



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

REPRODUCCIÓN VEGETATIVA Y COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE TRÉBOL PATA DE PÁJARO (*Lotus Corniculatus* L.)

CRISTIAN CASTILLO CABRERA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2021

La presente tesis titulada: Reproducción vegetativa y comportamiento productivo de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.), realizada por el alumno: Cristian Castillo Cabrera, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA


CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)



Dr. Sergio Iban Mendoza Pedroza

DIRECTOR DE TESIS



Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada

ASESOR (A)



Dr. Gabino García De Los Santos

ASESOR (A)



Dr. Arturo Pro Martínez

ASESOR (A)



Dr. Fernando González Cerón

Montecillo, Texcoco, Estado de México, septiembre de 2021

REPRODUCCIÓN VEGETATIVA Y COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE

TRÉBOL PATA DE PÁJARO (*Lotus corniculatus* L.)

Cristian Castillo Cabrera, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

RESUMEN

Lotus corniculatus L., es una planta con potencial forrajero en México, debido a sus cualidades adaptativas. Prospera bajo condiciones donde la alfalfa (*Medicago sativa* L.), el trébol blanco (*Trifolium repens* L.) y trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) difícilmente logran establecerse. La productividad, características morfológicas y fisiológicas de los cultivos, puede ser modificada por cambios nutricionales, genéticos o cambios en los factores específicos de la regulación del desarrollo. En el caso particular de México, hay escasa información acerca del comportamiento de *L. corniculatus* a la aplicación de un regulador de crecimiento. Por consiguiente, el objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento del crecimiento con base en la producción de materia seca y su composición morfológica en dos experimentos llevados a cabo en invernadero y en campo. En el invernadero se evaluaron dos promotores de crecimiento a base de ácido indolbutírico (AIB) sólido y líquido (S+ES y S+EL) con un testigo (S) mismo sustrato para los tres. Se utilizaron 1300 macetas, se tomaron 20 de cada tratamiento para su posterior registro de datos. El S+ES de acuerdo a los resultados fue el que presentó los valores más altos seguido por el S+EL y S respectivamente. Se concluye que las plantas con aplicación de 1500 ppm de AIB registró la mayor respuesta de los datos de 20 plantas por tratamiento en términos de variable número de hojas, número de tallos, hojas (g), tallos (g), raíces (g), longitud de raíz (cm), volumen de raíz (cm³), índice de verdor (contenido de clorofila en $\mu\text{mol m}^2$), área foliar (cm²/g), altura de planta (cm) respecto al resto de los tratamientos. En campo se estudió la parte aérea de *L. corniculatus*, se realizó un análisis de crecimiento, evaluando las variables: rendimiento de materia seca (RMS), altura con regla (AR), altura con plato (AP), rendimientos de hoja (H), tallo (T), maleza (M), material muerto (MM), relación (H: T) y radiación interceptada (RI). Se realizaron muestreos que consistieron en cortes semanales continuos durante un ciclo de rebrote (ocho semanas) en primavera. Los datos se analizaron con SAS, conforme a un diseño experimental completamente al azar para los datos obtenidos en el invernadero y en campo un diseño completamente al azar en parcelas divididas a dos densidades como tratamientos y 8 repeticiones para cada tratamiento. El tratamiento D2 de acuerdo a los resultados obtenidos, fue el que presentó los valores más altos (5450.00 KgMSha⁻¹), seguido por el tratamiento D1 (4315.00 KgMSha⁻¹) se observaron diferencias entre tratamientos, radiación interceptada alcanza el punto máximo a los 49 días (92 %). Se concluye que la densidad con mejor comportamiento en general fue la D2 misma que registró la mayor respuesta en términos de variable hoja, tallo, maleza, material muerto (KgMSha⁻¹) y altura (cm), por lo que se considera que el genotipo 202700 es un material que presenta una buena aptitud forrajera en cuanto a rendimiento de materia seca y cantidad de hojas lo que se vio reflejado en los resultados obtenidos.

Palabras clave: AIB, hoja, tallo, maleza, material muerto, relación H: T, RI.

VEGETATIVE REPRODUCTION AND PRODUCTIVE BEHAVIOR OF BIRD'S FOOT

TREFOIL (*Lotus corniculatus* L.)

Cristian Castillo Cabrera, M.C.
Postgraduate College, 2021

ABSTRACT

Lotus corniculatus L., is a plant with forage potential in Mexico, due to its adaptive qualities. It thrives under conditions where alfalfa (*Medicago sativa* L.), white trefoil (*Trifolium repens* L.) and red trefoil (*Trifolium pratense* L.) are difficult to establish. The productivity, morphological and physiological characteristics of the crops, can be modified by nutritional and genetic changes or changes in the specific factors of the regulation of development. In the particular case of Mexico, there is little information about the behavior of *L. corniculatus* to the application of a growth regulator. Therefore, the objective of this study was to evaluate the growth behavior based on the production of dry matter and its morphological composition in two experiments carried out in the greenhouse and in the field. In the greenhouse, two solid and liquid indole-butyric acid (IBA) - based growth promoters (S + ES and S + EL) were evaluated with a control (S) same substrate for all three. 1300 pots were used, 20 of each treatment were taken for subsequent data recording. The S + ES according to the results was the one that presented the highest values followed by the S + EL and S respectively. It is concluded that the plants with application of 1500 ppm of IBA registered the highest response of the data of 20 plants per treatment in terms of variable number of leaves, number of stems, leaves (g), stems (g), roots (g), root length (cm), root volume (cm³), greenness index (chlorophyll content in $\mu\text{mol m}^2$), leaf area (cm² / g), plant height (cm) with respect to the rest of the treatments. In the field, the aerial part of *L. corniculatus* was studied, a growth analysis was carried out, evaluating the variables: dry matter yield (RMS), height with rule (AR), height with plate (AP), leaf yield (H), stem (T), weed (M), dead material (MM), ratio (H: T) and intercepted radiation (RI). Samples were carried out that consisted of continuous weekly cuts during a regrowth cycle (eight weeks) in spring. The data were analyzed with SAS, according to a completely randomized experimental design for the data obtained in the greenhouse and in the field, a completely randomized design in divided plots at two densities as treatments and 8 repetitions for each treatment. Treatment D2, according to the results obtained, was the one that presented the highest values (5450.00 Kg of DM ha⁻¹), followed by treatment D1 (4315.00 Kg of DM ha⁻¹), differences were observed between treatments, intercepted radiation it peaked at 49 days (92%). It is concluded that the density with the best performance in general was the same D2 that registered the highest response in terms of variable leaf, stem, weed, dead material (Kg of DM ha⁻¹) and height (cm), for which it is considered that genotype 202700 is a material that presents good forage aptitude in terms of dry matter yield and number of leaves, which was reflected in the results obtained.

Keywords: AIB, leaf, stem, weed, dead material, H: T ratio, RI.

AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente por permitirme lograr este propósito en la vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) que me otorgó el apoyo económico para lograr la conclusión de mis estudios de Maestría en Ciencias.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo y al Departamento de Recursos Genéticos y Productividad - Ganadería, por brindarme la oportunidad de formarme como Maestro en Ciencias en esta casa de estudios.

A los integrantes de mi consejo particular: Dr. Sergio Iban Mendoza Pedroza, Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada, Dr. Gabino García de los Santos, Dr. Arturo Pro Martínez, Dr. Fernando González Cerón, a todos ellos por su valiosa amistad, consejos en mi formación personal y profesional además de su participación durante y conclusión de este trabajo de investigación.

Al Dr. Humberto Vaquera Huerta, que tuvo la disponibilidad de apoyarme en el análisis estadístico de mis datos.

A todos y a cada uno de los profesores del Colegio de Postgraduados con quienes me formé académicamente.

Al personal académico y administrativo del programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados, en especial a Sra. Celsa y a Osvaldo por su valiosa ayuda.

Al personal de servicios académicos: Lic. Ma. Del Carmen Padilla Pastrana y María del Rosario Torres Ramírez por su apoyo en los trámites de examen de grado.

Al personal de campo: Sr. Remedios, Sr. Ángel, Sr. Alejandro, Sr. Jaime, Sr. Rogelio, que me apoyaron durante el desarrollo de mi trabajo experimental.

DEDICATORIAS

Esta tesis está dedicada primeramente a mi familia:

A mis padres José Luis quien me motivo para seguir adelante en tiempos difíciles y Diana Imelda que, aunque no logró ver terminado este logro obtenido se lo dedico hasta el cielo, gracias por sus consejos y guía para ser una persona de bien, han sido mi motivación.

A mi esposa Diana Edith que ha sido mi apoyo y mi fortaleza en tiempos difíciles en mi vida, ha sabido darme una palabra de aliento para seguir adelante.

A mi suegra Gabriela Guadalupe que con su apoyo incondicional ha sido muy importante en este logro alcanzado.

A mis hermanos y hermana, Juan Carlos, Luis Alberto y Reyna porque de una u otra forma me han brindado su apoyo, los quiero.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIAS	vi
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Objetivos	4
Hipótesis	4
Literatura citada	5
REVISIÓN DE LITERATURA	6
Descripción del género Lotus	6
Clasificación taxonómica	6
Distribución y zonas de cultivo	6
Descripción botánica y morfológica	7
Ficha descriptiva de <i>Lotus corniculatus</i> L. (Beuselinck, P. R. 1999; citado por Ayala y Carámbula, 2009)	8
Ventajas de <i>L. corniculatus</i>	9
Desventajas de <i>L. corniculatus</i>	10
Literatura citada	11
CAPITULO 1. REPRODUCCIÓN VEGETATIVA DE TRÉBOL PATA DE PÁJARO (<i>Lotus corniculatus</i> L.) USANDO DIFERENTES ENRAIZADORES	12
1.1 INTRODUCCIÓN	12
1.2 MATERIALES Y MÉTODOS	14
1.2.1 Localidad y fecha	14
1.2.2 Objetivos	14
1.2.3 Hipótesis	14
1.2.4 Material vegetal	15

1.2.5	Tratamientos y unidad experimental.....	16
1.2.6	Composición de Radix® 1500 y Radix® T 3000.....	16
1.3	VARIABLES EVALUADAS.....	17
1.3.1	Rendimiento de materia seca total por planta (RMS, g)	17
1.3.2	Altura de planta (AP) y longitud de raíz.....	17
1.3.3	Índice de verdor (IV).....	18
1.3.4	Volumen de raíz (VR)	18
1.3.5	Área foliar (AF)	18
1.3.6	Composición morfológica	18
1.3.7	Relación hoja: tallo.....	19
1.3.8	Análisis estadístico.....	19
1.3.9	Temperatura del invernadero	19
1.4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
1.5	CONCLUSIONES.....	26
1.5	LITERATURA CITADA	27
CAPITULO 2. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE TRÉBOL PATA DE PÁJARO		
(<i>Lotus corniculatus</i> L.) A DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA..... 30		
2.1	INTRODUCCIÓN.....	30
2.2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
2.2.1	Localidad y fecha	31
2.2.2	Objetivos.....	32
2.2.3	Hipótesis	32
2.2.4	Material vegetal	32
2.2.5	Tratamientos y unidad experimental.....	33
2.3	VARIABLES EVALUADAS.....	33
2.3.1	Rendimiento de forraje (RF)	33
2.3.2	Altura de planta (AP).....	34
2.3.3	Composición botánica y morfológica.....	34
2.3.4	Relación hoja-tallo.....	35
2.3.5	Radiación interceptada	35
2.3.6	Análisis estadístico.....	36

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
2.4.1 Cambios en la acumulación de forraje	37
2.4.2 Radiación interceptada	38
2.4.3 Altura de planta.....	39
2.5 CONCLUSIONES.....	39
2.6 LITERATURA CITADA	45
CONCLUSIONES GENERALES.....	47

LISTA DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Medias para variables morfológicas en <i>Lotus corniculatus</i> L.	21
Cuadro 2. Medias para las variables relación hoja-tallo, altura de raíz, volumen de raíz, Índice de verdor, área foliar y altura de planta en <i>Lotus corniculatus</i> L.	22
Cuadro 3. Rendimiento de forraje por componente botánico y morfológico de <i>Lotus corniculatus</i> L. genotipo 202700, en función de dos densidades de siembra.	40
Cuadro 4. Rendimiento de forraje por componente botánico y morfológico de <i>Lotus corniculatus</i> L. genotipo 202700, en función de días después del corte.	40

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Países con más de 100 mil hectáreas con especies de <i>Lotus</i> , el área de siembra se representa en miles de hectáreas. (Díaz <i>et al.</i> , 2005; citado por Álvarez <i>et al.</i> , 2017).	7
Figura 2. Parcela de <i>Lotus corniculatus</i> L (Elaboración propia).	9
Figura 3. Ensayo de adaptabilidad de genotipo de <i>Lotus corniculatus</i> L.	15
Figura 4. Promedios de rendimiento de <i>Lotus corniculatus</i> genotipo 202700. En el eje horizontal, la edad de las plantas de 30 y 150 días después de trasplante de esqueje (DDTE). Se ajustó a una línea de tendencia polinómica.	23
Figura 5. Promedios de alturas de plantas (cm) de <i>Lotus corniculatus</i> genotipo 202700. El eje horizontal la edad de las plantas de 30 y 150 días después de trasplante de esqueje (DDTE). Se ajustó a una línea de tendencia polinómica.	23
Figura 6. Cambios en la tasa de crecimiento a diferente edad (56 días) de Trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.) y rendimiento de materia seca a dos densidades de siembra. D1: 12,000 plantas por ha ⁻¹ ; D2: 16,000 plantas por ha ⁻¹	41
Figura 7. Dinámica de acumulación de forraje en tallos y hojas de Trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.) en dos densidades de siembra en ciclo de crecimiento de 56 días. D1: 12,000 plantas por ha ⁻¹ ; D2: 16,000 plantas por ha ⁻¹	41
Figura 8. Rendimiento total de Trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.) en una pradera con dos densidades de siembra en ciclo de crecimiento de 56 días. D1: 12,000 plantas por ha ⁻¹ ; D2: 16,000 plantas por ha ⁻¹ ; RI: Radiación interceptada.	42

Figura 9. Cambios en la composición botánica y morfológica en una pradera de Trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.) con densidad de siembra de 12,000 plantas por ha ⁻¹ en ciclo de crecimiento de 56 días. M.M: Material muerto.	42
Figura 10. Cambios en la composición botánica y morfológica en una pradera de Trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.) con densidad de siembra de 16,000 plantas por ha ⁻¹ en ciclo de crecimiento de 56 días. M.M: Material muerto.	43
Figura 11. Cambios a través del tiempo en la relación hoja-tallo de Trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.). D1: 12,000 plantas por ha ⁻¹ ; D2: 16,000 plantas por ha ⁻¹	43
Figura 12. Cambios a través del tiempo en altura de Trébol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i> L.). D1: 12,000 plantas por ha ⁻¹ ; D2: 16,000 plantas por ha ⁻¹	44

INTRODUCCIÓN GENERAL

En México, la mayor cantidad de actividades agropecuarias productivas se realizan en condiciones de régimen de lluvia o temporal, por lo que la disponibilidad de humedad es baja para el crecimiento y desarrollo de plantas. En nuestro país, se destinan alrededor de 109.8 millones de hectáreas a la ganadería en las que se crían alrededor de 33.8 millones de bovinos (SIAP, 2018) donde la base principal de alimentación es el uso de forrajes directamente en praderas (Velazco *et al.*, 2001), las cuales se consideran como la opción más abundante y de bajo costo de alimentación (Marcelino *et al.*, 2006). Al establecer una pradera se deben tomar en cuenta varios factores debido a que se requiere un proceso de planificación para poder obtener el máximo beneficio en persistencia, población de plantas y producción de forraje por hectárea. Se deben tener precauciones en el caso de cultivos tradicionales en términos de preparación de suelo, asociados con factores físico químicos del suelo y su vegetación. Algunas de las principales fallas del establecimiento de praderas son la competencia por malezas, la baja fertilidad e inadecuada preparación de los suelos. Las especies forrajeras en sus estados iniciales no compiten con las malezas por lo que es importante reducir la población de estas últimas (Romero 2015).

Otro de los problemas para poder establecer una pradera es la baja producción comercial de semillas misma que limita la difusión de varios de los cultivares recomendados (Ayala y Carámbula, 2009) y que se adapte a dichas condiciones del medio donde se pretende establecer, en caso contrario se deben adaptar algunas variedades y evaluarlas para posteriormente enfocarse en reproducir a las más aptas y persistentes de las que se obtendrá el material vegetativo para su propagación y posterior establecimiento. La técnica de cultivo mediante esquejes es un método de propagación vegetal que resulta muy útil para las plantas que producen pocas semillas y para aquellas que son difíciles de cultivar a partir de estas, pues con esta técnica se consigue replicar

las plantas necesarias para su conservación y/o posterior cultivo produciendo individuos genéticamente idénticos; además, con este método se puede obtener gran cantidad de plantas a partir de un único ejemplar de buen tamaño y vigoroso dentro de una población sin provocar un daño importante a la planta madre; para lograr este objetivo es recomendable apoyarse en el uso de reguladores de crecimiento para asegurar una mayor sobrevivencia de dichas plantas, ya que el principal objetivo de estos es promover y acelerar la formación de raíces, aumentar el número de esquejes enraizados exitosamente, promover la formación de un mayor número de raíces y formar una corona de raíz uniforme.

Las plantas en desarrollo requieren de reguladores hormonales, capaces de controlar su actividad metabólica. Cada fitohormona realiza diferentes interacciones para cumplir con sus funciones. Las principales fitohormonas utilizadas en el crecimiento vegetal son las auxinas, giberelinas, citoquininas, entre otras.

Las auxinas son un tipo de fitohormonas especializadas en diferentes procesos a nivel vegetal. Los principales puntos de acción se encuentran a nivel celular, específicamente en la capacidad de administrar e intervenir en los procesos de división, elongación y diferenciación celular de las plantas, en la categoría de las auxinas la más abundante y producida de manera natural en las plantas, es el ácido 3-indol-acético (AIA), otras formas naturales de auxinas son el ácido 4-cloro-indolacético (4-Cl-IAA), ácido fenilacético (PAA), ácido indol butírico (AIB) y el ácido indol propiónico (Ludwig-Müller y Cohen 2002). Aunque también se conocen auxinas producidas de manera sintética como el ácido indol-butírico (AIB), el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y el ácido α -naftalenacético (NAA) (Cortés 2019). La aplicación de enraizadores hormonales con una mayor concentración de auxinas favorece la formación de raíces de anclaje y conducción, estos se pueden mezclar con Captán 50 que es un fungicida de acción preventiva y curativa que previene

gran variedad de enfermedades como pobredumbre de la raíz (*Fusarium spp.*), pudrición de la raíz (*Fusarium phaseoli*), entre otras.

Al establecer una pradera con pastos perenes para periodos de dos a cinco años o más, se deben evitar errores en su implantación, pues no podrán ser corregidos durante la vida del cultivo. Es fundamental obtener una población uniforme en todo el campo y todas las operaciones deben tener ese objetivo. Las gramíneas de semillas pequeñas sembradas especialmente para pasturas y forrajes no tienen este problema al establecerlas.

Todos estos parámetros deben de estar en sincronía para poder obtener resultados positivos en las unidades de producción, cosa que se busca en el establecimiento de buenas praderas con leguminosas y sus asociaciones con gramíneas o viceversa y de esta manera reducir los costos de alimentación que se presentan en dichos establecimientos y que son los que van condicionando el nivel de la rentabilidad que se tendrá a lo largo de su aprovechamiento.

Por lo anterior, se consideró para este estudio, el genotipo 202700 de *Lotus corniculatus* L. el cual se menciona que es una planta de triple propósito y muy versátil, ya que se puede pastorear, henificar y en su caso ensilar. A diferencia de la alfalfa que se adapta mejor a la producción de heno, o el trébol rojo que se comporta mejor en un manejo para heno; el *Lotus*, además de ser multipropósito tiene un alto valor nutritivo y no pierde su palatabilidad para el ganado cuando se demora su utilización. Se adapta fundamentalmente a pastoreos frecuentes, por que persiste mejor que la alfalfa y el trébol rojo bajo este manejo (Formoso, 1993). La creciente importancia para la alimentación del ganado con pasturas sobre la base de leguminosas asociadas con gramíneas anuales y perennes en las que se requiere manejo especial, como conocer comportamiento a densidades altas de plantas, etc., cantidades de agua, fertilizaciones adecuadas y suelos con diversas características, nos dan la pauta para buscar alternativas en otras especies o cultivares

como es el caso de *L. corniculatus*, que nos provean de opciones de una alimentación nutritiva y eficiente, pero que también conozcamos más a detalle su ciclo productivo y planeación para tener forraje vasto y disponible en momentos importantes para su utilización. La elevada calidad de forraje y atributo de no causar timpanismo, hacen de *Lotus corniculatus* una opción importante para realizar estudios sobre la alimentación de ganado en praderas sembradas con esta leguminosa perenne, que además se adapta a condiciones ambientales muy diversas. Tolera el frío y el calor de forma moderada además de la sequía. Se desarrolla mejor en climas fríos y húmedos. Se adapta a suelos de distinto pH (5,5-7,5). Tolera la salinidad, pero no soporta el encharcamiento ni los suelos arenosos, además de persistir bien en condiciones de baja fertilidad.

Objetivos

1.1.1.- Determinar el crecimiento de la raíz y parte aérea del genotipo 202700 *Lotus corniculatus* L. en invernadero.

1.1.2.- Evaluar dos promotores de crecimiento en el enraizamiento y dinámica de crecimiento de *Lotus corniculatus* L. en invernadero.

1.1.3.- Determinar el análisis de crecimiento de *Lotus corniculatus* en un ciclo de rebrote y observar el comportamiento productivo a dos densidades de población.

1.1.4.- Evaluar la acumulación de forraje con base a la edad de cosecha y componentes del rendimiento a dos densidades de población.

Hipótesis

1.2.1.- El uso de ácido indol-butírico como promotor de crecimiento favorecerá un mejor enraizamiento y desarrollo de la parte aérea de *Lotus corniculatus* L., en invernadero.

1.2.2.- La densidad de 16,000 plantas por ha⁻¹ tendrá un mejor comportamiento y productividad que la densidad de 12,000 plantas por ha⁻¹ en un ciclo de rebrote.

Literatura citadan

- Ayala, W., y Carámbula, M. (2009). *El valor agronómico del género Lotus* (No. 633.3 AYA).
- Cortés, J. S. A., Godoy, J. A., Cortés, J. D. A., y Mora, R. M. S. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32), 109-129.
- Formoso, F. (1993). *Lotus corniculatus*; performance forrajera y características agronómicas asociadas. *Montevideo, INIA*.
- La ganadería: símbolo de fortaleza del campo mexicano. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Gobierno de México. Consultado el 3 de marzo de 2021 en <https://www.gob.mx/siap/articulos/la-ganaderia-simbolo-de-fortaleza-del-campo-mexicano>
- Ludwig-Müller, J., y Cohen, J. D. (2002). Identification and quantification of three active auxins in different tissues of *Tropaeolum majus*. *Physiologia Plantarum*, 115(2), 320-329.
- Marcelino, K. R. A., D. Nascimento Jr., S. Da Silva C., V. P. Euclides B., D. Da Fonseca M. (2006). Características morfológicas 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.
- Romero Y. O. (2015) Claves para el establecimiento de praderas zona sur Disponible en <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2016/03/informativo-76-2015claves-para-establecimiento-de-praderas-ovinos.pdf>
- 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.

REVISIÓN DE LITERATURA

Descripción del género *Lotus*

Clasificación taxonómica

Distribución y zonas de cultivo

El género *Lotus* incluye más de 180 especies que se encuentran en todo el mundo, excepto en las regiones muy frías y las áreas tropicales de tierras bajas del sudeste asiático y América del Sur y Central. Actualmente su uso se ha extendido a países como EEUU, Australia, Argentina y Chile. La distribución natural de especies de *Lotus corniculatus* importantes desde el punto de vista agronómico, se encuentra principalmente en la cuenca mediterránea (Europa y norte de África) donde se inició su cultivo como pratense; *L. corniculatus* es sin duda la especie considerada de mayor importancia agrícola y de mayor distribución (Díaz *et al.*, 2005). En la Figura 1 se observan las principales regiones del mundo donde se siembran las especies de *Lotus*, que incluye, América del Sur, América del Norte y Europa, con 1,85, 1,39 y 1,38 millones de hectáreas respectivamente (Díaz *et al.*, 2005); 26 países siembran el 95% de las especies de *Lotus* en el mundo y más del 90% de esta área está plantada con *L. corniculatus* para mejorar los pastos y la calidad del heno donde otras especies de leguminosas forrajeras no se adaptan a las condiciones ambientales (Papadopulous y Kelman, 1999). Miñón *et al.* (1990) mencionan que la especie *Lotus corniculatus* L. cuenta con 9 variedades mismas que son las siguientes: *crassifolia* Fr; *kochii* Chrtková; *maritimus* Rupr; *japonicus* Regel; *ssp. afghanicus* Chrtková; *carpetanus* (Lacaita) Rivas-Mart; *corniculatus* L; *frondosus* Freyn; *fruticosus* Chrtková.



Figura 1. Países con más de 100 mil hectáreas con especies de Lotus, el área de siembra se representa en miles de hectáreas. (Díaz et al., 2005; citado por Álvarez et al., 2017).

Descripción botánica y morfológica

Es una leguminosa perenne de una altura aproximada de 5-50 cm, tallos sólidos, presenta porte erecto, decumbente o postrado, raíz pivotante vigorosa de hasta 1 m de largo. Su hábito de crecimiento es a partir de una corona de la cual emergen los rebrotes a partir de las yemas axilares situadas sobre los tallos. (Silveira, 2011). Las hojas son todas trifoliadas con estipulas bien desarrolladas parecidas a los foliolos y ubicadas en la base del peciolo característica que aparenta tener las hojas pentafoliadas más o menos pilosas y nervios poco visibles. La primera hoja que emerge desde el punto de crecimiento ubicado entre los cotiledones es trifolio, característica

diferente a los géneros *Medicago* y *Trifolium* en los que la primera hoja es unifoliada. La inflorescencia, es una umbela dispuesta de 1 a 12 flores que están sostenidas por un pedúnculo floral implantado en las axilas de las hojas principales de los tallos. Las flores son de color amarillo con tonalidades pálidas a intensas, casi anaranjadas hasta rojizas. El fruto está constituido por vainas alargadas y estrechamente agrupadas en diferente número formando una pata de pájaro y por estas características recibe su nombre común de trébol pata de pájaro (Ayala y Carámbula, 2009); cuya producción se da en las estaciones primavera-verano-otoño adaptándose a diferentes tipos de suelos, desde arenosos hasta arcillosos, que van desde ácidos hasta salinos entre un rango de pH 4.5 hasta 8.3, tolerante a temperaturas entre - 4 hasta 24 °C y resistente a heladas (Cárdenas, 2011).

Ficha descriptiva de *Lotus corniculatus* L. (Beuselinck, P. R. 1999; citado por Ayala y Carámbula, 2009)

- Nombre común: *Lotus*, *Lotus* común, *Lotus* corniculado, *Lotus* pata de pájaro, Cornichao.
- Ciclo perenne (anualmente se produce un reemplazo parcial y continuo por la aparición de nuevos individuos en otoño e invierno a consecuencia de la resiembra natural como resultado de la apertura de vainas maduras durante primavera y verano.)
- Plantas de color verde claro.
- Plantas aisladas erectas.
- Foliolos obovado-lanceolados, anchos de por lo menos la mitad de su largo; glabros pero algunas veces levemente pilosos.
- Tallos muy rara vez huecos, fuertes, con entrenudos relativamente largos.
- Umbelas con 2-6 flores grandes amarillas de por lo menos 15 mm de longitud. Dientes del cáliz cortos apretando la yema floral y de aproximadamente 1.5 mm de longitud, levemente ciliados.

- Vainas largas y fuertes.
- Semillas de mayor tamaño comparado con otras especies de *Lotus*.
- Plántula con epicótilo verde y glabro e hipocótilo verde.



Figura 2. Parcela de *Lotus corniculatus* L (Elaboración propia).

Ventajas de *L. corniculatus*

El *Lotus corniculatus* L. puede utilizarse como alternativa a la mala adaptación que tiene la alfalfa a suelos pobres, se adapta a diversas texturas, desde arcillosas hasta franco-arenosas y mejora la disponibilidad de nitrógeno a las especies con las que se asocia (Miñon *et al.*, 1990). En relación a la calidad nutritiva se menciona que es comparable a la de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) y a la del trébol blanco (*Trifolium repens* L.); dicha comparación se basa en que estas especies poseen elevada calidad forrajera, y alto contenido de proteína cruda que varía de 17.7 a 21.6 % en base seca (Marley *et al.*, 2006). Se puede enfatizar que el género *Lotus* se adapta a suelos ácidos y de baja fertilidad, tolera niveles altos de aluminio, no tiene riesgos de timpanismo por el contenido de taninos condensados a los cuales se les atribuye la característica de impedir la formación de gases y espuma en el rumen y se prevenga dicho problema, tiene buena persistencia, buena capacidad fijadora de nitrógeno, resistente a la sequía debido a su sistema radicular profundo

(Pereira, 2007) y la capacidad de proveer hasta el 23 % de proteína cruda, digestibilidad in vitro del 80 %, FDN 50 % y FDA 32 %, 1800 kg de materia seca por corte (García, 2011); lo que hace que esta especie sea muy atractiva para sistemas que utilizan insumos en forma reducida (Ayala y Carámbula, 2009). El crecimiento de *Lotus corniculatus* se favorece con frecuencias de alturas de pastoreo de 20 - 25 centímetros (Formoso, 1996). Se cultiva generalmente en mezcla, para establecer praderas permanentes de temporal con especies como el fleo (*Phleum pratense* L.) o la Festuca (*Festuca arundinacea*).

Desventajas de *L. corniculatus*

Todas las plantas forrajeras poseen tanto aspectos a favor como en contra, resulta importante destacar que el género *Lotus* presenta algunos problemas de escaso vigor de semilla que ocasiona que las plántulas tengan un lento establecimiento; esto a su vez, retrasa el proceso de nodulación que ubica a las plántulas en condiciones similares a las de las gramíneas; hay en general baja producción comercial de semillas, lo que limita la difusión de varios de los cultivares recomendados (Ayala y Carámbula, 2009). No obstante, el establecimiento por semillas, es complicado, debido a la dehiscencia pues la vaina se abre en cuanto la semilla está madura y esta cae al suelo inmediatamente lo cual dificulta su recolección (Silveira *et al.*, 2011).

Los pastoreos muy frecuentes generan una disminución en las reservas de carbohidratos estructurales además del peso de las raíces, lo que ocasiona una menor producción de forraje y rebrotes más lentos, el debilitamiento de las plantas provocado por este fenómeno, aumenta la susceptibilidad al ataque de enfermedades como hongos de la raíz y corona., pudiendo en algunos casos producir la muerte de las mismas (Formoso, 2000),

Literatura citada

- Ayala, W., y Carámbula, M. (2009). *El valor agronómico del género Lotus* (No. 633.3 AYA), 424 p.
- Beuselinck, P. R. (1999). *Trefoil: The Science and Technology of Lotus* (p. 9). American Society of Agronomy, 14 p
- Cárdenas, R. E. (2011). *Lotus*; nueva leguminosa forrajera para los sistemas lecheros de clima frío y zonas templadas. *Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Editorial Produmedios*, 50(1), 20-24 p.
- Díaz, P., Borsani, O., y Monza, J. (2005). *Lotus-related species and their agronomic importance. Lotus japonicus handbook*, 25-37 p.
- Formoso, F. (1993). *Lotus corniculatus*; performance forrajera y características agronómicas asociadas. *Montevideo, INIA*, 23 p
- Formoso, F. A. (1996). Bases morfológicas y fisiológicas del manejo de pasturas. *INIA Serie Técnica*, 19 p.
- Formoso, F. (2000). Manejo de alfalfa para producción de forraje. *Tecnología en alfalfa. Montevideo, INIA*, 53-74 p.
- García, B, D. V. (2011). Evaluación productiva y de calidad forrajera de 12 colectas de *Lotus corniculatus* L. y su posible utilización en regiones templadas del estado de Puebla, 86 p.
- Miñón, D. P., Sevilla, G. H., Montes, L., y Fernández, O. N. (1990). *Lotus tenuis*: leguminosa forrajera para la Pampa Deprimida. *Boletín técnico*, 98 p.
- Papadopoulos, Y. A., y Kelman, W. M. (1999). Traditional Breeding of *Lotus* Species. *Trefoil: The Science and Technology of the Lotus*, 28, 187-198 p.
- Pereira, M. (2007). ¿Qué Lotus sembrar? *Revista Plan Agropecuario*. 122: 36-38 p.

CAPITULO 1. REPRODUCCIÓN VEGETATIVA DE TRÉBOL PATA DE PÁJARO

(*Lotus corniculatus* L.) USANDO DIFERENTES ENRAIZADORES

1.1 INTRODUCCIÓN

Lotus corniculatus L., es una leguminosa perenne conocida como Trébol pata de pájaro. Es de la familia de las Fabaceae con un potencial forrajero muy relevante (de los Santos y Steiner. 2003), representa el 90 % del área sembrada en todo el mundo principalmente Estados Unidos, Australia, Chile y Argentina (Escaray *et al.*, 2012). Presenta cualidades adaptativas a diversas texturas de suelo. (García, 2011). También tolera inundaciones y sequía, además de adaptarse a suelos con problemas de salinidad, acidez, baja fertilidad y bajos niveles de fósforo, mejora la disponibilidad de nitrógeno en asociaciones. (Striker *et al.*, 2005). Prospera bajo condiciones donde la alfalfa (*Medicago sativa* L.), trébol blanco (*Trifolium repens* L.) y trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) difícilmente logran establecerse (Grant y Niizeki, 2009).

Kirkbride (1999) menciona que *L. corniculatus* es una especie muy variable (se clasifica taxonómicamente de diferentes formas) y la de mayor distribución en el mundo. En cuanto a la calidad nutritiva se menciona que es similar a la de las leguminosas templadas más comunes como la alfalfa, trébol blanco y el trébol rojo por su proteína de excelente calidad, que es de 17.7 a 21.6 % MS (Marley *et al.*, 2006). La calidad del forraje y además contiene taninos condensados mismos que previenen el timpanismo en rumiantes y protegen la degradación de las proteínas en el rumen (Ayala y Carámbula, 2009). *L. corniculatus* es una opción importante para la alimentación de ganado, se desarrolla mejor en climas fríos y húmedos, aunque también en tropicales y subtropicales. Como todos los forrajes tiene desventajas muy marcadas, como el establecimiento inicial lento y baja persistencia (Ixtaina y Mujica, 2010).

La productividad, características morfológicas y fisiológicas de los cultivos, se modifica por factores nutricionales, genéticos o específicos como reguladores del desarrollo (reguladores de crecimiento). En el caso particular de México, hay escasa o nula información acerca del comportamiento de diferentes ecotipos de forrajes y la aplicación de un regulador de crecimiento. Los reguladores de crecimiento aplicados como enraizadores, son utilizados para inducir y estimular el desarrollo de raíces y el engrosamiento de tallos, mediante el contenido de nutrientes y fitohormonas que intervienen en procesos fisiológicos específicos que, al no estar presentes en la planta, es difícil que la planta tenga un desarrollo satisfactorio. El ácido indolacético y triptófano (hormona y precursor) favorecen la división celular de raíces y el crecimiento de las plantas (Chilon, E. y Chilon, J., 2015). Castrillon *et al* (2008) estudiaron el efecto del Ácido Indol-3-Butírico (AIB), indol-3-acético (AIA) y ácido 1-naftalenacético (ANA) en la supervivencia de estacas de Pushgay en tierra + turba y solo turba, en diferentes concentraciones y evidenciaron que AIB a 200 mg/L en suelo + turba lograron mayor tiempo de supervivencia de 43 días, mientras que en ausencia del regulador las estacas sobrevivieron solo 21 días. Jiménez y Abdelnour (2017) evaluaron enraizamiento de *Vaccinium consanguineum* (arándano nativo de Costa Rica), usando AIB como enraizante y turba como sustrato, lograron el 80 por ciento de enraizamiento después de 5 meses (150 días), no encontraron diferencias significativas entre el testigo y las tratadas (2 mg/L de AIB). Por consiguiente, el objetivo de la presente investigación fue la de evaluar el efecto de ácido indolbutírico en presentación líquida o sólida (RADIX®) y diferentes sustratos, en el enraizamiento de *Lotus corniculatus* L. y estudiar la evolución de la raíz y parte aérea del *Lotus corniculatus* L. en invernadero.

1.2 MATERIALES Y MÉTODOS

1.2.1 Localidad y fecha

La investigación se realizó en un invernadero de cristal con *Lotus corniculatus* L. (genotipo 202700), trasplantada en diciembre de 2020 a abril de 2021, en el colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, a una altitud de 2,250 msnm. De acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por García (2004), la región es C (W0) (W) b (i) g, que corresponde a un clima templado subhúmedo con lluvias en verano y época seca en invierno, con poca oscilación térmica, una precipitación media anual de 686 mm y una temperatura media anual de 15.9 °C, siendo mayo el mes más cálido y enero el mes más frío.

1.2.2 Objetivos

- Determinar el comportamiento de la evolución, la dinámica de crecimiento de la raíz y parte aérea del *Lotus corniculatus* L. en invernadero.
- Evaluar el efecto de dos promotores de crecimiento en el enraizamiento y producción de *Lotus corniculatus* L. en invernadero.

1.2.3 Hipótesis

El uso de promotores de crecimiento favorecerá un mejor enraizamiento y desarrollo de la dinámica de crecimiento de raíz y parte aérea de *Lotus corniculatus* L., en invernadero.

1.2.4 Material vegetal

Se utilizó semilla original del genotipo 202700 de *Lotus corniculatus* L., germoplasma de hábito erecto y originario de Uruguay, que se obtuvo a través del Programa de Manejo de Recursos Fitogenéticos del Colegio de Postgraduados, del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA-ARS), en Beltsville, Maryland, USA; mismo que fue evaluado por primera vez desde 1997, en un ensayo de adaptabilidad en el Campus Montecillo (Figura 3), México (García *et al*, 2015; Álvarez *et al*, 2018). Pero debido a que las plantas sembradas en campo, aun no producen semilla suficiente, se siguen reproduciendo por medio de esquejes tomados de la corona de dichas plantas.



Figura 3. Ensayo de adaptabilidad de variedades de *Lotus corniculatus* L.

1.2.5 Tratamientos y unidad experimental

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar en tres tratamientos con veinte macetas como repeticiones para cada uno.

El sustrato utilizado en las macetas fue una mezcla de agrolita (35.48 %), Peatmoss (35.48 %), vermiculita (3.22 %), y suelo (25.80 %).

Los tratamientos aplicados fueron el testigo el cual únicamente fue sustrato sin enraizador (S); el tratamiento 2 fue sustrato + enraizador sólido (S+ES) RADIX® 1500 y el tratamiento 3 fue sustrato + enraizador líquido (S+EL) RADIX® T 3000, el experimento se estableció en diciembre de 2020 en un invernadero se utilizaron 1300 macetas en las que se trasplantaron esquejes de *Lotus corniculatus* L. de coronas de plantas madre establecidas en campo (García *et al*, (2015); Álvarez *et al*, (2018), y por consiguiente evaluar el efecto de S+ES y S+EL durante 5 meses aplicando el método destructivo para observar la dinámica de crecimiento de raíz y parte aérea del *Lotus corniculatus* L. Para evitar problemas de enfermedades en la raíz se utilizó Captan® 50. El primer muestreo se realizó a los 30 días y, posteriormente, se programaron los cortes cada 30 días, hasta llegar a la edad de 150 días (5 meses).

1.2.6 Composición de Radix® 1500 y Radix® T 3000

Según la ficha técnica proporcionada por Intercontinental Import Export (2021). RADIX® en sus diferentes presentaciones, es un producto regulador de crecimiento vegetal, formulado en líquido soluble, que contiene AIB al 0.15 % y al 0.3 % como ingrediente activo respectivamente, siendo la auxina más eficaz en la promoción de la iniciación de la formación de raíces adventicias o laterales modificando la arquitectura del sistema radical de las plantas. El AIB puede ser absorbido por cualquier parte de la planta. Actúa por sí mismo y a través de su transformación en AIA, que

también regula el crecimiento de las raíces. Después del trasplante induce artificialmente la regeneración y crecimiento de las raíces, anticipadamente a la respuesta natural del vegetal, acelerando su restablecimiento y contrarrestando el deterioro que se presenta por el trasplante; logrando por este medio un menor daño por la exposición de las raíces y por las condiciones del ambiente. Al restablecer y renovar el sistema radical más rápidamente y con una mejor estructura, se incrementa el vigor y la fortaleza general de la planta, disminuyendo los efectos negativos que acompañan al trasplante.

1.3 VARIABLES EVALUADAS

1.3.1 Rendimiento de materia seca total por planta (RMS, g)

Se calculó al sumar el peso seco de las hojas y tallos, la relación Hoja-Tallo (H: T). El forraje de cada maceta se depositó en bolsas de papel etiquetadas (tallos, hojas, material muerto, MS de raíces), se colocaron en estufa de aire forzado, a 55 °C durante 72 h (para evitar daños en las proteínas) y se registró el peso seco en g. (AOAC, 1996).

1.3.2 Altura de planta (AP) y longitud de raíz

Se utilizó una regla graduada de 50 cm de longitud y 1 mm de precisión. Se separó la planta de la maceta y se colocó la regla desde la raíz hasta la base de tallos y después de la base de esta hasta la última hoja del tallo.

Se realizó una estimación de la cantidad de forraje presente cada mes, relacionando la altura del dosel vegetal con el rendimiento de materia seca.

1.3.3 Índice de verdor (IV)

Se realizaron las lecturas de clorofila con el Minolta SPAD 502, diseñado para la determinación rápida no destructiva, que evalúa cuantitativamente la intensidad del verde de la hoja (650 a 940 nm), obteniendo medias (3 mediciones de tres hojas) de 20 plantas por tratamiento.

La concentración de la clorofila (μmol de clorofila por m^2 de hoja y en unidades SPAD o CCI) es una indicación indirecta de la salud y condición de las plantas, el muestreo no destructivo permitió monitorear la concentración de la clorofila en plantas durante el experimento (Sainz y Echeverría., 1998).

1.3.4 Volumen de raíz (VR)

Se registraron los valores por diferencia de volumen de agua con una probeta de 250 ml la cual se aforo a su capacidad y se introdujeron las raíces de 20 plantas previamente lavadas y secadas.

1.3.5 Área foliar (AF)

En cada tratamiento, se cortaron a ras de maceta los tallos de trébol, se separaron en tallo y hojas mismas que se colocaron en acetatos e inmediatamente se llevaron al integrador de área foliar marca CID, Inc., modelo CI-202 de escáner, del cual se obtuvieron las lecturas de área foliar en cm^2 .

1.3.6 Composición morfológica

Para determinar la composición morfológica se utilizó el forraje cosechado de las macetas mismo que se separó en sus componentes: hojas, tallos y raíz. Se colocaron en una bolsa de papel y se pesaron en forma individual en una báscula digital con capacidad para 500 g y una

aproximación a 0.01 g. Después se llevó a una estufa de aire forzado, a temperatura de 55 °C durante 72 horas (para evitar daños en las proteínas) y así se obtuvo el peso seco (AOAC, 1996).

1.3.7 Relación hoja: tallo

Los datos originados a partir de la composición morfológica (hoja y tallo) de las plantas de *Lotus*, sirvieron para estimar la relación hoja: tallo, la cual se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$H: T = HT$$

Dónde:

H: T = Relación hoja: tallo.

H = Peso seco del componente hoja (g Ms maceta⁻¹).

MS= materia seca

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

1.3.8 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza con el procedimiento GLM del programa estadístico Statistical Analysis System (SAS, 1999), bajo un diseño completamente al azar con tres tratamientos y 20 repeticiones, la comparación de medias de cada variable dependiente al avanzar la edad, se realizó mediante la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

1.3.9 Temperatura del invernadero

La temperatura dentro del invernadero se obtuvo con un termómetro de máximas y mínimas digital (BioTemp) colocado a 1.60 metros a nivel del piso junto a las macetas de las plantas. Durante el desarrollo del estudio, la temperatura máxima mensual osciló entre 22 y 45 °C y mínima mensual osciló entre 8 y 14 °C.

1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar las variables evaluadas con los tratamientos de enraizamiento (Cuadro 1), se encontró diferencias significativas entre tratamientos. En el caso de la relación hoja-tallo (Cuadro 2), los tratamientos con enraizador líquido (S+EL) y el testigo (S) no difirieron entre ellos, pero a los 120-150 días fue menor la relación para el tratamiento con enraizador sólido (S+ES).

El Cuadro 1 muestra la comparación de medias en número de hojas (NHojas), número de tallos (NTallos), Hojas, Tallos y raíces de *Lotus corniculatus* L. a diferentes edades, las variables aumentaron en forma constante y mostraron diferencias estadísticas ($p < 0.05$).

El S+ES a los 150 días de edad mostró el valor más alto en dichas variables, seguido por los tratamientos S y S+EL, aunque sin mostrar diferencias entre sí.

Lo que demuestra que en el caso de los reguladores los mejores resultados fueron con el Radix 1500 (S+ES) ya que favoreció número de tallos, número de hojas, el peso de raíces, tallos y hojas (Cuadro 1 y Figura 4), desde el inicio hasta el final del experimento.

La explicación podría estar dada por la diferencia de impregnación de los productos siendo más favorable la presentación en polvo (sólida), al liberarse de manera gradual al contacto con la humedad del sustrato.

En el Cuadro 2 se observan las variables de altura y volumen de raíz en las que el S+ES presentó los valores más altos seguido por S+EL y S, respectivamente.

Cuadro 1. Medias para variables morfológicas en *Lotus corniculatus* L.

DDTE (días)	Tratamiento	NHojas	NTallos	Hojas (g)	Tallos (g)	Raíces (g)
30	Testigo (S)	38 b	3 c	0.01 c	0.02 b	0.08 b
	S+ES	66 a	6 a	0.04 a	0.06 a	0.26 a
	S+EL	45 b	4 b	0.03 b	0.05 a	0.10 b
60	Testigo (S)	125 ab	3 b	0.08 b	0.05 b	0.12 b
	S+ES	152 a	4 a	0.13 a	0.10 a	0.33 a
	S+EL	116 b	3 b	0.08 b	0.06 b	0.15 b
90	Testigo (S)	171 b	6 b	0.13 b	0.07 b	0.18 b
	S+ES	334 a	9 a	0.35 a	0.21 a	0.46 a
	S+EL	132 b	4 c	0.12 b	0.07 b	0.14 b
120	Testigo (S)	371 b	10 b	0.27 b	0.17 b	0.31 b
	S+ES	811 a	19 a	0.61 a	0.41 a	0.66 a
	S+EL	390 b	9 c	0.30 b	0.17 b	0.28 b
150	Testigo (S)	581 c	13 c	0.51 c	0.26 c	0.42 c
	S+E	1867 a	30 a	1.43 a	1.15 a	1.73 a
	S+EL	858 b	15. b	0.74 b	0.50 b	0.76 b
	DMS	148	2	0.12	0.09	0.12

*a, b, c.=Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes corresponden a cada fecha. Tukey al 0.05. NHojas= Número de hojas; NTallos= Número de tallos; Testigo S= Sustrato sin enraizador; S+ES= Sustrato + enraizador sólido; S+EL= Sustrato + enraizador líquido; DDTE= Días después de trasplante de esqueje.

Cuadro 2. Medias para las variables relación hoja-tallo, altura de raíz, volumen de raíz, Índice de verdor, área foliar y altura de planta en *Lotus corniculatus* L.

DDTE (días)	Tratamiento	HT (g)	LR (cm)	Vol. (cm ³)	IV (μmol m ²)	AF (cm ² /g)	AP (cm)
30	Testigo (S)	0.10 a	5.03 b	0.37 b	21.41 b	2.18 c	7.96 c
	S+ES	0.97 a	6.56 b	1.54 a	29.95 a	8.00 a	12.40 a
	S+EL	0.86 a	10.26 a	1.57 a	24.55 b	5.32 b	10.52 b
60	Testigo (S)	1.80 a	18.09 a	0.94 b	30.47 ab	17.21 c	14.13 b
	S+ES	1.50 a	21.33 a	2.11 a	32.13 a	50.75 a	18.68 a
	S+EL	1.33 a	17.17 a	1.94 a	26.13 b	43.24 b	14.64 b
90	Testigo (S)	2.27 a	22.81 b	2.66 b	28.26 c	22.70 b	15.24 b
	S+ES	1.69 a	32.29 a	5.84 a	38.47 a	61.35 a	19.93 a
	S+EL	2.12 a	24.75 b	2.69 b	32.11 b	20.74 b	15.88 b
120	Testigo (S)	1.62 ab	33.81 b	6.13 b	27.85 b	38.03 b	16.28 c
	S+ES	1.50 b	38.60 a	14.18 a	34.75 a	90.02 a	21.81 a
	S+EL	1.80 a	33.97 b	7.51 b	32.43 ab	45.31 b	17.51 b
150	Testigo (S)	1.97 a	30.27 b	9.19 c	41.19 b	46.53 c	20.22 c
	S+ES	1.24 c	37.47 a	27.71 a	45.79 a	252.65 a	29.49 a
	S+EL	1.48 b	34.62 ab	15.69 b	41.51 b	115.97 b	21.85 b
	DMS	0.23	4.08	2.46	2.71	18.41	1.54

*a, b, c.=Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes corresponden a cada fecha. Tukey al 0.05. HT= Relación Hoja-Tallo, LR= Longitud de raíz, Vol.= Volumen de raíz, Índice de verdor= Concentración de clorofila, AF=Área foliar, AP=Altura de planta. Testigo S= Sustrato sin enraizador; S+ES= Sustrato + enraizador sólido; S+EL= Sustrato + enraizador líquido; DDTE= Días después de trasplante de esqueje.

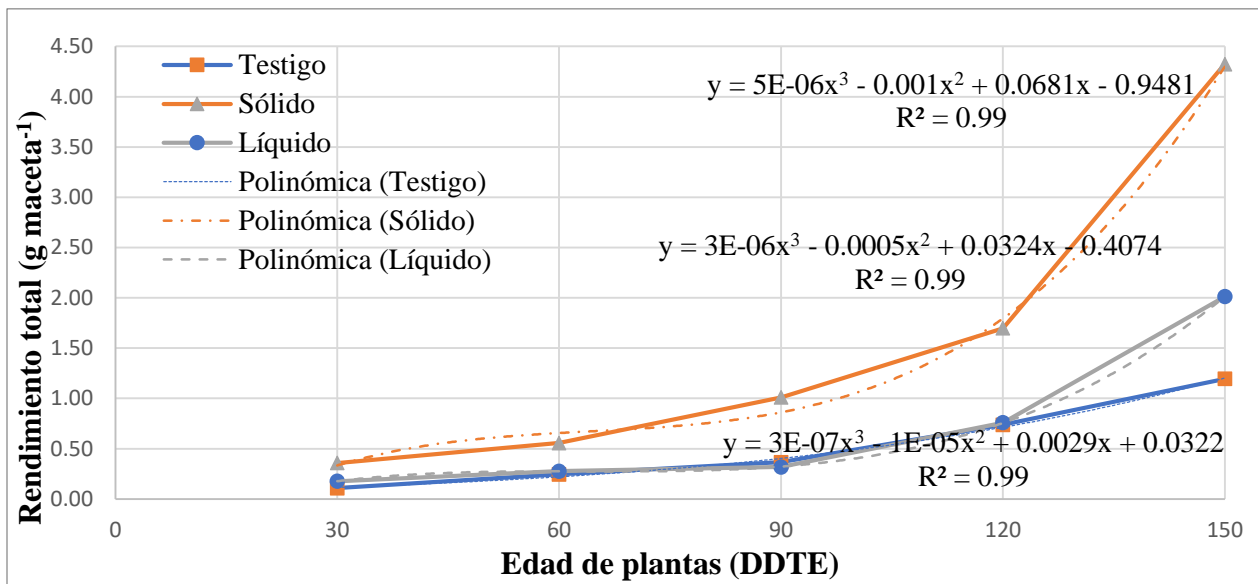


Figura 4. Promedios de rendimiento de *Lotus corniculatus* genotipo 202700. En el eje horizontal, la edad de las plantas de 30 y 150 días después de trasplante de esqueje (DDTE). Se ajustó a una línea de tendencia polinómica.

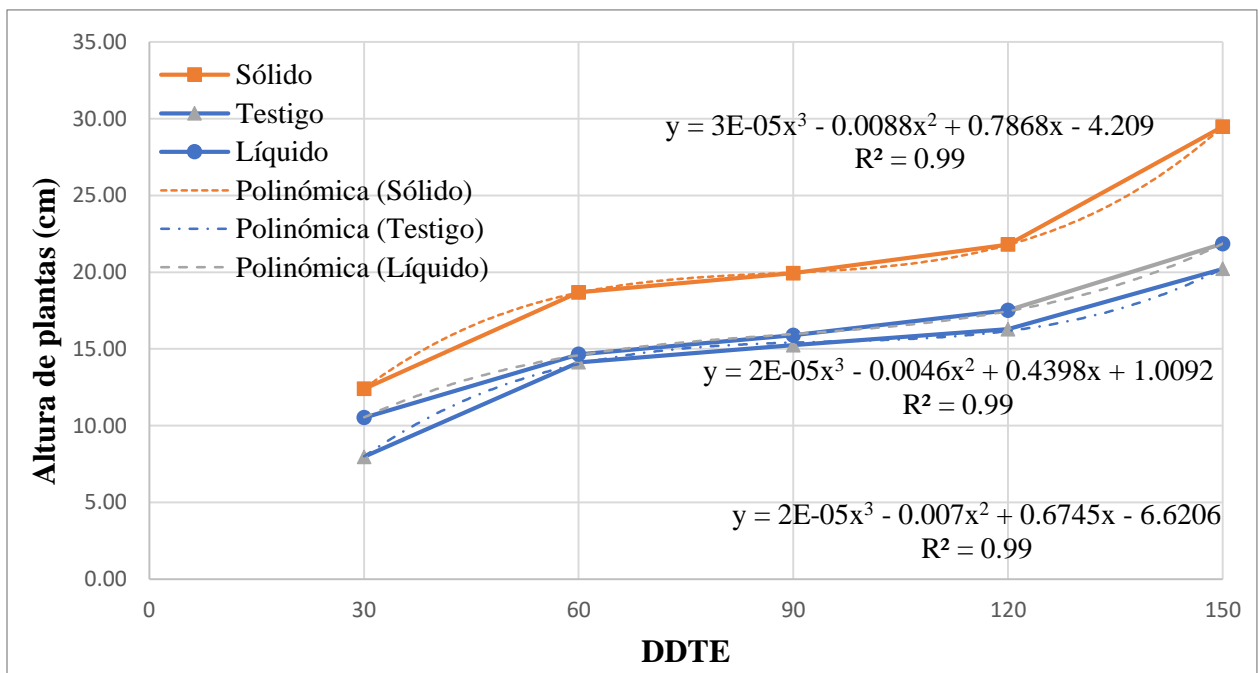


Figura 5. Promedios de alturas de plantas (cm) de *Lotus corniculatus* genotipo 202700. El eje horizontal la edad de las plantas de 30 y 150 días después de trasplante de esqueje (DDTE). Se ajustó a una línea de tendencia polinómica.

Investigadores han demostrado que las concentraciones de ácido indol -3- butírico con una concentración mayor (0.3 %) proveen al cultivo mejor comportamiento en cuanto a número de raíces, ejemplo en *Dracaena deremensis* (Angulo 2011). Rajala y Peltonen Sainio (2001) mencionan que aplicaciones de reguladores de crecimiento llevan a un incremento en el crecimiento de raíces (aumento del largo y volumen) y a un aumento de la relación raíz / tallo bajo condiciones de campo. Asimismo, Pérez y Vertel (2010) encontraron que los macro, micro y oligoelementos del enraizador mejoran las características físicas, químicas y biológicas del suelo. En el invernadero donde se llevó a cabo el experimento la temperatura promedio que se registró fue de 8-43 °C (mínima y máxima respectivamente), Ecke *et al.* (2004), encontraron en estudios realizados con Pascuas que las temperaturas ideales para el enraizamiento oscilan entre 22-24 °C si se propaga en una temperatura mayor a 26 °C su desarrollo es mucho más lento y se detiene cuando la temperatura es mayor a los 30 °C. Leakey y Mesén (1991) indican experiencias con otras especies tropicales y evidencian que la temperatura óptima del aire que favorece el enraizamiento es de 20 a 25 °C; estos datos pudieron haber modificado los resultados del experimento en *Lotus corniculatus* L. ya que la altura de planta se mantuvo constante cuando las temperaturas fueron bajas.

La concentración del promotor de crecimiento fue la siguiente para cada tratamiento, el 0 % (S), 0.15 % (S+ES) y 0.3 % (S+ES) AIB y utilizando como sustrato: suelo + turba para los tres. Castrillon *et al* (2008) reportan que aplicaciones de AIB propició una mayor sobrevivencia de estacas en sustrato de tierra + turba. León (2011), logró con enraizadores orgánicos: té de estiércol y trichoderma una longitud de raíz de 14,7 y 9,3 cm, en contraste con los enraizadores químicos Raizal y Rootmost obtuvo 11,8 cm y 12,5 cm, mientras que el testigo alcanzo 8,6 cm, esto en *Polylepis incana* y *Polylepis racemosa* a los 120 días. *Lotus corniculatus* a los 120 días alcanzo

una longitud de 38. 60 cm con Radix 1500 (S+ES) seguido por el testigo (S) y Radix T 3000 (S+EL) respectivamente.

En cuanto al volumen de raíz se pudo observar que aumentó conforme avanzaban los días de crecimiento (30-150 días) siendo el S+ES el de valor más alto a los 150 días (28 cm^3), seguido por S+EL (16 cm^3) y por último el S (9 cm^3). Tipo (2004), encontró en *Polylepis racemosa* a los 200 días el mayor volumen de raíz en esquejes de Queñua de 12 cm con un promedio de 14 cm^3 , mientras esquejes de menor longitud (8-5 cm) promediaron un volumen de raíz de 11 y 8 cm^3 . Rose *et al.*, (1991) mencionan que el volumen de la raíz se correlaciona en forma positiva con la supervivencia y crecimiento ya que pueden prevalecer al estrés de trasplante debido a una mayor capacidad de hidratación de agua y nutrientes. Alzugaray *et al.*, (2004) señalan que en plantaciones de la misma especie con mayor volumen presentaron mayor respuesta al estrés hídrico al mostrar concentraciones altas de nutrimentos en las hojas, así como un mayor crecimiento general de la planta. En cuanto al verdor de las hojas medidas con el SPAD el S+ES presento valores más constantes respecto del S+EL y S. Wolfe *et al.*, (1988), Dwyer y Houwing (1991) mencionan que el contenido de clorofila en la hoja de maíz esta estrecha y positivamente relacionado a la concentración de N en la hoja y, por consiguiente, refleja el estado nitrogenado del cultivo y la disponibilidad de N. El área foliar (AF) (Cuadro 2) comenzó a aumentar desde los 30 días en la medida que se incrementó el peso seco de las hojas y la madurez de la planta el tratamiento S+ES fue mejor en todas las semanas. La altura de la planta (Figura 5), la máxima AF $253 \text{ cm}^2/\text{g}$ se presentó a los 150 días de edad en el S+ES, seguido por el S+EL con $116 \text{ cm}^2/\text{g}$ y S con $46 \text{ cm}^2/\text{g}$, respectivamente. Bultynck *et al.*, (1999) mencionan que la AF es una de las principales variables que pueden afectar el crecimiento de las plantas al modificar el área foliar y la eficiencia fotosintética con respecto del uso del Nitrógeno.

1.5 CONCLUSIONES

La aplicación del enraizador propició diferencia significativa en las variables de estudio.

El enraizador en presentación en polvo fue el que generó valores más constantes seguido por el líquido y el testigo sin aplicación.

El mayor rendimiento de forraje verde y materia seca se logró con el enraizador en polvo conforme aumenta la edad de la planta de los 30 a 150 días.

En cuanto a la dinámica de crecimiento de raíz y parte aérea se concluye que a los cuatro y cinco meses se presenta la mayor cantidad de acumulación de MS.

1.5 LITERATURA CITADA

- Álvarez, V. P., De los Santos G. G., Guerrero, R. J. D., Mendoza, P. S. I., Ortega, C. M. E., y Hernández, G. A. (2018). Comportamiento productivo de *Lotus corniculatus* L. dependiente de la estrategia de cosecha. *Agrociencia*, 52(8) p.
- Alzugaray, P., Haase, D., y Rose, R. (2004). Efecto del volumen radicular y la tasa de fertilización sobre el comportamiento en terreno de plantas de pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) producidas con el método 1+ 1. *Bosque (Valdivia)*, 25(2), 17-33 p.
- Angulo, R. (2011). Enraizamiento de dos variedades de *Dracaena deremensis* con cinco concentraciones de ácido indol -3- butírico en Dracaenas de altura S.A., San Ramón, Costa Rica. Ing. Agr., Valle de Yaguare, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 13 p.
- Association of official analytical chemists (AOAC). (1996). Official methods of analysis of AOAC International. 16^a ed. Washington, D. C. USA. P.
- Ayala W., Carámbula. (2009). El valor agronómico del género *Lotus*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Uruguay. 424 p.
- Bultynck, L., Fiorani, F., y Lambers, H. (1999). Control of leaf growth and its role in determining variation in plant growth rate from an ecological perspective. *Plant Biology*, 1(1), 13-18 p.
- Castrillón, J. C., Carvajal, E., Ligarreto, G., y Magnitskiy, S. (2008). El efecto de auxinas sobre el enraizamiento de las estacas de agraz (*Vaccinium meridionale Swartz*) en diferentes sustratos. *Agronomía colombiana*, 26(1), 16-22 p.
- Chilon, E. y Chilon, J. (2015). “Potencialidades para la agricultura y la preservación del medio ambiente del Abono Orgánico Líquido Aeróbico (AOLA)”. *CienciAgro* (online).. www.revistasbolivianas.org.bo . Vol. 1, n. 1, 35-42 p.
- De los Santos, G. G., y Steiner, J. J. (2003). Diversidad genética en *Lotus corniculatus* L. determinada por caracteres morfológicos y rapsds. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(3), 173-181 p.
- Dwyer, L. M., Tollenaar, M., y Houwing, L. (1991). A nondestructive method to monitor leaf greenness in corn. *Canadian Journal of plant science*, 71(2), 505-509 p.
- Ecke, P. Lll; Faust, J. E.; Higgins, A.; Williams, J. (2004). *The ecke poinsettia manual*. Ball publishing. Batavia, Illinois. USA. 287 p.
- Escaray J. F., Menendez B. A., Garriza A., Pieckenstaina 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 p.
- García, B. D. V. (2011). Evaluación productiva y de calidad forrajera de 12 colectas de *Lotus corniculatus* L. y su posible utilización en regiones templadas del estado de Puebla. 86

p.Consultado el 16 de mayo del 2021, de <http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/622>.

- García E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. 4ª edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.
- García, B, D. V., Guerrero, R, J. D. D., De los Santos, G, G., y Lagunes, R, S. A. (2015). Rendimiento y calidad de forraje de genotipos de *Lotus corniculatus* en el Estado de México. *Nova scientia*, 7(13), 170-189 p.
- Grant, W. F., & Niizeki, M. (2009). Chapter 6. Birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) *Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement: Forage crops*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 153-205 p.
- Ingeniería Industrial, S.A. de C.V. (2021). Ficha técnica de Captan® 50 WP: N-triclorometiltio-4-ciclohexeno-1,2- dicarboximida. Polvo humectable con actividad fungicida, preventiva y curativa, de amplio espectro y absorción por vía radical y foliar, 4 p.https://www.adama.com/documents/466793/470082/ficha_tecnica_captan50wp_adama
- Intercontinental Import Export. (2021). Ficha técnica de Radix® 1500. Ácido indol butírico Ácido Indol-3-Butírico (4-(1 H-indol-3-yl) butyric acid) 15%. Regulador de crecimiento vegetal tipo 1 sólido-polvo impregnable, 2 p. http://interie.net/f_tecnicas/radix1500.pdf.
- Intercontinental Import Export. (2021). Ficha técnica de Radix® 3000. Ácido indol butírico Ácido Indol-3-Butírico (4-(1 H-indol-3-yl) butyric acid) 3%. Regulador de crecimiento vegetal tipo 1 líquido, 3 p. http://www.interie.net/f_tecnicas/radix3000.pdf.
- Ixtaina V. Y. y Mujica M.M. (2010). Seedling vigor response of *Lotus tenuis* L. populations to contrasting variations of water and nutrient availability, *Agrociencia* 44: 31 – 41 p.
- Kirkbride Jr, J. H. (1999). *Lotus* systematics and distribution. *Trefoil: The Science and Technology of the Lotus*, 28, 1-20 p.
- Leakey, R., y Mesén, F. (1991). Métodos de Propagación Vegetativa en Árboles Tropicales. Métodos de Propagación en Árboles Tropicales: Enraizamiento de Estacas Suculentas. *Turrialba, CR. P*, 147-167 p.
- León, A, D. P. (2011). Propagación de dos Especies de Yagual (*Polylepis incana* y *Polylepis racemosa*) utilizando dos Enraizadores Orgánicos y dos Enraizadores Químicos en el Vivero Forestal del Crea en el Cantón y Provincia del Cañar (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo) 126 p.
- 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(2), 134-145 p.
- Pérez, A., y Vertel, M. (2010). Evaluación de la colonización de micorrizas arbusculares en pasto *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus. *Revista MVZ Córdoba*, 15(3) p.

- Rajala, A., y Peltonen, S. P. (2001). Plant growth regulator effects on spring cereal root and shoot growth. *Agronomy Journal*, 93(4), 936-943 p.
- Rose, R., Atkinson, M., Gleason, J., y Sabin, T. (1991). Root volume as a grading criterion to improve field performance of Douglas-fir seedlings. *New Forests*, 5(3), 195-209 p.
- Sainz, R. H., y Echeverría, H. E. (1998). Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 103 p.
- SAS. (1999). User's guide. Statistics, version 8. 6th edition. SAS Inc. Cary, North Carolina, USA. 956 p.
- Striker, G. G., Insausti, P., Grimoldi, A. A., Ploschuk, E. L., & Vasellati, V. (2005). Physiological and anatomical basis of differential tolerance to soil flooding of *Lotus corniculatus* L. and *Lotus glaber* Mill. *Plant and soil*, 276(1), 301-311 p.
- Wolfe, D. W., Henderson, D. W., Hsiao, T. C., y Alvino, A. (1988). Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. II. Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. *Agronomy Journal*, 80(6), 865-870 p.

CAPITULO 2. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE TRÉBOL PATA DE PÁJARO (*Lotus corniculatus* L.) A DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA

2.1 INTRODUCCIÓN

Lotus corniculatus L., es una leguminosa perenne, la más distribuida en el mundo (Escaray *et al.*, 2012) de todas las especies del género *Lotus*, lo que se debe a las cualidades adaptativas que presenta y su capacidad de establecerse en diversos hábitats, siendo la especie con mayor adaptación a suelos muy diversos (García, 2011; Ayala y Carámbula, 2009). Prospera bajo condiciones marginales donde leguminosas como la alfalfa (*Medicago sativa* L.), trébol blanco (*Trifolium repens* L.) y trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) tienen problemas para desarrollarse (Grant y Niizeki, 2009). Se compara con estas especies por su elevada calidad forrajera debido a que su contenido de proteína cruda varía de 17.7 a 21.6 % en base seca (Marley *et al.*, 2006). Además, contiene menos celulosa y más carbohidratos no estructurales y su particularidad de no provocar timpanismo en rumiantes debido al contenido de taninos condensados mismos que protegen la degradación de las proteínas en el rumen (Ayala y Carámbula, 2009; Grant y Niizeki, 2009). Kirkbride (1999) menciona que *Lotus corniculatus* es una especie que se clasifica taxonómicamente de diferentes formas y la de mayor distribución en el mundo. Como todos los forrajes tiene desventajas como es el lento establecimiento y baja persistencia características que son deseables en las primeras etapas de desarrollo de las plantas y en todo su ciclo productivo es fundamental programar pastoreos controlados que permitan la recuperación de las plantas (Frame y Laidlaw, 1998; Ixtaina y Mujica, 2010). La calidad del forraje, la palatabilidad y su versatilidad de uso es una opción importante para la alimentación de ganado.

Se considera que, para obtener mayores rendimientos de forraje, es preciso aumentar la densidad de siembra factor importante en el manejo del cultivo, de manera que se incremente la población

por área y se estimule una mayor relación hoja-tallo por competencia lumínica. El análisis de crecimiento, es un instrumento para conocer la formación y acumulación de biomasa, mismo que ayuda a determinar la composición morfológica del cultivo en cada etapa de crecimiento, y es posible definir el rendimiento por hectárea de hojas, tallos, material muerto, los que se pueden manejar como indicadores de calidad del forraje cosechado. El objetivo del estudio fue aplicar un análisis de crecimiento y conocer la producción de forraje de *Lotus corniculatus* L., a diferente edad y densidades de siembra.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1 Localidad y fecha

La investigación se realizó en condiciones de campo utilizando el *Lotus corniculatus* L. (genotipo 202700), durante la estación de primavera del 12 de abril al 31 de mayo (8 semanas) de 2021. En el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, a una altitud de 2,250 msnm. De acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por García (2004), la región tiene un clima C (W0) (W) b (i') g, que corresponde a un clima templado subhúmedo con lluvias en verano y época seca en invierno, con poca oscilación térmica, una precipitación media anual de 686 mm y una temperatura media anual de 15.9 °C, siendo mayo el mes más cálido y enero el mes más frío.

2.2.2 Objetivos

- Determinar un análisis de crecimiento de *Lotus corniculatus* en un ciclo de rebrote y observar el comportamiento productivo a dos densidades.
- Evaluar la acumulación de forraje y el comportamiento de los componentes del rendimiento a dos densidades, tomando como base la edad de cosecha.

2.2.3 Hipótesis

- El efecto de la densidad de 16,000 plantas por ha⁻¹ tendrá un mejor comportamiento y productividad que la densidad de 12,000 plantas por ha⁻¹ en un ciclo de rebrote.

2.2.4 Material vegetal

Se utilizaron plantas del genotipo 202700 de *Lotus corniculatus* L., germoplasma de hábito erecto y originario de Uruguay, del que se obtuvo semilla original a través del Programa de Manejo de Recursos Fitogenéticos del Colegio de Postgraduados y del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-ARS), en Beltsville, Maryland, USA; mismo que fue evaluado por primera vez en 1997, en un ensayo de adaptabilidad (García *et al.*, 2015). Debido a que las plantas sembradas en campo no han producido semilla, para este trabajo se utilizaron plantas reproducidas vegetativamente por medio de esquejes tomados de la corona de dichas plantas.

2.2.5 Tratamientos y unidad experimental

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar en parcelas divididas, evaluando dos tratamientos con ocho repeticiones.

El genotipo 202700 se estableció utilizando material vegetal reproducido en macetas en condición de invernadero obtenido de plantas madre, en diciembre de 2019, a dos densidades (12,000 plantas por ha⁻¹ y 16,000 plantas por ha⁻¹), se acomodaron en franjas para cada tratamiento separadas a 25 cm y 20 cm entre plantas respectivamente; el primer corte se realizó una semana después de un corte de uniformización a 5 cm y ocho cortes consecutivos semanales continuos durante un ciclo de rebrote (56 días) en primavera; no se aplicó ningún tipo de fertilizante.

2.3 VARIABLES EVALUADAS

2.3.1 Rendimiento de forraje (RF)

Para determinar el rendimiento de forraje se evaluó la altura, se cortó el forraje dentro de cada franja con un cuadro de 0.25 m² (50 x 50 cm) al azar a nivel del suelo por repetición. El forraje obtenido se depositó en bolsas de papel previamente identificadas y se llevó a secado en una estufa de aire forzado, a una temperatura de 55 °C durante 72 horas (para evitar daños en las proteínas), hasta que el forraje llegó a peso constante y así obtener el peso de la materia seca (MS), para determinar el rendimiento por unidad de superficie (kg MS ha⁻¹) (AOAC, 1996).

El rendimiento estacional se estableció como la suma del forraje cosechado durante la estación en primavera.

2.3.2 Altura de planta (AP)

Para la altura promedio de las plantas se utilizó una regla graduada de 50 cm de longitud y 1 mm de precisión la cual se colocó al azar en cada parcela, de forma que la parte inferior de la regla graduada (0 cm) quedará a nivel de suelo. Posteriormente, un dispositivo con el que cuenta la regla, se acomodó de manera vertical arriba del dosel vegetal y se deslizó hacia abajo, hasta que tocó algún componente morfológico y registrando la altura de 5 mediciones. También se registró una medición por repetición con el plato que está calibrado de tal modo que indirectamente mide la densidad del forraje la cual comprime y registra la altura. Consiste en apoyar esta herramienta en el suelo y dejar caer el plato hasta que toque las plantas.

2.3.3 Composición botánica y morfológica

Para determinar la composición botánica, se utilizó el forraje cosechado de *L. corniculatus* y se separó en sus componentes morfológicos: hojas, tallos, maleza y material muerto, se colocaron en una bolsa de papel y se pesaron en forma individual en una báscula digital con capacidad para 500 g y una aproximación a 0.01 g, cada componente se secó por separado en una estufa de aire forzado, a una temperatura de 55 °C durante 72 horas para obtener su peso seco (AOAC, 1996).

Para determinar la importancia, porcentaje en el forraje cosechado, del componente botánico y morfológico se utilizó la siguiente fórmula:

$$PCM = (COMP * 100).$$

Dónde:

PCM = Porcentaje por componente morfológico (%).

COMP = Submuestra del componente separado.

R = Rendimiento de forraje (kg MS ha⁻¹).

2.3.4 Relación hoja-tallo

Los datos originados a partir de la composición morfológica (hoja y tallo) de las plantas de *L. corniculatus* se utilizaron para estimar la relación hoja: tallo, la cual se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$H: T = H - T$$

Dónde:

H: T = Relación hoja- tallo.

H = Peso seco del componente hoja (kg MS ha⁻¹).

T = Peso seco del componente tallo (kg MS ha⁻¹).

2.3.5 Radiación interceptada

Para determinar esta variable, se utilizó un ceptómetro AccuPAR modelo LP-80 que cuenta con sensores que captan la radiación fotosintéticamente activa (PAR), distribuidos homogéneamente sobre una barra de un metro. Después de calibrarlo se colocó la barra a nivel de piso para hacer la medición la cual se registró en una pantalla. Se realizaron cinco mediciones por repetición.

Para obtener la radiación interceptada del radiómetro se utilizó la siguiente fórmula:

$$RI = 100 - (RS/RT * 100).$$

Dónde:

RI= Radiación interceptada (%).

RT= Radiación total sobre el dosel (fotones).

RS= Radiación a nivel de suelo (fotones).

2.3.6 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza con el procedimiento GLM del programa estadístico Statistical Analysis System (SAS, 1999), utilizando el modelo correspondiente al diseño utilizado. Posteriormente se hizo una comparación de medias de cada variable dependiente, mediante la prueba de Tukey ($P < 0.05$) y un análisis de regresión para cada variable con el objetivo de describir la tendencia, su coeficiente de determinación y significancia.

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar el comportamiento de las variables que se evaluaron, se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$) para peso fresco, peso seco, tallo, hoja, maleza y material muerto en función de las densidades de siembra. El Cuadro 3 muestra la comparación de medias de rendimiento de forraje por componente botánico y morfológico de *L. corniculatus* L., del genotipo 202700 a diferentes edades, observándose que las variables aumentaron en forma constante siendo la densidad D2 superior en cuanto a peso fresco, peso seco, Tallos, Hojas, M y MM todos ellos en KgMSha^{-1} y la RI (%) que la D1 siendo esta última la de mayor valor para la variable H: T.

El Cuadro 4 muestra la comparación de medias de rendimiento de forraje por componente botánico y morfológico de *L. corniculatus*, en función de 8 cortes consecutivos semanales, observándose que las variables aumentaron en forma constante y mostraron diferencias estadísticas ($P < 0.05$), los resultados más altos para las variables fueron los siguientes: para peso fresco (MF), maleza se lograron a los 42 días; para peso seco, tallos, hojas y la mayor cantidad de radiación interceptada (RI) se consiguió a los 49 días (92 %); para relación hoja-tallo a los 21 días; para a material muerto a los 7 días después se mantuvo constante al rebrote

Los modelos de regresión y coeficientes de determinación fueron altos ($R^2 > 0.96$) en las variables evaluadas, el modelo que mejor se ajustó fue el polinómico (Figuras 6, 7, 8, 9, 10,11,12) para los dos tratamientos.

2.4.1 Cambios en la acumulación de forraje

En las curvas de tasa de crecimiento y rendimiento de materia seca de *L. corniculatus* L., a diferentes densidades de siembra D1: 12,000 plantas por ha⁻¹ y D2: 16,000 plantas por ha⁻¹, se observa el desarrollo máximo a los 49 y 42 días respectivamente (Figura 6). La dinámica de acumulación de forraje (Figura 7) en tallo 246 y 289 kgMSha⁻¹ a los 49 días para D1 y D2 respectivamente, para la variable hoja 429 kgMSha⁻¹ a los 56 días para D1 y 452 kgMSha⁻¹ a los 42 días para D2.

El crecimiento aumentó progresivamente conforme avanzó la edad de rebrote (Figura 8). La mayor acumulación de materia seca (MS) para la D1 fue 4315 kgMSha⁻¹ (Figura 9) y la D2 se obtuvo a los 49 días con 5450 kgMSha⁻¹ (Figura 9).

Wilson *et al* (2017) en curvas de crecimiento de tres líneas de cebada y Rojas *et al* (2018) en pasto cobra, encontraron un comportamiento similar y mencionan que el rendimiento se presenta en la sexta semana de rebrote y después tienden a disminuir; lo anterior se corrobora con los datos obtenidos. Para el caso de hoja, el máximo rendimiento fue de 429 y 449 kgMSha⁻¹ para D1 y D2; en cuanto al rendimiento de tallo se observó el mismo comportamiento de 246 y 289 kgMSha⁻¹, respectivamente (Figuras 7, 8 y 9). Con respecto a los componentes, tallo y material muerto (Figuras 9 y 10) estos están ordenados de manera positiva con el desarrollo de las plantas, lo que concuerda con otros estudios (Pérez Amaro *et al.*, 2004; Calzada Marín *et al.*, 2014); Lafarge y Loiseau (2002); Calzada *et al.* (2018) mencionan que la producción de tallo es un factor clave muy significativo en el soporte de la pradera, lo que resalta la importancia del monitoreo de la

producción. Los mayores rendimientos de hoja, combinados con la mayor relación H: T el punto máximo se alcanzó a los 21 días después del corte para ambas densidades con 114 kgMSha⁻¹ para D1 y 132 kgMSha⁻¹ para D2, la acumulación de materia seca en hoja fue superior al de tallo, pero posterior a esa edad, la relación comenzó a invertirse hasta los 56 días (Figura 11).

2.4.2 Radiación interceptada

En los Cuadros 3 y 4 se presentan los resultados promedio de radiación interceptada (%) por tratamiento 77 % para la D1 y 83 % para la D2 y entre cortes para cada semana (Figura 8) 51, 62, 76, 88, 91, 91, 92, 91 %, respectivamente alcanzando el punto máximo a los 49 días.

En las Figuras 9 y 10 se presentan el rendimiento promedio por componente, observándose en la distribución que la hoja fue la que más aportó al rendimiento (60.87 %) seguido por tallo (25.84 %), maleza (9.46 %), M.M (3.83 %) para la D1 y para la D2 hoja (57.41 %), seguido por tallo con un (28.70 %), maleza (9.41 %), M.M (4.49 %).

En trabajos realizados en pastos tropicales y templados (Hodgson, 1990; Da Silva y Hernández, 2010; Wilson *et al.*, 2018) mencionan que el punto óptimo de cosecha de las plantas se alcanza al 95 % de intercepción luminosa donde existe poca acumulación de material muerto y mayor cantidad de hoja. Wilson *et al.*, (2018) en avena no encontraron la máxima radiación interceptada esperada por condiciones ambientales y posiblemente a que se demandan mayores densidades de siembra. Juskiw *et al.*, (2000) encontraron que la densidad de siembra, método de siembra, y fecha de muestreo tienen un efecto significativo en la cantidad de variables botánicas y morfológicas, por lo que posiblemente alguna de estas variables o la combinación de ellas, no permitió alcanzar el 95 % de RI. En este estudio solo se logró el 92 %.

2.4.3 Altura de planta

En la altura se observaron cambios a través del tiempo (Figura 12) con los dos métodos utilizados, con el método de la regla se obtuvieron los datos más altos para D1 a los 49 días con 24 cm y 32 cm para la D2 a los 56 días, mientras que con el método del plato se consiguieron datos más altos para D1 con 21 cm y 33 cm para la D2 a los 56 días. Resultados similares reportan García *et al.* (2015) y Álvarez *et al.* (2018) evaluando distintos genotipos de *L. corniculatus* en la misma zona de estudio.

2.5 CONCLUSIONES

De los componentes del rendimiento, la hoja fue la que mayor cantidad aportó al rendimiento de forraje en la estación de primavera para las dos densidades evaluadas.

La acumulación de forraje y los componentes tallo, maleza y material muerto, están correlacionados de manera positiva con la madurez de la planta y el incremento de materia seca fue proporcional a la edad de rebrote, alcanzándose el máximo rendimiento para la estación de primavera a los 49 días.

En cuanto a radiación interceptada, en el punto máximo se obtuvo el 92 % a los 49 días.

La altura de las plantas se comportó de manera positiva conforme se desarrollaba la pradera notándose cambios en relación a la densidad de siembra.

La densidad con mejor comportamiento en general fue la D2 por lo que se concluye que *Lotus corniculatus* L. es un material que presenta una buena aptitud forrajera en cuanto a rendimiento de materia seca y cantidad de hojas. Se recomienda continuar estas investigaciones utilizando lapsos mayores tiempo de evaluación para determinar un análisis de crecimiento anual.

Cuadro 3. Rendimiento de forraje por componente botánico y morfológico de *Lotus corniculatus* L. genotipo 202700, en función de dos densidades de siembra.

Trat.	Pf (kg)	Ps (kg)	T (Kg)	H (Kg)	H: T (Kg)	M (Kg)	MM (Kg)	RI (%)
D1	17680 b	3120 b	146 b	310 b	2.12 a	37 b	14 b	77 b
D2	21280 a	3720 a	160 a	321 a	2 b	39 a	17 a	83 a
DMS	25.85	1.54	0.20	0.23	0.12	0.03	0.01	2.71

a, b, c.=Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes. Tukey al 0.05. Trat: Tratamiento; D1: 12,000 plantas por ha⁻¹; D2: 16,000 plantas por ha⁻¹; Pf: Peso fresco; Ps: Peso seco; T: Tallos; H: Hojas; H: T: Relación Hoja: Tallo; M: Maleza; MM: Material muerto kgMSha⁻¹; RI: Radiación interceptada; DMS: Diferencia mínima significativa.

Cuadro 4. Rendimiento de forraje por componente botánico y morfológico de *Lotus corniculatus* L. genotipo 202700, en función de días después del corte.

DDC (días)	Pf (kg)	Ps (kg)	T (kg)	H (kg)	H: T (Kg)	M (kg)	MM (kg)	RI (%)
7	2335 f	800 g	24 g	71 f	125 a	37 de	20 a	51 e
14	8462 e	2020 f	59 f	182 e	125 a	35 e	16 bc	62 d
21	14510 d	2775 e	82 e	249 d	126 a	35 e	14 de	76 c
28	20692 c	3482 d	139 d	326 c	95 b	36 de	13 e	88 b
35	26452 b	4140 c	208 c	395 b	76 bc	40 bc	14 cd	91 a
42	28060 a	4510 b	247 b	428 a	70 c	43 a	16 b	91 a
49	27840 a	4882 a	267 a	434 a	66 c	42 ab	16 b	92 a
56	27425 ab	4730 ab	262 a	439 a	68 c	38 cd	16 b	91 a
DMS	32.38	5.73	0.35	0.43	0.52	0.06	0.04	2.27

*a, b, c.=Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes. Tukey al 0.05. DDC= Días después del corte; Pf: Peso fresco; Ps: Peso seco; T: Tallos; H: Hojas; H: T: Relación Hoja: Tallo; M: Maleza; MM: Material muerto kgMSha⁻¹; RI: Radiación interceptada, DMS: Diferencia mínima significativa.

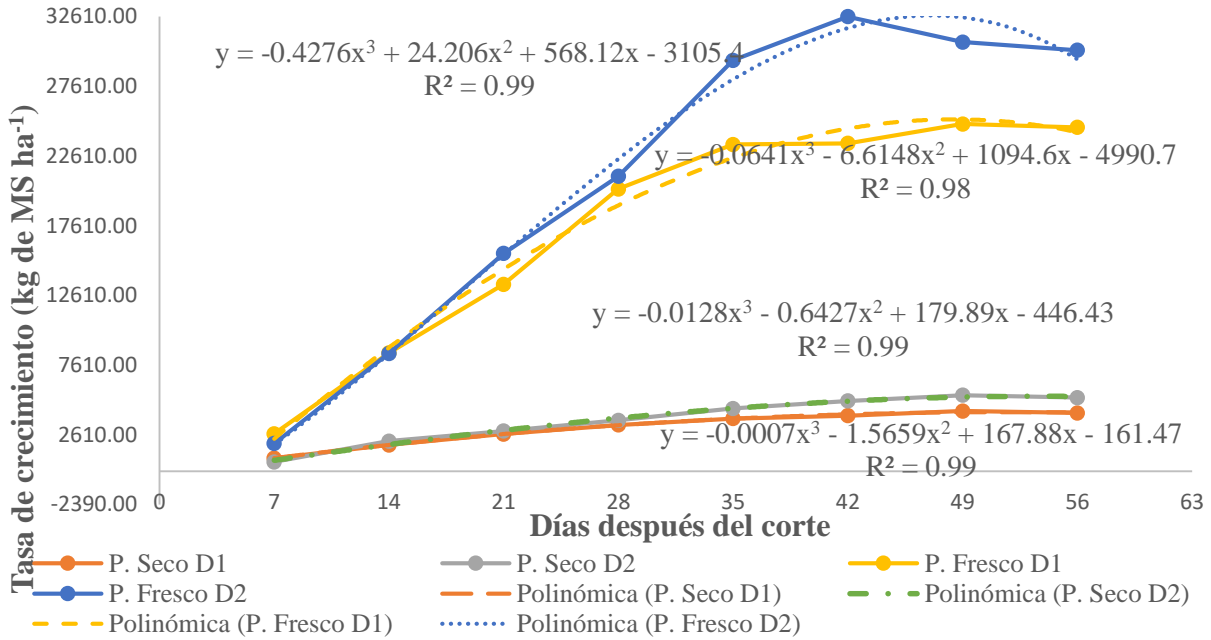


Figura 6. Cambios en la tasa de crecimiento a diferente edad (56 días) de Trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) y rendimiento de materia seca a dos densidades de siembra. D1: 12,000 plantas por ha⁻¹; D2: 16,000 plantas por ha⁻¹.

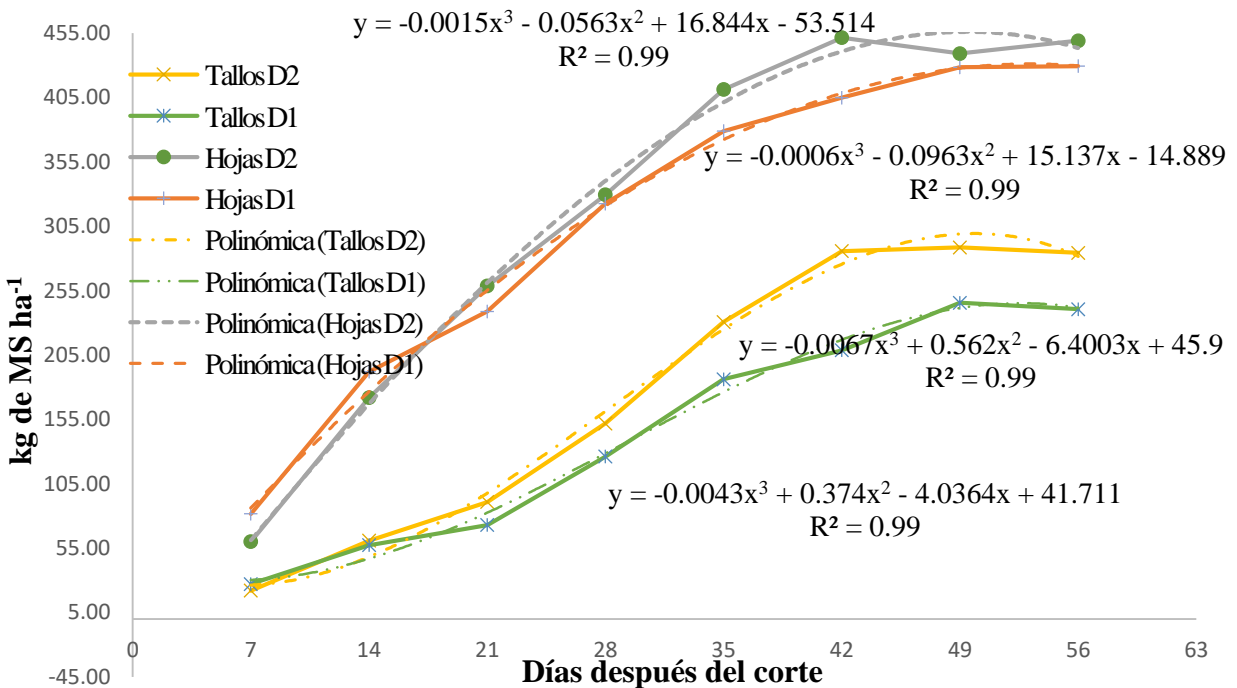


Figura 7. Dinámica de acumulación de forraje en tallos y hojas de Trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) en dos densidades de siembra en ciclo de crecimiento de 56 días. D1: 12,000 plantas por ha⁻¹; D2: 16,000 plantas por ha⁻¹.

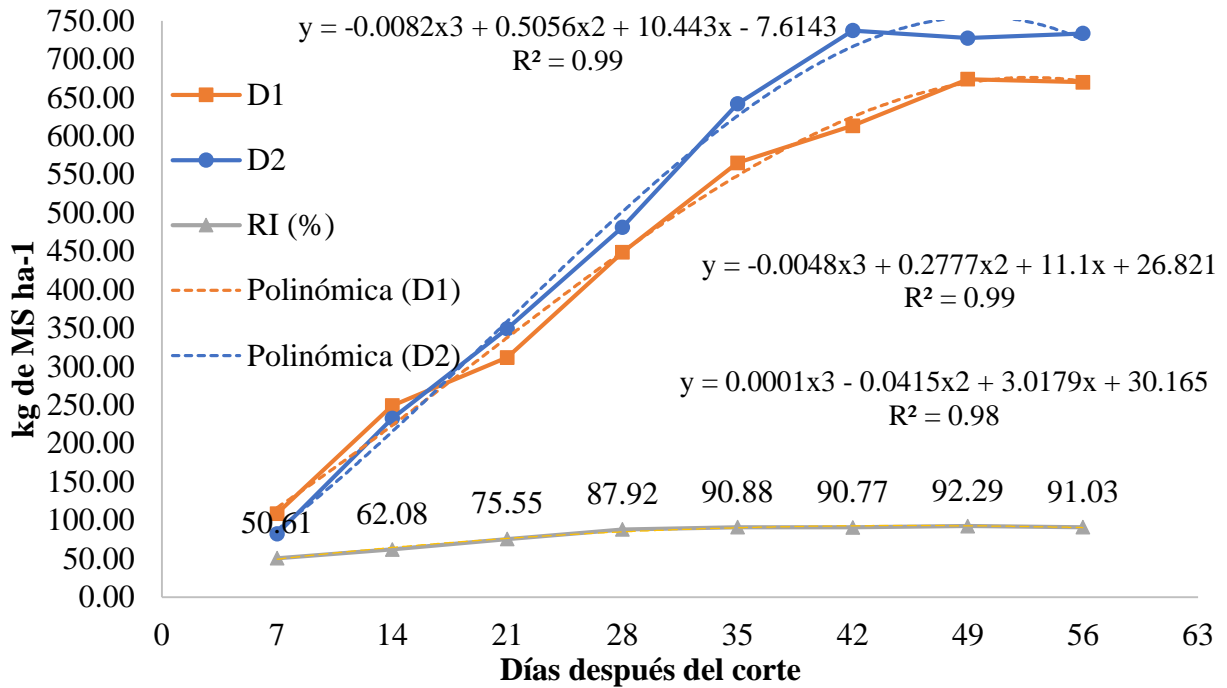


Figura 8. Rendimiento total de Trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) en una pradera con dos densidades de siembra en ciclo de crecimiento de 56 días. D1: 12,000 plantas por ha⁻¹; D2: 16,000 plantas por ha⁻¹; RI: Radiación interceptada.

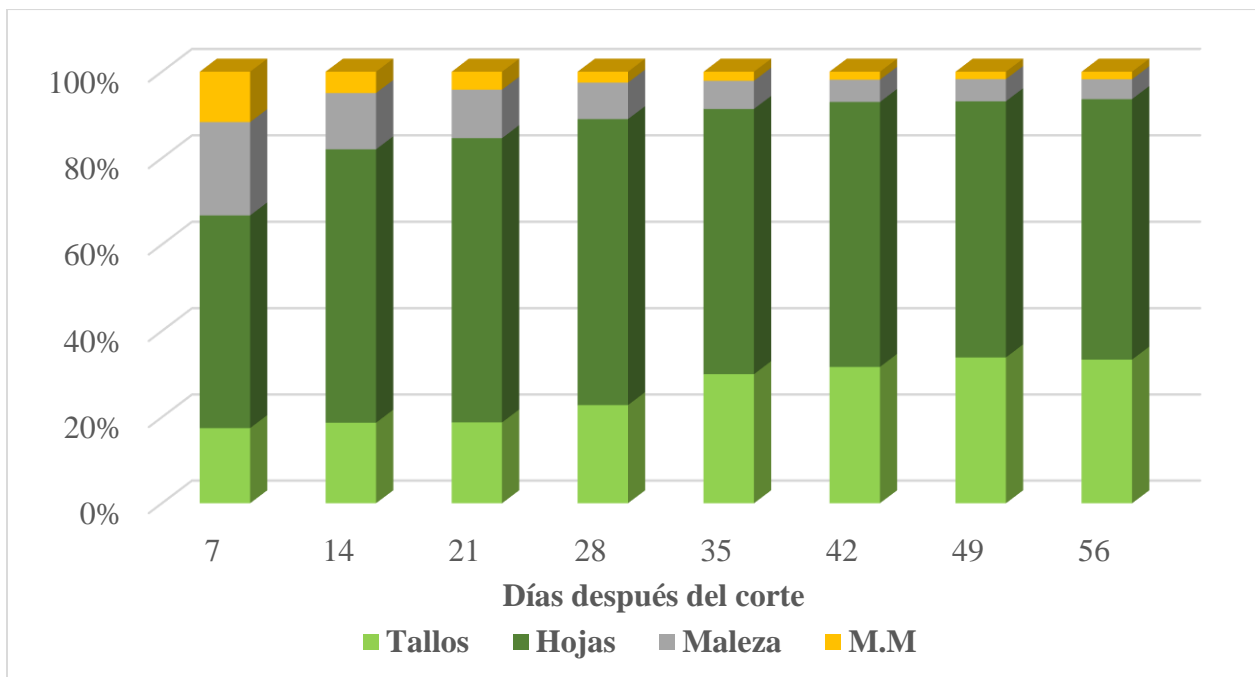


Figura 9. Cambios en la composición botánica y morfológica en una pradera de Trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) con densidad de siembra de 12,000 plantas por ha⁻¹ en ciclo de crecimiento de 56 días. M.M: Material muerto.

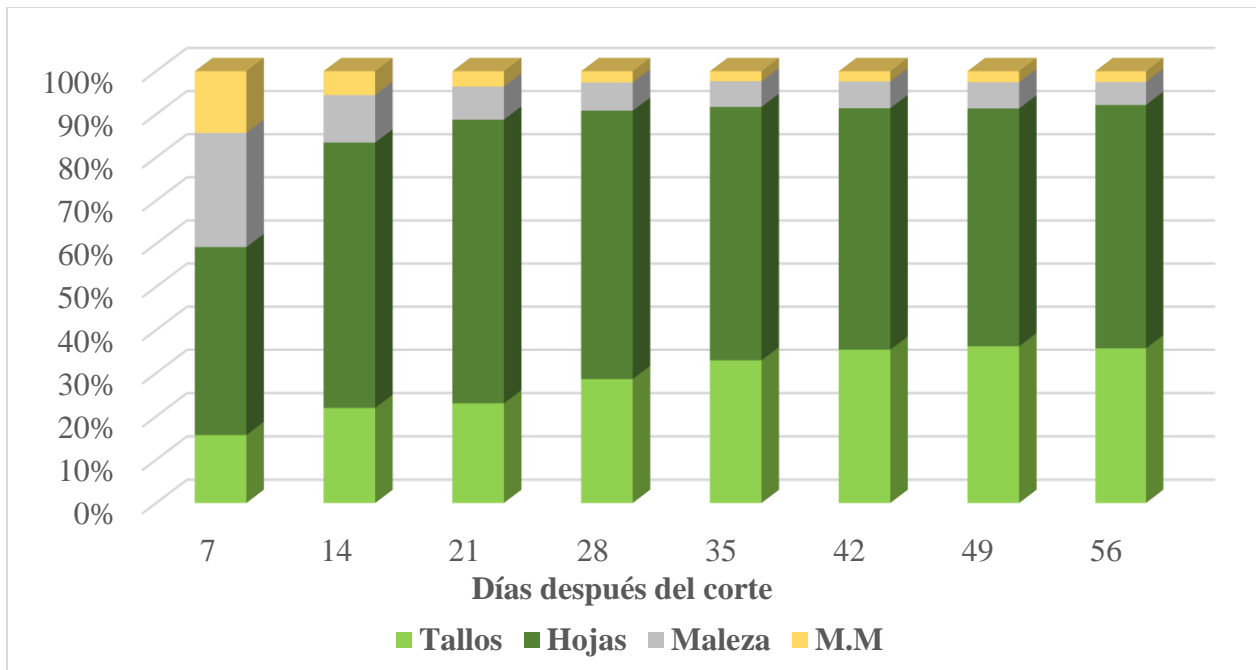


Figura 10. Cambios en la composición botánica y morfológica en una pradera de Trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) con densidad de siembra de 16,000 plantas por ha⁻¹ en ciclo de crecimiento de 56 días. M.M: Material muerto.

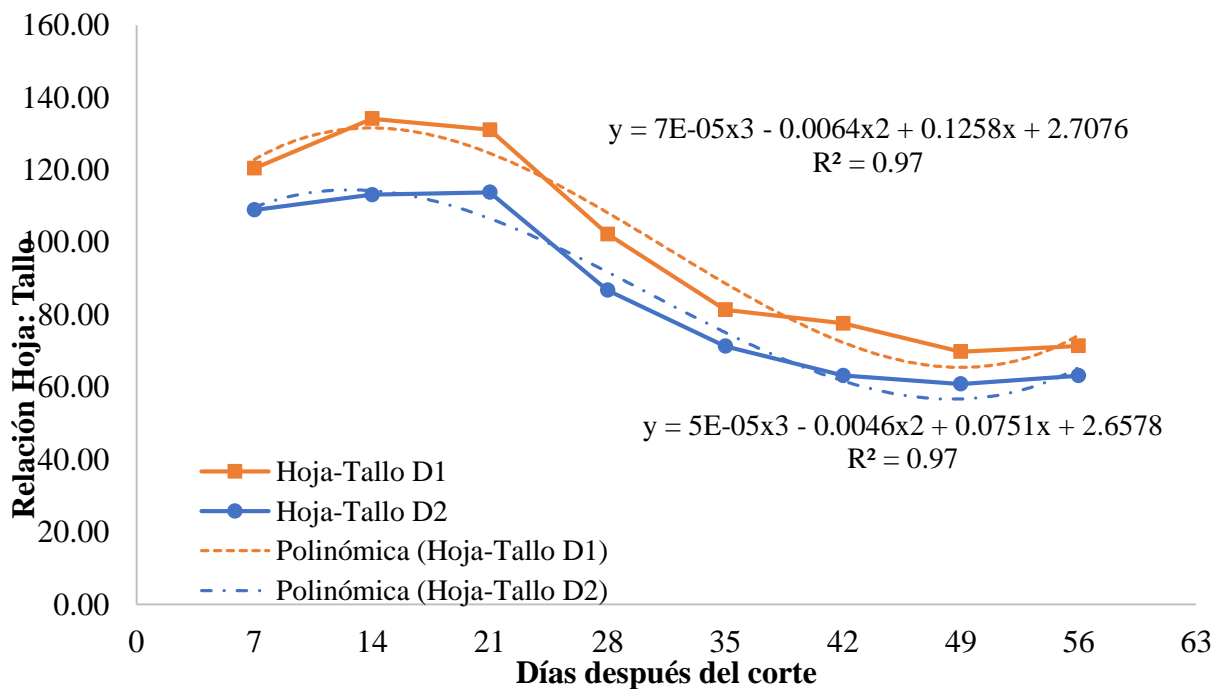


Figura 11. Cambios a través del tiempo en la relación hoja-tallo de Trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.). D1: 12,000 plantas por ha⁻¹; D2: 16,000 plantas por ha⁻¹.

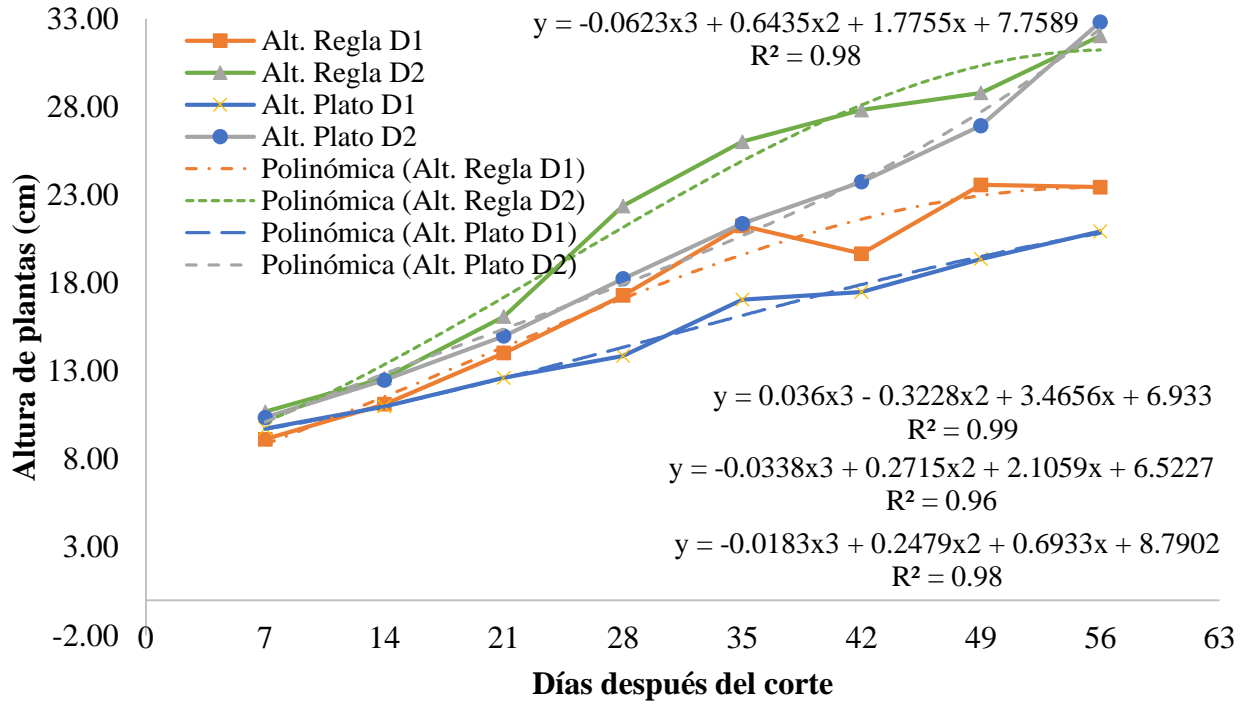


Figura 12. Cambios a través del tiempo en altura de Trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.). D1: 12,000 plantas por ha⁻¹; D2: 16,000 plantas por ha⁻¹.

2.6 LITERATURA CITADA

Álvarez, V. P., Hernández, G. A., De los Santos, G. G., Guerrero, R. J. D., Mendoza, P. S. I., Ortega, C. M. E., ... y Wilson, G. C. Y. (2018). Potencial forrajero de *Lotus corniculatus* L. con diferentes estrategias de manejo. *Agroproductividad*, 11(5), 24-29 p.

Amaro, J. A. P., Moya, E. G., Quiroz, J. F. E., Carrillo, A. R. Q., Pérez, J. P., y Garay, A. H. (2004). Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto "mulato" (*Brachiaria* híbrido, cv.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 42(3), 447-458 p.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1996. Official methods of analysis of AOAC International. 16^a ed. Washington, D. C. USA. p.

Ayala W., Carámbula. 2009. El valor agronómico del género *Lotus*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Uruguay. 424 p.

Bribiesca, M. T. P., Garay, A. H., Pérez, J. P., Haro, J. G. H., y Gama, R. B. (2002). Respuesta productiva y dinámica de rebrote del ballico perenne a diferentes alturas de corte. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 40(3) p.

Calzada, M. J. M., Enríquez, Q. J. F., Hernández, G. A., Ortega, J. E., y Mendoza, P. S. I. (2014). Análisis de crecimiento del pasto maralfalfa (*Pennisetum sp.*) en clima cálido subhúmedo. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 5(2), 247-260 p.

Calzada, M. J. M., Ortega, J. E., Enríquez, Q. J. F., Hernández, G. A., Vaquera, H. H., y Escalante, E. J. A. (2018). Análisis de crecimiento del pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum Schum*) en clima cálido subhúmedo. *Agroproductividad*, 11(5) p.

Da Silva S, C, Hernández G, A (2010) Manejo del pastoreo en praderas tropicales. En Velasco-Zebadúa ME (Ed.) *Los Forrajes y su Impacto en el Trópico*. UNACH. Chiapas, México. 63-95 p.

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 p.

Frame, J., Charlton, J. F. L., y Laidlaw, A. S. 1998. Birdsfoot trefoil and Greater *Lotus* Temperate forage legumes. Chapter 6. Lab. International. Walingford: 245-271 p.

García, B. D. V. (2011). Evaluación productiva y de calidad forrajera de 12 colectas de *Lotus corniculatus* L. y su posible utilización en regiones templadas del estado de Puebla, 86 p
Recuperado el 16 de mayo del 2020, de <http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/622>.

García E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. 4^a edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.

- García, B. D. V., Guerrero, R. J. D. D., De los Santos, G. G., y Lagunes, R. S. A. (2015). Rendimiento y calidad de forraje de genotipos de *Lotus corniculatus* en el Estado de México. *Nova scientia*, 7(13), 170-189 p.
- Grant, W. F., y Niizeki, M. (2009). Chapter 6. Birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) p. 153-205. *Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement: Forage crops*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. Hodgson J (1990) *Grazing Management. Science into Practice*. Longman. Harlow, RU. 204 pp.
- Ixtaina V, Y. and Mujica M, M. 2010. Seedling vigor response of *Lotus tenuis* populations to contrasting variations of water and nutrient availability, *Agrociencia* 44: 31 – 41 p.
- Juskiw P, E, Helm J, H, Salmon D, F (2000) Postheading biomass distribution for monocrops and mixtures of small grain cereals. *Crop. Sci.* 40: 148-158 p.
- Kirkbride Jr, J. H. (1999). Lotus systematics and distribution. *Trefoil: The Science and Technology of the Lotus*, 28, 1-20 p.
- Lafarge, M., y Loiseau, P. (2002). Tiller density and stand structure of tall fescue swards differing in age and nitrogen level. *European Journal of Agronomy*, 17(3), 209-219 p.
- 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(2), 134-145 p.
- Rojas, G. A. R., Torres, S. N., Maldonado, P. M. D. L. Á., Sánchez, S. P., García, B. A., Mendoza, P. S. I., y Hernández, G. A. (2018). Curva de crecimiento y calidad del pasto cobra (*Brachiaria hibrido* BR02/1794) a dos intensidades de corte. *Agroproductividad*, 11(5), 34-39 p.
- SAS. 1999. User's guide. Statistics, version 8. 6th edition. SAS Inc. Cary, North Carolina, USA. 956 p.
- Wilson, G. C. Y., Hernández, G. A., Ortega, C. M. E., Bárcena, G. R., Zaragoza, R. J. L., y Aranda, O. G. (2017). Análisis del crecimiento de tres líneas de cebada para producción de forraje. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(2) p.
- Wilson, G. C. Y., López, Z. N. E., Ortega, C. M. E., Crosby, G. M. M., Rojas, G. A. R., y Hernández, G. A. (2018). Acumulación de forraje, composición morfológica e intercepción luminosa en trigos (*Triticum* sp.). *Agroproductividad*, 11(5) p.

CONCLUSIONES GENERALES

El uso del enraizador en polvo tuvo un efecto positivo en valores más altos en términos de las variables estudiadas, seguido por el enraizador líquido y el testigo, respectivamente.

En contraste no se observaron diferencias entre tratamientos para la relación hoja-tallo.

L. corniculatus, genotipo 202700 tuvo buen comportamiento por componente y acumulación de forraje están correlacionados de manera positiva con la mayor madurez de la planta, el incremento de materia seca fue proporcional a la edad de rebrote alcanzando el máximo rendimiento para la estación de primavera a los 49 días.

La densidad con mejor comportamiento en general fue la D2, la D1 presentó mayor cantidad de hojas y por un periodo de tiempo más largo, por lo que este genotipo se considera como un material con buen potencial forrajero en cuanto a rendimiento de materia seca y cantidad de hojas.

Se recomienda continuar estas investigaciones utilizando lapsos mayores de tiempo de evaluación para determinar un análisis de crecimiento anual.