, México: Universidad Autónoma de Chiapas. 63-95.

Da Silva C. S. y Nascimento Jr. D. 2007a. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. Suplemento especial. Revista Brasileira de Zootecnia, 36:121-138.

Da Silva, S.C.; Pedreira, C.G.S. 1997 Princípios de Ecologia Aplicados ao Manejo da Pastagem. In: Simpósio sobre Manejo da Pastagem, 3, Piracicaba, 1997. Anais... Piracicaba : FEALQ. p. 1-62,.Davidson, J. L. 1968. Growth of grass plants. Proceedings of Australian Grassland Conference. Perth. 2:125-137.

Difante G. S. 2005. Desempenho de novilhos, comportamento ingestivo e consumo voluntário em pastagem de *Megathyrsus maximus* Jacq. cv. Tanzânia. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Brasil. 74 p.

Flores S .E. D. J. Comportamiento productivo y patrón de rebrote de la asociación pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.) ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). [Maestría]. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Colegio de postgraduados. 2013;113.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.

Hernández-Garay A, C Matthew, J Hodgson (1997) Effect of spring grazing management on perennial ryegrass and ryegrass-white clover pastures. 2. Tiller and growing point densities and population dynamics. New Zealand Journal of Agricultural Research 40:37-50.

Hodgson, J. 1990. Grazing Management. Science into Practice. Longman Scientific and Technical. Essex, England. 203 p.

Kirwan, L., Lüscher, A., Sebastia, M. T., Finn, J. A., Collins, R. P., Porqueddu, C., ... and Connolly, J. (2007). Evenness drives consistent diversity effects in intensive grassland systems across 28 European sites. *Journal of Ecology*, 95(3), 530-539.

Mello A. C. L. y Pedreira C. G. S. 2004. Respostas morfológicas do capim-tanzânia (*Megathyrus maximus* Jacq. cv. Tanzânia- 1) irrigado à intensidade de desfolha sob lotação rotacionada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(2):282-289.

Nyfeler, D., Huguenin-Elie, O., Suter, M., Frossard, E., and Lüscher, A. 2011. Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agriculture, ecosystems & environment*, 140(1), 155-163.

Quero C. A. R., Enríquez Q. J. F., Miranda J. L. 2007. Evaluación de especies forrajeras en América tropical, avances o status quo. *Revista Interciencia*, 32(8):566-571.

Ortiz, S. C. 1997. Colección de monolitos. Montecillo, Texcoco, Edo. México. México: Depto. Génesis de suelos. Edafología, IRENAT. Colegio de Postgraduados.

Pedreira B. C., Pedreira C. G. S., Da Silva S. C. 2007. Estrutura do dossel e acúmulo de forragem de *Urochloa brizantha* cultivar Xaraés em resposta a estratégias de pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42:281–287.

Ratray, P. V. 2005. Clover management, research, development & extension in the New Zealand pastoral industries. Report. Sustainable Farming Fund. Commissioned by Sustainable Farming Fund (SFF). New Zealand.

Rojas, S., Olivares, J., Jiménez, R., y Hernández, E. 2005. Manejo de praderas asociadas de gramíneas y leguminosas para pastoreo en el trópico. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 6(5):1-19.

Sanderson, M. A., Rotz, C. A., Fultz, S. W., & Rayburn, E. B. 2001. Estimating forage mass with a commercial capacitance meter, rising plate meter, and pasture ruler. *Agronomy Journal*, 93(6), 1281-1286.

Talleg S. T., Diquélou S., Lemauviel J. B., Cliquet F., Lesuffleur A., Ourry. 2008. Nitrogen: sulphur ratio alters competition between *Trifolium repens* and *Lolium perenne* under cutting: Production and competitive abilities. *European Journal of Agronomy*, 29(2-3):94-101.

Velasco, Z. M. E., Hernández G. A., González, H. V. A. 2005. Rendimiento y valor nutritivo de Ballico perenne (*Lolium perenne* L.) en respuesta a la frecuencia de corte. *Técnica Pecuaria México*. 43(2):274:258.

Velasco, Z. M. E., Hernández, G. A., González, H. V. A., Pérez, P. J., Vaquera, H. H., y Galvis, S. A. 2001. Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto Ovillo (*Dactylis glomerata* L.). *Técnica Pecuaria en México*. 39(1):1-14.

Zanetti, S., Hartwig, U. A., Luscher, A., Hebeisen, T., Frehner, M., Fischer, B. U., ... & Nosberger, J. (1996). Stimulation of symbiotic N₂ fixation in *Trifolium repens* L. under elevated atmospheric pCO₂ in a grassland ecosystem. *Plant Physiology*, 112(2), 575-583.

Zanine A. M. 2007. Características morfogênicas, estruturais e acúmulo de forragem do capim *Megathyrus maximus* cv. tanzânia submetido a intensidades e frequências de pastejo. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Brasil. 115 p.

Zeferino C. V. 2006. Morfogênese e dinâmica do acúmulo de forragem em pastos de capim-marandu [*Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich) cv. Marandu] submetidos a regimes de lotação intermitente por bovinos de corte. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 193 p.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

El Trébol blanco constituye un forraje de buena calidad y en la zona centro de México, su crecimiento es afectado por las condiciones climáticas. El 60 % de la materia seca anual se concentra en primavera y verano y el resto en otoño e invierno. se recomienda cosechar al Trébol en las semanas 7, 6, 7 y 5 de rebrote para primavera, verano otoño e invierno respectivamente, una vez que la biomasa de hojas verdes ha alcanzado su más alto nivel y antes que se acelere la perdida por senescencia.

Las frecuencias de pastoreo aquí estudiadas no afectan la producción de materia seca del Trébol blanco en asociación con el pasto Ovillo a excepción del invierno, donde se recomienda pastorear la pradera, una vez que se tiene el 95% de radiación interceptada.