

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

**EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE CINCO GENOTIPOS
DE TRÉBOL PATA DE PÁJARO
(*Lotus corniculatus* L.)**

PERPETUO ÁLVAREZ VÁZQUEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

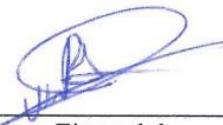
2017

**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y
DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Perpetuo Álvarez Vázquez, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor María Esther Ortega Cerrilla, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Evaluación agronómica de cinco genotipos de trébol pata de pájaro (Lotus corniculatus L.)

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 07 de diciembre de 2017



Firma del
Alumno (a)



Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Evaluación agronómica de cinco genotipos de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.)**, realizada por el alumno: **Perpetuo Álvarez Vázquez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito principal para obtener el grado de:

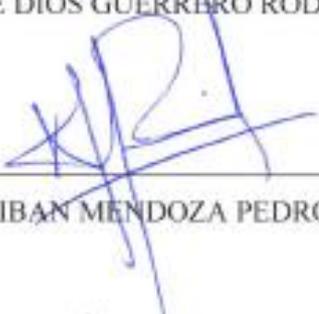
DOCTOR EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

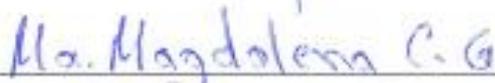
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA 
DRA. MARÍA ESTHER ORTEGA CERRILLA

ASESOR 
DR. GABINO GARCÍA DE LOS SANTOS

ASESOR 
DR. JUAN DE DIOS GUERRERO RODRÍGUEZ

ASESOR 
DR. SERGIO IBAN MENDOZA PEDROZA

ASESOR (A) 
DRA. MARÍA MAGDALENA CROSBY GALVÁN

Montecillo, Texcoco, Estado de México, diciembre de 2017

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE CINCO GENOTIPOS DE TRÉBOL PATA DE PÁJARO (*Lotus corniculatus* L.)

Perpetuo Álvarez Vázquez, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2017

RESUMEN

En México, a excepción de la alfalfa y trébol blanco, no se conoce el potencial productivo de leguminosas forrajeras como trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.). El estudio se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de México, de septiembre de 2014 a septiembre de 2016. El objetivo del trabajo fue realizar determinaciones productivas para conocer el potencial forrajero de cinco genotipos de la especie en mención. Las evaluaciones fueron realizadas cuando las praderas interceptaron un porcentaje de 90, 95 y 100 % de luz solar incidente, además de un intervalo que se mantuvo fijo, definido estacionalmente. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar en parcelas divididas con tres repeticiones, donde la parcela grande fue el genotipo y la chica el tratamiento. Los datos se analizaron con el procedimiento PROC GLM del SAS, y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey con una probabilidad del 5 %. Todos los genotipos estudiados respondieron mejor a estrategias de manejo dependientes del porcentaje de luz interceptada, respecto a un corte fijo definido estacionalmente. El mejor genotipo fue el 202700, con rendimiento de forraje anual de 32,173 kg MS ha⁻¹. En la estación de primavera, se registraron los mayores rendimientos de materia seca y coincidió con las mayores alturas de planta. En las estaciones de otoño – invierno se produjo la menor cantidad de forraje, no obstante, la relación hoja:tallo fue mayor. En el tratamiento del 95 % de luz interceptada se produjo la mayor cantidad de hoja. Los componentes botánicos – morfológicos tuvieron un aporte al rendimiento en el siguiente orden; hoja > tallo > material muerto > maleza. En conclusión, la cantidad de luz interceptada por la pradera fue la mejor estrategia de manejo a la cual puede ser cosechada la especie trébol pata de pájaro y ser más productiva respecto a un manejo considerando un intervalo de corte fijo, definido por estación.

Palabras clave: trébol pata de pájaro, *Lotus corniculatus*, estrategia de manejo, porcentaje de luz interceptada.

**AGRONOMIC EVALUATION OF FIVE GENOTYPES OF BIRDSFOOT
TREFOIL (*Lotus corniculatus* L.)**

**Perpetuo Álvarez Vázquez, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2017**

ABSTRACT

In México, with the exception of Lucerne and white-clover, the productive potential of forage legumes such as birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) is unknown. The study was carried out at the Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Mexico, from September 2014 to September 2016. The objective was to know the productive potential of five genotypes of birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) in terms of dry matter yield, harvested at different moments according to a light interception level. The harvest were made when the pasture reached an intercepted percentage of light of 90, 95 and 100 % incident light, including a fixed cut-off interval defined seasonally as a control. Treatments were distributed in a randomized block design in split plot array with three replicates. Data were analyzed with the procedure PROC GLM of the SAS, and mean comparison was made by the Tukey test with a probability of 5 %. All the genotypes studied responded better to management strategies dependent on the percentage of light intercepted, with respect to a fixed cut defined seasonally. The best genotype was 202700, with an annual forage yield of 32,173 kg DM ha⁻¹. The most productive season was spring, where the highest plant heights were recorded. In the autumn - winter seasons there was the least amount of forage, however, the leaf:stem ratio increased. The largest amount of leaf was produced in the treatment of 95 % of light intercepted. The botanical - morphological components had a contribution to the yield in the following order; leaf > stem > dead material > brush. The amount of light intercepted by the meadow can be the best management strategy for harvesting birdsfoot trefoil and be more productive with respect to management considering a fixed cut off interval, defined by season.

Keywords: Birdsfoot trefoil, *Lotus corniculatus*, management strategy, percentage of light interception.

AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente por permitirme llegar hasta este momento en mi vida y por tantas bendiciones recibidas.

Al pueblo de México, que a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) me brindó el sustento económico para lograr este objetivo.

Al Colegio de Postgraduados y al departamento de Recursos Genéticos y Productividad – Ganadería, por contribuir a mi crecimiento profesional y académico.

A los integrantes de mi consejo particular: Dra. María Esther Ortega Cerrilla, Dr. Gabino García de los Santos, Dr. Juan de Dios Guerrero Rodríguez, Dr. Sergio Iban Mendoza Pedroza y a la Dra. María Magdalena Crosby Galván, por sus valiosas aportaciones durante y conclusión de este trabajo de investigación.

Al Dr. Humberto Vaquera Huerta, que, sin ser parte de mi consejo particular siempre tuvo la disponibilidad de apoyarme en el análisis estadístico de mis datos.

Al personal de campo y biblioteca; Sr. Remedios, Sr. Alejandro, Sr. Miguel, Sra. Anita, Sr. Raymundo y Sr. Gerardo, que cada uno aportó su granito de arena para la conclusión de este trabajo.

Y MUY EN ESPECIAL AL DR. ALFONSO HERNÁNDEZ GARAY QUE, SI BIEN NO ALCANZÓ A SENTAR LA ÚLTIMA FIRMA PARA TERMINAR ESTA CAMINATA, FUE EL PILAR MÁS IMPORTANTE EN MI FORMACIÓN COMO ACADÉMICO Y EN GRAN PARTE COMO PERSONA.

GRACIAS DR...

DEDICATORIAS

Esta tesis está dedicada primeramente a mi familia: mi esposa Sandra Meraz Martínez (Mi Sanito) y a mis hijos Alex Mizraim y Heysel Eden, por su amor, apoyo, y felicidad compartida. Han sido el motor y combustible para alcanzar cada logro en mi vida, los amo.

A las personas que me formaron como persona, y fueron el impulso para iniciar mi carrera en esta hermosa profesión; a mi madrecita Antonia, que si bien no alcanzo a ver este último logro, sé que desde el cielo se regocija junto conmigo y a mi padre Melitón, porque en momentos difíciles de mi niñez y adolescencia supo darme una palabra de aliento para seguir adelante.

A mis hermanos y hermanas, Domingo, Coster Ángel, Rey David, Oliva, Marisol, Concepción, Lorena y la más pequeña Esmirna, porque de una u otra forma han sido un apoyo en este caminar, los quiero.

A mis suegros; Lupita y Don Joel, que, con su apoyo en todo tiempo, han sido pieza importante en este y en muchos otros logros alcanzados.

A mis cuñados, sobrinos, gracias por todo.

A mis hermanos en Cristo, de la Iglesia Apostólica de la Fe en Cristo Jesús de San Miguel Tocuila, Texcoco Edo. de México, mil gracias, porque son y serán una verdadera familia para mí.

***Y NUEVAMENTE MAS QUE UN AGRADECIMIENTO, DEDICO ESTA TESIS A QUIEN
FUE MI AMIGO, CONSEJERO, Y PUNTO DE REFERENCIA EN MI FORMACIÓN
ACADÉMICA***

VA POR USTED DR. ALFONSO HERNÁNDEZ GARAY

CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN | iv |
| ABSTRACT | v |
| LISTA DE CUADROS | x |
| LISTA DE FIGURAS..... | xiii |
| 1. INTRODUCCIÓN GENERAL | 1 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA | 2 |
| 2.1 Descripción del género Lotus..... | 2 |
| 2.1.1 Clasificación taxonómica | 2 |
| 2.1.2 Descripción botánica y morfológica | 3 |
| 2.1.3 Descripción agronómica..... | 4 |
| 2.2 Factores que afectan la producción de forraje | 5 |
| 2.2.1 Radiación solar e intercepción de luz | 6 |
| 2.2.2 Temperatura | 7 |
| 2.2.3 Fotosíntesis | 7 |
| 2.2.4 Humedad | 8 |
| 2.2.5 Características del suelo..... | 8 |
| 2.3 Productividad estacional de los forrajes..... | 9 |
| 2.4 Factores que afectan el rebrote de las plantas forrajeras | 10 |
| 2.4.1 Meristemos de crecimiento | 10 |
| 2.4.2 Reservas de carbohidratos..... | 11 |
| 2.4.3 Índice de área foliar..... | 11 |
| 2.5 Objetivos..... | 12 |
| 2.6 Bibliografía citada | 12 |
| 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN..... | 19 |
| 3.1 Sitio experimental | 19 |
| 3.2 Manejo de la pradera | 19 |
| 3.3 Diseño experimental | 20 |
| 3.4 Variables evaluadas..... | 21 |
| 3.5 Análisis estadístico..... | 22 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 22 |
| 4.1 Comportamiento anual de cinco genotipos de <i>Lotus corniculatus</i> L., en respuesta al porcentaje de luz interceptada y un corte fijo definido estacionalmente | 22 |

| | |
|--|----|
| 4.2 Comportamiento productivo de <i>Lotus corniculatus</i> L., genotipo 202700 | 25 |
| 4.2.1 Rendimiento de forraje | 25 |
| 4.2.2 Composición botánica y morfológica..... | 27 |
| 4.2.3 Altura de planta | 29 |
| 4.2.4 Relación hoja:tallo..... | 31 |
| 4.3 Acumulación de forraje de <i>Lotus corniculatus</i> L., genotipo 255301 | 32 |
| 4.3.1 Rendimiento de forraje | 32 |
| 4.3.2 Composición botánica y morfológica..... | 34 |
| 4.3.3 Altura de planta | 37 |
| 4.3.4 Relación hoja:tallo..... | 39 |
| 4.4 Producción de forraje de <i>Lotus corniculatus</i> L. genotipo 260012 | 40 |
| 4.4.1 Rendimiento de forraje | 40 |
| 4.4.2 Composición botánica y morfológica..... | 42 |
| 4.4.3 Relación hoja:tallo..... | 45 |
| 4.4.4 Altura de planta..... | 46 |
| 4.5 Estrategias de manejo aplicadas a <i>Lotus corniculatus</i> L., genotipo Estanzuela Ganador | 48 |
| 4.5.1 Rendimiento de forraje | 48 |
| 4.5.2 Composición botánica y morfológica..... | 50 |
| 4.5.3 Relación hoja:tallo..... | 53 |
| 4.5.4 Altura de planta..... | 55 |
| 4.6 Porcentaje de radiación interceptada como estrategia de aprovechamiento de <i>Lotus corniculatus</i> L. genotipo Gran San Gabriel | 56 |
| 4.6.1 Rendimiento de forraje | 56 |
| 4.6.2 Composición botánica y morfológica..... | 58 |
| 4.6.3 Relación hoja:tallo..... | 61 |
| 4.6.4 Altura de planta..... | 62 |
| 4.7 CONCLUSIONES GENERALES | 65 |
| 4.8 LITERATURA CITADA | 65 |

LISTA DE CUADROS

| | | |
|------------------|---|-----------|
| Cuadro 1 | Intercepción luminosa (%) alcanzada de cinco genotipos de <i>Lotus corniculatus</i> L., sometidos al corte fijo definido (CF*) estacionalmente. ... | 20 |
| Cuadro 2 | .Días transcurridos a la cosecha de forraje de cinco genotipos de <i>Lotus corniculatus</i> L., con base a porcentajes de luz interceptada (LI). | 21 |
| Cuadro 3 | Rendimiento de forrajes acumulado y promedios anuales de cinco genotipos de <i>Lotus corniculatus</i> L., en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido por estación (Año 1; 2014 – 2015). | 23 |
| Cuadro 4 | Rendimiento de forrajes acumulado y promedios anuales de cinco genotipos de <i>Lotus corniculatus</i> L., en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido por estación (Año 2; 2015 – 2016). | 24 |
| Cuadro 5 | Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) de <i>Lotus corniculatus</i>, genotipo 202700, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) estacional. | 26 |
| Cuadro 6 | Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) por componente botánico y morfológico de <i>Lotus corniculatus</i>, genotipo 202700, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido por estación. | 28 |
| Cuadro 7 | Altura de planta (cm) de <i>Lotus corniculatus</i>, genotipo 202700, en función del porcentaje de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 30 |
| Cuadro 8 | Relación hoja:tallo (R:H/T) de <i>Lotus corniculatus</i>, genotipo 202700, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 32 |
| Cuadro 9 | Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) de <i>Lotus corniculatus</i>, genotipo 255301, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 34 |
| Cuadro 10 | Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) por componente botánico y morfológico de <i>Lotus corniculatus</i>, genotipo 255301, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido por estación. | 35 |

| | |
|---|----|
| Cuadro 11. Altura de planta (cm) de <i>Lotus corniculatus</i>, genotipo 255301, en función del porcentaje de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 38 |
| Cuadro 12. Relación hoja:tallo (R:H/T) de <i>Lotus corniculatus</i> genotipo 255301, en función de porcentajes de luz interceptada y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 40 |
| Cuadro 13. Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) de <i>Lotus corniculatus</i> genotipo 260012, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 41 |
| Cuadro 14. Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) por componente botánico y morfológico de <i>Lotus corniculatus</i> genotipo 260012, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 43 |
| Cuadro 15. Relación hoja:tallo (R:H/T) de <i>Lotus corniculatus</i> genotipo 260012, en función de porcentajes de luz interceptada y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 46 |
| Cuadro 16. Altura de planta (cm) de <i>Lotus corniculatus</i> genotipo 260012, en función del porcentaje de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 47 |
| Cuadro 17. Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) de <i>Lotus corniculatus</i>, cv. Estanzuela Ganador, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 49 |
| Cuadro 18. Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) por componente botánico y morfológico de <i>Lotus corniculatus</i>, cv. Estanzuela Ganador, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 51 |
| Cuadro 19. Relación hoja:tallo (R:H/T) de <i>Lotus corniculatus</i> cv. Estanzuela Ganador, en función de porcentajes de luz interceptada y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 54 |
| Cuadro 20. Altura de planta (cm) de <i>Lotus corniculatus</i> cv. Estanzuela Ganador, en función del porcentaje de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 56 |

| | |
|---|-----------|
| Cuadro 21. Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) de <i>Lotus corniculatus</i> cv. Gran San Gabriel, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 58 |
| Cuadro 22. Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) de <i>Lotus corniculatus</i> cv. Gran San Gabriel, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 59 |
| Cuadro 23. Relación hoja:tallo de <i>Lotus corniculatus</i> cv. Gran San Gabriel, en función de porcentajes de luz interceptada y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 62 |
| Cuadro 24. Altura de planta (cm) de <i>Lotus corniculatus</i> cv. Gran San Gabriel, en función del porcentaje de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente. | 64 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| Figura 1. Países con más de 100 mil ha sembradas de especies de Lotus..... | 3 |
| Figura 2. Componentes morfológicos y reproductivos del género Lotus | 4 |
| Figura 3. Temperatura media mensual máxima, mínima y precipitación acumulada mensual. | 19 |
| Figura 4. Composición botánica y morfológica de <i>Lotus corniculatus</i>, genotipo 202700, en función de porcentajes de luz interceptada y un intervalo de corte fijo (CF⁰) definido por estación = Otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte. | 29 |
| Figura 5. Composición botánica y morfológica de <i>Lotus corniculatus</i>, genotipo 255301, en función de porcentajes de luz interceptada y un intervalo de corte fijo definido estacional (CF⁰) = Otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte. | 36 |
| Figura 6. Composición botánica y morfológica de <i>Lotus corniculatus</i>, genotipo 260012 en función del porcentaje de luz interceptada (LI) 0 del 90, 95 y 100 % y un intervalo de corte definido estacional (CF⁰) = Otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte. | 45 |
| Figura 7. Composición botánica y morfológica de <i>Lotus corniculatus</i>, cv. Estanzuela Ganador en función del porcentaje de luz interceptada (LI) del 90, 95, 100 y un intervalo de corte fijo (CF) definido estacional= Otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte. MM = Material muerto..... | 52 |
| Figura 8. Composición botánica y morfológica de <i>Lotus corniculatus</i> L., genotipo Gran San Gabriel en función del porcentaje de luz interceptada (LI) del 90, 95, 100 y un intervalo de corte fijo (CF) definido estacional= Otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte. MM = Material muerto. | 61 |

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La actividad ganadera en México, ocupa aproximadamente el 50 % del territorio nacional (193, 419,369 ha), convirtiéndose en la principal actividad de uso de suelo del país en una superficie de 114 millones de ha, representado el 58 % de la superficie nacional (SAGARPA, 2016). Una de las principales actividades ganaderas es la bovina, donde la base de la alimentación son los forrajes (Velazco *et al.*, 2001). Esta actividad se desarrolla en praderas principalmente, las cuales cubren aproximadamente una cuarta parte de la superficie mundial, ya que se considera la opción de la alimentación más abundante y de menor costo (Marcelino *et al.*, 2006). Por tanto, surge la necesidad de incrementar la eficiencia de los recursos forrajeros, mediante el incremento de especies forrajeras en los diferentes climas (Lüscher *et al.*, 2014). En climas templados, hay leguminosas representativas como la alfalfa (*Medicago sativa* L.), trébol blanco (*Trifolium repens* L.) y trébol rojo (*Trifolium pratense* L.). Sin embargo, otras especies del género *Lotus*, nativas de Europa, Asia, África, Australia y algunas de las islas del océano Atlántico y Pacífico (Degtjareva *et al.*, 2008) han mostrado una aceptable adaptabilidad a estos. Dentro de este género, el trébol *Lotus corniculatus* L. es una de las de mayor importancia forrajera, ya que representa el 90 % del área sembrada con especies de *Lotus* (Escaray *et al.*, 2012). Se caracteriza por su alto valor nutricional similar al de la alfalfa y otros tréboles (Marley *et al.*, 2006). Adicionalmente contiene taninos condensados que evitan el timpanismo en rumiantes y protegen a las proteínas de su degradación en el rumen (Williams *et al.*, 2011). Es resistente al frío, la sequía y prospera en suelos inundados, ácidos y baja fertilidad, donde la alfalfa no crece (Canals *et al.*, 2009). Se reportan rendimientos de forraje entre 10,000 y 13,000 kg MS ha⁻¹ (Soto *et al.*, 2005; Ramírez-Restrepo *et al.*, 2006; Cárdenas *et al.*, 2007; Sartor *et al.*, 2010). Sin embargo, es una especie poco conocida en México (García *et al.*, 2014) y tiene entre sus desventajas un crecimiento inicial lento, no admite aprovechamientos intensos y frecuentes y presenta poca persistencia y productividad (Ixtaina y Mujica, 2010) especialmente bajo pastoreo en virtud de su hábito de crecimiento (Moroso *et al.*, 2007). Por tanto, es importante detectar variedades sobresalientes en producción de materia seca y desarrollar estrategias de manejo que contribuyan a un mayor conocimiento sobre el comportamiento productivo de esta especie. En pastos tropicales se han determinado criterios de aprovechamientos que se fundamentan en la cantidad de luz interceptada (Mathews *et al.*, 1999). Al respecto, Montagner *et al.* (2012) establecieron que un punto óptimo de cosecha es cuando la pradera intercepta un 95 % de la luz incidente, condición en la cual la competencia por luz es mínima

(Da Cunha *et al.*, 2010). En especies forrajeras templadas como la alfalfa (*Medicago sativa* L.) se ha encontrado una alta correlación ($R^2 = 0.98$) de la radiación interceptada con el rendimiento de forraje (Rojas *et al.*, 2016). Sin embargo, en trébol *Lotus corniculatus* L., no se ha incursionado en este aspecto.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción del género *Lotus*

2.1.1 Clasificación taxonómica

El género *Lotus* es parte de la tribu Lotae, miembro de la subfamilia leguminosae, subfamilia Papilionidae (Faboideae). Comprende entre 100 y 200 especies anuales y perennes (Langler, 2003). Dentro de este género, se distingue la especie *Lotus corniculatus* L., por sus cualidades forrajeras (Castro, 2006). Su distribución geográfica, comprende a Europa, Asia Menor, Norte América y Sudamérica (Figura 1), que corresponde a climas templados (Gunn *et al.*, 1992). Esta especie cuenta con las siguientes subespecies (Miñon *et al.*, 1990).

- ❖ *Lotus corniculatus* var. *crassifolia* Fr.
- ❖ *Lotus corniculatus* var. *kochii* Chrtková
- ❖ *Lotus corniculatus* var. *maritimus* Rupr.
- ❖ *Lotus corniculatus* ssp. *Afghanicus* Chrtková
- ❖ *Lotus corniculatus* ssp. *carpetanus* (Lacaita) Rivas-Mart.
- ❖ *Lotus corniculatus* ssp. *corniculatus* L.
- ❖ *Lotus corniculatus* ssp. *Frondosus* Freyn
- ❖ *Lotus corniculatus* ssp. *Fruticosus* Chrtková
- ❖ *Lotus corniculatus* var. *Japonicus* Regel (Ayala y Carambula, 2009).



Figura 1. Países con más de 100 mil ha sembradas de especies de Lotus. Bajo el nombre de los países, se indican en miles las áreas sembradas (Díaz et al., 2005).

2.1.2 Descripción botánica y morfológica

Es una planta perenne de una altura aproximada de 50 cm, con tallos macizos, porte erecto, decumbente o postrado. Su hábito de crecimiento es a partir de una corona de la cual emergen los rebrotes que dan origen a nuevos tallos (Silveira, 2011). Las hojas son imparipinadas, pentafoliada, los tres folíolos superiores ovados y los inferiores ovales, semejantes a una estípula, con nervadas poco visibles. Las hojas emergen desde puntos de crecimiento ubicados en los cotiledones, lo que permite diferenciarla de los géneros *Medicago* y *Trifolium* (Ayala y Carambula (2009). La inflorescencia, es una umbela compuesta de 1 a 12 flores sostenidas por un pedúnculo floral insertado en las axilas de las hojas superiores de los tallos. Las flores son de color amarillo o hasta rojas (próximas a formar el fruto). El fruto es una legumbre recta y cilíndrica de hasta 4 cm. *Lotus corniculatus* L., recibe el nombre común trébol pata de pájaro debido a la forma de pata de pájaro de sus frutos o vainas (Canals *et al.*, 2009). Presenta un sistema radical vigoroso y profundo, como característica principal una raíz pivotante (Silveira, 2011). Esta posee numerosas ramificaciones laterales ubicadas principalmente en los primeros 30 a 60 cm del suelo (Seaney y Henson, 1970).

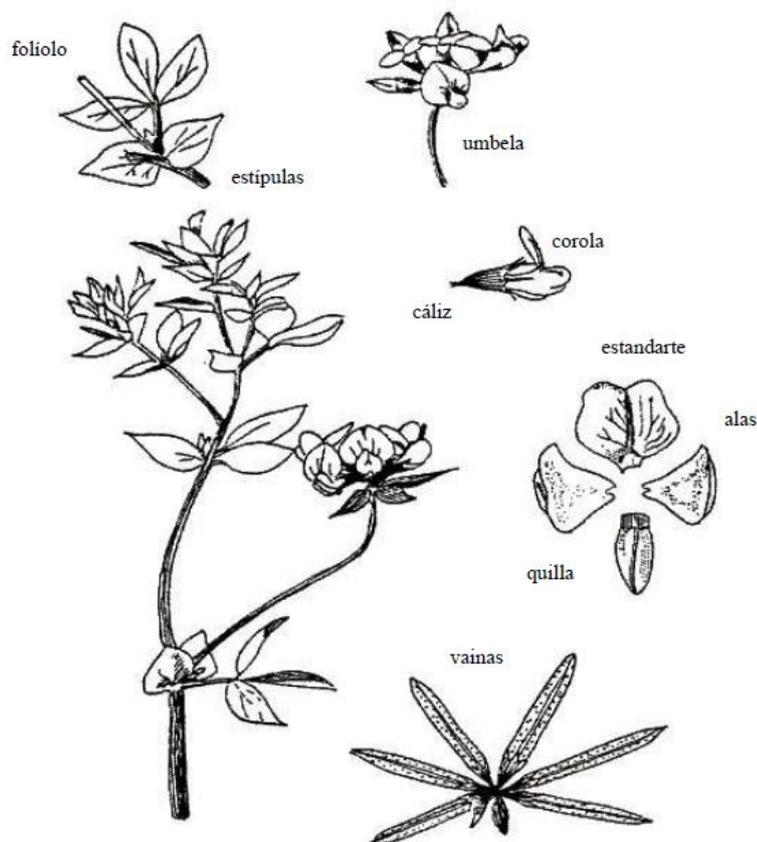


Figura 2. Componentes morfológicos y reproductivos del género Lotus (Águila Castro, H. 1979; citado por Ayala y Carámbula, 2009).

2.1.3 Descripción agronómica

Trébol pata de pájaro, es una especie perenne (Ayala y Carámbula, 2009). Se desarrolla a una altitud que va de los 2000 a los 3000 msnm (Muslera y Ratera, 1991). Tolera el frío, calor y de forma moderada la sequía estival; sin embargo, se desarrolla mejor en climas fríos y húmedos con precipitaciones de 400 a 1200 mm (Canals *et al.*, 2009). Su calidad nutricional es comparable con la alfalfa (*Medicago sativa* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.), dado a su alta relación hoja tallo (Cassida *et al.*, 2000), su contenido de proteína en base seca es de alrededor de 18.9 a 21.8 % (García *et al.*, 2014), con bajo contenido de celulosa y más contenido de carbohidratos no estructurales (Grant, 2009). La digestibilidad de la materia seca fluctúa entre 77 a 79 % y la fibra detergente ácida entre 24 y 30 % (Cassida *et al.*, 2000). Adicionalmente, presenta taninos condensados, que previenen el timpanismo en rumiantes e impiden la formación de gases y espuma en el rumen, además de proteger a las proteínas de la degradación en el rumen (Williams *et al.*, 2011). Tolera condiciones edáficas extremas de sequedad e inundación, y es un sustituto de otras especies en suelos

poco fértiles (Striker *et al.*, 2005), pero al mismo tiempo responde a la fertilización (Escaray *et al.*, 2012). Podría crecer en suelos ácidos, con bajos niveles de fósforo (Clabelli, 2009) y altos contenidos de aluminio y magnesio (Guillen and Winmup, 2008). Se desarrolla en pH entre 5.5 y 7.5 (Canals *et al.*, 2009). Bajos estas condiciones se han reportado rendimientos entre 4,000 a 13,000 kg MS ha⁻¹ (Soto *et al.*, 2005; Ramírez-Restrepo *et al.*, 2006; Cárdenas *et al.*, 2007; Sartor *et al.*, 2010).

En cuanto a la producción animal, es una excelente fuente de forraje para bovinos y ovinos (Grant, 2009), principalmente bovinos productores de leche (Williams *et al.*, 2011). Su consumo se asocia con el mejoramiento de parámetros reproductivos en ovejas, ya que incrementa el porcentaje de nacimientos y corderos destetados en 16 y 32 %, respetivamente (Ramírez-Restrepo *et al.*, 2006). Min *et al.* (2003) reportaron que concentraciones de 22 y 38 gr de taninos condensados por kg de MS aumenta un 10 % la producción de lana y el intervalo de ovulación en un 22 %. Por su parte, Marley *et al.* (2006) obtuvo ganancias de peso de 102 gr día⁻¹ en ovinos, y menor infestación de parásitos. Trabajos realizados por Woodward *et al.* (2000) reportaron mejor calidad de leche en vacas Friesian alimentadas con *Lotus corniculatus* respecto a vacas alimentadas con *Lolium perenne*. Además, se le atribuye una reducción en la producción de metano, lo cual incrementa su importancia (Waghorn, 2008).

2.2 Factores que afectan la producción de forraje

Se ha observado, que las condiciones ambientales influyen mayormente sobre las características morfológicas y estructurales de las plantas, más que el manejo de la pradera (Casagrande *et al.*, 2010). De acuerdo con Nurjaya y Tow (2001), la producción de forraje está determinada por la interacción de los elementos del clima como la temperatura, radiación solar, y precipitación, con factores edáficos y de manejo como el intervalo e intensidad de defoliación. Así mismo, desde el establecimiento, crecimiento y desarrollo, las plantas están influenciadas por la competencia intra e interespecifica, por lo que se afecta la actividad fotosintética, flujo de energía, humedad, dióxido de carbono y nutrientes minerales del suelo (Baruch y Fisher, 1991). La transformación de energía dentro de la pradera y reciclaje de nutrientes, son los procesos más importantes para cumplir el objetivo de desarrollar estrategias de manejo que mejor se adapten a las características productivas de cada especie forrajera (Da Silva y Nascimento, 2007).

En el caso del género *Lotus*, las condiciones óptimas de crecimiento varían de acuerdo a la especie. No obstante, presenta una alta plasticidad, que le permite adaptarse a diferentes condiciones ambientales. El comportamiento de *Lotus* es mejor a medida que se acerque a condiciones óptimas de adaptación de luz, temperatura y humedad. Si bien, la mayoría de las leguminosas forrajeras compiten por humedad, nutrientes y luz, *Lotus* lo hace por este último (Ayala y Carambula, 2009).

2.2.1 Radiación solar e intercepción de luz

La radiación solar es considerada el elemento meteorológico de mayor importancia (Geiger *et al.*, 2003). Las variaciones temporales en las intensidades de la radiación solar afectan la tasa fotosintética, morfología y crecimiento. La cantidad de radiación solar total que llega a la pradera es determinada por la latitud, altitud, hora del día y claridad de la atmósfera (Kimmins, 1987). Sabiendo que el dosel de la pradera es una estructura tridimensional que cambia a través del tiempo (Grant, 1997), se entiende que esta modifica la reflexión, transmisión y absorción de la luz (Geiger, *et al.*, 2003). De esta forma, solo una proporción de la radiación es interceptada y otra menor alcanza la superficie del suelo (Kimmins, 1987). La radiación interceptada por las plantas y la eficiencia de estas para fijar CO₂ son los principales factores que afectan la producción de forraje (Sinclair and Muchow, 1999). Así mismo, el aumento en la proporción de hojas ayuda a que haya una mayor intercepción de luz (Álvarez, 2013).

En muchos cultivos se ha demostrado que la cantidad de luz interceptada por las plantas es directamente proporcional a la producción de materia seca (Monteith, 1977; Lommen, 1999; Tsegaye and Struik, 2003). En especies forrajeras se ha establecido como punto óptimo de cosecha cuando la pradera intercepta el 95 % de luz incidente, condición en la cual la competencia por luz dentro de la pradera, es mínima y el forraje cosechado adquiere un alto valor nutricional por el contenido de hojas y tallos jóvenes (DaCunha *et al.*, 2010). Pereira *et al.* (2017), establecen que la competencia entre tallos por luz se incrementa después de que el dosel intercepta un 95 % de luz. En pastos tropicales han observado que la cantidad de luz interceptada, representada por el porcentaje que pasa a través del dosel, puede ser usada para definir el momento de cosecha (Da Silva *et al.*, 2009; Difante *et al.*, 2010). No obstante, en trébol (*Lotus corniculatus*) no se ha incursionado en determinar su comportamiento productivo en función de la intercepción de luz por la planta.

2.2.2 Temperatura

La temperatura regula la intensidad de las reacciones enzimáticas del ciclo de Calvin, que resulta en la tasa de acumulación de materia seca (Da Silva *et al.*, 2008). Cada especie forrajera manifiesta su mejor comportamiento en un rango de temperatura específico, en la cual ocurre una máxima actividad enzimática (Baruch y Fisher, 1991). En leguminosas, la temperatura influye en el crecimiento y aparición de hojas y estolones (Clark *et al.*, 1996). Así mismo, este elemento del clima, puede ser modificado total o parcialmente mediante el manejo de la pradera.

En el género *Lotus*, la temperatura afecta principalmente en los procesos de germinación e inicios de crecimiento, mayormente a bajas temperaturas y presencia de heladas (Keoghan y Burgess, 1987). Dado que la especie no presenta latencia invernal total y la producción de forraje en invierno, depende exclusivamente de la presencia de temperaturas moderadas (Ayala y Carámbula, 2009). A nivel de la raíz, la temperatura tiene influencia en el establecimiento y persistencia. En verano en presencia de temperaturas altas, se reportan reducciones en las reservas de carbohidratos y absorción de nutrientes por las raíces (Ayala y Carámbula, 2009). Especies de este género han manifestado afectaciones en nódulos para llevar a cabo la actividad fijadora de nitrógeno. Por debajo de 7 °C la fijación de nitrógeno es mínima y se incrementa de 10 a 30 °C, por arriba de este rango se produce la muerte y desprendimiento de nódulos, estableciendo a 27 °C la temperatura óptima (Roa, 1997). En general, la especie se adapta a temperaturas medias mensuales entre 16 y 27 °C, pero también crece en regiones cálidas a temperaturas entre 27 a 38 °C, por lo que su temperatura base de crecimiento se determina en los 18 °C (Muslera y Ratera, 1999).

2.2.3 Fotosíntesis

La fotosíntesis se lleva a cabo principalmente en hojas con capacidad fotosintética. Se generan sustancias que son utilizadas para el crecimiento, respiración, rebrote y reproducción. Una mínima cantidad de estas sustancias son almacenadas para utilizarse en el periodo de reposo, en el rebrote de invierno y fase reproductiva en verano (Jiménez y Avendaño, 1988). Por otra parte, la capacidad fotosintética de una especie depende de la intensidad de luz. A una baja intensidad de luz, la tasa fotosintética disminuye, ya que es proporcional al flujo de fotones. Cuando la curva de fotosíntesis en relación a la intensidad luminosa se vuelve asintótica la planta alcanza la saturación de luz (Salomé, 2014). El rango de saturación de luz en forrajes se encuentra entre 500 y 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En plantas con

un metabolismo C₄ no se alcanza una saturación lumínica aún a mayores intensidades de luz, respecto a plantas de metabolismo C₃ (Strasburguer *et al.*, 2004). La variación en la intensidad luminosa afecta la fotosíntesis neta, la cual declina con la edad de la hoja (Briske, 1991). Así mismo, la tasa fotosintética es más alta en plantas defoliadas. Esta respuesta es conocida como fotosíntesis compensatoria, explicada por la actividad fotosintética de hojas jóvenes, en combinación con cambios en la intensidad de luz y factores endógenos (McKenzie *et al.*, 1999).

2.2.4 Humedad

El agua es esencial para el transporte de nutrientes minerales del suelo hacia la planta, y como un medio para el movimiento de las enzimas y actividad catalítica. De esta forma, la humedad determina el potencial productivo de un forraje, afectando de forma significativa el crecimiento de las plantas y su persistencia. Si bien puede ser modificada mediante riego, cuando se carece de esta, su presencia determinará la especie a cultivar (Ayala y Carambula, 2009). En condiciones de déficit de humedad, los forrajes adoptan cambios en su morfología y fisiología, como la expansión foliar, reducción en el crecimiento de los tallos, división celular, aparición de hojas y aceleración del proceso de senescencia y en consecuencia reducción en la producción de materia seca (Passioura, 1982). En contraparte, con un exceso de humedad se crea en el suelo un medio anaeróbico, provoca en la planta clorosis, hipertrofias en las aerenquimas y un deterioro en el sistema radical, el cual se acentúa más en leguminosas que en gramíneas, lo que asocia a un incremento en el ataque de enfermedades (Finn *et al.*, 1961). El *Lotus*, expuesto a falta de humedad en verano manifiesta una reducción en la población de *rizobios* que afecta la nodulación de plantas establecidas en otoño y pone en peligro la disponibilidad de forraje en invierno (Ayala y Carambula, 2009). Por el contrario, el exceso de humedad provoca el aborto de flores y vainas (Vignolio *et al.*, 1994).

2.2.5 Características del suelo

Las propiedades del suelo tienen una función importante en la producción de forraje (Kemp *et al.*, 1999). Las propiedades físicas determinan las condiciones de resistencia del crecimiento de las raíces, difusión de gases y capacidad de retención de humedad. Las propiedades químicas; como la acidez o alcalinidad del suelo, afectan a la disponibilidad o restricción de nutrientes. Un pH bajo, restringe nutrientes como el fósforo, potasio, calcio

y magnesio y vuelve disponibles otros como el zinc, aluminio y manganeso (Edmeades *et al.*, 1991). El género *Lotus*, tolera suelos ácidos con valores de pH entre 4.5 y 5.2. También la producción de forrajes, depende en gran manera de la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo (Horrocks y Vallentine, 1999). Esta condición puede ser modificada mediante la elección del sitio y aplicación de fertilizantes (Ayala y Carambula, 2009). Los nutrimentos más importantes son el nitrógeno, fósforo y potasio (Hodgson, 1990). La falta de fósforo en *Lotus corniculatus*, reduce la altura, peso de hojas, raíces y nódulos. Así mismo, la exclusión de potasio, incrementa la concentración de calcio y magnesio (Acuña *et al.*, 1997).

2.3 Productividad estacional de los forrajes

La estacionalidad en la producción de forrajes está determinada en gran parte por las condiciones ambientales. De esta forma, para regiones templadas se tiene una época de abundancia (primavera-verano), efecto de la disponibilidad de factores para crecimiento como la humedad, luz y temperatura (Castro *et al.*, 2012). En contraparte, tenemos las estaciones de otoño e invierno, caracterizadas por bajas temperaturas y escasas de precipitación, lo que provoca un descenso en la producción de forraje (Villegas *et al.*, 2004). Por tanto, en la selección de una especie a establecer, es conveniente conocer cómo se distribuye el rendimiento de forraje estacional y los cambios morfogénéticos y botánicos en la pradera (Castro *et al.*, 2012). En la búsqueda de factores que afectan la tolerancia a bajas temperaturas y otros tipos de estrés en invierno, se han reportado en especies forrajeras, que esto se determina por la conversión de almidón a azúcares solubles en el sistema radical (Li *et al.*, 1996). Por otra parte, el proceso de síntesis y transporte de giberelinas (hormonas de crecimiento) se afecta negativamente por la acción de temperaturas bajas (Murphy y Briske, 1992). Debido a la ubicación de los puntos de crecimiento bajo la superficie del suelo, algunas especies forrajeras persisten ante las condiciones climatológicas expuesta (Lemaire *et al.*, 2001). En cuanto a *Lotus*, no presenta reposo invernal, por lo que, se ve favorecida con inviernos no muy severos; sin embargo, su comportamiento productivo se ve mermado en tanto más frías y secas sean las condiciones (Ayala y Carámbula, 2009), por la presencia de temperaturas infra óptimas para la fotosíntesis neta y la no activación de mecanismos de latencia (Formoso, 1993). En primavera, se presentan las mejores condiciones para el crecimiento de las plantas, hasta un 57 % de la producción de forraje anual se presenta en ésta estación (Formoso, 1993). Lo anterior es reflejo de una máxima tasa fotosintética, un mayor fotoperiodo; sin embargo, las necesidades de respiración también se elevan al

incrementarse las temperaturas, lo que resulta en un agotamiento de carbohidratos que compromete el crecimiento de las siguientes estaciones (Ayala y Carambula, 2009). En verano, frente a temperaturas elevadas y falta de humedad, *Lotus corniculatus*, presenta tolerancia a sequías por su sistema radical profundo y/o profuso, no obstante, los vientos calientes afectan la producción de materia seca (Ayala y Carámbula, 2009). Finalmente, en otoño cuando se presentan mejores condiciones de humedad para el crecimiento, también empiezan a descender las temperaturas y el riesgo de heladas, las cuales detienen el crecimiento de la especie (Olmos, 1997).

2.4 Factores que afectan el rebrote de las plantas forrajeras

El rebrote es el inicio de un nuevo ciclo de crecimiento y acumulación de materia seca en el tiempo. Este proceso se presenta principalmente en especies perennes, las cuales son capaces de regenerar su tejido vegetal después de una defoliación, si algunos de los factores de crecimiento no son limitantes (Da Silva y Nascimento Jr., 2007). La capacidad de rebrote dependerá de factores propios como las reservas de carbohidratos, área foliar remanente, tasa de amacollamiento, humedad del suelo y factores climáticos, aunado a competencia intra e interespecifica (Briske *et al.*, 1996).

Los primeros trabajos realizados por Brougham (1956), describen el rebrote como una curva sigmoidea representada por tres etapas. En la primera etapa se relaciona el crecimiento vegetal con las reservas orgánicas en las raíces, base de los tallos y área foliar remanente con capacidad fotosintética. En una segunda etapa, se reporta un crecimiento lineal y en la tercera etapa, se observa una máxima acumulación de materia seca y un simultáneo incremento del material muerto, por efecto del autosombreado de las hojas, causando un nivel de compensación en la planta desde el punto de vista fisiológico.

2.4.1 Meristemos de crecimiento

Los meristemos de crecimiento son definidos como los tejidos embrionarios formados por células diferenciadas capaces de originar otros tejidos y órganos especializados, mediante divisiones continuas, para dar paso al rebrote (Briske, 1991). Las zonas meristemáticas se localizan en la base de las hojas más jóvenes (Tomlison y O'connor, 2004). La activación de estas zonas está influenciada por el balance entre auxinas y citoquininas, lo que regula la formación de hojas jóvenes, necesarias para promover el desarrollo de nuevo tejido foliar y radical (Azcon y Talon, 1993).

Las plantas presentan diferentes puntos de ubicación de meristemos de crecimiento y órganos de reservas, así como presencia o ausencia de estolones y rizomas, en el caso de leguminosas, dependiendo de hábito de crecimiento (Quero *et al.*, 2007). Estas características determinan diferentes capacidades de rebrote y producción de forraje en cada especie (Cruz y Boval, 2000).

2.4.2 Reservas de carbohidratos

Las reservas de carbohidratos en las plantas se dividen en estructurales y no estructurales. Los estructurales, forman parte de la pared celular en forma de celulosa, hemicelulosa y pectina, mientras que los no estructurales se almacenan en raíces, rizomas, estolones, corona, parte inferior de los tallos, en forma de monosacáridos (glucosa y fructosa), disacáridos (sucrosa y maltosa) y polisacáridos (almidón y fructanos) (Smith y Nelson, 1967). Estos componentes proporcionan la energía necesaria para iniciar el rebrote (Duthil, 1989). Por tanto, una planta con suficientes reservas de carbohidratos, puede mantener el crecimiento después de una defoliación (Hodgson, 1990). Esto sucede cuando el área foliar remanente con capacidad fotosintética es nula o insuficiente para producir fotoasimilados (Volenc y Nelson, 1983). Por tanto, para lograr un adecuado rebrote, la utilización de una pradera debe realizarse cuando la planta ha restituido las reservas de carbohidratos y haya generado nuevos puntos de crecimiento (Briske *et al.*, 1996).

2.4.3 Índice de área foliar

El índice de área foliar se define como la cantidad de hoja acumulada sobre el nivel del suelo o la superficie de área de hoja por unidad de suelo (Lemaire y Chapman, 1996). Este concepto se vuelve importante, ya que determina la cantidad de luz interceptada por la pradera. Fue propuesto por Watson (1947), como una forma de estimar la capacidad productiva de una pradera. De acuerdo con, Difante *et al.* (2010) un índice de área foliar óptimo es aquel en el que la pradera intercepta el 95 % de luz incidente. Baguet y Bavera, (2001) consignaron que a medida que el índice de área foliar se incrementa, la cantidad de luz que alcanza la superficie del suelo a través del dosel se reduce. Así mismo, ellos consideran un índice de áreas foliar crítico es cuando el 100 % de la luz incidente es interceptada, condición bajo la cual la tasa de crecimiento es máxima, la cantidad de hojas es excesiva y las hojas basales deja de recibir luz y tienden a senescer. La velocidad con que se incrementa el índice de área foliar, dependerá de la tasa de aparición de hojas, proceso

regulado por la temperatura, radiación solar, intensidad y frecuencia de corte y fertilización (Briske, 1991).

2.5 Objetivos

Evaluar el comportamiento productivo de cinco genotipos de *Lotus corniculatus*, sometidos a estrategias de cosechas dependientes del porcentaje de luz interceptada y un corte fijo determinado por estación, que conlleve a la generación de recomendaciones que puedan optimizar la producción de forraje.

2.6 Bibliografía citada

- Acuña, H., Figueroa R. M., De La Fuente A. 1997. Effect of sowing depth and soil water content on germination, initial stages of development and growth of *Lotus* spp., in clay soils. *Lotus News letter*. 29 p.
- Álvarez V. P. 2013. Evaluación cuantitativa de diez variedades de alfalfa (*Medicago sativa*). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 79 p.
- Ayala W. y Carámbula. 2009. El valor agronómico del género *Lotus*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Uruguay. 424 p.
- Azcon, B. J. y Talon M. 1993. Fisiología y Bioquímica Vegetal. Ed. Interamericana McGraw-Hill. Madrid, España. 581 p.
- Baguet, H. A. y Bavera G.A. 2001. Fisiología de la planta pastoreada. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional del Río Cuarto. Provincia de Córdoba, Argentina. http://www.produccionovina.com.ar/produccioymanejopastras/pastoreosistemas/04fisiologia_de_la_planta_pastoreada.htm (revisada el 10-09-16).
- Barbosa, R. A., D. Nacimiento Jr., H. Vilela H., S. Da Silva C., V. Batista-Euclides P., A. Sbrissia F., and B. Da Lana S. 2011. Morphogenic and structural characteristics of guinea grass pastures submitted to three frequencies and two defoliation severities. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 40: 947-954 p.
- Baruch, Z. J. y 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. 103-142 p.

- Briske, D. D. 1991. Development morphology and physiology of grasses. In: *Grazing Management: an ecological perspective*. Heitschmidt, R. K., Stuth J. W. (ed.). Timber Press, Portland, Oregon, USA. 85-108 p.
- Briske, D. D., Boutton T. W., Wang Z. 1996. Contribution of flexible allocation priorities to herbivore tolerance in C4 perennial grasses: an evaluation with 13 Clabelling. *Oecologia*. 105: 151–159 p.
- Brougham, R. 1956. Effect of intensity of defoliation on the regrowth of pasture. *Australian Journal of Agricultural Research*. 7: 377-387 p.
- Canals, R., Peralta J. y Zubiri E. 2009. Flora pratense y forrajera cultivada de la península Ibérica. UNAVARRA, Pamplona, España. 2 p. http://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/Lotu_corn_p.htm (Consultado 10/06/2016).
- Casagrande, D. R., Ruggieri A. C., Rosseto J. E., Gomide J. A., Reis R. A., Valente A. L. S. 2010. Características morfogênicas e estruturais do capim-marandu manejado sob pastejo intermitente com diferentes ofertas de forragem. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 39(10):2108-2115 p.
- Castro, R. R., Hernández G. A., Pérez P. J., Hernández G. J., Quero C. A. R., Enríquez Q. J. F., y Martínez H. P. A. 2012. Comportamiento productivo de cinco asociaciones gramíneas-leguminosas bajo condiciones de pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 35(1):87-95 p.
- Chapman, D. F., Rawnsley R. P., Cullen B. R. y, Clark, D. A. 2013. Inter-annual variability in pasture herbage accumulation in temperate dairy regions: causes, consequences, and management tools. 22nd International Grassland Congress September.
- Clark, D. A. y Harris S. L. 1996. White clover or nitrogen fertilizer for dairying?. *Special Publication-Agronomy Society of New Zealand*. 107-114 p.
- Collins, M. 1982. Yield and quality of birdsfoot trefoil stock piled for summer utilization. *Agronomy Journal* 74:1036-1041 p.
- Cruz P. and Boval M. 2000. Effect of nitrogen on some morphogenetic traits of temperate and tropical perennial forage grasses. In: Lemaire, G., Hodgson, J., Moraes, A., Nabinger, C. and Carvalho, F. P. C. *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. CABI Publishing.UK. 101-126 p.
- Da Silva S. C., and D. Nascimento Jr. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo.

- Comportamiento productivo de cinco asociaciones gramíneas-leguminosas bajo condiciones de pastoreo. 36:121-138 p.
- Da Silva, S.C., Nascimento-Júnior D.D., Euclides V. P. B. 2008. Pastagens: conceitos básicos, produção e manejo. Viçosa, MG: Suprema. 115 p.
- Díaz, P., O. Borsani, J. Monza, and A. J. Marquez. 2005. *Lotus*-Related Species and their Agronomic Importance, Springer, Netherlands. 25-37 p.
- Difante, G. S., Nascimento Jr. D., Da Silva S. C., Euclides B. V. P., Baptaglin M. D., Teixeira S. M. C., Da Silva P. K. 2011. Características morfogênicas e estruturais do capim-marandu submetido a combinações de alturas e intervalos de corte. Revista Brasileira de Zootecnia. 40(5):955-963 p.
- Duthil, J. 1989. Producción de forrajes. Editorial Mundi prensa. Madrid, España. 367 p.
- Edmeades, D. C., Wheeler D. M., Christie R. A. 1991. The effect of aluminium and pH on the growth of a range of temperate grass species and cultivars. Plant-Soil interactions at low pH. Editors R. J. Wright, V. C. Baligar and R. P. Murrmann. Kluwer Academic Publishers, dordrecht, The Netheriands. 913-924 p.
- Formoso, F. 1993. *Lotus corniculatus* L. Performance forrajera y características agronómicas asociadas. INIA. 37: 9-11 p.
- Finn, B. J., Bourget S. J., Nielsen K. F., Dow B. K. 1961. Effect of different soil moisture tensions on grass and legume species. Canadian Journal of Soil Science. 41:16-23 p.
- García, B. D. V., J de D. Guerrero R., G. García de los S., y S. A. Lagunes R. 2014. Rendimiento y calidad de forraje de genotipos de *Lotus corniculatus* L., en el Estado de México. Nova Scientia. 7 (13):170-189 p.
- Gunn C. R., Wiersema J. H., Ritchie C. A., Kirkbride J. H., 1992. Families and general of spermatophytes recognized by the agricultural research service. Technical Bulletin 1796:43 p.
- Grant, F. W. 2009. *Lotus corniculatus*. SciTopics. Canada. http://www.scitopics.com/Lotus_corniculatus.html (Consultado 20/09/2016).
- Hernández, C. D., Trejo C. R., Esquivel A. O., Arreola A. J. G., y Flores H. A. 2007. Evaluación de un método para medir fotosíntesis en mezquite (*Prosopis glandulosa*). Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 6:185-190 p.
- Hernández, G. A., Martínez H. P. A. 1997. Utilización de pasturas tropicales. En Torres H. G y P. Díaz R. (Eds.) Producción de ovinos en zonas tropicales. Fundación produce-INIFAP. 8-24 p.

- Hodgson, J., 1990. Grazing management. Science into practice. Longman Scientific and Technical, Harlow, England. 203 p.
- Horrocks, R. D. and Vallentine, J. F. 1999. Harvested Forages. Academic Press. Oval Road, London. United States of America. 426 p.
- Jiménez M. A., y Avendaño M. J. C., 1988. Producción de forrajes. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Zootecnia, Chapingo Texcoco, Edo. de México. 394-477 p.
- Kemp, L. M., Condron L. M., 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.
- Keoghan, J. M., Burgess R. E. 1987. The search for an improved *Lotus pedunculatus* for high country pastoral systems. Proceedings of the New Zealand Grassland Association. 48:125-129 p.
- Lagler, J. C. 2003. *Lotus*: Un género que no acaba en dos especies. Revista Forrajes & Granos. Buenos Aires, Argentina. 72-76 p.
- Lemaire, G. 2001. Ecophysiology of grasslands. Aspects of forage plant population in grazed swards. In: Proceedings of the XIX International Grassland Congress. Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil. 39-40 p.
- Lemaire, G., Chapman D. 1996. "Tissue flows in grazed plant communities." The ecology and management of grazing systems. Wallingford: CAB International. 3 p.
- Li, B., and Beuselinck P. R. 1996. Rhizomatous *Lotus corniculatus* L.: II Morphology and anatomy of rhizomes. Crop Science. 36:407-411 p.
- Lüscher, A., Mueller-Harvey I., Soussana J. F., Reess, R. M., Peyraud L. 2014. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. Grass and Forage Science. 69(2):206-228 p.
- Marcelino, K. R. A., D. Nascimento Jr., S. Da Silva C., V. P. Euclides B., D. Da Fonseca M. 2006. Características morfogênicas e estruturais e produção de forragem do capim-marandu submetido a intensidades e frequências de desfolhação. Revista Brasileira de Zootecnia. 35(6):2243-2252 p.
- Marley, C. L., Fychan R. and Jones R. 2006. Yield, persistency and chemical composition of *Lotus* species and varieties (Birdsfoot Trefoil and Greater Bidsfoot Trefoil) when harvested for silage in the UK. Grass and Forage Science. 61:134-145 p.

- McKenzie, B. A., Kemp, P. D., Moot, D. J., Matthew, C., Lucas, R. J. 1999. Environmental effects on plant growth and development. In: White J, Hodgson J editors. New Zealand Pasture Crop Science. Auckland, N.Z: Oxford University Press. 29-44 p.
- Min, B. R., Barry T. N., Attwood G. T., McNabb W. C. 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Animal Feed Science and Technology*. 106:3-19 p.
- Miñon, P. D., Sevilla H. G., Montes L., Fernández O. 1990. *Lotus tenuis*: leguminosa forrajera para la Pampa deprimida. INTA No. 8:16 p.
- Montagner, D. B., D. Nascimento Jr., H. Vilela H., B. Sousa M. de L, V. P. Euclides B., S. Da Silva C., and M. Carloto N. 2012. Tillering dynamics in pastures of guinea grass subjected to grazing severities under intermittent stocking. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 41(3):544-549 p.
- Muslera, P. E. y G. Ratera C. 1999. Praderas y Forrajes, Producción y Aprovechamiento. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 674 p.
- Murphy, J. S. and Briske D. D. 1992. Regulation of tillering by apical dominance: chronology, interpretive value, and current perspectives. *Journal of Range Management*, 45(5):419-429 p.
- Nurjaya, I G. M. O. and Tow, P. G. 2001. Genotype and environmental adaptation as regulators of competitiveness. In: Philip G. and Alec Lazenby (Eds.). *Competition and succession in pastures*. CABI Publishing. Wallingford. UK. 43-62 p.
- Olmos, F. L. 1997. Efectos climáticos sobre la productividad de pasturas en la región noreste. INIA. 64: 5 p.
- 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 p.
- Quero, C. A. R., Enriquez Q. J. F., Miranda J. L. 2007. Evaluación de especies forrajeras en America tropical, avances o status quo. *Revista Interciencia*. 32(8):566-571 p.
- Ramírez-Restrepo, C. A., Barry T. N., López-Villalobos N. 2006. Organic matter digestibility of condensed tannin-containing *Lotus corniculatus* and its prediction in vitro using cellulase/hemicellulase enzymes. *Animal Feed Science and Technology*. 125:61-71 p.
- Roa, V. P. 1997. Effect of root temperature on the infection processes and nodulation in *Lotus* and *Stylosanthes*. *Journal of Experimental Botany* 28: 241-259 p.

- SAGARPA, 2016. Producción Agrícola en México. Centro de Estadística Agropecuaria. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. <http://www.siap.gob.mx/> (Consulta: 16-10-17).
- Salomè, A., F. 2014. Fotosíntesis, crecimiento y aceites esenciales en morfotipos florales de Caléndula (*Calendula officinalis* L.). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 21-22 p.
- Silveira, D. 2011. Caracterización agronómica de las leguminosas más utilizadas en el Uruguay. Unidad de Producción de Pasturas, Dpto. de Producción Animal y Pasturas. <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/PASTURAS%20CRS/06%20%20Lotus%202011.pdf> (Consultado: 10/06/2016).
- Smith, D. and J. Nelson C. 1967. Growth of birdsfoot trefoil and alfalfa. Response to height and frequency of cutting. *Crop Science*. 7:130-133 p.
- Strasburger E., Noll F., Schenck A., Schimper F.W. 2004. Tratado de botánica. Ediciones Omega. Barcelona, España. 1134 p.
- Striker G. G., Insausti P., Grimoldi A. A., Ploschuk L. E., Viviana V. 2005. Physiological and anatomical basis of differential tolerance to soil flooding of *Lotus corniculatus* L. and *Lotus glaber* Mill. *Plant and Soil*. 276:301-311 p.
- Tomlinson, K.W., and O'Connor T. G. 2004. Control of tiller recruitment in bunchgrasses: Uniting Physiology and Ecology. *Functional Ecology*. 489-496 p.
- Velasco, Z. M. E., Hernández-Garay A., González H. V. A., Pérez P. J., Vaquera H. H., Galvis S. A. 2001. Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto Ovillo (*Dactylis glomerata* L.). *Revista Técnica Pecuaria en México*. 39(1):1-14 p.
- Villegas, A. Y., A. Hernández G., J. Pérez P., C. López C., J. G. Herrera H., J. F. Enríquez Q., y A. Gómez V. 2004. Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Revista Técnica Pecuaria en México*. 42(2):145-158 p.
- Vignolio, O. R.; Fernández, O. N.; Maceira, N. O., 1994. Response of *Lotus tenuis* and *Lotus coniculatus* to flooding in seedling stage. *Proceedings of the First International Lotus Symposium*. Missouri, USA. 160-163 p.
- Volenc, J. J., and Nelson C. J. 1983. Responses of tall fescue leaf meristem to N fertilization and harvest frequency. *Crop Science*. 23:720-724 p.
- Waghorn, G., 2008. Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production -Progress and challenges-. *Animal Feed Science and Technology*. 147:116-139 p.

- Watson, D. J. 1947. Comparative physiological studies on the growth on field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*. 11:41-76 p.
- Wheeler, D. M., and Dodd M. B. 1993. The effect of aluminum on the growth of a range of temperate legume species and cultivars. A summary of results. *Proceedings of the 3er. International Symposium*. Brisbaen. 12-16 p.
- Woodman, R. F., Keoghan J. M., Alla B. E. 1992. Promising pasture species for drought prone slopes in the south island high country. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 54:115-120 p.
- Woodward, S. L., Laboyrie P. J., Jansen E. B. L. 2000. *Lotus corniculatus* and condensed tannins - effects on milk production by dairy cows. *Animal Science*. 13: 521-525 p.

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Sitio experimental

El experimento se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, México (19° 29' N y 98° 53' O y 2250 msnm). El clima, es templado sub-húmedo, con temperatura promedio de 15 °C y una precipitación anual acumulada de 500 mm (García, 2004). El suelo es de textura franco arenosa, ligeramente alcalino con pH de 7.1 (Ortiz, 1997). Los datos de precipitación y temperaturas se obtuvieron de la estación meteorológica de la Universidad Autónoma Chapingo, localizada a 2 km del área experimental. La precipitación anual acumulada fue de 1,043 mm en el primer año y de 877 mm en el segundo año de estudio. Durante primavera y verano se presentaron las máximas precipitaciones y temperaturas, respecto a otoño e invierno, en ambos años (Figura 3).

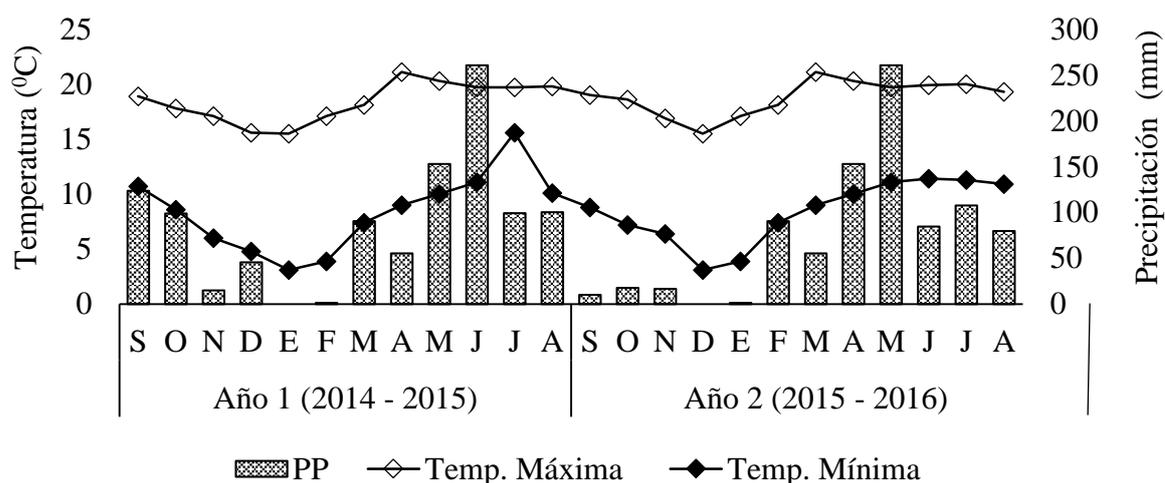


Figura 3. Temperatura media mensual máxima, mínima y precipitación acumulada mensual.

3.2 Manejo de la pradera

Se utilizó una pradera de cinco genotipos de *Lotus corniculatus* (202700, 255300, 260012, Estanzuela Ganador y Gran San Gabriel), establecida el 14 de marzo de 2014, con 18 plantas m⁻², a 33 cm entre planta. Las plantas fueron obtenidas mediante germinación en invernadero y trasplantadas en las parcelas experimentales. Antes del inicio del experimento se dio un pastoreo con ovinos a las 13 semanas de rebrote y un corte de uniformización al inicio del experimento (05 de septiembre de 2014), a 7 cm sobre el nivel del suelo. Las

parcelas fueron regadas cada 15 d a capacidad de campo en época de estiaje, no se aplicó fertilizante y el control de malezas fue manual, antes y durante el experimento.

3.3 Diseño experimental

El área experimental fue dividida en 15 parcelas de 16 m² (4 x 4 m). Los tratamientos correspondieron a cortes cuando la pradera alcanzó porcentajes de luz interceptada (LI) de 90, 95 y 100 % y un corte fijo (CF) definido por estación; primavera – verano 28, otoño 35 e invierno cada 42 días. Estos fueron asignados en unidades experimentales de acuerdo a diseño de bloques al azar en parcelas divididas, con tres repeticiones, donde el genotipo fue la parcela mayor y los tratamientos la parcela menor. El monitoreo de la intercepción luminosa fue hecho a lo largo de cada periodo de rebrote usando un analizador de dosel *AccuPAR Linear PAR/LAI ceptometer Modelo PAR 80* (Decagon Devices, USA), tomando seis lecturas bajo el dosel antes de cada corte. Al momento de determinar la IL se generaron los siguientes intervalos de corte promedios anual y los siguientes porcentajes de intercepción luminosa para el corte fijo.

Cuadro 1. Intercepción luminosa (%) alcanzada de cinco genotipos de *Lotus corniculatus* L., sometidos al corte fijo definido (CF*) estacionalmente.

| Genotipo | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Promedio |
|---------------------|---------------------|----------|-----------|--------|----------|
| | Año 1 (2014 – 2015) | | | | |
| 202700 | 64 | 75 | 89 | 78 | 77 |
| 255301 | 51 | 54 | 76 | 70 | 63 |
| 260012 | 56 | 70 | 89 | 81 | 74 |
| Estanzuela Ganador | 57 | 69 | 87 | 68 | 70 |
| Gran San Gabriel | 56 | 63 | 91 | 60 | 68 |
| Promedio | 57 | 66 | 86 | 72 | 70 |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | | |
| 202700 | 66 | 66 | 76 | 76 | 71 |
| 255301 | 59 | 36 | 62 | 48 | 51 |
| 260012 | 72 | 61 | 61 | 66 | 65 |
| Estanzuela Ganador | 69 | 89 | 74 | 57 | 72 |
| Gran San Gabriel | 62 | 75 | 71 | 44 | 63 |
| Promedio | 66 | 65 | 69 | 58 | 64 |

CF* = Otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

Cuadro 2 .Días transcurridos a la cosecha de forraje de cinco genotipos de *Lotus corniculatus* L., con base a porcentajes de luz interceptada (LI).

| Genotipo | IL | Año 1 (2014 - 2015) | | | | Año 2 (2015 - 2016) | | | |
|----------|-----|---------------------|----------|-----------|--------|---------------------|----------|-----------|--------|
| | | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
| 202700 | CF | 35 | 42 | 28 | 28 | 35 | 42 | 28 | 28 |
| | 90 | 38 | 53 | 33 | 35 | 42 | 91 | 39 | 44 |
| | 95 | 41 | 54 | 34 | 36 | 49 | 105 | 42 | 49 |
| | 100 | 44 | 56 | 36 | 37 | 50 | 119 | 49 | 56 |
| 255301 | CF | 35 | 42 | 28 | 28 | 35 | 42 | 28 | 28 |
| | 90 | 38 | 127 | 37 | 39 | 49 | 165 | 35 | 42 |
| | 95 | 41 | 127 | 38 | 44 | 56 | 168 | 37 | 44 |
| | 100 | 44 | 129 | 39 | 45 | 57 | 182 | 42 | 56 |
| 260012 | CF | 35 | 42 | 28 | 28 | 35 | 42 | 28 | 28 |
| | 90 | 38 | 50 | 35 | 39 | 53 | 82 | 42 | 42 |
| | 95 | 41 | 53 | 36 | 40 | 54 | 84 | 46 | 56 |
| | 100 | 44 | 54 | 39 | 42 | 63 | 85 | 53 | 56 |
| EG | CF | 35 | 42 | 28 | 28 | 35 | 42 | 28 | 28 |
| | 90 | 40 | 51 | 33 | 39 | 45 | 65 | 46 | 49 |
| | 95 | 42 | 53 | 37 | 42 | 49 | 82 | 46 | 56 |
| | 100 | 45 | 55 | 40 | 44 | 50 | 84 | 53 | 77 |
| GSG | CF | 35 | 42 | 28 | 28 | 35 | 42 | 28 | 28 |
| | 90 | 40 | 51 | 35 | 39 | 53 | 67 | 42 | 49 |
| | 95 | 42 | 53 | 37 | 42 | 56 | 82 | 46 | 56 |
| | 100 | 45 | 55 | 40 | 42 | 57 | 91 | 46 | 70 |

EG= Estanzuela Ganador; GSG = Gran San Gabriel

3.4 Variables evaluadas

El rendimiento de forraje, fue determinado al cosechar el forraje presente en dos cuadros fijos (0.25 m²) establecidos al inicio del experimento por repetición y se secó a 55 °C a peso constante en una estufa de aire forzado (Felisa, Mod. FE-243A). De ésta muestra, se tomó una sub-muestra de alrededor del 10 %, y fue separada en hoja, tallo, material muerto y maleza, para calcular la composición botánica y morfológica y el aporte al rendimiento de cada componente en kg MS ha⁻¹. También de ésta sub-muestra, se determinó la relación hoja/tallo, al dividir la hoja entre el tallo. La altura de planta fue medida usando una regla de 1 m, en 12 lecturas al azar por repetición.

3.5 Análisis estadístico

Para determinar el efecto de la estación y tratamiento sobre los genotipos de *Lotus corniculatus*, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) mediante el procedimiento PROC GLM del SAS Institute (2009) y una comparación de promedios mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Comportamiento anual de cinco genotipos de *Lotus corniculatus* L., en respuesta al porcentaje de luz interceptada y un corte fijo definido estacionalmente

Se presentaron diferencias ($p \leq 0.05$) entre genotipos y tratamientos, en el rendimiento acumulado anual, producción de hoja, tallo, material muerto maleza, promedio anual en la relación hoja:tallo y altura de planta, en ambos años (Cuadro 3 y 4). El mayor rendimiento de forraje; total, hoja y tallo, en ambos años, se registró en el genotipo 202700 en el tratamiento 95 % de LI con 33467, 19240, y 11505 kg MS ha⁻¹, respectivamente, sin presentar diferencias ($p \geq 0.05$) con el 100 % LI en el primer año. Los menores rendimientos totales se presentaron en el genotipo 255301 en el corte fijo con 19,915 kg MS ha⁻¹, junto con los cortes fijos de los genotipos 260012 y Gran San Gabriel en el segundo año. La menor producción de hoja se registró en el genotipo Gran San Gabriel en ambos años con 10,579 kg Ms ha⁻¹, mientras que el tallo fue menor en el 255301 en el tratamiento del corte fijo, similar ($p \geq 0.05$) a los del 260012, Estanzuela Ganador y Gran San Gabriel, en el segundo año. La mayor cantidad de material muerto, se registró en el 255301 (100 % LI) en el primer año y en Estanzuela Ganador (95 % LI) en el segundo, mientras los menores en el 260012 (CF) en ambos años. La maleza tuvo mayor presencia en el genotipo 202700 (CF) en el año uno y el Gran San Gabriel (90 % LI) en segundo año. La mayor relación hoja:tallo se presentó en el 255301 en el corte fijo, en ambos años, y el menor en el 260012 en el 100 % LI, siendo similar al 90 y 95 % LI en el segundo año. La mayor altura de planta se presentó en el Gran San Gabriel al 95 % LI, similar al 90 % LI del año 1, mientras que, la menor en el 255301 en el corte fijo, en ambos años. En general el mayor y menor rendimiento correspondió a la mayor y menor producción de hoja y no correspondió al genotipo de mayor altura o de hábito de crecimiento más erecto (Gran San Gabriel) como lo señalan García *et al.* (2014).

Cuadro 3. Rendimiento de forrajes acumulado y promedios anuales de cinco genotipos de *Lotus corniculatus* L., en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido por estación (Año 1; 2014 – 2015).

| Genotipo | LI | Rendimiento de forraje (kg MS ha ⁻¹) | | | | | Relación Hoja/Tallo | Altura (cm) |
|--------------------|-----|--|------------|----------|---------|---------|---------------------|-------------|
| | | Total | Hoja | Tallo | MM | Maleza | | |
| 202700 | 90 | 30317 ab | 16435 abc | 9389 ab | 3161 ab | 1333 ab | 2.0 bcd | 22 cd |
| | 95 | 33234 a | 18858 a | 10919 a | 3598 ab | 1383 ab | 1.7 bcd | 22 cd |
| | 100 | 32274 a | 17335 ab | 10418 a | 1977 ab | 1020 ab | 1.7 bcd | 23 cd |
| | CF | 27680 abcd | 14504 abcd | 8386 abc | 2208 ab | 2582 a | 2.3 ab | 20 de |
| 255301 | 90 | 27336 abcd | 13829 bcd | 8426 abc | 3337 ab | 459 b | 1.9 bcd | 22 cd |
| | 95 | 28417 abcd | 15979 abc | 9450 ab | 2051 ab | 937 ab | 1.8 bcd | 22 cd |
| | 100 | 27132 abc | 14540 abcd | 7964 abc | 4622 a | 1291 ab | 1.8 bcd | 21 de |
| | CF | 20730 d | 12715 bcd | 5364 c | 2616 ab | 1329 ab | 2.8 a | 19 d |
| 260012 | 90 | 27028 abcd | 13729 bcd | 8918 ab | 2581 ab | 1800 ab | 1.6 cd | 26 ab |
| | 95 | 29015 abc | 15886 abc | 9238 ab | 2036 ab | 1856 ab | 1.8 bcd | 24 bc |
| | 100 | 30755 ab | 14983 abcd | 10883 a | 2688 ab | 2200 ab | 1.4 d | 26 ab |
| | CF | 24668 bcd | 14345 abcd | 6954 bc | 1101 b | 2268 ab | 2.2 abc | 23 cd |
| Estanzuela Ganador | 90 | 28761 abc | 15991 abc | 8712 ab | 3247 ab | 811 ab | 2.1 bc | 22 cd |
| | 95 | 30848 ab | 16795 ab | 10166 a | 3282 ab | 606 ab | 1.8 bcd | 22 cd |
| | 100 | 28745 abc | 15095 abcd | 8685 ab | 4317 ab | 648 ab | 1.5 bcd | 22 cd |
| | CF | 24141 bcd | 11772 bcd | 7827 abc | 3520 ab | 1021 ab | 1.6 cd | 22 cd |
| Gran San Gabriel | 90 | 27729 abcd | 12978 bcd | 8757 ab | 4393 ab | 1601 ab | 1.7 bcd | 27 a |
| | 95 | 28614 abc | 13817 bcd | 8568 ab | 4307 ab | 1923 ab | 1.7 bcd | 27 a |
| | 100 | 27152 abcd | 13645 bcd | 8906 ab | 3497 ab | 1104 ab | 1.7 bcd | 27 ab |
| | CF | 21495 cd | 10858 d | 6944 bc | 3556 ab | 1347 ab | 1.6 cd | 24 bc |
| EEM | | 2442 | 1520 | 1015 | 1124 | 643 | 0.21 | 0.91 |

Promedios con letra minúscula diferente en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF^o = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte; MM= Material muerto.

Cuadro 4. Rendimiento de forrajes acumulado y promedios anuales de cinco genotipos de *Lotus corniculatus* L., en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido por estación (Año 2; 2015 – 2016).

| Genotipo | LI | Rendimiento de forraje (kg MS ha ⁻¹) | | | | | Relación Hoja/Tallo | Altura (cm) |
|--------------------|-----|--|--------------|-----------|------------|-----------|---------------------|-------------|
| | | Total | Hoja | Tallo | MM | Maleza | | |
| 202700 | 90 | 31283 ab | 18788 ab | 10387 abc | 1976 abcde | 132 d | 2.2 ed | 21 ijk |
| | 95 | 33701 a | 19622 a | 12091 a | 1178 de | 809 cd | 2.0 ef | 24 efgh |
| | 100 | 31534 ab | 17674 abcd | 10816 ab | 2833 ab | 211 d | 1.7 fgh | 23 fghij |
| | CF | 22844 cde | 14763 cdefgh | 5794 de | 979 de | 1308 bcd | 2.8 b | 18 l |
| 255301 | 90 | 26515 bcd | 14315 defgh | 7996 cd | 1608 bcde | 970 bcd | 2.1 e | 20 kl |
| | 95 | 27113 abcd | 17074 abcde | 9412 bc | 969 de | 719 cd | 1.9 efg | 23 fghi |
| | 100 | 27227 ab | 13893 efghi | 10403 abc | 2326 abcd | 605 cd | 1.4 h | 25 defg |
| | CF | 19100 e | 11838 hi | 4056 e | 1718 abcde | 2053 abcd | 3.2 a | 15 m |
| 260012 | 90 | 28553 ab | 13338 fghi | 10857 ab | 1696 abcde | 2949 abc | 1.5 h | 25 cdef |
| | 95 | 29064 ab | 15017 cdefg | 9643 abc | 1323 bcde | 2184 abcd | 1.5 h | 27 bcd |
| | 100 | 28232 ab | 13717 efghi | 9364 bc | 2578 abc | 2574 abcd | 1.6 gh | 28 bc |
| | CF | 19891 e | 11171 hi | 4713 e | 611 e | 3396 ab | 2.4 bcd | 21 jk |
| Estanzuela Ganador | 90 | 31897 ab | 18089 abc | 9972 abc | 1662 abcde | 2173 abcd | 1.9 efg | 22 ghijk |
| | 95 | 29120 ab | 15308 bcdefg | 9868 abc | 3197 a | 748 cd | 1.6 efg | 24 efgh |
| | 100 | 29269 abc | 15378 bcdefg | 10119 abc | 2740 abc | 1032 bcd | 1.6 fgh | 24 efgh |
| | CF | 20539 de | 12267 fghi | 5249 e | 669 e | 2355 abcd | 2.6 bc | 22 ijk |
| Gran San Gabriel | 90 | 31629 ab | 15725 bcde | 10542 abc | 1343 cde | 4019 a | 1.6 h | 26 cde |
| | 95 | 31103 ab | 14567 cdefgh | 9567 abc | 987 bcde | 2094 abcd | 1.6 h | 30 a |
| | 100 | 28514 ab | 13852 efghi | 10381 abc | 1305 cde | 2975 abc | 1.4 h | 29 ab |
| | CF | 18490 e | 10301 i | 4686 e | 1253 bcde | 3020 abc | 2.3 cde | 21 ijk |
| EEM | | | 2128 | 1191 | 849 | 504 | 824 | 0.11 |

Promedios con letra minúscula diferente en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF^o = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte; MM= Material muerto.

4.2 Comportamiento productivo de *Lotus corniculatus* L., genotipo 202700

4.2.1 Rendimiento de forraje

Solo en el segundo año se presentaron diferencias ($p \leq 0.05$) en la acumulación anual de forraje; el rendimiento menor correspondió al corte fijo con 29 % menos respecto al promedio de los tres porcentajes de luz interceptada (Cuadro 5), lo que indica una mejor adaptación de la especie a manejos de cosecha al utilizar el porcentaje de luz interceptada, respecto a un intervalo de corte fijo definido estacionalmente. A excepción de otoño e invierno del primer año, el resto de las estaciones presentaron diferencias entre tratamientos ($p \leq 0.05$). Independientemente del tratamiento, los rendimientos estacionales mayores se presentaron en primavera, en ambos años con 10,461 kg MS ha⁻¹ promedio estacional y los menores en otoño e invierno en ambos años con 5,915 y 5,585 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Tal comportamiento puede explicarse por la relación directa y estrecha entre el rendimiento del forraje y las temperaturas óptimas para el crecimiento de las especies forrajeras (Rojas *et al.*, 2012). Esas temperaturas se presentaron en la estación de primavera (Figura 3), lo que benefició el crecimiento y productividad de *Lotus corniculatus*. Al respecto, Scheffer *et al.* (2011) encontraron un comportamiento estacional similar en el rendimiento de forraje de cinco cultivares de *Lotus corniculatus*, no obstante, a diferencia del corte fijo establecido en este estudio, ellos observaron que a una alta frecuencia de corte se incrementa el rendimiento. Así mismo, Sbrissia *et al.* (2010) atribuyen cambios en el rendimiento a las condiciones ambientales presentes en cada estación del año. Díaz *et al.* (1996), encontraron una distribución estacional en la producción de forraje de *Lotus corniculatus*, correspondiente a un 49, 25, 14 y 12 % para primavera, verano, invierno y otoño, respectivamente, concentrándose el 74 % en primavera-verano. Santiñaque y Batsita, (2003) reportaron incremento de 45 % en un intervalo de cosecha de 44 d, respecto a uno de 22 d. Por su parte, García *et al.* (2014), al evaluar 12 genotipos, obtuvieron un rendimiento promedio de forraje de 7,700 kg MS ha⁻¹, en un intervalo de corte de 45 días, y el genotipo 202700 fue más productivo de los 12 evaluados, y señalaron que la producción acumulada puede estar influenciada, además del clima y manejo, por el hábito de crecimiento del genotipo.

Entre los porcentajes de LI no hubo diferencias; en contraste, algunos autores (Da Silva y Nascimento, 2007; Da Silva y Hernández, 2010; Mattera *et al.*, 2013) indican que las especies

forrajeras deben ser cosechadas al 95 % de intercepción de luz, siempre y cuando la densidad de plantas sea competitiva. Es por esto que, Rojas *et al.* (2016) en alfalfa (*M. sativa* L.) registraron el 95 % de luz interceptada únicamente en verano, explicada por la baja densidad de plantas, resultado del tiempo de establecimiento de la pradera. Así mismo, Mattera *et al.* (2013) encontraron que el 95 % de intercepción de luz en leguminosas forrajeras como la alfalfa, se alcanza en primavera al combinar densidades de plantas de 10, 15, 20, 25 y 30 cm entre planta, mientras que, en verano e invierno solo se presenta en densidades de 10 y 15 cm entre planta.

Cuadro 5. Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) de *Lotus corniculatus*, genotipo 202700, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) estacional.

| LI (%) | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Anual | EEM |
|---------------------|----------|----------|-----------|----------|---------|-----|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | | | |
| 90 | 4881 Ad | 6447 Ac | 10396 ABa | 8593 ABb | 30317 A | 516 |
| 95 | 5533 Ad | 6757 Ac | 10806 Aa | 9177 Ab | 32274 A | 393 |
| 100 | 5785 Ab | 6453 Ab | 11116 Aa | 9880 Aa | 33234 A | 823 |
| CF° | 4896 Ac | 6568 Ab | 8708 Ba | 7509 Bb | 27680 A | 373 |
| Promedio | 5274 d | 6556 c | 10256 a | 8790 b | 30876 | 369 |
| EEM | 721 | 864 | 673 | 546 | 2303 | |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | | | |
| 90 | 5695 ABc | 5729 Ac | 11063 Aa | 8797 Ab | 31283 A | 549 |
| 95 | 6567 Ac | 6293 Ac | 12068 Aa | 8773 Ab | 33701 A | 265 |
| 100 | 5398 ABc | 5688 Ac | 11433 Aa | 9015 Ab | 31534 A | 762 |
| CF° | 4934 Bb | 4377 Bb | 8222 Ba | 5311 Bb | 22844 B | 562 |
| Promedio | 5648 c | 5522 c | 10696 a | 7974 b | 29841 | 259 |
| EEM | 531 | 421 | 694 | 555 | 1003 | |

Promedios con letra mayúscula diferente en una columna y letra minúscula diferente en una hilera son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

4.2.2 Composición botánica y morfológica

En general, la pradera registró un mínimo porcentaje de malezas con un promedio anual del 4 % (Cuadro 6). Al respecto, Teixeira *et al.* (2007) mencionan que la presencia de malezas en una pradera se puede incrementar con el tiempo, por efecto de la frecuencia de corte. Por otra parte, dentro de los componentes morfológicos, la hoja fue la que más aportó al rendimiento con 17,247 kg MS ha⁻¹ como promedio anual, y representó el 58 %, seguido por el tallo (31 %) y material muerto (7 %). Tal comportamiento puede ser el resultado del acelerado ritmo de crecimiento de la hoja y tallo, favorecidos por las condiciones ambientales como fotoperiodo, temperatura y humedad (Difante *et al.*, 2009). Así mismo, en ambos años, el tratamiento con 95 % de luz interceptada, registró la mayor cantidad de hoja con un promedio de 19,240 kg MS ha⁻¹ y el corte fijo la menor cantidad de hojas y tallos con 14,634 y 7,090 kg MS ha⁻¹, respectivamente, siendo estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$) a los demás tratamientos (Cuadro 2). Resultados similares fueron reportados por Giacomini *et al.* (2009) al evaluar *Brachiaria brizantha* cv. Marandu; ellos encontraron una mayor cantidad de hoja al 95 % de intercepción luminosa a una altura de forraje residual del 10 cm. En el material muerto, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos durante el primer año, no obstante, en el segundo año los mayores valores se registraron al 100 % de luz interceptada, y el menor al 95 % y corte fijo. Así mismo, la presencia mínima de material muerto en el corte fijo, puede ser el resultado de que la planta no alcanzó su momento fisiológico óptimo de cosecha, y una mayor cantidad de luz penetró al interior de la pradera (Matthew *et al.*, 2000), y provocó una mayor densidad de tallos de menor peso (Villegas *et al.*, 2004).

Estacionalmente la hoja fue el componente que más aportó al rendimiento (Figura 4). El rendimiento estacional mayor y menor se registró durante primavera y otoño-invierno con 5,813 y 3,378 kg MS ha⁻¹, respectivamente, y el tratamiento del 95 % de luz interceptada y el corte fijo los que presentaron la mayor y menor cantidad con 6,480 y 5,177 kg MS ha⁻¹. Estos resultados indican que existe un efecto de estación y tratamiento sobre la producción de hoja, influenciado por las condiciones ambientales presentes durante el estudio (Figura 4). Así mismo, la cantidad de tallos mayor y menor se presentó durante primavera e invierno con un promedio estacional de 3,814 y 1,612 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Al respecto, Sbrissia *et al.* (2010) mencionan que la producción de tallos cambia en función de las variaciones estacionales

en la cantidad y calidad de luz incidente sobre la pradera, precipitación y temperatura. En cuanto al material muerto y malezas, no se presentaron diferencias estacionales en ambos años.

Cuadro 6. Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) por componente botánico y morfológico de *Lotus corniculatus*, genotipo 202700, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido por estación.

| LI (%) | Hoja | Tallo | Material muerto | Maleza |
|---------------------|----------|---------|-----------------|--------|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | |
| 90 | 16435 bc | 9389 ab | 3161 a | 1333 a |
| 95 | 18858 a | 10418 a | 1977 a | 1020 a |
| 100 | 17335 ab | 10919 a | 3598 a | 1383 a |
| CF° | 14504 c | 8386 b | 2208 a | 2582 a |
| Promedio | 16783 | 9778 | 2736 | 1579 |
| EEM | 847 | 669 | 790 | 593 |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | |
| 90 | 18788 ab | 10387 a | 1976 ab | 132 a |
| 95 | 19622 a | 12091 a | 1178 b | 809 a |
| 100 | 17674 b | 10816 a | 2833 a | 211 a |
| CF° | 14763 c | 5794 b | 979 b | 1308 a |
| Promedio | 17712 | 9772 | 1741 | 615 |
| EEM | 470 | 762 | 379 | 724 |

Promedios con letra minúscula diferente en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio; CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

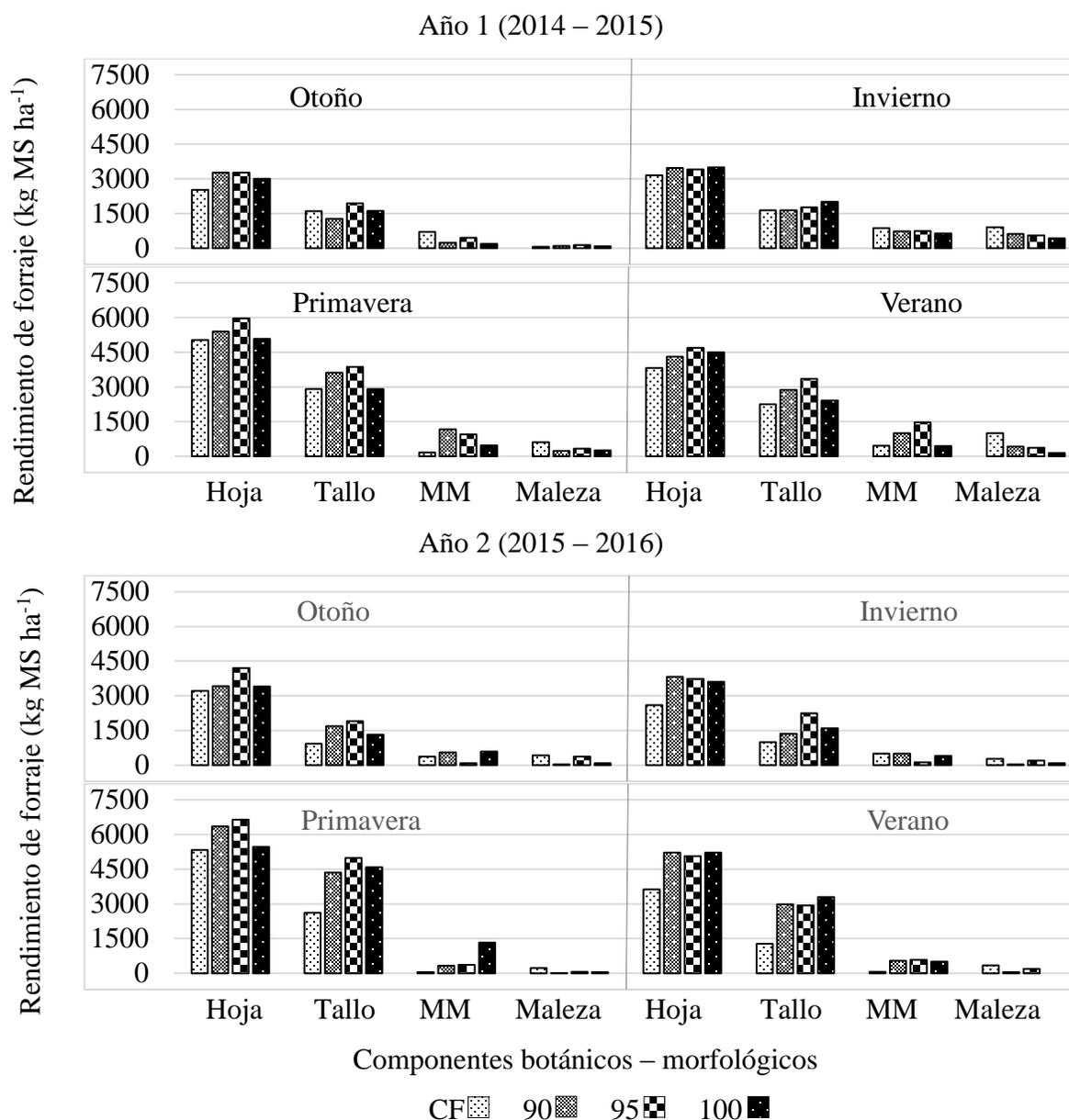


Figura 4. Composición botánica y morfológica de *Lotus corniculatus*, genotipo 202700, en función de porcentajes de luz interceptada (90, 95 y 100) y un intervalo de corte fijo (CF) definido por estación = Otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

4.2.3 Altura de planta

Hubo diferencias entre tratamientos y estaciones del año ($p \leq 0.05$), a excepción de verano del segundo año ($p \geq 0.05$). Las mayores alturas en el promedio por año, se registraron en el 100 y 95 % de luz interceptada con 23 y 24 cm en el primer y segundo año, respectivamente, mientras

que las menores en el corte fijo con 19 cm, promedio de ambos años (Cuadro 7). Al calcular la equivalencia en rendimiento por centímetro de altura se observó que cada centímetro correspondió a 163 kg MS ha⁻¹ (primer año) y 202 kg MS ha⁻¹ (segundo año), como promedio de los tratamientos de 100 y 95 % de luz interceptada; mientras que en el corte fijo equivale a 119 kg MS ha⁻¹, promedio de ambos años. Estos resultados están relacionados con la edad de la planta, ya que a mayor porcentaje de luz interceptada la planta tuvo más días de rebrote (41 y 61 días, promedio anual, primero y segundo año, respectivamente), respecto al corte fijo (33 días, ambos años), el cual siempre fue de edad menor, con cortes más frecuentes, teniendo efecto sobre el rendimiento de forraje (Smith y Nelson, 1967). Por su parte, Santos *et al.* (2004) señalaron que a una altura mayor corresponde un rendimiento de forraje mayor. Así mismo, Scheffer *et al.* (2011) relacionaron la altura y el rendimiento de *Lotus corniculatus*, con el hábito de crecimiento (erectos y postrados).

Cuadro 7. Altura de planta (cm) de *Lotus corniculatus*, genotipo 202700, en función del porcentaje de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Promedio | EEM |
|---------------------|--------|----------|-----------|--------|----------|-----|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | | | |
| 90 | 22 Ab | 17 Cc | 23 BCab | 25 Aa | 22 B | 0.7 |
| 95 | 21 Ab | 19 Bb | 25 Ba | 25 Aa | 22 AB | 0.8 |
| 100 | 16 Bc | 21 Ab | 28 Aa | 26 Aa | 23 A | 0.6 |
| CF° | 22 Aa | 15 Db | 22 Ca | 22 Ba | 20 C | 1.0 |
| Promedio | 20 b | 18 c | 24 a | 24 a | 22 | 22 |
| EEM | 0.6 | 0.3 | 0.7 | 0.6 | 0.2 | |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | | | |
| 90 | 21 Aab | 16 Bb | 24 Ba | 23 Aa | 21 B | 1.5 |
| 95 | 19 ABc | 23 Ab | 30 Aa | 23 Ab | 24 A | 0.7 |
| 100 | 18 BCc | 23 Ab | 28 ABa | 22 Ab | 23 AB | 0.8 |
| CF° | 17 Cb | 13 Bc | 19 Cb | 23 Aa | 18 C | 1.1 |
| Promedio | 19 c | 19 c | 25 a | 23 b | 21 | 21 |
| EEM | 0.7 | 1.6 | 1.4 | 0.8 | 0.7 | |

Promedios con letra mayúscula diferente en una columna y letra minúscula diferente en una hilera son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

4.2.4 Relación hoja:tallo

La relación promedio anual mayor de hoja;tallo se presentó en el corte fijo (Cuadro 8), seguido del 90, 95 y 100 % LI, en ambos años. El corte fijo superó en 26 % (2.3 vs 1.7) al promedio de los tratamientos con 95 y 100 % de LI, en el primer año y en el segundo año con 39 % al 100 % LI (2.8 vs 1.7). En el corte fijo, la mayor relación hoja:tallo fue el resultado de cortes más frecuentes (33 días promedio anual), lo que no permitió que la especie fuese cosechada en su momento óptimo, sino en la fase de crecimiento acelerado, donde se encuentra el mayor porcentaje de hojas jóvenes y poca cantidad de tallo y por consiguiente hubo una mayor penetración de luz al interior de la pradera (Barbosa *et al.*, 2011). Al respecto, Montagner *et al.* (2012) mencionan que la calidad y cantidad de luz incidente al interior de la pradera, después de una cosecha, es alterada por el intervalo de corte que causa variaciones en la producción de hojas y tallos.

Entre estaciones en ambos años se observaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$). La mayor relación hoja:tallo se presentó en otoño e invierno con 2.1 y 2.5 para el primer y segundo año, respectivamente (Cuadro 8). Primavera, registró los menores valores en ambos años, siendo solo estadísticamente diferente al verano en el segundo año ($p \leq 0.05$). Resultados similares reportaron Barbosa *et al.* (2011), quienes encontraron una relación hoja:tallo mayor en estaciones donde el crecimiento en las plantas es menor (otoño e invierno), debido a una mayor densidad de tallos, pero de menor peso (Villegas *et al.*, 2004); así mismo, una menor relación hoja:tallo en primavera y verano es el resultado de un mayor peso individual de tallos. La proporción de hoja respecto al tallo fue mayor en todas las estaciones y tratamientos, con un promedio general de 1.9 (primer año) y 2.1 (segundo año).

Cuadro 8. Relación hoja:tallo (R:H/T) de *Lotus corniculatus*, genotipo 202700, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Promedio | EEM |
|---------------------|---------|----------|-----------|---------|----------|------|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | | | |
| 90 | 2.0 Aa | 2.2 Aa | 1.8 Aa | 2.0 Aa | 2.0 AB | 0.30 |
| 95 | 1.9 Aab | 2.0 Aa | 1.6 Abc | 1.4 Ac | 1.7 B | 0.14 |
| 100 | 1.9 Aa | 1.9 Aa | 1.5 Ab | 1.5 Ab | 1.7 B | 0.32 |
| CF° | 2.7 Aa | 2.4 Aa | 2.0 Aa | 2.1 Aa | 2.3 A | 0.47 |
| Promedio | 2.1 a | 2.1 a | 1.7 b | 1.8 b | 1.9 | 0.09 |
| EEM | 0.28 | 0.52 | 0.26 | 0.37 | 0.20 | |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | | | |
| 90 | 2.6 ABa | 2.9 Aa | 1.5 Bb | 1.8 Bb | 2.2 B | 0.28 |
| 95 | 2.4 Ba | 2.3 ABa | 1.3 Bb | 1.7 Bb | 2.0 BC | 0.23 |
| 100 | 2.1 Ba | 1.7 Bab | 1.2 Bb | 1.6 Bab | 1.7 C | 0.24 |
| CF° | 3.3 Aa | 2.7 Abc | 2.2 Ac | 2.9 Aab | 2.8 A | 0.20 |
| Promedio | 2.6 a | 2.4 a | 1.6 c | 2.0 b | 2.1 | 0.12 |
| EEM | 0.27 | 0.25 | 0.15 | 0.20 | 0.11 | |

Promedios con letra mayúscula diferente en una columna y letra minúscula diferente en un reglón son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

4.3 Acumulación de forraje de *Lotus corniculatus* L., genotipo 255301

4.3.1 Rendimiento de forraje

En ambos años se presentaron diferencias ($p \leq 0.05$) en la acumulación anual de forraje (Cuadro 9). También en los años el menor rendimiento correspondió al corte fijo con 19, 915 kg MS ha⁻¹, promedio, lo que muestra que *Lotus corniculatus* no se adapta a una estrategia de manejo considerando un intervalo de corte estacional, sino que, responde mejor a un manejo en función de la cantidad de luz interceptada. Los mayores rendimientos anuales mayores se presentaron al 95 % (28,417 kg MS ha⁻¹) en el primer año y al 90, 95 y 100 % LI (26,952 kg MS ha⁻¹) en el segundo año. Al respecto, Da Silva y Hernández, (2010) señalan que un punto óptimo de

cosecha corresponde a un 95 % de luz interceptada por la pradera, siempre y cuando la densidad de plantas sea competitiva. Rojas *et al.* (2016) registraron una intercepción de 95 % en alfalfa, únicamente en verano, explicado por una baja densidad de plantas, resultado del tiempo de establecimiento de la pradera. Así mismo, Mattera *et al.* (2013) encontraron que un 95 % de luz interceptada en alfalfa es alcanzada en primavera al combinar densidades de plantas de 10, 15, 20, 25 y 30 cm entre plantas, mientras que en verano e invierno se alcanza en densidades de 10 y 15 cm entre planta.

Estacionalmente, a excepción de otoño en ambos años y primavera en el primer año, el resto de las estaciones presentaron diferencias entre tratamientos ($p \leq 0.05$). Primavera registró los mayores rendimientos (9,447 kg MS ha⁻¹, promedio), en ambos años, siendo solo estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$) en verano del segundo año y los menores en invierno en ambos años con 3,120 kg MS ha⁻¹, promedios (similar a otoño primer año). Estos resultados pueden ser explicados por la relación directa y estrecha entre la acumulación de forraje y las condiciones climáticas óptimas para el crecimiento de las especies forrajeras (Rojas *et al.*, 2012). Tales condiciones se presentaron en las estaciones de primavera y verano (Figura 3), por lo que el crecimiento y productividad de *Lotus corniculatus* se benefició bajo estas condiciones. Al respecto, Scheffer *et al.* (2011) encontraron un comportamiento estacional similar en cinco poblaciones de *Lotus corniculatus*, sin embargo, diferente al tratamiento de corte fijo utilizado en este estudio. Ellos encontraron que a una alta frecuencia de corte se incrementa el rendimiento. Así mismo, Sbrissia *et al.* (2010) atribuyen cambios en la acumulación de forraje a oscilaciones en las condiciones ambientales presentes en un ciclo de estudio. Por su parte, Díaz *et al.* (1996) observaron una tendencia estacional en la acumulación de forraje correspondiente a primavera, verano, invierno y otoño con 49, 25, 14 y 12 %, respectivamente, concentrándose el 74 % en primavera y verano. Así mismo, un incremento del 45 % en el rendimiento en un intervalo de cosecha de 44 días, respecto a uno de 22 d, fue reportado por Santiñaque y Batsita, (2003). De la misma forma, García *et al.* (2014) evaluaron 12 genotipos de los cuales obtuvieron un promedio de forraje acumulado de 7,700 kg MS ha⁻¹, en un intervalo de cosecha de 45 días y señalaron que la producción de forraje acumulado en esta especie está influenciada, por el clima y el hábito de crecimiento.

Cuadro 9. Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) de *Lotus corniculatus*, genotipo 255301, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Anual | EEM |
|---------------------|---------|----------|-----------|---------|----------|------|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | | | |
| 90 | 4527 Ab | 2736 Bb | 10326 Aa | 9746 Aa | 27336 AB | 1271 |
| 95 | 4956 Ab | 4422 Ab | 10346 Aa | 9942 Aa | 28417 A | 481 |
| 100 | 4235 Ab | 2716 Bb | 11002 Aa | 9178 Aa | 27132 AB | 802 |
| CF° | 3300 Ab | 2431 Bb | 8147 Aa | 6851 Ba | 20730 B | 529 |
| Promedio | 4255 b | 3076 b | 9956 a | 8929 a | 25904 | 564 |
| EEM | 683 | 522 | 1432 | 637 | 2461 | 1271 |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | | | |
| 90 | 4749 Ac | 3247 Ad | 9953 Aa | 8565 Ab | 26515 A | 355 |
| 95 | 4676 Ab | 3835 Ab | 9087 ABa | 9515 Aa | 27113 A | 505 |
| 100 | 5501 Ac | 3749 Ad | 9732 Aa | 8246 Ab | 27227 A | 477 |
| CF° | 4603 Ab | 1826 Bc | 6982 Ba | 5689 Bb | 19100 B | 402 |
| Promedio | 4882 c | 3164 d | 8938 a | 8004 b | 24989 | 306 |
| EEM | 628 | 329 | 940 | 668 | 2397 | |

Promedios con letra mayúscula diferente en una columna y letra minúscula diferente en una hilera son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

4.3.2 Composición botánica y morfológica

En general, la pradera presentó una mínima cantidad de maleza (Cuadro 10), lo que representó un 4.5 %. La presencia de malezas en una pradera puede incrementarse con el tiempo, por efecto de la frecuencia de corte (Teixeira *et al.*, 2007). En ambos años, la hoja fue la que mayor aporte hizo al rendimiento anual con 14,273 kg MS ha⁻¹ promedio, lo que representó un 56 %, seguido por el tallo con 30.5 %, material muerto con 8.5 % y maleza con 4.5 %. La hoja y tallo fueron los de mayor aporte al rendimiento, ya que las condiciones ambientales favorecieron su crecimiento (Difante *et al.*, 2009). Así mismo, en ambos años, un manejo de la pradera al 95 %

LI, registró mayor producción de hoja con 16,526 kg MS ha⁻¹ promedio y menor cantidad de material muerto (1,510 kg MS ha⁻¹). Por el contrario, el corte fijo presentó la menor cantidad de hoja y tallo con 12,276 y 4,710 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Datos similares se reportan en *Brachiaria brizantha* cv. Marandu al 95 % LI, a una altura residual de 10 cm, en el cual se registró mayor cantidad de hoja (Giacomini *et al.*, 2009). La cantidad mayor de material muerto se registró al 100 % LI, en ambos años. Por tanto, los resultados indican que el momento óptimo para cosechar *Lotus corniculatus*, genotipo 255301 es al 95 % LI por registrar mayor acumulación de forraje (Cuadro 9) y menor cantidad de material muerto (Cuadro 10), como lo observaron Montagner *et al.* (2012).

Cuadro 10. Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) por componente botánico y morfológico de *Lotus corniculatus*, genotipo 255301, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido por estación.

| LI (%) | Hoja | Tallo | Material muerto | Maleza |
|---------------------|----------|---------|-----------------|--------|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | |
| 90 | 13829 a | 8426 a | 3337 a | 459 a |
| 95 | 15979 a | 9450 a | 2051 a | 937 a |
| 100 | 14540 a | 7964 ab | 4622 a | 1291 a |
| CF° | 12715 a | 5364 b | 2616 a | 1329 a |
| Promedio | 14266 | 7801 | 3156 | 1004 |
| EEM | 1332 | 1048 | 971 | 662 |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | |
| 90 | 14315 ab | 7996 b | 1608 a | 970 a |
| 95 | 17074 a | 9412 ab | 969 a | 719 a |
| 100 | 13893 b | 10403 a | 2326 a | 605 a |
| CF° | 11838 b | 4056 c | 1718 a | 2053 a |
| Promedio | 14280 | 7967 | 1655 | 1087 |
| EEM | 1102 | 757 | 570 | 750 |

Promedios con letra minúscula diferente en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio; CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

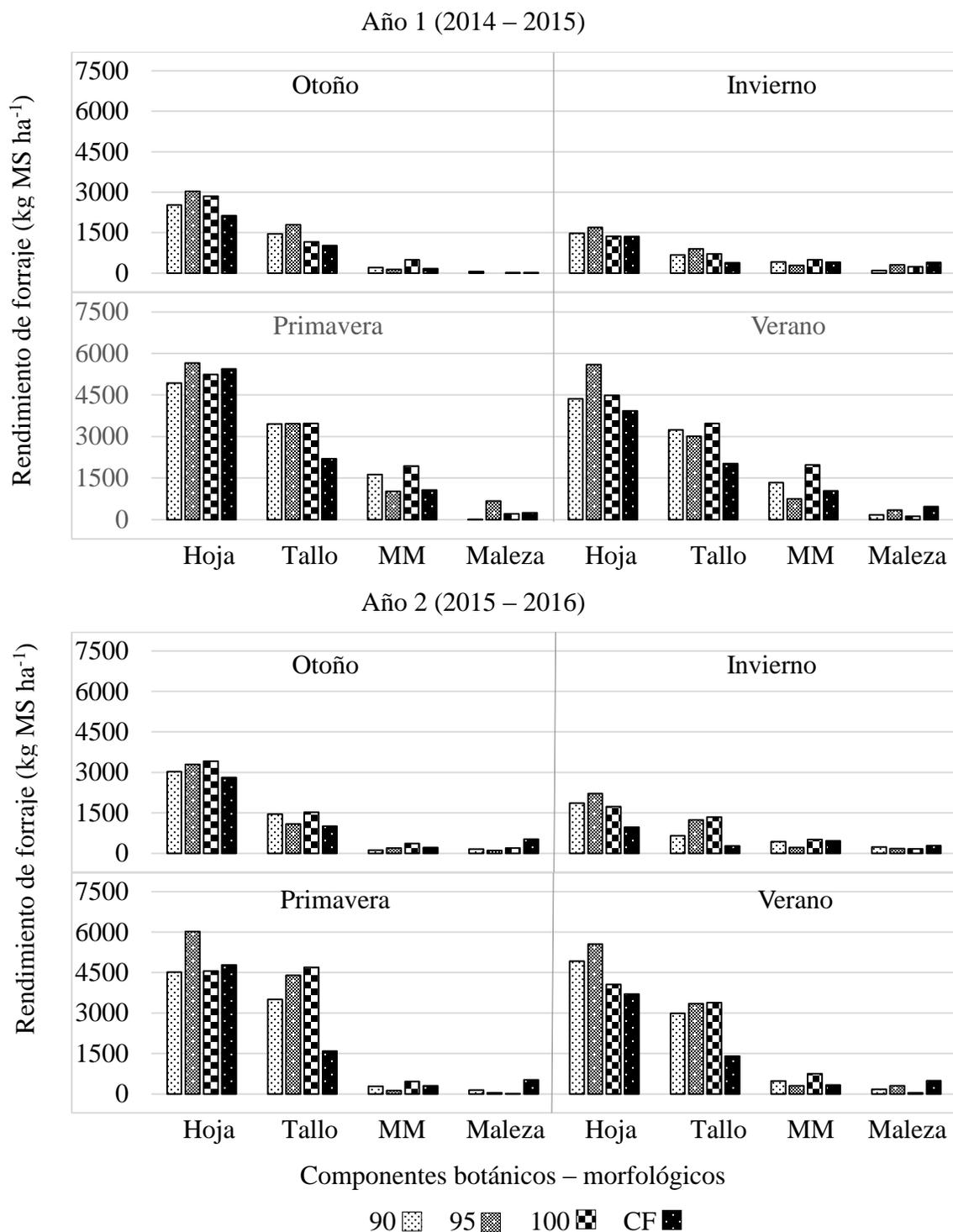


Figura 5. Composición botánica y morfológica de *Lotus corniculatus*, genotipo 255301, en función de porcentajes de luz interceptada (90, 95, 100) y un intervalo de corte fijo (CF) definido estacional = Otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

Estacionalmente, la hoja fue la de mayor aporte al rendimiento estacional (Figura 5). El rendimiento estacional mayor y menor de hoja se registró en primavera (5,141 kg MS ha⁻¹) e invierno (1,580 kg MS ha⁻¹), en ambos años, y los tratamientos de 95 y 90 % LI los que presentaron la mayor y menor cantidad con 5,852 y 4,722 kg MS ha⁻¹, respectivamente en estas estaciones. Estos resultados, son un reflejo de las condiciones ambientales estacionales y de los tratamientos sobre la producción de hoja (Figura 3). Así mismo, la cantidad de tallos mayor y menor se presentó en primavera e invierno con un promedio estacional de 3,347 y 772 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Esta producción de tallos varía en función de las variaciones estacionales de acuerdo con la cantidad y calidad de luz incidente al interior de la pradera, precipitación y temperatura, como lo señalan Sbrissia *et al.* (2010). Mientras que, la maleza no presentó diferencias estadísticas ($p \geq 0.05$) en ambos años, el material muerto solo presentó diferencias en el primer año, el menor rendimiento correspondió a otoño e invierno (278 kg MS ha⁻¹) y el mayor a primavera y verano (1,226 kg MS ha⁻¹), lo cual puede ser en respuesta a un mayor crecimiento de la planta y por tanto un auto sombreado en el área basal de esta (Baguet y Bavera, 2001).

4.3.3 Altura de planta

Se presentaron diferencias ($p \leq 0.05$) entre tratamientos y estaciones (Cuadro 11). Las mayores alturas promedio por año se registraron en las intercepciones luminosas 90, 95 y 100 % (21.5 cm, promedio) en el primer año y al 95 y 100 % LI (24 cm) en el segundo, mientras que, las menores en el corte fijo (17 cm promedio, ambos años). Estacionalmente, las alturas mayores se registraron en primavera (24 cm) en ambos años, siendo estadísticamente similar ($p \leq 0.05$) a verano en el primer año. Los menores valores se presentaron en invierno con 17 cm, en ambos años (similar a otoño en el primer año; $p \leq 0.05$). Estos resultados muestran que el crecimiento de la planta disminuyó con el descenso de la temperatura, aunado a la poca precipitación (Figura 6). Al respecto, García *et al.* (2014) mencionan que a temperaturas mínimas de -5 °C, *Lotus corniculatus*, disminuye la altura de planta y por ende la acumulación de forraje, ya que el mejor crecimiento de esta especie se da entre los 18 y 25 °C y su temperatura óptima de crecimiento es a los 22 °C (Carter *et al.*, 1997). Al calcular la equivalencia de los mayores rendimientos estacionales y por tratamiento por cada cm de altura por corte se obtuvo que cada cm correspondió a 144 kg MS ha⁻¹ (primer año; 95 % LI) y 192 kg MS ha⁻¹ (segundo año; promedio

de las intercepciones), y 167 kg MS ha⁻¹, para primavera, promedio de ambos años. Dentro de tratamientos, los resultados indican que tanto la altura como la acumulación de forraje son influenciados por el hábito de crecimiento semi erecto del genotipo (Scheffer *et al.*, 2011). No obstante, Santos *et al.* (2004) señalan que una altura mayor corresponde a un rendimiento mayor. Estacionalmente, las mayores alturas se encontraron en las estaciones óptimas de temperatura y humedad para un mayor crecimiento de la especie (Figura 6). Al respecto, Marcelino *et al.* (2006) consideran que, en condiciones adecuadas de fotoperiodo, temperatura y humedad, las plantas forrajeras aceleran su crecimiento y presentan cambios en la altura en las diferentes estaciones (Difante *et al.*, 2009).

Cuadro 11. Altura de planta (cm) de *Lotus corniculatus*, genotipo 255301, en función del porcentaje de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Promedio | EEM |
|---------------------|--------|----------|-----------|---------|----------|-----|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | | | |
| 90 | 21 ABa | 18 Ab | 23 Aa | 24 Aa | 22 A | 0.9 |
| 95 | 23 Aa | 17 Aa | 23 Aba | 24 Aa | 22 A | 2.4 |
| 100 | 18 Bc | 20 Abc | 24 Aa | 23 Aab | 21 A | 1.6 |
| CF° | 24 Aa | 12 Bc | 21 Bab | 18 Bb | 19 B | 1.5 |
| Promedio | 21 a | 17 b | 23 a | 22 a | 21 | 1.5 |
| EEM | 1.6 | 1.1 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | | | |
| 90 | 19 Ab | 13 Bc | 24 Ba | 24 ABa | 20 B | 1.0 |
| 95 | 17 ABc | 22 Ab | 30 Aa | 24 Ab | 23 A | 1.1 |
| 100 | 19 Ac | 26 Ab | 31 Aa | 22 ABbc | 25 A | 1.2 |
| CF° | 15 Bb | 8 Cc | 16 Cb | 22 Ba | 15 C | 0.8 |
| Promedio | 18 c | 17 c | 25 a | 23 b | 21 | 0.4 |
| EEM | 1.2 | 1.3 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | |

Promedios con letra mayúscula diferente en una columna y letra minúscula diferente en una hilera son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

4.3.4 Relación hoja:tallo

La mayor relación de hoja:tallo promedio anual se presentó en el corte fijo, seguido de los porcentajes de luz interceptada de 90 , 95 y 100 % (Cuadro 12). El corte fijo superó en 36 % (2.3 vs 1.7) al promedio de los tratamientos con porcentajes de luz interceptada, en el primer año, mientras que en el segundo con 44 % (3.2 vs 1.8). Los resultados mayores en el corte fijo pueden ser el reflejo de cortes más frecuentes (33 d promedio anual; Cuadro 1), lo que no permitió que la especie fuese cosechada en su momento, si no en la fase de crecimiento acelerado, donde se encuentra la mayor cantidad de hojas jóvenes, poca cantidad de tallos y por consiguiente hubo una mayor penetración de luz al interior de la pradera (Barbosa *et al.*, 2011). Al respecto, Montagner *et al.* (2012) mencionan que la cantidad y calidad de luz que penetra al interior de la pradera, después de una cosecha, es determinada por el intervalo de corte que causa variaciones en la cantidad de hoja y tallo producidos.

Entre estaciones, a excepción de otoño en ambos años, en el resto de las estaciones se observaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$). La mayor relación hoja:tallo la presentó en invierno (2.6) en el primer año y en otoño-invierno (2.5) en el segundo. Por su parte, primavera y verano registraron los menores valores en ambos años con un promedio de 1.8 de ambas estaciones y años (Cuadro 12). Resultados similares fueron presentados por Barbosa *et al.*, (2011), quienes encontraron una relación hoja:tallo mayor en estaciones donde el crecimiento en las plantas es menor (otoño e invierno), debido a una mayor densidad de tallos, pero de menor peso (Villegas *et al.*, 2004); así mismo, una relación hoja:tallo menor en primavera y verano es el resultado de un peso individual de tallos mayor, dado que la translocación de asimilados de hojas a tallos, es mayor en primavera y verano (Giacomini *et al.*, 2009). La proporción de hoja respecto al tallo fue mayor en todas las estaciones y tratamientos, con promedios de 2.1 y 2.2 para el primer y segundo año, respectivamente.

Cuadro 12. Relación hoja:tallo (R:H/T) de *Lotus corniculatus* genotipo 255301, en función de porcentajes de luz interceptada y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Promedio | EEM |
|---------------------|--------|----------|-----------|--------|----------|-----|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | | | |
| 90 | 2.5 Aa | 2.0 Bab | 1.7 Bb | 1.5 Ab | 1.9 B | 0.2 |
| 95 | 1.9 Aa | 2.3 Ba | 1.5 Ba | 1.4 Aa | 1.8 B | 0.3 |
| 100 | 2.1 Aa | 2.2 Ba | 1.8 Ba | 1.8 Aa | 1.8 B | 0.2 |
| CF° | 2.5 Ab | 4.0 Aa | 2.6 Ab | 2.1 Ab | 2.8 A | 0.4 |
| Promedio | 2.3 ab | 2.6 a | 1.9 b | 1.7 b | 2.1 | 0.2 |
| EEM | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | | | |
| 90 | 2.1 Ab | 2.9 Ba | 1.7 Bb | 1.7 Bb | 2.1 B | 0.1 |
| 95 | 3.0 Aa | 1.8 Cb | 1.0 Cc | 1.7 Bb | 1.9 B | 0.1 |
| 100 | 2.3 Aa | 1.3 Cb | 1.0 Cb | 1.2 Cb | 1.4 C | 0.2 |
| CF° | 2.9 Aa | 3.7 Aa | 3.4 Aa | 2.7 Aa | 3.2 A | 0.3 |
| Promedio | 2.6 a | 2.4 a | 1.8 b | 1.8 b | 2.2 | 0.1 |
| EEM | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | |

Promedios con letra mayúscula diferente en una columna y letra minúscula diferente en un reglón son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

4.4 Producción de forraje de *Lotus corniculatus* L. genotipo 260012

4.4.1 Rendimiento de forraje

El rendimiento de forraje anual acumulado, solo presentó diferencias ($p \leq 0.05$) en el segundo año de estudio, donde el corte fijo registró el menor rendimiento con 19,891 kg MS ha⁻¹ y los porcentajes de luz interceptada (90, 95 y 100) los mayores con 28,616 kg MS ha⁻¹ (Cuadro 13). Sin embargo, el 95 % LI produjo mayor cantidad de hoja en 15 % promedio más, respecto al resto de los tratamientos (Cuadro 14). El corte fijo, fue menor al resto de los tratamientos en otoño del primer año e invierno y verano del segundo ($p \leq 0.05$). Por tanto, los resultados muestran que, en un segundo año de establecimiento trébol pata de pájaro genotipo 260012 no

se adapta a un corte fijo, lo que se puede atribuir a una reducción en la producción de hoja (Figura 9) y, por ende, una menor actividad fotosintética neta (Woledge, 1977). Por su parte, Meridith *et al.* (2011) establecieron que trébol pata de pájaro presenta rendimientos de materia seca mayores en función a una alta frecuencia de defoliación. Ellos obtuvieron un incremento de 45 % en forraje producido al someter la especie a un intervalo de corte de 45 d, respecto a uno de 22 d. Sus resultados son similares a la tendencia de producción a partir del corte fijo hasta el 95 % LI, en el segundo año, explicado por el incremento del periodo de rebrote. Por tanto, un manejo dependiente de un corte fijo no puede ser recomendado debido a registrarse una reducción en la productividad de trébol pata de pájaro, genotipo 260012.

Cuadro 13. Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) de *Lotus corniculatus* genotipo 260012, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Anual | EEM |
|---------------------|----------|----------|-----------|----------|---------|-----|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | | | |
| 90 | 3885 ABb | 5700 Aab | 9080 Aa | 8363 Aa | 27028 A | 164 |
| 95 | 4534 ABb | 6882 Aab | 8630 Aa | 8969 Aa | 29015 A | 918 |
| 100 | 5922 Ab | 6062 Ab | 10075 Aa | 8696 Aa | 30755 A | 572 |
| CF° | 3386 Bb | 6735 Aa | 7484 Aa | 7063 Aa | 24668 A | 780 |
| Promedio | 4432 c | 6345 bc | 8817 a | 8273 ab | 27866 | 759 |
| EEM | 798 | 756 | 1619 | 1243 | 3854 | 798 |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | | | |
| 90 | 6265 Ab | 5640 Ab | 9327 Aa | 7321 Aab | 28553 A | 831 |
| 95 | 5947 Ab | 5799 Ab | 8669 Aa | 8649 Aa | 29064 A | 657 |
| 100 | 5729 Ac | 5661 Ac | 9565 Aa | 7278 Ab | 28232 A | 400 |
| CF° | 4645 Aab | 3651 Bb | 7033 Aa | 4562 Bab | 19891 B | 958 |
| Promedio | 5647 c | 5188 c | 8648 a | 6952 b | 26435 | 445 |
| EEM | 733 | 650 | 931 | 620 | 2495 | |

Promedios con letra mayúscula diferente en una columna y letra minúscula diferente en una hilera son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

Estacionalmente, se presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$), en ambos años (Cuadro 13). El rendimiento mayor de forraje promedio estacional se presentó en primavera en ambos años (8,732 kg MS ha⁻¹, promedio); mientras que el menor en otoño en ambos años (5,039 kg MS ha⁻¹), sin ser diferente a invierno en el segundo año ($p \geq 0.05$). Lo anterior sugiere que un rendimiento de forraje mayor y menor, correspondió a temperaturas y precipitaciones mayores y menores, presentes en el periodo de estudio (Figura 3), lo cual es explicado por la disponibilidad de factores de crecimiento en las plantas forrajeras tales como; humedad, temperatura y luz (Barbosa *et al.*, 2011). Resultados similares encontraron García *et al.* (2014). Ellos reportaron rendimientos mayores por encima de los 22 °C y menores por debajo de 5 °C, con escasa precipitación. Por su parte, Giacomini *et al.* (2009) consignaron que el crecimiento de las plantas forrajeras es afectado por las variaciones climáticas y prácticas de manejo, lo que reduce la fotosíntesis, respiración y provisión de carbono en la planta.

4.4.2 Composición botánica y morfológica

El rendimiento acumulado anual, por componente morfológico y botánico, presentó diferencias ($p \leq 0.05$) en tallo, en ambos años y en material muerto en el segundo año (Cuadro 14). Aunque, entre tratamientos no hubo diferencias en la producción de hoja, en ambos años, el 95 % LI supero en 15 %, al resto de los tratamientos, correspondiente a 1,904 kg MS ha⁻¹ más de hoja. El rendimiento de tallo menor (5,833 kg MS ha⁻¹), se presentó en el corte fijo, mientras que, el mayor al 100 % LI (10,123 kg MS ha⁻¹), en ambos años, siendo similar al 90 y 95 % LI en el segundo año. Al respecto, Barbosa *et al.* (2007) mencionan que mantener el rebrote después de que la pradera intercepte un 95 % de luz, conlleva mayor elongación de tallo en respuesta a la competencia por luz. Resultados similares encontraron Pereira *et al.* (2017) en *Arachis pintoi* en asociación con *Brachiaria brizantha*, donde la leguminosa presentó mayor tasa de elongación de estolones al ser manejada al 100 % LI, lo que puede explicar la reducción en la relación hoja:tallo al 100 % LI en ese estudio (Cuadro 15). También, en el corte fijo y al 100 % LI, se presentaron la producción de material menor y mayor, respectivamente. Este resultado puede ser reflejo de la edad de la planta. De acuerdo con, Giacomini *et al.* (2009) mencionan que una baja proporción de material senescente podría permitir interceptar una mayor cantidad de luz por hojas verdes, favoreciendo una tasa de asimilación neta alta y una tasa de crecimiento del cultivo también alta. Independientemente del tratamiento, la hoja, tallo, material muerto y

maleza, aportaron el 52, 33, 7 y 9 % del rendimiento de forraje acumulado anual. La maleza fue el único componente que incrementó su presencia en la pradera de un año al siguiente. Al respecto, Teixeira *et al.* (2007) observaron que la presencia de malezas se incrementa por efecto del tiempo de establecimiento y por la frecuencia de corte.

Cuadro 14. Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) por componente botánico y morfológico de *Lotus corniculatus* genotipo 260012, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Hoja | Tallo | Material muerto | Maleza |
|---------------------|---------|---------|-----------------|--------|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | |
| 90 | 13729 a | 8918 ab | 2581 a | 1800 a |
| 95 | 15886 a | 9238 bb | 2036 a | 1856 a |
| 100 | 14983 a | 10883 a | 2688 a | 2200 a |
| CF° | 14345 a | 6954 b | 1101 a | 2268 a |
| Promedio | 14736 | 8998 | 2102 | 2031 |
| EEM | 2138 | 1428 | 960 | 795 |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | |
| 90 | 13338 a | 10857 a | 1696 ab | 2949 a |
| 95 | 15017 a | 9643 a | 1323 ab | 2184 a |
| 100 | 13717 a | 9364 a | 2578 a | 2574 a |
| CF° | 11171 a | 4713 b | 611 b | 3396 a |
| Promedio | 13311 | 8644 | 1552 | 2776 |
| EEM | 1603 | 876 | 659 | 863 |

Promedios con letra minúscula diferente en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio; CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

Entre estaciones, primavera presentó la mayor cantidad de todos los componentes con; 4,267 (hoja), 3,556 (tallos), 571 (material muerto) y 839 kg MS ha⁻¹ (maleza), y en otoño los menores con; 2,821 (hoja), 1,618 (tallos), 311 (material muerto) y 289 kg MS ha⁻¹ (maleza), promedios de ambos años (Figura 6). Estos resultados pueden ser explicados debido a la mayor

disponibilidad de factores de crecimiento como la humedad, temperatura y luz, presentes en primavera (Figura 3), como lo establece Barbosa *et al.* (2011).

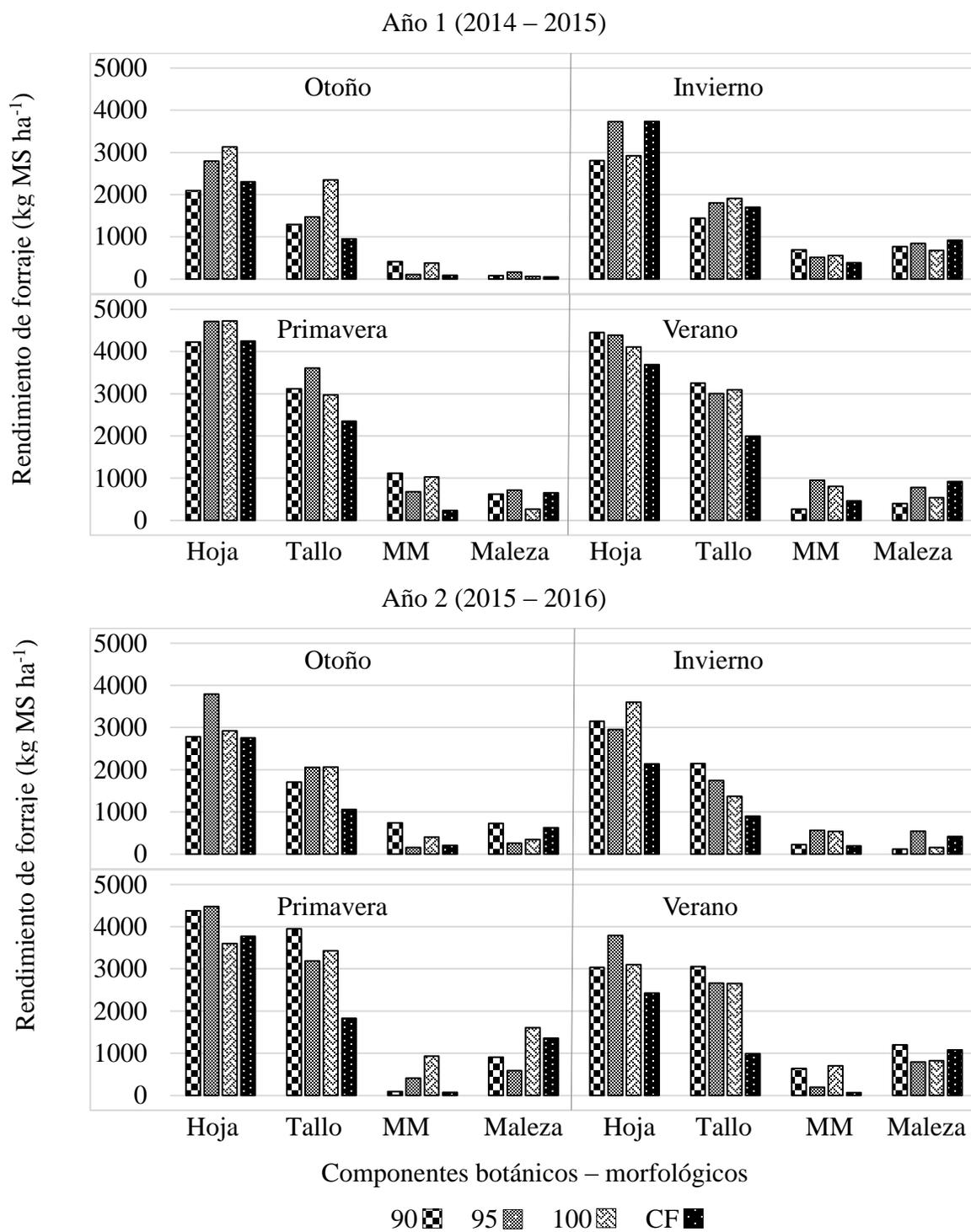


Figura 6. Composición botánica y morfológica de *Lotus corniculatus*, genotipo 260012 en función del porcentaje de luz interceptada (90, 95 y 100) y un intervalo de corte (CF) definido estacional = Otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

4.4.3 Relación hoja:tallo

La mayor relación hoja:tallo promedio anual se presentó en el corte fijo (2.3), y la menor el 100 % LI (1.5), en ambos años, sin ser diferente al 90 y 95 % LI en el segundo año (Cuadro 15). Gomide *et al.* (2015) encontraron en *Pennisetum purpureum* Schum, un incremento en proporción de hojas en praderas manejadas al 90 y 95 % LI, compensado con el incremento en el peso de los tallos a un mayor periodo de rebrote, lo que puede explicar la reducción en la relación hoja:tallo en este estudio. La respuesta de las plantas a un mayor porcentaje de luz interceptada es la elongación del tallo por el incremento en la competencia por luz (Barbosa *et al.*, 2007). Por otra parte, la mayor relación hoja:tallo en el corte fijo, fue resultado de cortes más frecuentes, respecto al resto de los tratamientos, lo que no permitió que la especie fuese cosechada en su momento óptimo, si no en la fase de crecimiento acelerado, donde se encuentra la mayor proporción de hojas jóvenes y poca cantidad de tallos (Barbosa *et al.*, 2011).

Estacionalmente, otoño e invierno (2.0) registraron la mayor relación hoja:tallo en ambos años, y primavera – verano (1.5) la menor. De acuerdo con, Sbrissia *et al.* (2010) la proporción de hoja respecto al tallo es alterada por la elongación del tallo, presente en las estaciones donde las condiciones ambientales favorecen este proceso (Primavera – verano; Figura 3). Por su parte, Gomide *et al.* (2015) una mayor frecuencia de defoliación (ejemplo tratamiento corte fijo) promueve una mayor remoción de tejido vegetal y como resultado, se incrementa la producción de hoja, causado por una mayor penetración de luz a nivel de la corona, situación que podría explicar el resultado obtenido en invierno y en el corte fijo.

Cuadro 15. Relación hoja:tallo (R:H/T) de *Lotus corniculatus* genotipo 260012, en función de porcentajes de luz interceptada y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Promedio | EEM |
|---------------------|---------|----------|-----------|---------|----------|------|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | | | |
| 90 | 1.8 BCa | 2.0 ABa | 1.4 BCb | 1.4 Bb | 1.6 B | 0.13 |
| 95 | 1.9 Bab | 2.3 Aa | 1.7 ABb | 1.5 ABb | 1.8 B | 0.21 |
| 100 | 1.4 Cab | 1.6 Ba | 1.3 Cb | 1.4 Bab | 1.4 C | 0.08 |
| CF° | 2.7 Aa | 2.4 Aab | 1.8 Ab | 1.9 Ab | 2.2 A | 0.27 |
| Promedio | 2.0 a | 2.1 a | 1.5 b | 1.5 b | 1.8 | 0.05 |
| EEM | 0.17 | 0.26 | 0.10 | 0.16 | 0.08 | |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | | | |
| 90 | 1.9 Ba | 1.5 Bb | 1.1 Bc | 1.4 Bbc | 1.5 B | 0.11 |
| 95 | 1.7 Ba | 1.7 Ba | 1.4 Bab | 1.0 Cb | 1.5 B | 0.25 |
| 100 | 1.4 Bb | 2.2 Aa | 1.1 Bb | 1.2 BCb | 1.6 B | 0.14 |
| CF° | 2.6 Aa | 2.4 Aa | 2.2 Aa | 2.5 Aa | 2.4 A | 0.16 |
| Promedio | 1.9 a | 2.0 a | 1.5 b | 1.5 b | 1.7 | 0.09 |
| EEM | 0.26 | 0.16 | 0.12 | 0.09 | 0.12 | |

Promedios con letra mayúscula diferente en una columna y letra minúscula diferente en un reglón son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

4.4.4 Altura de planta

Se presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en la altura promedio anual entre tratamientos (Cuadro 16). En ambos años, la menor altura correspondió al corte fijo (22 cm), en tanto que la mayor al 100 % LI (27 cm), sin presentar diferencias ($p \geq 0.05$) con el 90 % LI en el primer año. Estos resultados sugieren que praderas manejadas bajo el criterio de porcentaje de luz interceptada incrementan su altura en un 18 % más respecto a un corte fijo, debido a un mayor intervalo de corte. Barbosa *et al.* (2011), reportaron en pasto guinea cv. Tanzania, alturas mayores en praderas manejadas a una intercepción luminosa del 100 %, respecto a un 90 y 95 %, resultado de un mayor periodo de rebrote en el 100 %. De la misma forma, Da Silva *et al.* (2009) en pasto Mombaza, observaron que cuando el periodo de descanso se incrementa hasta

un 100 % LI, la altura se incrementa por mayor elongación del tallo en respuesta a una severa competencia por luz.

Cuadro 16. Altura de planta (cm) de *Lotus corniculatus* genotipo 260012, en función del porcentaje de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Promedio | EEM |
|---------------------|--------|----------|-----------|--------|----------|-----|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | | | |
| 90 | 27 Aa | 21 ABb | 27 Aa | 29 Aa | 26 A | 1.6 |
| 95 | 21 Bb | 21 ABb | 27 Aa | 28 Aa | 24 AB | 1.4 |
| 100 | 25 Abc | 22 Ac | 28 Aab | 29 Aa | 26 A | 1.5 |
| CF° | 24 ABA | 18 Bb | 24 Aa | 23 Ba | 23 B | 1.4 |
| Promedio | 24 a | 20 b | 27 a | 29 a | 25 | 1.3 |
| EEM | 1.5 | 1.2 | 1.5 | 1.6 | 1.0 | |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | | | |
| 90 | 23 Aa | 26 Aa | 26 Ba | 26 Ba | 25 B | 1.5 |
| 95 | 24 Ab | 19 Bc | 32 Aa | 32 Aa | 27 AB | 1.3 |
| 100 | 24 Ab | 20 Bc | 34 Aa | 33 Aa | 28 A | 1.1 |
| CF° | 21 Ab | 15 Cc | 23 Cab | 25 Ba | 21 C | 0.9 |
| Promedio | 23 b | 20 c | 29 a | 29 a | 25 | 0.7 |
| EEM | 1.2 | 0.9 | 0.9 | 1.7 | 0.7 | |

Promedios con letra mayúscula diferente en una columna y letra minúscula diferente en una hilera son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

Entre estaciones, la altura promedio estacional mayor se registró en primavera - verano (28 cm), en ambos años, y en invierno la menor (20 cm). Lo anterior muestra que la altura de planta se vio afectada por las condiciones ambientales presentes durante el experimento (Figura 16). Al respecto, Zanini *et al.* (2012) reportan en *Panicum máximum* cv. Aranua, un incremento en la altura de la planta en verano, al cosecharlas al 98 % LI y una menor en otoño, al cosecharlas al 95 % LI, por lo que presentan una interacción de la luz interceptada con la estación. Por su parte, García *et al.* (2014) encontraron, mayores alturas cuando la temperatura fue superior a 30 °C y una reducción a temperaturas mínimas a 14 °C, observando que el crecimiento de *Lotus*

corniculatus disminuyó con el descenso de la temperatura, aunado a una escasa precipitación. Estudios en pastos tropicales han encontrado una alta relación entre la altura del dosel y cantidad de luz interceptada por la pradera y dinámica de acumulación de materia seca (Carnevali *et al.*, 2006; Barbosa *et al.*, 2007; Difante *et al.*, 2009). Por tanto, al calcular la equivalencia de los rendimientos estacionales promedios mayores y tratamientos, por cada cm de altura de planta, se obtuvieron 133 kg MS ha⁻¹ corte⁻¹ para primavera, y 136 kg MS ha⁻¹ corte⁻¹ para las intercepciones luminosas, promedio de ambos años.

4.5 Estrategias de manejo aplicadas a *Lotus corniculatus* L., genotipo Estanzuela Ganador

4.5.1 Rendimiento de forraje

En el rendimiento acumulado anual se registraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$), en ambos años (Cuadro 17). El corte fijo con 22,340 kg MS ha⁻¹, promedio de ambos años, presentó el menor rendimiento, mientras que, el 95 % LI con 30,848 kg MS ha⁻¹, el rendimiento mayor en el primer año y los porcentajes de luz (90, 95 y 100 %) en el segundo año (30,095 kg MS ha⁻¹). Los resultados muestran que el cv. Estanzuela Ganador no se adapta a un manejo establecido en base a cortes por estación similar a la de la alfalfa, a diferencias de cortes basados en el porcentaje de luz interceptada. Así mismo, una producción de forraje menor presente en el corte fijo, puede ser el reflejo de una menor producción de hoja (Cuadro 14), por ende, una menor actividad fotosintética (Woledge, 1997). Por su parte, Meredith *et al.* (2011), atribuyen bajos rendimientos en esta especie a bajas frecuencias de corte; ellos observaron una reducción la producción de forraje de un 45 %, a un intervalo de corte de 22 días, respecto a uno de 44. Al respecto, Barbosa *et al.* (2007) encontraron que a una frecuencia de defoliación al 90 % LI, el potencial de producción de forraje se reduce. En este estudio, la baja producción de forraje del corte fijo, respecto a los porcentajes de luz interceptada fue de 25 % (22,340 vs 29,773 kg MS ha⁻¹, respectivamente), que, de acuerdo a los autores anteriores, fue resultado de un menor intervalo de corte fijo.

Si bien, solo en el primer año se presentaron diferencias estadísticas entre los porcentajes de luz interceptada (mayor 95 % LI; $p \leq 0.05$), estudios en especies tropicales, han mostrado mayores tasas de crecimiento y mayores tasas de asimilación neta en praderas manejadas al 95 % LI, respecto a las del 100 % LI (7.08 y 5.23; 4.58 y 2.27 g m⁻² día⁻¹, respectivamente), en *Brachiaria*

brizantha cv. Marandu (Giacomini *et al.*, 2009), lo que es explicado por la mayor cantidad de luz incidente y menor autosombreado del dosel en el interior de la pradera y por consecuencia de un óptimo balance entre fotosíntesis y respiración (Lambers, 1978).

Cuadro 17. Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) de *Lotus corniculatus*, cv. Estanzuela Ganador, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Anual | EEM |
|---------------------|---------|----------|-----------|----------|----------|------|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | | | |
| 90 | 5183 Ab | 6083 Ab | 8727 Aa | 8769 Aa | 28761 AB | 671 |
| 95 | 5392 Ab | 6885 Ab | 9320 Aa | 9251 Aa | 30848 A | 718 |
| 100 | 5310 Ac | 6557 Abc | 9168 Aa | 7710 Aab | 28745 AB | 888 |
| CF° | 3990 Ac | 6609 Ab | 8024 Aa | 5519 Bbc | 24141 B | 712 |
| Promedio | 4969 c | 6533 bc | 8810 a | 7812 ab | 28124 | 646 |
| EEM | 724 | 832 | 776 | 666 | 2528 | |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | | | |
| 90 | 6476 Ac | 7462 Ab | 8728 Aa | 9230 Aa | 31897 A | 301 |
| 95 | 6172 Ab | 7088 Aab | 9293 Aa | 6567 Bb | 29120 A | 881 |
| 100 | 6437 Ab | 6179 Ab | 9964 Aa | 6688 Bb | 29269 A | 1197 |
| CF° | 4922 Ab | 5142 Ab | 6768 Ba | 3708 Cb | 20539 B | 608 |
| Promedio | 6002 b | 6468 b | 8688 a | 6548 b | 27706 | 520 |
| EEM | 890 | 956 | 692 | 694 | 2851 | |

Promedios con letra mayúscula diferente en una columna y letra minúscula diferente en una hilera son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

En la producción de forraje estacional, se presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$), en ambos años (Cuadro 17). El mayor rendimiento de forraje se registró en primavera (8,749 kg MS ha⁻¹, promedio), versus otoño con la menor producción (5,485 kg MS ha⁻¹), sin presentar diferencias ($p \geq 0.05$), con invierno y verano en el segundo año. Estos resultados indican que la producción de forraje estacional estuvo influenciada por las condiciones medioambientales presentes durante el estudio (Figura 3), principalmente por la temperatura y precipitación; como

lo establecen García *et al.* (2014), Halling *et al.* (2004), y Carter *et al.* (1997), en *Lotus corniculatus*, y Rojas *et al.* (2016) en alfalfa (*Medicago sativa* L.), quienes afirman que las prácticas de manejo y variaciones climáticas afectan la tasa de fotosíntesis, respiración y provisión de carbono en las plantas, reflejado en su crecimiento y producción de forraje (Giacomini *et al.*, 2009).

4.5.2 Composición botánica y morfológica

El rendimiento anual de forraje acumulado por componente botánico y morfológico, presentó diferencias ($p \leq 0.05$) en los componentes hoja en ambos años y en el tallo y material muerto en el segundo año (Cuadro 18). La mayor cantidad de hoja (16,795 kg MS ha⁻¹) en el primer año se presentó al 95 % LI, y en las intercepciones luminosas (90, 95 y 100 %) en el segundo año (16,258 kg MS ha⁻¹), así como en tallo (9,986 kg MS ha⁻¹) y en el material muerto en intercepciones del 95 y 100 % (2,968 kg MS ha⁻¹). Por el contrario, los menores rendimientos en hoja en ambos años (12,019 kg MS ha⁻¹), y en tallo (5,249 kg MS ha⁻¹) y material muerto (669 kg MS ha⁻¹) en el segundo año, se registraron en el corte fijo, lo que puede ser el reflejo de un menor periodo de rebrote. Giacomani *et al.* (2009) mencionan que una baja proporción de material muerto podría teóricamente permitir una mayor cantidad de luz interceptada por hojas verdes, favoreciendo una alta tasa de asimilación neta y alta tasa de crecimiento del cultivo, razón que explica la mayor producción de forraje en los tratamientos de porcentajes de luz, respecto al corte fijo. Barbosa *et al.* (2007) encontraron que mantener el rebrote después de que la pradera alcance una intercepción de 95 % de luz, conlleva una mayor elongación de tallo en respuesta a una mayor competencia por luz. Por su parte, Pereira *et al.* (2017) en *Arachis pintoi* L., en asociación con *Brachairia brizantha*, encontraron que la leguminosa presentó una mayor tasa de elongación de tallo y menor aparición de hoja en praderas manejadas al 100 % LI.

Independientemente del tratamiento, los componentes aportaron al rendimiento anual promedio en el siguiente orden; hoja (54 %), tallo (32 %), material muerto (10 %) y maleza (4 %). No obstante, la maleza no presentó diferencias ($p \geq 0.05$), sin embargo, se observó una tendencia a disminuir la cantidad de esta, desde el corte fijo a mayor intercepción luminosa, en ambos años (CF > 90 > 95 > 100 % IL). Teixeira *et al.* (2007) mencionan que la presencia de maleza en una pradera se puede incrementar por efecto del tiempo de establecimiento y por la frecuencia del corte. Al respecto, Meredith *et al.* (2011) encontraron en ocho genotipo de *Lotus corniculatus*

L., que la proporción de los componentes morfológicos se relacionó con menores intervalos de corte. Lo que indica que, a un incremento en la cantidad de luz interceptada, produce un mayor periodo de descanso, y una mayor proporción de tallos y material muerto (Da Silva *et al.*, 2009).

Cuadro 18. Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) por componente botánico y morfológico de *Lotus corniculatus*, cv. Estanzuela Ganador, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Hoja | Tallo | Material muerto | Maleza |
|---------------------|----------|---------|-----------------|--------|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | |
| 90 | 15991 ab | 8712 a | 3247 a | 811 a |
| 95 | 16795 a | 10166 a | 3282 a | 606 a |
| 100 | 15095 ab | 8685 a | 4317 a | 648 a |
| CF° | 11772 b | 7827 a | 3520 a | 1021 a |
| Promedio | 14913 | 8848 | 3592 | 771 |
| EEM | 1615 | 1339 | 1708 | 487 |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | |
| 90 | 18089 a | 9972 a | 1662 ab | 2173 a |
| 95 | 15308 a | 9868 a | 3197 a | 748 a |
| 100 | 15378 a | 10119 a | 2740 a | 1032 a |
| CF° | 12267 b | 5249 b | 669 b | 2355 a |
| Promedio | 15260 | 8802 | 2067 | 1577 |
| EEM | 1442 | 1155 | 634 | 780 |

Promedios con letra minúsculas diferente en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF° = Otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

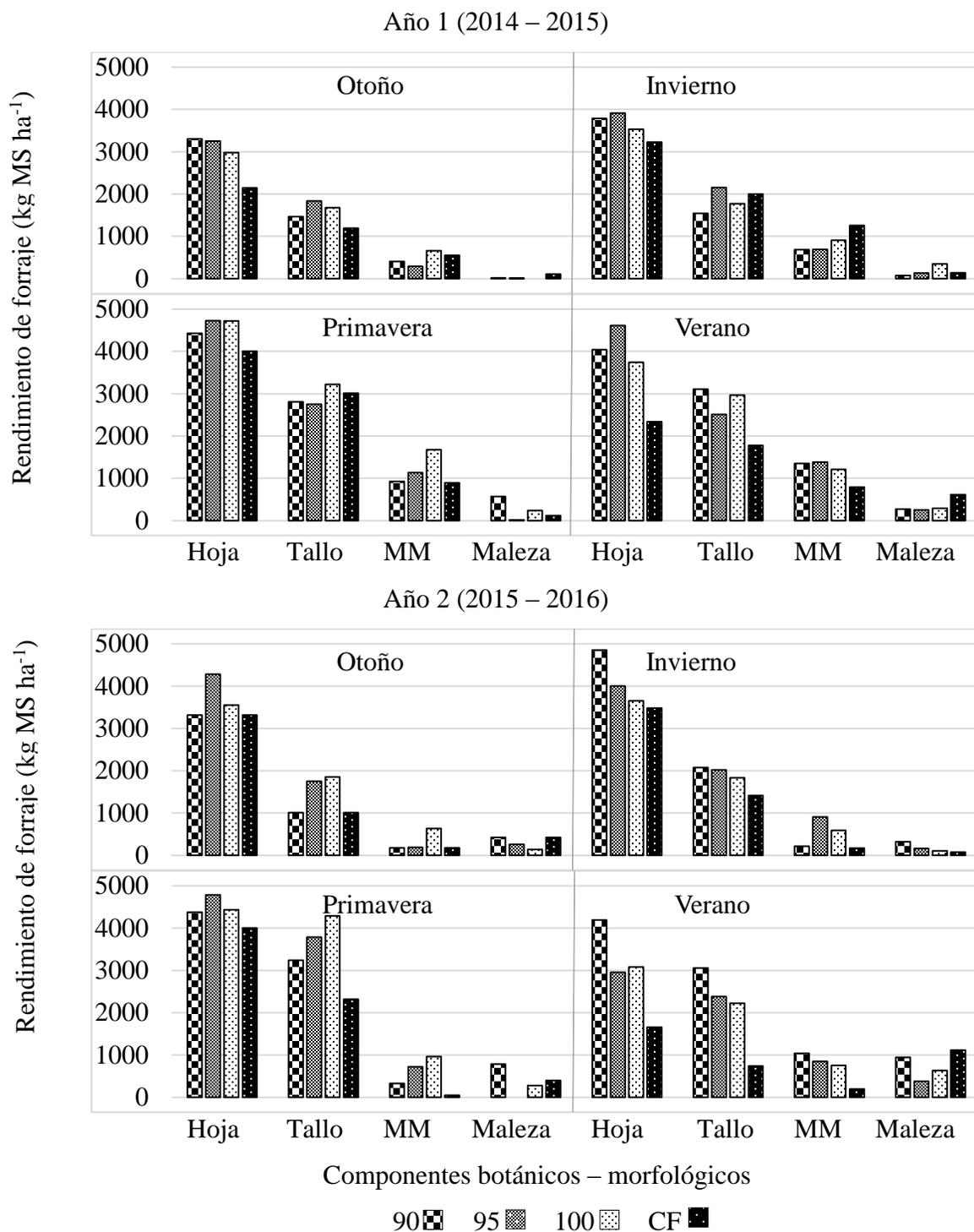


Figura 7. Composición botánica y morfológica de *Lotus corniculatus*, cv. Estanzuela Ganador en función del porcentaje de luz interceptada (90, 95, 100) y un intervalo de corte fijo (CF) definido estacional= Otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte. MM = Material muerto.

Entre estaciones del año, en primavera se produjo más hoja y tallo en ambos años, con promedio de 4,433 y 3,178 kg MS ha⁻¹, respectivamente, principalmente en el tratamiento del 95 % LI y en verano la mayor proporción de material muerto (948 kg MS ha⁻¹) y maleza (562 kg MS ha⁻¹). La menor cantidad de hoja, tallo, material muerto y maleza, se registró en otoño con valores de 2945, 1605, 419 y 99 kg MS ha⁻¹, respectivamente. El corte fijo, a excepción de la maleza (866 kg MS ha⁻¹) en el verano, en el resto de las estaciones, presentó la menor cantidad de hoja, tallo y material muerto (Figura 7). Estos resultados, pueden ser explicados por la disponibilidad de factores de crecimiento tales como; el agua, temperatura y luz, presentes en primavera – verano (Figura 3), como lo establece Barbosa *et al.* (2011). Al respecto, Ludlow and Ng (1977) señalan que la expansión de la hoja es uno de los procesos fisiológicos más sensibles al déficit de humedad. Por su parte Giacomini *et al.* (2009) mencionan que, en primavera y verano, bajo condiciones aparentemente asociadas a pérdida de energía por una mayor respiración provoca una alta acumulación de tallo y material muerto, registrados al 100 % LI, respecto a al 95 % LI probablemente debido a un auto_sombreo.

4.5.3 Relación hoja:tallo

A excepción del primer año, en el segundo año la relación de hoja:tallo promedio anual mayor se presentó en el corte fijo con 2.6 y los menores en los porcentajes de luz interceptada con 1.7 (Cuadro 19). Lo anterior, puede ser el reflejo de un mayor peso de tallos en estos últimos tratamientos (Cuadro 18). A pesar de que entre intercepciones luminosas no se registraron diferencias ($p \geq 0.05$), se observó que a mayor porcentaje de luz interceptada, la relación hoja:tallo fue menor. Al respecto, Barbosa *et al.* (2011) mencionan que la producción de tallos está estrechamente relacionada con la cantidad de luz interceptada por la pradera. Ellos encontraron en pasto guinea (*Panicum maximum*) que, no obstante, en praderas cosechadas a un 100 % IL se encontró menor cantidad de tallos, estos fueron de mayor peso, explicado por el proceso de competencia intra-específica por factores como la luz, mediante el mecanismo conocido como “compensación tamaño/densidad” (Sbrissia *et al.*, 2010). Así mismo, Gomide *et al.* (2015) encontraron un incremento en la proporción de hojas a porcentajes menores del 100 % LI (90 y 95), compensando la reducción en el peso de los tallos, por un periodo de rebrote menor.

Estacionalmente, se mostraron diferencias en ambos años ($p \leq 0.05$). Los mayores valores promedios estacionales se registraron en otoño e invierno (2.2, promedio), mientras los menores en primavera y verano (1.5). De acuerdo a Bos and Neutboon (1988) una mayor frecuencia de defoliación, promueve una mayor remoción de tejido vegetal, como resultado se incrementó la producción de hoja, probablemente causada por una penetración mayor de luz a nivel de la corona y activación de puntos de crecimiento de la planta. Lo anterior puede explicar lo obtenido en el tratamiento de corte fijo, principalmente en las estaciones de otoño e invierno. Por lo que, Gomide *et al.* (2015) indicaron que una menor frecuencia de defoliación, incrementa la proporción de tallos, reduciendo la relación hoja:tallo y valor nutricional del forraje.

Cuadro 19. Relación hoja:tallo (R:H/T) de *Lotus corniculatus* cv. Estanzuela Ganador, en función de porcentajes de luz interceptada y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Promedio | EEM |
|---------------------|---------|----------|-----------|---------|----------|-----|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | | | |
| 90 | 2.5 Aab | 2.8 Aa | 1.8 Abc | 1.4 Ac | 2.1 a | 0.3 |
| 95 | 2.0 Aa | 2.0 ABa | 1.5 Aa | 1.6 Aa | 1.8 a | 0.4 |
| 100 | 2.0 Aab | 2.1 ABa | 1.7 Aab | 1.5 Ab | 1.5 a | 0.2 |
| CF ^o | 2.0 Aa | 1.7 Bab | 1.4 Ab | 1.3 Ab | 1.6 a | 0.1 |
| Promedio | 2.1 a | 2.1 a | 1.6 b | 1.5 b | 1.8 | 0.1 |
| EEM | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | | | |
| 90 | 2.5 Ba | 2.5 Aa | 1.4 Bb | 1.4 Bb | 1.9 b | 0.1 |
| 95 | 2.0 Ba | 2.0 Aa | 1.3 BCb | 1.2 Bb | 1.6 b | 0.1 |
| 100 | 1.9 Bab | 2.0 Aa | 1.1 Cc | 1.4 Bbc | 1.6 b | 0.2 |
| CF ^o | 3.4 Aa | 2.6 Aab | 1.9 Ab | 2.3 Ab | 2.6 a | 0.3 |
| Promedio | 2.5 a | 2.3 a | 1.4 b | 1.6 b | 1.9 | 0.1 |
| EEM | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | |

Promedios con letra mayúscula diferente en una columna y letra minúscula diferente en un reglón son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF^o = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

4.5.4 Altura de planta

En el promedio anual (Cuadro 20), la altura de planta presentó diferencias en el segundo año ($p \leq 0.05$). La menor altura (22 cm) la registró el tratamiento corte fijo, en tanto que la mayor (24 cm) los porcentajes de LI 95 y 100 %. En general la altura de planta fue mayor cuando la pradera se manejó bajo el criterio de porcentaje de luz interceptada, posiblemente debido a periodos de rebrote mayores. En pastos tropicales (*Panicum maximum* cv. Tanzania y Mombaza), se ha reportado que la mayor altura corresponde a intercepciones luminosas del 100 %, resultado de un intervalo de corte mayor, no obstante, se tiene un efecto de auto-sombreado e incrementa la competencia por luz (Carnevalli *et al.*, 2006; Difante *et al.*, 2009; Da Silva *et al.*, 2009).

En la comparación estación, se presentaron diferencias en los promedios en ambos años ($p \leq 0.05$). La mayor altura correspondió a verano (27.5 cm), sin ser diferente a primavera en el segundo año, en contraste los menores valores se presentaron en otoño e invierno (20 cm). Los resultados muestran que la altura fue influenciada por las condiciones ambientales presentes en las diferentes estaciones (Figura 10), como lo mencionan Zanini *et al.* (2012). Ellos reportan un incremento en la altura de planta en verano al cosechar las praderas al 98 % LI y una reducción en otoño al cosechar al 95 % LI, explicada por disponibilidad o restricción de factores de crecimiento como la humedad, luz y temperatura.

En base a los resultados encontrados en especies forrajeras, en relación al comportamiento productivos, altura y cantidad de luz interceptada (Carnevalli *et al.*, 2006; Difante *et al.*, 2009; Da Silva *et al.*, 2009; Rojas *et al.*, 2016), se ha sugerido tomar como referencia la altura de la planta como criterio para determinar el momento de aprovechamiento de la pradera. Por tanto, al calcular la equivalencia de los mayores rendimientos estacionales promedios (primavera) y tratamiento (95 % LI; mayor producción de hoja), correspondientes con la altura, se obtuvo que cada cm correspondió a $153 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$, promedio de primavera y a $173 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$ del 95 % IL promedio de ambos años. No obstante, la mayor altura solo correspondió al mayor rendimiento solo estacionalmente, no entre tratamientos. Al respecto García *et al.* (2014) señalaron, que la producción de forraje en *Lotus corniculatus* L., está influenciada por el hábito de crecimiento del genotipo, también corroborado en alfalfa (*Medicago sativa* L.) (Humphries and Hughes 2006), por lo que no siempre habrá una correlación altura vs rendimiento.

Cuadro 20. Altura de planta (cm) de *Lotus corniculatus* cv. Estanzuela Ganador, en función del porcentaje de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Promedio | EEM |
|---------------------|--------|----------|-----------|--------|----------|-----|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | | | |
| 90 | 18 Bc | 21 Ab | 22 Ab | 25 ABa | 22 A | 1.0 |
| 95 | 19 Bc | 20 Abc | 22 Ab | 28 Aa | 22 A | 1.2 |
| 100 | 20 ABc | 21 Abc | 23 Aab | 25 ABa | 22 A | 1.0 |
| CF° | 22 Ab | 20 Ab | 22 Ab | 24 Ba | 22 A | 0.8 |
| Promedio | 19 c | 21 c | 22 b | 26 a | 22 | 0.5 |
| EEM | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | | | |
| 90 | 20 Ab | 22 ABb | 26 Ba | 23 Cb | 22 AB | 1.1 |
| 95 | 20 Ab | 19 Bb | 28 Aa | 29 Aa | 24 A | 1.1 |
| 100 | 18 Ac | 24 Ab | 27 ABab | 28 ABa | 24 A | 1.4 |
| CF° | 19 Ab | 18 Bb | 24 Ba | 25 BCa | 22 B | 0.9 |
| Promedio | 19 b | 21 b | 26 a | 26 a | 23 | 0.9 |
| EEM | 0.7 | 1.4 | 1.0 | 1.3 | 0.8 | |

Promedios con letra mayúscula diferente en una columna y letra minúscula diferente en una hilera son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

4.6 Porcentaje de radiación interceptada como estrategia de aprovechamiento de *Lotus corniculatus* L. genotipo Gran San Gabriel

4.6.1 Rendimiento de forraje

Se registraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en el rendimiento anual acumulado de forraje en ambos años (Cuadro 21). Los mayores rendimientos se presentaron en las intercepciones luminosas (29,123 kg MS ha⁻¹) y los menores en el corte fijo (19,993 kg MS ha⁻¹). Este último, produjo en promedio 31 % menos a los porcentajes de luz interceptadas. Lo anterior muestra

que este cultivar de trébol pata de pájaro no tiene una respuesta productiva favorable bajo un manejo dependiente de cortes fijos establecidos por estación, lo cual está relacionado con la cantidad de hoja producida (Cuadro 22) y por ende una menor actividad fotosintética neta (Woledge, 1977). Por otra parte, los resultados puede también ser el reflejo del periodo de rebrote, donde el corte fijo tuvo menor tiempo de reposos respecto a los tratamientos de porcentajes de luz interceptada. Al respecto, Meredith *et al.*, (2011) mencionan que trébol pata de pájaro manifiesta mayor rendimiento de forraje a mayores frecuencias de defoliación. Ellos, observaron un incremento en de 45 % en el forraje producido aplicando un intervalo de corte de 44 días respecto a uno de 22 d.

A pesar de que, la acumulación anual de forraje fue similar ($p \geq 0.05$) entre los porcentajes de luz interceptada, en otros pastos tropicales (*Pennisetum purpureum*; *Brachiaria brizantha*) se ha observado mejor comportamiento productivo al 95 % LI, mayor acumulación de hoja, y menor tallo y material muerto, respecto al 100 % (Pereira *et al.*, 2015; Giacomini *et al.*, 2009), explicado por una mayor incidencia de luz, menor auto-sombreado al interior de la pradera, y por consecuencia un óptimo balance entre fotosíntesis y respiración (Lambers, 1987).

En los promedios estacionales se observaron diferencias ($p \leq 0.05$) en ambos años (Cuadro 15). El mayor rendimiento de forraje se presentó en primavera con 8,671kg MS ha⁻¹, en contraste, los menores en otoño con 4,823 kg MS ha⁻¹, siendo 44 % menor productivo a primavera, sin tener diferencia ($p \geq 0.05$) a invierno en el primer año, mostrando un efecto de las condiciones ambientales presentes durante el estudio (Figura 3). García *et al.* (2014) observaron en trébol pata de pájaro un mejor comportamiento productivo por arriba de los 22 °C y menor a temperaturas mínimas de 5 °C, aunado a una escasa precipitación, ya que la temperatura óptima de crecimiento de esta especie se presenta entre 18 a 25 °C (Carter *et al.*, 1997).

Cuadro 21. Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) de *Lotus corniculatus* cv. Gran San Gabriel, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Anual | EEM |
|---------------------|---------|-----------|-----------|----------|---------|------|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | | | |
| 90 | 5348 Ab | 5782 Ab | 8398 Aa | 8201 Aa | 27729 A | 804 |
| 95 | 4612 Ab | 5311 Ab | 9392 Aa | 9298 Aa | 28614 A | 1009 |
| 100 | 4946 Ab | 6002 Ab | 8272 Aa | 7931 Aa | 27152 A | 601 |
| CF° | 3248 Bc | 5370 Ab | 7183 Aa | 5695 Bab | 21495 B | 638 |
| Promedio | 4539 b | 5616 b | 8311 a | 7781 a | 26248 | 546 |
| EEM | 387 | 877 | 980 | 744 | 1676 | |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | | | |
| 90 | 5345 Ab | 8790 Aa | 9588 Aa | 7906 Aab | 31629 A | 1174 |
| 95 | 5376 Ac | 6547 ABbc | 10892 Aa | 8288 Ab | 31103 A | 887 |
| 100 | 5654 Ac | 6003 BCbc | 9373 Aa | 7483 Ab | 28514 A | 670 |
| CF° | 4053 Ab | 3949 Cb | 6273 Ba | 4216 Bb | 18490 B | 663 |
| Promedio | 5107 c | 6322 bc | 9031 a | 6973 b | 27434 | 684 |
| EEM | 895 | 874 | 758 | 958 | 2887 | |

Promedios con letra mayúscula diferente en una columna y letra minúscula diferente en una hilera son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

4.6.2 Composición botánica y morfológica

En el rendimiento anual por componente morfológico y botánico dentro de los tratamientos presentaron diferencias ($p \leq 0.05$) en la hoja en el segundo año y en tallo en ambos años (Cuadro 22). La mayor cantidad de hoja en el segundo año se presentó en el 90 y 95 % LI con 15,146 kg MS ha⁻¹, y al 90 y 100 % IL la mayor proporción de tallo, en ambos años con 9,646 kg MS ha⁻¹, promedio, siendo similar al 95 % IL, en el segundo año, mientras que, el corte fijo registró la menor cantidad de hoja (10,301 kg MS ha⁻¹) y de tallo en ambos años (5,815 kg MS ha⁻¹). La hoja fue el componente que más aportó al rendimiento anual en ambos años en un 50 %, seguida por el tallo (32 %), material muerto (10 %) y la maleza la de menor aporte (8 %). Al respecto,

Teixeira *et al.* (2007) mencionan que la presencia de la maleza en la pradera se incrementa por efecto de establecimiento del cultivo y por la frecuencia de corte.

Cuadro 22. Rendimiento de forraje (kg MS h⁻¹) de *Lotus corniculatus* cv. Gran San Gabriel, en función de porcentajes de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Hoja | Tallo | Material muerto | Maleza |
|---------------------|----------|---------|-----------------|--------|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | |
| 90 | 12978 a | 8757 a | 4393 a | 1601 a |
| 95 | 13817 a | 8568 ab | 4307 a | 1923 a |
| 100 | 13645 a | 8906 a | 3497 a | 1104 a |
| CF° | 10858 a | 6944 b | 3556 a | 1347 a |
| Promedio | 12825 | 8294 | 3938 | 1494 |
| EEM | 1279 | 656 | 1396 | 690 |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | |
| 90 | 15725 a | 10542 a | 1343 a | 4019 a |
| 95 | 14567 a | 9567 a | 987 a | 2094 a |
| 100 | 13852 ab | 10381 a | 1305 a | 2975 a |
| CF° | 10301 b | 4686 b | 1253 a | 3020 a |
| Promedio | 13612 | 8794 | 1222 | 3027 |
| EEM | 1372 | 1236 | 451 | 1087 |

Promedios con letra minúscula diferente en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

Resultados similares encontraron Meredith *et al.* (2011) en ocho genotipos de *Lotus corniculatus* L., quienes relacionaron la reducción de la proporción de los componentes morfológicos con intervalos de cortes menores. Por otra parte, se ha reportado que el mantener el rebrote después de que la pradera ha alcanzado un 95 % LI, conlleva una mayor presencia de tallo, en respuesta a una mayor competencia por luz (Barbosa *et al.*, 2007). Lo anterior fue comprobado en *Arachis pintoi* L., en asociación con *Brachiaria brizantha*, donde la leguminosa

manifestó mayor proporción de tallo y menor hoja al 100 % IL, en respuesta a una mayor competencia por luz (Pereira *et al.*, 2015). Así mismo, se ha reportado que una mayor cantidad de tallo y material muerto corresponden a una mayor edad de la planta, equivalente a un manejo al 100 % de luz interceptada, en la cual hay una pérdida de forraje por mayor respiración (Giacomini *et al.*, 2009).

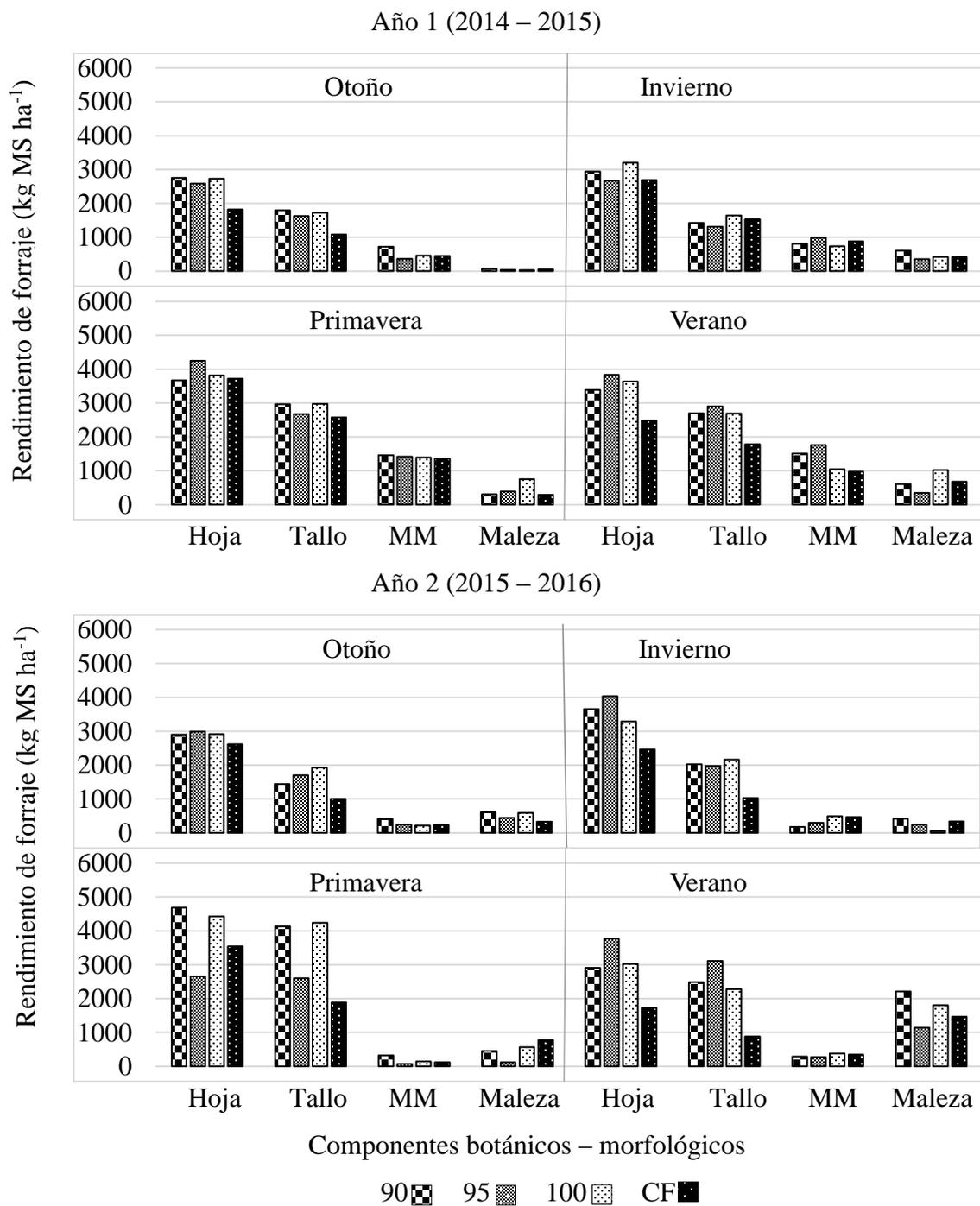


Figura 8. Composición botánica y morfológica de *Lotus corniculatus* L., genotipo Gran San Gabriel en función del porcentaje de luz interceptada (90, 95 y 100) y un intervalo de corte fijo (CF) definido estacional= Otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte. MM = Material muerto.

4.6.3 Relación hoja:tallo

En el primer año de estudio no se presentaron diferencias ($p \geq 0.05$) en los promedios anuales entre tratamientos (Cuadro 23), lo que puede estar relacionado con una producción de hoja similar entre tratamientos (Cuadro 22). En el segundo año, el mayor valor lo registró el corte fijo con 2.3, en contraparte, los porcentajes de luz interceptada (90, 95 y 100) los menores con un promedio de 1.5. En general, en este año, se observó una disminución en la relación hoja:tallo a partir del corte fijo, hasta mayor intercepción luminosa con siguiente secuencia, corte fijo (2.3) > 90 y 95 % LI (1.6) > 100 % LI (1.4). Barbosa *et al.* (2011) atribuyen este comportamiento a una mayor acumulación de tallo y disminución de hoja a intercepciones mayores al 95 %. Ellos encontraron en pasto guinea (*Panicum maximum*) una población de tallos menor manejadas al 100 % LI, explicado por el proceso de competencia intra-especifica por factores que influyen el cercamiento como la luz, mediante el mecanismo conocido como “compensación de población de tallos tamaño/densidad” (Sbrissia and Da Silva, 2008). En contra parte, Gomide *et al.* (2015) encontraron en *Penisetum purpureum* un incremento en hoja, respecto al tallo en los niveles de aprovechamiento al 90 y 95 % LI.

En la comparación estacional, invierno y verano presentaron la mayor y menor relación hoja tallo ($p \leq 0.05$), en ambos años, sin ser diferentes ($p \geq 0.05$) a otoño y primavera en el segundo año, con valores promedios de 2.1 y 1.4, respetivamente. Estos resultados obedecen a una mayor elongación del tallo cuando las condiciones del clima favorecen este proceso dentro de cada estación del año como la luz y la temperatura (Figura 3), como lo establece Bos y Neutboon (1998). Por otra parte, los mayores valores registrados en invierno pueden ser explicados por una mayor penetración de luz en la base del dosel y activación de puntos de crecimientos para una mayor producción de hoja y tallos de menor peso (Sbrissia *et al.*, 2010), lo cual se relaciona también con una menor altura en la planta (Cuadro 24)

Cuadro 23. Relación hoja:tallo de *Lotus corniculatus* cv. Gran San Gabriel, en función de porcentajes de luz interceptada y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Promedio | EEM |
|---------------------|---------|--------------|-----------|---------|----------|------|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | | | |
| 90 | 1.7 Ab | 2.5 Aa | 1.4 Ab | 1.3 Ab | 1.7 A | 0.20 |
| 95 | 1.8 Aab | 2.2 Aa | 1.5 Ab | 1.4 Ab | 1.7 A | 0.24 |
| 100 | 1.7 Aab | 2.3 Aa | 1.4 Aab | 1.3 Ab | 1.7 A | 0.35 |
| CF° | 1.7 Aa | 1.8 Aa | 1.5 Ab | 1.4 Ab | 1.6 A | 0.10 |
| Promedio | 1.7 b | 2.2 a | 1.4 bc | 1.4 c | 1.7 | 0.11 |
| EEM | 0.17 | 0.42 | 0.13 | 0.09 | 0.12 | |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | | | |
| 90 | 2.2 ABa | 1.9 ABab | 1.2 Bb | 1.2 Bb | 1.6 B | 0.3 |
| 95 | 1.8 Bb | 2.1 ABa | 1.2 Bc | 1.2 Bc | 1.6 B | 0.11 |
| 100 | 1.6 Ba | 1.5 Bab | 1.1 Bb | 1.3 Bab | 1.4 B | 0.18 |
| CF° | 2.6 Aa | 2.5 Aab | 1.9 Ac | 2.0 Abc | 2.3 A | 0.19 |
| Promedio | 2.0 a | 2.0 a | 1.3 b | 1.4 b | 1.7 | 0.12 |
| EEM | 0.31 | 0.23 | 0.12 | 0.12 | 0.08 | |

Promedios con letra mayúscula diferente en una columna y letra minúscula diferente en un reglón son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

4.6.4 Altura de planta

Se registraron diferencias ($p \leq 0.05$) en la altura promedio anual, en ambos años (Cuadro 24). Se observó la mayor altura al 95 % LI (28.5 cm, promedio), sin ser diferente ($p \geq 0.05$) al 90 y 100 % LI en el primer año. En contraste, la menor altura la presentó el corte fijo (22.5 cm, promedio). Las praderas manejadas bajo una estrategia de manejo al 95 % LI, mostraron un 21 % más de crecimiento respecto al corte fijo, probable respuesta por un mayor periodo de descanso. En pastos tropicales, se ha reportado una relación alta entre la altura del dosel, interceptación luminosa y dinámica de acumulación de materia seca. Barbosa *et al.* (2011) reportaron en *Panicum maximum* cv. Tanzania, mayores alturas en praderas manejadas al 100 % LI, respecto a un 90 y 95 % LI. Así mismo, Da Silva *et al.* (2009) en pasto Mombaza,

observaron un incremento en la altura al aumentar el periodo de descanso de la planta, siendo mayor al 100 % LI, respecto al 90 %. En *Lotus corniculatus* cv. ARS2620, Moroso *et al.* (2007) observaron un efecto entre la altura y frecuencia de corte, manifestando que, a mayor frecuencia de corte, la altura de la planta se reduce, lo que puede responder a la menor altura registrada en el corte fijo, que conllevó a una mayor producción de hojas y tallos, pero estos últimos de menor peso (Sbrissia *et al.*, 2010) dando como resultado una mayor relación hoja:tallo (Cuadro 23). Estacionalmente, se presentaron diferencias ($p \leq 0.05$) en ambos años (Cuadro 24). En el año 1, la mayor y menor altura se registró en verano e invierno, mientras que, en el segundo año, se presentaron en primavera y otoño, con 29 y 24 cm, respectivamente para ambos años y estaciones, lo que representó un incremento del 17 % en la altura de la planta. Las mayores alturas estacionales correspondieron al momento donde las condiciones ambientales (luz, humedad y temperatura) fueron favorables para el crecimiento de la especie (Figura 3). Zanini *et al.* (2012) reportan un incremento en *Panicum maximum* cv. Aruanas, en verano cuando las plantas son manejadas al 98 % LI. García *et al.* (2014) encontraron mayores alturas al evaluar 12 genotipos de *Lotus corniculatus* L., al registrarse temperaturas máximas de 30 °C, y un descenso en el crecimiento de las plantas por debajo de los 14 °C.

La altura de planta puede ser asociada con producción y calidad del forraje (Hakl *et al.*, 2010). Se ha comentado que en *Lotus corniculatus* la producción de forraje se relaciona con la altura, pero también con el hábito de crecimiento del genotipo, con rendimientos y altura más bajas en genotipos postrados, corroborado también en alfalfa (Hamphr and Hughes, 2006). Por tanto, la altura de la pradera nos da una idea del forraje producido. Por tanto, al calcular la equivalencia de los rendimientos mayores promedios estacionales y de los tratamientos, se obtuvo que cada cm en primavera promedio de los dos años correspondió a 131 kg MS ha⁻¹ corte⁻¹, y 148 kg MS ha⁻¹ corte para el promedio de los porcentajes de las intercepciones de luz.

Cuadro 24. Altura de planta (cm) de *Lotus corniculatus* cv. Gran San Gabriel, en función del porcentaje de luz interceptada (LI) y un corte fijo (CF) definido estacionalmente.

| LI (%) | Otoño | Invierno | Primavera | Verano | Promedio | EEM |
|---------------------|--------|----------|-----------|--------|----------|-----|
| Año 1 (2014 – 2015) | | | | | | |
| 90 | 26 Aab | 25 Ab | 28 Aab | 30 Aa | 27 A | 1.4 |
| 95 | 25 Ab | 24 ABb | 28 Aab | 31 Aa | 27 A | 1.4 |
| 100 | 26 Abc | 24 ABc | 27 ABb | 30 Aa | 27 A | 0.8 |
| CF° | 25 Aa | 22 Bb | 25 Ba | 24 Ba | 24 B | 0.8 |
| Promedio | 26 bc | 24 c | 27 ab | 29 a | 26 | 1.0 |
| EEM | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 0.9 | |
| Año 2 (2015 – 2016) | | | | | | |
| 90 | 24 Ba | 26 Aa | 26 BCa | 26 ABa | 26 B | 1.4 |
| 95 | 27 Ab | 27 Ab | 37 Aa | 30 ABb | 30 A | 2.5 |
| 100 | 24 Bb | 29 Aab | 30 Bab | 33 Aa | 29 AB | 2.4 |
| CF° | 20 Cb | 18 Bc | 23 Ca | 23 Ba | 21 C | 0.7 |
| Promedio | 24 c | 25 bc | 29 a | 28 ab | 27 | 1.2 |
| EEM | 0.8 | 2.2 | 1.2 | 2.7 | 1.3 | |

Promedios con letra mayúscula diferente en una columna y letra minúscula diferente en una hilera son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). EEM = error estándar medio, CF° = otoño: 5, invierno: 6, y primavera -verano: 4 semanas entre corte.

4.7 CONCLUSIONES GENERALES

- ❖ La mejor estrategia de cosecha fue considerando el porcentaje de luz interceptada por la pradera, en particular al 95 % en los genotipos 255301 y Estanzuelas Ganador.
- ❖ La hoja, en todos los genotipos, fue la que mayor aporte hizo al rendimiento anual, en aproximadamente 50 %, seguida por el tallo, material muerto y maleza.
- ❖ En los genotipos estudiados, a excepción de Gran San Gabriel, la mayor producción de hoja se registró en el 95 % de luz interceptada, lo que indica una mejor calidad del forraje.
- ❖ En otoño e invierno, se presentó la mayor relación hoja:tallo, contrastando con la menor altura de planta.
- ❖ Entre tratamientos, el corte fijo registró la mayor relación hoja:tallo, explicado por una mayor frecuencia de corte que permitió cosechar la pradera en la fase de crecimiento inicial donde hubo mayor producción de hoja.
- ❖ Dado que se registraron los menores rendimientos de forraje anual, estacional y de hoja, en el corte fijo definido estacionalmente, no se recomienda manejar la especie bajo esta estrategia de manejo.

4.8 LITERATURA CITADA

- Baguet, H.A. and 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/produccioymanejopastras/pastoreosistemas/04fisiologia_de_la_planta_pastoreada.htm (Consulta el 10-09-17).
- Barbosa, R. A, D. Nascimento Jr., V. Batista-Euclides P., C. Da Silva S., H. Zimmer A., and DA. Torres Jr. R. 2007. Capim-tanzânia submetido a combinações entre intensidade e frequência de pastejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 42:329–340.
- Barbosa, R. A., D. Nascimento Jr., H. Vilela H., S. Da Silva C., V. Batista-Euclides P., A. Sbrissia F., and B. Da Lana S. 2011. Morphogenic and structural characteristics of guinea grass pastures submitted to three frequencies and two defoliation severities. Revista Brasileira de Zootecnia. 40: 947-954.

- Bos, H. J. and H. Neuteboon J. 1988. Morphological analysis of leaf and tiller number dynamics of wheat (*Triticum aestivum* L.): responses to temperature and light intensity. *Annals of Botany*. 81:131-139.
- Carnevali, R. A., C. Da Silva S., A. Oliveira, A., C. Uebele, M., O. Bueno F., Hodgson J., V. Silva G. and P. Morales J. 2006. Herbage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. Mombaça pastures under four grazing managements. *Tropical Grasslands*. 40:165–176.
- Carter, E. B., K. Theodorou M. and Morris P. 1997. Responses of *Lotus corniculatus* to environmental change. I. Effects of elevated CO₂, temperature and drought on growth and plant development. *New Phytologist*, 136(2): 245-253.
- Da Silva S. C., and D. Nascimento Jr. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 36:121-138.
- Da Silva, S. C, O. Bueno A. A., A. Carnevali R., C. Uebele M., O. Bueno F., Hodgson J, GD. Morais JP. 2009. Sward structural characteristics and herbage accumulation of *Panicum maximum* cv. Mombaça subjected to rotational stocking managements. *Scientia Agrícola*. 66:8-19.
- Da Silva, S. C., y A. Hernández G. 2010. Manejo de pastoreo en praderas tropicales. Forrajes y su impacto en el Trópico. 1ra (Ed.). México. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). pp:43-62.
- Díaz, L., J. E., J. García A., y M. Rebuffo. 1996. Crecimiento de leguminosas en la Estanzuela. INIA (ed). Serie Técnica 71:12.
- Difante, G. S., D. Nascimento Jr., C. Da Silva S., V. Batista-Euclides P., A. de Moura Z., B. Adese. 2008. Dinâmica do perfilhamento do capim-marandu cultivado em duas alturas e três intervalos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 37(2): 89-196.
- Difante, G. S., D. Nascimento Jr., V. Batista-Euclides P., S. Da Silva C., R. Barbosa A., W. Goncalves V. 2009. Sward structure and nutritive value of tanzania guineagrass subjected to rotational stocking managements. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 38(1): 9-19.
- García E. 2004. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. pp:217.

- García, B. D. V., J de D. Guerrero R., G. García de los S., S. A. Lagunes R. 2014. Rendimiento y calidad de forraje de genotipos de *Lotus corniculatus* L., en el Estado de México. *Nova Scientia*. 7(13):170-189.
- Giacomini A. A., S. Da Silva C., D. O. Sarmiento de L., C. Zeferino V., S. Souza Jr. J., J. Da Trindade K., V. Guarda Del A., and D. Nacimiento Jr. 2009. Growth of Marandu palisadegrass subjected to strategies of intermittent stocking. *Revista Scientia Agricola Sci. Agric. (Piracicaba, Brazil)*. 66(6):733-741.
- Gomide, AM C., C. Chaves S., K. Ribeiro G., L. Sollenberger E., D. Paciullo SC, T. Pereira P., F. M. Morenz J. 2015. Structural traits of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) genotypes under rotational stocking strategies. *African Journal of Range & Forage Science*. pp: 1-7.
- Hakl, J., S' Antru° C' EK J., Fuksa P. and Kraj I' C L. 2010. The use of indirect methods for the prediction of lucerne quality within the first cut under the conditions of central Europe. *Czech Journal of Animal Science*. 55:258–265.
- Halling, M. A., Topp, C. F. E. and Doyle, C. J. 2004. Aspects of the productivity of forage legumes in northern Europe. *Grass and Forage Science*. 59: 331-344.
- Humphr, I. E. S. A. W. and J. Hughes S. 2006. Preliminary evaluation of diverse Lucerne (*Medicago sativa* sspp.) germplasm to identify new material for livestock and cropping based farming systems in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*. 57:1297-1306.
- Lambers, H. 1987. Does variation in photosynthetic rate explain variation in growth rate? *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 35:505-519.
- Ludlow, M. M. and NG T. T. 1977. Leaf elongation rate in *Panicum maximum* var. trichoglume following removal of water stress. *Australian Journal of Plant Physiology*. 42:263-272.
- Marcelino, K. R. A., D. Nascimento Jr., S. Da Silva C., V. P. Euclides B., D. Da Fonseca M. 2006. Características morfogênicas e estruturais e produção de forragem do capim-marandu submetido a intensidades e frequências de desfolhação. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 35(6): 2243-2252.
- Maroso, R. P., S. Meredith SB., and M. Carneiro C. 2007. Rebrotas de Lotus spp. de diferentes hábitos de crescimento. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 36(5):1524-1531.

- Mattera J., L. Romero A., A. Cuatrina L., P. Cornaglia S., and A. Grimoldi A. 2013. Yield components, light interception and radiation use efficiency of Lucerne (*Medicago sativa* L.) in response to row spacing. *European Journal of Agronomy*. 45:87-95.
- Matthew, C., G. Assuero, S., K. Black C. *et al.* 2000. Tiller dynamics of grazed swards. In: Lemaire, G., J. Hodgson, A. de Morales, C. Nabinger, C. de F Carvalho P. 2000. *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. Wallingford: CABI Publishing. pp:127-150.
- Meredith, S-B S., Brustolin R., and D. Agnol M. 2011. Performance of *Lotus corniculatus* L. genotypes submitted to cutting interval: subsidies to a breeding program. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 40 (8):1645-1650.
- Montagner, D. B., D. Nascimento Jr., H. Vilela H., B. Sousa M. de L, V. P. Euclides B., S. Da Silva C., and M. Carloto N. 2012. Tillering dynamics in pastures of guinea grass subjected to grazing severities under intermittent stocking. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 41(3): 544-549.
- Ortíz, S., C. 1997. Colección de Monolitos. Departamento de génesis de suelos. Edafología. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, estado de México. 123 p.
- Pereira, C. J., F. Gomes K., M. Oliveira DB., and S. Lara A. 2017. Thiago F Bernardes and Daniel R Casagrande. 2017. Defoliation management affects morphogenetic and structural characteristics of mixed pastures of brachiaria grass and forage peanut. *African Journal of Range & Forage Science*. 34(1):13-19
- Rojas G., A. R., A. Hernández G., S. Joaquín, C., S. I. Mendoza, P., J. D. Guerrero R., y J. L. Zaragoza, R. 2012. Comportamiento productivo y rendimiento de forraje de cinco variedades de alfalfa. 2da Reunión Internacional conjunta de manejo de pastizales y producción animal. Zacatecas, México. pp: 336-340.
- Rojas, G. AR., A. Hernández G., S. Joaquin C., M. de los A. Maldonado P., SI. Mendoza P., P. Álvarez V., y BM. Joaquin T. 2016. Comportamiento productivo de cinco variedades de alfalfa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(8):1855-1866.
- Santiñaque F., F. Y., y P. de Battista J. 2003. Niveles de agua y frecuencias de defoliación en el comportamiento de *Lotus corniculatus* L. *Revista Agrociencia*. 7:41-51.

- Santos, P. M., A. Balsalobre M., and Corsi M. 2004. Características morfogénicas e taxa de acúmulo de forragem do capim mombaça submetido a três intervalos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 33(4):843-851.
- SAS, Institute. 2009. SAS/STAT® 9.2. User Guide Release. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA.
- Sbrissia, A. F., S. Da Silva C., OL. Sarmiento D., LK. Molan, F. Andrade M. E., A. Goncalves C. and A. Lupinacci V. 2010. Tillering dynamics in palisadegrass swards continuously stocked by cattle. *Plant Eco*. 206:349-359.
- Scheffer, B. M. S., Brustolin R. y M. Dall A. 2011. Performance of *Lotus corniculatus* L. genotypes submitted to cutting interval: subsidies to a breeding program. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 40(8):1645-1650.
- Smith, D., and J. Nelson, C. 1967. Growth of birdsfoot trefoil and alfalfa. Response to height and frequency of cutting. *Crop Science*. 7:130-133.
- Teixeira, E. I., M. Derrick J., B. Hamish E., and F. Andrew L. 2007. The dynamics of Lucerne (*Medicago sativa* L.) yield components in response to defoliation frequency. *European Journal of Agronomy*. 26:394–400.
- Villegas, A. Y., A. Hernández G., J. Pérez P., C. López C., J. G. Herrera H., J. F. Enríquez Q., A. Gómez V. 2004. Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Técnica Pecuaria en México*. 42(2): 145-158.
- Woledge, J. 1997. The effects of shading and cutting treatments on the photosynthetic rate of ryegrass leaves. *Annals of Botany*. 41:1279-1286.
- Zanini, D. G., G. Santos T. and A. Sbrissia F. 2012. Frequencies and intensities of defoliation in Aruana guineagrass swards: morphogenetic and structural characteristics. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 41(8):1848-1857.