

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFFECTO DEL TIPO DE SUSTRATO DE SUELO SOBRE LA PRODUCCIÓN
DE FORRAJE DE *Lotus corniculatus* L.

Tesis

Que presenta JUAN ALFREDO LAUREANO ORTIZ

como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Torreón, Coahuila

Julio 2024

EFFECTO DEL TIPO DE SUSTRATO DE SUELO SOBRE LA PRODUCCIÓN
DE FORRAJE DE *Lotus corniculatus* L.

Tesis

Elaborada por JUAN ALFREDO LAUREANO ORTIZ como requisito parcial para
obtener el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria con la
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



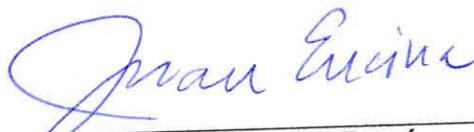
Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez

Director de Tesis



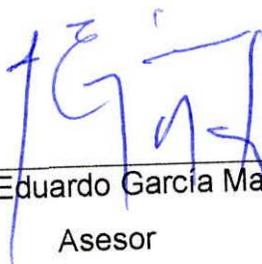
Dr. Sergio Iban Mendoza Pedroza

Asesor



Dr. Juan Antonio Encina Domínguez

Asesor



Dr. José Eduardo García Martínez

Asesor



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno

Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Antonio Flores Naveda

Subdirector de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

Un sincero agradecimiento al CONAHCYT por brindarme el financiamiento necesario para concluir mi maestría y desarrollar este proyecto de investigación.

A la **UAAAN y al Posgrado en Ciencias En Producción Agropecuaria**, gracias por permitirme y darme la confianza de seguir mi preparación en esta gran institución.

A mis asesores, **Dr. Perpetuo Alvares Vázquez, Dr. José Eduardo García Martínez, Dr. Sergio Iban Mendoza Pedroza y Dr. Juan Antonio Encina Domínguez**, su orientación, apoyo y dedicación fueron valiosos para terminar en tiempo este trabajo.

Al **MC. Fidel Maximiano Peña Ramos**, la orientación y ayuda fueron esenciales para finalizar este proyecto.

A mis amigos y compañeros que me ayudaron en las diferentes actividades que conllevo la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

A MI PADRE

Gracias por tus palabras de sabiduría que llegaban justo en el momento adecuado. Sé que estarías orgullo de mí.

A MI MADRE

Quiero expresar un profundo agradecimiento por tu inquebrantable amor y apoyo a lo largo de mi vida. Siempre eres mi inspiración en cada proyecto.

A MIS QUERIDOS HERMANOS

Sidonia, Victoria, Wendy, Albino, Constantino y Mauximiano, agradezco profundamente el ánimo y la comprensión que me han brindado.

A MI AMADA FAMILIA

*A la **FAMILIA LAUREANO**, en cada proyecto siempre busco dejar el apellido en alto. Agradezco su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, mis logros siempre serán el reflejo de su apoyo.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Hipótesis.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Descripción del género <i>Lotus</i>	3
2.1.1. Características generales	3
2.1.2. Clasificación taxonómica	3
2.1.3. Características morfológicas.....	4
2.1.4. Importancia agronómica	5
2.2. Sustratos utilizados en la agricultura	6
2.2.1. Importancia	6
2.2.2. Propiedades físicas.....	7
2.2.3. Propiedades químicas	8
2.2.4. Propiedades biológicas.....	8
2.2.5. Ventajas.....	9
2.2.6. Problemáticas	9
2.3. Factores que afectan el desarrollo de los forrajes	10
2.3.1. Radiación solar	10
2.3.2. Humedad	11
2.3.3. Suelo.....	12
2.3.4. Temperatura	12
2.4. Factores que influyen en el rebrote de las especies forrajeras	13
2.4.1. Meristemos de crecimiento	13
2.4.2. Reservas de carbohidratos	14

2.4.3. Índice de área foliar	15
2.5. Producción de forraje estacional	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Descripción del área de estudio	17
3.2. Metodología experimental	18
3.3. Fuentes de variación y diseño experimental	18
3.3.1. Características de los sustratos utilizados	19
3.4. Variables evaluadas	20
3.4.1. Rendimiento de materia seca	20
3.4.2. Composición morfológica.....	20
3.4.3. Relación: hoja/tallo.....	20
3.4.4. Altura de planta.....	21
3.4.5. Área foliar	21
3.4.6. Dinámica de mortalidad de tallos.....	21
3.4.7. Diámetro de corona	21
3.4.8. Peso de hoja y tallo en base a tallo individual	22
3.5. Análisis estadístico	22
IV. RESULTADOS y DISCUSIÓN	23
4.1. Interacción y medias de los factores de estudio	23
4.2. Rendimiento de materia seca	27
4.3. Composición morfológica	28
4.4. Relación hoja/tallo	33
4.5. Altura de planta	34
4.6. Área foliar.....	35
4.7. Diámetro de corona	37
4.8. Dinámica de mortalidad de tallos	38
4.9. Peso de hoja de tallo individual	39
4.10. Peso de tallo individual.....	41

V. CONCLUSIONES.....43
VI. LITERATURA CITADA.....44
VII. ANEXOS61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de <i>Lotus corniculatus</i> L.	4
Cuadro 2. Informe de análisis de muestras de sustratos de suelo.....	19
Cuadro 3. Cuadros medios de la evaluación en la producción de <i>Lotus corniculatus</i> L. y alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) establecidos en diferentes sustratos y cosechados en verano, otoño e invierno.....	25
Cuadro 4. Comparación de medias de los niveles de cada factor evaluado en la producción de <i>L. corniculatus</i> y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en tres estaciones del año.....	26
Cuadro 5. Cuadros medios de la contribución de los componentes morfológicos (CM) a la producción total de <i>L. corniculatus</i> y alfalfa, establecidos en diferentes sustratos, y cosechados en verano, otoño e invierno.....	31
Cuadro 6. Medias de los componentes morfológicos de <i>L. corniculatus</i> y alfalfa establecidos en diferente sustrato y cosechados en entre estaciones del año	32
Cuadro 7. Producción de materia seca (g MS planta ⁻¹) de <i>L. corniculatus</i> y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en tres estaciones del año	61
Cuadro 8. Relación hoja/tallo de <i>L. corniculatus</i> y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en verano, otoño e invierno.	62
Cuadro 9. Altura de planta (cm) de <i>L. corniculatus</i> y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en verano, otoño e invierno.	63
Cuadro 10. Área foliar de (cm ² planta ⁻¹) de <i>L. corniculatus</i> y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en verano, otoño e invierno.....	64
Cuadro 11. Diámetro de corona (cm) de <i>L. corniculatus</i> y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en verano, otoño e invierno.....	65
Cuadro 12. Porcentaje de tallos muertos en <i>L. corniculatus</i> y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en verano, otoño e invierno.....	66

Cuadro 13. Peso de hoja de tallo individual (g MS planta ⁻¹) de <i>L. corniculatus</i> y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en verano, otoño e invierno.....	67
Cuadro 14. Peso por tallo individual (g MS planta ⁻¹) de <i>L. corniculatus</i> y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en verano, otoño e invierno.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Medias mensuales de humedad, temperatura máxima y mínima durante el periodo estudiado.	17
Figura 2. Rendimiento de materia seca de <i>L. corniculatus</i> y la alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en tres estaciones del año.....	28
Figura 3. Relación hoja/tallo de <i>L. corniculatus</i> y la alfalfa establecidos.....	33
Figura 4. Altura de planta de <i>L. corniculatus</i> y la alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en tres estaciones del año..	35
Figura 5. Área foliar de <i>L. corniculatus</i> y la alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en tres estaciones del año..	36
Figura 6. Diámetro de corona de planta de <i>L. corniculatus</i> y la alfalfa, establecidos en diferentes sustratos y cosechados en tres estaciones del año.....	37
Figura 7. Dinámica de tallos muertos de <i>L. corniculatus</i> y la alfalfa establecidos en diferente sustrato y cosechados en tres estaciones del año..	39
Figura 8. Peso de hoja de tallo individual de <i>L. corniculatus</i> y la alfalfa establecidos en diferente sustrato y cosechados en tres estaciones del año..	40
Figura 9. Peso de tallo individual de <i>L. corniculatus</i> y la alfalfa establecidos en diferente sustrato y cosechados en tres estaciones del año..	41

RESUMEN

Efecto del tipo de sustrato de suelo sobre la producción de forraje de *Lotus corniculatus* L.

Juan Alfredo Laureano Ortiz

Presentada como requisito parcial para obtener el grado académico de

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez

Director de tesis

El trabajo se llevó a cabo con el objetivo de generar conocimiento sobre la producción de *Lotus corniculatus*, utilizando como testigo la alfalfa, con tres sustratos de suelo, bajo condiciones semi-controladas, en las estaciones de verano, otoño e invierno. Las variables evaluadas son rendimiento de materia seca (RMS), composición-morfológica (CM), relación hoja/tallo (RHT), altura de planta (AP), diámetro de corona (DC), área foliar (AF), dinámica de tallos muertos (DT), peso de hoja por tallo (PH) y peso por tallo individual (PT), teniendo como factores de variación la estación, sustrato y cultivar. A través de un análisis factorial y una prueba de medias de Tukey con el paquete estadístico SAS 9.4, los factores de estudio mostraron significancias ($p \leq 0.05$) sobre todas las variables. Así mismo, se registraron interacciones entre factores, principalmente sobre las variables relacionadas con la estación y cultivar, sin embargo, la interacción estación-sustrato no presentó significancia ($p > 0.05$) sobre las variables de RMS, CM, RHT, AP, AF, DT y PT, ni en la interacción sustrato-cultivar el RMS, CM, DC, AF, DT y PT. En conclusión, los factores que más causaron variabilidad fueron la estación y cultivar, respecto al sustrato.

Palabras clave: Sustrato, Factor de variación, Producción estacional

ABSTRACT

Effect of soil substrate type on forage production of *Lotus corniculatus* L.

Juan Alfredo Laureano Ortiz

Presented as a partial requirement to obtain the academic degree of

MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURAL PRODUCTION

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez

Thesis Director

The work was carried out with the objective of generating knowledge on the production of *Lotus corniculatus*, using alfalfa as a control, with three soil substrates, under semi-controlled conditions, in summer, autumn and winter seasons. The variables evaluated were dry matter yield (DMY), composition-morphology (CM), leaf/stem ratio (LTR), plant height (PA), crown diameter (CD), leaf area (LA), dead stem dynamics (DS), leaf weight per stem (LW) and weight per individual stem (WW), with season, substrate and cultivar as factors of variation. Through a factorial analysis and a Tukey means test with the SAS 9.4 statistical package, the study factors showed significance ($p \leq 0.05$) on all variables. Likewise, interactions between factors were recorded, mainly on the variables related to season and cultivar; however, the season-substrate interaction did not show significance ($p > 0.05$) on the variables of RMS, CM, RHT, AP, AF, DT and PT, nor in the substrate-cultivar interaction on RMS, CM, DC, AF, DT and PT. In conclusion, the factors that caused most variability were season and cultivar, with respect to substrate.

Keywords: Substrate, Variation factor, Seasonal production.

I. INTRODUCCIÓN

En algunos lugares la oferta de forrajes es limitada debido a diversas variables, como el clima o el tiempo que la carga animal da a los pastizales para recuperarse (Dicado y Felipe, 2023). Así mismo, hoy en día existe una gran competencia en el ámbito agropecuario, en consecuencia, los productores deben utilizar los recursos forrajeros de forma más eficaz (Araya y Boschini, 2005). Estas cuestiones analizadas con anterioridad llevan a la introducción de especies forrajeras que permitan un uso eficiente de la tierra, y que posean adecuados rendimientos y calidad, con la menor afectación posible del clima (De la Ribera et al., 2017). Esto encamina a una búsqueda continua de forrajes que satisfaga las necesidades nutricionales de los animales y, al mismo tiempo, cree un sistema de cosecha constante que garantice un nivel de producción estable durante todo el año (Mora y Figueroa, 2005). En esta situación, *Lotus corniculatus* L. es una de las especies forrajeras que ha generado gran interés para ser utilizada a gran escala dentro de los sistemas de producción agropecuarios en diferentes áreas del mundo, debido a que es una especie no exigente con las condiciones del suelo, además de crecer bien en suelos arenosos, arcillosos, pesados y algo alcalinos, soporta la sequía estival y las heladas suaves (García et al., 2003). Por su ciclo de vida perenne, *L. corniculatus* puede ser aprovechada como fuente de forraje durante las cuatro estaciones del año, además de ser una leguminosa con características sobresalientes sobre otras especies forrajeras (Churkova, 2019). Respecto a la producción de *L. corniculatus* en México, Álvarez-Vázquez et al. (2018) señala que la producción de biomasa de esta especie difiere de la observada en otras regiones del mundo y debe estudiarse en diversos entornos ambientales. En base a lo citado, se determinaron los siguientes objetivos en el presente trabajo.

1.1. Objetivo general

- Generar conocimiento sobre la producción de materia seca de *Lotus corniculatus* L. utilizando diferentes sustratos de suelo, y teniendo como testigo a la alfalfa (*Medicago sativa* L.).

1.2. Objetivos específicos

- Determinar la acumulación de materia seca y los componentes morfológicos de *L. corniculatus* y la var. Premium de alfalfa, establecidos en diferentes sustratos, bajo condiciones semi-controladas
- Analizar la relación hoja/tallo, altura, área foliar, diámetro de corona, senescencia de tallos, y peso de hoja y tallo en base a tallo individual, de *L. corniculatus* y alfalfa en diferentes estaciones del año.

1.3. Hipótesis

- El rendimiento y aportación de los componentes morfológicos de los cultivares se verá afectado por el tipo de sustrato y la estación de estudio
- La estación y tipo de sustrato mostraran interacción sobre las variables estudiadas

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción del género *Lotus*

2.1.1. Características generales

La palabra *Lotus* fue propuesto por Carlos Linnaeus en 1753 y desde en aquel momento, la especie que designa ha sufrido varias alteraciones demarcadas por este seudónimo (Arambarri, 2000; Allan y Porter, 2000). Es uno de los 10 géneros que contemplan la tribu *Loteae*, y el único dentro de la igual que cuenta con una colocación intercontinental (Polhill, 1981; Sokoloff, 1998). Respecto a la especie *Lotus corniculatus*, también es conocida como “pata de pájaro”, es una planta utilizada como alimento para rumiantes ya que promueve un aumento importante en la asimilación de aminoácidos esenciales, el porcentaje de ovulación y la formación de proteína láctea y lactosa (Jabbari et al., 2024). El trébol de pata de pájaro es una fabácea forrajera perenne que se encuentra en zonas templadas de Europa, Asia, el norte de África y Sudamérica (Gunn et al., 1992). Con genotipos diploides y tetraploides, es una de las 100 variedades que conforman el género *Lotus* (Ball y Chrtková-Zertová, 1968).

2.1.2. Clasificación taxonómica

Dentro de la subfamilia *Leguminosae*, subfamilia *Papilionidae* (*Faboideae*), la tribu *Lotae* incluye el género *Lotus*, que cuenta con entre 100 y 200 especies, tanto anuales como perennes. (Langler, 2003). La especie *Lotus corniculatus* L. destaca en este grupo por sus características forrajeras. (Castro et al., 2012). Debido a su gran diversidad morfológica y geográfica, así como al hecho de que cuenta con dos grandes centros de diversidad -América del Norte y el Mediterráneo-, el género *Lotus* es el más complicado desde la perspectiva taxonómica entre la tribu *Loteae*. En esta última región, el género está formado

por diversos conjuntos de especies distintas, algunas de las cuales se han catalogado como géneros. (García, 2017). La clasificación taxonómica de *L. corniculatus*, determinada por el Instituto de Biología de la UNAM, se muestra en en el Cuadro 1. (IBUNAM, 1995).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de *Lotus corniculatus* L.

Reino	<i>Plantae</i>
Filo	<i>Tracheophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Fabales</i>
Familia	<i>Fabaceae</i>
Género	<i>Lotus</i>
Nombre científico	<i>Lotus corniculatus</i> L.

2.1.3. Características morfológicas

Esta planta perenne alcanza 50 cm de altura con tallos que pueden ser erectos, decumbentes o postrados. Crece a partir de una corona donde se producen nuevos tallos por brotes emergentes (Silveira, 2011). Se diferencia de los géneros *Medicago* y *Trifolium* en que sus hojas emergen de los puntos de crecimiento de los cotiledones, las hojas se componen de cinco folíolos: tres apicales digitados, tres basales y tres superiores que son ovados y los inferiores ovales, semejantes a estípulas, con venas minúsculas claras, las hojas son imparipinnadas y pentafoliadas (Ayala y Carambula, 2009). Presenta una legumbre recta y cilíndrica de hasta cuatro centímetros de diámetro, parecida a un pie de pájaro, se presenta con flores amarillas, ocasionalmente con pigmentación rojiza, reunidas en un glomérulo umbeliforme de escasas flores en el borde del pedúnculo más largo que la hoja sobre la que nace (UPNA, 2023). Aunque este género utiliza ocasionalmente estolones para formar verdaderos

céspedes para la propagación vegetativa, la reproducción sexual es el principal medio de reproducción; las flores son el principal órgano de polinización y el principal medio de cruce, los frutos de este género son leguminosas longitudinalmente dehiscentes que llegan a medir hasta cinco metros de longitud, y contienen pequeñas semillas subglobosas de color castaño (Ollerton y Lack, 1998).

2.1.4. Importancia agronómica

Las especies más importantes desde una perspectiva agronómica son *Lotus corniculatus*, *Lotus uliginosus* Schkuhr, *Lotus tenuis* Waldst et Kit y *Lotus subbiflorus* Lagasca (García, 2017). Autores como Singh et al. (2007) mencionan que después del trébol blanco (*Trifolium repens* L.) y la alfalfa (*Medicago sativa* L.), *L. corniculatus* es una de las fabáceas forrajeras más importantes. Esta especie puede adaptarse a diferentes prácticas de gestión del pastoreo y desarrolla forraje de gran calidad que se emplea para ensilado, acumulación de paja y consumo en verde directo, su rendimiento y persistencia se maximizan bajo pastoreo rotacional ligero, mientras que se reducen en un 30% bajo pastoreo continuo., además, las intensas defoliaciones del verano y el otoño disminuyen aún más su persistencia, aunque los excedentes de primavera se cosechan con frecuencia para henificar o producir semillas (INIA, 2023).

A diferencia de otras leguminosas forrajeras comunes como *Medicago sativa* L. y/o *Trifolium repens* L., el género *Lotus*, originario de la cuenca mediterránea, está muy extendida por todo el mundo, y sus especies han evolucionado para soportar una amplia gama de presiones ambientales y tipos de suelo (Beyaz, 2023). El 90% del género *Lotus* cultivado en el mundo está constituido por el trébol de pata de pájaro, una planta con un importante virtud forrajera que se encuentra principalmente en EUA, Australia, Chile y Argentina (García y Jeffrey, 2003;

Escaray et al., 2012). Dado que esta especie no causa timpanismo en el ganado, puede utilizarse en la alimentación animal por su alto nivel de productividad, calidad nutricional y variabilidad en la producción de forraje, puede tener promedios anuales de hasta 7.400 kg ha⁻¹ de rendimiento de materia seca, con proporciones de digestibilidad que van del 76 al 79 por ciento y del 18 al 22 de proteína bruta (Beuselinck y Grant, 1995; García-Bonilla et al., 2015). Además, se ha descubierto que *L. corniculatus* mejora la producción láctea y cárnica en comparación con otros forrajes (Hunt et al., 2014).

2.2. Sustratos utilizados en la agricultura

2.2.1. Importancia

Un sustrato es cualquier sustancia sólida -natural, sintética, residual, mineral u orgánica- que, agregada a un contenedor en forma pura o combinada, cede el anclaje del área radicular y proporciona soporte a la planta, independientemente de que implique o no nutrición vegetal (Abad-Berjon et al., 2004). La finalidad de los materiales manejados a manera de sustratos o sustratos de crecimiento para el cultivo de plantas en macetas o contenedores es sostener la planta y suministrarle nutrientes, aire y agua para el desarrollo saludable de sus raíces y partes aéreas (Burés, 1997). En los sistemas semi-hidropónicos para especies hortícolas, los sustratos desempeñan un papel fundamental en la agricultura moderna, los estudios publicados demuestran que la necesidad de materiales de sustrato ha impulsado la investigación en todo el mundo, sin embargo, la inquietud por la preservación del medio ambiente ha alterado la idea de utilizar sustratos; por lo tanto, al seleccionar un sustrato deben tenerse en cuenta otras consideraciones, como el agua, el suelo y el reciclaje de materiales de desecho (Cruz et al., 2013).

Se pueden utilizar muchos materiales para crear sustratos, y la elección de los mismos obedecerá a las necesidades de la especie vegetal que se vaya a producir, el tipo de propágulo, la estación del año, el método de propagación, el coste, la disponibilidad del sustrato y sus propiedades (Hartmann y Kester, 2002). En el contexto de la agricultura de sustrato, se han puesto a prueba numerosos materiales en un esfuerzo por maximizar la eficiencia de la producción y garantizar un suministro constante de materiales de alta calidad; como resultado, se han identificado algunos materiales como los principales entre una variedad de opciones (Acosta-Durán et al., 2008).

2.2.2. Propiedades físicas

Debido a las limitaciones físicas impuestas por el contenedor, las mezclas empleadas en él están sometidas a tensiones de humedad diferentes a las del suelo en campo abierto (Poole et al., 1981). En este sentido, es crucial que la mezcla o sustrato posea las cualidades necesarias para sostener la planta, permitir una aireación suficiente y retener la humedad, también debe ser ligero y estar compuesto por componentes fáciles de obtener e incluir (Bell, 1992). El tamaño, la granulometría, la estructura interna y el estilo de empaquetamiento de las partículas afectan a sus propiedades físicas, la densidad real y aparente, la colocación granulométrica, la porosidad y ventilación, la suspensión de agua, la filtración, la repartición del grosor de los poros y la persistencia estructural son algunas de las características más cruciales (Cruz et al., 2013). Una deferencia significativa en el bosquejo de los sustratos de cultivo es lograr una proporción entre la humedad retenida y la aireación; unos poros suficientemente grandes deben ceder la reciprocidad de aire con el medio exterior y conservar las concentraciones de oxígeno por arriba de los estándares críticos, mientras que unos poros suficientemente pequeños deben retener el agua necesaria para la absorción de las plantas (Pire y Pereira, 2003). Asimismo, el sustrato debe tener

una densidad aparente adecuada para soportar la planta y evitar que se vuelque, pero también debe ser lo bastante ligero para no dificultar la manipulación de la planta ni aumentar los gastos de transporte (Jiménez y Caballero, 1990).

2.2.3. Propiedades químicas

La estructura básica de los materiales, que describe el cambio de componentes entre el sustrato y la solución de sustrato, define las características químicas, la capacidad de intercambio catiónico, la conductividad eléctrica, el pH, la capacidad tampón, el aporte nutricional y la proporción carbono/nitrógeno son algunas de las características químicas de los sustratos (Cruz et al., 2013). Desde el punto de vista químico, pueden distinguirse dos tipos extremos de sustratos: los sustratos químicamente inertes, que no sufren descomposición química ni biológica, no liberan elementos solubles de forma perceptible y son incapaces de absorber elementos adicionales, por último, el otro tipo de sustratos se clasifica como activo; libera elementos mediante la degradación y reacción de los compuestos que constituyen el material sólido del sustrato o adsorbiendo elementos en su superficie que pueden intercambiarse con elementos disueltos en la fase líquida (Pastor, 2002).

2.2.4. Propiedades biológicas

Cuando los materiales orgánicos no se crean, sus cualidades inherentes los hacen termodinámicamente inestables, lo que los hace vulnerables a las reacciones de hidrólisis microbiana o química que los degradan (Pastor, 2002). El contenido, el estado y el ritmo de descomposición de la materia orgánica son ejemplos de propiedades biológicas (Cruz et al., 2013). Respecto a estas propiedades, existe una preocupación general sobre la estabilidad biológica de los sustratos, entendida esta como la resistencia a la biodegradación de los componentes orgánicos de la misma, problema que se acentúa cuando se

emplean subproductos orgánicos compostados de forma incompleta, como consecuencia se podrá apreciar una compactación por pérdida de volumen y disminución de porosidad total, paralelamente se produce una disminución del contenido de aire, también químicamente se podrá observar un aumento del pH, de la salinidad y del intercambio catiónico como resultado de la generación de elementos durante la mineralización (López-Cuadrado y Masaguer, 2006).

2.2.5. Ventajas

La ventaja del uso de sustratos es que proporcionan un menor control de los patógenos y afecciones de las raíces que son frecuentes cuando se maneja el suelo como medio de cultivo para una gran variedad de plantas hortícolas, en general, se considera que el cultivo sin suelo, que incluye el uso de sustratos, es una técnica agronómica amable con el medio natural y el hombre porque, mediante estos sistemas de producción, se cree que el uso de sustratos proporciona tanto un alto rendimiento como productos de alta calidad, dado que el cultivo sin suelo, que utiliza sustratos, genera altos rendimientos y bienes de alta calidad, al tiempo que produce un producto sano (Cruz et al., 2013). Dependiendo del tipo de material, los residuos orgánicos transformados en sustratos empleando métodos como el compostaje o el vermicompostaje ofrecen cualidades favorables para el desarrollo de las plantas, como la disminución del tamaño de las partículas, que aumenta la capacidad del sustrato para retener agua, mejora el intercambio catiónico y aumenta el potencial de aireación. (Frederickson et al., 2007; Acevedo y Pire, 2007).

2.2.6. Problemáticas

Las plantas cultivadas en sustrato no son iguales que las cultivadas en tierra, como consecuencia, cuando se cultiva en contenedor, el volumen del espacio de cultivo -del que la planta necesita tomar nutrientes, oxígeno y agua- es limitado y

mucho menor que el de las plantaciones en campo abierto (Calderón, 2013). Por lo anterior, como no hay mucha amortiguación entre la superficie y el volumen de estos recipientes, las raíces de las plantas alojadas en ellos son, por tanto, más susceptibles a las fluctuaciones de las condiciones de la fitosfera. (Pire y Pereira, 2003). Es importante tener en cuenta que, aunque los materiales sean del mismo tipo, sus propiedades físicas y, en su caso, químicas y biológicas, pueden diferir de un lugar a otro, por lo tanto, habrá que describirlos antes de ponerlos en la maceta o el contenedor, lo que afectará al presupuesto del proyecto, ya sea para la producción o para la investigación. (Cruz et al., 2013).

En la campo, una de las mayores dificultades es también la disponibilidad y consistencia de los sustratos en los diversos ejes de elaboración o obtención, la turba, la lana de roca, la perlita, la vermiculita y la fibra de coco ofrecen notables variaciones en cuanto a disponibilidad y calidad del material (Abad, 1993). Del mismo modo, si un productor opta por utilizar sustrato agrícola como medio de cultivo, debe elegir entre comprar el sustrato ya montado o comprar los componentes por separado y montar el sustrato que mejor se adecue a sus expectativas, por consiguiente, el coste del sustrato debe ser razonable y fácilmente accesible; naturalmente, el coste de las materias primas cuyos ejes de utilización están alejados de los lugares de extracción o elaboración suele ser más elevado (Nelson, 1998).

2.3. Factores que afectan el desarrollo de los forrajes

2.3.1. Radiación solar

Las interacciones agroclimáticas desempeñan un papel complejo en la determinación del desarrollo de los cultivos. A este respecto, el éxito de la producción de cultivos depende de la secuencia temporal de los estímulos meteorológicos, así como de su intensidad durante el ciclo de vida del cultivo

(Orobio et al., 2022). La tasa de interceptación y la eficacia de la absorción de la radiación solar para transformar el CO₂ en materia seca determinan el rendimiento potencial de una planta (Uresti et al., 2001). Por lo tanto, es fundamental comprender cómo se comportan ante la radiación solar las distintas especies forrajeras que se utilizan con más frecuencia para la alimentación de los rebaños (Figuroa y Betancourt, 2005). El mejor momento para cortar el forraje verde puede determinarse utilizando la radiación interceptada y el índice de superficie foliar. Si estas variables están relacionadas con la altura, el productor puede utilizarlas como criterio útil para la cosecha del forraje verde (García et al., 2018).

2.3.2. Humedad

A nivel mundial el estrés por sequía es uno de los más perjudiciales que afectan y reducen la productividad agrícola a nivel mundial (Yousefi et al., 2020), el estrés osmótico y oxidativo se produce por la falta de agua de la célula y daña las funciones fisiológicas, bioquímicas y moleculares (Martínez-Santos et al., 2021). Dado que el agua constituye más del 80% de los tejidos vegetales, se deduce que el agua es uno de los elementos más cruciales en la formación de forrajes. Las condiciones de déficit hídrico se crean en el suelo cuando las precipitaciones son insuficientes o se distribuyen de forma desigual, estas condiciones repercuten en la fisiología, la morfología y las relaciones hídricas internas de las plantas forrajeras, lo que a su vez restringe la producción de forraje y logra colocar en riesgo la duración de la especie (Mattos et al., 2005), lo que se ve expresado en la baja de la producción de leche y carne en los sistemas ganaderos debido a que el pastoreo y las leguminosas constituyen la principal fuente de alimentación ganadera (Atencio et al., 2014).

2.3.3. Suelo

El desarrollo vegetal se ve influido por las condiciones físicas del suelo, como la textura, la estructura y la permeabilidad, los suelos y la vegetación tienen relaciones recíprocas; la presencia de nutrientes en un cultivo está directamente relacionado con el contenido nutricional del suelo y su potencial para el intercambio de nutrientes y humedad con el área radicular de las plantas (FAO, 2015). Mejorar y mantener las circunstancias fisicoquímicas y biológicas del suelo es la base de su productividad agrícola, que obedece en gran parte del contenido o ausencia de materia orgánica, el suelo no es sólo el sistema de soporte de las plantas; también es la fuente de nutrición vegetal, ya que es donde se produce la transformación de los nutrientes a través de la biodegradación y la mineralización de la materia orgánica (Trejo-Escareño *et al.*, 2013). Por último, pero no por ello menos importante, el agotamiento de la calidad del suelo tiene un efecto significativo en problemas vitales como el cambio climático global, la seguridad alimentaria, el desgaste de biodiversidad y el descenso de la cantidad y calidad del suministro de agua (Rivera, 2008).

2.3.4. Temperatura

Para varias plantas, el intervalo de temperaturas bajo el cual el desarrollo es al menos un 50% del alcanzado a temperaturas óptimas es muy angosto, oscilando entre 10-15 y 40-45 °C, esto sugiere que el aguante al calor no ha sido retocada por adaptación natural y la mejora genética, que se ha producido a través de aproximadamente 12.000 años de progreso de las plantas en el mundo, la totalidad de las plantas son perceptivas al estrés térmico y sufren cuando las temperaturas descienden o son muy elevadas con comparación a los umbrales determinados para cada una (Chaves-Barretes y Gutiérrez-Soto, 2017; Parent y Tardieu, 2012). Las altas temperaturas pueden alterar las plantas directamente,

afectando a funciones fisiológicas como la respiración, la firmeza de las membranas y el incremento del crecimiento, por otra parte, las altas temperaturas pueden alterar las plantas indirectamente al afectar a las estomas, el intercambio gaseoso y las interacciones planta-medio natural, así como a la demanda de aire por evaporación y al balance energético de las hojas (Wahid et al., 2007). Las plantas experimentan alteraciones anatómicas, morfológicas y funcionales en respuesta a las altas temperaturas; algunos de estos cambios son comparables a los provocados por el estrés hídrico e incluyen la disminución del tamaño celular, cambios de permeabilidad de la membrana, la depreciación de la conductancia estomática y el cierre de los estomas, el aumento de la solidez de los estomas y los tricomas y el aumento del tamaño de los vasos del xilema (Luque, 1989).

2.4. Factores que influyen en el rebrote de las especies forrajeras

2.4.1. Meristemos de crecimiento

El crecimiento se refiere a todas las variaciones cuantitativas que tienen lugar en una planta durante su vida. El desarrollo se define por el crecimiento y los cambios de forma de la planta, que se producen a través de patrones sucesivos de diferenciación y morfogénesis, en todas las plantas, el crecimiento se limita a zonas específicas en las que se producen células por división celular meristemática; la división celular por sí misma no provoca un aumento de tamaño, pero sí los productos celulares (Cayón, 1999). Hay meristemas en las crestas de las raíces y los tallos, donde se produce el desarrollo activo, hay otras zonas meristemáticas en los nudos de las monocotiledóneas y en el cambium vascular (Salisbury y Ross, 1994). Comprender la ontogenia del meristemo apical de las plantas cuando entran en la fase reproductiva sirve de base para los estudios sobre mejora fisiológica y ayuda a explicar los elementos morfogenéticos del

desarrollo, también puede ayudar en la de toma de medidas cuando se habla de la gestión agronómica de los cultivos (Aguilar-Delgado *et al.*, 2018).

2.4.2. Reservas de carbohidratos

La obtención de altas tasas de regeneración depende principalmente de la cantidad de sitios de crecimiento activos que permanecen tras la defoliación, la cantidad y el origen de los meristemos se denominan características morfológicas de la planta que intervienen en la resistencia a la defoliación (Formoso, 1996; Fortes *et al.*, 2004). Como subproducto de la fotosíntesis, el contenido de hidratos de carbono en las especies forrajeras fluctúa de acuerdo a la fase fenológica de la planta y del entorno que la rodea, dado que las conexiones fuente-demanda rigen la distribución de los azúcares, mantener una reserva de carbohidratos es esencial para hacer frente a situaciones de estrés, en situaciones de estrés o de alta demanda, las reservas de carbohidratos compensan la reducción de la producción fotosintética (Martínez-Trinidad *et al.*, 2013). La contribución relativa de las fuentes meristemáticas al crecimiento de la planta varía entre especies, y depende de variables ambientales y del estado de desarrollo fenológico del cultivo, en este sentido, las especies que producen una mayor proporción de vástagos vegetativos o reproductivos se favorecen más con la defoliación intermitente que con el pastoreo continuo (Formoso, 1996; Fortes *et al.*, 2004). Los meristemos nodales intercalares de los tallos en las leguminosas erectas, como el trébol rojo, la alfalfa y el *Lotus*, con esquemas de progresión sincrónico de la totalidad de sus tallos, están activos desde el inicio del rebrote, por lo que sus entrenudos se alargan continuamente (Formoso, 1996).

2.4.3. Índice de área foliar

La proporción entre la superficie foliar de una planta y la superficie que ocupa se denomina índice de superficie foliar o IAF. Dado que la productividad de una planta se deriva de su capacidad para interceptar la energía lumínica y convertirla en energía sintética, su superficie foliar es el mejor indicador de su capital productivo; es decir, puesto que la agricultura es esencialmente un sistema de utilización de la fotosíntesis, que llevan a cabo las hojas, la superficie foliar puede considerarse la base del rendimiento tanto biológico como económico de cualquier cultivo (Valencia, 1973). Al haber más hojas por unidad de superficie, las explotaciones agrícolas pueden aumentar la acumulación de biomasa y el rendimiento de los forrajes incrementando la superficie foliar, el índice de superficie foliar y la duración de las hojas (Olalde-Gutiérrez et al., 2000). Además, cuando el dosel crece, se intercepta más luz, lo que se traduce en un aumento de la fotosíntesis y la producción de biomasa (Escalante-Estrada, 1999).

2.5. Producción de forraje estacional

El potencial productor de los forrajes es dependiente de las variaciones en la precipitación y temperatura, esto genera cambios en la productividad de los animales, uno de los principales problemas a los que se ve enfrentada la ganadería extensiva e intensiva, es que la misma es dependiente de la variación estacional de la producción de las pasturas naturales (Ferreira y Berretta, 1997). Debido a la estacionalidad del clima, el estrés por sequía puede producirse en cualquier momento del año, lo que significa que la producción de pastos varía mucho dentro de un mismo año y entre años en respuesta al clima y al tipo y estado de los pastos, hay periodos de escasez y exceso de forraje que provocan cambios constantes en la cantidad y la calidad (Carámbula, 1982; García, 1992). En *Lotus*, los sistemas de cortes frecuentes e intensos reducen significativamente

el número de tallos, registrándose valores muy bajos en verano. Cuando se dan condiciones muy estresantes, como altas temperaturas, déficit hídrico y/o manejos muy frecuentes e intensos, se pueden originar porcentajes muy altos de muerte de meristemas axilares en los tallos remanentes, esto se refleja en una disminución de la acumulación de biomasa. (Formoso, 1996).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de estudio

El estudio fue realizado del 15 de enero de 2023 al 20 de marzo de 2024 y corresponde a las estaciones de verano, otoño e invierno, bajo condiciones de invernadero en el are experimental perteneciente departamento de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, en la ubicación 25° 23' de LN y 101° 00' de LO, con altitud de 1783 m. El clima de la región es templado semi-seco, temperatura media de 18°C. el invierno es extremo, predominan temperaturas máximas que superan los 18°C y días con temperaturas por debajo de los 0 °C. El promedio anual de precipitación de la región es de 340 mm ([Climate-Data, 2010](#)). En la Figura 1 se despliegan las medias mensuales de temperatura máxima y mínima, asimismo se presenta la humedad dada en unidades porcentuales, registradas durante

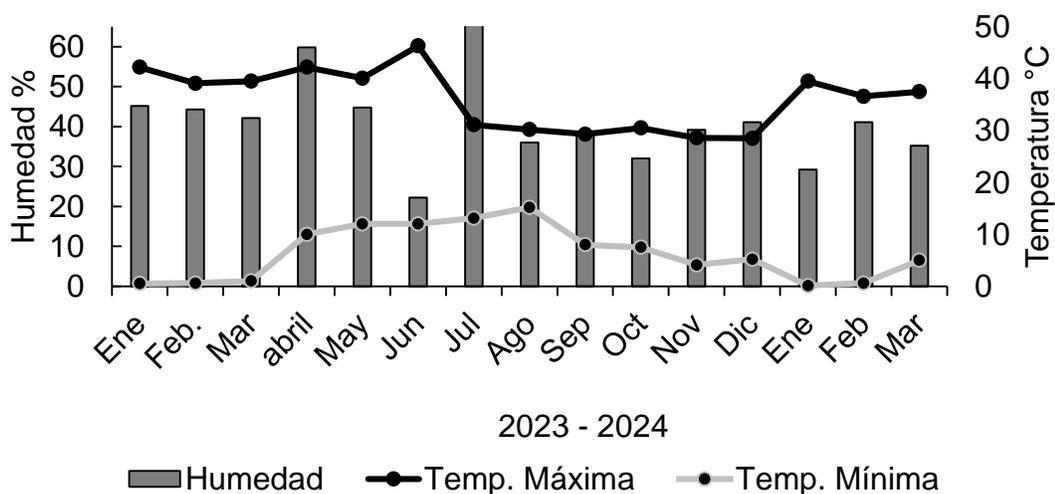


Figura 1. Medias mensuales de humedad, temperatura máxima y mínima durante el periodo estudiado del 15 de enero de 2023 al 20 de marzo de 2024, en condiciones de invernadero, sureste de Coahuila, México.

el periodo que abarcó el estudio, las condiciones de temperatura y humedad se registraron con un higrómetro digital modelo WS08 el cual se colocó dentro del invernadero a un metro de altura del suelo, y de este se recolectaban los datos mes con mes. De manera general la temperatura mínima tuvo una variación entre 0 a 15 °C, la máxima de 28 a 42 °C, y la humedad registró medias de 22 a 60 %.

3.2. Metodología experimental

Se utilizaron dos cultivares forrajeros el genotipo 255301 de *L. corniculatus* y la variedad Premium de alfalfa (*Medicago sativa* L.) establecidos el 15 de enero del 2023 en tres tipos de sustratos; SI (Sustrato típico de invernadero), SII (mezcla uniforme de SI y SII), y SIII (Suelo propio de la región). La alfalfa fue establecida mediante la siembra directa de una semilla por maceta, en contraste el *Lotus* fue establecido mediante el trasplante de plántulas que fueron obtenidas por reproducción vegetal. Las unidades experimentales fueron macetas de 10 L, con un total de 10 macetas para cada tipo de sustrato y 15 por cultivar, en las cuales se estableció una planta por tratamiento, con cinco repeticiones, quedando un área experimental de 30 macetas en un diseño completamente al azar manejando cinco repeticiones.

3.3. Fuentes de variación y diseño experimental

Las fuentes de variación estuvieron representadas por los materiales vegetales analizados, los sustratos de suelo y las estaciones del año del periodo el experimento (verano, otoño e invierno). Los muestreos se llevaron a cabo efectuando cortes fijos establecidos estacionalmente y por cultivar; 28 días para alfalfa y 35 en *Lotus* en verano, 42 días en otoño para ambos cultivares, y en invierno 42 días en alfalfa y 84 para *Lotus*. El área experimental se estableció con un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de tres factores (3 x 3 x 2) con cinco repeticiones. Con la finalidad de iniciar con plantas homogéneas

respecto al desarrollo morfológico, previo al inicio de los muestreos se efectuó un corte uniformización el 6 de mayo del 2023, a una altura residual de 5 cm.

3.3.1. Características de los sustratos utilizados

Las propiedades físicas y químicas de los sustratos de suelo utilizados en este experimento se presentan en el Cuadro 2, obtenidas a través del informe de análisis de suelo en el Laboratorio de Planeación Ambiental y Edafología (UAAAN, 2024). Se destaca una mayor concentración de nitrógeno, carbono y materia orgánica en SI y SII, así mismo, mayor conductividad eléctrica, respecto al SIII.

Cuadro 2. Informe de análisis de muestras de sustratos de suelo

Propiedades	Sustrato		
	SI	SII	SIII
Textura	Franco arenoso	Franco	Franco arcilloso
Carbón orgánico %	6.7	5.07	2.3
Materia orgánica %	11.7	8.7	4.3
Nitrógeno total %	17.2	12.8	5.9
pH	8.7	8.6	8.6
CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	1446	2118	760
DR(g/cm^3)	3.3	2.8	2.8
Espacio porosos %	70	72	59

SI = Sustrato de invernadero; SII = Combinación homogénea de SI y SIII; SIII = Sustrato de suelo típico de la región; CE = Conductividad eléctrica; DR = Densidad real

3.4. Variables evaluadas

3.4.1. Rendimiento de materia seca

La acumulación de materia seca se determinó al cosechar el forraje disponible en cada una de las unidades experimentales, realizando un corte a la misma altura que en el corte de uniformización. El forraje recogido en cada unidad experimental se colocó en bolsas de papel etiquetadas con anterioridad. A continuación, el forraje se secó en una estufa de aire forzado a 55 °C hasta alcanzar un peso constante. Este peso de materia seca parcial se utilizó para calcular el rendimiento por planta (g MS planta⁻¹).

3.4.2. Composición morfológica

Para determinar el rendimiento para cada componente morfológico, antes de introducir el forraje fresco a la estufa, este se separó en tallo, hoja, material muerto e inflorescencia, esto para determinar la aportación de cada componente al rendimiento total de cada planta. Una vez alcanzado un peso constante, empleando una báscula analítica se pesó y registró el valor de cada componente en g MS componente⁻¹ planta⁻¹ y en unidades porcentuales.

3.4.3. Relación: hoja/tallo

Con los resultados derivados de la composición morfológica de los componentes hoja y tallo en base seca, se realizó el cálculo para determinar la relación hoja/tallo, mediante la siguiente fórmula: $R=H/T$

Donde:

H/T = Relación hoja/tallo

H = Peso seco de hoja (g MS planta⁻¹)

T = Peso seco de tallo (g MS planta⁻¹)

3.4.4. Altura de planta

Para la evaluación de la altura de la planta de las especies, un día anterior de realizar el corte en cada fecha de muestreo, se registró la altura de planta en cada una de las unidades experimentales, utilizando una regla graduada en centímetros se registró la altura desde la zona basal de la planta hasta la parte más sobresaliente de esta.

3.4.5. Área foliar

Se midió el área foliar de cada planta, para ello al obtener las hojas en el proceso de separación de componentes morfológicos, estas inmediatamente en estado fresco se colocaron sobre el integrador de área foliar CID, Inc., escáner modelo CI-202, en el cual se realizaron cuantas lecturas fueran necesarias para registrar el área foliar en $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$, dependiendo de la cantidad de hoja.

3.4.6. Dinámica de mortalidad de tallos

Un día antes del muestreo se contaron el número de tallos muertos y vivos presentes en cada repetición, y en base a porcentaje se calculó el porcentaje de sobrevivencia de tallos, posteriormente por diferencia se obtuvo el porcentaje de tallos senescente presentes en cada unidad experimental.

3.4.7. Diámetro de corona

Después de realizar el corte del material vegetal, se prosiguió a medir el diámetro de la corona de planta utilizando una regla graduada en milímetros.

3.4.8. Peso de hoja y tallo en base a tallo individual

Esta variable se determinó utilizando los valores obtenidos de hoja y tallo de la composición morfológica, estos fueron divididos por el número total de tallos vivos en cada planta y así obtener el valor por tallo individual tanto de hoja y tallo.

3.5. Análisis estadístico

Para determinar el efecto y las internaciones de los tres factores estudiados sobre las variables evaluadas, se llevó a cabo un análisis factorial y una comparación de medias utilizando la prueba de Tukey con una $p \leq 0.05$ a través del procedimiento PROC GLM de SAS (SAS, 2009). Utilizando el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + (ABC)_{ijk} + E_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Variable de respuestas

M = Media general

A_i = Efecto del factor estación

B_j = Efecto del factor sustrato

C_k = Efecto del factor cultivo

$(ABC)_{ijk}$ = efecto de las interacciones entre factores

E_{ijk} = Error aleatorio

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Interacción y medias de los factores de estudio

Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) sobre factores principales y de varias interacciones en cada una de las variables evaluadas (Cuadro 3). Rendimiento de materia seca (RMS), relación hoja/tallo (RHT), altura de planta (AP), diámetro de corona (DC) y área foliar (AC) fueron las variables que presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los tres factores de estudio, en contraste la dinámica de tallos muertos (DT), peso de hoja por tallo (PH) y peso de tallo individual (PT) solo presentaron significancia en los factores de estación (E) y cultivar (C). Respecto a la interacción de factores, todas las variables presentaron significancia en la interacción de los tres factores. Se considera que entre dos o más factores hay interacción si los efectos de un nivel de un factor dependen de los niveles del otro (Benítez *et al.*, 2010). En el resto de interacciones, resalta la de E x C, la cual fue la que presentó significancia en la totalidad de las variables a excepción del PH ($p > 0.05$), por lo que el cambio estacional es un factor crucial y está relacionado directamente con los periodos vegetativos del cultivo (SADER, 2016).

En la comparación de medias de los niveles de cada uno de los factores (Cuadro 4) se destaca que respecto al tipo de sustrato utilizado solo se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la variable DC, donde en el sustrato con suelo típico de la región (SIII) se presentó el menor diámetro con 11 cm. En base a lo anterior, Bartczak *et al.* (2007) señalan que una medida fiable de la intensidad del crecimiento y el rendimiento de las plantas es el diámetro de la copa. Respecto a los niveles de estación, las variables RHT (2.2), DC (14 cm), AF (1289 cm²) y DT (37 %) presentaron los mayores valores en invierno ($p \leq 0.05$), en contraste resalta el RMS, PH y PT en verano con 51, 0.19 y 0.17 g MS planta⁻¹

respectivamente, y respecto a AP no se obtuvieron diferencias significativas ($p>0.05$).

Entre cultivos, sobresale la RHT en *L. corniculatus* con un valor de 2 ($p>0.05$), lo que indica el doble de materia seca aportado al rendimiento total por la hoja, en comparación con la aportación del componente tallo. Atencio et al. (2014) destacan cómo los ganaderos están más interesados en la acumulación de materia seca producida por las hojas en especies forrajeras, ya que las hojas son la sección de la planta que los animales ingieren en mayor proporción y tienen el mayor contenido proteínico. En el resto de variables el testigo fue superior al *Lotus* ($p\leq 0.05$), de las cuales cabe resaltar el alto porcentaje de tallos muertos que presentó la alfalfa (39 %).

Cuadro 3. Cuadrados medios de la evaluación en la producción de *Lotus corniculatus* L. y alfalfa (*Medicago sativa* L.) establecidos en diferentes sustratos y cosechados en verano, otoño e invierno.

Factor de Variación	gl	Variable de estudio							
		RMS	RHT	AP	DC	AF	DT	PH	PT
Estación (E)	2	8078***	4.7***	1298***	149***	1321522***	2669***	0.02***	0.077***
Sustrato (S)	2	449***	0.2**	180***	30***	803103***	19ns	0.001ns	0.0008ns
Cultivar (C)	1	8257***	23***	39788***	131***	6019173***	14773***	0.7***	0.77***
E x S	4	73.48ns	0.03ns	30.87ns	2.3**	80452ns	76ns	0.015***	0.0002ns
E x C	2	2064***	0.7***	127**	10**	3134903***	465***	0.0008ns	0.04***
S x C	2	48ns	0.1**	34**	2ns	401714ns	32ns	0.001*	0.0006ns
E x S x C	4	398***	0.1*	42**	3***	657569***	139***	0.003*	0.008***
CV %		13	13	9	6	17	15	20	33

CV = Coeficiente de variación; gl = Grados de libertad; RMS = Rendimiento de materia seca; RHT = Relación hoja-tallo; AP = Altura de planta; DC = Diámetro de corona; AF = Área foliar; DT = Dinámica de tallos muertos; PH = Peso de hoja por tallo; PT = Peso de tallo individual; ns = No significativo; *, **, *** = Diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Cuadro 4. Comparación de medias de los niveles de cada factor evaluado en la producción de *L. corniculatus* y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en tres estaciones del año.

Niveles	Variable de estudio							
	RMS	R: H/T	AP	DC	AF	DT	PH	PT
Verano	51 ^a	1.48 ^b	44 ^a	10 ^b	1013 ^b	20 ^b	0.19 ^a	0.17 ^a
Otoño	28 ^b	1.74 ^b	39 ^a	12 ^b	1285 ^{ab}	22 ^b	0.15 ^a	0.1 ^{ab}
Invierno	19 ^c	2.26 ^a	31 ^a	14 ^a	1289 ^a	37 ^a	0.12 ^b	0.07 ^b
Sig.	<.0001	<.0001	0.07	<.0001	0.02	<.0001	0.05	0.9
SI	35 ^a	1.83 ^a	40 ^a	12 ^{ab}	1283 ^a	25.9 ^a	0.16 ^a	0.12 ^a
SII	35 ^a	1.92 ^a	39 ^a	13 ^a	1300 ^a	27.4 ^a	0.15 ^a	0.12 ^a
SIII	28 ^a	1.73 ^a	36 ^a	11 ^b	1005 ^b	26 ^a	0.15 ^a	0.11 ^a
Sig.	0.28	0.55	0.7	0.008	0.01	0.9	0.8	0.9
Alfalfa	42 ^a	1.31 ^b	59 ^a	13 ^a	1425 ^a	39 ^a	0.25 ^a	0.2 ^a
Lotus	23 ^b	2 ^a	17 ^b	11 ^b	966 ^b	13 ^b	0.06 ^b	0.03 ^b
Sig.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

RMS = Rendimiento de materia seca (g MS planta⁻¹); RHT = Relación hoja-tallo; AP = Altura de planta (cm); DC = Diámetro de corona (cm); AF = Área foliar (cm² planta⁻¹); DT = Dinámica de tallos muertos (%); PH = Peso de hoja por tallo (g MS planta⁻¹); PT = Peso de tallo individual (g MS planta⁻¹); SI = Sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = Sustrato de suelo propio de la región; Sig. = Significancia con p≤0.05. Medias con literales iguales en la misma columna no presentan diferencia (p>0.05).

4.2. Rendimiento de materia seca

En la Figura 2 se muestra la acumulación de materia seca estacional de *L. corniculatus* y la alfalfa, establecidos en diferentes sustratos, el análisis estadístico mostró diferencias estadísticas entre las estaciones evaluadas y los dos cultivares ($p \leq 0.05$). En el tratamiento de sustrato con suelo típico de la región (SII) con la estación de invierno fue donde los cultivares presentaron rendimientos similares ($p > 0.05$) con 15 g MS planta⁻¹ para la var. premium de alfalfa y 18 g en *Lotus*, esto muestra que *L. corniculatus* tiene una mejor respuesta a las temperaturas o condiciones invernales, por su parte Snyder y Melo-Abreu (2010) destaca el hecho de que, si bien todas las plantas son susceptibles a los efectos de las bajas temperaturas (heladas y frío), los distintos cultivos se ven afectados por mecanismos y tipos de daños diferentes.

Por el contrario, y sin importar la estación, en los sustratos de suelo típico de invernadero (SI) y combinación homogénea (SII) de SI y SIII, la alfalfa fue superior al rendimiento de *L. corniculatus* con un acumulado de 138 en SI y 135 g MS planta⁻¹ en SII (Cuadro 7 de Anexos). Estacionalmente ambos cultivares registraron un mayor rendimiento en verano ($p > 0.05$) con valores de 62 a 70 en alfalfa, y 27 a MS planta⁻¹ 35 g en *Lotus*. Este comportamiento estacional del trébol pata de pájaro puede explicarse por la fuerte correlación entre la producción de forraje y la temperatura ideal de 22° para el crecimiento de esta especie (García et al., 2014). Según Quiroga (2013), la alfalfa experimenta un crecimiento fenológico acelerado durante el verano debido a la temperatura y, principalmente, al fotoperiodo, esto se traduce en intervalos entre cortes más cortos y mayor producción de materia seca.

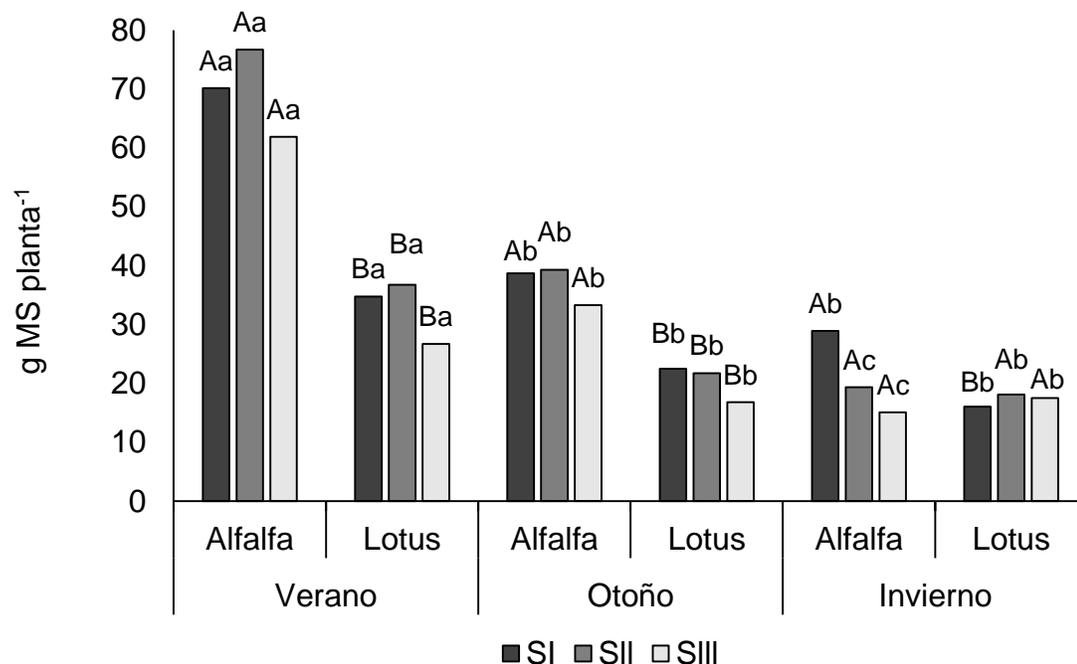


Figura 2. Rendimiento de materia seca de *L. corniculatus* y la alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en tres estaciones del año. SI = Sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = Sustrato de suelo típico de la región. Barras de igual color con misma literal mayúscula no difieren dentro de cada estación, y barras con misma literal minúscula no difieren ($p > 0.05$) dentro de cada cultivar.

4.3. Composición morfológica

En base al análisis de los cuadrados medios y medias (Cuadro 5 y 6) de los componentes morfológicos (% y g MS planta⁻¹) de *L. corniculatus* y alfalfa cosechados en tres estaciones del año, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los factores de variación y en las interacciones de estos (Cuadro 5). En los factores de estación y cultivar, todos los componentes tanto en gramos como en porcentaje presentaron diferencias ($p \leq 0.05$), sin embargo, en el factor sustrato (S) el material muerto expresado en gramos no presentó diferencia ($p > 0.05$), lo mismo se registró con la hoja e inflorescencia en la composición morfológica (CM) expresada en porcentaje. En las interacciones de E x S y C x S no se registraron diferencias significativas en ninguno de los componentes

tanto en gramos como en porcentaje ($p>0.05$). Respecto al uso de suelo en contenedores, Gayosso-Rodríguez et al. (2006) menciona que frecuentemente el factor más limitante es el agua, siempre y cuando el suelo cuente con excelentes características. Respecto a la interacción de E x C solo el material muerto en rendimiento de materia seca fue el componente que no presentó diferencias ($p>0.05$). Finalmente, en la interacción conjunta de los tres factores el material muerto en rendimiento de materia seca y el tallo expresado en porcentaje no presentaron diferencias ($p>0.05$).

Respecto a la comparación de las medias de la CM en gramos, en los niveles de estación, en verano se produjo más cantidad de hoja (26), tallo (20) e inflorescencia (4 g MS planta⁻¹) y una menor cantidad en invierno con 12, 6 y 0.1 g MS planta⁻¹, respectivamente ($p\leq 0.05$), el material muerto fue el componente que no presentó diferencia entre estaciones ($p>0.05$). Mendoza et al. (2010) resalta la interacción entre estación y frecuencia de corte sobre el componente hoja, también señala la influencia de temperatura y humedad para la aparición de inflorescencia. Como lo indico la interacción, en los sustratos de suelo los componentes no presentaron diferencias estadísticas ($p>0.05$). La comparación entre cultivares, los componentes hoja, tallo e inflorescencia fueron superiores en la alfalfa con 21, 18 y 3 g MS planta⁻¹ ($p\leq 0.05$), sin embargo se destaca una mayor cantidad de MM en *Lotus* con 0.6 en comparación a los 0.1 g MS planta⁻¹ producidos por la alfalfa ($p\leq 0.05$).

En la CM en unidades porcentuales tampoco se registró diferencia estadística ($p>0.05$) en los niveles del factor sustrato, lo que indica que cada uno de los componentes tiene la misma proporción de aporte al rendimiento en cada uno de los sustratos. En estaciones, la hoja registró un mayor aporte en la estación de invierno con 66, seguido por otoño (61) y en último lugar verano (55 %). En contraste el tallo presentó mayores proporciones en verano y otoño con 38 y 37

%, respectivamente ($p \leq 0.05$). Respecto al material muerto, este presentó las mismas tendencias que en la CM en gramos ($p > 0.05$), y la inflorescencia obtuvo mayor proporción de aporte en verano (6 %), y otoño e invierno registraron nulas aportaciones ($p \leq 0.05$).

Finalmente, entre cultivos, se destaca una mayor ($p \leq 0.05$) proporción de hoja en *Lotus* con 66 respecto al 53 % que aporta la alfalfa, por consiguiente, alfalfa obtuvo una mayor proporción de tallo (41) en comparación a *Lotus* (29 %). Por las condiciones del área no se presentó inflorescencia en *L. corniculatus* y con ello la alfalfa presenta una mayor proporción de este componente (4 %). En cuanto a otras investigaciones Rojas-García et al. (2017) encontraron mismas tendencias entre estaciones, reportado hasta 59 % de hoja en invierno y menores valores en verano (45 %), así mismo menciona que la minina o nula aportación de material muerto se debe que especies como forrajeras tiende a defoliar las hojas muertas.

Cuadro 5. Cuadrados medios de la contribución de los componentes morfológicos (CM) a la producción total de *L. corniculatus* y alfalfa, establecidos en diferentes sustratos, y cosechados en verano, otoño e invierno.

Factor de Variación	gl	CM g planta ⁻¹				CM %			
		Hoja	Tallo	MM	Inf	Hoja	Tallo	MM	Inf
Estación (E)	2	1488***	1567***	0.272**	145***	950***	418***	9.7**	271***
Sustrato (S)	2	170***	50**	0.144ns	3.8**	33ns	31*	6.7*	4.1ns
Cultivar (C)	1	761***	2767***	5.7***	171***	4374***	3408***	162***	421***
E x S	4	12ns	11ns	0.088ns	3.4ns	9.8ns	3ns	3ns	2.6ns
E x C	2	209***	448***	0.076ns	145***	251***	32**	7.4**	271***
S x C	2	11.4ns	12ns	0.043ns	3.8ns	5.9ns	0.3ns	1.7ns	4.1ns
E x S x C	4	51.6***	83***	0.07ns	27.7***	52***	8.2ns	4.2***	47***
CV %		13	20	68	55	5	9	55	59

CV = Coeficiente de variación; gl = Grados de libertad; MM = Material muerto; Inf = Inflorescencia; ns = No significativo; *, **, *** = Diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Cuadro 6. Medias de los componentes morfológicos de *L. corniculatus* y alfalfa establecidos en diferente sustrato y cosechados en entre estaciones del año

Niveles de factor	CM g planta ⁻¹				CM %			
	Hoja	Tallo	MM	Inf	Hoja	Tallo	MM	Inf
Verano	26 ^a	20 ^a	0.4 ^a	4 ^a	55 ^c	38 ^a	1 ^a	6 ^a
Otoño	17 ^b	11 ^b	0.4 ^a	0.05 ^b	61 ^b	37 ^a	2 ^a	0 ^b
Invierno	12 ^c	6 ^c	0.3 ^a	0.1 ^b	66 ^a	31 ^b	2 ^a	1 ^b
Sig.	<.0001	<.0001	0.1	<.0001	<.0001	0.01	0.06	0.02
SI	20 ^a	13 ^a	0.3 ^a	1 ^a	62 ^a	35 ^a	1 ^a	2 ^a
SII	19 ^a	13 ^a	0.4 ^a	2 ^a	61 ^a	34 ^a	2 ^a	3 ^a
SIII	15 ^a	11 ^a	0.4 ^a	1 ^a	60 ^a	36 ^a	2 ^a	2 ^a
Sig.	0.06	0.5	0.7	0.6	0.6	0.5	0.15	0.8
Alfalfa	21 ^a	18 ^a	0.1 ^b	3 ^a	53 ^b	41 ^a	1 ^b	4 ^a
Lotus	15 ^b	7 ^b	0.6 ^a	0 ^b	68 ^a	29 ^b	3 ^a	0 ^b
Sig.	0.0002	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

MM = Material muerto; Inf = Inflorescencia; Sig = Significancia a $p \leq 0.05$. SI = Sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = Sustrato de suelo típico de la región. Medias con literales iguales en la misma columna no presentan diferencia significativa ($p > 0.05$).

4.4. Relación hoja/tallo

La relación hoja/tallo (RHT) de un genotipo de *L. corniculatus* y una variedad de alfalfa se muestra en la Figura 2. Independientemente del tipo de sustrato, con un promedio de 2.2 *Lotus* mostró la mayor RHT en invierno ($p>0.05$), en contraste la alfalfa registró los mayores valores en otoño e invierno con promedios de 1.4 y 1.6 respectivamente. Respecto a una mayor RHT, Barbosa et al. (2011) señalan que cuando el crecimiento de la planta se reduce durante una etapa de crecimiento acelerado con más hojas jóvenes en relación con el tallo, es porque los tallos tienen una mayor densidad pero un menor peso individual.

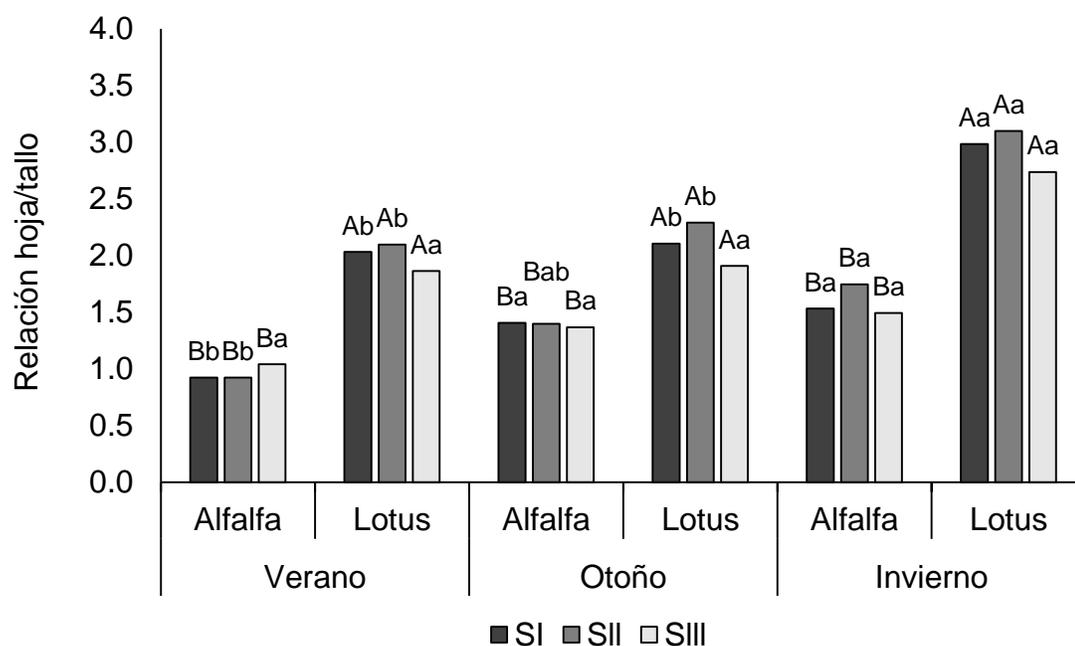


Figura 3. Relación hoja/tallo de *L. corniculatus* y la alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en tres estaciones del año. SI = Sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = Sustrato de suelo típico de la región Barras de igual color con misma literal mayúscula no difieren dentro de cada estación, y barras con misma literal minúscula no difieren ($p>0.05$) dentro de cada cultivar.

En promedio por cultivares, *L. corniculatus* fue superior a la alfalfa con 2.4 en SI, 2.5 para SII y 2.2 en SIII, en contraste la alfalfa registró una relación menor de 1.3 a 1.4 (Cuadro 8 de Anexos). La importancia de conocer la RHT de una plata forrajera es crucial, ya que puede ayudar a determinar con mayor precisión la cantidad de defoliación o la intensidad de pastoreo que debe utilizarse en función del estado fenológico de la especie, también puede dar una estimación aproximada del contenido nutricional del forraje (Liendo *et al.*, 2019).

4.5. Altura de planta

En la Figura 4 se presentan los datos de altura de *L. corniculatus* y alfalfa, especies evaluadas en tres estaciones del año bajo condiciones semi-controladas. En los tres sustratos se registraron diferencias significativas en estaciones y cultivos ($p \leq 0.05$). Por el diferente tipo de crecimiento que presentan las especies en cuestión, siendo la alfalfa una planta de tipo erecto fue la que mayor promedio estacional de altura registró con 62 en SI, 61 para SII y 55 cm en SIII (Cuadro 9 de Anexos). Al respecto, Rojas-García *et al.* (2016) encontraron promedios estacionales de 48 a 53 cm de altura para cinco variedades de alfalfa cosechadas durante las cuatro temporadas del año. En contraste *Lotus* solo obtuvo en promedio 18 en SI y SII, y 16 cm en el SIII, sin embargo, Guzmán *et al.* (2021) trabajando con el mismo genotipo y en mismas condiciones invernadero, encontró alturas de 33 cm a los 49 días después del rebrote. Respecto a las estaciones, en los tres sustratos la alfalfa registró sus mayores alturas en verano y otoño ($p \leq 0.05$), a diferencia de *L. corniculatus* el cual su mayor altura la presentó en verano sin importar el tipo de sustrato. Finalmente, ambas especies presentaron las menores alturas en invierno ($p \leq 0.05$), esto podría ser causante por las bajas temperaturas o radiación solar durante la estación, en este sentido Gaytán *et al.* (2019) menciona que es importante subrayar que entre otros factores como la temperatura ambiental influyen en la

altura de las plantas. Así mismos autores como Altinok y Karakaya (2002) reportan que independiente de la variedad de alfalfa las alturas sólo varían en el primer año a partir del establecimiento de la pradera

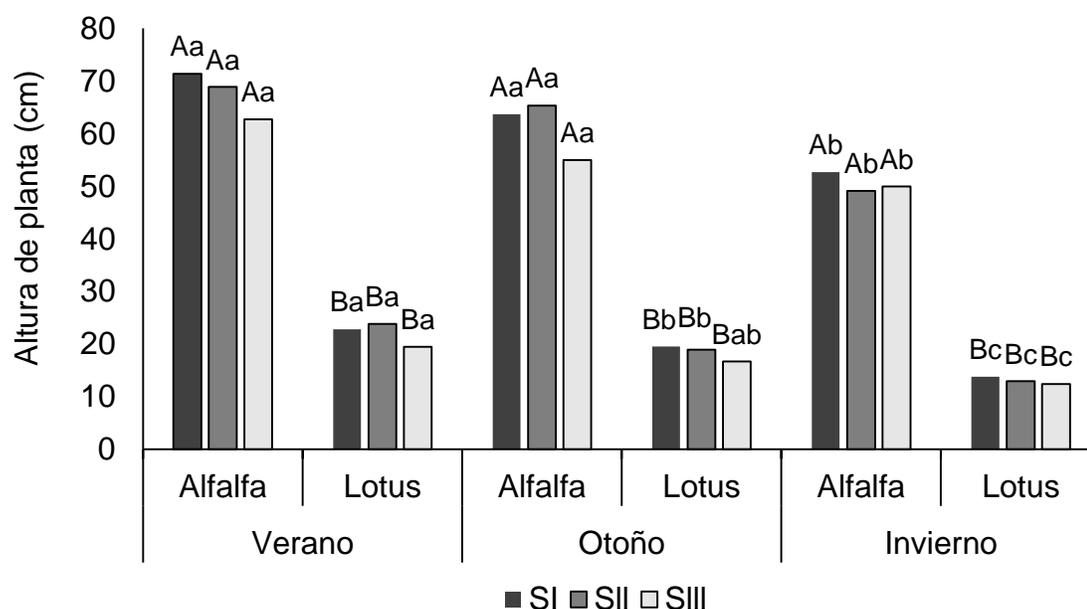


Figura 4. Altura de planta de *L. corniculatus* y la alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en tres estaciones del año. SI = Sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = Sustrato de suelo típico de la región Barras de igual color con misma literal mayúscula no difieren dentro de cada estación, y barras con misma literal minúscula no difieren ($p > 0.05$) dentro de cada cultivar.

4.6. Área foliar

El área foliar de alfalfa y *L. corniculatus* especies evaluadas en condiciones de invernadero se muestran en la Figura 5. Se destaca los tratamientos de SIII con verano en invierno, donde los cultivares no presentaron diferencias ($P > 0.05$), sin embargo, en verano la alfalfa fue superior ($P \leq 0.05$) con 1463 comparados a los 648 $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ que obtuvo el genotipo de *Lotus*. En el resto de sustratos, sin importar la estación la alfalfa fue superior con promedios de 1630 para SI y 1526

cm² en SII, en contraste *L. corniculatus* solo obtuvo 937 en SI y 1074 cm² en SII (Cuadro 10 de Anexos). Sin embargo, en el presente estudio la alfalfa al igual que *Lotus*, la mayor área foliar la registraron en invierno en SI y SIII para alfalfa, y los tres sustratos en *Lotus*. Warnock et al., (2005) destaca que la cantidad de superficie foliar que alcanza una planta durante su desarrollo determina la capacidad de la cubierta vegetal para bloquear la radiación fotosintéticamente activa, que es la principal fuente necesaria para el desarrollo sano de órganos y tejidos. Por lo tanto, la tasa fotosintética por unidad de superficie foliar y la capacidad de interceptar la radiación solar determinan la eficacia del mencionado proceso fotosintético (De Mendoza et al., 2023).

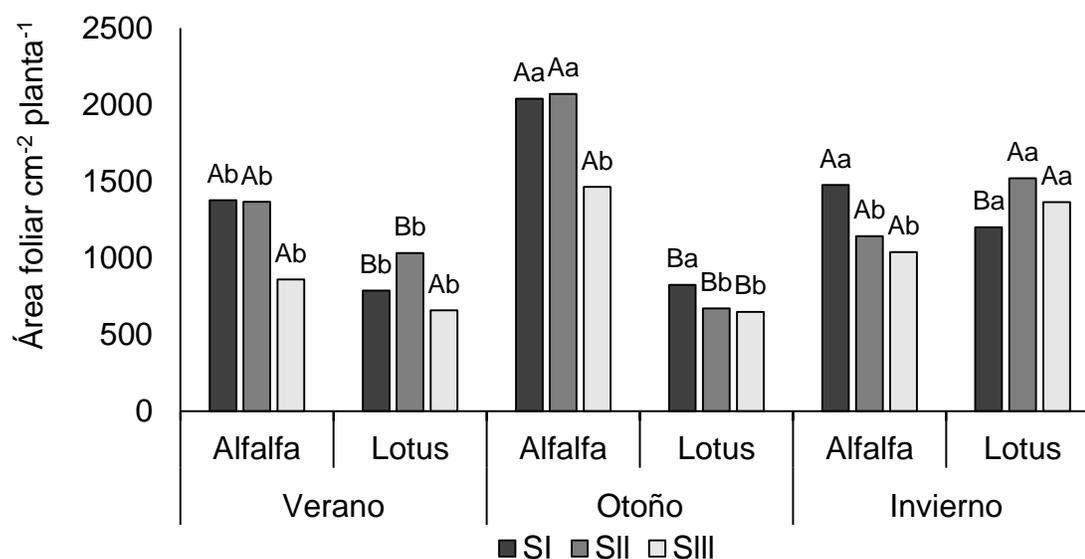


Figura 5. Área foliar de *L. corniculatus* y la alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en tres estaciones del año. SI = Sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = Sustrato de suelo típico de la región Barras de igual color con misma literal mayúscula no difieren dentro de cada estación, y barras con misma literal minúscula no difieren ($p > 0.05$) dentro de cada cultivar.

4.7. Diámetro de corona

Los datos de diámetro de corona de planta después del corte de *Lotus* y alfalfa se muestran en la Figura 6. Se destacan los tratamientos de SIII con las estaciones de verano y otoño donde entre cultivares no registraron diferencia ($p>0.05$), sin embargo, en estas condiciones de sustrato la alfalfa obtuvo un mayor promedio estacional ($p\leq 0.05$) con 13 cm de diámetro en comparación a los 11 cm de *L. corniculatus* (Cuadro 11 de Anexos). Así mismo en el resto de sustratos la alfalfa fue superior con promedio de 14 para SI y 15 cm en SIII. Entre estaciones ambos cultivares presentaron un mayor diámetro en invierno, seguido por otoño y un menor diámetro en verano

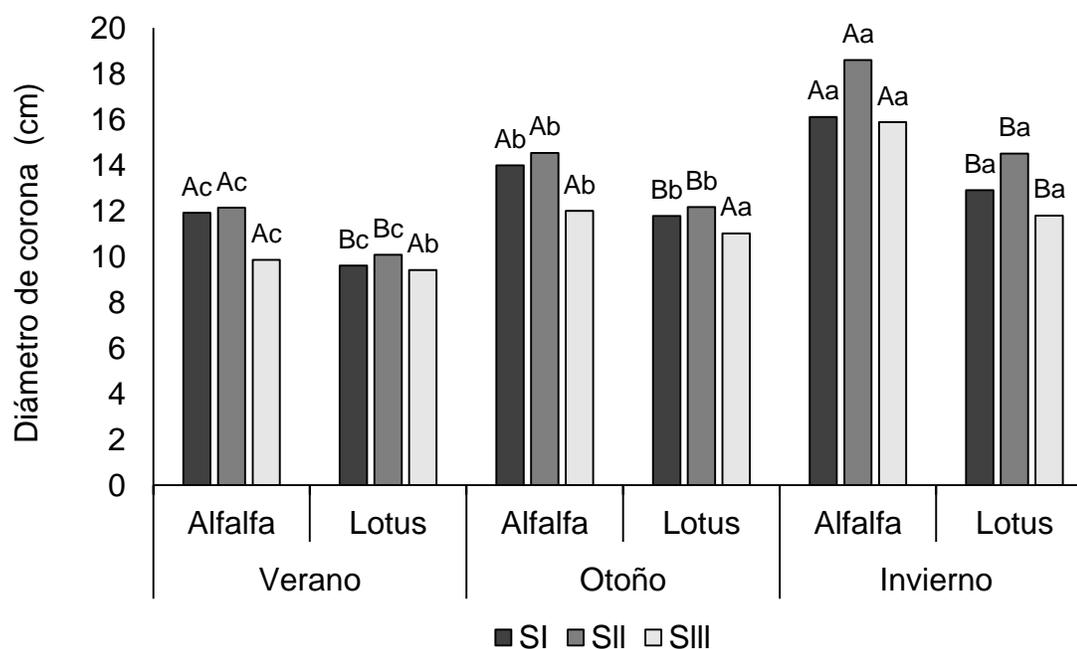


Figura 6. Diámetro de corona de planta de *L. corniculatus* y la alfalfa, establecidos en diferentes sustratos y cosechados en tres estaciones del año. SI = Sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = Sustrato de suelo típico de la región Barras de igual color con misma literal mayúscula no difieren dentro de cada estación, y barras con misma literal minúscula no difieren ($p>0.05$) dentro de cada cultivar.

La importancia del estudio de la corona radica en que alberga los meristemas intercalares, axilares y apicales, los cuales juegan un papel preponderante para la restitución del área foliar de y la perennidad de las especies forrajeras luego de ser sometidas a procesos de corte o pastoreo (Martín, 2014). La investigación empírica de campo indica que, en las regiones con mayor presión de pastoreo, las especies preferidas por los animales tendrían coronas más pequeñas y estarían más profundamente enterradas (Ordoquí y Carrizo, 2020).

4.8. Dinámica de mortalidad de tallos

La dinámica de presencia de tallos muertos (%) de *L. corniculatus* y la alfalfa se presenta en la siguiente Figura 7. El análisis estadístico mostró diferencias ($p \leq 0.05$) entre cultivares y entre estaciones. Independientemente de las estaciones, en los tres sustratos la alfalfa registró un mayor porcentaje de tallos muertos, con promedios de 38 en SI, 41 para SII y 38 % en SIII (Cuadro 12 de Anexos). Por el contrario, el genotipo de *Lotus* solo se presentó un 13 % en SI, y 14 % en SI y SIII. Entre estaciones en los tres sustratos, ambos cultivares presentaron un mayor porcentaje de senescencia de tallos en la estación de invierno ($p \leq 0.05$), SI (49), SII (57) y SIII (56 %) para alfalfa, y en *Lotus* 22, 21 y 17 %, respectivamente. En base a lo anterior, en estudios de dinámica de tallos del zacate *Urochloa*, Cámara-Acosta et al. (2022) también descubrieron que, a diferencia de las estaciones de otoño e invierno, en verano hay una tasa reducida de muerte de tallos. El proceso de mortalidad de los tallos está influido por la frecuencia y la severidad del pastoreo o el corte, que son factores cruciales que controlan la densidad de las poblaciones de tallos (Da Silva et al., 2007).

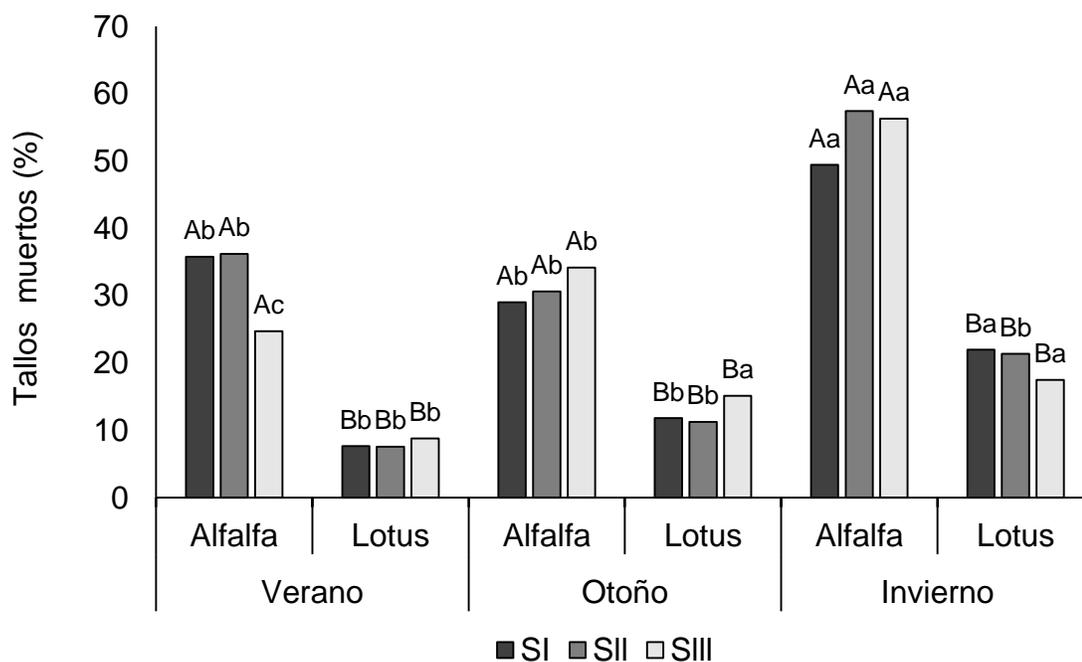


Figura 7. Dinámica de tallos muertos de *L. corniculatus* y la alfalfa establecidos en diferente sustrato y cosechados en tres estaciones del año. SI = Sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = Sustrato de suelo típico de la región Barras de igual color con misma literal mayúscula no difieren dentro de cada estación, y barras con misma literal minúscula no difieren ($p > 0.05$) dentro de cada cultivar.

4.9. Peso de hoja de tallo individual

En la Figura 8 se muestra el peso de hoja (g Ms tallo^{-1}) de *L. corniculatus* y alfalfa, cosechados durante tres estaciones del año. El análisis estadístico presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en estaciones y tipo de sustrato. La alfalfa fue superior en los tres sustratos con promedio de 0.3 en SI, 0.26 en para SII y 0.07 g Ms tallo^{-1} en SIII (Cuadro 13 de Anexos), en contraste *Lotus* solo registró 0.1 g Ms tallo^{-1} en promedio de los tres sustratos. En estaciones, la alfalfa no registró diferencia ($p > 0.05$) en SI, en contraste para SII y SIII el menor rendimiento ($p \leq 0.05$) de hoja se presentó en invierno con 0.19 y 0.22 g Ms tallo^{-1} respectivamente. Al respecto, Rojas-García et al. (2016) señala que en el invierno

se reduce la cantidad de hojas que acumula la alfalfa debido al menor crecimiento causado por las temperaturas más frías y la menor interceptación de la luz. En SI y SII *L. corniculatus* se registró los mayores valores en verano con promedio en SI y SII de 0.09, y una menor cantidad en invierno (0.07 g Ms tallo⁻¹), misma tendencia reportada por Álvarez-Vázquez et al. (2020) donde trabajando con el mismo genotipo bajo diferentes estrategias de cosecha encontró una menor producción de hoja en invierno, sin embargo, esto difiere en lo encontrado en SIII donde no se registró diferencia entre estaciones.

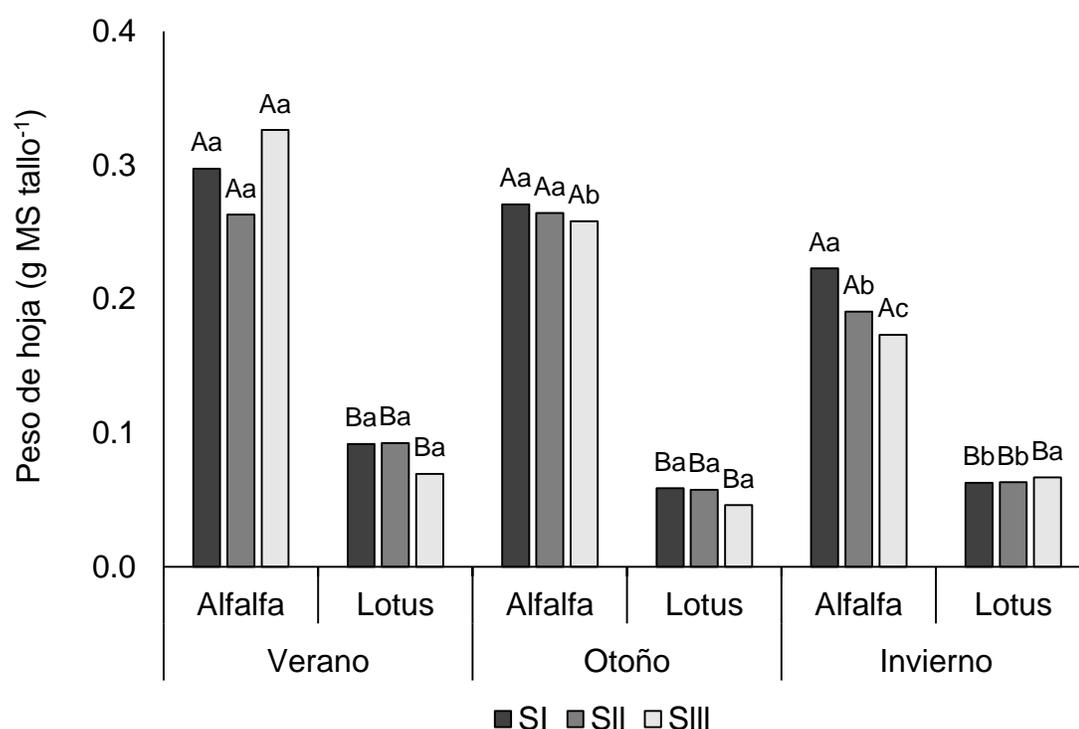


Figura 8. Peso de hoja de tallo individual de *L. corniculatus* y la alfalfa establecidos en diferente sustrato y cosechados en tres estaciones del año. SI = Sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = Sustrato de suelo típico de la región Barras de igual color con misma literal mayúscula no difieren dentro de cada estación, y barras con misma literal minúscula no difieren ($p > 0.05$) dentro de cada cultivar.

4.10. Peso de tallo individual

En la Figura 9 se muestran el peso de tallo individual de *Lotus* y la alfalfa. Por las características morfológica y tipo de crecimiento que presenta la alfalfa, registró un peso de tallo mayor al *L. corniculatus* ($p \leq 0.05$) con promedios de 0.22 en SI y SIII, y 0.21 g tallo⁻¹ en SII, en contraste el genotipo de *Lotus* solo registró 0.03 g tallo⁻¹ en los tres sustratos (Cuadro 14 de Anexos). Respecto a las estaciones, los dos cultivares presentaron un peso mayor en verano con 0.05 (SI y SII) y 0.04 g tallo⁻¹ en SIII para *Lotus*, y 0.33, 0.29 y 0.32 g tallo⁻¹ en alfalfa, respectivamente. Finalmente, en otoño e invierno las especies no presentaron diferencia ($p > 0.05$) sin importar el tipo de sustrato.

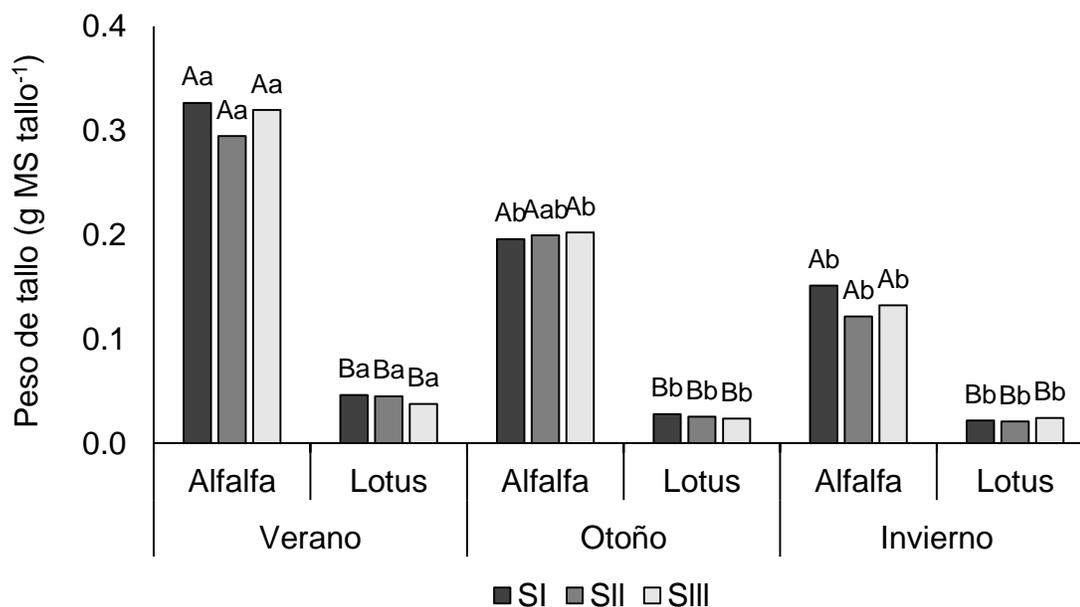


Figura 9. Peso de tallo individual de *L. corniculatus* y la alfalfa establecidos en diferente sustrato y cosechados en tres estaciones del año. SI = Sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = Sustrato de suelo típico de la región Barras de igual color con misma literal mayúscula no difieren dentro de cada estación, y barras con misma literal minúscula no difieren ($p > 0.05$) dentro de cada cultivar.

Rojas-García et al. (2017) trabajando con variedades de alfalfa encontró mayor peso de tallo individual en verano, con promedios de $0.78 \text{ g tallo}^{-1}$. Velasco-Zebadúa et al. (2007) menciona que el peso del tallo en los forrajes parece estar influido por la radiación solar y la temperatura, sobre todo la primera, porque las bajas temperaturas invernales benefician la creación de más tallos nuevos, mientras que las altas temperaturas estivales ayudan la formación de tallos más grandes.

V.CONCLUSIONES

Las variables rendimiento de forraje y sus componentes, relación: hoja/tallo, altura de planta, porcentaje de tallos muertos y peso de hoja y tallo en base a tallo individual no mostraron variabilidad respecto al tipo de sustrato utilizado. En contraste diámetro de corona y área foliar fueron mayores en el sustrato típico de invernadero y la mezcla homogénea del suelo típico de invernadero con el suelo típico de la región.

La alfalfa fue superior en rendimiento, altura de planta diámetro de corona, área foliar, porcentaje de tallos muertos, peso de hoja y tallo en base a tallo individual, sin embargo *L. corniculatus* mostró mayor relación:hoja/tallo.

En invierno se registró mayor relación:hoja/tallo, diámetro de corona, área foliar y porcentaje de tallos muertos. Por el contrario, rendimiento, peso de hoja y tallo en base tallo fueron superiores en verano, y en altura de planta no se registró diferencia. La composición morfológica mostró mayor proporción de hoja en invierno, y en el aporte al rendimiento de *Lotus*.

Considerando que solo se evaluaron tres estaciones del año, el presente trabajo puede ser utilizado como antecedente para investigaciones posteriores con periodos de estudios más prolongados, y con ello obtener mayor variabilidad e interacciones en los factores estudiados.

VI. LITERATURA CITADA

- Abad-Berjon, M., Noguera-Murray P. y Carrión-Benedito, C. (2004).** Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu-Gavilán. Cultivo sin suelo. Madrid: Mundi Prensa. 113-158.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=860892>
- Acevedo, I. C. y Pire, R. (2007).** Caracterización de sustratos agrícolas enmendados con lombricompost. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*; 25: 1-9.
<https://www.researchgate.net/publication/265597409> Caracterizacion de sustratos hortícolas enmendados con lombricompost
- Acosta-Durán, C. M., Gallardo, C. S., Kämpf, A. N. y Bezerra, F. C. (2008).** Materiales regionales utilizados en Latinoamérica para la preparación de sustratos. *Investigación Agropecuaria*, 5(2), 93-106.
<https://lecturayescrituraunrn.files.wordpress.com/2013/08/uso-de-sustratos-en-argentina.pdf>
- Aguilar-Delgado, M. J., Acosta-García, G., Espitia-Rangel, E., González-Chavira, M. M., Lozano-Sotomayor, P., Folter, S. D. y Guevara-Olvera, L. (2018).** Crecimiento indeterminado y determinado en *Amaranthus hypochondriacus*: ontogenia del meristemo apical y efecto sobre el peso de semilla. *Agrociencia*, 52(5), 695-711.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000500695

- Allan, G. J. y Porter, J. M. (2000).** Delimitación tribal y relaciones filogenéticas de *Loteae* y *Coronilleae* (*Faboideae: Fabaceae*) con especial referencia a *Lotus*: evidencia de secuencias ITS ribosómicas nucleares. *Soy J Bot* 87:1871–81. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11118424/>
- Altinok, S. y Karakaya, A. (2002).** Forage yield of different alfalfa cultivars under Ankara Conditions. *Turk Journal Agric For*;(26):11-16. <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol26/iss1/2/>
- Álvarez-Vázquez, P., Guerrero, J. D. D., García De Los-Santos, G., Ortega, M. E., Mendoza, S. I. y Joaquín S. (2020).** Acumulación de forraje de *Lotus corniculatus* L., en función a diferentes estrategias de cosecha. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(4), 1087-1100. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v11i4.4950>
- Álvarez-Vázquez, P., García de los-Santos, G., Guerrero, J. D., Mendoza, S. I., Ortega, M. E. y Hernández-Garay, A. (2018).** Comportamiento productivo de *Lotus corniculatus* L. dependiente de la estrategia de cosecha. *Agrociencia*, 52(8), 1081-1093. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140531952018000801081&script=sci_arttext
- Arambarri, A. M. (2000).** A Cladistic Analysis of the New World Species of *Lotus* L. (*Fabaceae, Loteae*). *Cladistics* 16:283–297. <https://doi.org/10.1111/j.1096-0031.2000.tb00284.x>

- Araya, M., M. y Boschini, F., C. (2005).** Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la Meseta Central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 16(1),37-43. [consultado el 4 de abril de 2024]. ISSN: Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43716106>
- Atencio, L. M., Mejía, S. y Torres, J. C. (2014).** Comportamiento fisiológico de gramíneas forrajeras bajo tres niveles de humedad en condiciones de casa malla. *Revista Temas agrarios*, 19(2), 244-258. <http://dx.doi.org/10.21897/rta.v19i2.738>
- Ayala, W. y Carámbula. (2009).** El valor agronómico del género *Lotus*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Uruguay, p 424. <https://www.researchgate.net/publication/267039595> El valor agronomico del genero Lotus
- Ball, P. W. y Chrtková-Zertová, A. (1968).** *Lotus corniculatus* group. In:Flora Europaea, T.G. Tutin, P W Ball, J C Avise y W F Grant (eds). Vol. 2. University Press, Cambridge, UK. 173-176. <https://www.jstor.org/stable/40540502>
- Barbosa, R. A., Nacimiento-Jr, D., Vilela, H. H., Da-Silva, C.S., Batista-Euclides, P.V., Sbrissia, F. A. y Da-Lana, S. B. (2011).** Características morfogénicas y estructurales de pastos de guinea sometidos a tres frecuencias y dos severidades de defoliación. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40: 947-954. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000500002>

- Bartczak, M., Pietrowska M. y Kanaflewski, M. (2007).** Effect of substrate on vegetative quality of strawberry plants (*Fragaria x ananassa* Duch.) produced by a Soilless Method. *Folia Horticulturae*, 19(2), 39-46. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=8f6a94b0e54d15c4de8fa3ab7ad82f841f4802ff>
- Bell, P. R. (1992).** Green Plants their Origin and Diversity. Dioscorides Press. Portland, Oregon. p:344 <http://www.bionica.info/biblioteca/Bell2000GreenPlants.pdf>
- Benítez, C., Pece, M. y Galindez, M. (2010).** Análisis de la varianza en experimentos factoriales. Universidad Nacional de Santiago del Estero (Argentina), Facultad de Ciencias Forestales. Série Didáctica, (21), 47. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-21-estadistica.pdf>
- Beuselinck, P. R. y Grant, W. F. (1995).** Birdsfoot trefoil. In: Forages, An Introduction to Grassland Agriculture. R F Barnes, A H Brown, D J Crawford (eds). Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa. 5th Ed. Vol. 1 pp:237-248. <http://dx.doi.org/10.2135/cssaspecpub28.c5>
- Beyaz, R. (2023).** Germination and seedling properties of *Lotus corniculatus* L. under simulated drought stress. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(4), 879-889. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1226444>
- Burés, S. (1997).** Sustratos. Madrid: Ediciones Agrotécnicas. p:342. <https://www.agapea.com/libros/Sustratos-9788487480751-i.htm>
- Calderón, D. A. (2013).** Aporte al desarrollo de la caficultura en la aldea vista hermosa, unión cantinil, huehuetenango, Guatemala. Trabajo de graduación. <https://core.ac.uk/download/pdf/94668603.pdf>

- Cámara-Acosta, J., Enríquez-Quiroz, J. F., Rueda-Barrientos, J. Á., Ortega-Jiménez, E., Ramírez-Bribiesca, J. E. y Guerrero-Rodríguez, J. D. D. (2022).** Dinámica de tallos del pasto *Urochloa híbrido* cv Cobra en respuesta al tiempo de corte. *Revista fitotecnia mexicana*, 45(3), 303-311. <http://dx.doi.org/10.35196/rfm.2022.3.303>
- Carámbula, M. (1982).** *Paspalum dilatatum*, características agronómicas y su rol en las pasturas. *Revista Argentina de Producción Animal*. 2 (1): 68-84.
- Castro, R. R., Hernández, G. A., Pérez, P. J., Hernández G. J., Quero, C. A. R., Enríquez, Q. J. F. y Martínez, H. P. A. (2012).** Comportamiento productivo de cinco asociaciones gramíneas-leguminosas bajo condiciones de pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 35(1):87-95 p. <http://dx.doi.org/10.35196/rfm.2012.1.87>
- Cayón, D. G. (1999).** Apuntes sobre fisiología del crecimiento y desarrollo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Revista Palmas*. 20(3), 43-54. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-de-cordoba-colombia/>
- Chaves-Barrantes, N. F. y Gutiérrez-Soto, M. V. (2017).** Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 237-253. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212017000100020&script=sci_arttext
- Churkova, B. (2019).** Rendimiento y composición botánica de cultivares de trébol de patas de pájaro en una mezcla de dos componentes con *Kentucky Bluegrass*. *Revista Trakia de Ciencias*. 17(1), 13-18. <http://dx.doi.org/10.15547/tjs.2019.01.003>

- Climate-Data. (2010).** Climate Data For Cites Worldwide. México Climate / México Weather By Month. <https://en.climate-data.org/>
- Cruz, C. E., Can, C. A., Sandoval, V. M., Bugarin, M. R., Robles, B. y Juárez, L. P. (2013).** Sustratos en la horticultura. CONACYT. <http://aramara.uan.mx:8080/handle/123456789/719>
- Da Silva, S. C., Júnior, D. N., Sbrissia, A. F. y Pereira, L. E. T. (2007).** Dinâmica de população de plantas forrageiras em pastagens. In: Memórias IV Simpósio sobre Manejo Estratégico da Pastagem e II Simpósio Internacional sobre Produção Animal em Pastejo. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. pp:75-100. <https://www.researchgate.net/publication/237722930> DINAMICA DE POPULACAO DE PLANTAS FORRAGEIRAS EM PASTAGENS
- De la Ribera, J. R., Burgos, D. Z., Campuzano, J., Acosta, D. V., Marcheco, E. C., Benítez, Y. A. y Cabadiana, H. U. (2017).** El clima y su influencia en la producción de los pastos. REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(6), 1-12. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63651420007.pdf>
- De Mendoza, B. P. H., De França, D. M., De Paula, N. J., Monteiro, C. R. I. y De Mendoza, M. P. H. (2023).** Programa computacional e modelos estatísticos para estimar a área foliar da teca. *Brazilian Journal of Development*, 9(9), 25969-25988. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n9-026>
- Dicado, M. y Felipe, A. (2023).** Uso de maíz forrajero hidropónico en la alimentación del ganado vacuno en ecuador (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2023). <http://190.15.129.146/handle/49000/15269>

- Escalante-Estrada, J. A. (1999).** Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra* 17: 149-157. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317208.pdf>
- Escaray, J. F., Menéndez, B. A., Garriza, A., Pieckenstaina, L. F., Estrella, J. M., Castagnoa, N. L., Carrascoc, P., Sanjuand, J. y Ruiza, A. O. (2012).** Importancia ecológica y agronómica del género de plantas *Lotus*. Su aplicación en la sostenibilidad de los pastizales y la mejora de suelos restringidos y contaminados. *Plant Science*. 182. 121-133. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.03.016>
- FAO. (2015).** Los suelos constituyen la base de la vegetación. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Año Internacional de los suelos. <https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/287559/>
- Ferreira, G. y Berretta, E. J. (1997).** Estudio económico de diferentes alternativas de producción de pasturas. *ECONOMIA*, pp:4-1. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/9633/1/SAD145cap4p1-2.pdf>
- Figuroa, B., Ortiz, C. y Betancourt, P. (2005).** Erosión hídrica y uso de la radiación solar por especies forrajeras en la cuenca del río Coxacoaco, México. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, 22(2), 155-166. <https://www.researchgate.net/publication/28089651>

- Formoso, F.A. (1996).** Bases morfológicas y fisiológicas del manejo de pasturas. En: Producción y manejo de pasturas. Eds. D.F. Risso, E.J. Berretta y Morón, A. Unidad de difusión e información tecnológica del INIA. Uruguay. p:1.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807135431.pdf>
- Fortes, D., Herrera, R. S. y González, S. (2004).** Estrategias para la resistencia de las plantas a la defoliación. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 38(2), 111-119. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193017901001.pdf>
- Frederickson, J., Graham, H. y Hobson, A. M. (2007).** Effect of pre-composting and vermicomposting on compost characteristics. *European Journal Soil Biology*, 43: 5320-5326. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.08.032>
- García, D. L. S., G. y Jeffrey, J.S. (2003).** Diversidad genética en *Lotus corniculatus* determinada por caracteres morfológicos y rapds. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 26(3),173-181.
<http://dx.doi.org/10.35196/rfm.2003.3.173>
- García, C. Y. W., Zerón, N. E. L., Cerrilla, M. E. O., Ríos, J. V., Mir, H. E. V. y Garay, A. H. (2018).** Acumulación de forraje, composición morfológica e intercepción luminosa en dos variedades de avena. *Interciencia*, 43(9), 630-636. <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2372>
- García, J. (1992).** Persistencia de leguminosas. Investigación Agropecuaria. 1: 143-156.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8843/1/15630031207140751.pdf>

- García-Bonilla, D. V., Guerrero-Rodríguez, J. D. D., García-de los Santos, G. y Lagunes-Rivera, S. A. (2015).** Rendimiento y calidad de forraje de genotipos de *Lotus corniculatus* en el Estado de México. *Nova scientia*, 7(13), 170-189.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052015000100010
- Gayosso-Rodríguez, S., Borges-Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M. A. y Garruña-Hernández, R. (2016).** Sustratos para producción de flores. *Agrociencia*, 50(5), 617-631.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s1405-31952016000500617&script=sci_arttext
- Gaytán, J. A., Castro, R., Villegas, A. Y., Aguilar, G., Solís, M. M., Carrillo, J. C. y Negrete, L. O. (2019).** Rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferentes edades de la pradera y frecuencias de defoliación. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 10(2), 353-366.
<http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4319>
- Gunn, C. R., Wiersema, J. H., Ritchie, C. A. y Kirkbride-Jr, J. H. (1992).** Families and general of spermatophytes recognized by the *Agri-cultural Research Service*. USDA-ARS, Tech. Bull. 1796. 43 p.
https://leolibri.net/index.php?route=product/product&product_id=5266
- Guzmán, F. J. H., Vázquez, P. Á., Naveda, A. F., Montejo, N. C., García, C. Y. W. y Martínez, R. M. (2021).** Rendimiento de forraje de tres genotipos de *Lotus Agropecuarios*, 8(2), 34. <http://dx.doi.org/10.19136/era.a8nII.2937>

- Hartmann, H. y Kester, D. (2002).** Plant propagation. Principles and practices. Prentice Hall. New Jersey. p:880.
https://books.google.com.mx/books/about/Hartmann_and_Kester_s_Plant_Propagation.html?id=SNtXAAAAYAAJ&redir_esc=y
- Hunt, S. R., MacAdam, J. W. y Reeve, J. R. (2014).** Establecimiento del trébol de pata de pájaro (*Lotus corniculatus*) pastos en granjas lecheras orgánicas en las montañas del oeste de EE. UU. *Agricultura orgánica*, (1):1-18. <http://dx.doi.org/10.1007/s13165-014-0091-1>
- IBUNAM. (1995).** "*Lotus corniculatus*" L., ejemplar de: Herbario Nacional de México (MEXU), Plantas Vasculares. En "Portal de Datos Abiertos UNAM" (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México.
<https://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:MEXU:830485>
- INIA. (2023).** Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Tipos de *Lotus corniculatus*. Programa Nacional de Investigación en Pasturas y Forrajes. Consultado en línea el 15 abril 2023.
<https://catalogoforrajas.inia.uy/leguminosas/leguminosas-perennes/lotus-corniculatus/tipos-de-lotus-corniculatus/>
- Jabbari, S., Zakaria, Z. A., Ahmadimoghaddam, D. y Mohammadi, S. (2024).** The oral administration of *Lotus corniculatus* L. attenuates acute and chronic pain models in male rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 319, 117181. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.117181>
- Jiménez, R. y M. Caballero. (1990).** El Cultivo Industrial de Plantas en Maceta. Ediciones de Horticultura. Reus, España pp:330.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=240455>

- Liendo, M. E., Coletti, A. A., Olea, L. E., Alegre, A., Suárez, L., Guerineau, M. y Toll Vera, J. R. (2019).** Relación Hoja-Tallo en el estado fenológico de floración, en gramíneas naturales y cultivadas del Chaco Occidental Semiárido del departamento Trancas, Tucumán, Argentina. *Revista agronómica del noroeste argentino*, 39(1), 45-51. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2314-369X2019000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- López-Cuadrado, M. C. y Masaguer, A. (2006).** Sustratos para viveros. Conocer sus propiedades ayuda a su correcta utilización". *Horticultura*, vol. extra. Pp:44-50. <http://aramara.uan.mx:8080/bitstream/123456789/719/1/Sustratos%20en%20la%20horticultura.pdf>
- Luque, J. (1989).** Efectos de la temperatura, medio de cultivo y pH en el crecimiento colonial de "*Diplodia mutila*" Fr. apud Mont. In Anales del Jardín Botánico de Madrid (Vol. 46, No. 1, pp. 215-221). Real Jardín Botánico. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212017000100021
- Martín, F. (2014).** Tamaño y posición de las coronas como mecanismos para tolerar el pastoreo en especies forrajeras del pastizal bajo en la región semiárida central de Argentina. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/1575>
- Martínez-Santos, E., Cruz-Cruz, C. A., Spinoso-Castillo, J. L. y Bello-Bello, J. J. (2021).** In vitro response of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) to PEG-induced osmotic stress. *Scientific Reports*, 11(22611): 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02207-0>

- Martínez-Trinidad, T., Islas-Rodríguez, L. y Plascencia-Escalante, F. O. (2013).** La relación entre los carbohidratos y la vitalidad en árboles urbanos. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(3), 459-468. <https://www.researchgate.net/publication/26156964>
- Mattos, J., Gomide, J., Martinez, C. y Huaman. (2005).** Crescimento de Espécies do Gênero *Brachiaria*, sob Déficit Hídrico, em Casa de Vegetação R. Bras. Zootec.34(3):746-754. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000300005>
- Mendoza, P. S. I., Hernández, G. A., Pérez, P. J., Quero, C. A. R., Escalante, E. J. A. S., Zaragoza, R. J. L. y Ramírez, R. O. (2010).** Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(3), 287-296. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242010000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Mora, M. A. y Figueroa, C. B. (2005).** Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la meseta central de Costa Rica. *Agronomía mesoamericana*, 16(1), 37-43. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v16i1.5180>
- Nelson, P. (1998).** Greenhouse Operation and Management Hall, New Jersey 637p. <https://www.missouricareereducation.org/doc/greenhouse/SRGreenhouse.pdf>

- Olalde-Gutiérrez, V. M., Escalante-Estrada, J. A., SánchezGarcía, P., Tijerina-Chávez, L., Mastache-Lagunas A. A. y Carreño-Román, E. (2000).** Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. *Terra* 18: 313-323. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57318405.pdf>
- Ollerton, J. y Lack, A. (1998).** Relationships between Flowering Phenology, Plant Size and Reproductive Success in *Lotus corniculatus* (*Fabaceae*). *Plant Ecology*, Vol. 139: 35-47. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009798320049>
- Ordoquí, F. y Carrizo, A. C. (2020).** Capacidad de rebrote en condiciones de oscuridad de especies forrajeras del pastizal bajo, región semiárida central de Argentina. *Semiárida*, 30(2), 81-81. <https://ojs.unlpam.edu.ar/index.php/semiarida/article/view/5402>
- Orobio, B. A. P., Venegas, M. C. C. y Valencia, L. F. V. (2022).** Análisis computacional del comportamiento agroclimático en la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris*) cultivado en el municipio de Sibundoy, Putumayo. *Ingeniare*, (33), 13-27. <http://dx.doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.33.9728>
- Parent, B. y Tardieu, F. (2012).** Las respuestas de temperatura de los procesos de desarrollo no se han visto afectadas por la reproducción en diferentes áreas ecológicas para 17 especies de cultivos. *New Phytol.* 194:760-774. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04086.x>
- Pastor, S. B. (2002).** Sustratos: propiedades físicas, químicas y biológicas. *Horticultura internacional*, (1), 70-79. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2599810>

- Pire, R. y Pereira, A. (2003).** Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. *Bioagro*, 15(1), 55-64.
<https://www.redalyc.org/pdf/857/85715107.pdf>
- Polhill, R. M. (1981).** *Loteae* DC (1825). Advances in legume systematics. The University of Chicago press. p:1050
<https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/distributed/A/bo9854739.html>
- Poole, R., Conover, C. y Joiner, J. (1981).** Soil and potting mixture In: Foliage Plant Production. Joiner J. N. (ed.). Prentice Hall, Virginia. New Jersey. vol. 31. pp. 179-202.
<https://journals.ashs.org/jashs/downloadpdf/journals/jashs/113/1/article-p65.xml>
- Quiroga, H. M. (2013).** Tasa de acumulación de materia seca de alfalfa en respuesta a variables climatológicas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(4), 503-516. <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v4i4.1183>
- Rivera, P. M. (2008).** Determinación de la dinámica del agua en el Sistema Agroforestal Quesungual e identificación de factores suelo-planta para el mejoramiento de la productividad del agua en los cultivos (Doctoral dissertation). Universidad nacional de Colombia. pp:335.
<https://www.researchgate.net/publication/30757607>
- Rojas-García, A. R., Hernández-Garay, A., Cansino, S. J., Maldonado, P. M. D. L. Á., Mendoza, P. S. I., Álvarez-Vázquez, P. y Joaquín, T. B. M. (2016).** Comportamiento productivo de cinco variedades de alfalfa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(8), 1855-1866.
<http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v7i8.97>

- Rojas-García, A. R., Torres, S. N., Joaquín, C. S., Hernández-Garay, A., Maldonado, P. M. y Sánchez, S. P. (2017).** Componentes del rendimiento en variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Agrociencia*, 51(7), 697-708. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4631>
- SADER. (2016).** Tipos de cultivo, estacionalidad y ciclos. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/tipos-de-cultivo-estacionalidad-y-ciclos>
- Salisbury, F. B. y Ross, C. W. (1994).** Fisiología Vegetal. Traducción de V. González. Grupo Editorial Iberoamérica, México. 759p. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/fisiologiavegetalbidwell.pdf>
- Silveira, D. (2011).** Caracterización agronómica de las leguminosas más utilizadas en el Uruguay. Unidad de Producción de Pasturas, Dpto. de Producción Animal y Pasturas. <https://dokumen.tips/documents/caracterizacin-agronmica-de-las-leguminosas-crs06-lotus-2011pdf-caracterizacin.html?page=1>
- Singh, R. S., Singh, R. J., Chung, G. H. y Nelson, R. L. (2007).** Landmark research in legumes. *Genome* 50:525– 537. <https://doi.org/10.1139/G07-037>
- Snyder, R. y Melo-Abreu, J. P. (2010).** El daño producido por las heladas: Fisiología y temperaturas críticas. Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía, 1, 241. <https://www.fao.org/3/y7223s/y7223s05.pdf>

- Sokoloff, D. D. (1998).** Morphological and taxonomical study of the genus *Anthyllis* and principles of revision of *Loteae* tribe (*Papilionaceae*). Tesis Doctoral. Moscow State University. [In Russian].
- Trejo-Escareño, H. I., Salazar-Sosa, E., López-Martínez, J. D. y Vázquez-Vázquez, C. (2013).** Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(5), 727-738.
<https://www.redalyc.org/pdf/2631/263127573006.pdf>
- UPNA. (2023).** Flora Pratense y Forrajera Cultivada de la Península Ibérica. Herbario de la Universidad Pública de NAVARRA. Familia *Leguminosae*, *Lotus corniculatus* Lam.: cuernecillo.
https://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/Lotu_corn_p.htm
- Uresti, G. J., Figueroa, B., González, V. y Ortiz, C., Turrent, A. (2001).** Modelos para simular el crecimiento y producción potencial del maíz y la tasa diaria de erosión en zonas tropicales. 14ª Reunión Científica, Tecnológica-Forestal y Agropecuaria, Veracruz, México.
<https://ri.ujat.mx/bitstream/200.500.12107/3910/1/To%CC%81picos%2Bselectos%2Ben%2Bagronomi%CC%81a%2Btropical.pdf>
- Valencia, G. (1973).** Relación entre el índice de área foliar y la productividad del cafeto. *Fisiología Vegetal del Centro Nacional de Investigadores de Café (CENICAFE)*, Chinchiná, Caldas, Colombia. 11(1).
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4199/1/arc024%2804%29079-089.pdf>

- Velasco-Zebadúa, M. E., Hernández-Garay, A. y González-Hernández, V. A. (2007).** Cambios en componentes del rendimiento de una pradera de ballico perenne, en respuesta a la frecuencia de corte. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(1), 79-87. <http://dx.doi.org/10.35196/rfm.2007.1.79>
- Wahid, A., Gelani, S., Ahsraf, M. y Fooland, M. R. (2007).** Heat tolerance in plants: an overview. *Environ. Exp. Bot.* 61:199-223. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>
- Warnock, R., Valenzuela, J., Trujillo, A., Madriz, P. y Gutiérrez, M. (2006).** Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. *Agr Trop*;56(1):21-42. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2006000100002
- Yousefi, A. R., Rashidi, S., Moradi, P. y Mastinu, A. (2020).** Germination and Seedling Growth Responses of *Zygophyllum fabago*, *Salsola kali* L. and *Atriplex canescens* to PEG-Induced Drought Stress. 7(107): 1-10. <https://doi.org/10.3390/environments7120107>

VII. ANEXOS

Cuadro 7. Producción de materia seca (g MS planta⁻¹) de *L. corniculatus* y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en tres estaciones del año

Sustrato	cultivar	Estación			Acumulado	CV %	DMS	Sig.
		Verano	Otoño	Invierno				
SI	Alfalfa	70 ^{Aa}	39 ^{Ab}	29 ^{Ab}	138 ^A	14	10	<.0001
	Lotus	35 ^{Ba}	23 ^{Bb}	16 ^{Bc}	73 ^B	9	4	<.0001
	CV %	14	6	13	7			
	DMS	11	2.8	4.3	12			
	Sig.	<.0001	<.0001	0.0001	<.0001			
SII	Alfalfa	77 ^{Aa}	39 ^{Ab}	19 ^{Ac}	135 ^A	11	9	<.0001
	Lotus	37 ^{Ba}	22 ^{Bb}	18 ^{Ab}	77 ^B	12	5	<.0001
	CV %	9	6	27	5			
	DMS	7	2.9	7.5	7			
	Sig.	<.0001	<.0001	0.7	<.0001			
SIII	Alfalfa	62 ^{Aa}	33 ^{Ab}	15 ^{Ac}	110 ^A	15	9	<.0001
	Lotus	27 ^{Ba}	17 ^{Bb}	18 ^{Ab}	61 ^B	11	3	<.0001
	CV %	11	9	32	12			
	DMS	7	3.3	7.6	15			
	Sig.	<.0001	<.0001	0.4	<.0001			

SI = sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = sustrato de suelo típico de la región; CV = coeficiente de variación; DMS = diferencia mínima significativa; Sig. = significancia con $p \leq 0.05$. Medias con literales mayúsculas en la misma columna y literales minúsculas en la misma línea no presentan diferencia significativa.

Cuadro 8. Relación hoja/tallo de *L. corniculatus* y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en verano, otoño e invierno.

Sustrato	Cultivar	Estación			Promedio	CV %	DMS	Sig.
		Verano	Otoño	Invierno				
SI	Alfalfa	0.9 ^{Bb}	1.4 ^{Ba}	1.5 ^{Ba}	1.3 ^B	11	0.2	<.0001
	Lotus	2.0 ^{Ab}	2.1 ^{Ab}	3.0 ^{Aa}	2.4 ^A	5	0.2	<.0001
	CV %	9	4	8	4.9			
	DMS	0.1	0.1	0.2	0.1			
	Sig.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001			
SII	Alfalfa	0.9 ^{Bb}	1.4 ^{Bab}	1.7 ^{Ba}	1.4 ^B	24	0.5	<.0001
	Lotus	2.1 ^{Ab}	2.3 ^{Ab}	3.1 ^{Aa}	2.5 ^A	8.2	0.3	<.0001
	CV %	9	12	15	9.1			
	DMS	0.2	0.3	0.5	0.1			
	Sig.	<.0001	0.0003	0.0005	<.0001			
SIII	Alfalfa	1.0 ^{Ba}	1.4 ^{Ba}	1.5 ^{Ba}	1.3 ^B	29	0.6	0.1
	Lotus	1.9 ^{Ab}	1.9 ^{Ab}	2.7 ^{Aa}	2.2 ^A	8	0.3	<.0001
	CV %	8	17	20	11			
	DMS	0.1	0.4	0.6	0.2			
	Sig.	<.0001	0.01	0.001	0.0001			

SI = sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = sustrato de suelo típico de la región; CV = coeficiente de variación; DMS = diferencia mínima significativa; Sig. = significancia con $p \leq 0.05$. Medias con literales mayúsculas en la misma columna y literales minúsculas en la misma línea no presentan diferencia significativa.

Cuadro 9. Altura de planta (cm) de *L. corniculatus* y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en verano, otoño e invierno.

Sustrato	Cultivar	Estación			Promedio	CV	DMS	Sig.
		Verano	Otoño	Invierno				
SI	Alfalfa	71 ^{Aa}	63 ^{Aa}	52 ^{Ab}	62 ^A	8	9	0.0006
	Lotus	22 ^{Ba}	19 ^{Ab}	13 ^{Bc}	18 ^B	6	2	<.0001
	CV	11	7	9	8			
	DMS	7	4	4	5			
	Sig.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001			
SII	Alfalfa	68 ^{Aa}	65 ^{Aa}	49 ^{Ab}	61 ^A	7	7	<.0001
	Lotus	23 ^{Aa}	18 ^{Bb}	12 ^{Bc}	18 ^B	6	1	<.0001
	CV	8	5	10	5			
	DMS	5	3	4	2			
	Sig.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001			
SIII	Alfalfa	62 ^{Aa}	55 ^{Aab}	49 ^{Ab}	55 ^A	10	10	<.0001
	Lotus	19 ^{Aa}	16 ^{Bb}	12 ^{Bc}	16 ^B	6	1	<.0001
	CV	3	4	22	9			
	DMS	2	2	10	4			
	Sig.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001			

SI = sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = sustrato de suelo típico de la región; CV = coeficiente de variación ; DMS = diferencia mínima significativa; Sig. = significancia con $p \leq 0.05$. Medias con literales mayúsculas en la misma columna y literales minúsculas en la misma línea no presentan diferencia significativa.

Cuadro 10. Área foliar de ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) de *L. corniculatus* y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en verano, otoño e invierno.

Sustrato	Cultivar	Estación			Promedio	CV	DMS	Sig.
		Verano	Otoño	Invierno				
SI	Alfalfa	1376 ^{Ab}	2038 ^{Aa}	1475 ^{Aa}	1630 ^A	15	429	0.0006
	Lotus	786 ^{Bb}	824 ^{Bb}	1199 ^{Ba}	937 ^B	11	179	<.0001
	CV	10	20	8	9			
	DMS	162	438	158	169			
	Sig.	<.0001	0.0002	0.003	<.0001			
SII	Alfalfa	1367 ^{Ab}	2069 ^{Aa}	1143 ^{Ab}	1526 ^A	13	343	<.0001
	Lotus	1031 ^{Bb}	670 ^{Bb}	1521 ^{Aa}	1074 ^B	23	417	0.0006
	CV	5	15	24	9			
	DMS	98	304	474	181			
	Sig.	<.0001	<.0001	0.1	0.0004			
SIII	Alfalfa	860 ^{Ab}	1463 ^{Aa}	1038 ^{Ab}	1120	18	349	0.001
	Lotus	659 ^{Ab}	648 ^{Bb}	1363 ^{Aa}	890	21	323	<.0001
	CV %	16	16	22	11			
	DMS	177	254	397	169			
	Sig.	0.03	<.0001	<.0001	0.01			

SI = sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = sustrato de suelo típico de la región; CV = coeficiente de variación; DMS = diferencia mínima significativa; Sig. = significancia con $p \leq 0.05$. Medias con literales mayúsculas en la misma columna y literales minúsculas en la misma línea no presentan diferencia significativa.

Cuadro 11. Diámetro de corona (cm) de *L. corniculatus* y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en verano, otoño e invierno.

Sustrato	Cultivar	Estación			Promedio	CV	DMS	Sig.
		Verano	Otoño	Invierno				
SI	Alfalfa	12 ^{Ac}	14 ^{Ab}	16 ^{Aa}	14 ^A	5	1	<.0001
	Lotus	10 ^{Bc}	12 ^{Bb}	13 ^{Ba}	11 ^B	5	1	<.0001
	CV	4	5	6	4			
	DMS	0.7	1	1	0.9			
	Sig.	<.0001	0.001	<.0001	0.0002			
SII	Alfalfa	12 ^{Ac}	15 ^{Ab}	19 ^{Aa}	15 ^A	7	1	<.0001
	Lotus	10 ^{Bc}	12 ^{Bb}	15 ^{Ba}	12 ^B	5	1	<.0001
	CV	2	4	8	5			
	DMS	0.4	0.8	2	1			
	Sig.	<.0001	0.0002	0.002	0.0003			
SIII	Alfalfa	10 ^{Ac}	12 ^{Ab}	16 ^{Aa}	13 ^A	6	1	<.0001
	Lotus	9 ^{Ab}	11 ^{Aa}	12 ^{Ba}	11 ^B	6	1	0.0003
	CV	3	4	8	4			
	DMS	0.4	0.6	1	0.7			
	Sig.	0.07	0.06	0.0004	0.0005			

SI = sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = sustrato de suelo típico de la región; CV = coeficiente de variación; DMS = diferencia mínima significativa; Sig. = significancia con $p \leq 0.05$. Medias con literales mayúsculas en la misma columna y literales minúsculas en la misma línea no presentan diferencia significativa.

Cuadro 12. Porcentaje de tallos muertos en *L. corniculatus* y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en verano, otoño e invierno.

Sustrato	Cultivar	Estación			Promedio	CV	DMS	Sig.
		Verano	Otoño	Invierno				
SI	Alfalfa	36 ^{Ab}	29 ^{Ab}	49 ^{Aa}	38 ^A	12	8	<.0001
	Lotus	8 ^{Bb}	12 ^{Bb}	22 ^{Ba}	14 ^B	20	4	<.0001
	CV	8	19	14	8			
	DMS	2.7	5	7	3.2			
	Sig.	<.0001	0.0001	<.0001	<.0001			
SII	Alfalfa	36 ^{Ab}	31 ^{Ab}	57 ^{Aa}	41 ^A	12	8	<.0001
	Lotus	8 ^{Bb}	11 ^{Bb}	21 ^{Ba}	13 ^B	26	2	0.0002
	CV	12	21	14	8			
	DMS	3	6	8	3.4			
	Sig.	<.0001	0.0001	<.0001	<.0001			
SIII	Alfalfa	25 ^{Ac}	34 ^{Ab}	56 ^{Aa}	38 ^A	12	8	<.0001
	Lotus	9 ^{Bb}	15 ^{Ba}	17 ^{Ba}	14 ^B	12	2	<.0001
	CV	12	14	12	10			
	DMS	3	5	6	3			
	Sig.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001			

SI = sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = sustrato de suelo típico de la región; CV = coeficiente de variación; DMS = diferencia mínima significativa; Sig. = significancia con $p \leq 0.05$. Medias con literales mayúsculas en la misma columna y literales minúsculas en la misma línea no presentan diferencia significativa.

Cuadro 13. Peso de hoja de tallo individual (g MS planta⁻¹) de *L. corniculatus* y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en verano, otoño e invierno.

Sustrato	Cultivar	Estación			Promedio	CV	DMS	Sig.
		Verano	Otoño	Invierno				
SI	Alfalfa	0.30 ^{Aa}	0.27 ^{Aa}	0.22 ^{Aa}	0.26 ^A	22	0.09	0.1
	Lotus	0.09 ^{Ba}	0.06 ^{Bb}	0.06 ^{Bb}	0.07 ^B	15	0.09	0.0007
	CV	27	26	17	19			
	DMS	0.07	0.06	0.07	0.04			
	Sig.	0.0003	<.0001	<.0001	<.0001			
SII	Alfalfa	0.26 ^{Aa}	0.26 ^{Aa}	0.19 ^{Ab}	0.24 ^A	14	0.05	0.007
	Lotus	0.09 ^{Ba}	0.06 ^{Bb}	0.06 ^{Bb}	0.07 ^B	13	0.01	0.0002
	CV	9	21	16	10			
	DMS	0.02	0.05	0.03	0.02			
	Sig.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001			
SIII	Alfalfa	0.33 ^{Aa}	0.26 ^{Ab}	0.17 ^{Ac}	0.25 ^A	15	0.06	0.0002
	Lotus	0.07 ^{Ba}	0.06 ^{Ba}	0.07 ^{Ba}	0.07 ^B	18	0.01	0.01
	CV	14	24	15	11			
	DMS	0.04	0.05	0.02	0.02			
	Sig.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001			

SI = sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = sustrato de suelo típico de la región; CV = coeficiente de variación; DMS = diferencia mínima significativa; Sig. = significancia con $p \leq 0.05$. Medias con literales mayúsculas en la misma columna y literales minúsculas en la misma línea no presentan diferencia significativa.

Cuadro 14. Peso por tallo individual (g MS planta⁻¹) de *L. corniculatus* y alfalfa establecidos en diferentes sustratos y cosechados en verano, otoño e invierno.

Sustrato	Cultivar	Estación			Promedio	CV	DMS	Sig.
		Verano	Otoño	Invierno				
SI	Alfalfa	0.33 ^{Aa}	0.20 ^{Ab}	0.15 ^{Ab}	0.22 ^A	27	0.1	0.002
	Lotus	0.05 ^{Ba}	0.03 ^{Bb}	0.02 ^{Bb}	0.03 ^B	14	0.007	<.0001
	CV	33	29	32	25			
	DMS	0.09	0.04	0.04	0.04			
	Sig.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001			
SII	Alfalfa	0.29 ^{Aa}	0.20 ^{Aab}	0.12 ^{Ab}	0.21 ^A	28	0.09	0.001
	Lotus	0.05 ^{Ba}	0.03 ^{Bb}	0.02 ^{Bb}	0.03 ^B	16	0.002	<.0001
	CV	32	33	34	29			
	DMS	0.07	0.05	0.03	0.05			
	Sig.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001			
SIII	Alfalfa	0.32 ^{Aa}	0.20 ^{Ab}	0.13 ^{Ab}	0.22 ^A	25	0.9	0.0007
	Lotus	0.04 ^{Ba}	0.02 ^{Bb}	0.02 ^{Bb}	0.03 ^B	18	0.008	0.001
	CV	15	50	34	20			
	DMS	0.05	0.08	0.03	0.03			
	Sig.	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001			

SI = sustrato de invernadero; SII = combinación homogénea de SI y SIII; SIII = sustrato de suelo típico de la región; CV = coeficiente de variación; DMS = diferencia mínima significativa; Sig. = significancia con $p \leq 0.05$. Medias con literales mayúsculas en la misma columna y literales minúsculas en la misma línea no presentan diferencia significativa.