



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

DINÁMICA DE CRECIMIENTO DE LA ASOCIACIÓN DE TRÉBOL BLANCO

(*Trifolium repens* L.) Y PASTO OVILLO (*Dactylis glomerata* L.) BAJO

CONDICIONES DE PASTOREO

ARELI FABIOLA GUTIÉRREZ ARENAS

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

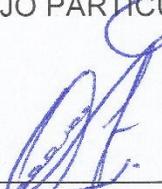
MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2015

La presente tesis, titulada: **Dinámica de crecimiento de la asociación de trébol blanco (*Trifolium repens* L.) y pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.) bajo condiciones de pastoreo**, realizada por la alumna **Areli Fabiola Gutiérrez Arenas**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

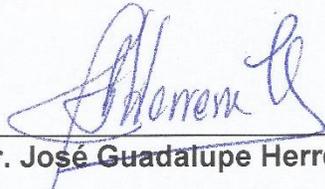
MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



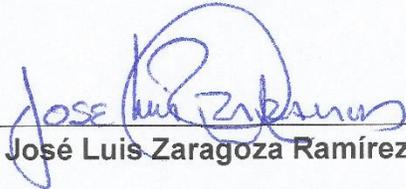
Dr. Alfonso Hernández Garay

ASESOR



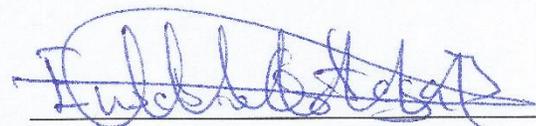
Dr. José Guadalupe Herrera Haro

ASESOR



Dr. José Luis Zaragoza Ramírez

ASESOR



Dr. Eusebio Ortega Jiménez

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio de 2015

Dinámica de crecimiento de la asociación de trébol blanco (*Trifolium repens* L.) y pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.) bajo condiciones de pastoreo

Areli Fabiola Gutiérrez Arenas, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

Con el objetivo de evaluar el crecimiento estacional del trébol blanco (*Trifolium repens* L.) se realizó un análisis de crecimiento por estación en Montecillo, Texcoco, estado de México. En praderas de 4 años de establecidas se trazaron 24 parcelas distribuidas en un diseño completamente al azar en 8 tratamientos con tres repeticiones. Se cosecharon tres parcelas para evaluar las variables: acumulación de materia seca, tasa de crecimiento del cultivo, composición botánica y morfológica, altura de la pradera, índice de área foliar y radiación interceptada. El mayor rendimiento de forraje se presentó en la octava semana para primavera, otoño e invierno (2953, 1592 y 1790 kg MS ha⁻¹) y en verano en la séptima con 1970 kg MS ha⁻¹. La hoja fue el mayor componente, a excepción del verano. Los resultados indican que el trébol blanco se debe cosechar a las semana 8 en primavera, otoño e invierno y a la semana 7 en verano. De manera adicional se evaluó el efecto de tres frecuencias de pastoreo (cada 28 días en primavera y verano, 95 y 100% de radiación interceptada y cada 35 días en otoño e invierno. 95 y 100% RI en el comportamiento productivo de trébol blanco (*Trifolium repens* L.) asociado con pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.). Se distribuyeron los tratamientos aleatoriamente en un diseño con bloques al azar con tres repeticiones. Se evaluaron las variables: acumulación de materia seca, composición botánica y morfológica, tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de la pradera. El mayor rendimiento de materia seca se obtuvo en la estación de primavera con 5407 kg MS ha⁻¹, siendo superior en 50, 45 y 13% a otoño, invierno y verano, respectivamente (P<0.05), siendo el tratamiento de 95% de RI el que obtuvo mayores rendimientos. La tasa de crecimiento de primavera fue superior en 2, 42 y 53 % a verano, otoño e invierno (P<0.05), respectivamente. Se recomienda cosechar el trébol cuando la biomasa de hojas ha alcanzado su nivel más alto, ya que se evita la pérdida por acumulación de material muerto. El manejo de la defoliación es importante, ya que permite controlar la producción de forraje, así como cosechar a la altura adecuada para disminuir los posibles efectos que afecten el rebrote y la producción de forraje.

Palabras clave: Producción de forraje, tasa de crecimiento, área foliar, frecuencia de pastoreo.

Dynamic growth of the association white clover (*Trifolium repens* L.) and orchard grass (*Dactylis glomerata* L.) under grazing conditions

Areli Fabiola Gutiérrez Arenas, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

In order to assess the seasonal growth of white clover (*Trifolium repens* L.) growth analysis was performed by station Montecillo, Texcoco, Mexico State. In four years of prairie established 24 plots distributed in a completely randomized design in 8 treatments with three replications were drawn. Three plots were harvested to evaluate the variables: dry matter accumulation, crop growth rate, botanical and morphological composition, pasture height, leaf area index and radiation interception. The highest forage yield was presented at the eighth week for spring, autumn and winter (2953, 1592 and 1790 kg DM ha⁻¹) and in summer in the seventh with 1970 kg DM ha⁻¹. The blade was the major component, except summer. The results indicate that white clover should be harvested at week 8 in spring, autumn and winter and summer week 7. Additionally the effect of three grazing frequencies (every 28 days in spring and summer, 95 and 100% of intercepted radiation and every 35 days in autumn and winter. 95 and 100% RI) was evaluated on the productive performance of white clover (*Trifolium repens* L.) associated with orchard grass (*Dactylis glomerata* L.). The treatments are randomly distributed in a randomized block design with three replications. Dry matter accumulation, botanical and morphological composition, growth rate, leaf area index and height on the Prairie: The variables were evaluated. Significant differences ($P < 0.05$) of treatments for all stations found. It is recommended when harvesting the clover leaf biomass has reached its highest level since the loss of dead material accumulation is avoided. Defoliation management is important because it allows to control the production of fodder and reap at the proper height to reduce the possible effects affecting regrowth and forage production.

Keywords: Forage production, growth rate, leaf area, grazing frequency.

∞ Dedicatoria ∞

Dicen que uno es la persona más rica cuando tienes a tus padres contigo y yo soy afortunada, **mis papás Eulogio y Bertha** han sido parte fundamental en mis logros, fracasos, caídas. Han estado siempre al pie del cañón, en su tarea de ser padres de esta difícil hija, éste es un logro más y es para ustedes...los amo

Armando; siempre has creído en mí y cuidado de tu hermanita, eres una persona de ese tipo que con solo escucharlo hace que me sienta protegida, y aunque fue un ciclo difícil, tú nunca dudaste de mí, jamás dejaste que me rindiera a pesar de las adversidades, gracias por los consejos y más aún por el apoyo... te quiero

Diana; no eres el rival a vencer, eres un ejemplo a seguir, fuerte y emprendedora, sólo me queda agradecerte porque gracias a ti estoy en esto que llaman ciencia, por el apoyo y los consejos, por levantarme y llamarme la atención cuando se ha necesitado pero sobre todo por incitarme a seguir adelante... te quiero

Qué más puedo decirte **Servando**, eres mi segundo hermano mayor, mi amigo, mi cuñado, eres mi guía y sobre todo mi conciencia, agradezco cada una de tus palabras, de tu paciencia, de tu cariño; pero sobre todo por estar a mi lado en los momentos más importantes y en las decisiones que he tenido que tomar, gracias enormes...

A **Sarah Anaid**, un ser lleno de energía que me enseña cosas nuevas cada día, veo muchas cosas de mí en ti, solo que en versión mejorada y eso es bueno, te amo mucho pequeñita gracias por enseñarme que no se necesita de edad para ser responsable y madura, pero sobre todo por esa sonrisa enorme que alegra mis días.

Tita, con quien he compartido momentos buenos y malos, pero sobre todo por regalarme un ser maravilloso, a quien cada día extraño y recuerdo, mi ángel **Valentina** quien me enseñó que todas las adversidades se pueden superar cuando eres un guerrero.

Berna, mi compañero de batallas, mi amigo, mi hermano; recuerdas que te dije que un párrafo sería exclusivo para ti, pues he cumplido. No tengo como agradecerte todo lo que has hecho por mí, tanto académica como personalmente, consejos, decisiones pero sobre todo que jamás te apartas ni en mis peores momentos, eres una de esas personas que llegan a la vida de alguien para hacerla mejor, gracias amigo...

Tíos **Oscar y Claudia**; ustedes han estado siempre al pendiente de todo esto, en los momentos más difíciles y en los felices, saben que son parte primordial en mi vida y que espero sean más logros como éste, los quiero infinitamente.... **Rope, Gaby y Gerardo**; los quiero mucho, agradezco que hayan estado al pendiente de todo este proceso, por siempre apoyarme y quererme de la manera en que lo hacen...

Mi amigo **Said**, también te prometí un párrafo, sabes que eres un tipo especial, mi amigo ya de años, alguien de quien siempre aprendo y espero seguir haciéndolo, gracias por todo tu apoyo pero más por esa amistad que no ha cambiado a pesar de los años...

A mis amigos: **Xóchitl, Gary, Gemma, Juan Luis, Carlos, Oscar, Ismael, Tania, Marlene, Nora, Vicente, Martín, Areli, Sonora, Néstor, Toño Borrego, Mariana, Merino, Alfredo, Cuautle**; son y serán personas clave en mi vida, la familia que escogí... los quiero

Al **gremio forrajero**: Rafa, Dany, Mario, F4, Ángel, Claudia, Iban, Miguel, Cancino, Edgar, Ever; por hacer de esto un equipo dentro y fuera de las praderas.

Familia **Arenas, Gutiérrez y Solís Trueba**,
Gracias por su apoyo siempre incondicional...

∞ 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**, especialmente al posgrado de Recursos Genéticos y Productividad- Ganadería, por brindarme un espacio y ser parte de su matrícula para superarme de manera profesional.

Al **Dr. Alfonso Hernández Garay**, por darme la oportunidad de trabajar en sus proyectos, por su amistad, sus consejos, sus regaños, su infinita paciencia, por todo el conocimiento que pude aprender y hacerme ver la importancia del trabajo y la investigación, el ejemplo a seguir en el gremio forrajero... gracias infinitas.

Al **Dr. José Guadalupe Herrera Haro**, por su amistad, su disposición y su apoyo durante mi estancia en Ganadería, por ser uno de los pilares en esta institución, gracias enormes...

Al **Dr. José Luis Zaragoza Ramírez**, agradezco su confianza, amistad, sus sugerencias acertadas en la investigación, por su disposición y sobre todo por su apoyo incondicional...

Al **Dr. Eusebio Ortega Jiménez** quien me ha brindado su amistad y su apoyo en la realización de mis estudios, siempre con una sonrisa, gracias enormes...

Al **Dr. Humberto Vaquera Huerta**, por su amistad, por sus acertadas sugerencias pero sobre todo por confiar en mí e impulsarme a ser mejor académicamente, desarrollarme personalmente y siempre sacar una sonrisa aún en tiempos difíciles...

A los Doctores **Juan Manuel Cuca García, David Hernández Sánchez, Mario Cobos Peralta, Adrián Quero Carrillo**, por su amistad y su incondicional apoyo, así como a los demás profesores.

A Remedios Caballero Zamora y Gerardo Saavedra, por apoyarme en la fase de investigación y sobre todo por su amistad brindada dentro y fuera del campus.

Al personal administrativo, especialmente a Celsa, Lupita, Anita, Lety, Vero, Ray, Rosario, Jacinto, por su apoyo incondicional y su amistad.

Contenido

Dinámica de crecimiento de la asociación de trébol blanco (<i>Trifolium repens</i> L.) y pasto ovillo (<i>Dactylis glomerata</i> L.) bajo condiciones de pastoreo	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	x
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
HIPÓTESIS	2
CAPÍTULO II	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Características de las especies evaluadas	3
2.1.1 Trébol blanco (<i>Trifolium repens</i> L.)	3
2.1.2 Características agronómicas del trébol blanco	5
2.1.3 Variedades de trébol blanco.....	5
2.1.4 Importancia forrajera del trébol blanco	7
2.1.5 Función de los tréboles en la pradera	7
2.1.6 Factores que afectan el crecimiento del trébol blanco.....	7
2.2 Pasto Ovillo (<i>Dactylis glomerata</i> L.)	8
2.2.1 Características agronómicas del pasto ovillo	8
2.3 Asociaciones de gramíneas y leguminosas forrajeras	9
2.4 Factores ambientales que afectan la producción de forraje.....	10
2.4.1 Factores climáticos	11
2.4.1.1 Radiación solar.....	11
2.4.1.2 Temperatura	12
2.4.1.3 Agua.....	13
2.4.2 Factores edáficos.....	14
2.4.2.1 Suelo.....	14
2.5 Importancia de la defoliación en la producción de forraje	16
2.5.1 Frecuencia e intensidad de pastoreo.....	16
2.6 Importancia del rebrote en el rendimiento de forraje.....	19
2.6.1 Factores de la planta relacionados con el rebrote.....	19
2.6.1.1. Meristemos de crecimiento	19
2.6.1.2 Reservas de carbohidratos	20
2.6.1.3 Índice de área foliar	20
2.6.1.4 Fotosíntesis.....	22
2.7 Composición botánica	23
2.8 Métodos para estimar el rendimiento de forraje.....	23
2.9 CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN DE LITERATURA	24
LITERATURA CITADA.....	25
CAPÍTULO III	33
ANÁLISIS DE CRECIMIENTO ESTACIONAL DE TRÉBOL BLANCO.....	33
3.1 INTRODUCCIÓN.....	35
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.2.1 Localización del área de estudio	37

3.2.2 Manejo de las praderas.....	37
3.2.3 Datos climáticos	38
3.3 Variables de estudio.....	39
3.3.1 Acumulación de materia seca	39
3.3.2 Composición botánica y morfológica	39
3.3.3 Índice de área foliar	40
3.3.4 Tasa de crecimiento promedio.....	40
3.3.5 Métodos indirectos de estimación de forraje	40
3.3.6 Intercepción de luz.....	41
3.4 Análisis estadístico.....	42
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
3.5.1 Acumulación de materia seca	42
3.5.2 Composición botánica y morfológica	44
3.5.3 Índice de área foliar	46
3.5.4 Tasa de crecimiento	47
3.5.5 Métodos indirectos para estimar rendimiento de forraje.....	48
3.5.6 Ecuaciones de regresión	51
3.5.7 Radiación interceptada.....	52
3.6 CONCLUSIONES.....	54
CAPÍTULO IV.....	58
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE LA ASOCIACIÓN DE TRÉBOL BLANCO Y PASTO OVILLO A TRES FRECUENCIAS DE PASTOREO	58
4.1 INTRODUCCIÓN.....	60
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS	61
4.2.1 Localización del área de estudio	61
4.2.2. Manejo de las praderas y tratamientos	62
4.2.3 Datos climáticos	63
4.3 Variables evaluadas.....	64
4.3.1 Acumulación de materia seca	64
4.3.2 Composición botánica y morfológica	64
4.3.3 Índice de área foliar	64
4.3.4 Tasa de crecimiento	65
4.3.5 Altura de planta	65
4.3.6 Radiación interceptada.....	65
4.4 Análisis estadístico.....	66
4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	66
4.5.1 Acumulación de materia seca	66
4.5.2 Composición botánica y morfológica	69
4.5.3 Tasa de crecimiento	71
4.5.4 Altura de la pradera	72
4.6 CONCLUSIONES.....	74
4.5 LITERATURA CITADA	75
5. CONCLUSIONES GENERALES	77

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Altura promedio por estación con los métodos de regla y plato durante un ciclo de 8 semanas de crecimiento.	50
Cuadro 2. Ecuaciones de regresión obtenidas por estación del año y anual con base al rendimiento de materia seca y altura.....	52
Cuadro 3. Rendimiento de forraje estacional y anual (kg MS ha ⁻¹) de la asociación de trébol blanco y pasto ovillo cosechado a tres frecuencias de pastoreo.	67
Cuadro 4. Rendimiento de forraje estacional y anual (kg MS ha ⁻¹), por especie deseable, a tres frecuencias de pastoreo de la asociación de trébol blanco y pasto ovillo.	68
Cuadro 5.- Tasa de crecimiento estacional (kg MS ha ⁻¹ d) a tres frecuencias de pastoreo de la asociación de trébol blanco con pasto ovillo.	71
Cuadro 6. Altura de la pradera (cm) anual y estacional de la asociación de trébol blanco con pasto ovillo.	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Características botánicas del trébol blanco.	6
Figura 2. Características botánicas del pasto ovillo.	9
Figura 3. Distribución de los tratamientos en la pradera.	38
Figura 4. Temperatura media mensual máxima, mínima, promedio y precipitación mensual acumulada durante el periodo de estudio (abril 2013 a marzo 2014).	39
Figura 5. Curvas de crecimiento estacional del trébol blanco durante un ciclo de crecimiento de 8 y 9 semanas.	43
Figura 6. Cambios estacionales en la composición botánica y morfológica del trébol blanco.	45
Figura 7. Cambios semanales en el índice de área foliar durante el análisis de crecimiento estacional de trébol blanco	46
Figura 8. Cambios por semana en la tasa de crecimiento del trébol blanco durante un ciclo de rebrote de 8 semanas, en las diferentes estaciones del año.	48
Figura 9. Cambios semanales en la radiación interceptada durante el análisis de crecimiento por estación.	53
Figura 10. Distribución de los tratamientos en la pradera.	63
Figura 11. Temperatura media mensual máxima, mínima, promedio y precipitación mensual acumulada en el periodo de estudio (Abril 2013 a marzo 2014).	63
Figura 12. Cambios estacionales en la composición botánica y morfológica de la asociación de trébol blanco y pasto ovillo cosechada a tres frecuencias de pastoreo. .	70

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En México, más del 50% de la superficie productiva se destina a la ganadería para el cultivo de plantas forrajeras perenne por ser el alimento barato para producir leche y carne (CONAGRO, 2006). Por esta razón las plantas forrajeras perennes son importantes en la dieta de rumiantes domésticos (Pérez *et al.*, 2002) en la mayoría de las unidades de producción de las zonas templadas de México (SAGARPA, 2010) cuyos propietarios siembran alguna especie forrajera para satisfacer las necesidades de materia seca del ganado doméstico que crían. Para lograr esto es necesario conocer la distribución del rendimiento de materia seca a través del año gramíneas y leguminosas forrajeras cultivadas; para identificar las temporadas de abundancia y déficit de forraje. Así como, las causas asociadas la distribución del rendimiento de materia seca (Hodgson, 1990; Hernández-Garay y Martínez. 1997).

Independientemente del tipo de planta forrajera perenne que se cultiva, la cantidad de materia seca producida durante el año varía de una estación como consecuencia de la variación de las condiciones climáticas, particularmente la temperatura ambiental (Camacho y García, 2002; Gonzales *et al.*, 2004). Por lo que es necesario disponer de datos cuantitativos de la distribución de la materia seca producida en cada estación del año y en las plantas forrajeras (McKenzie *et al.*, 1999, Matthew *et al.*, 2001; Lemaire, 2001; Daly, *et al.*, 1996). El cultivar una leguminosa con gramíneas podría hacer menos estacional la producción de forraje por responder de manera distinta a la temperatura ambiental cuando se cultivan en condiciones de riego.

OBJETIVOS

- Determinar la curva de crecimiento estacional del Trébol blanco (*Trifolium repens* L.) a fin de definir el intervalo óptimo de su cosecha en cada estación del año.
- Determinar el potencial de producción de forraje a diferentes intervalos de pastoreo para futura planificación de un sistema de pastoreo.

HIPÓTESIS

- El intervalo óptimo de pastoreo de trébol blanco varía con la estación del año.
- Existen diferencias en el rendimiento de forraje y composición botánica dependiendo del manejo de la defoliación.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Características de las especies evaluadas

2.1.1 Trébol blanco (*Trifolium repens* L.)

El trébol blanco, es una especie de trébol nativa de Europa, norte de África, y Asia occidental y de distribución cosmopolita. Es la forrajera ampliamente cultivada en zonas de clima templado y la clave de la ventaja internacional de sistemas de pastoreo en Nueva Zelanda (Ratray, 2005). Leguminosa (Fabaceae) del género *Trifolium*, que se caracterizan por la formación de hojas compuestas de tres folíolos, y por su habilidad de fijar nitrógeno en el suelo. Pueden variar considerablemente en su habitad de crecimiento y longevidad (anual y perenne) y sustentabilidad de varios nichos ecológicos (Ratray, 2005).

Esta especie es conocida como trébol blanco ladino o trébol ladino (Martínez, 1979) y se cultiva en Baja California Norte, en Chiapas, en el Distrito Federal, en Hidalgo, en Jalisco, en el Estado de México, en Michoacán, en Nayarit, en Oaxaca, en Puebla, en Querétaro, en San Luís Potosí, en Sonora, en Tlaxcala, y en Veracruz (Villaseñor y Espinosa, 1998). En campo se confunde fácilmente con *Trifolium mexicanum*, porque ambas especies también tiene flores blancas y cabezuelas de un tamaño similar. Pero *T. mexicanum* es pubescente, al menos en las partes jóvenes. Además, *Trifolium repens* L. frecuentemente tiene una marca blanca en sus folíolos, que no se encuentran en la otra especie. Finalmente, si bien *T. mexicanum* también se encuentra en lugares

perturbados y casi siempre está asociada a vegetación urbana, céspedes o cultivos forrajeros.

La descripción morfológica ha sido basada en Espinoza y Sarukhán (1997); por su parte Rzedowski (2001), menciona que es de una hierba perenne. Con una altura de hasta 40 cm, pero generalmente más baja (alrededor de 20 cm), tallo rastrero, con raíces en los nudos, muy ramificado, glabro o casi glabro. Las hojas son estípulas ovado-lanceoladas, de 8-15 mm de largo; hojas glabras, con el pecíolo de 5-25 cm de largo, folíolos 3, casi sésiles, anchamente elíptico-ovados o casi orbiculares, de 1-3 cm de largo, frecuentemente con una marca blanca; ápice redondeado, base cuneada. Hojas alternas, estipuladas, con pecíolos largos, trifoliadas. 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). Inflorescencia de umbela globosa, densa, de 1-2 cm de diámetro, con pedúnculos más largos que las hojas; pedicelos de 1-6 mm de largo. Flores: De 6-10 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 legumbre 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).

Crece en campos de golf, céspedes, cultivos y praderas. Se la encuentra en ambientes diferentes, tolera muy bien los cortes al ras. Crece en distintos tipos de pH y de suelos, pero prefiere los ligeramente arcillosos (Duthil, 1989; Richard *et al.*, 1997).

2.1.2 Características agronómicas del trébol blanco

La siembra del trébol blanco es por semilla a una densidad de 1.5 a 3.0 kg/ha cuando se asocia con una gramínea perenne (Muslera y Ratera, 1991). El trébol blanco es una excelente planta forrajera que se asocia con facilidad con gramíneas amacolladas (Allen, 1977). Se adapta a una diversidad de climas, suelos y altitudes. Crece muy bien en climas templado-húmedos con escasa sequía estival, no tolera crecer bajo sombra. Requiere suelos húmedos con alta disponibilidad de fósforo y potasio en el suelo. Se establece bien en praderas asociadas con Ballico perenne en condiciones de temporal en áreas templadas y en regadío en áreas secas (Juscafresca, 1983; Rattray, 2005). Se establece sin dificultad y es de larga persistencia en la pradera debido a su reproducción por estolones (Muslera y Ratera, 1991).

2.1.3 Variedades de trébol blanco

Las variedades de trébol blanco distinguen por el tamaño de las hojas. Las variedades de hojas grandes tienen crecimiento vertical, estolones gruesos, raíces e inflorescencia largas, pero emite pocos estolones por lo que tienen baja densidad en las praderas (Rattray, 2005). Las variedades de hojas largas son llamados “ladinos”, son de crecimiento alto y erecto, tienen estolones gruesos y raíces robustas. Estas variedades son usadas para praderas con pastoreo quizás porque el tener hojas largas y pocos estolones. Cuando los estolones son pisados y removidos por el pastoreo aumentan la posibilidad de establecer nuevas plantas incrementando la persistencia de las plantas de trébol (Rattray, 2005).

Las variedades de trébol de hoja pequeña o enanos son Aberystwyth S 184, Rivendel, preferidas para ser pastados por ovinos. Las variedades de tréboles con hoja

intermedia son Huia, Lirepa y Milka. Y las variedades de tréboles con hoja grande, llamados trébol ladino, son California, Regal, Tamar y Olwen, se emplean para praderas que serán segadas o pastoreadas por ganado vacuno (Rattray, 2005).



Figura 1. Características botánicas del trébol blanco.

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. (Rattray, 2005; Brock, 1989).

2.1.4 Importancia forrajera del trébol blanco

Para praderas de trébol asociado con Ballico Perene se reportan rendimientos entre 9 y 13 t de materia seca (MS) ha⁻¹ de mayor cantidad rico en proteína cruda y mayor digestibilidad que praderas de Ballico como una especie forrajera (Brock *et al.*, 1989) y que en comparación con la gramínea, el trébol blanco es más resistente al pisoteo de los animales que pastan (Duthil, 1989).

2.1.5 Función de los tréboles en la pradera

La función de las plantas de trébol en las praderas mixtas son fijar el nitrógeno atmosférico y acumular materia seca con mayor contenido de proteína cruda y materia seca digestible (Brock y Tilbrook, 2000). Las raíces de las plantas de trébol son infectadas y habitadas por bacterias del género *Rhizobium*, las cuales fijan el nitrógeno atmosférico y lo transforman a nitrógeno en forma de amoníaco. Al morir las raíces se desintegran y liberan el nitrógeno al suelo donde estará disponible para las plantas de zacate asociadas (Buxton, 1994; Kiang, 1982).

2.1.6 Factores que afectan el crecimiento del trébol blanco

La temperatura ambiental superior o inferior a los 24° C influye negativamente sobre el crecimiento de Trébol Blanco, pero temperaturas inferiores favorecen el crecimiento del zacate Ballico (18 a 21° C; Brock y Tilbrook, 2000). Las hojas y los estolones de las plantas de trébol blanco son los componentes de las plantas más afectados por temperaturas superiores e inferiores (Clark *et al.*, 1995).

2.2 Pasto Ovillo (*Dactylis glomerata* L.)

El pasto ovillo, es una planta perenne de 30 a 150 cm de altura, con pseudotallos y vainas foliares comprimidos en su base, hojas con lígula larga, inflorescencia en panícula unilateral, de alargada a ovada, ocasionalmente con las ramas basales separadas del resto y alargadas, espiguillas comprimidas, en grupos densos y unilaterales en el extremo de las ramas, glumas más cortas que el conjunto de las 2-5 flores que hay por espiguilla, glumas y lemas lanceoladas agudas (Aizpuru *et al.*, 1999). Presenta buena adaptación a distintas condiciones climáticas. Tolera la sequía, el calor y la sombra. Con respecto a los suelos, prefiere los terrenos calizos y ricos en materia orgánica, pero vive bien en los silíceos no demasiado ácidos (pH entre 6-8), no soporta bien el encharcamiento, pero tolera cierta salinidad. (Duthil, 1989; Juscafresca, 1983).

2.2.1 Características agronómicas del pasto ovillo

La semilla del pasto ovillo es de fácil germinación, pero las plántulas que se originan son de establecimiento lento. La cantidad de semilla para establecer una hectárea de pasto va de 15 a 20 kg/ha (Devesh, 2005; Duthil, 1989). Las plantas de este pasto son resistentes a la sequía, produce forraje cuya materia seca es muy digestible y es resistente al pastoreo (Devesh 2005; Aizpuru *et al.*, 1999). Este pasto es quizás el más cultivado en suelos superficiales y ligeros (Devesh, 2005).



Figura 2. Características botánicas del pasto ovillo.

2.3 Asociaciones de gramíneas y leguminosas forrajeras

El rendimiento de las praderas mixtas, con dos o más especies de gramíneas y leguminosas forrajeras es menos estacional que el de praderas con una sola especie forrajera. Además, la materia seca que producen contiene más proteína y materia seca digestible (Zaragoza *et al.*, 2009). Es difícil eliminar la estacionalidad de la producción de forraje ya que está determinada por factores ambientales, como la temperatura y lluvia (Matthew *et al.*, 2001; Lemaire, 2001). En la temporada de lluvias las praderas mixtas expresan su potencial para producir materia seca en un ambiente específico, y en la época de sequía disminuyen la producción de materia seca según el grado de

resistencia de las especies asociadas a las condiciones secas (Sanderson *et al.*, 2005).

2.4 Factores ambientales que afectan la producción de forraje

Las plantas forrajeras capturan y transforman la radiación solar y dióxido de carbono en materia seca (Hodgson, 1990). Durante este proceso manifiestan diferencias en los procesos fisiológicos involucrados que se manifiesta en las diferentes tasas de crecimiento durante el año o estaciones del año (Hodgson, 1990). La magnitud de las tasas de crecimiento están determinadas por la constitución genética de las plantas forrajeras y es modificada por los elementos del clima y por el manejo de las praderas (Nurjaya y Tow, 2001). La temperatura y precipitación son los elementos del clima que limitan el potencial productivo de las praderas en condiciones de temporal. La temperatura ambiental es el principal elemento del clima que limita el rendimiento de praderas irrigadas. En ambos casos por sus efectos directos sobre la fisiología de las plantas forrajeras (McKenzie *et al.*, 1999; Perreta *et al.*, 1997; Moliterno, 2002). Por esta razón se observa una curva de producción y distribución de la materia seca típicas durante el año, con cambios de un año a otro (Moliterno, 2002; Matthew *et al.*, 2001; Lemaire, 2001; Perreta *et al.*, 1997) o debido a la capacidad genética de las especies forrajeras para responder a la radiación y temperatura ambiental, a la humedad y fertilidad del suelo, a la fertilización y a la frecuencia de defoliación (Perreta *et al.*, 1997; Moliterno, 2002). Cada especie forrajera tiene requerimientos específicos de nutrientes y pH de suelo y capacidad determinada para tolerar y responder a la defoliación y pisoteo por el ganado (McKenzie *et al.*, 1999; Perreta *et al.*, 1997; Moliterno, 2002). De particular importancia es la respuesta de las plantas a la

temperatura ambiental, ya que influye directamente sobre la tasa de fotosíntesis; proceso fisiológico responsable de la acumulación de materia seca durante el año (McKenzie *et al.*, 1999). La temperatura y calidad de la radiación solar regulada la morfogénesis de la planta, la distribución de la materia seca en la misma planta; y la tasa de aparición, elongación y mortalidad de las hojas. El nivel y frecuencia de defoliación sobre las plantas forrajeras alteran la capacidad de las mismas para acumular peso seco en cada ciclo de crecimiento (Lemaire *et al.*, 2009).

2.4.1 Factores climáticos

2.4.1.1 Radiación solar

La radiación proveniente del sol es un conjunto de radiaciones electromagnéticas: ultravioleta, visible e infrarroja. En la radiación solar visible está la radiación fotosintéticamente activa que capturan las plantas forrajeras y la transforman a energía química que usan para reducir el dióxido de carbono en carbohidratos (McKenzie *et al.*, 1999). Según 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 (PAR) absorbida por las hojas verdes y que la eficiencia de absorción de la PAR depende del índice de área foliar, ángulo de las hojas en relación al tallo y a las propiedades ópticas de las hojas, la cantidad de radiación transmitida y reflejada por las propias hojas. El índice de área foliar es el área de hojas por unidad de suelo y se ha relacionado con la intercepción de la radiación solar; y por lo tanto con el rendimiento de una pradera. Cuando el índice de área foliar ha interceptado el 95% de la radiación incidente sobre el dosel de la pradera, se le llama índice de área foliar crítico (Lemaire y Chapman, 1996). El criterio del 95% de intercepción de la radiación

solar comenzó desde 1982, para determinar el momento de cosechar una pradera y hacer una utilización óptima del forraje y de mayor calidad. Con base a este concepto de elaboración una curva sigmoidea para la acumulación de materia seca con tres fases (Da Silva y Nascimento, 2007). Para algunas praderas con gramíneas tropicales se reporta que el 95% de intercepción de la radiación luminosa coincidió con la mayor acumulación de hojas y una menor acumulación de material muerto, en comparación con el 100% (Carneiro *et al.*, 2009, Giacomini *et al.*, 2009).

2.4.1.2 Temperatura

La temperatura ambiental determina la distribución, adaptabilidad y productividad de las plantas forrajeras, así como, la intensidad de los procesos metabólicos de las plantas controlados por enzimas directamente relacionados con la tasa de crecimiento y acumulación de materia seca de las praderas (Da Silva *et al.*, 2008). La tasa de crecimiento diaria por unidad de área es el promedio de las variaciones en la intensidad de la PAR durante el día (Simpson y Vulnevor, 1987). La máxima tasa de fotosíntesis y por consiguiente de acumulación de materia seca en gramíneas forrajeras de clima tropical es entre 35 y 39 °C y en leguminosas tropicales entre 30 y 35 °C, dependiendo de la especie forrajera. Para leguminosas templadas como el trébol blanco a los 30°C. Cuando el trébol blanco crece a 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). Para el trébol blanco se reporta la máxima tasa de acumulación de materia seca a 24° C, temperatura superior al intervalo de 15 a 20 °C, del zacate ballico (Clark *et al.*, 1995).

En gramíneas templadas, temperaturas superiores a la temperatura óptima causan que la enzima ribulosa bifosfato carboxilasa responsable de carboxilación de un azúcar de cinco carbonos, tenga mayor afinidad por el oxígeno originándose así el fenómeno de fotorespiración reduciéndose la tasa de fotosíntesis (Salisbury y Roos, 1992). Los fotoasimilados producidos durante la fotosíntesis son empleados para formar la pared celular de las plantas forrajeras (McKenzie *et al.*, 1999; Buxton, 1994; Clark *et al.*, 1995), y consecuentemente para la acumulación de materia seca diaria (Jiménez y Martínez, 1984; Duran *et al.*, 1999). Además de modificar el potencial para acumulación de materia seca del trébol blanco, la temperatura ambiental influye en la tasa de aparición de las hojas y de estolones (Clark *et al.*, 1995). También la precipitación y humedad en el suelo influye sobre la tasa de acumulación de materia seca como se ha demostrado en praderas de ballico perenne con trébol rojo (*T. pratensis*) y trébol blanco (Brougham, 1955).

2.4.1.3 Agua

Las moléculas de agua circulan dentro de las plantas y mediante flujo en masa, transportan minerales y hormonas a los diferentes órganos de las plantas. Los minerales son absorbidos de la solución del suelo por las raíces y transportados a los órganos fotosintéticos, las hojas. 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, así como de la captura y fija la radiación solar como energía química (Da Silva *et al.*, 2008).

En condiciones de déficit hídrico, en las plantas ocurren cambios morfológicos y fisiológicos para disminuir la pérdida de agua y mejorar la eficiencia de su uso. Lo primero que ocurre es una disminución en la expansión del área foliar (Passioura, 1982), la elongación y la división celular (Turner y Begg, 1978). Resultando una menor tasa de crecimiento foliar, tamaño de hojas, tasa de aparición de tallos y número de hojas vivas por tallo; y aumentan la tasa de senescencia de hojas y macollos (Turner y Begg, 1978), por lo que la vida media foliar es corta y la cobertura de las praderas es menor.

Las plantas de trébol blanco son sensibles al déficit hídrico pudiendo reducir su densidad hasta del 90% cuando se pastorean praderas con poca densidad de tallos (Brook y Hay, (1996). Al igual que las plantas de pasto ballico y festuca, las plantas de trébol blanco acumulan menos materia seca en situaciones de déficit hídrico (Karsten y MacAdam, 2001).

2.4.2 Factores edáficos

2.4.2.1 Suelo

Muchas propiedades del suelo físicas (material parental, textura, densidad aparente, y clase de drenaje), químicas (pH, contenido de materia orgánica y nutrientes vegetales disponibles) y biológicas (componentes microbianos) afectan el crecimiento del trébol blanco (Frame y Newbould, 1986). El trébol blanco crece bien en suelos de textura arenosa a arcillosa, profundos y con cantidades muy variables de materia orgánica; pero no crece en suelos con drenaje deficiente (Burdon, 1983) y en suelos con pH de 4.0 donde se produce muy poca formación de nódulos. Por lo que es necesario encalar

el suelo previo a la siembra de trébol blanco en suelos ácidos para elevar el pH a 6.0 (Frame y Newbould, 1986).

La fertilidad del suelo es otra propiedad del suelo que influye en el crecimiento del trébol blanco (Kemp *et al.*, 1999). La fertilización corrige las deficiencias de nutrientes de suelos pobre fertilidad, mejorando el crecimiento de trébol blanco. Además del nitrógeno, fósforo y potasio las plantas forrajeras necesitan ser fertilizadas con otros minerales como azufre, calcio y magnesio, y algunos micronutrientes como zinc, boro, manganeso (Da Silva *et al.*, 2008). La fertilización con nitrógeno ($20-60 \text{ kg N}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) es necesaria al momento de la siembra del trébol blanco ya que una vez establecidas las plantas fijaran nitrógeno atmosférico manteniendo elevado el contenido de nitrógeno del suelo (Brook y Hay, 1996). El trébol blanco es capaz de crecer en condiciones donde la cantidad de nitrógeno es deficiente mientras que otros nutrientes están disponibles (Brook y Hay, 1996). En las plantas de trébol blanco varía de 600 a $700 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ según las condiciones ambientales donde crezcan. En suelo clasificados como de pobre fertilidad se han registrado $17 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Caradus *et al.*, 1996). Después de nitrógeno, el fósforo es el nutriente limitante para el crecimiento del trébol blanco después del nitrógeno (Aerts y Chapyn, 1999), por lo que las praderas de trébol blanco deben ser fertilizadas con nitrógeno, fósforo y azufre para que estas crezcan satisfactoriamente y expresen su potencial para acumular materia seca (Woodfield y Caradus, 1996). En algunos suelos es necesario aplicar minerales como el molibdeno para mejorar la fijación de nitrógeno atmosférico (Brook *et al.*, 1989).

2.5 Importancia de la defoliación en la producción de forraje

La defoliación parcial o total de tejido vegetal de las plantas por los herbívoros domésticos o medio mecánicos, ocasiona pérdida de tejido meristemático (Gillet, 1984). El nivel de daño al tejido meristemático dependerá del grado e intensidad de la defoliación (Richards, 1993; Watkin y Clements, 1978). La defoliación también modifica el microclima y el equilibrio de la fisiología de las plantas favoreciendo inicialmente la respiración celular y posteriormente la fotosíntesis (Gillet, 1984; Watkin y Clements, 1978) por estimular el desarrollo y crecimiento del área foliar de la pradera (Culnevor *et al.*, 1989) según la plasticidad de las plantas defoliadas (Richards, 1993; Matthew *et al.*, 2001).

2.5.1 Frecuencia e intensidad de pastoreo

La frecuencia e intensidad de la defoliación es parte del manejo de una pradera. El propósito de regular ambos aspectos es lograr mayor persistencia de las praderas y cosechar la mayor cantidad de materia seca por unidad de superficie (Hodgson, 1979). A mayor intervalo o frecuencia de defoliación entre periodos de crecimiento, mayor será la cantidad de materia seca acumulada y menor la oportunidad para dañar el tejido en los puntos de crecimiento (Speeding, 1971; Jiménez y Martínez, 1984; Hernández-Garay *et al.*, 1997). En relación a este aspecto, la estrategia de manejo de praderas debe considerar los cambios en la composición botánica y calidad de la materia seca acumulada (Hernández-Garay *et al.*, 1997) y el estado vegetativo de las plantas forrajeras (Perreta y Vegetti, 1997). La severidad o nivel de defoliación se relaciona con

la altura de las plantas después de un evento de defoliación y tiene efecto sobre la rapidez de la renovación del tejido vegetal fotosintéticamente activo.

La intensidad y frecuencia de pastoreo modifica el balance entre el trébol blanco y la especie forrajera asociada. La magnitud del desbalance depende de las condiciones ambientales que incidan sobre la pradera cuando las plantas reinician el crecimiento después de una defoliación (Caradus *et al.*, 1996). En praderas de trébol blanco asociado con gramíneas se ha documentado que la aplicación de nitrógeno mejora el desarrollo de los puntos de crecimiento, la tasa de aparición de hojas fotosintéticamente activas, pero perjudica su habilidad para competir con la especie asociada. Praderas de trébol blanco con gramíneas fertilizadas con $400 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, produjeron más materia seca si se incrementa el intervalo de defoliación de 3 a 6 semanas, pero la proporción del trébol disminuyó o se mantuvo igual (Frame y Newbold, 1986).

La combinación entre frecuencia y severidad de defoliación producirá efectos negativos 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). Defoliaciones menos frecuentes pero severas, como en el pastoreo rotacional, favorecen el desarrollo de hojas y tallos; y la muerte o desaparición de muchas unidades nuevas de crecimiento (Hunt, 1982). En contraste, defoliaciones más frecuentes y poco severas mejoran la supervivencia de tallos y estolones; y aumentan la densidad de las plantas gramínea. Cuando las hojas del trébol se encuentran sobre las plantas de la gramínea la severidad de pastoreo es menos importante (Brook y Hay, 1996). En un ensayo con frecuencias de defoliación se encontró que defoliaciones muy

frecuentes favorecen al Trébol blanco y que defoliaciones menos frecuente favorece al zacate Ballico (Ratray, 2005). Pastoreos frecuentes en la primavera favorecen el crecimiento del trébol blanco (Brook y Hay, 1996), aunque otros ensayos demuestran que pastoreos frecuentes en la primavera e inicios del verano controlan el crecimiento del pasto ballico (Ratray, 2005).

Pastoreos con intervalos de 6 semanas permiten mayor acumulación de materia seca en praderas de trébol variedad Kent, variedad de hoja pequeña; que en praderas de trébol variedad Pitau, de hoja grande. La gramínea (*Lolium perenne*) contribuyó más al rendimiento total que el trébol variedad Kent. Por el contrario, la pradera con trébol variedad Pitau la gramínea contribuyó menos al rendimiento (Widdup y Turner, 1983).

Las plantas de trébol tienen cualidades plásticas que le permiten recuperarse de las defoliaciones y restituir con prontitud su tejido fotosintéticamente activa (Black *et al.*, 2009). Dicha cualidad hace que las plantas del trébol blanco se adapten a sistemas de pastoreo rotacional y continuo con ovejas (Brock, 1988; Brock y Hay, 1996; Brock y Tilbrook, 2000).

Intensidades de defoliación a praderas con zacate Ballico, trébol rojo y trébol blanco, a alturas de 2.5, 7.5 y 12.5 cm durante 32 días a una frecuencia de 4 días fueron asociadas a la intercepción de radiación sola, revelaron que defoliaciones de 2.5 cm interceptaron el 95% de la radiación solar incidente a los 24 días de iniciado el rebrote; y las defoliaciones a alturas de 7.5 12.5 cm el 100% de la radiación solar incidente sobre las plantas (Brougham, 1956). Con defoliaciones a alturas de 4, 5 y 6 cm en praderas de trébol blanco con ganado lechero se cosechó 11.1, 10.2 y 9.1 t MS ha⁻¹,

respectivamente. En las praderas con de menor altura de defoliación las plantas de trébol crecieron sin influencia de la sombra del forraje residual (Phelan *et al.*, 2013).

2.6 Importancia del rebrote en el rendimiento de forraje

El potencial para rebrotar de las plantas forrajeras es modificado por factores ambientales y la magnitud de la desviación del potencial genético depende la especie forrajera (Hernández-Garay, *et al.*, 2000; Hunt, 1990). La capacidad de rebrote de las gramíneas forrajeras perennes proviene de la reproducción vegetativa a partir del tejido meristemático localizado en la base de tallos, en tanto que la del trébol del tejido meristemático localizado en la base de los entrenudos. En ambos casos el despertar de este tejido está influenciado por las fitohormonas, como auxinas y citoquininas (Tomlinson y O'Connor, 2004).

2.6.1 Factores de la planta relacionados con el rebrote

2.6.1.1. Meristemas de crecimiento

El tejido meristemático de las plantas forrajeras son un conjunto de células con potencial para dividirse y diferenciarse. Se encuentran en la parte apical de los tallos (meristemas apicales), en los entrenudos de los tallos y rizomas (meristemas intercalados) en la base de los tallos (meristemas laterales). Estos también son conocidos como puntos de crecimiento. A partir de estos puntos crece el nuevo tejido vegetal después de una defoliación (Salisbury y Roos, 1992; Bidwell, 1979). La región del crecimiento del tallo de los fitómeros se encuentra en el ápice del tallo, el cual está formado por una zona apical de división celular, en la cual, las hojas y los entrenudos embrionarios producidos en el ápice crecen hasta alcanzar su tamaño de maduración.

La activación de las zonas meristemáticas está influenciada por el balance entre auxinas y citoquininas y, dependiendo de este balance, se va inducir la formación de hojas nuevas, que son productoras de auxinas, necesarias para promover el desarrollo de nuevo tejido foliar y radical (Bidwell, 1979).

2.6.1.2 Reservas de carbohidratos

La reserva de carbohidratos son un grupo de carbohidratos no estructurales entre ellos las fructosanas, sacarosa y almidón que se emplean para sostener el crecimiento inicial de los puntos de crecimiento. Estos carbohidratos se almacenan en la base de los tallos, raíces, estolones y rizomas de las plantas forrajeras (Smith, 1972). El crecimiento de las plantas forrajeras después de una defoliación depende de estos carbohidratos de reserva, por lo tanto los foto-asimilados producidos por la fotosíntesis no son suficientes para sostener el crecimiento del nuevo tejido vegetal (Duthil, 1989; Hanson *et al.*, 1988). Por procesos fisiológicos de óxido-reducción los carbohidratos no estructurales como la glucosa, fructuosa, sucrosa, almidón, xilosa, rafinosa, sacarosa, estaquinosa, arabiosa y galactosa son transformados a energía y esqueletos necesarios para la formación del nuevo tejido (Smith, 1972; White, 1973).

2.6.1.3 Índice de área foliar

El índice de área foliar (IAF) es la superficie de las hojas por unidad de área de suelo, determina la capacidad de las plantas de interceptar la radiación solar. Al aumentar el IAF menor será la cantidad de la luz que llegue al suelo y mayor será la tasa de crecimiento. Cuando la mayor parte de la radiación solar incidente sobre las plantas es interceptada, la tasa de crecimiento es máxima y se dice que las forrajeras alcanzaron

su IAF óptimo (Hodgson, 1990; Baguet y Bavera, 2001). Conforme aumenta el IAF, la tasa de respiración celular es menor y la tasa de fotosíntesis mayor, por lo que el tejido vegetal dispone de suficientes foto asimilados para crecer y enviar el exceso a los órganos de reserva como la base de tallos, estolones, rizomas y raíces (Chapman y Lemaire, 1993). La PAR capturada y transformada a energía química depende de la cantidad de hojas fotosintéticamente activas, así como la disposición de estas en el tallo y la radiación solar incidente en la zona. A medida que el área foliar aumenta, la cantidad de luz interceptada será mayor y por consecuencia, el crecimiento de los pastos será mayor (Hodgson, 1990).

El IAF altera la calidad de la luz que incide sobre una pradera, puede modificar algunas variables a nivel de planta individual y cambiar sus características estructurales, tales como la densidad y tamaño de los macollos. El ambiente lumínico de una cubierta vegetal es normalmente heterogéneo. La parte superior del mismo, recibe la totalidad de la luz incidente, disminuyendo exponencialmente con la profundidad dentro de los estratos foliares. Por lo que cada defoliación implica un cambio en la calidad e intensidad de la luz que es interceptada, provocando que conforme se incremente la masa de hojas, se desarrollen hojas largas y una baja densidad de tallos (Mazzanti *et al.*, 1994; Lemaire, 2001). Dependiendo de la cantidad de luz, la tasa de crecimiento del forraje aumenta hasta que el 95% a 100% de la luz incidente es interceptada (Hodgson, 1990). El crecimiento depende en mayor grado del área foliar fotosintéticamente activa, la cual incrementa de manera progresiva conforme se forman y crecen nuevos tallos y hojas (Matthew y Hodgson, 1997). Por su parte, Villegas (2002), encontró que la acumulación de material vegetativo, tiene una relación directa con el IAF, pero no con

el número de hojas por tallo. Velasco *et al.* (2001), mencionan que existe una variación en el IAF, en relación con el intervalo de corte en pasto ovillo y ballico perenne, ya que conforme el intervalo de defoliación se amplía de 2 a 6 semanas, éste se incrementa, en todas las estaciones del año, con excepción del invierno.

Las diferencias en el potencial de rebrote de una especie, pueden deberse no sólo a diferencias en la estructura del área foliar remanente, sino también al contenido de carbohidratos solubles (Gillet, 1984; Ganderats y Hepp, 2003; Hernández-Garay *et al.*, 2002). De esta manera, el comportamiento de una gramínea frente al pastoreo está relacionado con el potencial de reemplazo del área foliar que la planta tenga (Paterson, 1962; Hyder, 1972; Briske, 1991). La altura del cultivo, en conjunto con la densidad del follaje, determinan la cantidad de materia seca que se produce; mientras que, la relación hoja: tallo, así como la diversidad entre especies determinan la calidad de la materia seca disponible (Hodgson, 1990; Castillo *et al.*, 2009).

2.6.1.4 Fotosíntesis

La fotosíntesis es un proceso de dos fases, la captura de la radiación solar y su transformación a energía química; y la fijación del dióxido de carbono y su reducción a foto-asimilados, siendo la sacarosa el principal y más abundante. La primera fase del proceso ocurre en la membrana de los tilacoides mientras que el segundo en el estroma de los tilacoides. Los tilacoides se localizan en los cloroplastos de las hojas que son el órgano fotosintético de las plantas forrajeras (Estrada, 2002). El proceso de fotosíntesis es afectado por la defoliación (Richards, 1993) y la cantidad de área foliar remanente fotosintéticamente activa (Briske, 1991).

La tasa de fotosíntesis, la cantidad de dióxido de carbono fijado por unidad de tiempo y área foliar, es mayor al inicio del crecimiento de las plantas forrajeras y disminuye gradualmente conforme con la edad del rebrote (McNaughton, 1983). Con el aumento del IAF aumenta la tasa de fotosíntesis hasta cierto nivel donde comienza a disminuir (Hodgson, 1990; Horrocks y Vallentine, 1999).

2.7 Composición botánica

La composición botánica de la pradera proporciona una idea clara del comportamiento individual de las especies forrajeras, la importancia de cada especie en la pradera y en el forraje cosechado. La importancia de una especie vegetal en la pradera depende de su capacidad para tolerar la defoliación y para restituir su tejido vegetal después de cada defoliación (Karsten y Carlassare, 2002).

2.8 Métodos para estimar el rendimiento de forraje

El objetivo de cultivar praderas es producir forraje con el fin de alimentar al ganado doméstico. Para cubrir las necesidades del ganado que pasta en las praderas debe estimarse la cantidad de materia seca previo al ingreso del ganado. Con base a la cantidad de forraje en la pradera y necesidad de materia seca por animal puede asignarse determinada cantidad por cada 100 kg de peso vivo. La cantidad de materia seca se estima por métodos el método destructivo y no destructivo. El método destructivo implica cortar todo el forraje presente dentro de una unidad de muestreo de 1 m² y con base a esto hacer el cálculo para una hectárea. Método no destructivo tiene varias técnicas que relacionan la cantidad de materia seca dentro de una unidad de muestreo de área conocida con la altura promedio de las plantas o cobertura. Con este

último método se estima rápido la cantidad de materia seca en la pradera mediante un modelo de regresión lineal (Castillo *et al.*, 2009). La precisión de este método depende de la habilidad y experiencia del que toma las muestras (Campos *et al.*, 2004; Fernández, 2004).

Las técnicas para estimar la cantidad de materia seca en una pradera debe ser rápida, precisa y fácil de aplicarse en campo (Castillo *et al.*, 2009), para que los ganaderos puedan aplicarla y mediante cálculos sencillos puedan estimar la cantidad de materia seca. El propósito de la investigación en este tema es validar técnicas con técnicas estadísticas, para relacionar correctamente la altura promedio de las plantas con la cantidad de materia seca, como con el plato medidor, la regla o la capacitancia y hacerlas accesibles a los productores (Rayburn y Lozier, 2007; Velasco *et al.*, 2005; Ganguli *et al.*, 2000; Braga *et al.*, 2009).

2.9 CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN DE LITERATURA

El rendimiento de materia seca del trébol blanco depende de las condiciones ambientales a las que está expuesto el rebrote o nuevo crecimiento después de una defoliación, del programa de manejo de la pradera y de la capacidad genética de las plantas de trébol para responder al ambiente en el que crecen. En consecuencia, la cantidad de forraje disponible para el ganado domestico varía de una estación a otra debido a las variaciones en la temperatura ambiental y la capacidad de las plantas de trébol para crecer a temperaturas inferiores y superiores a la temperatura óptima para la máxima acumulación de materia seca. Con praderas de trébol como única forrajera se cosecha menor cantidad de forraje que con praderas mixtas de trébol blanco y una gramínea de clima templado.

LITERATURA CITADA

- Aerts, R., and Chapin III, S.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., Aseginolaza, C., Uribe-Echebarría, P. M., Urrutia, P., Zorrakin, I. 1999. Claves ilustradas de la flora del país vasco y territorios limítrofes. Servicio central de publicaciones del gobierno vasco, Vitoria, España.
- Allen, P. L. 1977. *Plantas comestibles*, (New York City: Houghton Mifflin Company, 1977). P 56.
- Baguet, H.A. y Bavera, G.A. 2001. Fisiología de la planta pastoreada. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional del Río Cuarto. Provincia de Córdoba, Argentina.
http://www.produccionovina.com.ar/produccionymanejopasturas/pastoreosistemas/04fisiologia_de_la_planta_pastoreada.htm
- 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.
- Bidwell, R.G.S. 1979. *Fisiología Vegetal*. A.G.T. Editor. A.A. México. 784 p.
- Black, A. D., Laidlaw, S.A., Moot, J.D., and O'Kiely, P. 2009. Comparative growth and management of white and red clovers. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 45: 149-166.
- Braga, G.J., Silveira, P.C.G., Rodríguez, H.V., De Cerqueira L.P.H., Aparicio, M.A., Barros, M.F. 2009. Quantifying herbage mass on rotationally stocked palisadegrass pastures using indirect methods. *Science Agricola*. 66 (1): 127-131.
- Briske, D.D. 1991. Development morphology and physiology of grasses. In: *Grazing Management: at ecological perspective*. Heitschmidt, R.K., Stuth J.W. (eds). Timber Press, Portland, Oregon, USA. Pp. 85-108.
- 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. Caradus, J. R. 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 Hay M.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. 28: 65-70.
- 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.
- Brougham, R.W. 1955. A study in rate of pasture growth. Crop and Pasture Science. 6(6): 804-812.
- Brougham, R.W. 1956. Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture. Australian Journal of Agricultural Research. 7: 377-387.
- Burdon, J., J. 1983. *Trifolium repens* L. The Journal of Ecology. 24: 307-330.
- Buxton, D. R., Fales, S. L. 1994. Plant environment and quality. In: Faher G. C., (Eds). Forage quality, evaluation and utilization. Madison (Ne): University of Nebraska. American Society of Agronomy. P.155-199.
- Camacho, G. J. L. García, M. J. G. 2002. Producción y calidad del forraje de cuatro variedades de alfalfa asociadas con Trébol Blanco, Ballico perenne, festuca alta y pasto Ovillo.
- Campos, P.D.S., Magalhães, A.L.J., Cóser, A.C., Carvalho, C.R. 2004. Rising plate meter and plant height to estimate the herbage mass in *Cynodon ssp.* Swards, Ciencia Rural, Santa María. 34(2): 559-601.
- Caradus, J. R., Woodfield, D. and 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., y S. Da Silva C. 2009. Acúmulo de forragem durante a rebrotação de caprim-xaraés submetido a três estratégias de desfolhação 1. Bras. Zootec. 38 (4): 618-625.
- Castillo, E.G., Valles, M.B., Jarillo, R.J. 2009. Relación entre materia seca presente y altura en gramas nativas de trópico mexicano. Técnica Pecuaria en México. 47(1) : 179-92.
- 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 ryegrass (*Lolium perenne*) y white clover (*Trifolium repens*). Journal os Applied Ecology. 32: 128-136.
- CONAGRO. 2006. La ganadería en México. Documento informativo. <http://www.conagro.com/novedades/ganaderia.html>.

- Culnevor, R.A., Davidson, I.A., Simpson, R.J. 1989. Regrowth by swards of subterranean clover after defoliation, carbon exchange in shoot, root and nodule. *Annals Botany* (64): 557-567.
- Daly, M. J. Hunte, R. M. Green, G. N. Hunt, L. 1996. A comparison of multi-species pasture with ryegrass-white clover pastures under dryland conditions. *Proc. N. Z. Grass. Assoc.* 58: 53-58.
- Da Silva S.C., y D. Nascimento J.D., Euclides, V.P.B. 2008. Pastagens: conceitos básicos, produção e manejo. Viçosa, MG: Suprema. 115 p.
- Da Silva, S.C. y D. Nascimento J. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia.* 36: 122-138.
- Devesh, S. 2005. Cool season annual and perennial grass forages for California a new perspective. In: *Proceedings, California Alfalfa and Forage Symposium, 12-14 December, 2005. Visalia Ca. USA.* <http://alfalfa.ucdaves.edu>
- Duran J.L., Schäufele, R. and Gastal, F. 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.
- Espinosa, F. J. y J. Sarukhán. 1997. *Manual de Malezas del Valle de México. Claves, descripciones e ilustraciones.* Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica, México, D. F.
- Estrada, A.J. 2002. *Pastos y forrajes para el trópico colombiano.* Ed. Universidad de Caldas. Colombia.
- Fernández, H.H. 2004. *Estimación de la disponibilidad de pasto.* INTA, Estación experimental Balcarde, Área de producción animal, Balcarde, Buenos Aires. Argentina. 23 p.
- Frame J. and Newbould P. 1986. Agronomy of white clover. *Advances in Agronomy.* 40: 1-88.
- Ganderats, F.S., Hepp, K.C. 2003. Mecanismos de crecimiento de *Lolium perenne*, *Festuca arundinacea* y *Dactylis glomerata* en la zona intermedia de Aysén. *Agricultura Técnica.* 63 (3).

- Gangulli, A.C., Vermeire, L.T., Mitchell, R.B., Wallace, M.C. 2000. Comparison of four nondestructive techniques for estimating standing crop in shortgrass plains. *Agronomy Journals*. 92:1211-1215.
- Giacomini, A.A., Silva, S.C.D., Sarmiento, D.O.D., Zeferino, C.V., Trindade, J.K.D., Souza Júnior, S.J. and Nascimento Júnior, D.D. 2009. Componentes of the leaf area index of marandu pelisadegrass swards subjected to strategies of intermittent stocking. *Scientia Agricola*. 66(6): 721-732.
- Gillet, M. 1984. *Las gramíneas forrajeras*. Ed. Acribia. Zaragoza España.
- González, A. S. X. Días, S. H. López, T. R. Aizpuru, G. E. Garza, C. H. M. y Sánchez, R. F. 2004. Consumo, calidad nutritiva y composición botánica de una pradera de alfalfa y gramíneas perennes con diferentes niveles de asignación de forraje. *Técnica Pecuaria en México*. 42: 29-37.
- Hanson, A.A., Barnes, R.D.K. y Hill, A. 1988. *Alfalfa and alfalfa improvement*. American Society of Agronomy Inc. Madison, USA. 1084 p.
- Hernández-Garay, A. y P. A. Martínez, H. 1997. Utilización de pasturas tropicales. En Torres H. G y P. Díaz R. (Eds.) *Producción de ovinos en zonas tropicales*. Fundación produce-INIFAP. P. 8-24.
- Hernández-Garay, A., Matthew, C. y Hodgson, J. 2000. The influence of defoliation height on dry-matter partitioning and CO₂ exchange of perennial ryegrass miniature sward. *Grass and Forage Science*. (54): 1-5.
- Hodgson, J. 1979. Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass and Forage Science*. 34: 11-18.
- Hodgson, J. 1990. *Grazing Management. Science into Practice*. Longman Scientific and Technical. Essex, England. 203 p.
- Horrocks, R.D. and Vallentine, J.F. 1999. *Harvested Forages*. Academic Press. Oval Road, London. United States of America. 426 p.
- Hunt, R. 1982. *Plant growth curves. The Functional Approach to Plant Growth Analysis*, Edward Arnold. London, England. 248 p.
- Hunt, R. 1990. *Plant growth curves. The Functional Approach to Plant Growth Analysis*. Edward Arnold, London, England. 248 p.
- Hyder, D.N. 1972. Defoliation in Relation to Vegetative Growth (304-317). In: V.B. Youngner and C.M. McKell (Eds.). *The Biology and Utilization of Grasses*. Academic Press. New York.

- INEGI, 2009. Superficie sembrada de los principales cultivos anuales en el año agrícola 2007, por cultivo. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=agro08&s=est&c=594>.
- 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.
- Karsten, H.D. and Carlssare, M. 2002. Describing the botanical composition of a mixed species northeastern U.S. Pasture rotationally grazed by cattle. *Crop Science*. 42: 882-889.
- Kemp, L.M., Condon, 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.
- Kiang, K.K. 1982. "Phosphate response and uptake by *Lotus pedunculatus* and *Trifolium repens* and *Trifolium ambiguum*." *Lotus Newsletter* 13: 14-16.
- 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. 2001. Ecophysiology of grasslands Aspects of forage plant populations in grazed swards. Proc XIX International Grassland Congress. Brazilian Society of Animal Husbandry Sociedade Brasileira de Zootecnia. Sao Pedro, San Paulo. Brasil. Pag. 29-37.
- Lemaire, G., and Chapman, D. 1996 "Tissue flows in grazed plant communities." *The ecology and management of grazing systems*. Wallingford: CAB International: 3-36.
- 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 Sci*. Auckland, N.Z: Oxford University Press. 29-44.
- McNaughton, S.J. 1983. Compensatory plant growth as a response to herbivoria. *Oikos*. 40: 329-336.

- Martínez, M. 1979. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
- Matthew, C. y Hodgson, J. 1997. Form and function of grass. CD ROM. Grass view. Institute of Natural Resources, Massey University, New Zealand.
- Matthew, C. G. Val Loo, E. N. Tom, E. R. Dawson, L. A., and Care, D. A. 2001. Understanding shoot and root development. Proc. XIX International Grassland Congress. Sao Pulo, Brasil. pp: 19-27.
- Mazzanti, A.G., Lemaire, G. and Gastel, F. 1994. The effect of nitrogen fertilization upon herbage production of tall fescue swards continuously grazed with sheep. 1. Herbage growth dynamics. Grass and Forage Science. 49: 111-120.
- Moliterno, E. A. 2002. Variables básicas que definen el comportamiento productivo de mezclas forrajeras en su primer año. Agrocienca 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, I.G.M. and Tow, P.G. 2001. Genotype and environmental adaptation as regulators of competitiveness. In: Philip G. Tow and Alec Lazenby (Eds.). Competition and Succession in pastures. CABI Publishing. Wallingford. UK. p. 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.
- Pérez, B. M. T. Hernández, G. A. Pérez, P. J. Herrera, H. J. G. Bárcena G. R. 2002. Respuesta productiva y dinámica de rebrote del Ballico perenne a diferentes alturas de corte. Téc. Pec. Méx. 40: 251-263.
- Perreta, M. y Vegetti A. 1997. Formas de crecimiento y efectos del corte en gramíneas forrajeras. Revista FAVE. 2: 68-80.
- Peterson, R.A. 1962. Factors affecting resistance to heaving grazing in needle-thread grass. Journal of Range Management. 15: 183-189.
- 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. <http://www.maf.govt.nz/sff/whats-on/rd-and-e-extension-report-clover.pdf>
- Rayburn, E. B. and Lozier, J.D. 2007. Alternative methods of estimating forage height and sward capacitance in pastures can be cross calibrated. <http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/fg/research/2007/capacitance/>
- Richard, J. H. Joseph, C. N. y Joseph, M. D. 1997. Malezas del Nordeste, (Ithaca, NY: Cornell University Press, 1997), Pp. 236-237.
- Richard, J.H. 1993. Physiology of plants recovering from defoliation. In: Proceedings of the XVII International Grassland Congress. New Zealand and Australia. Pp. 85-94.
- Rzedowski, G. C. Rzedowski, J. 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.
- Speeding, C.R.W. 1971. Grassland Ecology. Clarendon press. Oxford, Great Britain. 221 p.
- SAGARPA. 2010. Producción Agrícola en México. Centro de Estadística Agropecuaria. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>
- Salisbury, F.B. Ross, C.W. 1992. Plant physiology. 4.ed. California:Wadsworth Publishing Company. 682p.
- 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: 1465-1471.
- Simpson, R.J. and Vulnevor, R.A. 1987. Photosynthesis, carbon partitioning and herbage yield. *Temperate Pastures* (J.R. Wilson. Ed). Pp: 50-56.
- Smith, D. 1972. Total nonstructural carbohydrate concentrations in the herbage of several legumes and grasses at first flower. *Agronomy Journal*. 64:705-706.
- Tomlinson, K.W. and O'Connor, T.G. 2004. Control of tiller recruitment in bunchgrasses: uniting physiology and ecology. *Functional Ecology*. 18: 489-496.
- 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.

- Velasco, Z.M.E., Hernández, G.A., González, H.V.A., Pérez, P.J., Vaquera, H.H., Galvis, S.A. 2001. Curva de crecimiento y acumulación estacional de pasto Ovillo (*Dactylis glomerata* L.). Técnica Pecuaria en México. 39 (1): 1-14.
- 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.
- Villaseñor Ríos, J. L. y F. J. Espinosa García. 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. 2002. Análisis de crecimiento estacional y componentes del rendimiento de cuatro variedades de alfalfa. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, estado de México. 91 p.
- Watkin, B. and Clements R. 1978. The effects of grazing animals on pastures. In: Wilson, J.R. (ed.). Plant relations in pastures. CSIRO, East Melbourne, Australia. Pp. 273-289.
- Widdup, K.H. and Turner, J.D. 1983. Performance of 4 white clover populations in monoculture and whit ryegrass under grazing. New Zealand journal of experimental agriculture. 11(1): 27-31.
- White, L.M. 1973. Carbohydrates of reserves of grasses, a review, Journal of Range Management. 26: 13-17.
- 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. Osnaya, G. F. Martínez, H. P. A. González, M. S. y Quero, C.A. 2009. Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto Ovillo. Técnica Pecuaria en México. 47: 173-188.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO ESTACIONAL DE TRÉBOL BLANCO

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el crecimiento estacional del trébol blanco para determinar el momento óptimo de cosecha; para lo cual se realizó un análisis de crecimiento por estación, en una pradera de 4 años de establecida. Se trazaron 24 parcelas de 3 x 3m distribuidas en un diseño completamente al azar con 8 tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en cortes semanales de manera sucesiva, para un ciclo de rebrote de ocho semanas, a mediados de cada estación del año. En la segunda semana de cada estación se realizó un corte de uniformización al inicio del experimento y se determinó el forraje residual con tres muestras de 0.25 m², a ras, después, cada semana se cosecharon de la misma manera tres muestras en parcelas diferentes. Las variables evaluadas fueron: rendimiento de materia seca, composición botánica y morfológica, índice de área foliar, tasa de crecimiento, altura de la pradera y radiación interceptada. Los resultados arrojaron que el mayor rendimiento de forraje se obtuvo en la octava semana para primavera, otoño e invierno (2953, 1592 y 1790 kg MS ha⁻¹) y en verano en la séptima con 1970 kg MS ha⁻¹. La tasa de crecimiento varió entre estaciones (P<0.05), en orden descendente es el siguiente: primavera > verano > otoño > invierno (48, 33, 29 y 28 kg MS ha⁻¹ d⁻¹). El mayor índice de área foliar se presentó a la semana 5 en verano (P<0.05), en primavera otoño e invierno fue a la semana (1.7, 3.0, 1.4 y 1.6). La hoja fue el mayor componente, a excepción del verano. Los resultados indican que el trébol blanco se debe cosechar a las semana 8 en primavera, otoño e invierno y a la semana 7 en verano.

PALABRAS CLAVE: Producción de forraje, tasa de crecimiento, área foliar.

SEASONAL GROWTH ANALYSIS OF WHITE CLOVER

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the white clover seasonal growth in order to define the optimal seasonal harvesting time. A growth analysis was carried out in each season of the year. A white clover sward of 4 years was used. Treatments were distributed in a completely randomized design with eight treatments and three replications. Treatments consisted on weekly cuts, with a cycle of regrowth of eight weeks, at the middle of each season. At the second week of each season, a uniformity cut was made and the residual herbage mass was determined by three samples of 0.25 m², cut at ground level. Every week three samples were taken in the same way at different plots. The evaluated variables were dry matter yield, botanical and morphological composition, leaf area index, growth rate, sward height and intercepted radiation of the sward. The results showed that the highest herbage yield was obtained on the eighth week during spring, autumn and winter (2953, 1592 and 1790 kg DM ha⁻¹) and in summer on the seventh week with 1970 kg DM ha⁻¹. The growth rate was different between seasons ($P < 0.05$) and showed the following order descending: spring, summer, autumn and winter (48, 33, 29 and 28 kg DM ha⁻¹ d⁻¹). The highest leaf area index was presented in week five during summer ($P < 0.05$) and for spring autumn and winter in the eight week (1.7, 3.0, 1.4 and 1.6). The leaf was the major component, except for summer. It is concluded that the white clover should be harvested at 8th week in spring, autumn and winter, and to the 7th week in summer.

Keywords: Herbage yield, growth rate, leaf area.

3.1 INTRODUCCIÓN

El conocimiento de los cambios estacionales en el crecimiento acumulado de las especies forrajeras, permite determinar la frecuencia con la que se debe defoliar la pradera para obtener la mayor producción de forraje de alta calidad. La velocidad a la que una pradera produce biomasa, representa el balance entre la tasa de crecimiento y la de pérdida de tejido por senescencia y descomposición, la cual cambia dependiendo de la estación del año (Hodgson, 1990). Es de gran importancia describir el comportamiento fisiológico, la producción y la composición nutricional de las especies forrajeras (Araya *et al.*, 2005); ya que permite conocer el efecto de los factores ambientales sobre la capacidad productiva de las plantas a lo largo de su ciclo biológico, como señalan Enríquez y Romero (1999).

Las curvas de distribución de forraje se han utilizado en la evaluación de especies forrajeras (Mazzanti *et al.*, 1992).

El establecimiento de praderas puras o asociadas de mayor valor nutritivo y rendimiento de materia seca, es una actividad que permite disminuir costos de producción en comparación con el uso de dietas balanceadas y asegurar una alta producción animal (Camacho y García, 2002; González *et al.*, 2004).

Para el caso de estas explotaciones, el principal objetivo es mantener una alta y sostenida producción de forraje que sea de buena calidad en todo el año, esto se logra al evaluar el potencial de rebrote de la asociación gramínea-leguminosa que están presentes en la pradera y ver como se adaptan a las condiciones del ambiente (Moreno *et al.*, 2015).

De las especies sembradas para uso forrajero, las leguminosas ocupan un lugar de mucha importancia, entre las cuales destacan la alfalfa y el trébol blanco. Como indican Castro *et al.* (2012), en la zona templada del país, el trébol blanco, ballico perenne y pasto ovilla, son especies que se emplean bajo condiciones de pastoreo debido a su fácil capacidad de establecimiento, cobertura de suelo, crecimiento rápido y elevada producción de tallos y estolones. Sin embargo, hay pocos estudios que se relacionen con la proporción de cada especie que permita obtener una mayor producción de forraje, mejor distribución estacional sin deteriorar la pradera.

Específicamente el trébol blanco (*Trifolium repens* L.), es una leguminosa de interés forrajero de suma importancia en sistemas de producción animal bajo condiciones de pastoreo, y su manejo requiere conocer su distribución estacional a lo largo del año. Hernández-Garay (1996) señala que el conocimiento de la dinámica de crecimiento de las gramíneas y leguminosas, solas o asociadas, es primordial para la obtención de un sistema planta-animal eficiente y de calidad. Esta información, aunada a los requerimientos nutricionales de los animales, permitirá programar un eficiente plan de manejo y por lo tanto, obtener las mayores ganancias económicas por animal y unidad de superficie. (Zaragoza, *et al.*, 2009).

En investigaciones agronómicas, el análisis de crecimiento utiliza variables que permiten inferencias sobre algunos aspectos fisiológicos del desarrollo de las plantas como la fotosíntesis, respiración y asignación de carbono (McGraw *et al.*, 1990).

Es debido a esto que se realizan análisis de crecimiento de la especie de interés, (Velasco *et al.*, 2001; Velasco *et al.*, 2002; Villegas *et al.*, 2004; Zaragoza *et al.*, 2009); sin embargo, en México la información de trébol blanco es escasa. Debido a esto el

objetivo fue determinar la curva de crecimiento estacional de trébol blanco (*Trifolium repens* L.), para definir su intervalo óptimo de cosecha.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Localización del área de estudio

El estudio se realizó en una pradera de trébol blanco establecida en febrero de 2010, en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, estado de México. Se localiza en las coordenadas 19° 27' LN y 98° 54' LO, a una altitud de 2250 msnm. El suelo es franco arenoso, ligeramente alcalino (pH 7.8) con 2.4% de materia orgánica y clasifica 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 menor temperatura promedio mensual (11.6 °C) ocurre en enero y la más alta en mayo con 18.4 °C (García, 2004).

3.2.2 Manejo de las praderas

Se realizaron cuatro análisis de crecimiento de ocho semanas, uno por estación. Para lo cual, en cada estación del año, se trazaron 24 parcelas de 3.75 x 1.7 m y se distribuyeron aleatoriamente las fechas de muestreo con tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en cortes semanales. Antes de iniciar el análisis de crecimiento estacional, se realizó un pastoreo de uniformización utilizando ovinos como defoliadores, dejando forraje residual a una altura de 5 cm, 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 parcelas diferentes.

En el periodo de sequía las praderas fueron regadas por gravedad a capacidad de campo cada dos semanas. Las praderas no fueron fertilizadas.

Curva de crecimiento	

Figura 3 Distribución de los tratamientos en la pradera.

3.2.3 Datos climáticos

Los promedios mensuales de temperatura a la intemperie (máxima, media y mínima) y la precipitación mensual en el periodo del experimento, fueron obtenidos de la estación meteorológica ubicada en el Colegio de Postgraduados, que está situada a 100 m del sitio experimental.

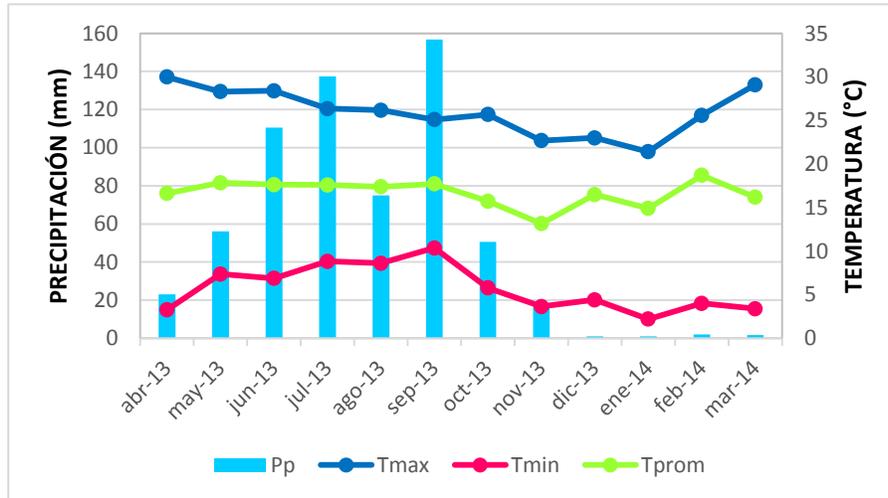


Figura 4. Temperatura media mensual máxima, mínima, promedio y precipitación mensual acumulada durante el periodo de estudio (abril 2013 a marzo 2014).

3.3 Variables de estudio

3.3.1 Acumulación de materia seca

Semanalmente se cortaron aleatoriamente tres cuadros de 0.25 m² por repetición; el forraje cosechado se lavó y se secó en una estufa de aire forzado a 55 °C durante 72 horas para estimar la cantidad de materia seca por ha a las diferentes edades de rebrote. Los incrementos estacionales en biomasa se obtuvieron restando la biomasa residual del corte de uniformización a la biomasa cosechada semanalmente.

3.3.2 Composición botánica y morfológica

Del forraje cosechado se tomó una submuestra de aproximadamente 10 % y se separó en trébol blanco, otros pastos, malezas y material muerto. El trébol blanco se separó en estolón, hoja, peciolo e inflorescencia. Cada componente fue colocado en sobres de

papel para su identificación y se secaron de igual forma que el resto del forraje. Una vez realizado esto, se procedió a determinar el peso seco de cada componente.

3.3.3 Índice de área foliar

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

3.3.4 Tasa de crecimiento promedio

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 y otra (t, en días), conforme al procedimiento descrito por Chapman y Lemaire (1993) se calculó la tasa de crecimiento de la pradera (TC, en kg MS ha⁻¹ d⁻¹):

$$TC = FC/t$$

3.3.5 Métodos indirectos de estimación de forraje

Se realizó la estimación de la cantidad de forraje presente semanalmente y sin necesidad de cortarlo, relacionando la altura del dosel vegetal con el rendimiento de materia seca. La herramienta utilizada fue la regresión lineal. La altura de la planta se midió justo antes del corte en los cuadros, con una regla graduada de 50 cm de longitud y 1 mm de precisión. Se tomaron 20 muestras al azar en toda la unidad experimental, colocando la regla por arriba de la superficie cubierta por las especies presentes y se deslizó esta hasta tocar el primer componente morfológico de la asociación, registrándose la altura correspondiente. En la misma forma se tomaron 20 muestras al azar con el plato (Rising Plate Meter), que consiste en un plato de aluminio

de 30 x 30 cm que se desplaza de manera libre hacia arriba o hacia abajo por medio de una columna central. La altura se estima colocándolo de manera vertical sobre el forraje, deslizándolo hasta que el plato sea contenido por la masa de forraje y se registra la altura correspondiente (Hodgson *et al.*, 1999).

La calibración de ambas técnicas de muestreo, se realiza antes de cortar el forraje en los cuadros. Se toma la lectura de regla y del plato, posteriormente se obtiene una ecuación de regresión, que correlaciona el muestreo obtenido de cada técnica con el rendimiento de forraje. Una vez derivada la ecuación de regresión, se sustituyen los valores promedios de cada tratamiento por corte, para obtener los valores de rendimiento por corte.

3.3.6 Intercepción de luz

La radiación interceptada se midió antes de cada corte con el método de la regla de madera (Adams y Arkin, 1977). Se procedió a tomar tres lecturas en cada unidad experimental, deslizando la regla de madera de 1 m de longitud por debajo del dosel de la planta con una orientación sur-norte; posteriormente se contabilizaron los cm sombreados, que representan el porcentaje de radiación interceptada por el dosel vegetal. Esta lectura se realizó entre las 12:00 y 13:00 h, debido a que es el momento óptimo, ya que el ángulo solar es alto y la intercepción de luz tiene cambios mínimos.

3.4 Análisis estadístico

Los datos se analizaron por los procedimientos GLM de SAS (SAS, 2002), para un diseño experimental completamente al azar con 8 tratamientos con tres repeticiones y análisis de regresión para cada variable. Esto tiene la finalidad de describir la tendencia, una vez seleccionado el mejor modelo de acuerdo al mejor coeficiente de determinación y con el grado de significancia del modelo.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Acumulación de materia seca

La acumulación de forraje aumentó conforme se incrementó la edad de la planta en todas las estaciones (Figura 5), alcanzando el máximo rendimiento para las estaciones de primavera, otoño e invierno en la octava semana (2953, 1592, 1791 kg MS ha⁻¹, respectivamente) y en la séptima semana para la estación de verano (1971 kg MS ha⁻¹). Durante primavera se presentó la máxima acumulación de forraje, siendo superior en 46, 39 y 33% a otoño, invierno y verano, respectivamente. Otoño fue la estación que presentó la menor acumulación, coincidiendo con lo reportado por Castro *et al.* (2012), quienes encontraron el menor rendimiento de forraje con un 12% del rendimiento anual.

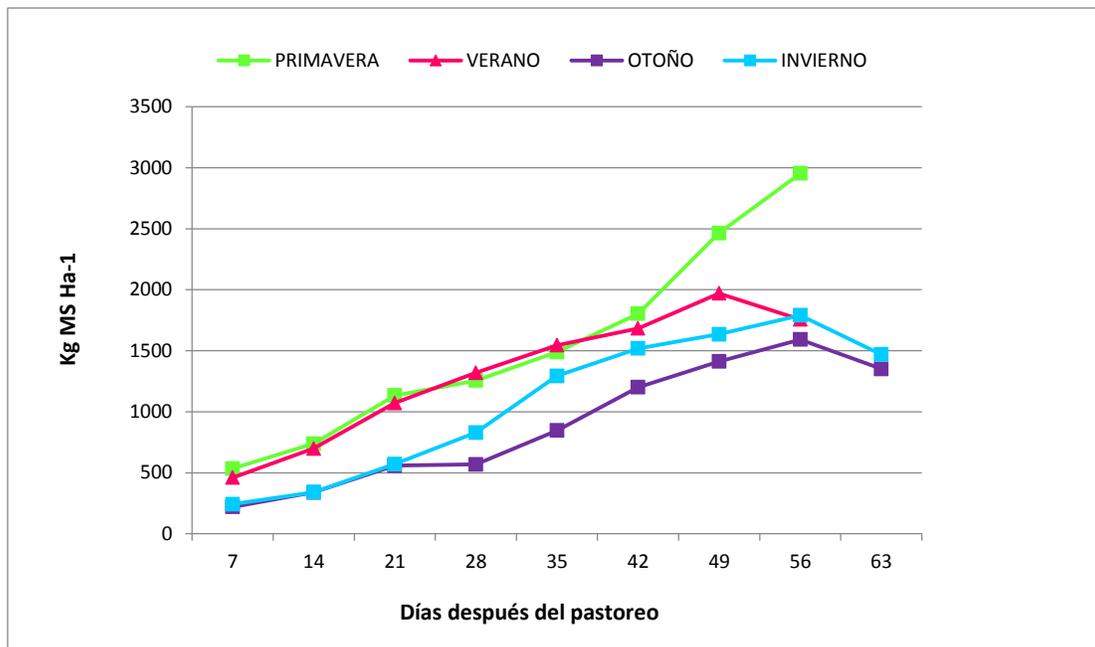


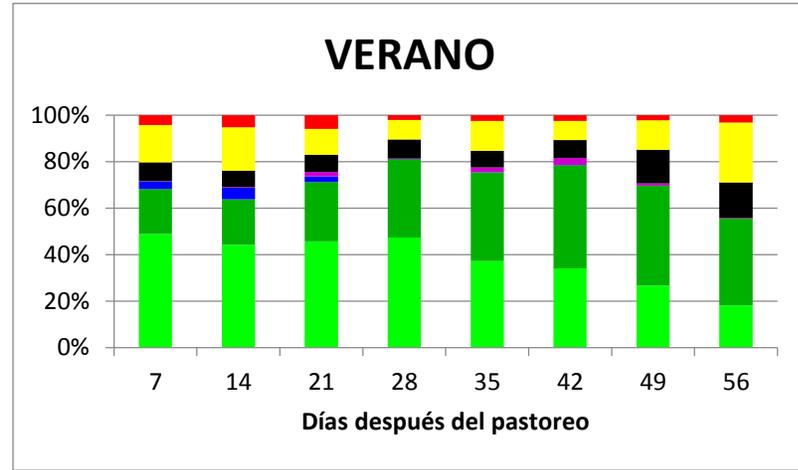
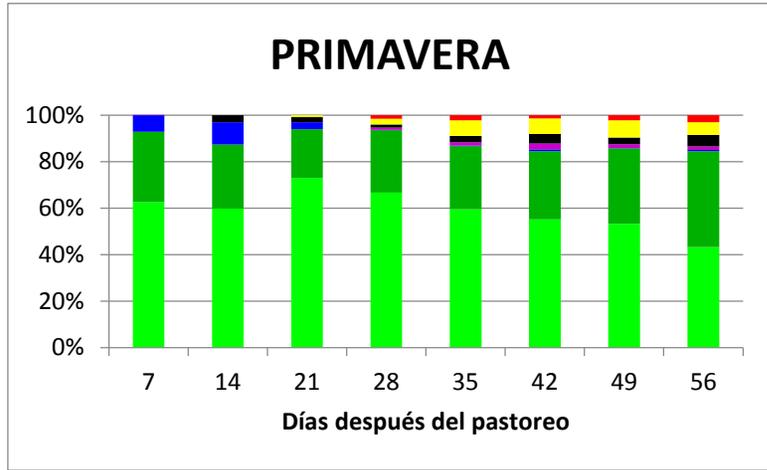
Figura 5. Curvas de crecimiento estacional del trébol blanco durante un ciclo de crecimiento de 8 y 9 semanas.

En cuanto a la acumulación máxima de hojas para primavera fue en la séptima semana, una semana antes de la máxima acumulación de forraje, con 1007 kg MS ha⁻¹; en verano se presentó en la sexta semana con 479 kg MS ha⁻¹ y para otoño e invierno con 809 y 919 kg MS ha⁻¹, respectivamente, coincidiendo ésta dos últimas estaciones con la máxima acumulación de MS. En primavera se vio el crecimiento del trébol favorecido por las condiciones climáticas, que estimularon su buen crecimiento, sin embargo el rendimiento de MS para -verano no se favoreció y esto pudo deberse a que estas condiciones climáticas también favorecieron el crecimiento de otros pastos y maleza, los cuales generaron competencia con la especie deseable que fue el trébol blanco (Figura 3). Se ha señalado al respecto que la temperatura ejerce influencia de manera directa en la tasa de aparición y expansión foliar junto con niveles adecuados de nutrientes y humedad (McKenzie *et al.*, 1999).

3.5.2 Composición botánica y morfológica

En primavera, otoño e invierno, el trébol blanco fue la especie que tuvo una proporción mayor al 80%, y en verano se incrementó proporción de otros pastos y malezas (Figura 6). Esto tal vez explique el bajo rendimiento de trébol blanco durante esta estación, ya que la competencia por agua y nutrientes, se ve reflejada directamente en el rendimiento de la especie deseable. De igual forma, la intensidad de pastoreo pudo haber sido un factor determinante en la alta incidencia de otros pastos y malezas. Coleman y Sollenberger (2007) reportaron en un estudio que la intensidad de pastoreo reduce la productividad de pasto ovillo y aumenta la invasión de malezas.

El componente morfológico de trébol blanco que más contribuyó al rendimiento fue la hoja, la cual tiene una proporción del 50% aproximadamente, con excepción de la estación de verano. La gran proporción de hoja indica que la asociación de trébol blanco con ovillo, aumenta el rendimiento como lo constataron Castro *et al.* (2012), quienes encontraron que con un establecimiento de 40% de trébol blanco mas pasto ovillo y ballico en proporciones diferentes, se obtuvo un mayor rendimiento que sólo sembrando el trébol más una gramínea. De manera adicional, si se considera el arreglo horizontal de sus hojas, le permite al trébol blanco poder reestablecer su área foliar después del pastoreo, esto les permite utilizar la luz solar de manera más eficiente que el ballico perenne y el ovillo (Brock *et al.*, 1989).



■ Htrebol
 ■ Ptrebol
 ■ Estolones
 ■ Inflor
 ■ MM
 ■ Opastos
 ■ Maleza

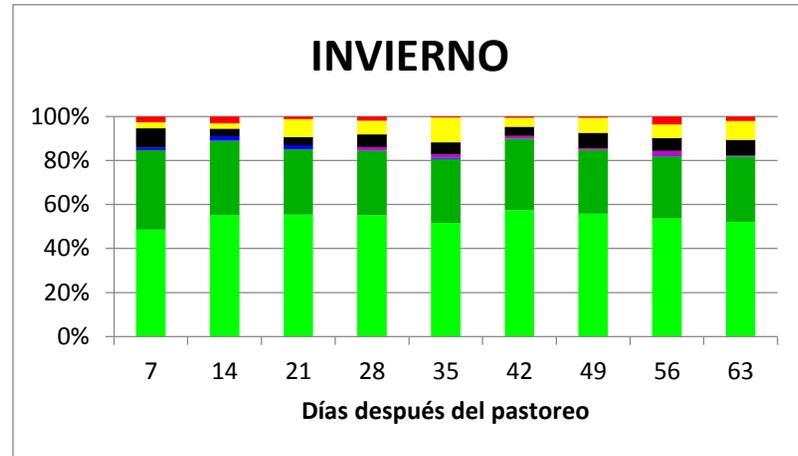
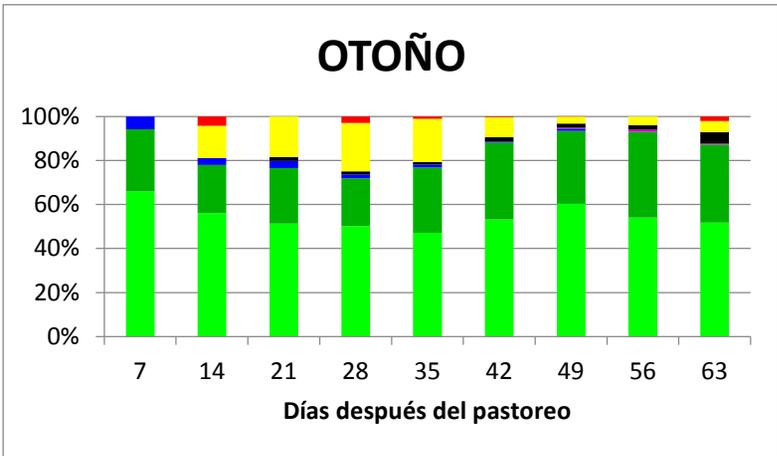
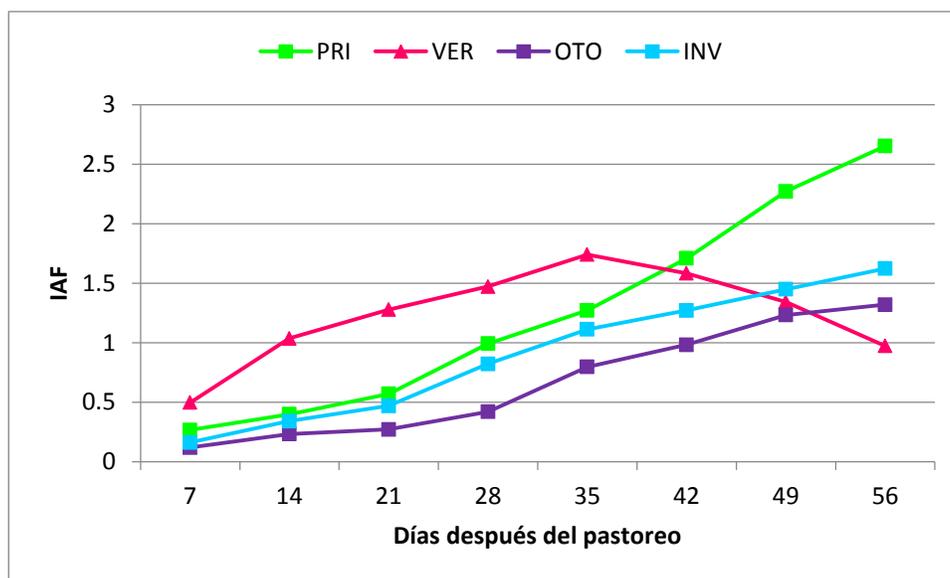


Figura 6. Cambios estacionales en la composición botánica y morfológica del trébol blanco.

3.5.3 Índice de área foliar

El índice de área foliar mayor se obtuvo para la estación de primavera (3.0) en la semana 8, posteriormente para verano fue en la semana 5 con un índice de 1.7 y para las estaciones de otoño e invierno fue en la semana 8, con un valor de 1.4 y 1.6, respectivamente (Figura 7). Con respecto a los valores de IAF, se ha indicado en otros trabajos que el índice óptimo presenta valores más altos en primavera y verano, cuando la intensidad de la luz es mayor, y la tasa de acumulación de biomasa es máxima, cuando se alcanza el IAF mayor (Black, 2009). También se observó que la única estación que obtuvo un punto de inflexión fue el verano, en la semana 5.



$$\text{IAF Primavera} = \frac{3.88}{1+3.31 \cdot \exp(-5.00t)}$$

$$r^2 = 0.99$$

$$\text{IAF Verano} = -2.52 + 0.01t - 4.45^2$$

$$r^2 = 0.98$$

$$\text{IAF Otoño} = \frac{1.52}{1+4.16 \cdot \exp(-7.71t)}$$

$$r^2 = 0.99$$

$$\text{IAF Invierno} = \frac{1.69}{1+2.88 \cdot \exp(-0.001t)}$$

$$r^2 = 0.99$$

Figura 7. Cambios semanales en el índice de área foliar durante el análisis de crecimiento estacional de trébol blanco

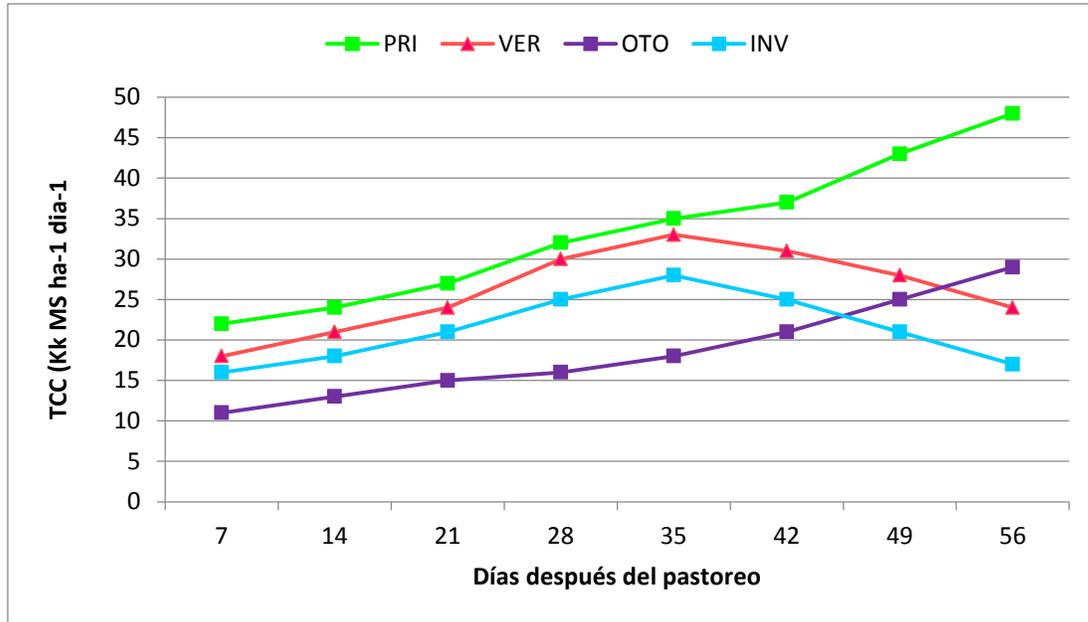
Como señala Hodgson (1990), hay una relación estrecha entre el IAF y la producción de forraje, esta ha sido estudiada en praderas de clima templado, donde además se ha indicado que con un IAF con valores de 3.0 se logra una cubierta cerrada de la pradera, y esto asegura una intercepción completa de la luz que incide.

Es por esto, que entre más aumente el índice de área foliar de una pradera, mayor será la proporción de radiación incidente que será interceptada por la masa foliar, y durante el rebrote la tasa de crecimiento del forraje aumenta hasta que el 95% de la luz incidente es interceptada (Moreno, 2015).

3.5.4 Tasa de crecimiento

La mayor tasa de crecimiento se presentó en primavera con $48 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en la semana 8, seguida de verano, invierno y otoño con 33, 29 y $28 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, para las semanas 5, 8 y 5; respectivamente (Figura 8). La baja tasa de crecimiento que se presentó en otoño, pudo deberse a que en esta estación, los valores de horas luz y radiación solar son más bajos (Figura 1; Hodgson, 1990).

Durante el verano la tasa de crecimiento fue menor que lo que se han reportado en otras investigaciones realizadas, esto pudo deberse a la competencia que se generó entre trébol blanco con otros pastos y maleza, ya que no permitieron que la tasa de crecimiento y sobrevivencia fuera más rápida para reestablecer el equilibrio de la especie como lo mencionan Brock *et al.* (2000).



$$\text{TC Primavera} = 0.66 / (1 + 3.29 \cdot \exp(-0.202t))$$

$$r^2 = 0.99$$

$$\text{TC Verano} = 2.48 + 1.90t + 8.23t^2 - 2.28t^3$$

$$r^2 = 0.97$$

$$\text{IAF Otoño} = 2.52 - 1.41t + 2.94t^2$$

$$r^2 = 0.94$$

$$\text{IAF Invierno} = 2.37 - 5.87t + 1.41t^2 - 2.65t^3$$

$$r^2 = 0.91$$

Figura 8. Cambios por semana en la tasa de crecimiento del trébol blanco durante un ciclo de rebrote de 8 semanas, en las diferentes estaciones del año.

De igual forma Hodgson *et al.* (1981) mencionan que la tasa de crecimiento del forraje en un punto determinado se puede ver limitada o afectada por el suministro de fotoasimilados y por las reservas de la planta, así como por el número, tamaño y actividad de los meristemas de crecimiento.

3.5.5 Métodos indirectos para estimar rendimiento de forraje

En el Cuadro 1 se muestran los resultados que se obtuvieron en las mediciones de altura por el método de plato y regla; se observa que la altura va incrementándose

conforma pasa el tiempo, se alcanzó la máxima altura en la estación de primavera en regla y plato con 35.2 y 13.2 cm, respectivamente.

Las estaciones de primavera, verano e invierno alcanzaron su altura máxima en la semana 8, a excepción del otoño, la cual alcanzó la máxima altura en la semana 7. Estos resultados coinciden con los rendimientos reportados anteriormente, ya que como señalan Castillo *et al.* (2009), que la altura de la pradera presenta una relación positiva con el forraje presente en la pradera y se concluye que se puede estimar de manera confiable la materia seca presente con la altura estimada, antes del pastoreo.

Cuadro 1. Altura promedio por estación con los métodos de regla y plato durante un ciclo de 8 semanas de crecimiento.

ESTACION	SEMANAS								EEM	SIG
	1	2	3	4	5	6	7	8		
METODO DE REGLA (cm)										
PRIMAVERA	11.4Ea	18.6Da	30.2Ca	31.9BCa	32.4Ba	33.6Aba	34.8Aa	35.3Aa	0.66	**
VERANO	7.8Db	8.3Db	8.4Dbc	12.7Cc	13.7Cc	19.8Bb	20.7Bc	26.3Ab	0.53	**
OTOÑO	5.6Ec	5.7Ec	7.6Dc	10.2Cd	11Cd	20.2Bb	22.7ABb	21.6Ac	0.55	**
INVIERNO	8.2Eb	8.6Eb	9.7Eb	15.4Db	17.2Cb	17.8BCc	18.9Bd	22.3Ac	0.41	**
EEM	0.31	0.40	0.41	0.31	0.41	0.47	0.42	0.45		
SIG.	**	**	**	**	**	**	**	**		
MÉTODO DEL PLATO (0.5cm)										
PRIMAVERA	8.6Ea	14Da	22.5Ca	23.9BCa	24.3Ba	25.1Aba	26.1Aa	26.4Aa	0.49	**
VERANO	5.8Db	6.2Db	6.3Dbc	9.5Cc	10.3Cc	14.9Bb	15.6Bc	19.8Ab	0.4	**
OTOÑO	4.2Ec	4.4Ec	5.7Dc	7.7Cd	8.3Cd	15.2Bb	17BABb	16.4Ac	0.41	**
INVIERNO	6.2Eb	6.5Eb	7.3Eb	11.5Db	12.9Cb	13.4BCc	14.1Bd	16.9Ac	0.31	**
EEM	0.22	0.29	0.31	0.23	0.30	0.35	0.32	0.32		
SIG.	**	**	**	**	**	**	**	**		

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

3.5.6 Ecuaciones de regresión

Como se aprecia en el Cuadro 2, con los datos que se obtuvieron del rendimiento de materia seca contenidos en el cuadrante de 0.25 m² que se cortaron para posteriormente calcularse la materia seca y la altura obtenida del Cuadro 1; se procedió a calcular las ecuaciones de regresión. Se observan en el Cuadro 2, las ecuaciones de regresión lineal y los coeficientes de regresión lineal, las cuales están por época del año y anual. En la estación de primavera se obtuvieron los mayores valores de r² en ambos métodos (0.94 para ambos, regla y plato). Para la ecuación de regresión anual la regla mostró el mayor coeficiente (0.98), con respecto al método del plato (0.97). Lo cual puede indicar que el método de regla es más confiable que el del plato.

Por su parte, Callow *et al.* (2005), evaluaron el rendimiento de forraje en praderas de ballico perenne asociadas con trébol blanco, reportaron coeficientes de determinación en promedio de 0.80, en cuatro experimentos durante dos años de evaluación utilizando el método de regla, lo que sugiere que puede ser un método confiable, siempre y cuando este bien calibrado.

Lemus *et al.* (2002), compararon el método de regla y sugiere que se evalúe la relación que existe entre la altura y masa de follaje para cada estación del año, ya que en las zonas donde el clima varía, los resultados pueden verse afectados entre las diferentes estaciones del año, por lo que es recomendable generar una ecuación de regresión para cada estación y para cuando las especies están en estado reproductivo (Hernández-Garay *et al.*, 1977).

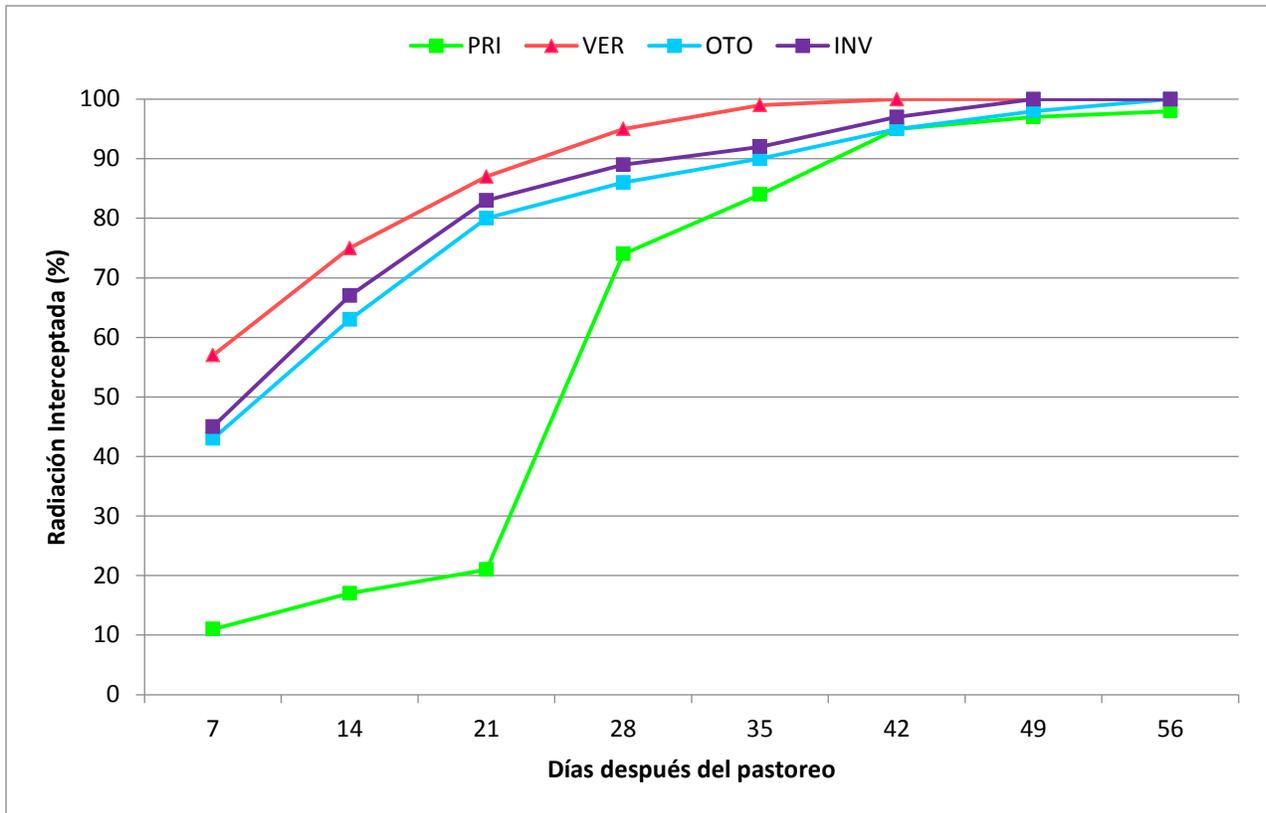
Cuadro 2. Ecuaciones de regresión obtenidas por estación del año y anual con base al rendimiento de materia seca y altura.

MÉTODO	REGLA	
	ECUACION	r ²
PRIMAVERA	3.06x + 2.46	0.86
VERANO	2.72x + 2.42	0.96
OTOÑO	2.81x + 3.32	0.94
INVIERNO	2.10x + 5.27	0.97
ANUAL	2.68x + 5.67	0.99
	PLATO	
PRIMAVERA	2.30x + 2.10	0.86
VERANO	2.03x + 1.87	0.96
OTOÑO	2.11x + 2.53	0.94
INVIERNO	1.57x + 3.99	0.97
ANUAL	2.01x + 4.24	0.99

Sin embargo, otros autores señalan que los métodos para medir el forraje presente son imprecisos e inexactos, ya que tienen un error que va del 26 al 36% con respecto a la cosecha por corte, por lo que calibrar los métodos es fundamental para obtener resultados más precisos y reducir al mínimo el error (Sanderson *et al.*, 2001).

3.5.7 Radiación interceptada

En primavera se presentaron los menores valores de radiación interceptada y nunca alcanzó la intercepción del 100. En verano se presentaron los valores de intercepción más altos, siendo la semana 5 en donde alcanza el 100% de intercepción, otoño e invierno la alcanzan a partir de la semana 7 (Figura 9). Esto indica que el trébol blanco tiene una capacidad muy alta para interceptar radiación solar, adicionalmente si se considera el arreglo horizontal de sus hojas lo cual le permite reestablecer su área foliar después del pastoreo para utilizar la luz solar de manera más rápida que el ballico perenne y pasto ovillo. (Brock *et al.*, 1989).



$$.RI \text{ Primavera} = 10.75 / (1 + 3.77 \cdot \exp(1.11t))$$

$$r^2 = 0.98$$

$$RI \text{ Verano} = 2.00 / (1 + 1.75 \cdot \exp(7.15t))$$

$$r^2 = 0.99$$

$$RI \text{ Otoño} = 10.84 / (1 + 2.62 \cdot \exp(6.56t))$$

$$r^2 = 0.99$$

$$RI \text{ Invierno} = 10.90 / (1 + 2.64 \cdot \exp(7.30t))$$

$$r^2 = 0.99$$

Figura 9. Cambios semanales en la radiación interceptada durante el análisis de crecimiento por estación.

Pérez *et al.* (2002), por su parte señalan que para maximizar la acumulación de forraje en el tiempo, la energía solar debe de ser interceptada por las hojas que se encuentran fotosintéticamente activas, a través de los periodos de crecimiento activo.

3.6 CONCLUSIONES

El incremento de materia seca es proporcional a la edad de rebrote, alcanzando el máximo rendimiento para primavera, otoño e invierno en la semana 8 y para verano en la semana 7. La mayor cantidad de hojas se presentó en primavera a la 7 semana, en verano a la 6 semana y otoño e invierno en la semana 8.

La mayor tasa de crecimiento se presentó de igual forma en la primavera en la 8 semana, seguida de verano que la obtuvo para la 5 semana y posteriormente otoño e invierno, con la 5 y 8 semana, respectivamente.

En cuanto a la radiación interceptada, en primavera no alcanzó el 100%, en verano llegó al 100% de radiación interceptada a la semana 5; y para otoño e invierno en la semana 7.

3.7. LITERATURA CITADA

- Adams, J.E. Arkin, G.F. 1977. A light interception method for measuring row crop ground cover. *Soil Society of America Journal*. 41: 789-792.
- Araya, M.M. Boschini, F.C. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la meseta central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 16: 37-43.
- 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, 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.
- Callow, M.N., Fulkerson, W.J., Donaghy, D.J., Morris, R.J., Sweeney, G., Upjohn, B. 2005. Response of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) to renovation in Australian dairy pastures, *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 45: 1559-1565.
- Camacho, G. J. L. y García, M.J.G. 2002. Producción y calidad del forraje de cuatro variedades de alfalfa asociadas con Trébol Blanco, Ballico perenne, festuca alta y pasto Ovillo. *Veterinara México*. 34:149-177.
- Castro, R. R. Hernández, G. A., Pérez, P.J. Hernández, G.J. Quero, C.A. Enríquez, Q.J. Martínez, H. P. 2012. Comportamiento productivo de cinco asociaciones gramíneas-leguminosas bajo condiciones de pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 35: 87-95.
- Castillo, E.G., Valles, M.B., Jarillo, R.J. 2009. Relación entre materia seca presente y altura en gramas nativas de trópico mexicano. *Técnica Pecuaria en México*. 47(1) : 179-92.
- Chapman, D. F. and Lemaire, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *Proceedings of the XVII International Grassland Congress*. New Zealand and Australia. pp. 95 -104.
- Coleman, S. W. Sollenberger, L. E. 2007. Plant-herbivore interactions. *In: R.F. Barnes et al.* (ed) *Forages: The Science of Grassland Agriculture*. Vol. 2. 6th Ed. Blackwell Publ., Ames, IA. pp: 123-136.

- Enríquez, Q. J. Romero, M. J. 1999. Tasa de crecimiento estacional a diferentes edades de rebrote de 16 ecotipos de *Brachiaria* spp. Isla, Veracruz. *Agrociencia*. 33: 141-148.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.
- González, A. S. Días, S. H. López, T. R. Aizpuru, G. E. Garza, C. H. y Sánchez R. F. 2004. Consumo, calidad nutritiva y composición botánica de una pradera de alfalfa y gramíneas perennes con diferentes niveles de asignación de forraje. *Técnica Pecuaria en México*. 42: 29-37.
- Hernández, G. A. 1996. La importancia del manejo del pastoreo en la producción de forraje y leche en clima templado de Nueva Zelanda. Segundo Reencuentro de Zootecnistas. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, México. pp. 71-90.
- Hodgson, J., Matthews, P.N.P., Matthew, C., Lucas, R.J. 1999. Pasture measurement. In: *New Zealand Pasture and Crop Science*. White J, Hodgson J editors. Auckland, N.Z. Oxford University. Pp. 59-65.
- Hodgson, J. 1990. *Grazing Management. Science into Practice*. Longman Scientific and Technical. Essex, England. 203 p.
- Hodgson, J. Birchman, 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.
- Lemus, R.V., García, M.J.G., Lugo, L.S.G., Valencia, G.E., Villagrán, V.B. 2002. Desempeño de una pradera irrigada en clima templado, establecida para el pastoreo de bovinos lecheros. *Veterinaria México*. 33 (1): 11-26.
- 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 (Eds.). *New Zealand Pasture Crop Sci*. Auckland, N.Z: Oxford University Press. pp: 29-44.
- 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*. Argentina. 73 p.
- McGraw, J. B. Garbutt, K. 1990. The analysis of plant growth in ecological and evolutionary studies. *Trends Ecol Evol*. 5: 251-254.
- Moreno, C. M. Hernández, G. A. Vaquera, H. H. Trejo, L. C. Escalante, E. J. Zaragoza, R. J. y Joaquín, T.B. 2015. Productividad a siete asociaciones y dos praderas puras de gramíneas y leguminosas en condiciones de pastoreo. *Técnica Pecuaria en México*. 38:101-108.

- Ortiz, S.C. 1997. Colección de monolitos. Génesis de suelos. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México: Edafología, IRENAT. Colegio de Postgraduados.
- Pérez, B. M. Hernández G. A. Pérez, P. J. Herrera, H. J. Bárcena, G. R. 2002. Respuesta productiva y dinámica de rebrote del ballico perenne a diferentes alturas de corte. *Técnica Pecuaria en México*. 40: 251-263.
- SAS., 2002. SAS User's Guide: Statistics (versión 9.0 ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc.
- 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*. 93:1281-1286.
- Velasco, Z. M. Hernández, G. A. González, H. V. 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*. 39:1-14.
- Velasco, Z. M. Hernández, G. A. González, H. V. Pérez, P. J. Vaquera, H. H. 2002. Curvas estacionales de crecimiento del ballico perenne. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25: 97-106.
- Villegas, A. Y. Hernández, G. A. Pérez, P. J. López, C. C. Herrera, H.J. Enríquez, Q. J. Gómez, V. A. 2004. Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Técnica Pecuaria en México*. 42:145-158.
- Zaragoza, E. J. Hernández, G. A. Pérez, P. J. Herrera, H. J. Osnaya, G. F. Martínez, H. P. A. González, M. S. y Quero, C.A. 2009. Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto Ovillo. *Técnica Pecuaria en México*. 47: 173-188.

CAPÍTULO IV.

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE LA ASOCIACIÓN DE TRÉBOL BLANCO Y PASTO OVILLO A TRES FRECUENCIAS DE PASTOREO

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar tres frecuencias de pastoreo en el comportamiento productivo del trébol blanco (*Trifolium repens* L.) asociado con pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.). Se utilizaron ovinos como defoliadores cada 28 días, 95% y 100% de radiación interceptada (RI) para primavera y verano y cada 35 días, 95% y 100% de RI, para otoño e invierno. El diseño que se utilizó fue de bloques al azar con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron: Acumulación de materia seca, composición botánica y morfológica, tasa de crecimiento, índice de área foliar y altura de la pradera. El mayor rendimiento de materia seca se obtuvo para la estación de primavera con 5407 kg MS ha⁻¹, siendo superior en 50, 45 y 13% a otoño, invierno y verano, respectivamente (P<0.05), siendo el tratamiento de 95% de RI el que obtuvo mayores rendimientos. El rendimiento promedio fue de 15 700 kg MS ha⁻¹, con la siguiente tendencia: pastoreo cada 28-35 días, 100% de RI y 95% de RI. La tasa de crecimiento de primavera fue superior en 2, 42 y 53 % a verano, otoño e invierno (P<0.05), respectivamente.

Palabras clave: Frecuencia de pastoreo, *Dactylis glomerata* L., *Trifolium repens* L., índice de área foliar.

PRODUCTIVE PERFORMANCE OF THE ASSOCIATION WHITE CLOVER AND ORCHARD GRASS UNDER THREE GRAZING FREQUENCIES

ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate three grazing frequencies on the productive performance of white clover (*Trifolium repens* L.) associated with orchard grass (*Dactylis glomerata* L.). Sheep were used as defoliators every 28 days, 95% and 100% of intercepted radiation (RI) for spring and summer and every 35 days, 95% and 100% of RI, for autumn and winter. The design used was randomized block with three replications. The variables evaluated were: dry matter accumulation, botanical and morphological composition, growth rate, leaf area index and sward height. The highest dry matter yield was obtained in spring season with 5407 kg DM ha⁻¹, being higher at 50, 45 and 13% than autumn, winter and summer, respectively (P <0.05). The treatment with 95% RI had the highest herbage yield during spring. Annual herbage yield ranged between 15 700 kg DM ha⁻¹, with the following trend: grazing every 28-35 days, 100% and 95% RI. The highest growth rate was recorded in spring and was 2, 42 and 53% compared with summer, fall and 53% winter (P <0.05).

Keywords: Grazing frequency, *Dactylis glomerata* L., *Trifolium repens* L., leaf area index.

4.1 INTRODUCCIÓN

La asociación de dos o más especies de gramíneas y leguminosas forrajeras tiene como principal ventaja mantener constante la producción de forraje durante el año. Algunos autores (Zaragoza *et al.*, 2009) señalan que las asociaciones permiten mejorar la calidad nutricional del forraje, la productividad de los animales bajo confinamiento o pastoreo y evitan el uso de fertilizantes nitrogenados, ya que el nitrógeno es aportado por la simbiosis realizada por los microorganismos del género *Rhizobium*.

Para obtener el mejor aprovechamiento de praderas puras o mixtas, se requiere conocer el manejo agronómico, la distribución estacional del rendimiento y la respuesta a la defoliación. (Matthew *et al.*, 2001; Lemaire, 2001). De igual forma Hodgson (1979), señala que para el buen manejo y maximización de la productividad de especies forrajeras, se requiere conocer el comportamiento de la especie ante la cosecha periódica por corte o pastoreo. Sin embargo, el rendimiento de las plantas forrajeras está sujeto a un patrón de crecimiento, influenciado por la temperatura, humedad y nutrientes que determinan la cantidad de biomasa por ciclo de crecimiento, rendimiento estacional y anual. (Matthew *et al.*, 2001; Lemaire, 2001).

La defoliación es la influencia más importante del animal sobre la pradera y se debe a que no solamente resulta afectada el área foliar, el desarrollo y crecimiento de las hojas y raíces, sino que también altera el microambiente con respecto a la intensidad de luz, temperatura y humedad del suelo (Watkin y Clements, 1978). La frecuencia y severidad de cosecha de las plantas forrajeras, determinan el rendimiento de forraje por unidad de superficie y la contribución de cada especie en la pradera.

Las estrategias de manejo de praderas en cuanto a intensidad, frecuencia y oportunidad de uso, ya sea por corte o pastoreo, tienen influencia directa sobre la composición botánica, rendimiento y calidad de las especies forrajeras (Hernández-Garay *et al.*,1997).

El aprovechamiento de forraje en una pradera debe considerar la mayor permanencia del estado vegetativo, mayor número de rebrotes y una mayor cantidad de hojas como mencionan algunos autores (Perreta y Vegetti, 1997), ya que existe un marcado efecto de la severidad o altura de la defoliación sobre la formación de nuevo tejido y utilización de reservas de carbohidratos, así como del área foliar remanente característico de cada especie, es por esto que es de gran importancia conocer la altura adecuada de cosecha, para disminuir los efectos que puedan alterar la capacidad de rebrote y la producción de la especie forrajera.

Por lo tanto el objetivo del experimento fue determinar el potencial de producción de forraje con base a diferentes intervalos de pastoreo.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Localización del área de estudio

El estudio se realizó en una pradera establecida con trébol blanco, ubicada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo en el estado de México. Se localiza en las coordenadas 19° 27' LN y 98° 54' LO, a una altitud de 2250 msnm .El suelo es franco arenoso, ligeramente alcalino (pH 7.8) con 2.4 % de materia orgánica y clasifica 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 más baja es de 11.6 °C y

ocurre en enero y la más alta en mayo con 18.4 °C (García, 2004). La pradera fue establecida en febrero de 2009 en un suelo franco arenoso.

4.2.2. Manejo de las praderas y tratamientos

Con el objetivo de conocer el efecto de la frecuencia de pastoreo sobre la acumulación de materia seca y otras variables estudiadas, esta pradera contaba con proporciones diferentes de trébol blanco, pasto ovillo y pasto ballico perenne. Se dividió el área en 9 parcelas de 9m x 7m (63m²) que fueron distribuidas con un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en 3 frecuencias de pastoreo: fecha fija cada 28 días, 95% y 100% de radiación interceptada para la época de primavera-verano y cada 35 días, 95% y 100% de radiación interceptada para la época de otoño-invierno. Se realizó un pastoreo de uniformización al inicio del experimento utilizando ovinos como defoliadores, dejando el forraje residual a una altura de 5 cm, aproximadamente. Una vez realizado el pastoreo, se cosecharon tres cuadros de 0.25 m² seleccionados al azar para determinar forraje residual. Posteriormente se cortaron dos cuadros de 0.25 m² dentro de cada repetición antes del pastoreo. En la época de sequía, las praderas fueron regadas por gravedad a capacidad de campo, cada dos semanas, y no fueron fertilizadas.

FF	100	95
100	95	FF
95	FF	100

Figura 10. Distribución de los tratamientos en la pradera.

4.2.3 Datos climáticos

Los promedios mensuales de temperatura a la intemperie (máxima, media y mínima) y la precipitación mensual en el periodo del experimento, fueron obtenidos de la estación meteorológica ubicada en el Colegio de Postgraduados, que está situada a 100 m del sitio experimental.

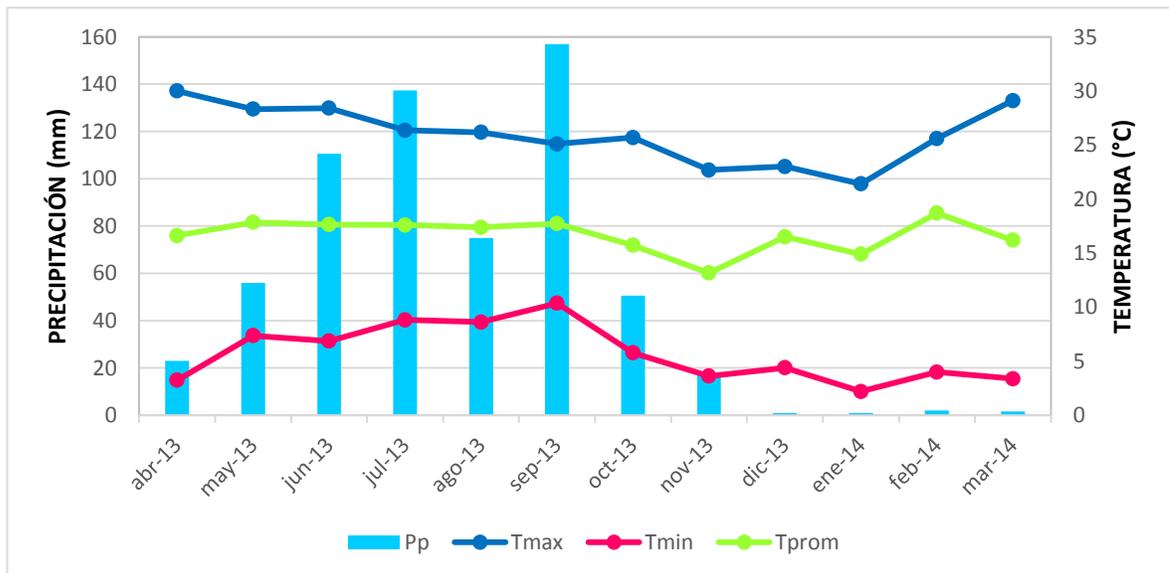


Figura 11. Temperatura media mensual máxima, mínima, promedio y precipitación mensual acumulada en el periodo de estudio (Abril 2013 a marzo 2014).

4.3 Variables evaluadas

4.3.1 Acumulación de materia seca

Antes de cada pastoreo se cortaron al azar dos cuadros por repetición de 0.25 m² de acuerdo al tratamiento correspondiente, esto con la finalidad de conocer la acumulación de materia seca. Una vez realizado esto, el forraje que se cosechó se lavó y secó en una estufa de aire forzado a 55°C durante 72h, para determinar junto con el forraje residual, la cantidad de materia seca por ha.

4.3.2 Composición botánica y morfológica

Se tomó una submuestra del 10% aproximadamente para conocer la composición botánica del forraje cosechado. Se procedió a separar en los siguientes componentes: material muerto, otros pastos, malezas, pasto ovillo, y trébol blanco. Los componentes morfológicos de este último fueron separados en hoja, peciolo, inflorescencia y estolón. Cada componente botánico y morfológico fue colocado en sobres de papel, identificadas y secadas de la misma manera que el forraje para finalmente determinar el peso de cada componente. Los incrementos por estación de biomasa fueron obtenidos restando la biomasa residual del pastoreo de uniformización a la biomasa cosechada semanalmente.

4.3.3 Índice de área foliar

Una vez obtenidas las muestras de hojas en la composición botánica de trébol blanco, a cada una se le determinó el área foliar con un integrador modelo LI-3100 (LI-COR, Inc), con los datos obtenidos y la superficie de muestreo considerada, se estimó en Índice de Área Foliar (IAF).

4.3.4 Tasa de crecimiento

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

$$TC = FC/t$$

4.3.5 Altura de planta

Antes de cada pastoreo, se determinó la altura de plantas con una regla de 1 m de longitud graduada en mm. Se tomaron al azar 20 puntos por parcela posicionando la regla de manera vertical hacia el tejido vegetal, deslizándola hacia el punto más alto para posteriormente registrar el valor que le correspondía (Hodgson *et al.*, 1990).

4.3.6 Radiación interceptada

Antes de cada pastoreo, se realizó mediante el método de regla de madera (Adams y Arkin, 1977), la radiación interceptada. Se procedió a tomar lecturas en cada unidad experimental, deslizando la regla de madera de 1 m de longitud por debajo del dosel de la planta con una orientación sur-norte, posteriormente se contabilizaron los cm sombreados, que representan el porcentaje de radiación interceptada por el dosel vegetal. Esta lectura se realizó entre las 12:00 y 13:00 h, debido a que es el momento óptimo, ya que el ángulo solar es alto y la intercepción de luz tiene cambios mínimos. Esto se realizó de manera constante en la pradera con la finalidad de monitorear el momento de cosecha para los tratamientos de 95 y 100% de intercepción luminosa.

4.4 Análisis estadístico

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

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.5.1 Acumulación de materia seca

En el cuadro 3 se presentan los rendimientos anuales y estacionales de la asociación de trébol blanco con 'pasto ovillo cosechada a diferentes frecuencias de pastoreo. Independientemente del tratamiento, el rendimiento anual fue en promedio de 15 700 kg MS ha⁻¹, mostrando la siguiente tendencia descendente: pastoreo cada 28-35 días, 100% de radiación interceptada y 95% de radiación interceptada. El mayor rendimiento promedio de forraje seca se obtuvo para la estación de primavera con 5407 kg MS ha⁻¹, siendo superior en 50, 45 y 13% a otoño, invierno y verano, respectivamente ($P<0.05$). En cuanto a los tratamientos, durante primavera el 95% de radiación interceptada obtuvo el mayor rendimiento con 5785 kg MS ha⁻¹. Esto pudo deberse a que las condiciones climáticas se vieron favorables para el trébol blanco, como la temperatura, quien tiene un efecto marcado en el crecimiento de esta especie, más aún asociado con gramíneas. Brock y Tilbrook (2000), reportan que la temperatura máxima para el crecimiento óptimo es de 24°C, lo cual tiene efectos muy importantes en el crecimiento del mismo, de manera particular en el proceso que influye en el número y desarrollo de hojas y estolones (Clark *et al.*, 1995).

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

	Frecuencia de pastoreo			EEM	Sig	Promedio
	28-35 días	95% RI	100% RI			
Estación del año						
Primavera	5456Aa	5785Aa	4679Ba	74	**	5407
Verano	5313Aa	4208Cb	4670Ba	84	**	4730
Otoño	2465Bb	2089Cd	3611Ac	103	**	2722
Invierno	2955Bc	3253Ac	2660Bb	63	**	2956
Promedio	4047	3834	3905			
EEM	47	123	86			
Sig	**	**	**			
Rendimiento Anual	16189	15335	15620			

Medias con letras mayúsculas diferentes entre hileras representan diferencia significativa y medias con letras minúsculas entre columnas representan diferencia significativa (Tukey, 0.05). Sig= Significancia; *=P<0.05; **=P<0.01. NS=No significativo

El rendimiento de las plantas forrajeras está sujeto a un patrón de crecimiento, influenciado por la temperatura, humedad y nutrientes que determinan la cantidad de biomasa por ciclo de producción, rendimiento estacional y anual (Matthew *et al.*, 2001; Lemaire, 2001).

En el Cuadro 4 se presenta el rendimiento por especie deseable, en donde se puede observar que el trébol blanco tuvo el mayor rendimiento en la estación de primavera y el menor para otoño. Para el caso de pasto ovillo el mayor rendimiento se obtuvo en verano y el menor en invierno. Los bajos rendimientos registrados durante otoño e invierno pudo deberse a las bajas temperaturas (Figura 11) que no favorecieron el

crecimiento presentando una baja tasa de crecimiento de los forrajes (Hernández-Garay *et al.*, 1997).

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

	Frecuencia de pastoreo			EEM	Sig.	Promedio
	28-35 días	95% RI	100% RI			
Trébol blanco						
Estación del año						
Primavera	3507Aa	3422Aa	3055Ba	61	*	3328
Verano	3201Ab	2424Bb	2996Aa	63	**	2874
Otoño	1673Bd	1245Cc	2321Ab	77	**	1736
Invierno	2126Ac	2390Ab	1611Bc	69	**	2042
Promedio	2227	2326	2496			
EEM	63	88	74			
Sig.	**	**	**			
Rendimiento Anual	10507	9481	9983			
Pasto Ovillo						
Estación del año						
Primavera	1155Aba	1353Aa	912Bb	52	**	1154
Verano	1340Aa	929Bb	1201Aa	51	**	1169
Otoño	346Bb	319Bc	623Ac	28	**	422
Invierno	174Bb	440Ac	376Ad	37	**	331
Promedio	754	760	778			
EEM	75	41	50			
Sig.	**	**	**			
Rendimiento Anual	3015	3041	3112			

Medias con letras mayúsculas diferentes entre hileras representan diferencia significativa y medias con letras minúsculas entre columnas representan diferencia significativa (Tukey, 0.05). Sig= Significancia; *=P<0.05; **=P<0.01; NS=No significativo

4.5.2 Composición botánica y morfológica

Como se puede observar en la Figura 12, el trébol blanco en la estación de primavera, verano y otoño aportó cerca del 60% y en invierno el 70%, aproximadamente. En cuanto al pasto ovillo, el mayor porcentaje se presentó en la estación de verano con aproximadamente el 30%. También se observó que en esta época se presentó una cantidad de material muerto considerable, lo que posiblemente explica el menor rendimiento de trébol blanco en comparación a primavera. La dominancia que tuvo el trébol blanco sobre el pasto ovillo pudo ser el resultado de la interacción que existen entre las especies presentes en la pradera, lo cual condiciona la persistencia de las mismas (Tallec *et al.*, 2008; Nyfeler *et al.*, 2011; Flores, 2013).

Resultados similares se encontraron en un estudio, donde el trébol blanco fue componente principal (26 a 66%) en las asociaciones que se evaluaron como consecuencia de su mayor capacidad para crecer con especies que tienen hábito de crecimiento erecto y tolerar la defoliación (Flores, 2013). Cabe mencionar que la composición botánica puede proporcionar una idea de cómo se comportan las especies en una pradera, en las diferentes estaciones del año, y ayudan a explicar aspectos de producción, especies dominantes en la misma y crecimiento de la planta.

Desde el punto de vista del pastoreo, la composición botánica, revela la importancia y los atributos de las especies que van a incidir en el rendimiento del forraje, esto ayuda a los productores a mejorar las prácticas de manejo del pastoreo, con la finalidad de mantener los componentes deseables en la pradera (Karsten y Carllassare, 2002).

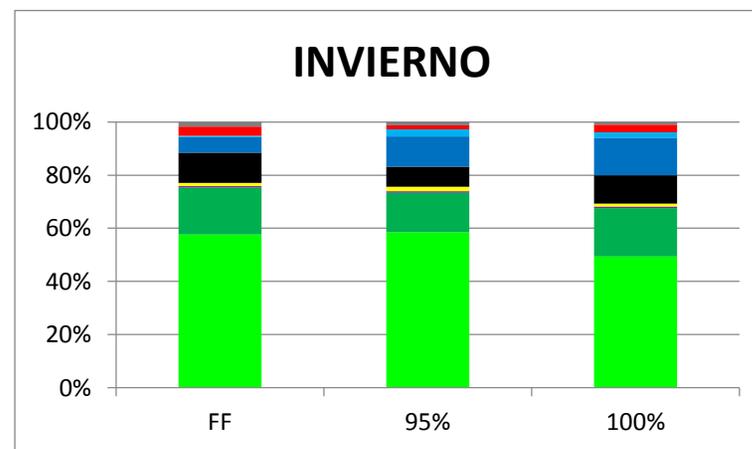
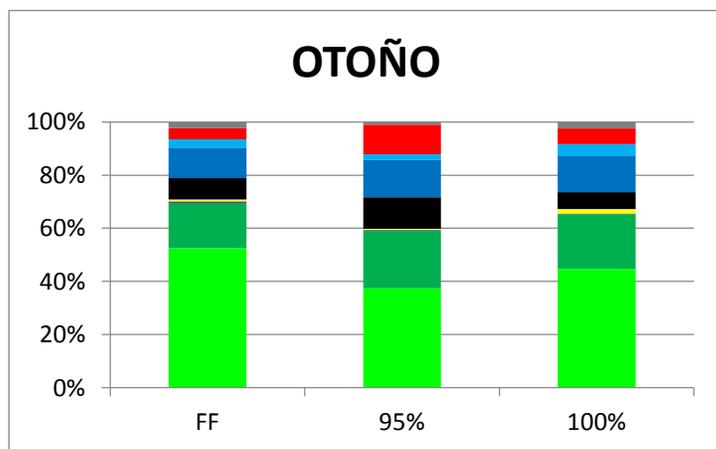
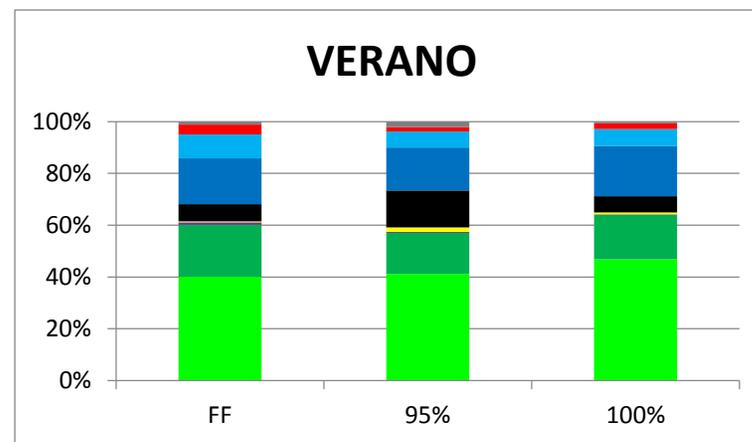
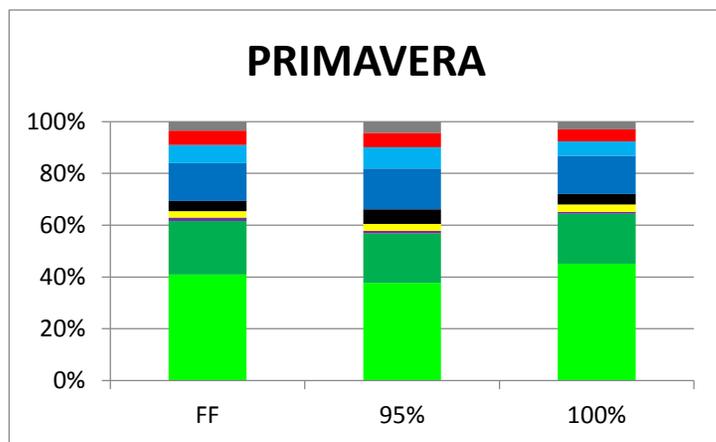


Figura 12. Cambios estacionales en la composición botánica y morfológica de la asociación de trébol blanco y pasto ovillo cosechada a tres frecuencias de pastoreo.

4.5.3 Tasa de crecimiento

En el Cuadro 5 se muestra la tasa de crecimiento estacional y promedio anual, en donde se observa que la estación de primavera fue superior en 2, 42 y 53% a la de verano, otoño e invierno ($P<0.05$). Resultados con la misma tendencia fueron reportados por Velasco *et al.* (2001), en praderas de pasto ovillo, al encontrar la tasa de crecimiento descendiente coincidiendo en las estaciones: primavera>verano>otoño>invierno. En primavera el pastoreo a 100% radiación interceptada registro las menores tasas de crecimiento con 55 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ ($P<0.05$). No se registraron diferencias estadísticas durante verano entre tratamientos. En otoño el pastoreo a 100% de RI presento las mayores tasas de crecimiento y en invierno el pastoreo a 95% de RI fue el mejor ($P<0.05$).

Cuadro 5.- Tasa de crecimiento estacional (kg MS ha⁻¹ d) a tres frecuencias de pastoreo de la asociación de trébol blanco con pasto ovillo.

	Frecuencia de pastoreo			EEM	Sig.	Promedio
	28-35 días	95% RI	100% RI			
Estación del año						
Primavera	59Aa	60Aa	55Ba	0.84	*	58
Verano	57Aa	51Ab	54Aa	1.22	NS	54
Otoño	26Bc	25Bd	36Ab	1.83	*	29
Invierno	32ABb	33Ac	29Bd	0.79	*	31
Promedio	44	42	37			
EEM	0.88	0.79	1.52			
Sig.	**	**	**			
Rendimiento Anual	16189	15335	15620			

Medias con letras mayúsculas diferentes entre hileras representan diferencia significativa y medias con letras minúsculas entre columnas representan diferencia significativa (Tukey, 0.05). Sig= Significancia; *= $P<0.05$; **= $P<0.01$. NS=No significativo

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.

4.5.4 Altura de la pradera

Cuando se manejan praderas, el conocer la cantidad de forraje presente y el peso de los animales, nos permite conocer la carga animal o la asignación de forraje, todo esto con la finalidad de aprovechar al máximo los forrajes presentes. En el Cuadro 6 se muestra que la mayor altura para ambos métodos de regla y plato se presentó en la primavera con 26 cm y 8.5 cm, respectivamente. En cuanto a los tratamientos el pastoreo de 28-35 días también fueron los más altos con una altura para regla de 22 cm y para plato de 7 cm. Estos valores coinciden con los rendimientos registrados, como mencionan Castillo *et al.* (2009) la altura de la planta tiene relación positiva con la cantidad de forraje acumulado y se puede estimar el rendimiento a partir de estos valores. Sin embargo, otros autores difieren por optar una técnica de manera particular, ya que hay reportes distintos de valores de coeficientes de determinación en las regresiones obtenidas. Como ejemplo, Ganguli *et al.* (2000) menciona que la lectura de plato es mejor que la toma de datos con regla, presentando una r^2 mayor (0.83 vs 0.60, respectivamente). Por otro lado, Braga *et al.* (2009) observaron que el

método de regla presentó un coeficiente de determinación mayor al método de plato (0.91 vs 0.82, respectivamente).

Cuadro 6. Altura de la pradera (cm) anual y estacional de la asociación de trébol blanco con pasto ovillo.

	Frecuencia de pastoreo			EEM	Sig.	Promedio
	28-35 días	95% RI	100% RI			
REGLA(cm)						
Estación del año						
Primavera	27Aa	26Aa	25Aa	0.35	NS	26
Verano	24Ab	20Bb	22ABab	0.40	**	22
Otoño	18Ac	16Ac	17Ac	0.45	*	17
Invierno	20Ac	18Abc	19Abc	0.78	NS	19
Promedio	22	20	21			
EEM	0.61	0.99	0.80			
Sig.	**	**	**			
	Frecuencia de pastoreo			EEM	Sig.	Promedio
	28-35 días	95% RI	100% RI			
PLATO (0.05cm)						
Estación del año						
Primavera	18Aa	15Ba	17Aa	0.30	**	17
Verano	15Ab	13Aab	14Ab	0.42	NS	14
Otoño	11Ad	11Ab	10Ac	0.19	NS	11
Invierno	13Ac	11Bb	11ABc	0.41	*	12
Promedio	14	12	13			
EEM	0.42	0.61	0.35			
Sig.	**	**	**			

Medias con letras mayúsculas diferentes entre hileras representan diferencia significativa y medias con letras minúsculas entre columnas representan diferencia significativa (Tukey, 0.05). Sig= Significancia; *=P<0.05;

**=P<0.01. NS=No significativo

Existieron diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$) en el rendimiento de forraje, ya que se mostró la tendencia de incrementar el rendimiento conforme aumentaba la altura promedio de la pradera. Hodgson (1990) señala que la altura de la pradera, aunada con la densidad del forraje, determina la cantidad de forraje producido, mientras que la diversidad entre especies va a determinar la calidad de materia seca disponible.

El trébol blanco es una especie persistente, debido a su hábito de crecimiento estolonífero, que ayudan a resistir el pisoteo de los animales, además de que las defoliaciones solo afectan a las hojas y flores, el rebrote es rápido ya que no se dañan los puntos de crecimiento.

4.6 CONCLUSIONES

El mayor rendimiento de forraje se presentó en la estación de primavera, seguido de verano otoño e invierno, en donde la especie dominante fue el trébol blanco.

Durante el verano el pasto ovillo tuvo su mayor contribución al rendimiento de forraje.

4.5 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.
- Bircham, J. D. Hodgson, J. 1983. The influence of sward conditions on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous grazing management. *Grass Forage Sci*. 38: 323-331.
- Braga, G.J., Silveira, P.C.G., Rodríguez, H.V., De Cerqueira L.P.H., Aparicio, M.A., Barros, M.F. 2009. Quantifying herbage mass on rotationally stocked palisadegrass pastures using indirect methods. *Science Agricola*. 66 (1): 127-131.
- 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.
- 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.
- Chapman, D. F. and Lemaire, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *Proceedings of the XVII International Grassland Congress. New Zealand and Australia*. pp. 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 ryegrass (*Lolium perenne*) y white clover (*Trifolium repens*). *Journal of Applied Ecology*. 32: 128-136.
- Flores, S.E. 2013. 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.). Montecillo, Texcoco, estado de México. Colegio de postgraduados. Pp. 113.
- Gangulli, A.C., Vermeire, L.T., Mitchell, R.B., Wallace, M.C. 2000. Comparison of four nondestructive techniques for estimating standing crop in shortgrass plains. *Agronomy Journals*. 92:1211-1215
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.
- Hernández-Garay, A y P. A. Martínez H. 1997. Utilización de pasturas tropicales. En Torres H. G y P. Diaz R. (Eds.) *Producción de ovinos en zonas tropicales*. Fundación produce-INIFAP. P. 8-24.

- Hodgson, J. 1979. Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass and Forage Science*. 34: 11-18.
- Hodgson, J. 1990. *Grazing Management. Science into Practice*. Longman Scientific and Technical. Essex, England. 203 p.
- Karsten, H.D. and Carlassare, M. 2002. Describing the botanical composition of a mixed species northeastern U.S. Pasture rotationally grazed by cattle. *Crop Science*. 42: 882-889.
- Lemaire, G. 2001. Ecophysiology of grasslands Aspects of forage plant populations in grazed swards. Proc XIX International Grassland Congress. Brazilian Society of Animal Husbandry Sociedade Brasileira de Zootecnia. Sao Pedro, San Paulo, Brasil. Pag. 29-37.
- Matthew, C. G. Val Loo, E. N. Tom, E. R. Dawson, L. A., and Care, D. A. 2001. Understanding shoot and root development. Proc. XIX International Grassland Congress. Sao Pulo, Brasil. pp:19-27.
- 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.
- Ortiz, S. C. 1997. Colección de monolitos. Montecillo, Texcoco, Edo. México. México: Depto. Génesis de suelos. Edafología, IRENAT. Colegio de Postgraduados.
- Perreta, M. y Vegetti A. 1997. Formas de crecimiento y efectos del corte en gramíneas forrajeras. *Revista FAVE*. 2: 68-80.
- Tallec 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.
- Watkin, B. Clements, R. 1978. The effects of grazing animals on pastures. In: Wilson, J. R. (ed.). *Plant relations in pastures*. CSIRO, East Melbourne, Australia, pp. 273-289.
- Zaragoza, E. J. Hernández, G. A. Pérez, P. J. Herrera, H. J. Osnaya, G. F. Martínez, H. P. A. González, M. S. y Quero, C.A. 2009. Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto Ovillo. *Técnica Pecuaria en México*. 47: 173-188.

5. CONCLUSIONES GENERALES

El rendimiento de trébol blanco fue afectado por las estaciones del año, sin embargo mostró alta persistencia a lo largo del ciclo debido a su hábito de crecimiento estolonífero. Se recomienda cosechar el trébol cuando la biomasa de hojas ha alcanzado su nivel más alto, ya que se evitará la pérdida por acumulación de material muerto.

El manejo de la defoliación es de suma importancia, ya que permite controlar la producción de forraje, así como cosechar a la altura adecuada para disminuir los posibles efectos que afecten el rebrote y la producción de forraje.