

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



Comportamiento productivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferente edad de cosecha en la estación de primavera

POR:

ALEJANDRO MISAEL CASTRO MARTÍNEZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Febrero 2020

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

Comportamiento productivo de alfalfa (*Medicago sativa* L) a diferente edad de cosecha en la estación de primavera

POR:

ALEJANDRO MISAEL CASTRO MARTÍNEZ

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

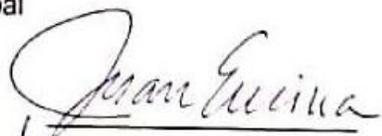
Aprobada por:


Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez

Asesor Principal


Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coasesor


Dr. Juan Antonio Encina Dominguez

Coasesor


Dr. José Dueñez Alanís

Coordinador de la División de Ciencia Animal



Saltillo, Coahuila, México. Febrero 2020

RESUMEN

La alfalfa es una de las especies de leguminosas más cultivadas e importantes, en el mundo, la cual es utilizada para la alimentación del ganado, principalmente productor de leche. El estudio se realizó con el objetivo de determinar la curva de crecimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.), en la estación de primavera. El trabajo se realizó de mayo a junio del 2019, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, unidad Saltillo, bajo un diseño de bloques al azar, con dos tratamientos (alfalfa inoculada y sin inocular), con tres repeticiones. Se estudiaron las variables de rendimiento de forraje, tasa de crecimiento, composición botánica y morfológica, relación hoja/tallo, altura de planta, área foliar y radiación interceptada. En ambos tratamientos, el rendimiento de forraje se incrementó de la semana uno a la semana siete. Esta semana expresa el mayor valor con 4,638 kg MS ha⁻¹ y los menores en las semanas 1 y 2 con 538 y 1,176 kg MS ha⁻¹. La tasa de crecimiento, de ambos tratamientos, no presentó diferencias entre semana de rebrote. La composición botánica y morfológica, en la semana 2, se registró el mayor porcentaje promedio de hoja (59 %), mientras que el menor en la semana siete con 44 % promedio. En la alfalfa inoculada y sin inocular, la mayor relación hoja/tallo se presentó en la semana 1 (2.4), siendo diferente al resto de la semana. La mayor producción promedio de hoja se observó en la semana cinco y siete con 2,043 y 2,039 kg MS ha⁻¹, respectivamente. No se observó efecto del inoculante en la determinación de la curva de crecimiento de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), donde se obtuvo la máxima producción en la última semana de estudio, donde el componente morfológico de mayor aportación fue la hoja seguido por el tallo, maleza, material muerto e inflorescencia.

Palabras clave: *Medicago sativa* L., rendimiento de forraje, tasa de crecimiento, composición botánica y morfológica, relación hoja:tallo, *Rhizobium*.

ABSTRACT

Alfalfa is one of the most cultivated and important legume species in the world, which is used for feeding cattle, mainly milk producers. The study was conducted with the objective of determining the growth curve of alfalfa (*Medicago sativa* L.), in the spring season. The work was carried out from May to June 2019, at the Antonio Narro Autonomous Agrarian University, Saltillo unit, under a randomized block design, with two treatments (inoculated and non-inoculated alfalfa), with three repetitions. The variables of forage yield, growth rate, botanical and morphological composition, leaf / stem ratio, plant height, leaf area and intercepted radiation were studied. In both treatments, forage yield increased from week one to week seven. This week expresses the highest value with 4,638 kg DM ha⁻¹ and the lowest in weeks 1 and 2 with 538 and 1,176 kg DM ha⁻¹. The growth rate of both treatments showed no differences between regrowth week. The botanical and morphological composition, in week 2, the highest average leaf percentage (59%) was recorded, while the lowest in week seven with an average 44%. In inoculated and uninoculated alfalfa, the highest leaf / stem ratio occurred in week 1 (2.4), being different from the rest of the week. The highest average sheet production was observed in week five and seven with 2,043 and 2,039 kg DM ha⁻¹, respectively. No effect of the inoculant was observed in the determination of the growth curve of alfalfa (*Medicago sativa* L.), where maximum production was obtained in the last week of study, where the morphological component of greatest contribution was the leaf followed by the stem, weed, dead material and inflorescence.

Keywords: *Medicago sativa* L., forage yield, growth rate, Botanical and morphological composition, leaf ratio:stem, *Rhizobium*.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar le agradezco a **DIOS** por darme la vida, haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, gracias por darme la sabiduría, fortaleza y el coraje para que fuera posible alcanzar este triunfo.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** mi "ALMA TERRA MATER" por abrirme sus puertas y permitirme desarrollarme como profesionista, gracias por todas las oportunidades que me brindo.

A mis padres **Manuel** y **Yolanda** por brindarme la oportunidad de estudiar una carrera, por su amor y confianza que me han dado todo este tiempo, gracias por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida profesional.

Al **Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez**, por darme la oportunidad, confiar en mí y permitirme ser parte de su proyecto, para la realización de mi tesis, ya que sin él, esto no hubiera sido posible, gracias por sus conocimientos y aporte a este trabajo, así como también haberme tenido paciencia para guiarme durante el desarrollo de mi tesis.

Al **Dr. Gabriel Gallegos Morales, Dr. Juan Antonio Encina Domínguez y al Dr. José Antonio Hernández Herrera** por su asesoría, revisiones, aportaciones y sugerencias en este proyecto, ya que fueron de gran ayuda.

A mis hermanas **Soledad y Leticia** por su apoyo y ánimos que me dieron.

A mis **tíos, primos, padrinos y conocidos**, les agradezco de todo corazón lo que han hecho por mí, su apoyo y sus palabras de aliento que me animaron a seguir adelante

A mis amigos de generación Josué Arellano, Felipe Barbón, Darwin Cruz, Israel Márquez, Benjamín Carmona, Perla Guadalupe, Aldo Villanueva, Vicente Romera, Eliud Rivera, Francisco Melo, Edgar González, Daniel Torres, Carlos López y Osstin Alvizo, por su amistad, compartir parte de su tiempo con migo, aconsejarme, brindarme apoyo y por los momentos agradables que pase con ellos.

DEDICATORIA

Dedicada a mí abuela, **Justina Lucia Vázquez** que siempre estuviste orgullosa de mí, y que de donde estas lo sigues estando, siempre estuviste dispuesta a apoyarme y hacer todo lo que fuera para verme feliz. Sé que desde el cielo estás guiando mi destino, me es difícil creer que ya no estás conmigo, pero en mi mente y en mi corazón estás igual de presente que siempre.

A mis padres, porque gracias a su apoyo, cariño, amor y guía, he logrado mi objetivo.

A mis hermanas Soledad Castro y Leticia Castro, por estar presentes en mi vida.

A mis padrinos, ya que ustedes han sido parte importante de mi vida, además de que me han guiado y dado consejos para salir adelante.

A mis tíos y primos, porque sé que nadie como la familia para obtener un buen consejo y pues sé que siempre contare con su apoyo.

A todas las personas que he encontrado a lo largo de mi vida, gracias por sus consejos, apoyo y palabras de aliento que me animaron a seguir adelante, por enseñarme lo que es bueno y malo.

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.2 HIPÓTESIS	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Origen de la alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	4
2.2 Descripción agronómica de la alfalfa	4
2.3 Importancia económica de la alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	5
2.4 Descripción taxonómica y morfológicas de la alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	10
2.5 Características de la calidad del forraje de la alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	10
2.6 Inoculación de la semilla de alfalfa	11
2.7 Condiciones climáticas y edafológicas que afectan a la producción de forraje ...	12
2.7.1 Radiación solar	12
2.7.2 Temperatura	12
2.7.3 Requerimientos de agua	13
2.7.4 pH	13
2.8 Factores que afectan el rebrote	14
2.8.1 Reserva de carbohidratos	14
2.8.2 Índice de área foliar	14
2.8.3 Meristemas de crecimientos	15
2.9 Tasa de crecimiento del cultivo	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Localización del sitio experimental	17

3.2 Condiciones meteorológicas	17
3.3 Manejo de la parcela.....	18
3.4 Variables evaluadas.....	19
3.4.1 Altura de planta	19
3.4.2 Rendimiento de forraje.....	19
3.4.3 Composición botánica y morfológica.....	19
3.4.4 Relación hoja:tallo (R:H/T)	20
3.4.5 Área foliar por tallo	21
3.4.6 Radiación interceptada.....	21
3.5 Tratamientos y diseño experimental	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1 Relación de rendimiento de forraje y tasa de crecimiento.	23
4.2 Composición botánica y morfológica	26
4.3 Relación hoja:tallo (R:H/T).....	29
4.4 Relación de tasa de crecimiento entre rendimiento de materia seca, altura de planta, peso de hoja, peso de tallo y luz interceptada con regla.....	31
V. CONCLUSIONES.....	33
VII. LITERATURA CITADA	34
VII. ANEXOS	42

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Exportación e importaciones de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) en el año 2017.	6
Cuadro 2. Superficie sembrada, cosechada, producción, rendimiento en verde y precio de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.).	8
Cuadro 3. Producción de alfalfa (kg MV ha ⁻¹) por estado en el 2018.	9
Cuadro 4. Coeficiente de regresión (R ²), de Tasa de Crecimiento (TC) con Rendimiento de Materia Seca (RMS), Altura de Planta (AP), Peso de Hoja (PH), Peso de Tallo (PT) y Luz Interceptada con regla (LIr) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.), inoculada y sin inocular en la estación de primavera.	32
Cuadro 5. Análisis de varianza del rendimiento de forraje (kg MS ha ⁻¹) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) sometida a diferentes edades de cosecha, en la estación de primavera.	42
Cuadro 6. Análisis de varianza de la tasa de crecimiento (kg MS ha ⁻¹ día ⁻¹) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) sometida a diferentes edades de cosecha, en la estación de primavera.	43
Cuadro 7. Cuadro comparativo del porcentaje de la composición botánica y morfológica de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) inoculada y sin inocular.	44
Cuadro 8. Análisis de varianza del peso de hoja (kg MS ha ⁻¹) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) sometida a diferentes edades de cosecha, en la estación de primavera.	45
Cuadro 9. Análisis de varianza del peso de tallo (kg MS ha ⁻¹) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) sometida a diferentes edades de cosecha, en la estación de primavera.	46
Cuadro 10. Análisis de varianza de la relación hoja/tallo (R:H/T) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) sometida a diferentes edades de cosecha, en la estación de primavera.	47
Cuadro 11. Análisis de varianza de cambios semanales en la radiación solar interceptada (%) con regla de la alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) sometida a diferentes edades de cosecha, en la estación de primavera.	48

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Exportaciones de alfalfa en México 2010-2017. FAOSTAT, 2020	7
Figura 2. Importaciones de alfalfa en México 2010-2017. FAOSTAT, 2020	7
Figura 3. Distribución de la precipitación (barras grises), temperatura máxima (Línea continua), temperatura mínima (línea punteada barra) y temperatura media (línea punteada puntos) durante el periodo experimental (04 de mayo al 21 de junio de 2019).	18
Figura 4. Rendimiento de forraje (RF=kg MS ha ⁻¹) y tasa de crecimiento (TC= kg MS ha ⁻¹ día ⁻¹) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.), inoculada (A) y no inoculada (B), en la estación de primavera.....	25
Figura 5. Cambios morfológicos de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) inoculada con una cepa del Rizobium, y cosechada a diferentes semanas de rebrote, en la estación de primavera.	27
Figura 6. Cambios morfológicos de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) no inoculada, cosechada a diferentes semanas de rebrote, en la estación de primavera.	28
Figura 7. Rendimiento de materia seca y relación hoja/tallo de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.), inoculada (A) y no inoculada (B) en la estación de primavera.	30

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el crecimiento de la población humana, ha provocado que se busquen técnicas de producción animal más eficientes en la obtención de proteína: carne y leche, con el objetivo de garantizar el abastecimiento para la alimentación (FAO, 2000). Son diversos los factores que intervienen en esta eficiencia, siendo la más importante la nutrición animal (Uffo, 2011). Así mismo, en la ganadería de México, los forrajes son la principal fuente de alimentación, debido a su bajo costo para producirlos, sin embargo poseen limitantes en cuanto al aporte de proteína y la difícil digestibilidad de algunos de sus nutrimentos (Quero *et al.*, 2007). En forrajes como las leguminosas, se ha encontrado una opción, desde el punto vista nutricional y económico, para suplir las deficiencias ya mencionadas, permitiendo ofrecer a los bovinos una dieta más balanceada (Rebora *et al.*, 2015). Entre estas, la alfalfa es una de las especies más cultivadas e importantes a nivel mundial, ya que cumplen con un papel vital en la alimentación del ganado, tanto por la cantidad de forraje obtenido por superficie cultivada, como por su valor nutritivo. La alfalfa (*Medicago sativa* L.) presenta altos niveles de proteína y minerales, así como gran palatabilidad y alta digestibilidad en un gran número de especies animales (Odorizzi, 2015). En México, es uno de los cultivos forrajeros más importantes, debido a su amplia adaptación a diferentes climas y suelos (Moreno y Talbot, 2006), además constituye una fuente importante para la alimentación del ganado lechero y en la elaboración de concentrados alimenticios, debido a su alta producción de materia seca, contenido proteico y digestibilidad (Li *et al.*, 2011).

En la región de la Comarca Lagunera, la alfalfa, ocupa el 57 % (36,000 ha) de la superficie sembrada, siendo así la cuenca lechera más importante de México. Abarca municipios de los estados de Coahuila y Durango, y cuenta con una población aproximada de 400,000 bovinos. Esta población de ganado, demanda para su alimentación alrededor de 3,000,000 ton de forraje verde anualmente, por lo que la alfalfa representa el principal forraje. Sin embargo, en esta región la producción de

alfalfa, enfrenta problemas de manejo de agua y suelo. La escasez de agua, se derivada de la sobreexplotación del acuífero para el riego del mismo cultivo y otros forrajes, así como de la demanda de la lámina de riego anual, la cual varía entre 2.4 a 2.7 m (Vázquez *et al.*, 2010).

El uso de sistemas de riego por cintillas con emisores sub-superficiales, ha disminuido el volumen de agua utilizado en la producción agrícola hasta un 40 % y se ha incrementado significativamente el rendimiento de los cultivos (Camp, 1998; Camp *et al.*, 2000). En este sistema de riego sub-superficial la aplicación del agua está en función de las necesidades de evapotranspiración diaria del cultivo y se pueden evitar déficit hídrico en la planta, debido a la aplicación constante de bajos volúmenes de agua (Barth, 1995).

El rendimiento de forraje de la alfalfa va a depender del potencial productivo de la zona donde se siembre y está dado por las temperaturas que se presentan en el sitio y las características del suelo como son: profundidad, fertilidad natural, textura, pH y problemas de salinidad y sodicidad en los suelos y la calidad del agua de pozos que se utilice para regar (Santamaría *et al.* 2000); las características anteriores interactúan con la variedad que se utilice y con las prácticas de manejo como: riegos, fertilización y edad de rebrote al corte la que es cosechada por los productores.

Tradicionalmente, el incremento de la productividad de la alfalfa, se ha asociado al aumento del rendimiento, a través del mejoramiento genético y prácticas de manejo del cultivo. Sin embargo, si se considera la producción por unidad de área y tiempo, el sistema de intercultivos puede ser otra forma de mejorar la rentabilidad (Calviño *et al.*, 2005). Actualmente los programas de mejoramiento en la alfalfa se han centrado en el rendimiento y la calidad del forraje, la resistencia a los factores estresantes bióticos y abióticos y la falta de agua (Hawkins y Long, 2018).

1.1 OBJETIVOS

- Determinar la curva de crecimiento de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), inoculada y sin inocular, durante la estación de primavera, mediante su comportamiento productivo.
- Evaluar la acumulación de forraje con base a la edad de cosecha, componentes del rendimiento y composición botánica y morfológica de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), inoculada y sin inocular

1.2 HIPÓTESIS

- Con el aumento de la edad de cosecha se incrementa el rendimiento de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), mayormente en las plantas inoculadas con cepa del genero *Rhizobium*.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen de la alfalfa (*Medicago sativa* L.)

La alfalfa (*Medicago sativa* L.), es originaria de la región de Asia Menor, actualmente el país de Irán (Rodríguez, 1986). Los persas la introdujeron a Grecia en el año 490 a. C., y fue utilizada por los romanos durante la conquista a este país como alimento para sus caballos y finalmente llevada a Italia en el año 146 a. C. (Robles, 1985). Tiene subespecies silvestres, que se distribuyen en Asia Central (Sakiroglu *et al.*, 2012). Actualmente hay variedades locales en Medio Oriente, donde se ha dado la selección de los genotipos nativos, que se han conservado por sus características deseables, los cuales actualmente representan una reserva de recursos genéticos para su mejoramiento (Sabanci *et al.*, 2013). No se tiene la fecha probable, tampoco el lugar donde se dio la domesticación de la alfalfa, pero ya se menciona esta especie en los textos de Babilonia en los 700 a de C (Li y Brummer, 2012).

En América, los conquistadores fueron los encargados de introducir el cultivo de la alfalfa, los primeros países donde primero se cultivó fueron, México, Perú y Chile. En el año 1854 fue llevada a Norteamérica, a los estados de California, Nuevo México y Arizona. En esta región tuvo poca importancia pues las bajas temperaturas hacían muy riesgoso su cultivo (Hughes *et al.*, 1984).

2.2 Descripción agronómica de la alfalfa

Es una especie que se adapta a una gran variedad de climas, se establece a altitudes desde 700 hasta los 4000 m, tolera temperaturas que oscilan entre los 15 a 25 °C en el día y de 10 a 20 °C en la noche (Cadena y Clavijo, 2011). Es una especie de días largos, y en zonas donde el fotoperiodo es mayor a 12 horas, la floración es más abundante (Quiroga, 2013). El desarrollo es afectado en suelos ácidos, con pH menor a 5.0, prefiere suelos profundos, con buen drenaje, alcalinos, la alfalfa tolera la

salinidad moderada y es resistente a periodos de sequía, gracias a su sistema radicular que le permite obtener agua de capas profundas del suelo (Sánchez, 2005).

Al combinar la alfalfa con una gramínea, aumenta la producción de forraje, se mejora el valor nutricional, y se reducen los costos de alimentación, en comparación con los alimentos balanceados (Zaragoza *et al.*, 2009), además de las bondades que tiene como forraje, también es utilizada para mejorar la cubierta vegetal, previene la erosión de los suelos y contribuye a la sostenibilidad de la agricultura y la ganadería, mediante la incorporación de hidrogeno al suelo (Chen *et al.*, 2012).

2.3 Importancia económica de la alfalfa (*Medicago sativa* L.).

En la alimentación del bovino lechero, la alfalfa (*Medicago sativa* L.), es la leguminosa forrajera más utilizada en el mundo, con 32,000,000 ha cultivadas, las cuales van en aumento (Bouton, 2001). Se estima que la producción mundial de forraje en este cultivo en el 2017 fueron 210.9 millones de toneladas métricas, además de los incrementos en los precios por su demanda. Como ejemplo las exportaciones de Estados Unidos de América a China aumentaron en volumen de 56 % y el precio ascendió a un 47 % en comparación con los años 2014 al 2016 (Research y Markets, 2018). Así mismo, por la alta demanda de forraje, el total de las exportaciones mundial en el 2017 fueron de 1,202,613 ton, donde España es mayor exportador con el 21 % del total, seguido por Estados Unidos de América con 19.79 %, que también es importador de forraje con una demanda de 45,756 ton, de forraje para cubrir su consumo interno (Cuadro 1).

Cuadro 1. Exportación e importaciones de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en el año 2017.

País	Exportaciones(Ton)	País	Importaciones(Ton)
España	260,981	Emiratos Árabes Unidos	104,512
Estados Unidos de América	238,070	Japón	74,495
Francia	146,540	Bélgica	73,142
Italia	128,460	Alemania	67,451
Sudáfrica	77,970	Francia	66,093
Australia	72,941	China	63,432
Canadá	64,619	Estados Unidos de América	45,756
Países Bajos	56,027	Países Bajos	45,226
Omán	34,890	Jordania	43,010
Egipto	29,857	China, Continental	37,629
Irán (República Islámica del)	27,014	Arabia Saudita	35,438
Ucrania	8,128	Austria	26,390
Chile	7,475	Qatar	24,024
Bulgaria	6,630	Kuwait	23,339

Fuente: FAOSTAT, 2019. <http://www.fao.org/faostat/>.

Con respecto a la importación, es un volumen de 1,014,177 ton, donde el país que demanda mayor forraje es Emiratos Árabes Unidos ya que consume el 10.30 % del forraje, seguido por Japón con el 7.34. La exportación de alfalfa de Estados Unidos de América tiene un mercado que va en aumento en China, donde se envían 1,29 millones de ton métricas (por un valor de \$ 417 millones) en 2016. Este crecimiento es impulsado por las cambiantes prácticas de producción en la industria lechera, el incremento en el número de vacas en granjas grandes y modernas, que demandan

forraje importado y alimentos comerciales, por lo que, el gobierno de China está haciendo esfuerzos por producir su mismo forraje (USDA, 2017).

En comparación a los datos mundiales, México ha incrementado sus exportaciones a partir del 2013 con 443 hasta llegar a 3,044 en el 2017. Mientras que las importaciones han bajado a 63 en el 2015. Al respecto el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020), indica que el campo nacional tiene capacidad para producir forraje, incluso, generar un excedente en el volumen de alfalfa para su exportación.

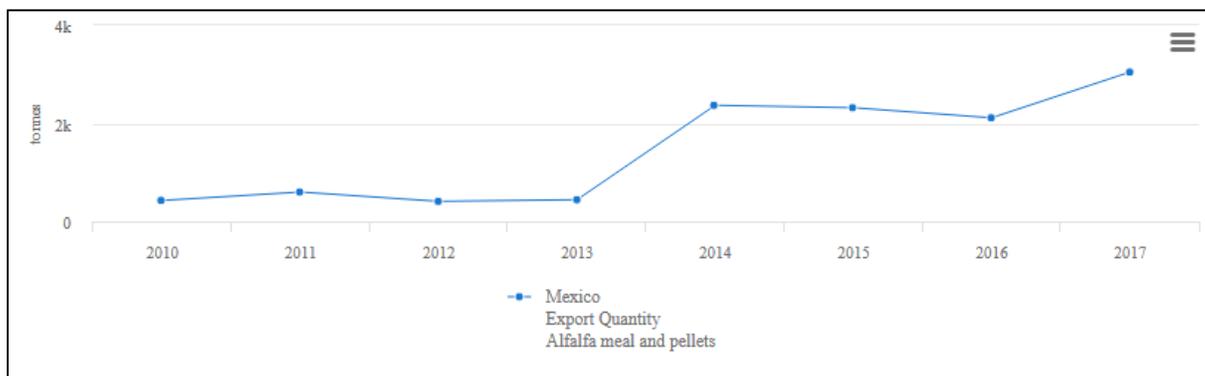


Figura 1. Exportaciones de alfalfa en México 2010-2017. FAOSTAT, 2020

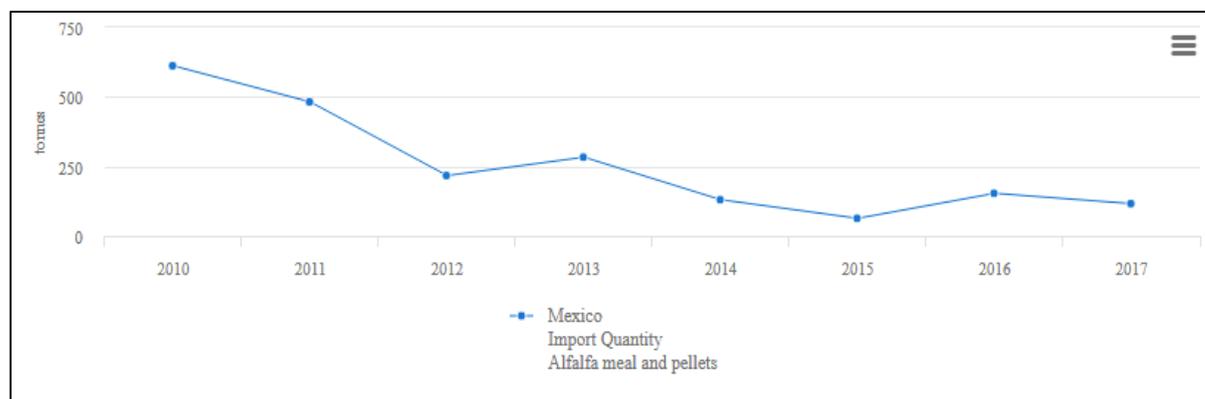


Figura 2. Importaciones de alfalfa en México 2010-2017. FAOSTAT, 2020

La alfalfa es el principal insumo para la producción de ganado en México, en 2018 se alcanzaron 33.6 millones de toneladas, (SIAP-SADER, 2020). La superficie de producción de alfalfa verde en México del 2010 al 2018 se contabilizan un promedio

de 237,735.90 ha, mientras que solo se cosechan un promedio de 236,360.44 ha, el resto presenta problemas de afectación o en condición de siniestro.

Cuadro 2. Superficie sembrada, cosechada, producción, rendimiento en verde y precio de alfalfa (*Medicago sativa* L.).

Año	Superficie sembrada (Ha)	Superficie cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento obtenido (Ton/Ha)	Precio medio rural (\$/Ton)	Valor de la producción (miles de \$)
2010	227,303	226,751	18,146,610	80	398	7,226,558
2011	240,566	233,118	18,098,934	77	482	8,740,432
2012	240,672	238,557	19,672,916	82	513	10,102,297
2013	239,836	239,503	19,998,043	83	501	10,020,123
2014	239,696	239,410	19,619,875	81	485	9,521,251
2015	235,974	235,607	20,273,831	86	484	9,828,483
2016	241,061	240,664	20,740,355	86	513	10,649,084
2017	238,678	238,589	20,998,874	88	522	10,976,896
2018	235,833	235,041	20,648,511	87	555	11,461,606

Fuente: SIACON-SIAP, 2020

El rendimiento de forraje promedio en estos años (2010-2018) es de 83.74 ton (Cuadro 2), con un precio promedio por tonelada de \$ 495.23, por lo que se ha presentado un aumento promedio de 4.49 % anual, habiendo en algunos años una disminución en el precio.

La producción total fue de 20,690,003.21 ton, con un valor de \$11,488,983.27. De acuerdo con SIAP, en 2018 se produjeron 33.6 millones de toneladas, para consumo del ganado para producción nacional y también con exportaciones a Estados Unidos de América el 89.2 % y Emiratos Árabes Unidos con 10 % y aumentó a cinco el número de países que adquirieron forraje proveniente de México. Los estados con mayor superficie establecida de alfalfa son Hidalgo con 18.82 % y Guanajuato con 18.67 % de un total de 236,619.04 ha. Mientras que el estado con mayor rendimiento es San Luis Potosí con 120.79 ton, y el mínimo es Nayarit con

47.24 ton, mientras que la media nacional es de 76.88 ton como se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3. Producción de alfalfa (kg MV ha⁻¹) por estado en el 2018.

Entidad	Superficie sembrada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento obtenido (Ton/ha)	Valor de la producción (miles de pesos)
Aguascalientes	5,612	526,766	93.86	335,117.59
Coahuila	20,268	1,622,810	80.06	1,162,499.07
Cd. México	10	794.50	79.45	677.49
Durango	30,823	2,707,501	87.84	1,769,514
Guanajuato	44,184	3,641,970	82.43	2,443,507
Guerrero	11.65	465	56.79	420
Hidalgo	44,548	4,536,827	101.84	1,376,230
Jalisco	6,631	616,332	92.95	324,091
México	6,317	516,555	81.76	161,746
Michoacán	6,082	361,580	59.54	243,600
Morelos	126	11,217	88.61	9,852
Nayarit	87	4,109	47.24	2,644
Nuevo León	2,476	133,608	55.79	85,439
Oaxaca	3,070	228,854	74.52	99,060
Puebla	19,282	1,549,308	80.35	771,196
Querétaro	7,451	553,441	74.93	367,916
San Luis Potosí	15,347	1,853,819	120.79	1,276,885
Sinaloa	5,959	253,667	47.59	147,184
Tlaxcala	2,613	179,856	68.83	112,206
Veracruz	230	11,433	50.15	6,289
Zacatecas	15,485	1,379,080	89.06	792,900
TOTAL	236,619	20,690,003	76.88	11,488,983

Fuente: SIACON-SIAP-SAGARPA, 2018.

2.4 Descripción taxonómica y morfológicas de la alfalfa (*Medicago sativa* L.)

La alfalfa (*Medicago sativa* L), es una planta forrajera perenne que pertenece a la División Magnoliophyta, Clase magnoliopsida, Orden Fabales, de la Familia de las Fabaceae (leguminosas), Subfamilia Faboide, Tribu Trifolieae (Chimicz, 1988). Es una especie herbácea con tallos ascendentes, que nacen desde una corona leñosa y alcanzan una altura de 90 cm (USDA NRCS, 2017). Presenta, las hojas trifoliadas, con el foliolo central largo y los foliolos laterales ovalados, sin pubescencia, con márgenes lisos, dentados en el ápice y unidos al tallo por un peciolo (Muslera y Ratera, 1991). La raíz de la alfalfa penetra en el suelo más que de ninguna otra herbácea cultivada. La raíz principal es pivotante, típica de las leguminosas, las plantas nuevas alcanza profundidades de 1.5 a 2 metros durante su primera estación de crecimiento (Hanson, 1972). En los primeros horizontes del suelo se desarrollan pocas raíces secundarias, pero estas, en vez de extenderse lateralmente, penetran a mayor profundidad para que finalmente sigan un curso paralelo a la raíz principal (Robles, 1981). Las flores son de color azul o púrpura, dependiendo de la variedad (Del Pozo, 1983), el fruto es una vaina, en espiral, sin espinas, contienen de 2 y 6 semillas amarillentas y reniformes, de 1.5 a 2.5 mm de longitud (Infoagro, 2015).

2.5 Características de la calidad del forraje de la alfalfa (*Medicago sativa* L.)

La planta de alfalfa entre más joven, es más rica en agua y proteínas y pobre en celulosa, sin contar la ausencia casi completa de sustancias incrustantes (lignina), por lo que el contenido de materia seca es más alimenticio y más rica en proteínas asimilables, así como en principios minerales. Las variaciones de la composición química están siempre ligadas a la relación existente entre tallos y hojas de la planta, en sus diferentes estados de desarrollo vegetativo (Arias, 1990). Jhan *et al.* (2000) manifiestan que con un corte temprano en la alfalfa, se pueden obtener porcentajes superiores al 25 % de proteína, afirmando que a medida que avanza el desarrollo del cultivo, disminuye su calidad nutricional. Para el parámetro de energía bruta, Parsi *et al.* (2001) reportan valores energéticos de 2.3 Mcal/kg. Danelón (2006) reporta valores

para fibra detergente neutra con un rango de 38 a 56 % y para fibra detergente ácida de 28 a 40 %. Para el caso del calcio, Clemente *et al.*, (2003) obtuvo 0.02 %, y para el fósforo, Anrique *et al.* (2008) con 0.29 %. INATEGA (2011) reportó un porcentaje de fósforo de 0.26 % para heno producido por deshidratación artificial. Finalmente, para la digestibilidad in vitro, López *et al.* (2011) reportó valores del 63 %.

2.6 Inoculación de la semilla de alfalfa

La alfalfa, tienen una gran necesidad por Nitrógeno (N), ya que es un elemento fundamental para el desarrollo de las plantas e integrante indispensable en la formación de proteínas, y es escaso en determinados suelos. Este cultivo se caracteriza por tener altos requerimientos de Nitrógeno, que el suelo no le podría brindar, estas diferencias entre lo que aporta el suelo y lo que la planta necesita, son cubiertas por medio de la asociación simbiótica entre las bacterias *Rhizobium meliloti*; la función de estos microorganismos es captar el Nitrógeno del aire y fijarlo en el suelo para ser aprovechado por la planta (Quiroga *et al.*, 2000). Para inocular las semillas de alfalfa se debe preparar una solución adherente con azúcar o algún otro líquido. Mezclar la solución con la semilla y vaciar el contenido de un sobre de inoculante, luego se deja secar la semilla durante 30 minutos, por último, se embolsa y siembra antes de las 24 h, ya que pasado algunos días el inoculante pierde efectividad (Rocabado, 2008).

Las bacterias *Rhizobium* existen en forma natural en el suelo, pero por medio de la inoculación de la semilla, con cepas especialmente seleccionadas, se aumenta la eficiencia de la fijación del Nitrógeno atmosférico y debido a esto crecen los niveles de producción. La inoculación permite ahorrar fertilizante, incrementar la producción del forraje y la duración del cultivo. Existen variedades de alfalfa que ya vienen preinoculadas, las cuales pueden contener otros compuestos como fungicida sistémico y de contacto, micronutrientes esenciales para el periodo de establecimiento, cobertura neutralizante del pH, pigmentos y adhesivos específicos (Márquez *et al.*, 2000).

2.7 Condiciones climáticas y edafológicas que afectan a la producción de forraje

2.7.1 Radiación solar

La radiación solar es responsable de las variaciones estacionales del rendimiento de forraje. En climas templados la mayor producción, se presenta en la estación de verano, esto se debe a que en esta época, la cantidad de radiación solar es inmensa, lo que permite un mejor crecimiento de la planta, y juntamente con la temperatura, influyen favorablemente sobre la tasa de fotosíntesis, creando condiciones para una mayor producción de biomasa, comparada con la temperatura de invierno, en donde la producción de forraje decrece, debido a que hay menor captación de radiación solar y menor actividad de fotosíntesis (Zaragoza, 2000). Así mismo la calidad y periodicidad de la luz influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que estimulan o limitan la germinación, la floración de la planta y otros fenómenos (Lemaire *et al.*, 2000). A medida que el área foliar aumenta, la cantidad de luz interceptada será mayor y, por consecuencia, mayor el crecimiento de las praderas (Hodgson, 1990). La relación entre el crecimiento de las plantas forrajeras y nivel radiación interceptada del área foliar y la acumulación de materia seca, ocurrirá en tanto exista suficiente área foliar para interceptar la radiación solar fotosintéticamente activa (Nascimento Jr, 2007).

2.7.2 Temperatura

La temperatura constituye un importante factor abiótico, que determina la distribución, adaptabilidad y productividad de las plantas; las vías y procesos metabólicos son controlados por enzimas, que tienen su acción catalizada por la temperatura, regulando las tasas de crecimiento y acumulación de materia seca (Da Silva *et al.*, 2008). La semilla de la alfalfa germina a temperatura media de 2.3 °C, a medida que se incrementa la temperatura la germinación es más rápida y alcanza un nivel óptimo entre 28-30 °C. Las temperaturas superiores de 38 °C resultan letales para las plántulas, al comenzar a rebrotar (Infoagro, 2008). Al inicio del invierno

detienen su crecimiento hasta la primavera cuando comienzan a rebrotar. Existen variedades de alfalfa que toleran temperaturas muy bajas de hasta -10 °C. La temperatura media anual para la producción forrajera está en los 15 °C. El rango óptimo de temperaturas, según la variedad, es 18-28 °C (Narváez, 1996).

2.7.3 Requerimientos de agua

Se considera a la alfalfa como una especie resistente a la sequía; sin embargo, esto no significa que no requiera de importantes cantidades de agua para su adecuado desarrollo y producción (Guerrero, 1992). En climas frescos requiere de 450 a 500 milímetros anuales, mientras que en climas cálidos, áridos y desérticos este límite se eleva hasta los 1200 y 1400 mm de agua anualmente (Duarte, 2002). Para obtener un kilogramo de biomasa, la alfalfa requiere 215 litros de agua (Pedroza *et al.*, 2014). Su sistema radicular profundo permite cultivar en secano con precipitaciones de 500 mm al año. La planta necesita riegos de 600 m³/ha cada mes (Altamirano, 2009).

2.7.4 pH

El pH óptimo del cultivo es de 7.2, siendo la acidez un factor limitante para su óptimo comportamiento. Si el pH baja de 6.8, es necesario realizar el encalado (Clementevive, 2010). El encalado contribuyen a incrementar la cantidad de iones de calcio en el suelo disponibles para la planta y reducir la absorción de aluminio y manganeso que son tóxicos para la alfalfa (Jarsum, 1996). Existe una relación directa entre la formación de nódulos y el efecto del pH sobre la alfalfa. Un pH por debajo de 5, afecta la nodulación de la bacteria *Rhizobium meliloti*, ya que es neutrófila (Culto, 1986; citado por Bejar, 1997). Es así que la acidez del terreno determina, la nodulación y, consecuentemente, la nutrición nitrogenada de la planta, la utilización del ión calcio y la absorción de los iones Al y Mn con los posibles efectos tóxicos que ocasiona un exceso de los mismos (Del Pozo, 1983).

2.8 Factores que afectan el rebrote

2.8.1 Reserva de carbohidratos

Los carbohidratos proporcionan la energía para el rebrote de las especies forrajeras perennes o anuales, y estas puedan ser cosechadas varias veces en una misma temporada. Además, ayudan a sobrevivir a las plantas forrajeras durante periodos de sequía, inundación, altas o bajas temperaturas y proporcionar energía para el crecimiento, cuando las condiciones ambientales son favorables (Duthil, 1989). Para el inicio del crecimiento, las plantas utilizan las reservas de carbohidratos, cuando el área foliar residual es nula o insuficiente para producir los foto-asimilados (Volenec, 2005). Los carbohidratos y Nitrógeno en los órganos de reserva como raíces y corona de las plantas, se consideran importantes para iniciar el proceso de rebrote (Briske *et al.*, 1996). Después de una cosecha, el rebrote de las especies forrajeras ocurre por translocación de carbohidratos de raíces y base de tallos, a los meristemas de crecimiento, de esta forma, en algunas especies, los cortes severos reducen la disponibilidad de carbohidratos, provocando una tasa de rebrote lenta y en consecuencia la pradera es invadida por especies arvenses (Hernández *et al.*, 1997). En la alfalfa las reservas de carbohidratos son bajas durante el rebrote, mientras que nuevo renuevo aéreo es producido (Ueno y Smith, 1970). Las plantas deben cortarse cuando el nivel de reservas es suficiente; generalmente, este se alcanza en la fase rápida de crecimiento y cuya acumulación le permite resistir y rebrotar de manera satisfactoria (Duthil, 1989).

2.8.2 Índice de área foliar

El índice de área foliar, es la relación entre la superficie de las hojas presentes por unidad de área de suelo. Este índice varía entre plantas y especies forrajeras y su relación con el crecimiento es modificad por densidad de plantas, tamaño de macollos y altura de las plantas. Conforme aumenta el índice de área foliar se reduce la tasa de crecimiento debido al sombreado mutuo entre las hojas de las plantas (Lemaire,

2001). Conforme aumenta el índice de área foliar, se extiende la cantidad de radiación solar fotosintéticamente activa interceptada por las plantas y las praderas (Hodgson 1990). La importancia del índice de área foliar está en la cantidad de hojas fotosintéticamente activas, que tienen las plantas (Matthew y Hodgson, 1997). Al acumularse las hojas aumenta el índice de área foliar y por lo tanto la capacidad de las plantas y praderas para interceptar la radiación solar (Velasco *et al.*, 2001). Cuando toda la luz recibida es interceptada, la tasa de crecimiento es máxima y el índice de área foliar va a ser el óptimo (Villegas, 2002). La producción y aparición de las hojas, son procesos fundamentales en el crecimiento y desarrollo de una planta, de manera que las hojas tienen una relación con la aparición de nuevos rebrotes (Kirby y Perry, 1987). Al índice de área foliar al cual se intercepta el 95 % de la radiación incidente, se le conoce como índice de área foliar crítico, el 95 % de intercepción luminosa comenzó a utilizarse como criterio de cosecha del forraje desde 1982, como necesidad de hacer una utilización óptima del forraje y de mayor calidad de este (Lemaire y Chapman, 1996).

2.8.3 Meristemos de crecimientos

Se llaman meristemos de crecimiento a las regiones celulares de las plantas, formados por células que son embrionarias, pero cuya multiplicación y diferenciación se forma del resto de los tejidos. Se pueden distinguir entre meristemos primarios, de los que depende el crecimiento en longitud y meristemos secundarios, que producen engrosamiento de los tallos y raíces (Rojas, 1993). La activación de las zonas meristemáticas está influenciada por el balance entre auxinas y citoquininas y, dependiendo de este balance, se va inducir la formación de hojas jóvenes, capaces de producir auxinas, necesarias para promover el desarrollo de nuevo tejido foliar y radical. Activados los meristemos pueden dar origen a un nuevo tejido o a un individuo completo (Bidwell, 1979; Azcon y Talon, 1993). La zona donde se realiza la división celular se encuentra en el ápice de un brote, el montículo central o cono de tejido meristemático, localizado en el extremo final del tallo, se llama meristemo apical. El

ápice del tallo es el sitio de iniciación de hojas y de yemas de macollos, es un componente vital durante el crecimiento vegetativo de los pastos (Briske *et al.*, 1996).

2.9 Tasa de crecimiento del cultivo

La tasa de crecimiento del cultivo, es el producto de la incidencia de luz sobre el dosel vegetal, la cantidad de luz interceptada por el área foliar y la eficiencia en el uso de la energía para la producción de materia seca (Warren, 1981). Esta puede ser medida como cambios en la altura, volumen o peso seco de una planta en el tiempo. Los datos de altura y peso seco de diferentes leguminosas o cultivos, a diferentes intervalos de tiempo, sirven para realizar la curva de crecimiento, para comparar el potencial de crecimiento en determinadas condiciones ambientales o de manejo del cultivo (Hunt, 2002). La curva de crecimiento para cultivos anuales y perennes tienen forma de “S” y es de tipo sigmoide, donde se presentan tres fases principales las cuales son: la fase logarítmica, la fase lineal y la fase de senescencia (Salisbury *et al.*, 2000). El balance entre la tasa de crecimiento y pérdida de tejido de una pradera varía con la estación del año, por lo que el conocimiento de los cambios estacionales en la curva de crecimiento permite establecer la frecuencia de defoliación a la que se deben cosechar las diferentes especies forrajeras, para obtener un alto rendimiento de forraje de buena calidad (Hodgson, 1990).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del sitio experimental

El estudio se realizó de mayo a junio de 2019, durante la estación de primavera, en el área experimental conocida como el bajío de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila. En las coordenadas 25° 23' de Latitud Norte y 101° 00' de Longitud Oeste, a una altitud de 1,783 m. El clima es templado semiseco, con una temperatura promedio de 18 °C. Los inviernos son extremos, predominan temperaturas máximas superiores a 18°C y algunos días con temperaturas mínimos inferiores a 0 °C, con una precipitación media anual de 340 mm (Climate-Data-org, 2010).

3.2 Condiciones meteorológicas

Las temperaturas máximas y mínimas del aire y precipitación acumulada semanal, durante el periodo experimental, se obtuvieron de la estación meteorológica del departamento de Agrometereologia de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada a 1 km del área experimental (Figura 5). La temperatura máxima vario de 28.6 a 32.3 °C, la mínima de 15.5 a 19.1 °C, la media de 22 a 25.7 °C y se registró una precipitación total de 84.9 mm, durante la estación de crecimiento y cortes subsecuentes. Las temperaturas registradas, indican que las plantas estuvieron sujetas a condiciones térmicas favorables para su crecimiento.

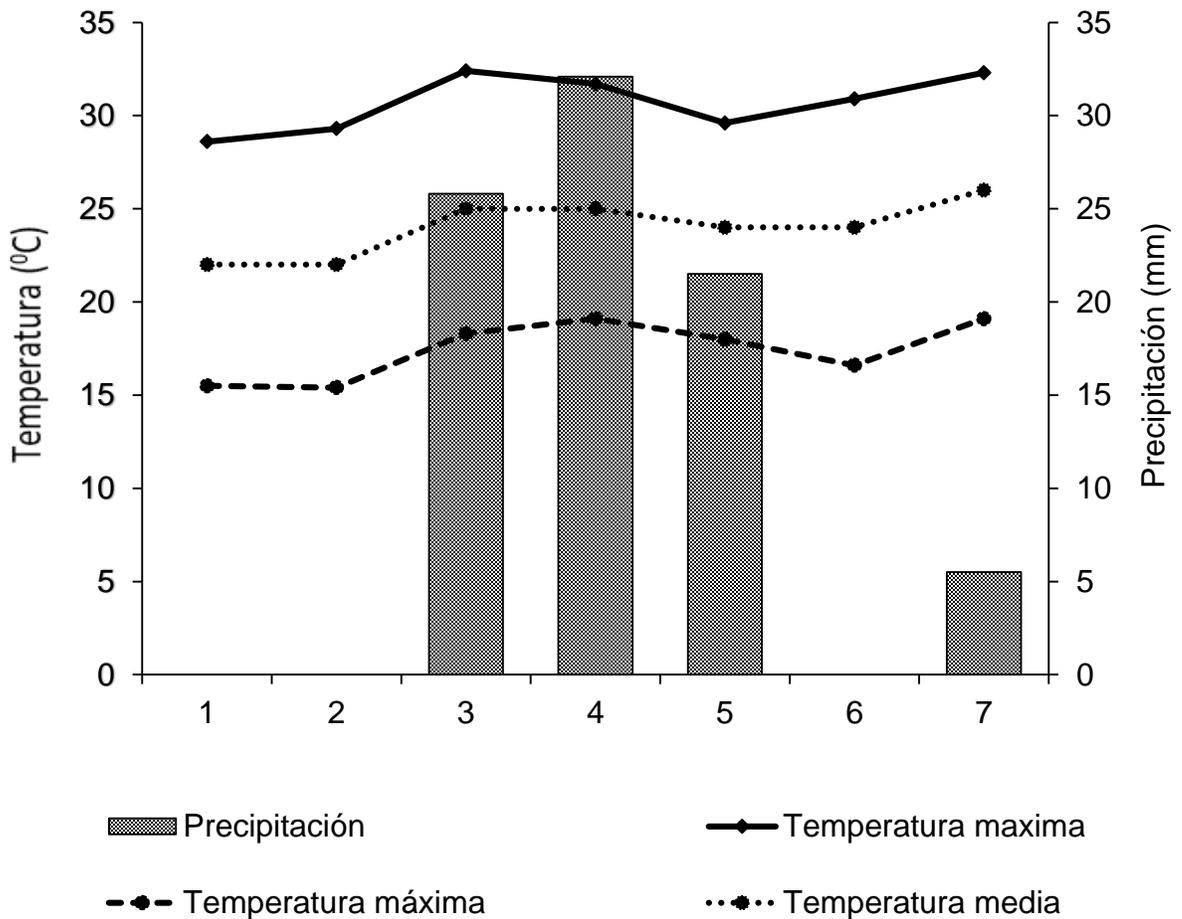


Figura 3. Distribución de la precipitación (barras grises), temperatura máxima (Línea continua), temperatura mínima (línea punteada barra) y temperatura media (línea punteada puntos) durante el periodo experimental (04 de mayo al 21 de junio de 2019).

3.3 Manejo de la parcela

Se utilizó una pradera de alfalfa (*Medicago sativa* L.) establecida el 04 de Febrero de 2019 y se le programaron riegos subterráneos con cintilla cada 15 días durante la época de estiaje. La cintilla se ubicó a 25 cm de profundidad, a 65 cm de separación.

El área se dividió en 42 parcelas de 9 m² (3 x 3 m), donde se sembró la semilla de alfalfa, al término de la siembra la semilla se inoculó por aspersión (15 ml por parcela). Al inicio del experimento se realizó un corte de uniformización (4 de mayo de 2019), a una altura promedio de 5 cm a ras del suelo, y consecuentes cosechas durante siete semanas.

3.4 Variables evaluadas

3.4.1 Altura de planta

Para estimar la altura promedio, de las plantas de alfalfa, antes del corte se tomaron 10 lecturas al azar de altura por repetición. Para ello, se utilizó el método de la regla graduada, donde la parte inferior de la regla (0 cm) quedara a nivel de suelo y posteriormente se contaron los centímetros hasta el componente más alto de la planta. Se determinó el promedio de la altura por repetición

3.4.2 Rendimiento de forraje

Para determinar el rendimiento de forraje por semana, se cortó el forraje presente en dos cuadros de 0.25 m² (50 x 50 cm), por repetición, por tratamiento, ubicados al azar dentro de la unidad experimental, a una altura de forraje residual de 5 cm sobre el suelo. El forraje obtenido se depositó en bolsas de papel previamente identificadas, y se sometió a un secado en una estufa de aire forzado, a una temperatura de 55 °C durante 72 horas, hasta alcanzar un peso constante y se registró el peso de la materia seca (MS), posteriormente se determinó el rendimiento por unidad de superficie (kg MS ha⁻¹).

3.4.3 Composición botánica y morfológica

Para determinar la composición botánica, se utilizó una submuestra (aproximadamente 10 %) del forraje cosechado para rendimiento de forraje, separando

los componentes botánicos, alfalfa y malezas. La alfalfa se separó en sus componentes morfológicos: hojas, tallos, material muerto y flor. Cada componente fue secado por separado en una estufa de aire forzado, a una temperatura de 55 °C durante 72 h y se determinó su peso seco.

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

$$PMC = \frac{(COMP * 100)}{R}$$

Dónde:

PCM = Porcentaje por componente morfológico (%).

COMP = Sub-muestra del componente separado por especie.

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

3.4.4 Relación hoja:tallo (R:H/T)

Los datos originados a partir de la composición morfológica (hoja y tallo) de las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.), fueron utilizados para estimar la relación hoja/tallo, la cual se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$H:T = \frac{H}{T}$$

Dónde:

H: T = Relación hoja/tallo.

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

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

3.4.5 Área foliar por tallo

Para estimar el área foliar por tallo ($\text{cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$), en cada parcela, se cortaron a ras de suelo diez tallos de alfalfa y se separaron en tallo y hoja. Las hojas se colocaron en un integrador de área foliar marca CID, Inc., modelo CI-202 de escáner, del cual se obtuvieron las lecturas de área foliar en cm^2 y se dividieron entre diez para obtener el área foliar por tallo.

3.4.6 Radiación interceptada

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

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

3.5 Tratamientos y diseño experimental

El modelo utilizado fue bloques al azar con dos tratamientos (Alfalfa inoculada y sin inocular), con cortes sucesivos cada semana. Las frecuencias de corte se asignaron al azar siguiendo los principios de un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones.

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

Donde:

Y_{ij} = Valor de la variable de estudio

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

β_j = Efecto del j-ésimo bloque

ε_{ij} = Error estándar de la media

El análisis estadístico fue ANOVA con el procedimiento GLM de SAS (Statiscal Analysis System Versión 9.0 para windows). La comparación de medias se realizó mediante la prueba Tukey con un nivel de significancia de 5 %. Los coeficientes de regresión respectivos para cada variable se obtuvieron con el programa Microsoft Excel, versión 2013.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento de forraje y tasa de crecimiento

En la figura 4 se muestra el rendimiento de forraje y tasa de crecimiento de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), variedad Premium, inoculada (A) con bacterias del genero *Rhizibium*, y sin inocular (B). En ambos tratamientos el rendimiento de forraje se incrementó de la semana uno a la semana siete, presentando diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$; Cuadro 5), lo cual es corroborado por los promedios de los tratamientos dentro de cada semana, donde la semana siete expresa el mayor valor con 4,638 y los menores en las semanas 1 y 2 con 538 y 1,176 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Sin embargo, los promedios de las siete semanas nos muestran que no hay diferencias estadísticas ($p > 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 5) en la alfalfa inoculada (Figura 4A) la mayor producción de forraje se presentó en las semanas 5, 6 y 7 con un promedio calculado de 4,060 kg MS ha⁻¹, mientras en la sin inocular (Figura 4B), en la semana siete con 4,768 kg MS ha⁻¹. Así mismo los valores menores en la inoculada fue en la semana 1 con 588 kg MS ha⁻¹ y en la sin inocular en las semanas 1 y 2 con 488 y 1,000 kg MS ha⁻¹ respectivamente.

El promedio de rendimiento de forraje obtenido en esta investigación (2,624 kg MS ha⁻¹) son similares a los reportados por Soetrismo *et al.* (1994), con valores de 3,568 y 2,726 kg MS ha⁻¹ durante cortes llevados a cabo en las estaciones de otoño y primavera. La mayor acumulación de forraje en la alfalfa inoculada y sin inocular probablemente está relacionado con la edad de rebrote y las condiciones de temperaturas, las cuales se incrementaron a medida que transcurrió el experimento, de 22 a 26 °C (Temperatura media; Figura 3) y por lo tanto el crecimiento y desarrollo de las plantas fue mejor. Al respecto, López-Castañeda y Richards (1994) indican que la temperatura es uno de los factores que más incide en el crecimiento y desarrollo de las plantas, afectando los procesos de crecimiento, expansión foliar, tasa de asimilación neta, tasa de aparición de hojas y tasa relativa de crecimiento, así como el proceso de desarrollo. Por su parte Mendoza (2008), menciona que en cortes

frecuentes pueden afectar la persistencia de la pradera, probablemente por una considerable y constante reducción en la reserva de carbohidratos.

La tasa de crecimiento (TC) en ambos tratamientos no se presentaron diferencias entre semana de rebrote ($p > 0.05$). Entre tratamientos solo se presentaron diferencias ($p < 0.05$) en la semana 3, donde la mayor TC correspondió a la alfalfa sin inocular con $102 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ y la menor a la inoculada con $94 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. No obstante en la semana 5 la situación fue a la inversa, la mayor TC fue para la inoculada ($111 \text{ kg MS ha}^{-1}$) y la menor para la sin inocular (99 kg MS ha^{-1}). Mendoza (2008), aprecio TC para alfalfa en la temporada de primavera que iban de 79 a $112 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ comparando con los de este estudio el promedio ($91 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, Cuadro 6) de la alfalfa inoculada y sin inocular las tasas de crecimiento obtenidas son similares. Mientras Rojas *et al*, (2016) para cinco variedades comerciales de alfalfa registraron una tasa de crecimiento estacional y promedio anual de $50 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ en la estación de primavera quedando por encima los valores encontrados en la alfalfa inoculada de $94 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ y para la alfalfa sin inocular de $89 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$.

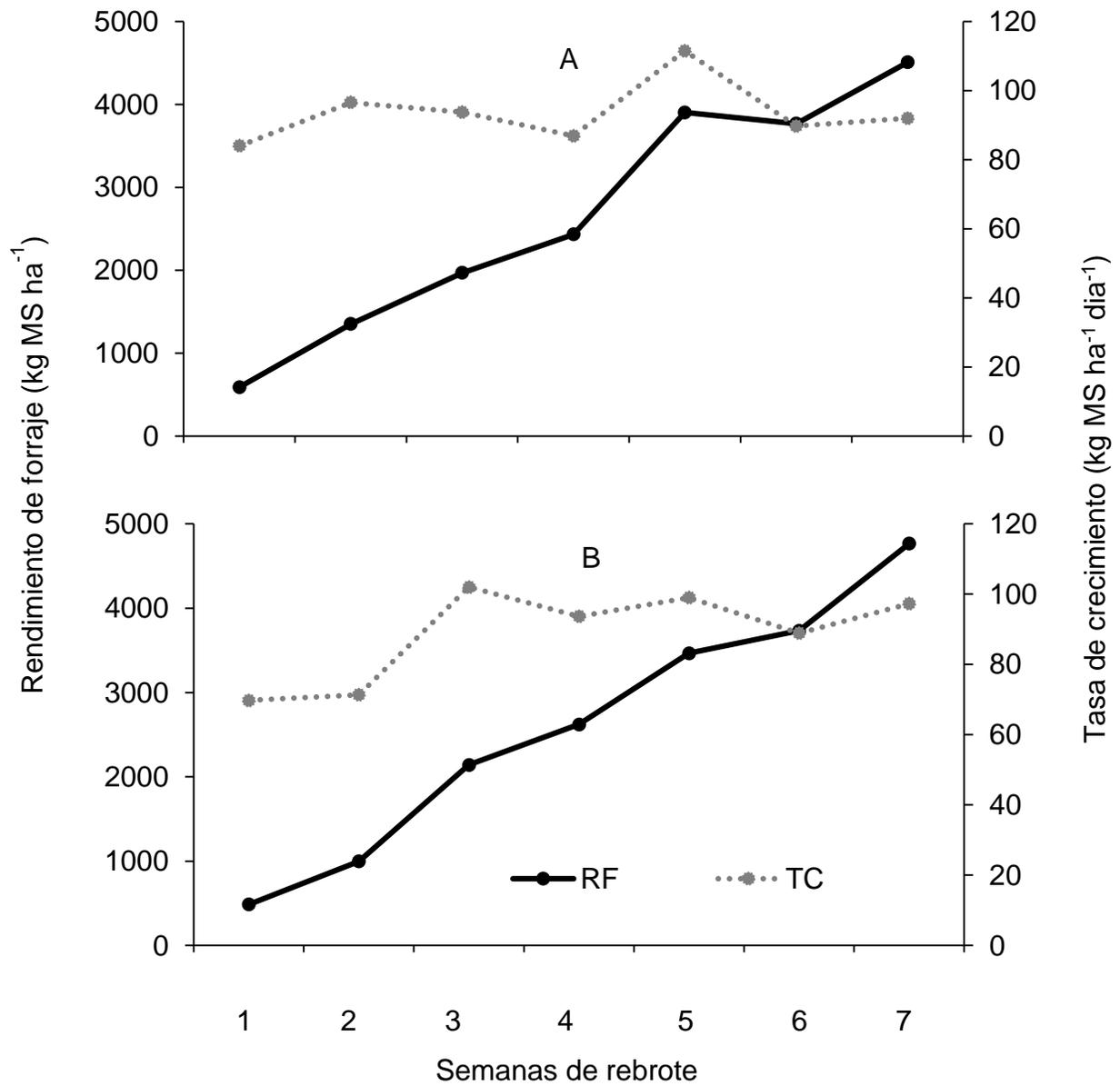


Figura 4. Rendimiento de forraje (RF=kg MS ha⁻¹) y tasa de crecimiento (TC= kg MS ha⁻¹ día⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.), inoculada (A) y no inoculada (B), en la estación de primavera.

4.2 Composición botánica y morfológica

La composición botánica y morfológica de la alfalfa inoculada y sin inocular se muestra en las figuras 5 y 6. Independientemente del tratamiento, la hoja constituyó la mayor proporción en la pradera, durante todo el estudio, representando valores superiores al 50 % (Cuadro 7), lo que podría reflejar la calidad nutritiva del forraje que se tiene en la parcela (Rojas *et al.*, 2016). En la semana 2 se registró el mayor porcentaje promedio de este componente (59 %; Cuadro 7), mientras el menor en la semana siete con 44 % promedio, lo que nos indica que su presencia bajo conforme la planta fue creciendo y que se ve reflejado en la relación hoja:tallo (Figura 7). Al respecto, Rojas (2011), observó en su estudio que la alfalfa constituyó más del 90 % de la especie deseable.

Por el contrario, el tallo respecto a la hoja, incremento el porcentaje de aportación al rendimiento conforme avanzó el experimento y la planta fue avanzando en edad. Esté, aumento de un 22 % en la semana 1 a 40 % en la semana siete, en promedio de ambos tratamientos. Por su parte, el material muerto presentó un alto porcentaje de parencia al inicio del experimento (Semana 1; 11 %), el cual fisiológicamente no es el esperado, lo cual puede ser atribuible al erro experimental, ya que se colectaban residuos del corte de uniformización del cultivo. Sin embargo, a partir de la semana seis y siete, al final del experimento, el aporte del material muerto presentó valores superiores a los registrados en semanas anteriores a excepción de la semana uno, con valores que van desde 6 a 10 %. Por su parte la maleza, tuvo un porcentaje elevado en la semana uno en ambos tratamientos con un valor promedio de 16 %, lo que puede ser explicado por la poca cobertura de suelo por la planta, debido a su corta edad de rebrote (Álvarez, 2011). Sin embargo, en el tratamiento sin inocular tuvo un realce en la última semana del estudio con 8 %. De acuerdo con Teixeira *et al.*, (2007), esto puede ser el caso de praderas donde la presencia de maleza se incrementa con el tiempo de establecimiento, por efecto de la frecuencia de tiempo.

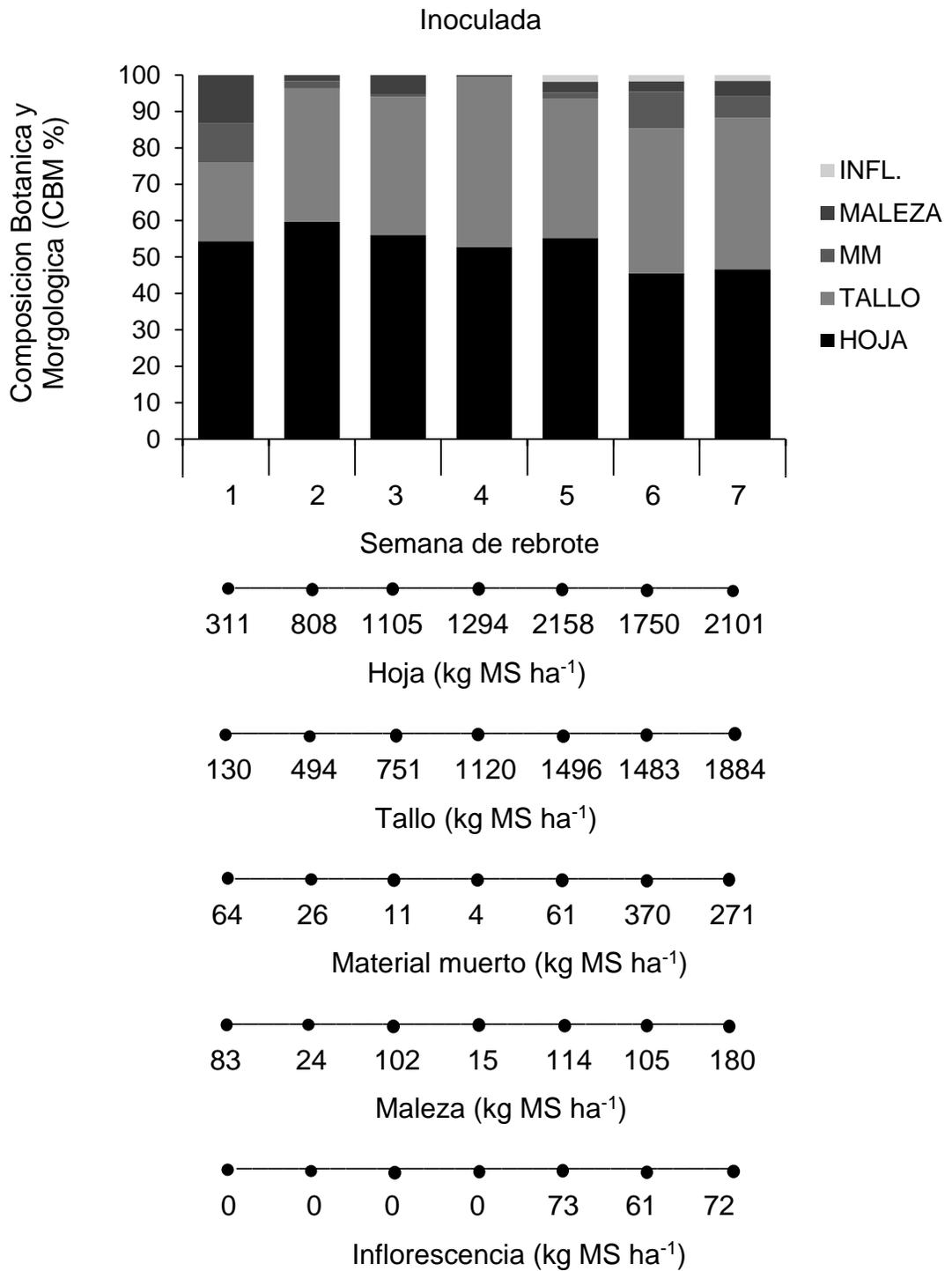


Figura 5. Cambios morfológicos de alfalfa (*Medicago sativa* L.) inoculada con una cepa del Rizobium, y cosechada a diferentes semanas de rebrote, en la estación de primavera.

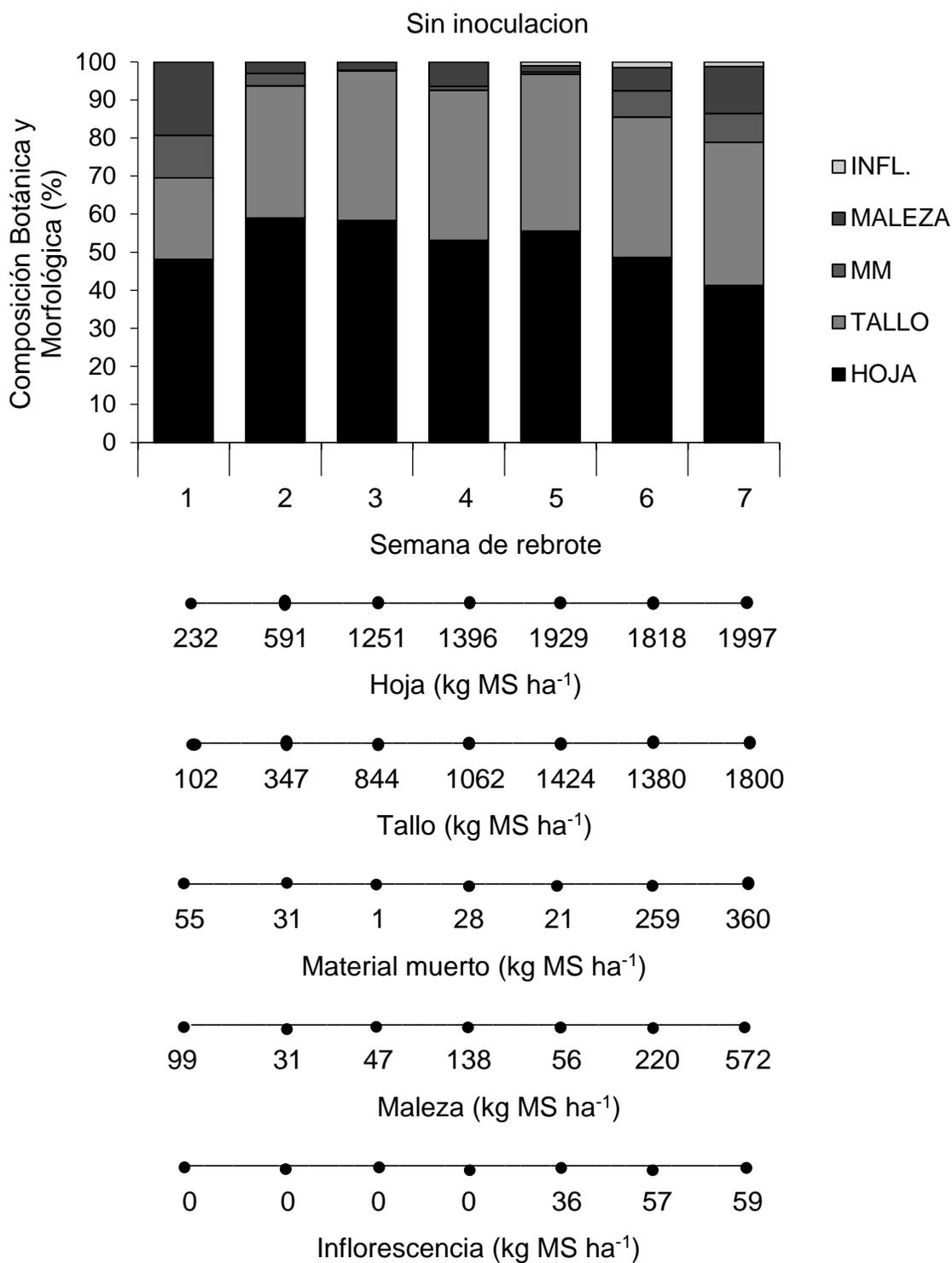


Figura 6. Cambios morfológicos de alfalfa (*Medicago sativa* L.) no inoculada, cosechada a diferentes semanas de rebrote, en la estación de primavera.

4.3 Relación hoja:tallo (R:H/T)

En la figura 7 se muestra la relación existente entre la cantidad de hoja respecto al tallo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), variedad Premium, inoculada (A) con una bacteria del genero *Rhizibium*, y sin inocular (B). En ambos tratamientos la relación hoja/tallo fue decreciendo de la semana uno a la semana siete, presentando diferencia significativa ($p < 0.01$ Cuadro 10), lo cual lo podemos reafirmar con los promedios de los tratamientos dentro de cada semana, donde la semana uno expresa el mayor valor con 2.4 y el menor valor en la semana siete con 1.1. En cambio los promedios de las siete semanas nos muestran que no hay diferencia estadística ($p > 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 10), tanto en la alfalfa inoculada y sin inocular la mayor relación hoja/tallo se presentó en la semana 1. Así mismo el valor menor en la alfalfa inoculada se presentó a partir de la semana dos a la siete con un promedio calculado de 1.3 y la alfalfa sin inocular en la semana siete con 1.1. En comparación con otra investigación (Zaragoza *et al.*, 2009), reportan resultados de relación hoja/tallo para alfalfa con valores promedio de 1.1 a 0.5 en la semana 1 y 8 respectivamente, quedando por encima el promedio encontrado en esta investigación con 1.5. Esto en consecuencia indica que en la alfalfa la hoja se presenta en mayor porcentaje, a pesar de que el tallo aumento su producción con respecto a la hoja conforme aumento la edad de la planta, pero la relación nunca fue inferior a uno (Figura 7).

El mayor rendimiento de materia seca de la hoja de la alfalfa inoculada se presentó en la semana cinco con 2,158 kg MS ha⁻¹ (Figura 5), mientras en la sin inocular se presentó en la semana siete con 1,997 kg MS ha⁻¹ (Figura 6). Para ambos tratamientos la menor cantidad de hoja fue en la semana uno con 311 y 232 kg MS ha⁻¹ respectivamente. Respecto al tallo tenemos un valor máximo de 1,884 kg MS ha⁻¹ en la semana siete y el valor mínimo es de 130 kg MS ha⁻¹ en la semana uno, para la alfalfa inoculada (Figura 5), y para la alfalfa sin inocular tenemos un valor máximo de 1,800 kg MS ha⁻¹ y el valor mínimo es de 102 kg MS ha⁻¹ en la semana uno, esto lo podemos observar en la (Figura 6).

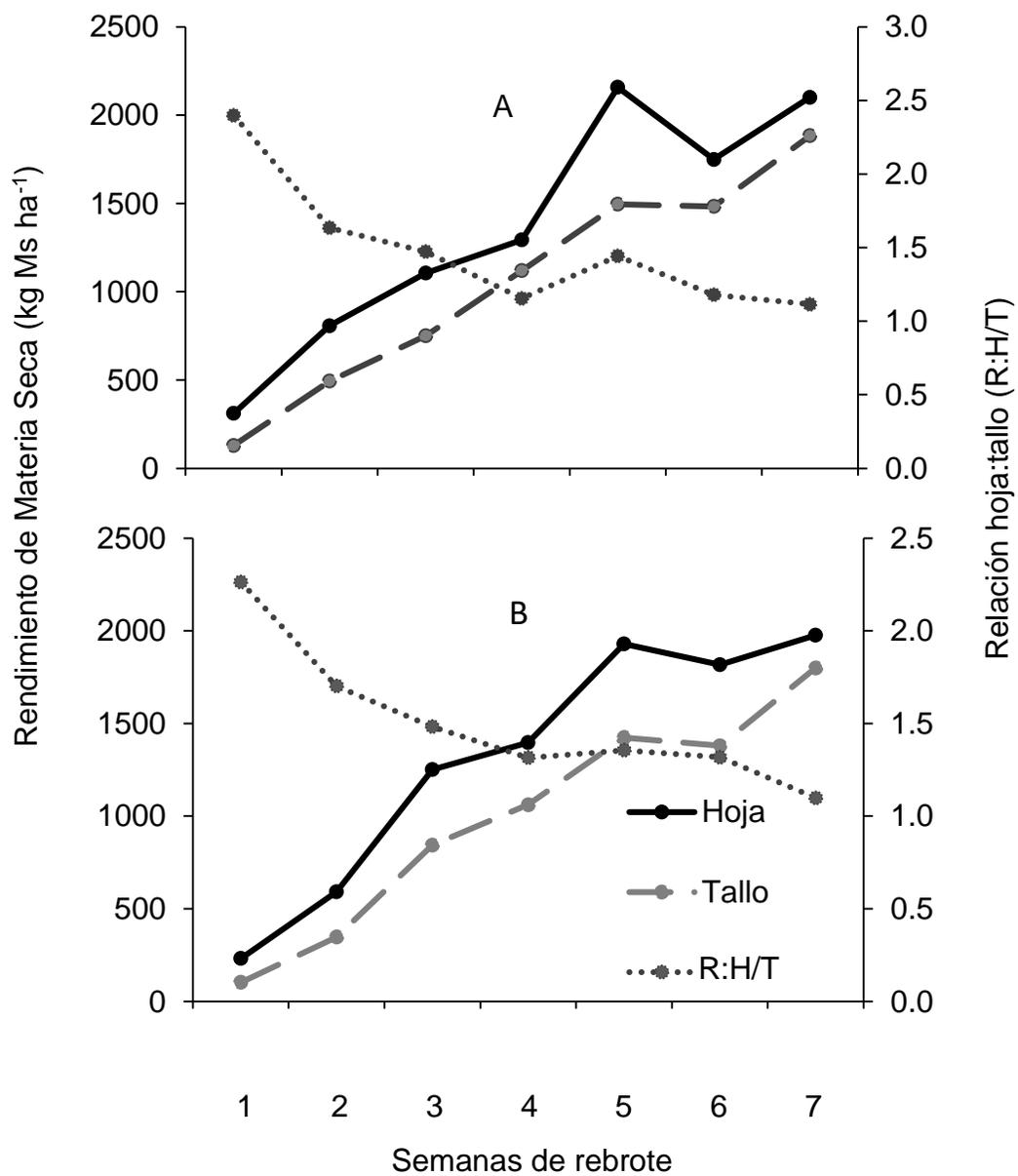


Figura 7. Rendimiento de materia seca y relación hoja/tallo de alfalfa (*Medicago sativa* L.), inoculada (A) y no inoculada (B) en la estación de primavera.

4.4 Relación de tasa de crecimiento entre rendimiento de materia seca, altura de planta, peso de hoja, peso de tallo y luz interceptada con regla.

En el cuadro 4 se observan los coeficientes de regresión (R^2) entre la tasa de crecimiento y rendimiento de materia seca, altura de planta, peso de hoja, peso de tallo y luz interceptada con regla de alfalfa (*Medicago sativa* L.), inoculada y sin inocular en la estación de primavera. La alfalfa inoculada y no inoculada presentaron una estrecha relación entre la tasa de crecimiento y rendimiento de materia seca, altura de planta, peso de hoja, peso de tallo y luz interceptada con regla, mientras mayor es la tasa de crecimiento mayor fue el rendimiento de materia seca, altura de planta, peso de hoja, peso de tallo y luz interceptada con regla. La tasa de crecimiento presentó variaciones durante las semanas de rebrote (Figura 4), el factor principal fue la edad de la planta y las condiciones de mayor temperatura y horas luz, conforme se acercaba el verano. Al respecto, se ha indicado que conforme se aumenta el índice de área foliar se incrementa la cantidad de luz interceptada, y con ello, la tasa de crecimiento (Sage y Kubein, 2007).

De acuerdo con Horrocks y Vallentine, (1999) la capacidad que posee una pradera para producir materia seca, va a depender de las condiciones ambientales (nutrientes, clima) y, principalmente, la intercepción de la radiación solar por las hojas. Entre mayor sea la cantidad de hojas se va a tener una mayor intercepción de luz, pero las hojas en los estratos inferiores reciben menor intensidad y calidad de luz, por lo que provocan la reducción del crecimiento o de la tasa de asimilación neta; por ello, el mayor rendimiento de los forrajes, coincide con el mayor índice de área foliar y la mayor masa foliar verde (Morales et al., 2006). Después de que se alcanza el índice de área foliar óptimo, las hojas basales no reciben suficiente luz, convirtiéndose en hojas amarillentas y senescentes, las cuales llegan a morir, y en tal caso, se puede tener un crecimiento neto negativo (Hodgson, 1990).

Cuadro 4. Coeficiente de regresión (R^2), de Tasa de Crecimiento (TC) con Rendimiento de Materia Seca (RMS), Altura de Planta (AP), Peso de Hoja (PH), Peso de Tallo (PT) y Luz Interceptada con regla (Llr) de alfalfa (*Medicago sativa* L.), inoculada y sin inocular en la estación de primavera.

Variables	Inoculado	Sin inocular
TC vs RMS (R^2)	0.98	0.98
TC vs AP (R^2)	0.94	0.99
TC vs PH (R^2)	0.96	0.86
TC vs PT (R^2)	0.93	0.96
TC vs Llregla (R^2)	0.90	0.82
PROMEDIO	0.94	0.92

TC=tasa de crecimiento; RMS=rendimiento de materia seca; AP=altura de planta; PH=peso de hoja; PT=peso de tallo; Llr=luz interceptada con regla.

V. CONCLUSIONES

Con el aumento de la edad de rebrote el rendimiento de forraje se incrementó, alcanzando el máximo rendimiento en la semana siete, y guardando una relación directa con las variables evaluadas a excepción de la relación hoja:tallo. No obstante, no se observó efecto del inoculante de la cepa *Rhizobium* en el comportamiento productivo de alfalfa.

El componente morfológico que más contribuyó al rendimiento de forraje fue la hoja, en segundo lugar, el tallo, seguido por la maleza, material muerto y la inflorescencia.

VII. LITERATURA CITADA

- Altamirano, G. 2009.** Evaluación agronómica de una variedad y cinco híbridos de alfalfa (*Medicago sativa*). Tesis de Grado, Ingeniero Agrónomo. Ambato – Ecuador. Universidad Técnica de Ambato. 98p.
- Anrique, R., Fuchslocher, R., Iraira, S. & Saldaña, R. 2008.** Composición de alimentos para el ganado bovino. 3ª edición. Universidad Austral de Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias-CRI Remehue, Consorcio Lechero. 87 pp.
- Arias, C. H. 1990.** Evaluación agronómica de 10 variedades de alfalfa (*Medicago sativa*) bajo riego en la región de Celaya, Guanajuato. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Pp. 12 – 16.
- Azcon, B. J. y Talon, M. (1993).** Fisiología y Bioquímica Vegetal. Ed. Interamericana McGraww-Hill. Madrid, España. 581 p.
- Barth, H. K. 1995.** Resource conservation and preservation through a new subsurface irrigation system. In: Lamm, F. R. (ed.). Micro irrigation for a changing world: conserving resources/preserving the environment. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress. ASAE. Orlando, Florida. 168-174 p.
- Bejar, Hinojosa, M. 1997.** Rendimiento y calidad de semilla de alfalfa (*Medicago sativa* L.) bajo diferentes niveles de fertilización y densidades de siembra. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. Tesis de Maestría.
- Bouton, J. H. 2001.** Alfalfa. In: Proceedings of the XIX International Grassland Congress. Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil. 545-547 p.
- Briske, D.D., Boutton, T.W., Wang, Z. 1996.** Contribution of flexible allocation priorities to herbivore tolerance in C4 perennial grasses: an evaluation with ¹³C labelling. *Oecologia* 105, 151–159.

- Calviño, P.; Cirilo, A.G.; Caviglia, O. & Monzón, J.P. 2005.** Resultados de intercultivo de maíz y soja en tres regiones maiceras argentinas. VIII Congreso Nacional de Maíz. Rosario, Argentina.
- Camp, C. R. 1988.** Subsurface drip irrigation: A review. *Trans ASAE*. 41(5):1353-1367.
- Camp, C. R.; Lamm, F. R.; Evans, R. G. y Phene, C. J. 2000.** Subsurface drip irrigation - past, present and future. In Evans, R. G.; Benham, B.L. and Trooien T. P. (eds) *Proceedings of the 4th Decennial National Irrigation Symposium*, Published by ASAE. Phoenix AZ. 363-372 p.
- Chen, J. S., F. L. Tang, R. F. Zhu, C. Gao, G. L. Di, and Y. X. Zhang. 2012.** Effects of cutting frequency on alfalfa yield and yield components in Songnen Plain, Northeast China. *Afr. J. Biotechnol.* 11: 4782-4790.
- Chimicz J. 1988.** Los sistemas de producción de leche en Argentina. *Revista Argentina de Producción Animal*. 8. 2. Balcarce. AR. pp. 155-168.
- Clavijo, E. y Cadena, P. 2011.** Producción y calidad nutricional de la alfalfa (*Medicago sativa*) sembrada en dos ambientes diferentes y cosechada en distintos estadios fenológicos. Universidad de la Salle. Tesis. Bogotá, Colombia. 35 pp.
- Clementeviven. 2010.** La Alfalfa (en línea). Consultado 26 de septiembre de 2010. Disponible en: http://area-web.net/clementeviven/?page_id=32
- Da Silva S., C., Nascimento Junior, D. Do, Euclides, V. P. B. (2008).** *Pastagens: conceitos básicos, produção e manejo*. Viosa, MG: Suprema. 115 p.
- Da Silva, S., Hernández, G. 2010.** Manejo del pastoreo en praderas tropicales. En: *Los forrajes y su impacto en el trópico*. Velasco ME editor, Chiapas, México: UNACH.
- Danelón, J. 2006.** Cubos y pellets de alfalfa en la alimentación animal. En: INTI. *Jornada Técnica Proyecto Alfalfa 2010*. Buenos aires, Argentina. 47 pp.

- Del Pozo, M. 1983.** La Alfalfa. Su Cultivo y Aprovechamiento. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 380 p.
- Duthil, J. (1989).** Producción de forrajes. Editorial Mundi prensa. Madrid, España.367 p.
- FAOSTAT, 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO
<http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>
- Fuente: FAOSTAT, 2019.** <http://www.fao.org/faostat/>.
- Fuente: SIACON-SIAP-SAGARPA, 2018.**
- Guerrero A. 1992.** Cultivos Herbáceos extensivos. Quinta edición. Editorial MundiPrensa. México D.F. p 24
- Hanson, C. H. 1972.** Alfalfa Science and Technology. American society of agronomy.
- Hawkins, C. & Long, X.** Recent progress in alfalfa (*Medicago sativa* L.) genomics and genomic selection. *The Crop Journal*. 6:565-575, 2018.
- Heath, Maurice E., Darrel S. Metcalfe y Robert F. Barnes. 1974.** Forages. 3rd. Ed. The Iowa State University Press, Ames, Iowa. U.S.A. 755 pgs.
- Hernández, G. A. y Martínez, H. P. A. 1997.** Utilización de pasturas tropicales. En: Torres H. G. y Díaz, R. P (Eds.) Producción de ovinos en zonas tropicales. Fundación Produce-Inifap. 8-24 p.
- Hodgson, J. 1990.** Grazing management. Science into practice. Longman Scientific and Technical, Harlow, England.
- Hodgson, J. G. 1990.** Grazing management. Science into practice. Longman Scientific & Technical. Harlow, England. 204 p.
- Horrocks, R. D. y Vallentine, J. F. 1999.** Harvested Forages. Academic Press. Oval Road, London. United Status of America. 426 p.

- Hughes, H. D., Henson, R. E. y Metcalfe, S. D. 1984.** Forrajes. La Ciencia de la Agricultura Basada en Producción de Pastos. Editorial Continental S.A. de C.V. México.
- Hunt, R. 2002.** A Modern Tool for Classical Plant Growth Analysis. *Ann. Bot.* 90, 485–488.
- INATEGA, 2011.** Tablas de contenido en fósforo en forrajes en España. Castilla y León, España. 10pp.
- Infoagro, 2008.** <https://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa.htm>
- Infoagro. 2015.** (www.infoagro.com).
- Jahn, E, Vidal, A. & Soto, P. 2000.** Sistema de producción de leche asado en alfalfa (*Medicago sativa*) y maíz (*Zea mays*) para la zona centro sur. II Consumo y calidad del forraje. *Agricultura Técnica* 60 (2): 99-111.
- Kirby, E. J. M. and Perry, M. W. 1987.** Leaf emergence rates of wheat in a Mediterranean environment. *Australia Journal of Agricultural Research*. 455-464 p.
- Lemaire, G., and Chapman, D. (1996).** “Tissue flows in grazed plant communities.” In Hodgson, J. and Illius, A.W., Eds., *The ecology and management of grazing systems*. Wallingford: CAB International: 3-36.
- Lemaire, G., Hodgson, J., De Moraes, A., Carvalho, P. C. de F. and Nabinger C. 2000.** *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. Cab International. 422 p
- Li, X., Wei, Y., Moore, J. K., Michaud, R., Viands, R. D., Hansen, L. J., Acharya,
- Li, X.; Brummer, E.C.2012.** Applied Genetics and Genomics in Alfalfa Breeding. *Agronomy*, 2, 40-61.

- López, A. 2011.** Evaluación de diferentes niveles de vinaza aplicados basalmente en la producción forrajera del Medicago sativa (Alfalfa). Escuela de Ingeniería eniería Zootécnica. Tesis. Riobamba, Ecuador. 106 pp.
- Mendoza, P. S.I., (2008).** Dinámica de crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferente frecuencia de corte. Tesis de maestría. Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, Texcoco Ed. De México
- Morales, A. J.; Jiménez, V. J. L.; Velasco, V. V. A.; Villegas, A. Y.; Enríquez, V. J. R. y Hernández, G. A. 2006.** Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertiriego en la mixteca de Oaxaca. Téc. Pec. Méx. 44(3):277-288.
- Moreno, S. G. y Talbot, W. L. M. 2006.** Fertilización equilibrada de la alfalfa. Departamento Técnico. Stoller, Argentina. 10pp. www.stoller.com.ar. Consultado el 14 de Enero 2012.
- Muslera, P. E. y G. Ratera C. 1991.** Praderas y Forrajes, Producción y Aprovechamiento. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 674 p.
- Odorizzi AS. 2015.** Parámetros genéticos, rendimiento y calidad forrajera en alfalfas (*Medicago sativa* L) extremadamente sin reposo con expresión variable del carácter multifo-liolado obtenidas por selección fenotípica recurrente. Tesis Doctoral. Argentina: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. 150 p.
- Parsi, J., Godio, L., Miazzi, R., Maffioli, R., Echevarría., A. & Provensal, P. 2001.** Valoración nutritiva de los alimentos y formulación de dietas. Cursos de Producción Animal, FAV UNRC. Argentina. 32 pp.
- Pedroza Sandoval, A., Ríos- Flores, J., Torres Moreno, M., CANTÚ BRITO, J., Piceno Sagarnaga, C. & Yáñez Chávez, L. 2014.** Eficiencia del agua de riego en la producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) y alfalfa (*Medicago sativa*): impacto social y económico. Terra Latinoamericana 32(3): 231-239.

- Quiroga, G., Cueto J. A., Castro M. y Moreno A. 2000.** Guía para Cultivar Alfalfa en la Región Lagunera. Folleto para Productores No. 15 CIFAP-Región Lagunera. México.
- Quiroga, H. 2013.** Tasa de acumulación de materia seca de alfalfa en respuesta a variables climatológicas. Revista mexicana de ciencias agrícolas 4 (4): 503-516.
- Rebora, C., Barros, A., Iburguren, L., Bertona, A., Antonini, C. & Arenas, F. 2015.** Efecto del grado de reposo invernal de alfalfa (*Medicago sativa* L.) sobre el rendimiento de heno en el oasis norte de Mendoza. Rev. FCA UNCUYO 47 (2): 43- 51.
- Research and markets, 2018.** Global Alfalfa Hay Market - Segmented by Type, application and Geography - Growth, Trends, and Forecast (2018 - 2023)
- Robles, S., R. 1981.** Producción de Granos y Forrajes. 2ª Edición. LIMUSA. México. 592 p.
- Robles, Sánchez R. 1985.** Producción de Granos y Forrajes. Editorial Limusa. México.
- Rocabado, M. 2007.** Manual de cultivo de alfalfa dormante (en línea). Bolivia – La Paz Consultado el 18 de Abril del 2011. Disponible en: <http://www.promarena.org.bo/PublicacionesPromarena/Manual%20Alfalfa%20Dormante.pdf>
- Rodríguez J. A. 1986.** Mejoramiento genético de la alfalfa. En: C. Bariggi, V. L. Marble, C. D. Itria y J. M. Brun (ed) Investigación, Tecnología y Producción de Alfalfa. INTA, Colección Científica, Bs. As., pp. 251-323
- Rojas, G. A. R., Hernandez, G. A., Joaquin, C. S., Maldonado, P. M. A., Mendoza, P. S.I., Álvarez, V. P y Joaquin, T. B. M. 2016.** Comportamiento productivo de cinco variedades de alfalfa. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. 7, 1855-1866 pp

- Rojas, G. M. 1993.** Fisiología Vegetal Aplicada. 4ª Edición. Editorial Interamericana McGraw-Hill. México. 275 p.
- Sabancı, C , Ertus, M , Celebi, S . 2013.** Collection, Conservation and Evaluation for Forage Yield of Alfalfa Landraces Grown in East Anatolia. Turkish Journal OfFieldCrops,18(1),46-51.Retrievedfrom <https://dergipark.org.tr/en/pub/tjfc/issue/17122/179041>
- Sage, F. R. and Kubein, S. D. 2007.** The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. Plant Cell Environ 30:1086-1106.
- Sakiroglu, M., Charles Brummer, E. 2013.** Presence of phylogeographic structure among wild diploid alfalfa accessions (*Medicago sativa* L. subsp. *microcarpa* Urb.) with evidence of the center of origin. *Genet Resour Crop Evol* **60**, 23–31. <https://doi.org/10.1007/s10722-012-9811-0>
- Salisbury, F.B., Ross, C.W., Alonso, J.M. 2000.** Fisiología de las plantas: Células: agua, soluciones y superficies Ed. Thomson. Paraninfo. Pp. 305.
- Sánchez, J. 2005.** Rendimiento y calidad de la alfalfa mediante la aplicación de fósforo y riego por goteo subsuperficial. Universidad Autónoma Agraria. Tesis. Torreón, Coahuila, México. 81pp.
- SIACON-SIAP. (2020).** Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta SIACON-NG 1980-2018.
- SIAP-SADER, 2020** .<https://www.gob.mx/siap/articulos/alfalfa-verde-produccion-comercio-exterior>
- Teixeira, E. I., M. Derrick J., B. Hamish B., and A. Fletcher L. 2007.** The dynamics of lucerne (*Medicago sativa* L.) yield components in response to defoliation frequency. *Eur. J. Agron.* 26: 394-400.

- Ueno, M. and Smith, D. 1970.** Growth and carbohydrate changes in the root wood and bark of different sized alfalfa plants during regrowth after cutting. *Crop Science*. 396-399 p.
- UFFO, O. 2011.** Producción animal y biotecnologías pecuarias: nuevos retos. *Revista de Salud Animal* 33 (1): 8-14.
- USDA, 2017.** U.S. Alfalfa Hay Exports to China Climb. GAIN Report USDA Foreign Agricultural Service
- Vázquez, V.C., J.L. García, E. Salazar. 2010.** Rendimiento y valor nutritivo de forraje de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con diferentes dosis de estiércol bovino. *Revista GBIF* (2019). GBIF Backbone Taxonomy. Checklist *Medicago sativa* L. Global Biodiversity Information Facility. <https://doi.org/10.15468/39omei> accessed via GBIF.org on 2019-12-05.
- Volenec, J.J., Nelson, C.J. 1983.** Responses of tall fescue leaf meristem to N fertilization and harvest frequency. *Crop Sci.* 23, 720–724.
- Warren WJ.** Analysis of growth, photosynthesis and light interception for single plants and stands. *Ann Bot* 1981;48(4):507-512.
- Zaragoza E. J. A. 2000.** Crecimiento y acumulación de forraje de los pastos Ballico *Lolium perenne* L. y Ovillo *Dactylis glomerata* L. a diferentes frecuencias de corte. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. México. 98 p.
- Zaragoza, E. J., A. Hernández-Garay, J. Pérez P., J. G. Herrera H., F. Osnaya G., P. A. Martínez H., S. González M., y A. R. Quero C. 2009.** Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto ovillo. *Téc. Pecu. Méx.* 47: 173-188

VII. ANEXOS

Cuadro 5. Análisis de varianza del rendimiento de forraje (kg MS ha⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) sometida a diferentes edades de cosecha, en la estación de primavera.

Tratamiento	Semanas de rebrote							Promedio	Sig.	EEM	DMS
	1	2	3	4	5	6	7				
Inoculada	588 c	1352 cb	1969 Bb	2432 b	3902 Aa	3769 a	4508 a	2645	***	465	1331
Sin inocular	488 e	1000 e	2143 Ad	2623 cd	3466 Bbc	3734 b	4768 a	2603	***	332	949
Promedio	538 d	1176 d	2056 c	2527 c	3684 b	3752 b	4638 a	2624	***	279	799
Sig.	NS	NS	*	NS	*	NS	NS	NS			
EEM	86	170	20	252	76	772	712	163			
DMS	305	597	71	886	268	2714	2502	572			

NS = no significativo; *** = $p < .0001$, ** = $p \leq 0.01$; * = $p \leq 0.05$, Diferente literal minúscula, en cada hilera, indican diferencia ($P < 0.05$); Diferente literal mayúscula, en cada columna, indican diferencia ($P < 0.05$); EEM= error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Cuadro 6. Análisis de varianza de la tasa de crecimiento (kg MS ha⁻¹ día⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) sometida a diferentes edades de cosecha, en la estación de primavera.

Tratamiento	Semanas de rebrote							Promedio	Sig.	EEM	DMS
	1	2	3	4	5	6	7				
Inoculada	84 a	97 a	94 Ba	87 a	111 Aa	90 a	92 a	94	NS	15.35	43.89
Sin inocular	70 a	71 a	102 Aa	94 a	99 Ba	89 a	97 a	89	NS	13.93	39.81
Promedio	77 a	84 a	98 a	91 a	105 a	90 a	95 a	91	NS	11.97	34.22
Sig.	NS	NS	*	NS	*	NS	NS	NS			
EEM	12.745	12.02	1.08	9.02	1.77	18.37	14.73	4.02			
DMS	44.78	42.25	3.79	31.71	6.25	64.54	51.77	14.12			

NS = no significativo; *** = $p < .0001$, ** = $p \leq 0.01$; * = $p \leq 0.05$, Diferente literal minúscula, en cada hilera, indican diferencia ($P < 0.05$); Diferente literal mayúscula, en cada columna, indican diferencia ($P < 0.05$); EEM= error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Cuadro 7. Cuadro comparativo del porcentaje de la composición botánica y morfológica de alfalfa (*Medicago sativa* L.) inoculada y sin inocular.

		Semanas de muestreo							Promedio
Componente		1	2	3	4	5	6	7	
Inoculada	Hoja	54	60	56	53	55	46	47	53
	Tallo	22	37	38	47	38	40	42	37
	Mm	11	2	1	0	2	10	6	4
	Maleza	13	2	5	1	3	3	4	4
	Inflorescencia	0	0	0	0	2	2	2	1
	Hoja	48	59	58	53	56	49	41	52
Sin Inocular	Tallo	21	35	39	39	41	37	38	36
	Mm	11	3	0	1	1	7	8	4
	Maleza	19	3	2	6	2	6	12	7
	Inflorescencia	0	0	0	0	1	2	1	1
	Hoja	51	59	57	53	55	47	44	52
Promedio	Tallo	22	36	39	43	40	38	40	37
	Mm	11	3	0	1	1	9	7	4
	Maleza	16	2	4	3	2	4	8	6
	Inflorescencia	0	0	0	0	1	2	1	1

MM = Material Muerto.

Cuadro 8. Análisis de varianza del peso de hoja (kg MS ha⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) sometida a diferentes edades de cosecha, en la estación de primavera.

Tratamiento	Semanas de rebrote							Promedio	Sig.	EEM	DMS
	1	2	3	4	5	6	7				
Inoculada	311 e	808 de	1105 cde	1294 bcd	2158 a	1750 abc	2101 ab	1361	**	300	859
Sin inocular	231 c	590 bc	1251 ab	1396 a	1929 a	1817 a	1977 a	1313	***	259	739
Promedio	271 e	699 de	1178 cd	1345 bc	2043 a	1783 ba	2039 a	1336	***	201	574
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
EEM	33	109	79	126	126	575	448	132			
DMS	116	384	279	442	429	2019	1573	465			

NS = no significativo; *** = $p < .0001$, ** = $p \leq 0.01$; * = $p \leq 0.05$, Diferente literal minúscula, en cada hilera, indican diferencia ($P < 0.05$); Diferente literal mayúscula, en cada columna, indican diferencia ($P < 0.05$); EEM= error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Cuadro 9. Análisis de varianza del peso de tallo (kg MS ha⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) sometida a diferentes edades de cosecha, en la estación de primavera.

Tratamiento	Semanas de rebrote							Promedio	Sig.	EEM	DMS
	1	2	3	4	5	6	7				
Inoculada	130 d	494 d	751 cd	1120 bc	1496 ab	1483 ab	1884 a	1051	***	218	624
Sin inocular	102 d	347 cd	844 bc	1061 b	1423 ab	1380 ab	1800 a	994	***	242	692
Promedio	116 d	420 d	797 c	1090 c	1459 b	1431 b	1842 a	1022	***	117	336
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
EEM	39	77	74	222	128	301	558	37			
DMS	139	271	263	779	447	1057	1962	128			

NS = no significativo; *** = $p < .0001$, ** = $p \leq 0.01$; * = $p \leq 0.05$, Diferente literal minúscula, en cada hilera, indican diferencia ($P < 0.05$); Diferente literal mayúscula, en cada columna, indican diferencia ($P < 0.05$); EEM= error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Cuadro 10. Análisis de varianza de la relación hoja/tallo (R:H/T) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) sometida a diferentes edades de cosecha, en la estación de primavera.

Tratamiento	Semanas de rebrote							Promedio	Sig.	EEM	DMS
	1	2	3	4	5	6	7				
Inoculada	2.4 a	1.6 b	1.5 b	1.2 b	1.4 b	1.2 b	1.1 b	1.4	**	0.32	0.94
Sin inocular	2.4 a	1.7 ab	1.5 b	1.4 b	1.4 b	1.4 b	1.1 b	1.5	**	0.22	0.64
Promedio	2.4 a	1.6 b	1.5 bc	1.3 bc	1.4 bc	1.3 bc	1.1 c	1.5	**	0.20	0.57
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
EEM	0.57	0.14	0.24	0.26	0.24	0.14	0.12	0.12			
DMS	2.03	0.51	0.86	0.94	0.87	0.51	0.43	0.43			

NS = no significativo; *** = $p < 0.0001$, ** = $p \leq 0.01$; * = $p \leq 0.05$, Diferente literal minúscula, en cada hilera, indican diferencia ($P < 0.05$); Diferente literal mayúscula, en cada columna, indican diferencia ($P < 0.05$); EEM= error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Cuadro 11. Análisis de varianza de cambios semanales en la radiación solar interceptada (%) con regla de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) sometida a diferentes edades de cosecha, en la estación de primavera.

Tratamiento	Semanas de rebrote							Promedio	Sig.	EEM	DMS
	1	2	3	4	5	6	7				
Inoculada	9 d	17 Bc	57 Bb	90 a	90 Aa	91 Ba	94 Aa	64 B	***	2.31	6.61
Sin inocular	9 c	72 Ab	87 Aa	92 a	88 Ba	93 Aa	91 Ba	76 A	***	2.08	5.94
Promedio	9 d	44.5 c	72 b	91 a	89 a	92 a	92.5 a	70	***	1.74	4.98
Sig.	NS	*	*	NS	*	*	*	*			
EEM	1.47	2.48	4.70	0.70	0.40	0.40	0.40	1.22			
DMS	5.17	8.72	16.54	2.48	1.43	1.43	1.43	4.30			

NS = no significativo; *** = $p < 0.0001$, ** = $p \leq 0.01$; * = $p \leq 0.05$, Diferente literal minúscula, en cada hilera, indican diferencia ($P < 0.05$); Diferente literal mayúscula, en cada columna, indican diferencia ($P < 0.05$); EEM= error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa.