

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



Efecto del inoculante *Rhizobium* en el comportamiento productivo de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), en la estación de primavera

Por:

ALDO IVÁN VILLANUEVA CÓRDOBA

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Efecto de *Rhizobium* en el comportamiento productivo de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), en la estación de primavera

POR:

ALDO IVÁN VILLANUEVA CÓRDOBA

TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador
como requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobada por:



Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez

Asesor Principal



Dr. Armando Hernández Pérez

Coasesor



Dr. Juan A. Granados Montelongo

Coasesor



Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Febrero de 2020

RESUMEN

En México, se desconoce ampliamente el potencial productivo trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.). El objetivo fue determinar características morfológicas y de rendimiento de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) genotipo 255301 con y sin la inoculación de *Rhizobium*, en macetas bajo condiciones de invernadero. El estudio se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, del 4 de mayo al 22 de junio de 2019 en condiciones de invernadero, bajo un diseño completamente al azar, con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron rendimiento de forraje, composición botánica y morfológica, relación hoja: tallo (R:H/T), producción de hoja por tallo, peso por tallo, altura de la planta, diámetro de dosel, área foliar por tallo, y radiación interceptada. El rendimiento de forraje presentó su máximo valor en la semana cinco con 6.1 g MS planta⁻¹ en el tratamiento sin inocular, respecto a la inoculada. En la composición botánica y morfológica, el componente hoja, en ambos tratamientos, es la que mayor aporte hizo al rendimiento, registrando su mayor valor en la semana cinco con 4.4 g MS planta⁻¹. La relación hoja:tallo registró una tendencia descendente con forme avanzaron las semanas de rebrote, teniendo su valor máximo en las semanas uno y dos con 2.1. En la altura de la planta, el valor más alto se registra en el tratamiento sin inocular en la semana siete, con 39 cm, al igual que registra el valor más bajo en la semana uno con 12 cm. El valor más alto en la interceptación luminosa se registró en la semana cuatro con un valor de 87 % en el tratamiento inoculado, por lo que no cumple el punto óptimo de cosecha que se representa 95 % de luz interceptada. No hubo efecto del inoculante *Rhizobium* en el comportamiento productivo de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L, genotipo 255301) El rendimiento de forraje se incrementó con la edad de rebrote donde el componente principal fue la hoja, además de que tiene un comportamiento similar a las variables evaluadas, a excepción de la relación hoja: tallo.

Palabras clave: *Lotus Corniculatus* L., rendimiento de forraje, composición botánica y morfológica, radiación interceptada, altura de planta.

ABSTRACT

In Mexico, the productive potential of the bird-legged clover (*Lotus corniculatus* L.) is unknown. The objective was to determine the morphological and performance characteristics of the bird's foot clover (*Lotus corniculatus* L.) genotype 255301 with and without *Rhizobium* inoculation, in pots under greenhouse conditions. The study was carried out at the Antonio Narro Autonomous Agrarian University, Buenavista, Saltillo, Coahuila, from May 4 to June 22, 2019 under greenhouse conditions, under a completely randomized design, with three repetitions. The variables evaluated were forage yield, botanical and morphological composition, leaf-to-stem ratio (R:H / T), leaf-to-stem production, weight per stem, plant height, canopy diameter, leaf area per stem, and intercepted radiation. The forage yield presented its maximum value in week five with 6.1 g DM plant⁻¹ in the uninoculated treatment, compared to the inoculated one. In the botanical and morphological composition, the leaf component, in both treatments, is the one that made the greatest contribution to yield, registering its highest value in week five with 4.4 g DM plant⁻¹. The leaf-to-stem ratio registered a downward trend as the weeks of regrowth advanced, having its maximum value in weeks one and two with 2.1. At the height of the plant, the highest value is recorded in the treatment without inoculation in week seven, with 39 cm, as well as the lowest value in week one with 12 cm. The highest value in the light interception was recorded in week four with a value of 87% in the inoculated treatment, so it does not meet the optimum harvest point that represents 95% of intercepted light. There was no effect of the *Rhizobium* inoculant on the productive behavior of bird's foot trefoil (*Lotus corniculatus* L, genotype 255301). The forage yield increased with the age of regrowth where the main component was the leaf, in addition to having a behavior similar to the variables evaluated, with the exception of the leaf: stem relationship.

Keywords: *Lotus Corniculatus* L, forage yield, botanical and morphological composition, intercepted radiation, plant height.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por otorgarme la vida, una vida que se encuentra llena de retos y uno de ellos es mi formación profesional que con el paso del tiempo me he dado cuenta que más allá de ser un reto, es un entendimiento para mi futuro.

A mi “ALMA TERRA MATER” Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por haberme aceptado ser parte de ella y abrirme las puertas del conocimiento en el sector agropecuario a través de cada uno de mis formadores, personas de gran sabiduría que fueron parte fundamental para lograrlo.

A mi apreciable familia por creer en mí, sé que no ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero con sus aportes, sus consejos, el apoyo y sobre todo el cariño que me demuestran han logrado que se cumpla una meta más.

A mi asesor de tesis Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez por el enorme apoyo, asesoría y orientación que me reflejo a través de sus conocimientos y enseñanzas y sobre todo la disposición de su tiempo.

A mis maestros y maestras, que fueron los que me transmitieron sus conocimientos y su gran sabiduría, además de los grandes consejos y enseñanzas que me permitieron seguir adelante y poder llegar a donde me encuentro ahora.

A mis amigos, que fueron personas importantes en el tiempo de mi formación profesional, ya que siempre estuvieron en los buenos y malos momentos, les agradezco por sus buenos consejos, experiencias y sobre todo el apoyo mutuo que existió para poder hacer el tiempo compartido en la Narro algo extraordinario.

DEDICATORIA

A MIS PADRES: Ma. Del Rosario Córdoba Obregón y José Luis Villanueva Bravo quienes, durante el proceso de mi formación profesional, han sido mi motivación. Gracias por el por el inmenso apoyo, sacrificio y sobre todo el aliento constante, que me han brindado todo el tiempo, orgullosamente hoy logro finalizar uno de mis mayores sueños en la vida, de igual manera recibo de parte de ustedes la mejor herencia en mi vida, con el presente trabajo, les brindo un pequeño homenaje lleno de gratitud y cariño.

A MI ESPOSA: Marina Leonardo Peña, te agradezco porque siempre estuviste conmigo en todo momento, tu ayuda ha sido fundamental, todo este tiempo ha sido difícil, sin embargo hemos aprendido a salir adelante, gracias por todo.

A MI HIJA: Aislinn Janetzy Villanueva Leonardo, quizás en este momento no logres entender mis palabras, pero cuando tengas la capacidad de hacerlo, quiero que te des cuenta de lo significas para mí, fuiste la principal razón para que día con día me levantara y me esforzara por el presente y el futuro, siempre te llevo en el corazón mi Janis.

A MI HERMANO: V. Alonso Villanueva Córdoba, te agradezco por todo el apoyo que me has brindado, estoy en deuda con tigo, además por todas tus enseñanzas para lograr ser una persona de metas y objetivos.

INDICE GENERAL

I.INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.1.1 Objetivos particulares.....	3
1.2 HIPÓTESIS.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Origen del trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.)	4
2.2 Importancia agronómica de trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.).....	6
2.3 Características morfológicas de <i>Lotus corniculatus</i> L.	6
2.4 Factores que afectan el rebrote en las plantas forrajeras	7
2.4.1 Índice de área foliar.....	8
2.4.2 Meristemas de crecimiento	9
2.5 Factores que afectan el comportamiento productivo del genero <i>Lotus</i>	10
2.5.1 Radiación solar	10
2.5.2 Temperatura.....	11
2.5.3 Humedad.....	11
2.5.4 Suelo.....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1 Localización y descripción del sitio experimental.....	14
3.2 Condiciones meteorológicas	14
3.3 Material genético.....	15
3.4 Diseño experimental	15
3.5 Variables medidas y calculadas.....	16

3.6 Rendimiento de forraje (g MS planta ⁻¹)	16
3.7 Composición botánica y morfológica	16
3.8 Relación hoja:tallo.....	17
3.9 Altura de planta.....	17
3.10 Área foliar por tallo.....	17
3.11 Radiación interceptada	18
3.12 Análisis estadístico	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
4.1 Rendimiento de forraje (g MS planta ⁻¹)	19
4.2 Composición botánica y morfológica	20
4.3 Relación hoja:tallo.....	22
4.4 Producción de hoja por tallo.....	24
4.5 Peso por tallo	25
4.6 Altura de planta.....	26
4.7 Diámetro de dosel.....	27
4.8 Área foliar por tallo.....	28
4.9 Radiación interceptada	30
V. CONCLUSIONES	33
VI. LITERATURA CITADA	34
VII. ANEXOS	41

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis de varianza de rendimiento de forraje (g MS planta ⁻¹) en trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.), sometida a diferentes edades de cosecha.....	41
Cuadro 2. Análisis de varianza de la relación hoja:tallo (R:H/T) en trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.), sometida a diferentes edades de cosecha.....	42
Cuadro 3. Análisis de varianza de producción de hoja por tallo (g tallo ⁻¹) en trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.), sometida a diferentes edades de cosecha.....	43
Cuadro 4. Análisis de varianza del peso de tallo (g tallo ⁻¹) en trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.), sometida a diferentes edades de cosecha.....	44
Cuadro 5. Análisis de varianza de la altura de planta (cm) en trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.), sometida a diferentes edades de cosecha.....	45
Cuadro 6. Análisis de varianza del diámetro de dosel (cm) en trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.), sometida a diferentes edades de cosecha.....	46
Cuadro 7. Análisis de varianza del área foliar por tallo (cm ²) en trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.), sometida a diferentes edades de cosecha.....	47

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Registro de la distribución de trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.) en la actualidad a nivel provincia (Tomada de Open Street Map Tiles, GBIF).....	5
Figura 2. Registro de la distribución de trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.) en la actualidad a nivel mundial (Tomada de Open Street Map Tiles, GBIF).....	5
Figura 3. Estructura de una planta de <i>Lotus corniculatus</i> L. (Silveira, D., 2011).....	7
Figura 4. Temperaturas máximas, medias y mínimas y precipitación acumulada durante el periodo de estudio (04 de mayo al 22 de junio de 2019).....	15
Figura 5. Rendimiento de forraje (g MS planta ⁻¹) de trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.), cosechado a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula, entre semanas para cada tratamiento son diferentes estadísticamente ($p>0.05$), diferente literal mayúscula, dentro de cada semana de rebrote, indican diferencia entre tratamientos ($p>0.05$).....	20
Figura 6. Composición botánica y morfológica (g planta ⁻¹) donde ● T= Testigo (sin inocular) e ▲ I = Tratamiento inoculado.....	22
Figura 7. Relación hoja:tallo (R:H/T) de trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.) cosechado a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula, entre semanas para cada tratamiento son diferentes estadísticamente ($p>0.05$), diferente literal mayúscula, dentro de cada semana de rebrote, indican diferencia entre tratamientos ($p>0.05$). .	23
Figura 8. Producción de hoja por tallo (g tallo ⁻¹), de trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.) cosechado a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula, entre semanas para cada tratamiento son diferentes estadísticamente ($p>0.05$), diferente literal mayúscula, dentro de cada semana de rebrote, indican diferencia entre tratamientos ($p>0.05$).....	25
Figura 9. Peso de tallo (g tallo ⁻¹), de trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.) cosechado a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula, entre semanas para cada tratamiento son diferentes estadísticamente ($p>0.05$), diferente literal mayúscula, dentro de cada semana de rebrote, indican diferencia entre tratamientos ($p>0.05$). .	26
Figura 10. Altura de planta (cm) de trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L) cosechado a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula, entre semanas para	

cada tratamiento son diferentes estadísticamente ($p>0.05$), diferente literal mayúscula, dentro de cada semana de rebrote, indican diferencia entre tratamientos ($p>0.05$). .27

Figura 11. Diámetro de dosel (cm), de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) cosechado a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula, entre semanas para cada tratamiento son diferentes estadísticamente ($p>0.05$), diferente literal mayúscula, dentro de cada semana de rebrote, indican diferencia entre tratamientos ($p>0.05$). .28

Figura 12. Área foliar por tallo ($\text{cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$) de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L) cosechado a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula, entre semanas para cada tratamiento son diferentes estadísticamente ($p>0.05$), diferente literal mayúscula, dentro de cada semana de rebrote, indican diferencia entre tratamientos ($p>0.05$). + = datos no determinados.30

Figura 13. Radiación interceptada (%) con los métodos del sensor quantum (a) y la regla (b) de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), cosechado a diferente edad de rebrote.....32

I.INTRODUCCIÓN

En México la alimentación de la ganadería, se basa principalmente en pastizales y praderas de corte o pastoreo (Velasco *et al.*, 2010), sin embargo el 50 % del territorio nacional es ocupada por esta actividad con 193, 419, 369 ha, convirtiéndose en la principal actividad de uso de suelo del país (SAGARPA, 2016), especialmente en la ganadería bovina (Velazco *et al.*, 2001). Así mismo, existen regiones ecológicas con una excelente biodiversidad de sus recursos genéticos para el uso de esta actividad, tales regiones corresponden al 25 % zona árida, 20 % semiárido, 23 % templado, 15 % trópico seco y 12 % trópico húmedo (SAGARPA, 2016). Por lo anterior, surge la necesidad de incrementar la eficiencia de los recursos forrajeros, mediante el incremento de especies forrajeras en las diferentes regiones ecológicas (Lüscher *et al.*, 2014).

En climas templados de las leguminosas más utilizadas para la producción pecuaria, se tiene la alfalfa (*Medicago sativa* L.), trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) y el trébol blanco (*Trifolium repens* L.). Dentro del género *Lotus*, trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L), es una especie de las de mayor importancia forrajera, la cual representa el 90 % del área mundial sembrada (Escaray *et al.*, 2012). Su alta aceptación en el mundo, la convierte en la especie más estudiada ya que es destacada, por su alto valor nutricional similar al de la alfalfa y otros tréboles (Marley *et al.*, 2006). De igual manera *Lotus corniculatus* L, evita el timpanismo en rumiantes gracias al contenido de taninos condensados, al igual que protegen a las proteínas de su degradación en el rumen (Williams *et al.*, 2011), tolera un pH que va desde 5.5 hasta un 7.5 (Canals *et al.*, 2009), se adapta a suelos pobres en fertilidad (Striker *et al.*, 2005), condiciones que en la mayoría de especies de trébol blanco y rojo no pueden prosperar (Grant, 2009), así mismo es resistente al frío, la sequía y prospera en suelos inundados. En los reportes de rendimiento de forraje muestra de 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, el rebrote es el factor primordial que determina la

productividad de una pradera, al igual que es restringido por condiciones ambientales, tales como la temperatura, humedad, fertilidad del suelo, luz y manejo (Difante *et al.*, 2009).

En cuanto a su respuesta animal. Los porcentajes de digestibilidad varían de 61.2 a 71.6 %, sus concentraciones de fibra insoluble en detergente neutro (FDN) están entre 27.4 a 34.7 % y de fibra insoluble en detergente ácido (FDA) entre 23 y 24 % (Ramírez-Restrepo *et al.*, 2006). No obstante, el trébol pata de pájaro es poco conocida y difundida en México, no es el caso en Europa, Asia Menor, Norte de África y Norte América y Sudamérica (García y Jeffrey, 2003). Dentro de sus desventajas se atribuye un crecimiento inicial lento, no admite aprovechamientos intensos y frecuentes y presenta poca persistencia y productividad (Ixtaina y Mujica, 2010) primordialmente bajo pastoreo en virtud de su hábito de crecimiento (Moroso *et al.*, 2007). Por lo cual, es importante encontrar variedades que en cuanto a producción de materia seca sobresalgan, así como desarrollar estrategias de manejo que ayuden entender el comportamiento productivo de esta especie. En las especies del trópico se han establecido criterios para tener un mejor aprovechamiento, tales como la cantidad de luz interceptada, respectivamente Montagner *et al.* (2012) implantó que el 95 % de la luz interceptada por la pradera es el punto óptimo de cosecha, condición en la cual la competencia por luz es mínima y se tiene un valor nutricional alto en el forraje (Da Cunha *et al.*, 2010). En especies forrajeras templadas como la alfalfa se detectó una alta correlación ($R^2 = 0.98$) de la radiación interceptada con el rendimiento de forraje (Rojas *et al.*, 2016).

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar características morfológicas y de rendimiento en trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) genotipo 255301 con y sin la inoculación de *Rhizobium* en macetas bajo condiciones de invernadero.

1.1.1 Objetivos particulares

- Establecer la curva de crecimiento en la estación de primavera, para determinar su comportamiento productivo de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) con y sin inoculación de *Rhizobium*.
- Calcular la acumulación de forraje con base a la edad de rebrote, componentes del rendimiento y composición botánica de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) con y sin inoculación de *Rhizobium*.

1.2 HIPÓTESIS

- Conforme aumenta la edad de rebrote de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) con y sin inoculación de *Rhizobium* se incrementa el rendimiento, radiación interceptada, altura de la planta, sin embargo, se reduce la relación hoja: tallo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen del trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.)

El trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) es una leguminosa con origen Europeo, donde se inició su uso en jardines. En la actualidad su utilización se ha extendido a países como Estados Unidos de América, Australia, Argentina y Chile, con unas 500,000 ha en pasturas polifíticas (Canals *et al.*, 2009). En la Península Ibérica se encuentra espontáneamente en buena parte de su territorio, aunque su uso como cultivo forrajero es poco conocida y difundida en México, pero ampliamente difundida en Europa, Asia Menor, Norte de África y Sudamérica (García y Jeffrey, 2003). En Europa es utilizada en sistemas pastoriles como especie forrajera de alta producción, reportando rendimientos entre 8.000-10.000 kg de materia seca (MS) por hectárea y por año en suelos agrícolas (Escaray, 2012).

Por su origen europeo, esta especie se desarrolla mejor en climas templados y fríos, aunque también se adapta en latitudes tropicales y subtropicales y suelos que van desde arcillosos hasta arenosos, secos e inundados (Jones y Turkington, 1986, Acuña, 1998).

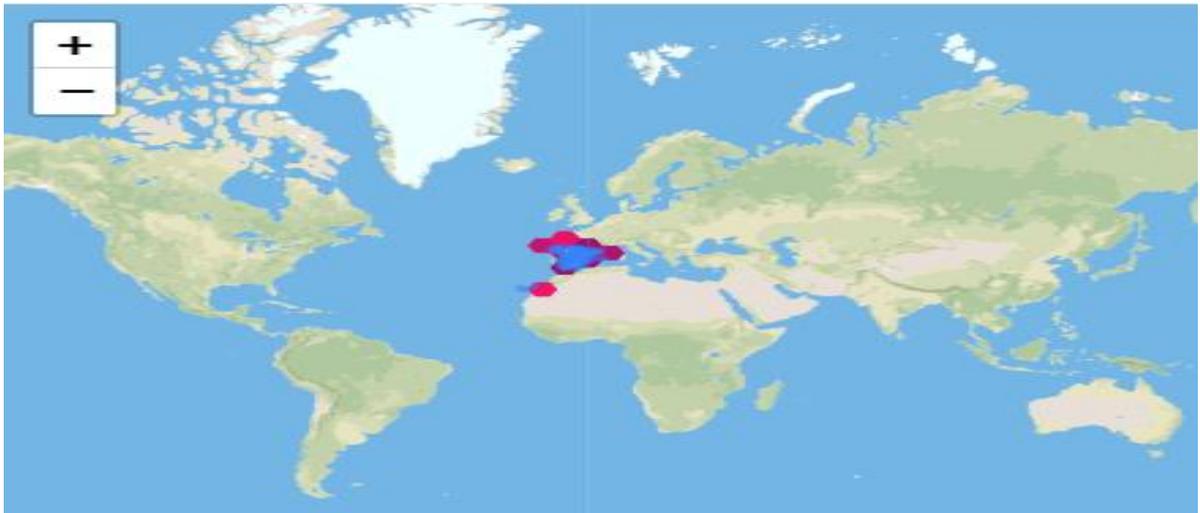


Figura 1. Registro de la distribución de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) en la actualidad a nivel provincial (Tomada de Open Street Map Tiles, GBIF. Consultada 22 de Enero 2020).

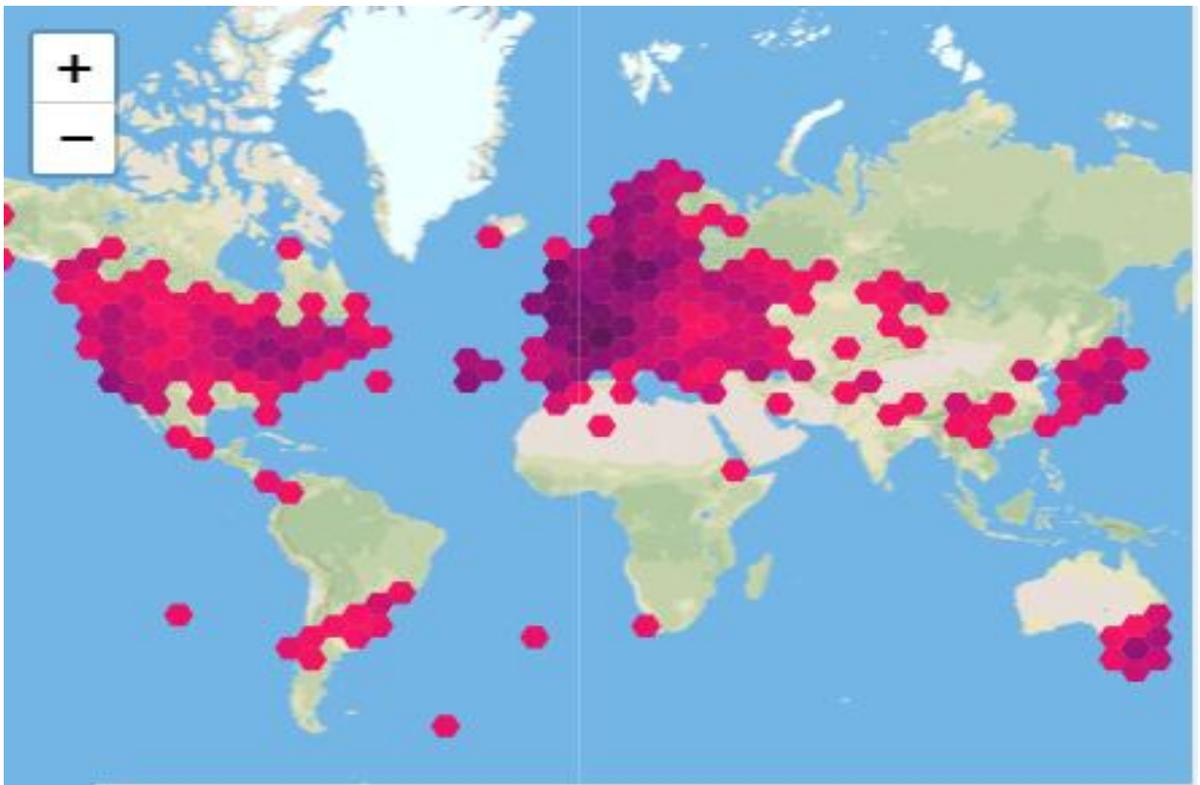


Figura 2. Registro de la distribución de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) en la actualidad a nivel mundial (Tomada de Open Street Map Tiles, GBIF. Consultada 22 de enero 2020).

2.2 Importancia agronómica de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.)

El trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) es una especie perenne que se adapta a diferentes niveles de fertilidad. Olmos (1996), crece a una altitud que va de los 2000 a los 3000 msnm (Muslera y Ratera, 1991), soporta cambios climatológicos como el frío y el calor, tiende a tolerar moderadamente la sequía estival; sin embargo, los mejores climas donde se desarrolla son en climas fríos y húmedos con precipitaciones de 400 a 1,200 mm (Canals *et al.*, 2009), el trébol pata de pájaro tiene un excelente potencial forrajero mediante el cual puede ser el principal cultivo en regiones templadas del mundo, a través del tiempo (Grant, 2009), La particularidad nutricional es comparable a la de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) y la del trébol blanco (*Trifolium repens* L.) por su contenido de proteína de excelente calidad, de alrededor de 17.7 a 21.6 % (Marley *et al.*, 2006).

Con un contenido bajo en celulosa y alto contenido de carbohidratos no estructurales (Grant, 2009). Del total de área mundial sembrada con especies de *Lotus*, el trébol pata de pájaro ocupa el 90 % (Escaray *et al.*, 2012); su alta aceptación en el mundo, la convierte en la especie más estudiada (Cuitiño, 2012). La producción de forraje basado en rendimiento de materia seca va de 10,000 a 13,300 kg MS ha⁻¹ (Ramírez-Restrepo *et al.*, 2006). Es una excelente fuente de forraje para bovinos y ovinos (Grant, 2009); la principal ventaja es la presencia de taninos, los cuales se caracterizan por impedir la formación de gases y espuma en el rumen y se evite el timpanismo (Lagler, 2003), además de proteger a las proteínas de la degradación en el rumen (Williams *et al.*, 2011). Sin embargo, las desventajas que sobresalen son; lento establecimiento inicial, no admite aprovechamientos intensos, cosechas frecuentes y baja persistencia y productividad (Ixtaina y Mujica, 2010).

2.3 Características morfológicas de *Lotus corniculatus* L.

Es una planta con una altura aproximada de 50 cm, de color verde claro con tallos macizos, muy rara vez huecos de porte erecto y fuertes. (Ayala y Carámbula,

2009). Su hábito de crecimiento es a partir de una corona de la cual emergen los rebrotes que dan origen a nuevos tallos (Silveira, 2011). Su sistema radicular está formado por una raíz pivotante de la cual brotan varias ramificaciones, en el tallo se encuentran nudos, los cuales cuando están en contacto con el suelo brotan raicillas que a su vez tienen muchas ramificaciones de otros tallos. Las hojas están formadas por cinco folíolos, dos de ellos son basales y tres apicales digitados. Las inflorescencias son en umbelas axilares con 2 a 7 flores de color amarillo, por lo menos 15 mm de longitud (Ayala y Carámbula, 2009), da origen a pequeñas vainas las cuales contienen de 2 a 8 semillas (Benitez, 1980), comparativamente son más grandes que los demás géneros de *Lotus* (Ayala y Carámbula, 2009).

Se caracteriza por un hipocotíleo de color verde, con cotiledones de forma oblonga y un epicotíleo verde, glabro o con tricomas ralos (Seaney y Henson, 1970).

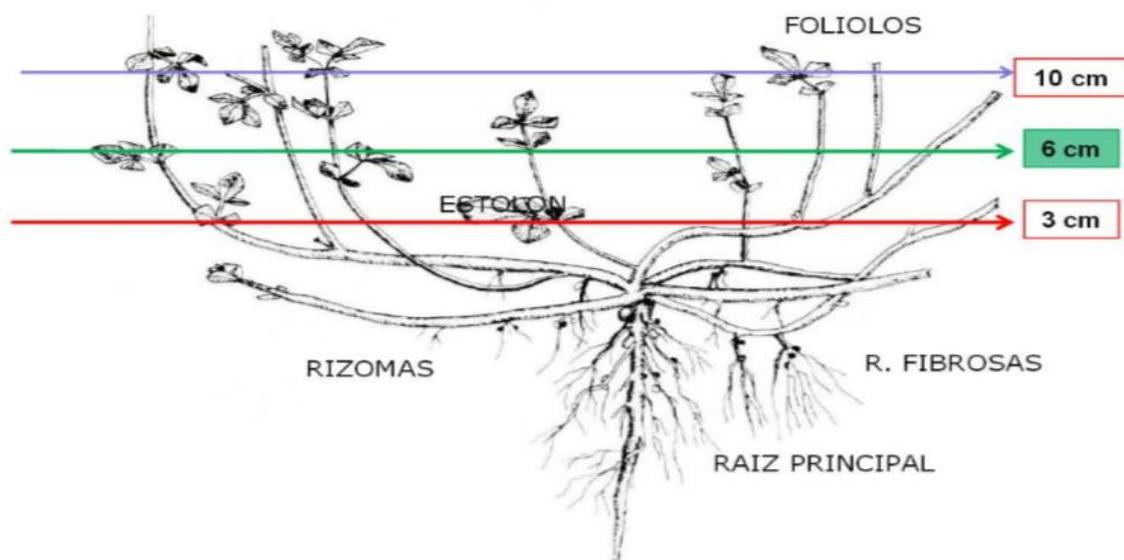


Figura 3. Estructura de una planta de *Lotus corniculatus* L. (Silveira, D., 2011).

Consultada 24 de Enero 2020

2.4 Factores que afectan el rebrote en las plantas forrajeras

El rebrote es un proceso que se presenta a partir de la defoliación de una planta, se caracteriza por el crecimiento y acumulación de materia seca a través del tiempo.

En las especies perennes se presenta con mucha frecuencia, debido a la capacidad de regenerar su tejido vegetal después de este suceso, siempre y cuando los factores de crecimiento no sean limitantes (Da Silva y Nascimento Jr., 2007). En el momento que se da una defoliación ligera o severa, la planta comienza la fase de transición con variación en sus patrones de disponibilidad y distribución de carbono y nutrientes (Briske *et al.*, 1996). Por lo anterior, el rebrote estará limitado por factores propios como las reservas de carbohidratos, área foliar remanente, tasa de amacollamiento, humedad del suelo y factores climáticos (Briske *et al.*, 1996). El rebrote surge de la reproducción vegetativa y aparición de nuevos tallos, se ve afectado por diversos factores, que van desde los climáticos, reservas de carbohidratos, hormonas, disponibilidad de nutrientes, área foliar remanente a partir de la cual se realiza la fotosíntesis (Tomlinson y O'Connor 2004).

2.4.1 Índice de área foliar

El índice de área foliar se define como la cantidad de área foliar acumulada sobre el nivel del suelo (Lemaire y Chapman, 1996), lo que determina la cantidad de luz interceptada en la pradera, además ayuda a estimar la capacidad productiva de una pradera. Difante *et al.*, (2010) menciona que el 95 % de la luz que intercepta una pradera es el índice óptimo de área foliar. Por su parte Baguet y Bavera, (2001), establece que las especies forrajeras cumplen sus funciones vitales gracias al proceso de fotosíntesis, para producir energía, para su mantenimiento y crecimiento. No obstante, para estos procesos, la pradera debe interceptar la mayor radiación incidente con un dosel vegetal eficiente (Ueno *et al.*, 2005). Por lo tanto, la planta depende del índice de área foliar (IAF), ya que es indispensable para la producción de materia seca, al interceptar buena cantidad de energía luminosa, por los tejidos fotosintéticos activos, y de esta forma garantiza la producción de fotoasimilados (Alexandrino *et al.*, 2004). El grado de defoliación puede modificar el IAF mediante la exposición de la planta, los principales factores que determinan el impacto de la defoliación sobre la planta son la cantidad y tipo de tejidos removidos y su posterior recuperación lo cual está relacionado con la forma de crecimiento de la planta, las especies que están sometidas

en hábitos prostrados retienen mayor tejido foliar que los de hábito erecto (Sbrissia, 2004).

Un índice de área foliar máximo, nos indica la cantidad elevada de área foliar en la que la formación de hojas está en función a la velocidad de la muerte de hojas basales. En cambio, la tasa fotosintética es igual a la tasa de respiración y, por lo tanto, la tasa de crecimiento es igual a cero (Jiménez y Avendaño, 1988). Así también es conocido, que la capacidad fotosintética de las hojas superiores se restringe, de la magnitud de la luz a la cual están expuestas durante su crecimiento. Además, la capacidad fotosintética varía con la edad de la hoja (Salomé, 2014).

2.4.2 Meristemos de crecimiento

Los meristemos de crecimiento son tejidos embrionarios, que se forman a partir de células diferenciadas, con la capacidad de originar otros tejidos y órganos especializados, mediante divisiones continuas, para dar paso al rebrote (Briske, 1991). En las plantas existen dos aspectos de crecimiento, el primero dentro de este se da el crecimiento en longitud de los brotes y de las raíces, mientras que el segundo, se relaciona con el crecimiento en grosor del tallo y de la raíz (Salisbury y Roos, 1992), la ubicación de las zonas meristemáticas se presenta en la base de las hojas más jóvenes (Tomlison y O'connor, 2004). La activación de estas zonas se lleva a cabo por el balance entre auxinas y citoquininas, dando como resultado la regulación en la formación de hojas jóvenes, necesarias para promover el desarrollo de nuevo tejido foliar y radical (Azcon y Talon, 1993). En las plantas se encuentran ubicados diferentes puntos de meristemos de crecimiento y órganos de reservas, de igual manera hay presencia o ausencia de estolones y rizomas. Para el caso de leguminosas, esto va a depender de hábito de crecimiento (Quero *et al.*, 2007). La manifestación de reguladores de crecimiento, induce la dominancia apical, de tal forma que, en fotoperiodos cortos y concentraciones de anti auxinas, el número de tallos aumenta. Así mismo, el tamaño de la corona es responsable del número de tallos en el siguiente corte (Kephart *et al.*, 1992).

2.5 Factores que afectan el comportamiento productivo del género *Lotus*

2.5.1 Radiación solar

La radiación solar es considerada el elemento meteorológico de mayor importancia (Geiger *et al.*, 2003). La intensidad en la radiación solar y la duración de la luz controlan el proceso de la fotosíntesis, en los complejos de proteínas y pigmentos específicos, que se encuentran en el medio hidrofóbico de las membranas fotosintéticas donde se llevan a cabo los procesos de absorción de luz y de conversión de energía. Las membranas internas de los organismos eucariontes están enriquecidas con el pigmento fotosintético clorofila, mientras que en los procariontes las membranas “cromatófaras” fotosintéticas se asocian con pliegues muy complejos de la membrana celular. En las células eucariotas, la membrana fotosintética del cloroplasto naturalmente es una estructura sumamente organizada y fluida que se pliegan en regiones apretadas, las que reciben el nombre de tilacoides, conectadas por laminillas del estroma. La presencia de un tipo de molécula de clorofila parece ser universal, virtualmente en todos los organismos fotosintéticos (Rojas, 1993; Lemaire, 2001; Citado por Pedroza, 2013). Sin embargo, las variaciones temporales en las intensidades de la radiación solar afectan la tasa fotosintética, el crecimiento y la morfología. La cantidad total de radiación solar que llega a la pradera está en función de la latitud, altitud, hora del día y claridad de la atmósfera, teniendo en cuenta que la estructura del dosel de la pradera es tridimensional que se modifica a través del tiempo (Grant, 1997). Los principales factores que afectan la producción de forraje son la eficiencia de fijar CO₂, y la intercepción de la radiación sobre las plantas, en diversos cultivos se ha demostrado que la cantidad de luz interceptada por las plantas es directamente proporcional a la producción de materia seca (Álvarez, 2013). En el caso de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), esta se adapta a intensidades medias de luz. Los estudios que se han realizados en esta especie han demostrado que a intercepciones bajas de luz inhiben tanto el crecimiento vegetativo de la parte aérea como el desarrollo de las raíces, incrementando la relación tallo: hoja y un descenso en el total de área foliar de cada planta. Esto se refleja según la etapa de desarrollo y

la presión de pastoreo bajo la cual se encuentre, y por lo tanto, las respuestas morfológicas se presentan en forma más acentuada (Ayala y Carámbula, 2009). Es por ello que se ha establecido un 95 % de luz incidente como punto óptimo de cosecha en las especies forrajeras, condición por la cual, es mínima la competencia por luz dentro de la pradera, y el forraje cosechado adquiere un alto valor nutricional por el contenido de hojas y tallos jóvenes (Da Cunha *et al.*, 2010).

2.5.2 Temperatura

La temperatura es el factor ambiental de mayor influencia que determina la época de desarrollo morfológico de las plantas y la calidad nutritiva; Ayala y Carámbula (2009). Además, controla la distribución y diversidad en una gran parte de las especies forrajeras (Wise *et al.*, 2004). De igual manera el ciclo de Calvin, regula la intensidad de las reacciones enzimáticas que resulta en la tasa de acumulación de materia seca (Da Silva *et al.*, 2008). En el género *Lotus*, este factor ambiental delimita los procesos de germinación e inicios de crecimiento, principalmente en temperaturas bajas y presencia de heladas (Keoghan y Burgess, 1987), en invierno no presenta latencia total, la producción de forraje en esta época dependerá de temperaturas moderadas, mientras que, en verano con temperaturas altas, hay mala absorción de nutrientes por las raíces y un descenso en reservas de carbohidratos (Ayala y Carámbula, 2009). Sin embargo, la especie pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) se adecua a temperaturas medias mensuales entre los 16 a 27 °C, creciendo muy bien en zonas más cálidas con temperaturas de 27-38 °C. (Gurrola, e Ibáñez, 1995).

2.5.3 Humedad

El porcentaje de humedad en el suelo, es esencial para el traslado de nutrientes minerales del suelo hacia la planta y como un medio de conducción para la circulación de las enzimas y actividad catalítica. De esta manera se determina la productividad de un forraje, afectando de forma significativa la tasa el crecimiento de las plantas y su persistencia, primordialmente la elongación celular, ya que afecta la tasa de expansión

de las células próximas a los meristemos de crecimiento (Joaquín, 2009), aunque puede ser modificada mediante riego, cuando se carece de esta. (Ayala y Carambula, 2009). Sin embargo, cuando se presenta un déficit de humedad, los forrajes adoptan cambios tanto en su morfología y fisiología, así como la expansión foliar, bajo desarrollo 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). Si bien el déficit hídrico se nota con mayor efecto sobre la transpiración que sobre la fotosíntesis, algunos compuestos acumulados pueden ser utilizados para fines adversos al crecimiento, por ejemplo a formación de gomas, aceites esenciales y alcaloides (Morillo, 1994), por lo contrario un exceso de humedad en el suelo, se crea un medio anaeróbico, la planta presenta clorosis, hipertrofias en los parénquimas y un daño en el sistema radical, el cual se afecta más a leguminosas que en gramíneas, lo que asocia una debilidad en la planta y se refleja un incremento de enfermedades (Finn *et al.*, 1961).

2.5.4 Suelo

Las propiedades del suelo cumplen una función indispensable en la producción de forraje, ya que, dentro de las propiedades físicas ayudan a determinar las condiciones de resistencia para el crecimiento radicular, la propagación de gases que permitirá la respiración y la capacidad para la acumulación de humedad (Kemp *et al.*, 1999). Más allá de la profundidad del perfil, las características principales son la textura, la estructura y la presencia de horizontes más o menos endurecidos, en cuanto a las propiedades químicas principales son el pH y la fertilidad natural, un pH bajo limita nutrientes de importancia como: el Potasio y el Calcio, en algunos casos la concentración de sales, es también un factor importante (Améndola, 1998), además la acidez o alcalinidad del suelo, restringen nutrientes (Edmeades *et al.*, 1991).

Los suelos donde se encuentra el género *Lotus* disponen drenaje pobre, contenido moderado de sodio, concentraciones bajas de sales y Fósforo disponible (Miñón, 1990). Se adapta a suelos arcillosos en condiciones de riego (Acuña, 1998) y

puede tolerar suelos ácidos con pH entre 4.5 y 5.2, sin embargo, la producción de forraje depende de la cantidad de nutrientes que dispone el suelo (Horrocks y Vallentine, 1999). Dentro de los nutrientes fundamentales que requiere la planta son el Nitrógeno, Fósforo y Potasio (Hodgson, 1990). Para el trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L) es muy importante el fósforo a falta de este se reduce la altura, peso de hojas, raíces y nódulos (Acuña *et al.*, 1997).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y descripción del sitio experimental

El experimento se realizó durante la estación de primavera del 2019 en el área de invernaderos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, unidad Saltillo (UAAAN), ubicada en Saltillo, al sureste del estado de Coahuila, con las siguientes coordenadas 25° 23' de Latitud Norte y 101° 00' de Longitud Oeste, a una altitud de 1,783 m. El clima es templado semi-seco, con una temperatura promedio de 18 °C. Los inviernos son extremos, predominando temperaturas máximas superiores a 18°C y algunos días con temperaturas mínimos inferiores a 0°C, con una precipitación media anual de 340 mm (Climate-Data-org, 2010).

3.2 Condiciones meteorológicas

Las temperaturas máximas y mínimas del aire y precipitación acumulada semanal, durante el periodo experimental, se obtuvieron de la estación meteorológica del departamento de Agrometeorología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada a 1 km del área experimental (Figura 4). La temperatura máxima vario de 28.6 a 32.3 °C, la mínima de 15.5 a 19.1 °C, la media de 22 a 25.7 °C y se registró una precipitación total de 84.9 mm, durante la estación de crecimiento y cortes subsecuentes. Las temperaturas registradas, indican que las plantas estuvieron sujetas a condiciones térmicas favorables para su crecimiento.

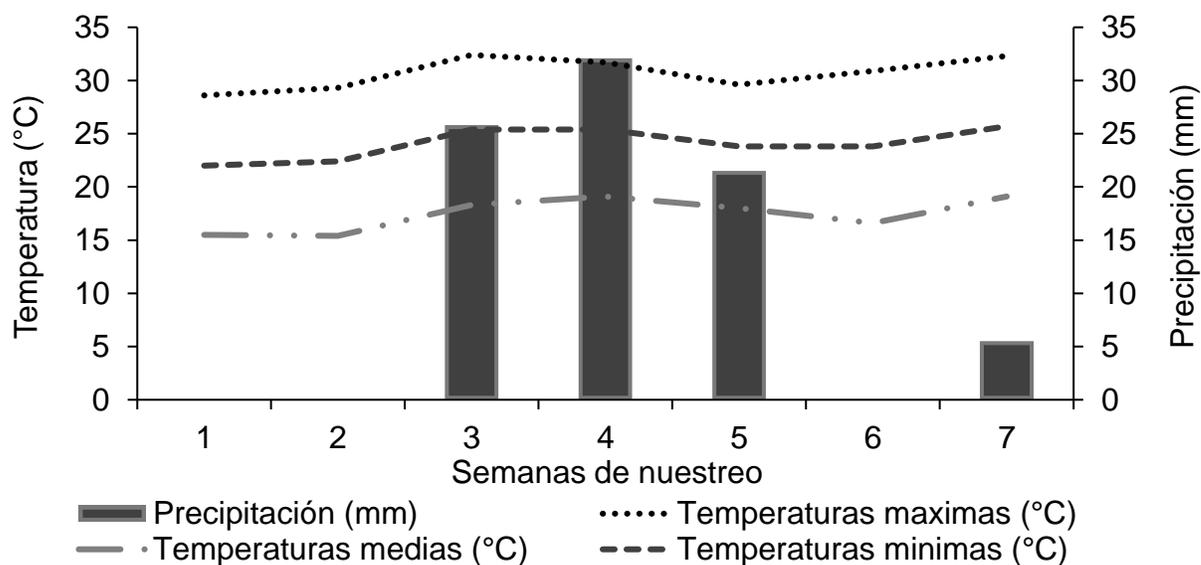


Figura 4. Temperaturas máximas, medias y mínimas y precipitación acumulada durante el periodo de estudio (04 de mayo al 22 de junio de 2019).

3.3 Material genético

Se utilizó el genotipo 255301 de la especie trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.). Este fue obtenido de una elección de 12 genotipos establecidos y adaptados a las condiciones del centro de México en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de México, y cuya semilla inicialmente fue donada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América.

3.4 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar para cada tratamiento. Los tratamientos consistieron en plantas inoculadas con una cepa del género *Rhizobium*, proporcionada por el Departamento de Parasitología de UAAAN, Saltillo. La población total para cada tratamiento fue de 21 macetas; la unidad experimental consistió de una planta individual en una maceta. Las plantas fueron obtenidas por medio de trasplante realizado el 08 de febrero de 2019 en bolsas de plástico de 17 x 17 cm, calibre 400 con capacidad de 0.95 lt, en un sustrato de arena de río + tierra de monte, en una

relación de 1:1. Cuando se complementaron 84 días después del trasplante, se colocaron en una mesa de lámina a una altura de 1 m sobre el nivel del piso en el invernadero, para dar inicio al experimento. Las macetas se regaron cada tercer día, manteniendo la humedad edáfica cercana a capacidad de campo.

3.5 Variables medidas y calculadas

84 días posteriores al trasplante se procedió a realizar cortes programados cada 7 días en el periodo del 04 de mayo al 22 de junio de 2019, a una altura de corte de 7 cm. Para cada corte se midieron las siguientes variables a excepción del primer corte, el cual se tomó como corte de uniformización.

3.6 Rendimiento de forraje (g MS planta⁻¹)

Se calculó al sumar el peso seco de los componentes morfológicos de la planta por tratamiento; hoja y tallos. El secado de estos componentes se llevó a cabo en una estufa de aire forzado durante 72 horas a peso constante.

3.7 Composición botánica y morfológica

Para determinar la composición botánica y morfológica, se cosecho una planta de una maceta, por repetición por tratamiento por semana y se separó en hoja, tallo, material muerto (senescente), inflorescencia y maleza, de los cuales se calculó la aportación al rendimiento de materia seca en g MS planta⁻¹ y porcentaje, mediante la siguiente formula:

$$PCM = (COMP*100) / R$$

Dónde:

PCM = Porcentaje por componente morfológico (%).

COMP = Sub-muestra del componente separado por especie.

R = Rendimiento de forraje (g MS planta⁻¹).

3.8 Relación hoja:tallo

Con los datos tomados a partir de la composición morfológica (hoja y tallo) de las plantas de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), se determinó la relación hoja: tallo, la cual se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$R = H/T$$

Dónde:

H:-T = Relación hoja: tallo.

H = Peso seco del componente hoja (g MS planta⁻¹).

T = Peso seco del componente tallo (g MS planta⁻¹).

3.9 Altura de planta

Antes del corte se midió la altura de las plantas de los dos tratamientos de acuerdo con la semana de muestreo. Para ello se utilizó una regla graduada de 100 cm de tal forma que la parte inferior de la regla graduada (0 cm) quedara a nivel de suelo.

3.10 Área foliar por tallo

Para obtener la medición de área foliar por tallo (AF) de cada tratamiento, se cortaron a nivel de la parte basal de la planta 10 tallos al azar, de acuerdo a las repeticiones de cada tratamiento. Las hojas se desprendieron del tallo y se colocaron en el integrador de área foliar de escáner modelo CI-202, marca CID Inc, midiendo el área foliar en cm² para obtener el área foliar de diez tallos y se dividió entre 10 para obtener el área foliar por un tallo (cm² tallo⁻¹).

3.11 Radiación interceptada

Se utilizaron dos métodos para determinar la cantidad de luz que interceptarán las plantas en cada tratamiento, para ambos métodos se tomaron lecturas aproximadamente a las 12:00 del mediodía:

1. **Método de la regla:** Se realizó una medición por tratamiento colocando el número de repeticiones (tres plantas) de acuerdo a la semana de muestreo. Se colocó una regla graduada de 1 m de longitud a nivel, del suelo, por debajo de las plantas y se contabilizaron los centímetros sombreados, los cuales representaron el porcentaje de radiación interceptada por el dosel vegetal.
2. **Método de la barra light (line quantum):** En el caso del sensor se realizaron dos mediciones recibida y transmitida, mediante la nivelación del sensor por medio de una burbuja de agua, nos indicó la lectura de cada una, donde la recibida se tomó en la parte superior de la planta y la transmitida a nivel de suelo, y por diferencia se determinó el porcentaje de intercepción luminosa.

3.12 Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con dos tratamientos (*Lotus corniculatus* L. inoculado y sin inocular), con cortes consecutivos por semana con tres repeticiones. El análisis estadístico se realizó con el programa SAS para Windows, versión 9.1 y la comparación de medias mediante la prueba Tukey ($p < 0.005$), de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Valor de la variable de estudio

μ = Media general de la población estudiada α_i = Efecto del i-ésimo tratamiento

β_j = Efecto del j-ésimo bloque

ε_{ij} = Error estándar de la media

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento de forraje (g MS planta⁻¹)

En la figura 5, se presentan los resultados del rendimiento de forraje de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), sin inocular e inculado con una cepa del género *Rhizobium*, en siete semanas de rebrote. En el rendimiento de forraje se presentarán diferencias entre semanas de rebrote, en ambas condiciones (genotipo con y sin inoculante) ($p < 0.05$), no así entre tratamientos dentro de cada semana de rebrote ($p > 0.05$). En la semana cinco en el tratamiento sin inoculante se mostrarán los mayores rendimientos con 6.1 g MS planta⁻¹, mientras que, en el inoculado, los mayores valores los encontramos en las semanas 5, 6 y 7 ($p < 0.05$) con 5.1, 5.9, y 5.0 g MS planta⁻¹, respectivamente (Figura 5). No obstante, los promedios muestran que los mayores valores se observan en las semanas 5 y 6 con 6.1 y 5.9 MS planta⁻¹, respectivamente (Cuadro 1, anexos). Por otra parte, los menores rendimientos los observamos en la primera semana de rebrote tanto para el *Lotus* sin inocular como para el inoculado, con valores de 0.2 y 0.3 g MS planta⁻¹, respectivamente. No obstante, García *et al.*, (2011) en la misma especie encontraron mayores rendimientos en corte 1, siendo diferentes al corte 7, sin embargo, en este estudio, el primer corte se realizó a finales del otoño y en nuestro estudio se llevó cabo en la estación de primavera, por lo que las condiciones de clima pudieron marcar esta diferencia. En otras especies forrajeras como trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) reportarán incrementos en el rendimiento de forraje desde la semana 1 hasta la semana 8. Las diferencias entre semana tendieron siempre a tener un crecimiento positivo (De Lira, 2017). De la misma forma. Rodríguez, (2017), muestra valores más bajos en las dos primeras semanas y los mayores en la semana siete, para el trébol rojo en climas templados.

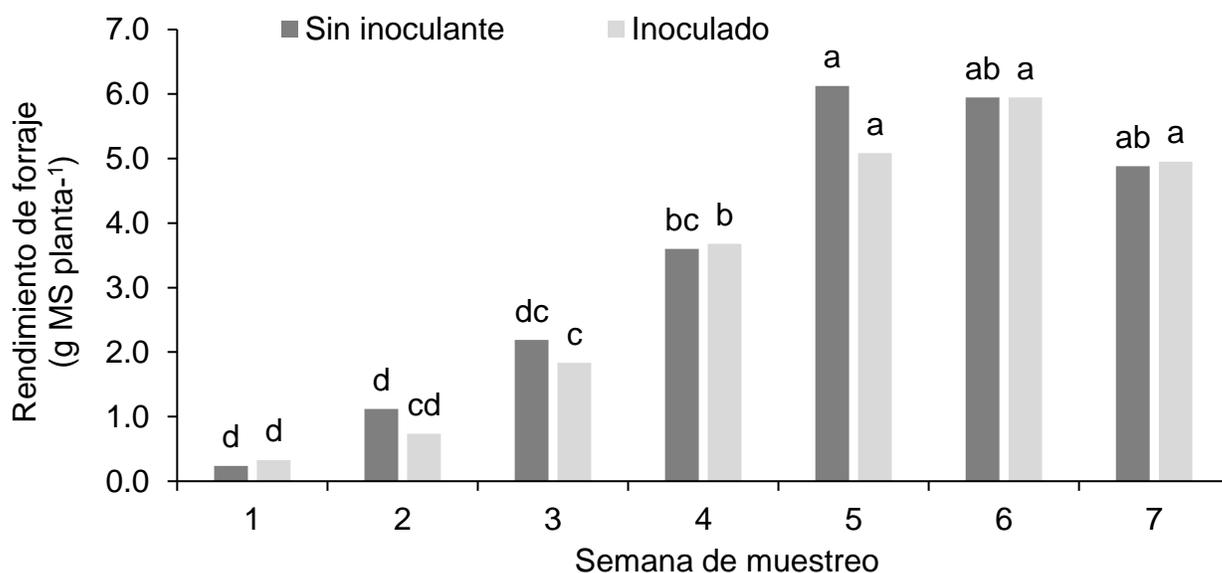


Figura 5. Rendimiento de forraje (g MS planta⁻¹) de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), cosechado a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula, entre semanas para cada tratamiento son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$), diferente literal mayúscula, dentro de cada semana de rebrote, indican diferencia entre tratamientos ($p > 0.05$).

4.2 Composición botánica y morfológica

Los valores semanales de composición botánica y morfológica de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), con tratamientos inoculado y sin inoculante se observan en la figura 6. Los resultados mostrarán diferencias entre semanas, ($p < 0.05$), no es el caso en los tratamientos donde no existen diferencias significativas ($p > 0.05$). Se aprecia que el componente hoja representa el mayor porcentaje de aportación al rendimiento de forraje, teniendo los valores más altos en el tratamiento sin inoculante durante la semana cinco con 4.4 g MS planta⁻¹ representando un 72 % del rendimiento por planta, mientras que para el tratamiento inoculado se registra en la semana seis con 3.9 g MS planta⁻¹ y 66 %. Sin embargo, en ninguno de los componentes presenta una tendencia clara, en cuanto al porcentaje de aportación al rendimiento de materia seca, como se observa en el rendimiento. El comportamiento del componente tallo, en ambos tratamientos registra su valor más alto en la semana seis, representando un 34

% con 2.0 g MS planta⁻¹ y 32 % con 1.8 g MS planta⁻¹, sin inoculante e inoculado respectivamente. No obstante, la senescencia o material muerto en la planta se observa más claramente a partir de la semana 4, teniendo mayor incidencia en la semana seis, en el tratamiento sin inocular 3 % con 0.2 g MS planta⁻¹. En cuanto al componente maleza se da en porcentajes muy bajos registrándose en las semanas 2, 4, 5 y 6 en la semana dos para para el tratamiento sin inoculante alcanza su valor máximo indicando 2.5 % con 0.02 g MS planta⁻¹. Teixeira *et al.*, (2007), menciona que la presencia de malezas en una pradera puede incrementarse con el tiempo, por efecto de la frecuencia de corte, sin embargo, la hoja y tallo pueden ser de mayor aporte al rendimiento, debido a las condiciones ambientales favorecieron su crecimiento (Difante *et al.*, 2009).

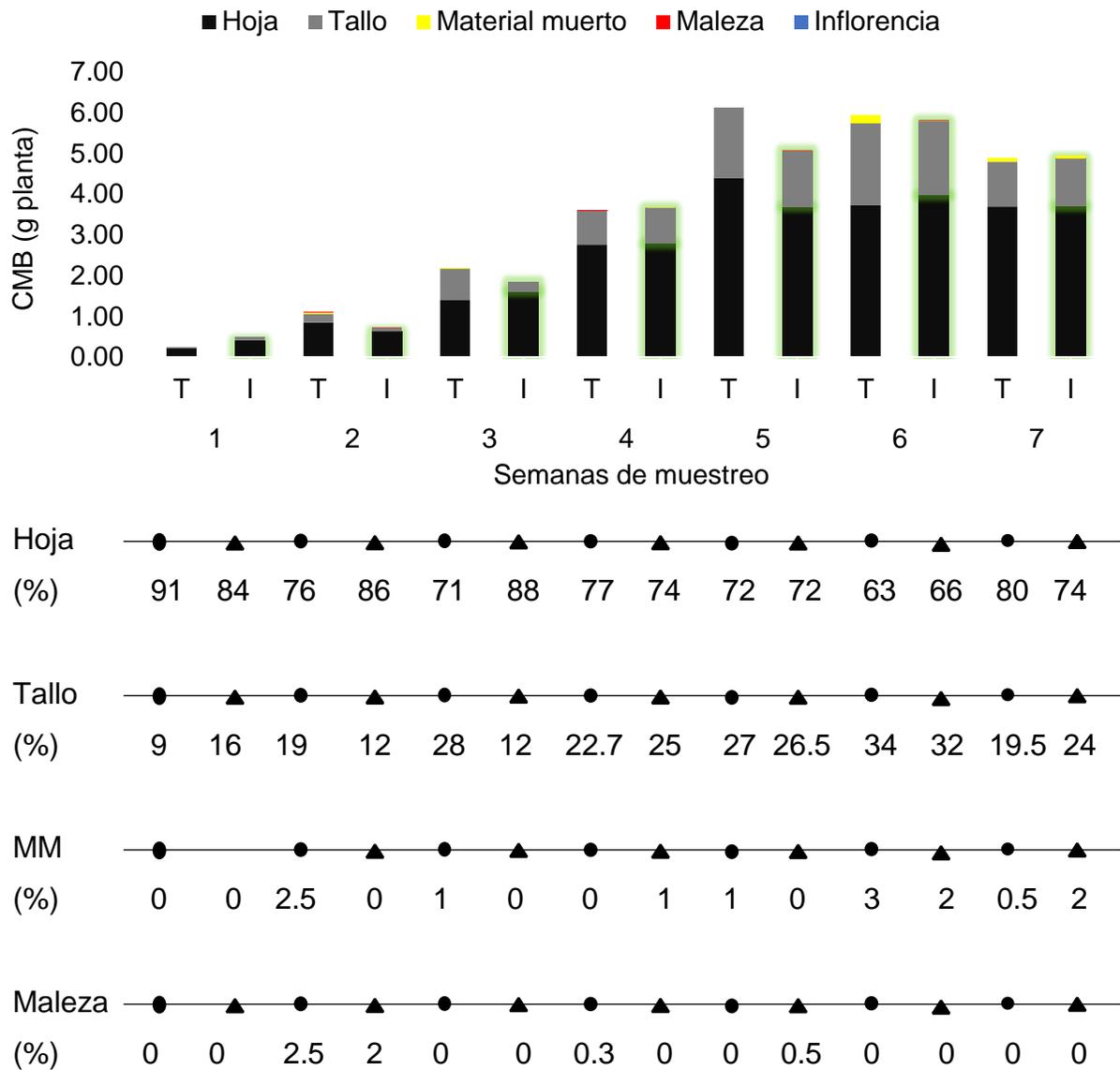


Figura 6. Composición botánica y morfológica (g planta⁻¹) donde ● T= Testigo (sin inocular) e ▲ I = Tratamiento inoculado.

4.3 Relación hoja:tallo

La relación entre la cantidad de hoja respecto al tallo en el trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), inoculada con una cepa del género *Rhizobium* y sin inocular, se observa en la figura 7. La comparación de los promedios semanales de ambos tratamientos, y el tratamiento con inoculante, muestra diferencias significativas entre

semanas de rebrote ($p < 0.05$), donde los mayores valores se presentan en la semana 1 y 2 con valores que oscilan entre 2.3 y 2.3 ($p < 0.05$, cuadro 2). En el caso de las plantas sin inoculante, estas no presentaron diferencias, sin embargo, en ambos tratamientos se muestra una tendencia ascendente, principalmente en inoculado (Figura 7). Entre tratamientos dentro de una misma semana, solo se presentaron diferencias en la semana 3, donde las plantas sin inocular presentaron la mayor relación hoja: tallo con 1.7 y el inoculado con 1.4. García *et al.*, (2016), mencionan que conforme aumenta la edad de rebote en una especie forrajera, la cantidad de hoja con respecto al tallo disminuye, ya que, la cantidad y calidad de luz que incide al interior de la planta después de una cosecha es alterada por el intervalo de corte que causa variaciones en la producción de hojas y tallos (Motagner *et al.*, 2012). Así mismo, valores mayores en las primeras semanas de rebrote pueden ser resultado de una cosecha en fase de crecimiento acelerado, donde se encuentra la mayor cantidad de hojas jóvenes y poca cantidad de tallos (Barbosa *et al.*, 2011).

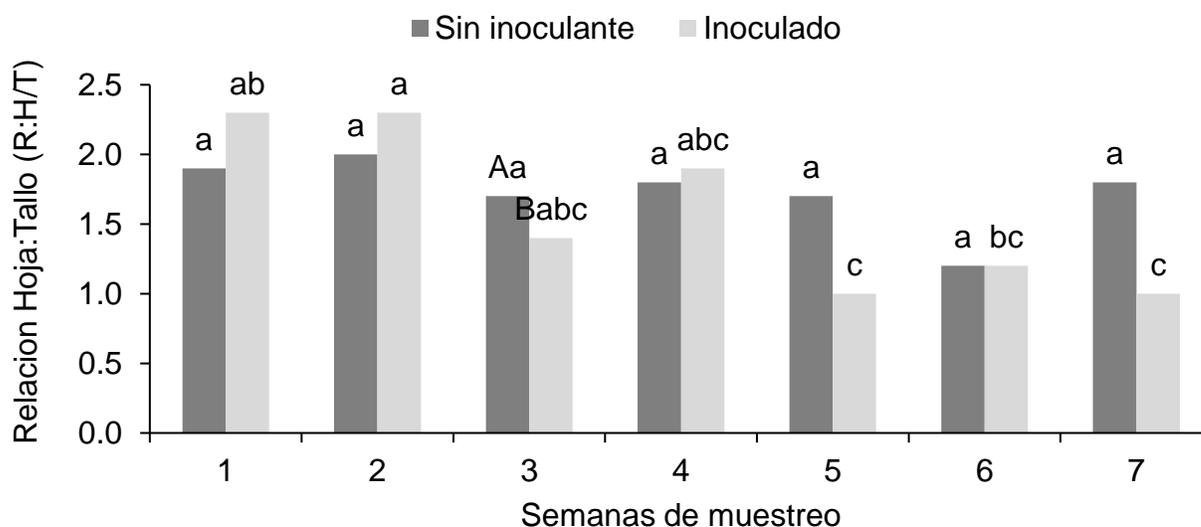


Figura 7. Relación hoja:tallo (R:H/T) de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) cosechado a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula, entre semanas para cada tratamiento son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$), diferente literal mayúscula, dentro de cada semana de rebrote, indican diferencia entre tratamientos ($p > 0.05$).

4.4 Producción de hoja por tallo

La producción de hoja por tallo durante siete semanas de rebrote se muestra en la figura 8. En el tratamiento inoculado el comportamiento de la producción de hoja por tallo fue de forma ascendente desde la primera semana con 0.03 g MS tallo⁻¹, hasta la semana siete de rebrote con 0.16 g MS tallo⁻¹. EL tratamiento sin inoculante, a diferencia del inoculado, presentó una baja en la semana seis con 0.13 g MS tallo⁻¹, pero para la semana siete la producción subió nuevamente a 0.21 g MS tallo⁻¹. Entre tratamientos no se presentaron diferencias significativas ($p>0.05$). De acuerdo con Chapman y Lemaire (1993), al incrementarse la producción de hoja, la tasa de acumulación neta de forraje es máxima y se alcanza el mayor IAF.

En general se observa un incremento de la producción de hoja en ambos tratamientos, conforme avanza la edad de la planta. Difante *et al.*, (2009) comentan que tal comportamiento puede ser el resultado del acelerado ritmo de crecimiento tanto de la hoja como del tallo, favorecidos por las condiciones ambientales; como fotoperiodo, temperatura y humedad, como se muestra en la figura 4 en este estudio.

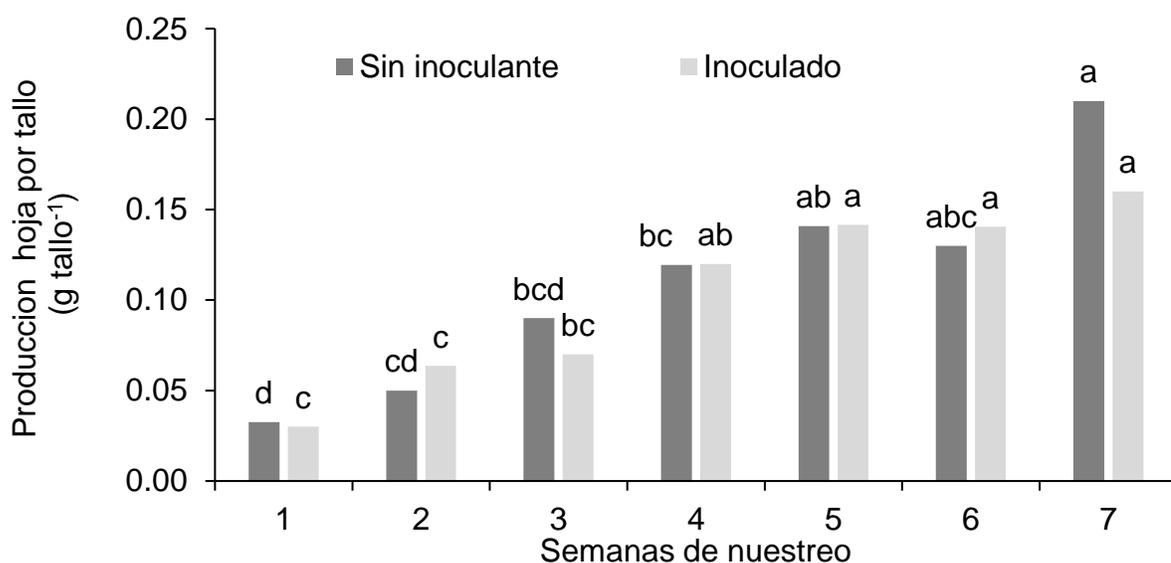


Figura 8. Producción de hoja por tallo (g tallo⁻¹), de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) cosechado a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula, entre semanas para cada tratamiento son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$), diferente literal mayúscula, dentro de cada semana de rebrote, indican diferencia entre tratamientos ($p > 0.05$).

4.5 Peso por tallo

Los cambios semanales en el tallo de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.; cv: 255301), a diferentes edades de rebrote se muestra en la figura 9. Similar a la producción de hoja, se destacaron diferencias entre semanas de muestreo, sin embargo, en la producción de tallo de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 4) se registrarán diferencias significativas ($p < 0.05$), entre tratamientos en la semana uno, siendo mayor el tratamiento sin inoculante con 0.017 g MS tallo⁻¹, seguido por el inoculado con 0.014 g MS tallo⁻¹. En ambos tratamientos el comportamiento fue de manera ascendente desde la primera semana con 0.017 g MS tallo⁻¹, hasta la semana siete con 0.123 g MS tallo⁻¹, en el caso de las plantas sin inoculante, sin embargo, para el tratamiento inoculado, esta diferencia se marca a partir de la semana cinco con 0.138 g MS tallo⁻¹, siendo similar ($p > 0.05$), a la semana seis y siete. Así mismo, estos resultados, de acuerdo con Hirata y Pakinding (2004), pueden estar relacionados con

la densidad de tallos; el aumento en la densidad de tallos por unidad de área ocasiona una disminución en el peso individual de tallos, efecto explicado por la ley de “auto aclareo”.

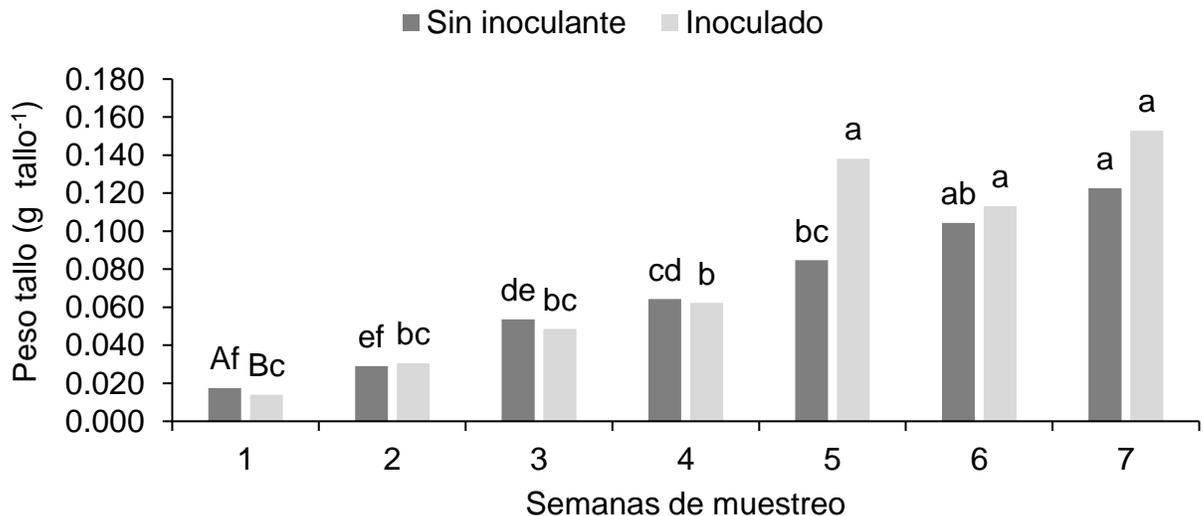


Figura 9. Peso de tallo (g tallo⁻¹), en trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) cosechado a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula, entre semanas para cada tratamiento son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$), diferente literal mayúscula, dentro de cada semana de rebrote, indican diferencia entre tratamientos ($p > 0.05$).

4.6 Altura de planta

En la figura 10 se puede apreciar el comportamiento de la altura de la planta de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) con dos tratamientos; inoculado y sin inoculante. Se observan diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre semanas de muestreo, en ambos tratamientos, no así entre tratamientos en las diferentes semanas de rebrote, ni promedio semanal (Cuadro 5). Para el tratamiento sin inoculante, la tendencia de crecimiento fue ascendente desde la semana uno con 12 cm, hasta la semana siete con 39 cm, siendo este mismo valor el más alto en ambos tratamientos. En cambio, el tratamiento inoculado fue ascendente desde la semana uno con 14 cm, hasta la semana seis con 38 cm, ya que para la semana siete presentó una baja a 35

cm, sin representar diferencias estadísticas ($p>0.05$) con la semana cinco y seis. Santos *et al.*, (2004) señala que una altura mayor corresponde a un rendimiento mayor. Es así que, ambos tratamientos presentan sus mayores rendimientos 5, 6 y 7, y los menores en la primera y segunda semana (Figura 5 Cuadro 5). 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 (Difante *et al.*, 2009).

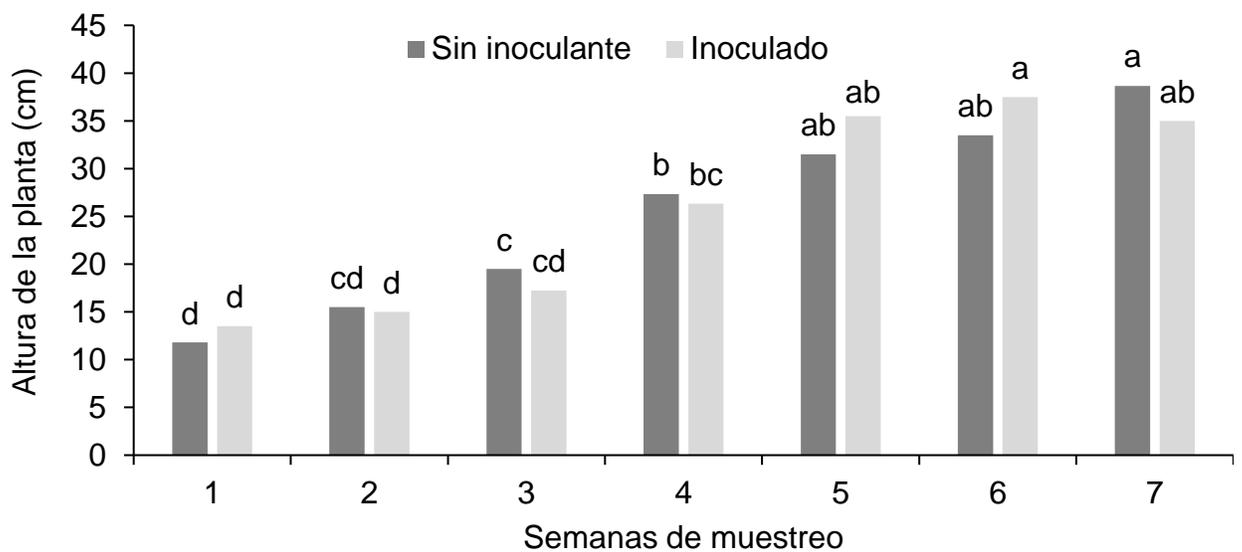


Figura 10. Altura de planta (cm) de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) cosechado a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula, entre semanas para cada tratamiento son diferentes estadísticamente ($p>0.05$), diferente literal mayúscula, dentro de cada semana de rebrote, indican diferencia entre tratamientos ($p>0.05$).

4.7 Diámetro de dosel

En la figura 11, se presentan los resultados del diámetro de dosel de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), en dos tratamientos sin inoculante e inoculado con una cepa del género *Rhizobium*, durante siete semanas de rebrote. Se observan diferencias semanales ($p<0.05$) en ambos tratamientos y promedios semanales (Cuadro 6). De acuerdo al análisis de varianza, no presentarán diferencia significativa

($p > 0.05$) entre los tratamientos dentro de cada semana de muestreo. Se muestra una tendencia ascendente de la semana uno hasta alcanzar su máximo valor en la cinco en el tratamiento sin inoculante (54 cm), y a la semana seis en el inoculado (57 cm). No obstante, esta variable no ha sido estudiada en esta especie, sin embargo, se denota una correlación con la edad y altura de la planta y rendimiento de forraje. Por otra parte, la tendencia en el tamaño de dosel puede estar relacionada con el número de tallos, que a su vez está influenciado por las condiciones ambientales, ya que, cuando estos factores son favorables, existe una producción de tallos, dando como resultado un aumentó en la producción de forraje y en tamaño del dosel (Michael y Helen, 2000).

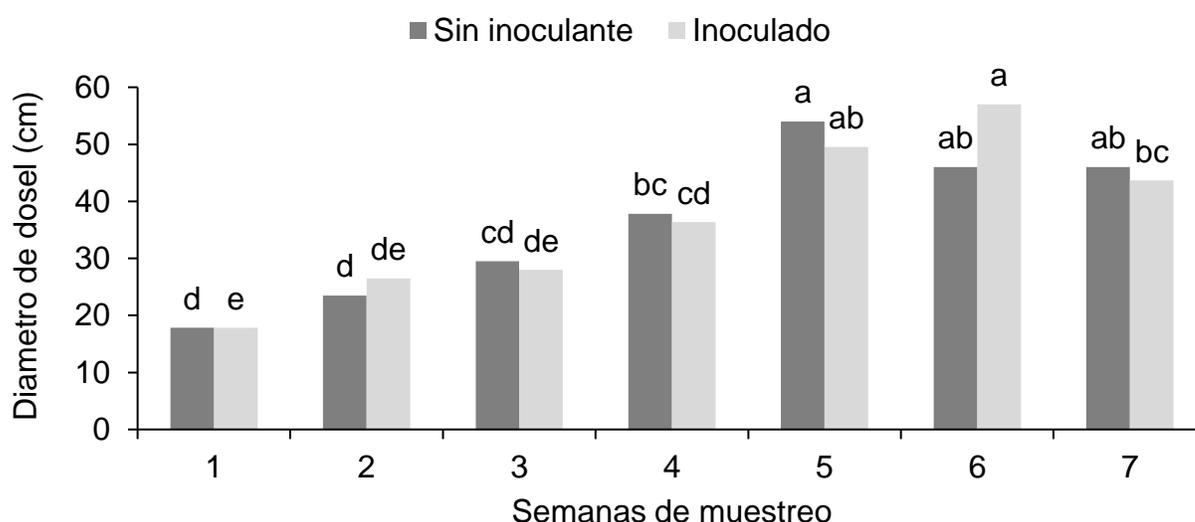


Figura 11. Diámetro de dosel (cm), en trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) cosechado a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula, entre semanas para cada tratamiento son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$), diferente literal mayúscula, dentro de cada semana de rebrote, indican diferencia entre tratamientos ($p > 0.05$).

4.8 Área foliar por tallo

En la figura 12, se presentan los valores promedios semanales de área foliar por tallo del trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L), cosechado a diferente edad

de rebrote. Se observa que se presentaron diferencias entre semanas de muestreo ($p < 0.05$), no es el caso al comparar los tratamientos dentro de cada semana ($p > 0.05$ Cuadro 7). La mayor área foliar por tallo para el tratamiento sin inoculante se presentó en la semana cuatro y seis con 24 y 27 cm^2 , mientras que en el inoculado se observó en la semana cuatro con 25 cm^2 para ambos tratamientos se muestran los menores valores en las semanas 1, 2 y 3, con valores que van desde 7 a 15 cm^2 de área foliar tallo⁻¹. En ambos tratamientos el comportamiento sufrió ascensos y descensos a lo largo del experimento, por lo que al promediar los valores semanales no se observarán diferencias ($p > 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 7). Los datos de la semana siete no fueron determinados, sin embargo, podemos predecir que alcanza el mayor índice de área foliar (IAF), ya esta variable guarda una correlación estrecha con el rendimiento de forraje (García *et al.*, 2016). De acuerdo con Horrocks y Vallentine, (1999), a medida que el IAF aumenta, será mayor la cantidad de luz interceptada y más alta la tasa de crecimiento y por ello el rendimiento de forraje. De acuerdo con Mendoza *et al.*, (2010), el área foliar por tallos en especies forrajeras, como el caso de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), es afectado por la estación de crecimiento y por la edad de rebrote a la que es cosechada. Ellos observaron que conforme se cosecha a mayor edad la planta, el área foliar por tallo se incrementan.

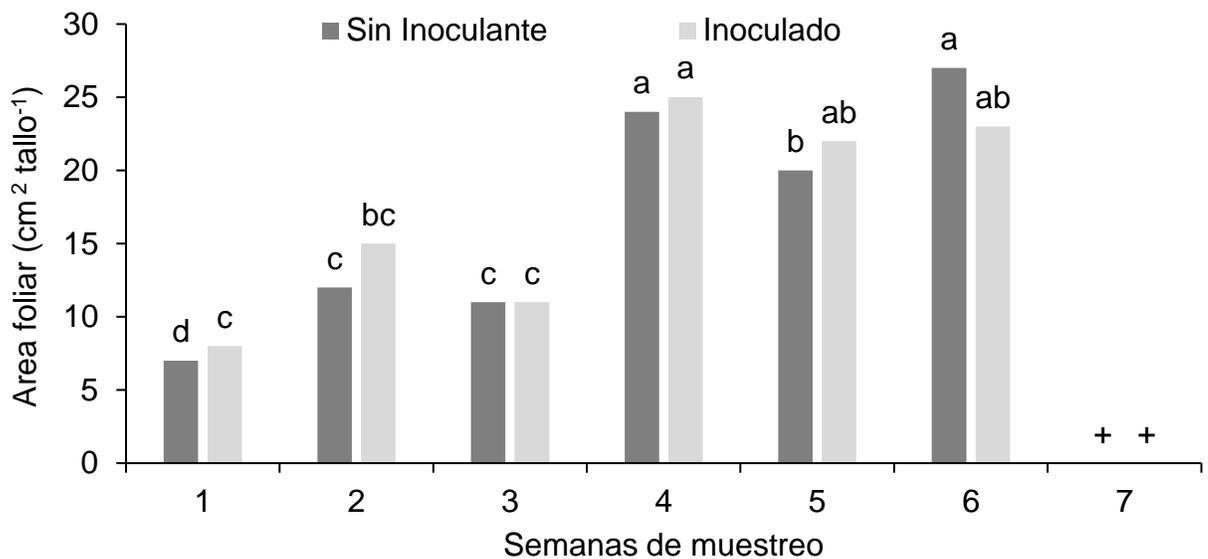


Figura 12. Área foliar por tallo ($\text{cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$) de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) cosechado a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula, entre semanas para cada tratamiento son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$), diferente literal mayúscula, dentro de cada semana de rebrote, indican diferencia entre tratamientos ($p > 0.05$). + = datos no determinados.

4.9 Radiación interceptada

En comportamiento la radiación interceptada por trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) con los métodos del sensor quantum y el de la regla, en siete semanas de rebrote, se presentan en la figura 13. Se observaron diferencias estadísticas entre semanas de rebrote y tratamientos con ambos métodos ($p < 0.05$). En el caso del método con el sensor quantum, los cambios estadísticamente diferentes se observan en la semana cinco, en ambos tratamientos con un promedio de 79 %. En el caso de la determinación del porcentaje de la luz interceptada con regla, los mayores valores se presentan en la semana siete, y en el inoculante esta semana fue similar a la semana cuatro ($p < 0.05$), en donde en general se denota una diferencia con las semanas 1, 2, 3 en ambos tratamientos. También en estas semanas, con los dos métodos se observan que la planta interceptó la menor cantidad de luz incidente sobre el dosel, con valores de 39 a 42 %. Al respecto Mendoza (2008), menciona que la

radiación interceptada tiene una estrecha relación con el patrón de área foliar por tallo y altura de planta en especies forrajeras como el trébol blanco (*Trifolium repens* L.), ya que a medida que aumenta la cantidad de área foliar por planta y la altura, se incrementa la radiación interceptada y, por tanto, menor será la radiación que llegue al suelo y puede ser aprovechado por especies indeseables. En este estudio el valor más alto observado fue de 87 % de luz interceptada. De acuerdo con Da Silva y Hernández (2010), el valor óptimo para cosechar una especie forrajera con excelentes características de calidad de forraje, es cuando la pradera intercepta el 95 % de luz incidente sobre esta por lo que, en este experimento no se cumplió este criterio y es necesario seguir explorando en investigación.

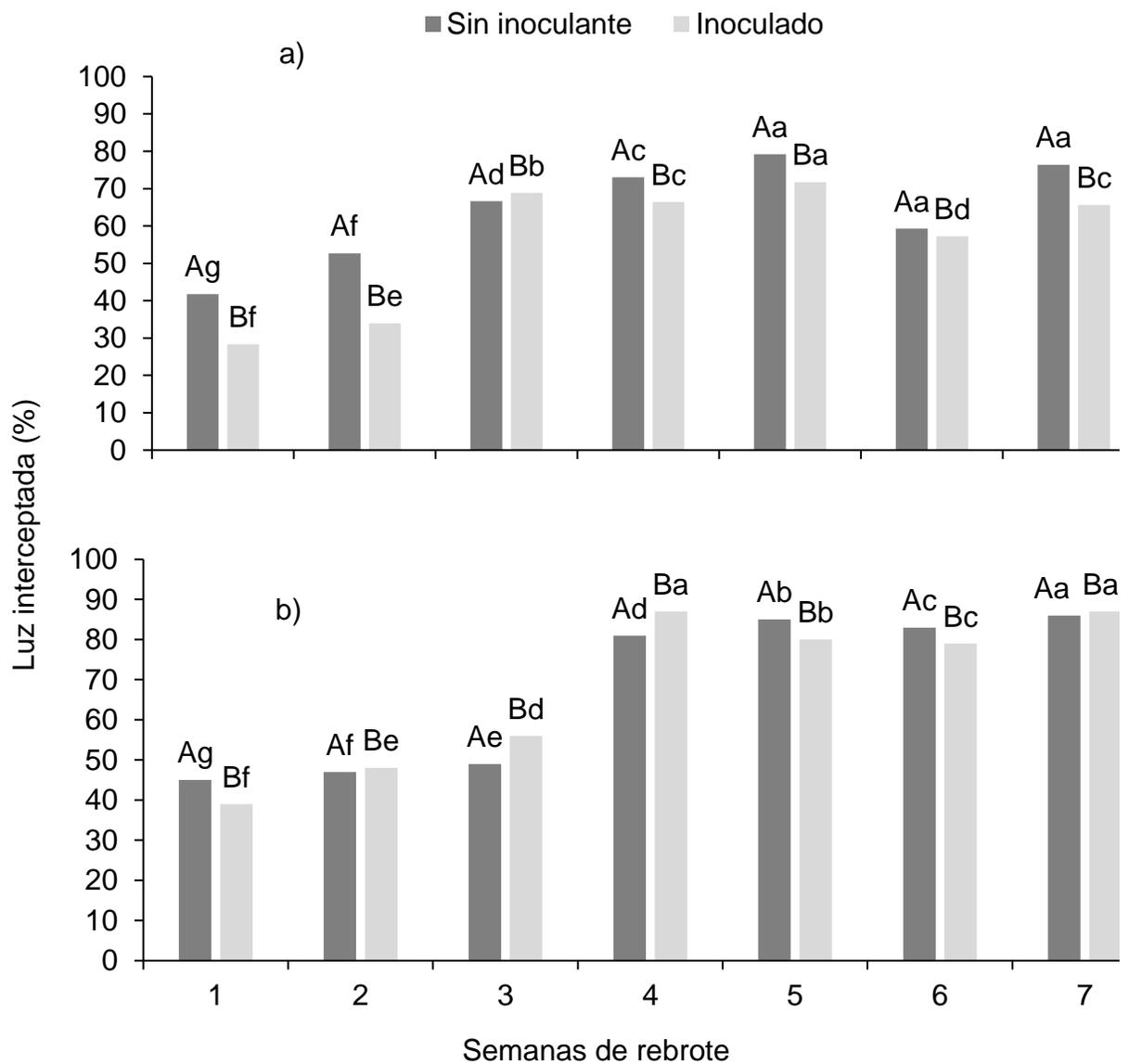


Figura 13. Radiación interceptada (%) con los métodos del sensor quantum (a) y la regla (b) en trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), cosechado a diferente edad de rebrote.

V. CONCLUSIONES

El rendimiento de forraje se incrementa con la edad del rebrote, alcanzando su máximo rendimiento en la semana cinco, y existe una estrecha relación con el resto de las variables evaluadas: producción de hoja, tallo, altura de planta, diámetro de dosel, área foliar y porcentaje de luz interceptada. No así con la relación hoja: tallo, ya que esta variable es influenciada por una cosecha donde la planta está en una etapa temprana de crecimiento, donde hay más hojas que tallo, sin embargo, no hubo efecto del inoculante *Rhizobium* en el comportamiento productivo.

La composición botánica y morfológica de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L. genotipo 255301), encontrada en esta investigación, determina que el componente hoja, en los dos tratamientos, fue la que mayor aporte hizo al rendimiento durante las siete semanas de rebrote, seguida por el tallo, material muerto y maleza.

VI. LITERATURA CITADA

- Acuña, H. y Cuevas, G. 1999.** Efecto de la altura y frecuencia de la defoliación, bajo corte y pastoreo, en el crecimiento y productividad de tres especies del género *Lotus* en suelos arcillosos. *Agricultura Técnica*, 59(4), pp. 301.
- Alexandrino, E; Junior, E. D. N; Mosquim, P. R; Regazzi, A. J; Rocha, F. C. 2004.** Características Morfogênicas e Estruturais na Rebrotação da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu Submetida a Três Doses de Nitrogênio. *Rev Brasil Zootec.* 33(6): 1372-1379.
- Álvarez, V. P. 2013.** Evaluación cuantitativa de diez variedades de alfalfa (*Medicago sativa*). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. pp 79.
- Améndola, M. R. 1998.** Notas del curso: producción de forrajes. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia. Texcoco Estado de México. pp. 15-35.
- Ayala, W. y Carámbula. 2009** El valor agronómico del género *Lotus*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Uruguay, pp 424.
- Azcon, B. J. y Talon M. 1993.** Fisiología y Bioquímica Vegetal. Ed. Interamericana McGraww-Hill. Madrid, España, pp 581.
- 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 23-01-20).
- Barbosa, R. A. D; Nacimiento, Jr. H; Vilela, H. S; Da Silva, C. V; Batista-Euclides, P. A; Sbrissia, F. B. y Da Lana, S. 2011.** Morphogenic and structural

characteristics of guinea grass pastures submitted to three frequencies and two defoliation severities. *Revista Brasileira de Zootecnia*, pp 947-954.

Benitez, A. 1980. Pastos y Forrajes. Quito: Universidad Central del Ecuador.

Briske, D. D. 1996. Strategies of plant survival in grazed systems: A functional interpretation. In: Hodgson J. and Illius A. W. (eds.). *The ecology and management of grazing systems*. London: CAB International, cap. 2, pp. 37-67.

Canals, R; Peralta, J. y Zubiri, E. 2009. Flora pratense y forrajera cultivada de la península Ibérica. , UNAVARRA, Pamplona, España, pp. 2. Recuperado el 01 de enero del 2020.

Climate. Data.org. 2010. <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/coahuila-de-zaragoza/saltillo-4988/>.

Cuitiño, M. J. 2012. Variedades criollas de *Lotus corniculatus* L. multiplicadas por productores: rendimiento de semilla y componentes que lo determinan. *Revista INIA*. 31: 5.

Da Silva, S. C. y D. Nascimento Jr. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfo fisiológicas e manejo do pastejo. *R. Bras. Zootec*.vol.36 suppl.0 Viçosa. 1806-9290.

Difante Dos, S.G; Do Nascimento Jr, D; Batista-Euclides, V. P; Da Silva, S. C; Barbosa, A. R; Concalves, V. W. 2009. Sward structure and nutritive value of tanzania guineagrass subjected to rotational stocking managements. *Rev Bras Zootec*; 38, pp 9-19.

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, pp 913-924.

- Escaray, J. F, Menendez, B. A; Garriza, A; Pieckenstain, L. F; Estrella J. M; Castagno, N. L; Carrascoc, P; Sanjuand, J; Ruiza, A. O. 2012.** Ecological and agronomic importance of the plant genus *Lotus*. Its application in grassland sustainability and the amelioration of constrained and contaminated soils. *Plant Science* 182: 121 – 133.
- Escaray, F. 2012.** Taninos condensados en leguminosas del género *Lotus*: Estudio de sus funciones biológicas y evaluación de su utilidad en el mejoramiento de la calidad forrajera de especies de importancia agronómica, pp 3.
- 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*, pp16-23.
- García, G. y Jeffrey, J. 2003.** Compatibilidad reproductiva y habilidad de transferencia de genes en *Lotus corniculatus* L. *Revista Fitotecnia. México* Vol. 26 (1), pp. 29-35. Recuperado el 24 de enero del 2020.
- Grant, F. W. 2009.** *Lotus corniculatus*. *SciTopics. Canada.* 2 p. http://www.scitopics.com/Lotus_corniculatus.html (Consultado el 15 de enero de 2020).
- Gurrola, M. R. e Ibañez, B. J. 1995.** Crecimiento de ovinos pastoreando un pastizal intersembrado con *Lotus (Lotus corniculatus* L.) En Huatusco, Veracruz. Tesis de Licenciatura Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México, pp 5-7.
- Hodgson, J. 1990.** Grazing management. Science into practice. Longman Scientific and Technical, Harlow, England, pp 203.
- Horrocks, R. D. y Vallentine, J. F. 1999.** Harvested Forages. Academic Press. Oval Road, London. United States of America, pp 426.

- Ixtaina, V. Y. y Mujica, M. M. 2010.** Seedling vigor response of *Lotus tenuis* populations to contrasting variations of water and nutrient availability, *Agrociencia*, pp 31-41.
- Jiménez, M. A. y Avendaño, M. J. C. 1988.** Producción de forrajes. Sección de forrajes. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Joaquín, C. S. 2009.** Influencia de la densidad de plantas y fecha de cosecha en el rendimiento y calidad de semilla de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, Estado de México, pp 83.
- Jones, D. A. y Turkington, R. 1986.** *Lotus corniculatus* L. *Journal of Ecology*, 74(4), pp 1185-1212.
- Keoghán, J. M y Burgess, R. E. 1987.** The search for an improved *Lotus pedunculatus* for high country pastoral systems. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, pp 125-129.
- Kephart, K. D. E. K; Twidwell, R. Bortnem. y A. Boe. 1992.** Alfalfa yield component responses to seeding rate several years after establishment. *Agron. J.* (84), pp 827.
- Lagler, J. C. 2003.** *Lotus*: Un género que no acaba en dos especies. *Revista Forrajes & Granos*. Buenos Aires, Argentina, pp 72-76.
- Lemaire, G. 2001.** Ecophysiology of grasslands. Aspects of forage plant population in grazed swards. In: *Proceedings of the XIX International Grassland Congress*. Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil, pp 39-40.
- 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), pp 206-228.

Marley, C. L; Fychan, R. y Jones, R. 2006. Yield, persistency and chemical composition of Lotus species and varieties (birdsfoot trefoil and greater birdsfoot trefoil) when harvested for silage in the UK. *Grass and Forage Science* 61, pp 134-145.

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

Miñón, D. P; Sevilla, G. H; Montes, L. y Fernández, O. N. 1990. *Lotus tenuis*: leguminosa forrajera para la Pampa Deprimida. *Boletín Técnico*, pp. 9. Recuperado el 017 de Enero del 2020. http://produccionbovina.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/104-lotus.pdf.

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), pp 544-549.

Morillo, D. 1994. Efectos de la época seca sobre la producción forrajera y bovina. *Revista de Agronomía (LUZ)*, (2), pp 6-8. Recuperado el 20 de Enero de 2020.

Muslera, P. E. y G. Ratera, C. 1999. *Praderas y Forrajes, Producción y Aprovechamiento*. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España, pp 674.

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, pp 12:5-33.

Pereira, C. J; F. Gomes, K. M; Oliveira, DB. y 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):13-1.

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, pp 61-71.

Rodríguez, 2017. Efecto del Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el crecimiento y producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Var. Floradade.

SAGARPA. 2016. Producción Agrícola en México. Centro de Estadística Agropecuaria. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. <http://www.siap.gob.mx/> (Consulta: 24-01-2020).

Salisbury, F. B. y Ross, C. W. 1992. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana, Cuarta edición. México, pp 759.

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, pp 21-22.

Sbrissia, A. F; S. C. Da Silva, O. L. D. Sarmiento, L. K. E. F. Molan, M. Andrade, A. C. Goncalves, and A. V. Lupinacci. 2004. Tiller dynamics in palisadegrass swards.

Silveira, D. 2011. Caracterización agronómica de las leguminosas más utilizadas en el Uruguay. Unidad de Producción de Pasturas, Dpto. de Producción Animal. Pasturas. <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/PASTURAS%20CRS/06%20%20Lotus%202011.pdf> (Consultado: 18/01/2020).

- 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, pp 301-311.
- 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*, pp 394–400.
- Tomlinson, K. W. and O'Connor, T. G. 2004.** Control of tiller recruitment in bunchgrasses: uniting physiology and ecology. *Functional Ecology* 18: 489-496.
- Ueno, O; Yoshimura, Y. and Sentoku, N. 2005.** Variation in the activity of some enzymes of photorepiratory metabolism in C. Grasses. *Ann Botan* 96: 863-869.
- Wise, R. R; Olson, A. J; Schrader, S. M. Sharkey, T. D. 2004.** Electron transport is the functional limitation of photosynthesis in field-grown Pima cotton plants at high temperature. *Plant Cell and Environment* 27: 717-72

VII. ANEXOS

Cuadro 1. Análisis de varianza de rendimiento de forraje (g MS planta⁻¹) en trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), sometida a diferentes edades de cosecha.

Tratamiento	Semas de rebrote							Promedio	Sig.	EEM	DMS
	1	2	3	4	5	6	7				
Sin inoculante	0.2 d	1.1 d	2.2 dc	3.6 bc	6.1 a	5.9 ab	4.9 ab	3.4	**	0.8	2.4
Inoculado	0.3 d	0.7 cd	1.8 c	3.7 b	5.1 a	5.9 a	5.0 a	3.2	**	0.4	1.2
Promedio	0.3 d	0.9 cd	2.0 c	3.6 b	5.6 a	5.9 a	4.9 ab	3.3	**	0.4	1.4
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
EEM	0.91	0.15	0.20	0.77	0.46	0.07	0.47	0.1 0			
DMS	0.5	1.7	2.3	2.7	1.6	0.2	1.6	0.3			

NS = no significativo; **= $p \leq 0.01$; *= $p \leq 0.05$, Diferente literal minúscula, en cada hilera, indican diferencia ($P < 0.05$); Diferente literal mayúscula, en cada columna, indican diferencia ($P < 0.05$); EEM= error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Cuadro 2. Análisis de varianza de la relación hoja:tallo (R:H/T) en trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), sometida a diferentes edades de cosecha.

Tratamiento	Semas de rebrote							Promedio	Sig.	EEM	DMS
	1	2	3	4	5	6	7				
Sin inoculante	1.9 a	2.0 a	1.7 Aa	1.8 a	1.7 a	1.2 a	1.8 a	1.7	*	0.36	1.03
Inoculado	2.3 ab	2.3 a	1.4 Babc	1.9 abc	1.0 c	1.2 bc	1.0 c	1.6	*	0.36	1.05
Promedio	2.1 a	2.1 a	1.6 ab	1.9 ab	1.2 b	1.2 b	1.3 ab	1.6	*	0.27	0.79
Sig.	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS			
EEM	0.18	0.38	0.03	0.12	0.36	0.18	0.63	0.07			
DMS	0.63	1.36	0.12	0.43	1.29	0.65	2.24	0.25			

NS = no significativo; **= $p \leq 0.01$; *= $p \leq 0.05$, Diferente literal minúscula, en cada hilera, indican diferencia ($P < 0.05$); Diferente literal mayúscula, en cada columna, indican diferencia ($P < 0.05$); EEM= error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Cuadro 3. Análisis de varianza de producción de hoja por tallo (g tallo⁻¹) en trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), sometida a diferentes edades de cosecha.

Tratamiento	Semas de rebrote							Promedio	Sig.	EM	MS
	1	2	3	4	5	6	7				
Sin inoculante	0.03 d	0.05 cd	0.09 bcd	0.12 bc	0.14 ab	0.13 abc	0.21 a	0.11	*	0.02	0.08
Inoculado	0.03 c	0.06 c	0.07 bc	0.12 ab	0.14 a	0.14 a	0.16 a	0.10	**	0.01	0.05
Promedio	0.03 d	0.06cd	0.08 bcd	0.12 b	0.14 ab	0.14 ab	0.18 a	0.11	**	0.02	0.05
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
EEM	0.002	0.008	0.016	0.005	0.014	0.017	0.031	0.002			
DMS	0.009	0.029	0.058	0.018	0.049	0.060	0.111	0.010			

NS = no significativo; **= $p \leq 0.01$; * = $p \leq 0.05$, Diferente literal minúscula, en cada hilera, indican diferencia ($P < 0.05$); Diferente literal mayúscula, en cada columna, indican diferencia ($P < 0.05$); EEM= error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Cuadro 4. Análisis de varianza del peso de tallo (g tallo⁻¹) en trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), sometida a diferentes edades de cosecha.

Tratamiento	Semas de rebrote							Promedio	Sig.	EEM	DMS
	1	2	3	4	5	6	7				
Sin inoculante	0.017 Af	0.029 ef	0.054 de	0.064 cd	0.085bc	0.104 ab	0.123 a	0.068	**	0.010	0.03
Inoculado	0.014 Bc	0.031 bc	0.049 bc	0.062 b	0.138 a	0.113 a	0.153 a	0.080	**	0.012	0.03
Promedio	0.01 d	0.03 cd	0.05 bc	0.06 b	0.11 a	0.10 a	0.13 a	0.074	**	0.008	0.02
Sig.	*	NS	NS	NS	NS	NS	0.0362	NS			
EEM	0.0004	0.0014	0.0084	0.0043	0.0254	0.0021	0.0042	0.0024			
DMS	0.001	0.005	0.029	0.015	0.089	0.007	0.015	0.008			

NS = no significativo; **= $p \leq 0.01$; *= $p \leq 0.05$, Diferente literal minúscula, en cada hilera, indican diferencia ($P < 0.05$); Diferente literal mayúscula, en cada columna, indican diferencia ($P < 0.05$); EEM= error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Cuadro 5. Análisis de varianza de la altura de planta (cm) en trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), sometida a diferentes edades de cosecha.

Tratamiento	Semas de rebrote							Promedio	Sig.	EEM	DMS
	1	2	3	4	5	6	7				
Sin inoculante	12 d	16 cd	20 c	27 b	32 ab	34 ab	39 a	25	**	2.5	7.2
Inoculado	14 d	15 d	17 cd	26 bc	36 ab	38 a	35 ab	26	**	3.6	10.3
Promedio	13 c	15 c	18 c	27 b	34 ab	36 a	37 a	26	**	2.9	8.2
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
EEM	1.39	0.35	1.23	1.87	0.70	3.53	1.47	0.80			
DMS	4.88	1.24	4.34	6.57	2.48	12.42	5.17	2.8			

NS = no significativo; **= $p \leq 0.01$; *= $p \leq 0.05$, Diferente literal minúscula, en cada hilera, indican diferencia ($P < 0.05$); Diferente literal mayúscula, en cada columna, indican diferencia ($P < 0.05$); EEM= error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Cuadro 6. Análisis de varianza del diámetro de dosel (cm) en trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), sometida a diferentes edades de cosecha.

Tratamiento	Semas de rebrote							Promedio	Sig.	EEM
	1	2	3	4	5	6	7			
Sin inoculante	18 d	24 d	30 cd	38 bc	54 a	46 ab	46 ab	36	**	4.0
Inoculado	18 e	27 de	28 de	36 cd	50 ab	57 a	44 bc	37	**	3.9
Promedio	18 e	25 de	29 cd	37 bc	52 a	52 a	45 ab	37	**	3.2
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS		
EEM	0.93	25.00	1.06	1.83	3.88	3.53	5.40	0.77		
DMS	3.2	9.9	3.7	6.4	13.6	12.4	18.9	2.73		

NS = no significativo; **= $p \leq 0.01$; *= $p \leq 0.05$, Diferente literal minúscula, en cada hilera, indican diferencia ($P < 0.05$); Diferente literal mayúscula, en cada columna, indican diferencia ($P < 0.05$); EEM= error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Cuadro 7. Análisis de varianza del área foliar por tallo (cm²) en trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L), sometida a diferentes edades de cosecha.

Tratamiento	Semas de rebrote							Promedio	Sig.	EEM	DMS
	1	2	3	4	5	6	7				
Sin inoculante	7 d	12 c	11 c	24 a	20 b	27 a	+	17	**	1.4	3.9
Inoculado	8 c	15 bc	11 c	25 a	22 ab	23 ab	+	17	*	3.3	9.6
Promedio	8 c	14 b	11 bc	25 a	21 a	25 a	+	17	**	1.6	4.5
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	+	NS			
EEM	0.83	0.63	0.24	1.24	0.38	6.82	+	1.09			
DMS	2.9	2.2	0.8	4.3	1.3	23.9		3.85			

NS = no significativo; **= p≤ 0.01; *= p≤ 0.05, Diferente literal minúscula, en cada hilera, indican diferencia (P< 0.05); Diferente literal mayúscula, en cada columna, indican diferencia (P< 0.05); EEM= error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa. + = datos no determinados