

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



Rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa L.*) a diferente edad de rebrote
en la estación de primavera

POR:

FELIPE DE JESÚS BARBÓN HUESCA

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Diciembre 2019

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

Rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa L.*) a diferente edad de rebrote
en la estación de primavera

POR:

FELIPE DE JESÚS BARBÓN HUESCA

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobada por:

Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez
Asesor Principal

Dr. Juan A. Encina Domínguez
Coasesor

Dr. José A. Hernández Herrera
Coasesor

Dr. José Álvarez Alanís
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, diciembre 2019

RESUMEN

La alfalfa (*Medicago sativa*) a nivel mundial es uno de los forrajes más importantes, para la producción de la industria lechera es el principal insumo en la alimentación, es una leguminosa de clima templado que tiene excelente calidad nutricional, es necesario conocer sus cualidades productivas y realizar el óptimo manejo. El objetivo fue calcular la acumulación de forraje con base a la edad de rebrote, componentes del rendimiento y composición botánica de la alfalfa. El estudio se realizó en la UAAAN en Saltillo, Coahuila. Las variables estudiadas fueron acumulación de forraje, composición botánica y morfológica, altura, área foliar por tallo y radiación interceptada. Se establecieron 42 parcelas de 3 m² en un diseño de bloques al azar con dos tratamientos (inoculada con *Rhizobium* y sin inocular), cortes sucesivos semanales, con variables rendimiento, composición botánica, morfológica, relación hoja: tallo, altura y radiación interceptada. Los resultados indican que hay aumento del rendimiento en función de la edad de cosecha, esta ganancia corresponde a una altura de 56 y 53 cm y a una mayor radiación interceptada de 94 y 91 %, en el caso de la relación hoja:tallo, se identificó que, al incrementar la edad de rebrote en una especie forrajera, hay una disminución de la cantidad de hoja con respecto al tallo. El rendimiento máximo se alcanza a la semana siete, con la mayor producción de hoja, es el momento óptimo para cosechar, cuando la biomasa ha alcanzado su más alto nivel y antes de la pérdida por senescencia

Palabras clave: alfalfa, *Rhizobium*, rendimiento de forraje, altura de planta y radiación interceptada, primavera.

ABSTRACT

Alfalfa (*Medicago sativa*) is one of the most important forages of worldwide, for the production of the dairy industry it is the main input in the food, it is a climate temperate legume that has excellent nutritional quality, it is necessary to know its productive qualities and perform optimal handling. The objective was to calculate the accumulation of fodder based on the age of regrowth, yield components and botanical composition of alfalfa. The study was conducted at the UAAAN in Saltillo, Coahuila. The variables studied were forage accumulation, botanical and morphological composition, height, leaf area by stem and intercepted radiation. Were established 42 plots of 3 m² in a randomized block design with two treatments (inoculated with *Rhizobium* and without inoculation), weekly successive cuts, with performance variables, botanical, morphological composition, leaf-to-stem ratio, stem and intercepted radiation. The results indicate that there is an increase in yield depending on the harvest age, this gain corresponds to a height of 56 and 53 cm and a higher intercepted radiation of 94 and 91%, in the case of the leaf: stem ratio, it was identified that by increasing the age of regrowth in a forage species, there is a decrease in the amount of leaf with respect to the stem. The maximum yield is reached at week seven, with the highest leaf production, it is the optimal time to harvest, when the biomass has reached its highest level and before the loss by senescence.

Keywords: *Leucerna*, *Rhizobium*, forage yield, plant height and intercepted radiation, spring.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por darme la vida y la oportunidad de desarrollarme como profesional, por ayudarme a superar cada uno de los obstáculos, el sacrificio fue grande pero Tu siempre me diste la fuerza necesaria para continuar y lograrlo.

A mi "ALMA MATER" por ser la cuna de mis sueños y por ser mi segunda casa donde aprendí cosas nuevas, gracias a los maestros por construirme como mejor persona

Agradezco de todo corazón al **Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez** por su gran confianza que me brindo en todo este trabajo de investigación, por su dedicación, paciencia, tiempo. Sobre todo, por ser guía, amigo y ejemplo.

Al **Dr. José Antonio Hernández Herrera** por su gran aporte en este trabajo, por su gran conocimiento, paciencia, dedicación en esta elaboración de este trabajo y por sus palabras de ánimo que siempre me daba.

Al **Dr. Juan Antonio Encina Domínguez** por su valiosa participación, asesoría y sugerencias para lograr este trabajo.

A la **Ing. Alondra Mora Rodríguez** por su gran apoyo en este trabajo de investigación y por sus palabras de ánimo.

Al **Ing. Edilberto Barbón Huesca** por ser mi guía, mi ejemplo que siempre he seguido y también por su gran aportación en esta tesis.

Al **Pbro. Lic. Juan Pablo Mercado González** por ser siempre mi guía espiritual, por sus grandísimos consejos y sus regaños, por todo el apoyo incondicional que me brindo durante toda mi carrera profesional.

A mis amigos Ing. Julio Cesar Álvarez, Ing. Lázaro Ramírez, Ing. Osmar Argueta, Darwin Cruz González, Alejandro Martínez, Benjamín Carmona, Moisés Olivera, Francisco Melo, Edgar González, Jorge Delgado, Lizbeth Martínez, Guadalupe Loera por darme su apoyo en cada momento que los necesite y sobre todo por su gran amistad.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Adelaida Huesca Palacios y Eusebio Barbón Casimiro que han sido mi inspiración para lograr culminar este ciclo de mi vida profesional, por todo su sacrificio que han hecho por mí para apoyarme económicamente y moralmente, por todos sus consejos para seguir un camino recto y de superación.

A MIS HERMANOS:

Edilberto Barbón Huesca, por su gran apoyo que siempre me ha dado por todos sus consejos y sobre todo por siempre ha sido mi gran ejemplo en la vida

Erika Barbón Huesca, por su gran apoyo económico, por todo ese sacrificio que siempre hiciste para que yo terminara mi carrera y no me faltara nada por esos regaños que me diste para que terminara lo que había empezado

Rubí Barbón Huesca, por su gran apoyo que siempre hemos tenido tuyo, a pesar que tiene muchos años que no nos vemos siempre te he sentido tan cerca, por todo lo que has hecho por nosotros.

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 Importancia agronómica de la alfalfa	5
2.3 Características morfológicas de <i>Medicago sativa</i> L.	6
2.4 IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA ALFALFA (<i>Medicago sativa</i> L.).....	7
2.5 Calidad del forraje.....	11
2.6 FACTORES PARA LA PRODUCCIÓN DE LA ALFALFA.....	11
2.6.1 Radiación solar.....	11
2.6.2 Temperatura	12
2.6.3 Requerimientos de agua.....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Localización del sitio experimental.....	15
3.2 Manejo de la parcela.....	16
3.3 Rendimiento de forraje.....	16
3.4 Composición botánica y morfológica	16
3.5 Relación hoja: tallo.....	17
3.6 Altura de planta.....	17
3.7 Área foliar.....	17
3.8 Radiación interceptada	18

3.9 Tratamientos y diseño experimental	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
4.1 Acumulación total del forraje.....	19
4.2 Composición botánica y morfológica	23
4.3 Relación hoja: tallo.....	26
V. CONCLUSIONES	30
VII. LITERATURA CITADA.	31
VII. ANEXOS	37

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Exportación e importaciones de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) durante el año 2017.....	8
Cuadro 2. Producción de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) en forraje verde a nivel nacional en el 2018.	10
Cuadro 3. Distribución de la precipitación y temperatura promedio, máxima y mínima mensual que se registraron durante el periodo experimental (04 de mayo al 22 de junio de 2019).....	15
Cuadro 4. 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 (04 de mayo al 22 de junio de 2019).	37
Cuadro 5. 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 (04 de mayo al 22 de junio de 2019).....	38
Cuadro 6. 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 (04 de mayo al 22 de junio de 2019).	39
Cuadro 7. 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 (04 de mayo al 22 de junio de 2019).	40

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Registro de presencia de ejemplares de la Alfalfa en 1900 y en la actualidad a nivel mundial (Tomada de OpenMapTiles, GBIF).	5
Figura 2. Densidad del peso de la raíz a diferentes profundidades en riego subterráneo en alfalfa (Tomada de Wang et al., 2018).	14
Figura 3. Curvas de acumulación total de forraje, altura de planta, radiación interceptada y área foliar por tallo de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.), inoculada, en la estación de primavera (04 de mayo al 22 de junio de 2019). * Dato no determinado.	21
Figura 4. Curvas de acumulación total de forraje, altura de planta, radiación interceptada y área foliar por tallo de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.), en la estación de primavera (04 de mayo al 22 de junio de 2019). * Dato no determinado.	22
Figura 5. Cambios morfológicos de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) inoculada con una cepa del <i>Rizobium</i> , y cosechada a diferentes semanas de rebrote, en la estación de primavera (04 de mayo al 22 de junio de 2019).	24
Figura 6. Cambios morfológicos de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) cosechada a diferentes semanas de rebrote, en la estación de primavera (04 de mayo al 22 de junio de 2019).	25
Figura 7. Relación hoja:tallo, peso de hoja, de tallo y área foliar de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.), inoculada, en la estación de primavera (04 de mayo al 22 de junio de 2019). * Dato no determinado.	28
Figura 8. Relación hoja:tallo, peso de hoja, de tallo y área foliar de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.), inoculada, en la estación de primavera (04 de mayo al 22 de junio de 2019). * Dato no determinado.	29

I. INTRODUCCIÓN

Los forrajes son la base de la alimentación animal y de gran importancia en la para su producción, en una ganadería moderna que exige rentabilidad y competitividad, lo que se logra con incrementos acelerados en la producción de alimentos, que garanticen la demanda de la población de manera sostenible y sin impactar los recursos naturales, además de disminuir la utilización de productos químicos que ocasionan la contaminación ambiental (Rojas *et al.*, 2005).

La tasa de crecimiento de las especies forrajeras depende tanto de condiciones ambientales, como edafoclimáticas y para aprovechar su rendimiento y calidad, es necesario conocer la distribución estacional (McKenzie *et al.*, 1999). México, presenta regiones con variabilidad climática y edafológica, que conlleva en la oscilación de la producción de forraje, aunado a la respuesta en el manejo (Castro *et al.*, 2012). Maass *et al.*, (2015), mencionan que, en la producción de una especie forrajera, conviene evaluar su comportamiento productivo, lo que permite, conocer la estacionalidad, disponibilidad y búsqueda de estrategias de manejo en la producción animal (Garay-Martínez *et al.*, 2018).

Por sus características bromatológicas y nutritivas, la alfalfa (*Medicago sativa*) es el principal forraje de sustento para la producción de la industria lechera a nivel mundial. Ocupa el 57 % (36,000 ha) de la superficie sembrada en la región de la Comarca Lagunera, cuenca lechera más importante de México. Comprende varios municipios de los estados de Coahuila y Durango, 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, siendo la alfalfa la principal. Sin embargo, en esta región la producción de alfalfa enfrenta problemas de manejo de recursos de agua y suelo. Uno de estos es la escasez de agua derivada de la sobreexplotación del acuífero para el riego de este cultivo y otros forrajes, así

como de la demanda de la lámina de riego anual de este cultivo, la cual varía entre 2.4 a 2.7 m. (Vázquez *et al*, 2010).

La alfalfa (*Medicago sativa*) es una planta que se adapta a los diferentes tipos de utilización que se emplean en producción animal. El momento óptimo para su uso está dado, por el balance entre la cantidad de carbohidratos acumulados en la raíz y el estado de desarrollo que alcanza al momento del corte, lo cual también permite compatibilizar calidad del forraje obtenido y duración de la pradera (Soto y Jahn, 1993). A medida que avanza el estado de madurez, desde prebotón a floración completa, disminuye su valor nutritivo (Jahn *et al.*, 1993).

La producción de forrajes es importante ya que está determinado por la presencia de altos porcentajes de nutrientes, como proteínas, vitaminas, minerales y carbohidratos que son necesarios para la salud, crecimiento y productividad de los animales, así como también por las adaptaciones biológicas que permiten su fácil y rápida reproductiva vegetativa (Dávila y Sánchez, 1996).

Los cultivos forrajeros están determinados por las condiciones climáticas y es por esa razón que el forraje verde está disponible sólo en ciertos períodos del año; cuánto más corto es el periodo de crecimiento, más desuniforme es su distribución en el tiempo. El conocimiento de la estacionalidad en la producción y calidad de forraje permiten detectar temporadas de abundancia y escasez, así como la magnitud de estas (Hanson *et al*, 1988).

La altura de corte en la alfalfa no es relevante para su recuperación, ya que el rebrote depende del nivel de carbohidratos acumulados previo a la utilización, siendo las yemas de la corona los centros de crecimiento más importantes después de que la planta ha sido utilizada (Hijano y Navarro 1995; Romero 1996). Los cortes a una altura superior a 5 cm dejan libre los centros de crecimiento y permiten un rápido desarrollo de la alfalfa (Leach,1970). Sin embargo, cuando las reservas de carbohidratos son bajas, por una alta frecuencia de utilización, el forraje remanente

debe ser mayor, esto debido a que el rebrote de la alfalfa dependerá inicialmente del área foliar dejada después del corte o pastoreo (Romero, 1996) lo que influye en el rendimiento y persistencia de la pradera.

1.1 OBJETIVOS

- Determinar la curva de crecimiento en la estación de primavera de la alfalfa como base para definir el momento fisiológico óptimo de su cosecha.
- Calcular la acumulación de forraje con base a la edad de rebrote, componentes del rendimiento y composición botánica de la alfalfa.

1.2 HIPÓTESIS

- Conforme aumenta la edad de rebrote se incrementa el rendimiento, radiación interceptada, altura de la planta, sin embargo, se reduce la relación hoja: tallo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

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

El centro de origen es en la región de Asia Menor, en el actual país de Irán (Rodríguez, 1986). Desde este país inició su dispersión hasta convertirse en la especie de planta muy utilizada para alimentar al ganado, aunque se desconoce el inicio de su cultivo, se considera de las primeras plantas cultivadas por el hombre (Small, 2011), la especie ya se menciona en textos babilónicos procedentes del año 700 a. de C (Hendry, 1923), que indica que se utilizaba como una especie agrícola. Desde el centro de origen, se propagó en gran parte de Europa, norte de África, Oriente Medio y Asia, posteriormente el germoplasma llegó en el siglo XVI a América del Sur (Álvarez, 2013) y en 1800 se introdujo en Australia (Barnes *et al.*, 1977).

En Europa se considera una planta naturalizada con amplia distribución en climas templados, mientras que a nivel mundial ha crecido su distribución como se muestra en la Figura 1 (GBIF, 2019). En Bélgica se considera una especie invasora que se ha establecido en orillas de carretera, terrenos baldíos, canales y riberas de ríos (Verloove, 2019).

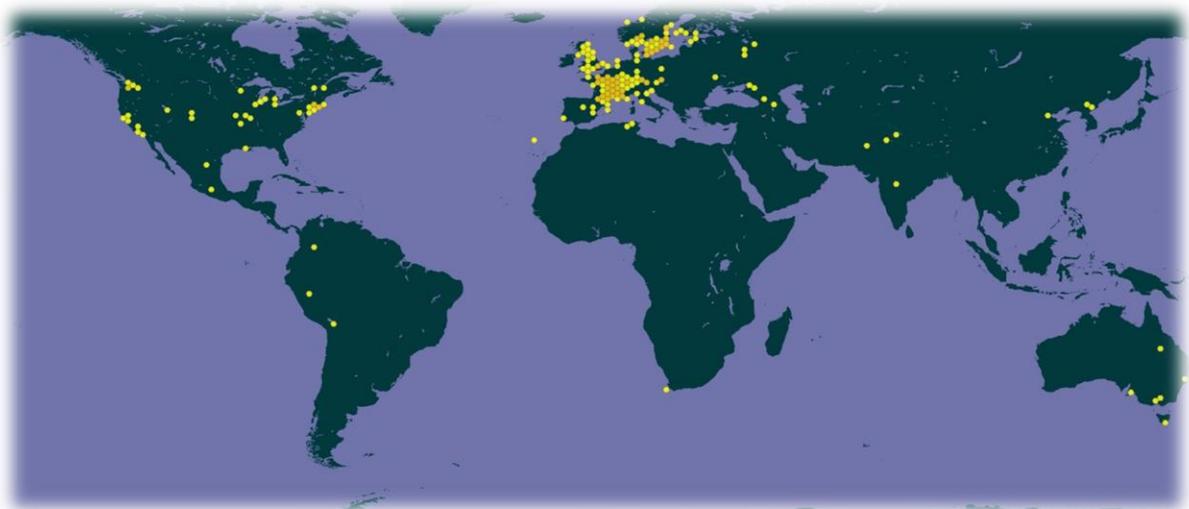




Figura 1. Registro de presencia de ejemplares de la Alfalfa en 1900 y en la actualidad a nivel mundial (Tomada de Open Map Tiles, GBIF).

2.2 Importancia agronómica de la alfalfa

La alfalfa es una especie de la familia Fabaceae que produce buena calidad de forraje, que se adapta a las condiciones de producción de heno y al pastoreo (Casler y Undersander). Se siembra en 32 millones de hectáreas (Bouton, 2001). Es una especie que se adapta a gran variedad de climas, se localiza en altitudes desde los 700 hasta 4,000 metros, se encuentra en 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).

La alfalfa tiene un amplio rango climático, ya que tolera el calor y es resistente a la sequía, por ello tiene resistencia a las bajas temperaturas del invierno (Casler y Undersander 2019). Con respecto a los requerimientos de suelos, prefiere terrenos profundos y permeables con una reacción neutra o básica con un pH óptimo de 7.5, tolera la salinidad, pero no así el encharcamiento (Sales y Hedge (2000).

A nivel mundial la alfalfa de los forrajes más importantes, ya que ha tenido un alto rendimiento en materia seca y además a la gran adaptabilidad a regiones semiáridas y hasta las húmedas. Es un forraje que ayuda afijar nutrientes de la

atmosfera al suelo, aportando forraje a los bovinos, así como a especies como son caprinos, ovinos y equinos.

Las bondades de este forraje hacen que el consumo de esta sea muy variado como:

- Pastoreo directo (Fresca, pie)
- Pastoreo de forraje cortado mecánicamente
- Pasto cortado y distribuido en comederos heno, en rollos o fardos,

Una de las características importantes de la alfalfa es que es un cultivo perenne, además de su alto contenido de proteínas es uno de los cultivos más importantes para la alimentación del ganado, por las sustancias nutritivas como las vitaminas, minerales e hidratos de carbono por ello ha logrado un incremento de la producción de leche y de carne, (Tambero web, 2016).

2.3 Características morfológicas de *Medicago sativa* L.

La alfalfa es una planta herbácea perenne, con tallos erectos que crecen desde una corona leñosa y alcanza 90 cm de altura (USDA NRCS, 2019). Presenta raíz principal pivotante, fuerte y profunda, generalmente prefiere los suelos arenosos (Casler y Undersander 2019).

Las hojas son trifoliadas, folíolos obovados, estrechos, con el margen aserrado en su extremo, la central del peciolulado, las estípulas son subenteras (AIFE 1998). Las flores tienen corolas de color púrpura o amarilla, con numerosas flores dispuestas en racimos densos terminales, con un pedunculado más largo que la hoja adyacente. El fruto es una vaina espiralada (2-3 espiras abiertas) a falcada, contiene varias semillas pequeñas en forma de riñón.

Las variedades más importantes de alfalfa se pueden dividir en tres grandes grupos:

- 1) Las africanas, poco tolerantes al frío, adecuadas para zonas de inviernos suaves (sur peninsular) y con producción sostenida a lo largo del año.
- 2) Las intermedias, adaptadas a climas secos e inviernos más fríos, provenientes de ecotipos nacionales como Aragón (Aragón', 'San Isidro', 'Capitana').
- 3) Las flamencas son tolerantes al frío y con producción concentrada en primavera e inicio de verano, presenta una larga parada estival (Verdal, Europea, con Flores Vriegadas). (2000), Muller *et al.* (2003), Sales y Hedge (2000).

2.4 IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA ALFALFA (*Medicago sativa* L.).

Se estima que la producción mundial de forraje de alfalfa en el 2017 fueron 210,9 millones de toneladas métricas, donde la ganadería es la principal responsable del crecimiento de la alfalfa, además de los incrementos en los precios por su demanda, como ejemplo las exportaciones de USA 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).

Existe una alta demanda por el forraje, el total de las exportaciones en el 2017 fueron de 1,202,613 Toneladas, donde España es mayor exportador con el 21% del total, seguido por Estados Unidos de América con 19.79%, este último país también es un importador de forraje con una demanda de 45,756.00 ton de forraje para cubrir su consumo interno como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Exportación e importaciones de alfalfa (*Medicago sativa L.*) durante 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 volumen de forraje es Emiratos Árabes Unidos ya que consume el 10.30% del forraje, en segundo lugar, 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. Por lo tanto, China es el mayor mercado extranjero de forraje de alfalfa, este crecimiento es impulsado por las cambiantes prácticas de producción en la industria lechera con el incremento en el número de vacas lecheras en granjas grandes y modernas, que adquieren forraje importado y alimentos comerciales, aunque el gobierno de China está haciendo esfuerzos por producir forraje en el país (USDA, 2017).

Los estados con mayor cantidad de 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.

Finalmente, 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 el 89.2% y Emiratos Árabes Unidos con 10% y aumentó a cinco el número de países que adquirieron forraje proveniente de México.

Cuadro 2. Producción de alfalfa (*Medicago sativa L.*) en forraje verde a nivel nacional en el 2018.

Entidad	Superficie sembrada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento obtenido (Ton/ha)	Valor de la producción (miles de pesos)
Aguascalientes	5,612	526,766.61	93.86	335,117.59
Coahuila	20,268	1,622,810.27	80.06	1,162,499.07
Ciudad de 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.

2.5 Calidad del forraje

Los nutrientes en los forrajes proporcionan energía que proviene de los carbohidratos, proteínas y lípidos, los primeros son los más importantes, porque generan más del 80% de la energía. La alfalfa se caracteriza por una concentración alta de proteína cruda, de la cual la mayor parte es degradable en el rumen del 74-79 % (Cantú, 2003).

El concepto de digestibilidad se refiere a la parte del forraje consumido que no es excretado en las heces fecales. La importancia de la digestibilidad de los forrajes se puede manifestar en aumento de 0.170 kg en el consumo de materia seca y de 0.250 kg en la producción de leche por vaca por día por unidad de incremento en la digestibilidad (Allen y Oba, 1996). La alfalfa disminuye su digestibilidad en verano en comparación a la primavera esto debido a que en la primavera los días son más largos y capta mayor luz, lo cual es un factor que promueve síntesis de carbohidratos solubles y por lo tanto aumenta la digestibilidad durante esta estación (Van Soest, 1996).

Núñez (2000), reporta que cuando las temperaturas son altas disminuyen la digestibilidad por aumento de concentración de la fibra y reducción de carbohidratos solubles y proteínas, además, que promueve un aumento del grosor de las paredes celulares. Otro factor que influye en la calidad porcentual de la digestibilidad es el tipo de variedad de alfalfa.

2.6 FACTORES PARA LA PRODUCCIÓN DE LA ALFALFA

2.6.1 Radiación solar

La alfalfa es una planta C₃, por lo tanto, no tiene adaptaciones fotosintéticas para reducir la foto respiración, mediante el ciclo de Calvin forma azúcares a partir del

CO₂, que requiere la apertura de estomas durante el día para el ingreso del gas, es una planta de alta producción de biomasa en función de mayor fotosíntesis, donde la energía solar se transforma en energía química (Ojeda et al., 2018).

La radiación solar en alfalfa, está en función del espectro de la luz, el cual afecta la composición química y aumenta la síntesis de vitamina C en los brotes, además la luz visible Rojo (Red R), Verde (Green G) y Azul (Blue B), conocido como RGB produce mayor contenido de pigmentos fotosintéticos como clorofilas, carotenoides y sustancias químicas como los polifenoles (Fiutak *et al.*, 2019).

2.6.2 Temperatura

La alfalfa por ser una planta C3, requiere días frescos y húmedos, donde las temperaturas ambientales influyen en la fenología y por lo tanto en el rendimiento dependiendo del tipo de fenotipo o variedad establecida (Zaka *et al.*, 2017).

La semilla de la alfalfa germina a temperaturas de 2.3°C, siempre que las demás condiciones ambientales lo permitan a medida que se incrementa la temperatura la germinación es más rápida y alcanza un óptimo a los 28-30°C, donde las temperaturas superiores son de 38°C resultan letales las plántulas, al comenzar a rebrotar (Infoagro, 2008).

2.6.3 Requerimientos de agua

La alfalfa es tolerante a la sequía, pero requiere de importantes cantidades de agua para obtener una buena producción (Guerrero, 1992). Brown y Tanner (1983) y Grimes et al., (1992). Además, encontraron que el déficit del agua en el suelo provoca una reducción significativa de su producción y crecimiento. Tiene un alto requerimiento de agua comparado con otros cultivos (Sabed y El Nadi 1997).

Inzunza (1989), en la región Lagunera menciona que los requerimientos de agua para la alfalfa fueron de 1.40 metros por año para obtener un rendimiento de 16 toneladas de forraje base peso seco, entre tanto las láminas de agua que se aplican

en la región para regar el cultivo son hasta 2.5 m con una producción de 12 a 14 ton de forraje base peso seco.

La eficiencia en el uso del agua en Estados Unidos de América en la producción de la alfalfa es de 1.1 kg m^{-3} . (Phene (1999)). Los valores medios de eficiencia en uso del agua para las plantas C_3 a las cuales pertenece la alfalfa es de 1.5 Kg m^{-3} de agua transpirada, por lo que todavía existe un potencial aun no explotado (Godoy et al., 1998).

2.6.4 Riego

El consumo de agua por este cultivo, se ha evaluado el horario del riego por aspersión aplicado en alfalfa, donde hay menor pérdida de agua por evapotranspiración en la noche, tiene mayor coeficiente de uniforme, mientras el riego diurno tiene mayor pérdida de agua por la acción del viento y la temperatura. Se consideraba que la aplicación de riego durante el día proporcionaba condiciones microclimáticas en dosel y que pudiera reflejarse en el rendimiento, se encontró que este factor no se ve afectado por la aplicación del riego en horario nocturno, representa una ventaja importante en el uso y manejo del agua (Cavero *et al.*, 2016).

Las opciones de uso eficiente del agua en las zonas áridas ha propiciado que se busquen alternativas para tener un método de riego adecuado, como el caso del riego por goteo subterráneo a 5, 10, 20 cm, donde se encontró que las raíces se encuentran principalmente entre los 0 y 30 cm, en el caso de la cintilla enterrada a 20 cm tiene una profundidad de mojado hasta 60 cm, por lo tanto se recomienda que la profundidad adecuada sea 10 cm que muestra mejor eficiencia en el riego (Wang *et al.*, 2018).

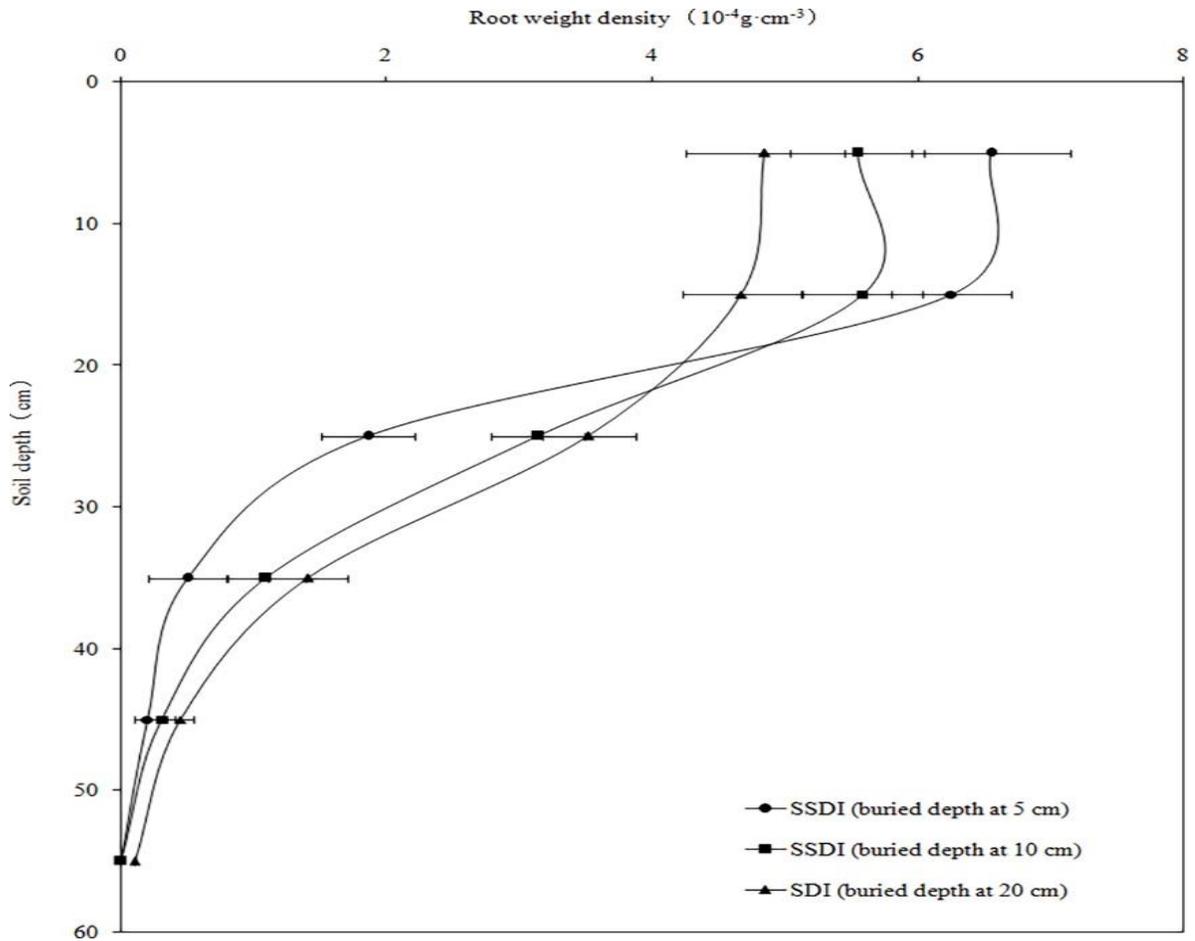


Figura 2. Densidad del peso de la raíz a diferentes profundidades en riego subterráneo en alfalfa (Tomada de Wang *et al.*, 2018).

El riego subterráneo para alfalfa se utiliza en el 2% de las 410, 000 has sembradas en California, pero tiene mejores rendimientos desde el 5 hasta 30% en comparación con riego superficial y con un ahorro en el uso del agua del 2 hasta el 30%, sus desventajas son los altos costos de inversión y el uso de energía para generar presión para el sistema de riego (Zaccaria *et al.*,2017).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del sitio experimental

El estudio se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada en Saltillo, en el sureste del estado de 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 semis eco, con una temperatura promedio de 18 °C. Los inviernos son extremosos, predominando temperaturas máximas superiores a 18°C y algunos días con temperaturas mínimos inferiores a 0°C, con una precipitación media anual de 340 mm (Climate-Data-org, 2010).

Cuadro 3. Distribución de la precipitación y temperatura promedio, máxima y mínima mensual que se registraron durante el periodo experimental (04 de mayo al 22 de junio de 2019).

Semana de muestreo	Temperaturas (°C)			Precipitación (mm)
	Máxima	Mínima	Media	
1	28.6	15.5	22.0	0.0
2	29.3	15.4	22.4	0.0
3	32.4	18.3	25.4	25.8
4	31.7	19.1	25.4	32.1
5	29.6	18.0	23.8	21.5
6	30.9	16.6	23.8	0.0
7	32.3	19.1	25.7	5.5
Promedio	30.6	17.4	24.0	84.9*

- Precipitación acumulada durante el periodo de estudio (04 de febrero al 21 de junio de 2019).

Los datos de temperatura del aire (mínima, media y máxima) y precipitación pluvial acumulada presentes durante el periodo experimental se obtuvieron de la

estación meteorológica del departamento de Agrometeorología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada a 1 km del área experimental.

3.2 Manejo de la parcela

El experimento se realizó del 04 de mayo al 22 junio de 2019. El 5 de febrero se realizó la siembra mediante el método de voleo, se estableció el riego por cintilla subterránea con un periodo de riego de cada 8 días, en época de estiaje. Se establecieron 42 parcelas con dimensiones de 3 m². El día 4 de mayo se realizó el primer corte de uniformización utilizando una hoz, cortando el follaje a una altura de 5 cm al nivel del suelo. Posteriormente cada 8 días se muestreo al azar de 3 parcelas para obtener 2 muestras de 0.25 m², durante un periodo de las siete semanas siguientes.

3.3 Rendimiento de forraje

El rendimiento de forraje por corte, se estimó en 2 cuadros de 0.25 m² (50 x 50 cm) al azar, por repetición. El forraje cosechado fue colocado en bolsas de papel, fue pesado en una báscula y secado en una estufa de aire forzado a 55 °C durante 72 horas, y se registró el peso de la materia seca (MS), que se utilizó para estimar el rendimiento por unidad de superficie (kg MS ha⁻¹).

3.4 Composición botánica y morfológica

Para determinar la composición botánica y morfológica, se tomó una submuestra de la biomasa cosechada para estimar el rendimiento de forraje, de aproximadamente 10 %, la cual fue separada en hojas, tallos, material muerto e inflorescencia y maleza, y cada componente se secó en la estufa de aire forzado y se determinó su peso seco y se estimó su aportación al rendimiento en kg MS ha⁻¹ y porcentaje.

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

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

Dónde:

PCM = Porcentaje por componente morfológico (%).

COMP = Sub-muestra del componente separado por especie.

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

3.5 Relación hoja: tallo

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

$$R = H/T$$

Dónde:

H:-T = Relación hoja: tallo.

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

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

3.6 Altura de planta

Antes del corte se midieron al azar la altura de 10 plantas para lo cual se utilizó una regla graduada de tal forma que la parte inferior de la regla graduada (0 cm) quedara a nivel de suelo.

3.7 Área foliar

Para la medición de área foliar (AF) en cada parcela, se cortaron a ras de suelo diez tallos de alfalfa, las hojas se separaron y se colocaron en el integrador de área

foliar de escáner modelo CI-202, marca CID Inc, midiendo el área foliar en cm² y se dividió entre el valor diez para obtener el área foliar por tallo.

3.8 Radiación interceptada

Se realizaron tres mediciones por parcela. Se colocó una regla graduada de 1 m, en el suelo, por debajo de las plantas y se contabilizó la proporción iluminada, tomado como 100 %, 100 cm de la regla y por diferencia se determinó el porcentaje de intercepción.

3.9 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 se realizó 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 %. Las curvas ajustadas de crecimiento con su modelo y coeficientes respectivos para cada variable se obtuvieron con el programa Microsoft Excel, versión 2013.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Acumulación total del forraje

Los cambios semanales en la acumulación de forraje total de alfalfa (*Medicago sativa* L.), inoculada y sin inoculante, de una cepa de del género *Rhizobium*, evaluadas en la estación primavera del 2019 se muestran en la figura 4 y 5. En la alfalfa sin inocular se presentó un incremento significativo ($p < 0.05$) en la acumulación de forraje desde la semana tres de rebrote hasta alcanzar los máximos rendimientos de forraje a la semana siete de rebrote con $4,768 \text{ kg MS ha}^{-1}$ (Cuadro 4). Un comportamiento similar se presentó en el rendimiento de forraje en la alfalfa sin inocular, con valores que van de $488 \text{ kg MS ha}^{-1}$ en la primera semana y hasta $4,508 \text{ kg MS ha}^{-1}$ en la semana 7 y con una producción promedio de $2603 \text{ kg MS ha}^{-1}$ en la estación (Figura y Cuadro 4). Los resultados, no muestran diferencias estadísticas ($p > 0.05$) entre la alfalfa inoculada y la no inoculada con promedio de rendimiento general de $2,546 \text{ kg MS ha}^{-1}$.

Los menores rendimientos de forraje en ambos tratamientos corresponden a los valores más bajos en altura (13 y 14 cm), porcentaje de luz interceptada (9 y 9 %), y área foliar (14 y 12), respectivamente. Así mismo, los mayores rendimientos a la semana 7, corresponden a una altura de 56 y 53 cm, radiación interceptada de 94 y 91 %, respectivamente. Al respecto García *et al.* (2016), menciona que existe una estrecha correlación del rendimiento de forraje con estas variables y reporta coeficientes de regresión superiores a $R^2 = 0.81$.

En ambos tratamientos, se muestra un incremento del rendimiento a medida que aumenta la semana de corte, por lo que, se observa una tendencia positiva conforme aumenta la edad de cosecha (Figura 4 y 5). El rendimiento se incrementó durante el rebrote con R^2 de 0.96 y 0.98, para la alfalfa inoculada y sin inocular, respectivamente, por ello se describe como una ecuación lineal.

Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a los reportados por Fan *et al.* (2004) quienes obtuvieron rendimientos, antes de la floración para la variedad Wuxi, de 3,530, 3,114, 2,570, 2,087 y 1,057 kg MS ha⁻¹ para los primeros cinco cortes. Así mismo, son similares a los reportados por Soetrisno *et al.* (1994), con valores de 3,568 y 2,726 kg MS ha⁻¹ durante las estaciones de otoño y primavera. Grabber (2009), reporto rendimientos de 6,460, 3,360 y 2,720 kg MS ha⁻¹ para los cortes uno, dos y tres (cada 40 días después del rebrote) respectivamente. Sin embargo, fue diferente el comportamiento reportados en trébol blanco (*Triifolium repens*), encontrado por Tucak *et al.* (2013), quienes evaluaron distintas variedades de esta especie por seis cortes durante el periodo 2008-2009, donde el mayor rendimiento lo encontraron a semana 6 y 7, y el menor rendimiento en las primeras tres semanas.

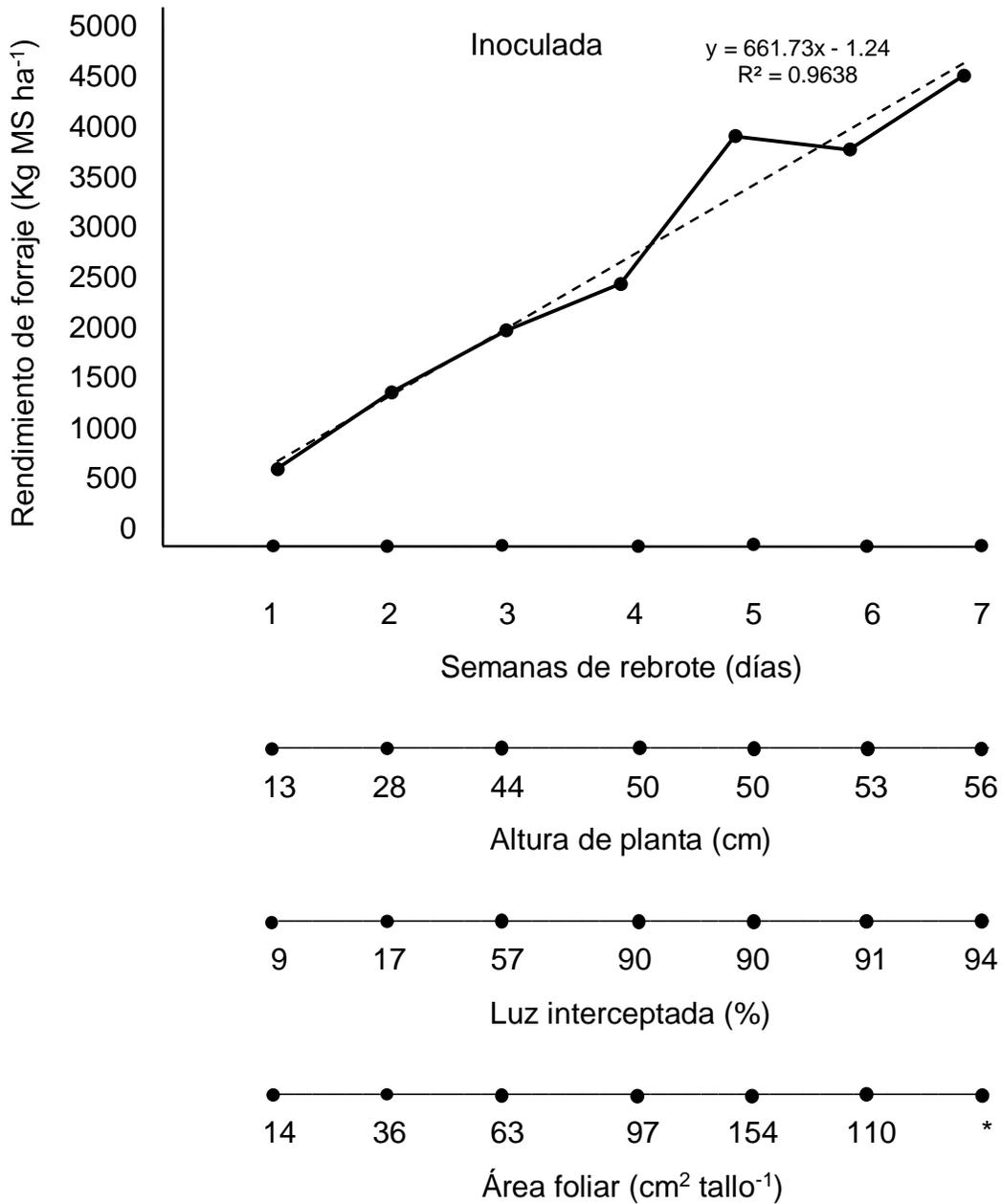


Figura 3. Curvas de acumulación total de forraje, altura de planta, radiación interceptada y área foliar por tallo de alfalfa (*Medicago sativa* L.), inoculada, en la estación de primavera (04 de mayo al 22 de junio de 2019). * Dato no determinado.

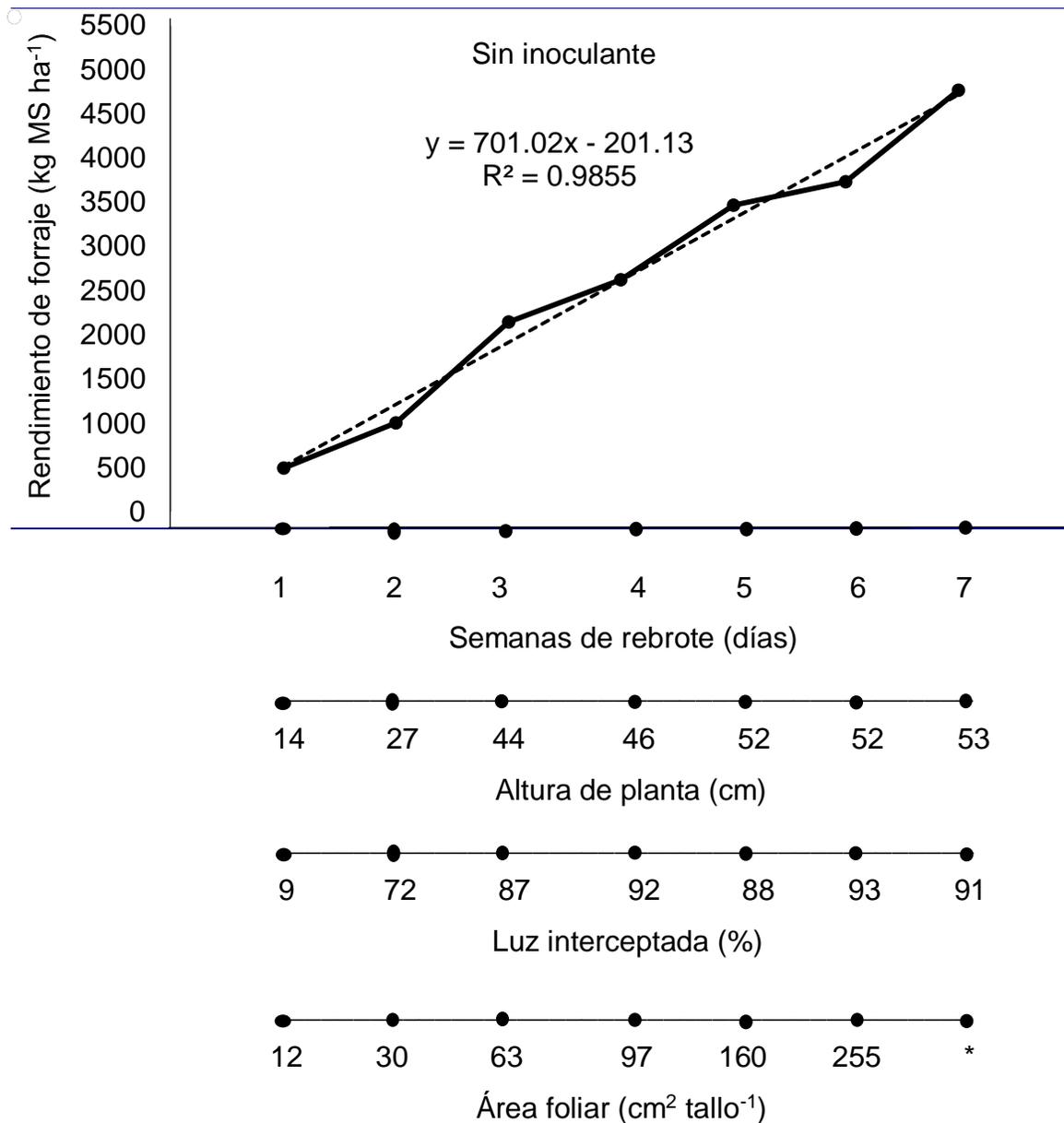


Figura 4. Curvas de acumulación total de forraje, altura de planta, radiación interceptada y área foliar por tallo de alfalfa (*Medicago sativa* L.), en la estación de primavera (04 de mayo al 22 de junio de 2019). * Dato no determinado.

4.2 Composición botánica y morfológica

Los valores semanales de composición botánica y morfológica de alfalfa inoculada y sin inocular, se presentan en la figura 6 y 7. En ambas condiciones la morfología de la planta cambió con la edad de la planta. Así mismo se observó, que los componentes de la inflorescencia y material muerto se correlacionaron de manera positiva con el incremento en la edad de rebrote de la especie. El componente hoja, mantuvo su aportación al rendimiento en un porcentaje de 48 y 59 %, valores mayores observados en la semana 1 y 2. Sin embargo, el tallo se incrementó conforme avanzó el experimento de un 22 a 42 y de 21 a 38 %, para la alfalfa inoculada y sin inocular, respectivamente. La aportación de la inflorescencia se presentó a partir de la semana 5, en ambos tratamientos, con porcentajes promedios del 2 %. Este comportamiento es similar a estudios realizados en otras especies forrajeras, como cereales y especies de clima templado como trébol blanco y rojo (García, 2015; de Lira, 2017).

Especies forrajeras como el trébol rojo (*Trifolium pratense L.*), tiene un comportamiento diferente debido a su hábito de crecimiento que difiere de la alfalfa. En este, el contenido de hojas fue menor que el de alfalfa con un valor de 30_% o a otros trabajos (Zaragoza *et al.*, 2009), que obtuvo un mínimo de 16%. Por su parte, Mendoza (2008) señaló que la mayor distribución en hoja independientemente de la estación del año, se presentó con cortes cada 4 y 3 semanas de rebrote para alfalfa por ello coincide con lo encontrado en este estudio.

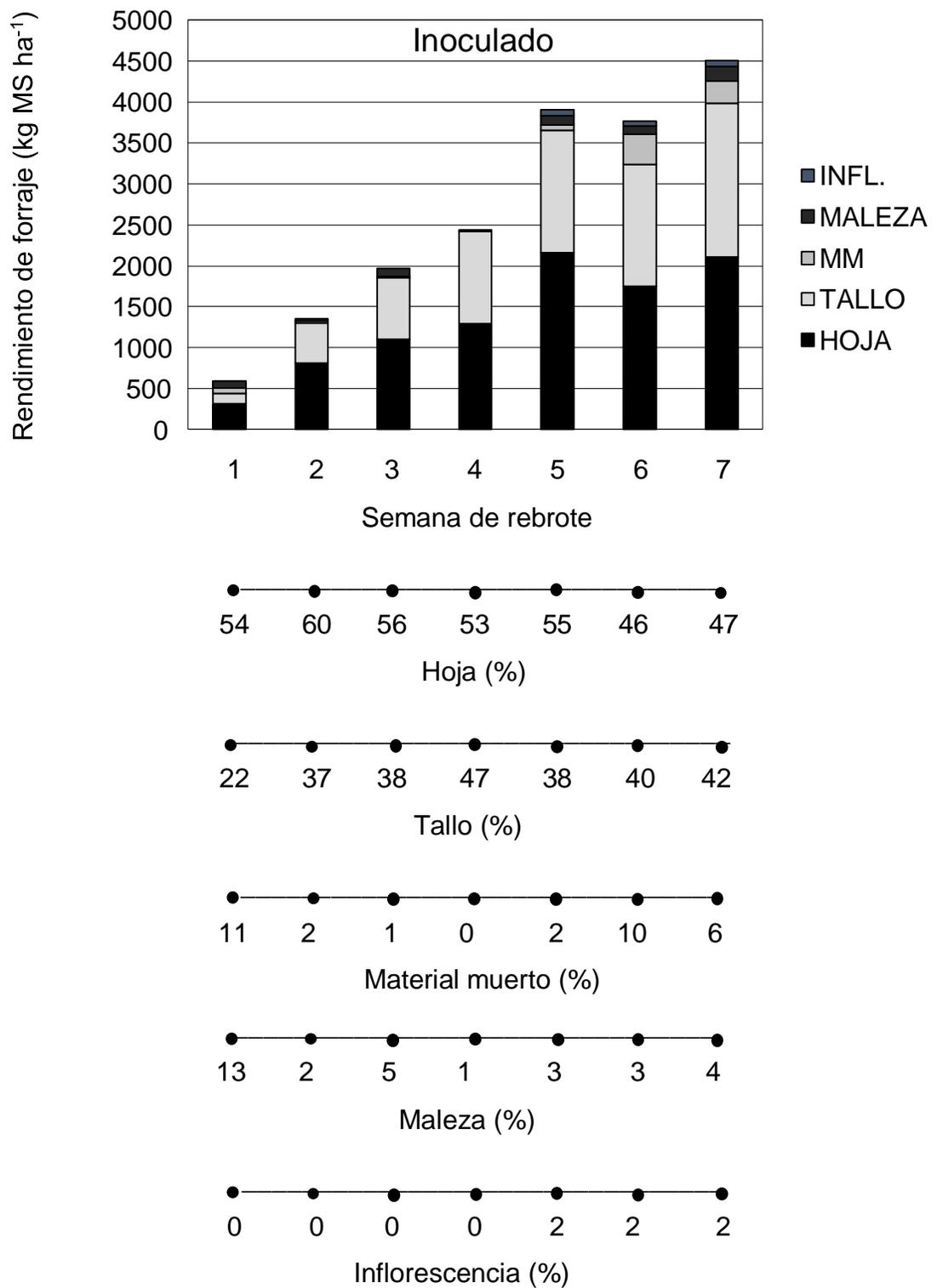


Figura 5. Cambios morfológicos de alfalfa (*Medicago sativa* L.) inoculada con una cepa del Rizobium, y cosechada a diferentes semanas de rebrote, en la estación de primavera (04 de mayo al 22 de junio de 2019).

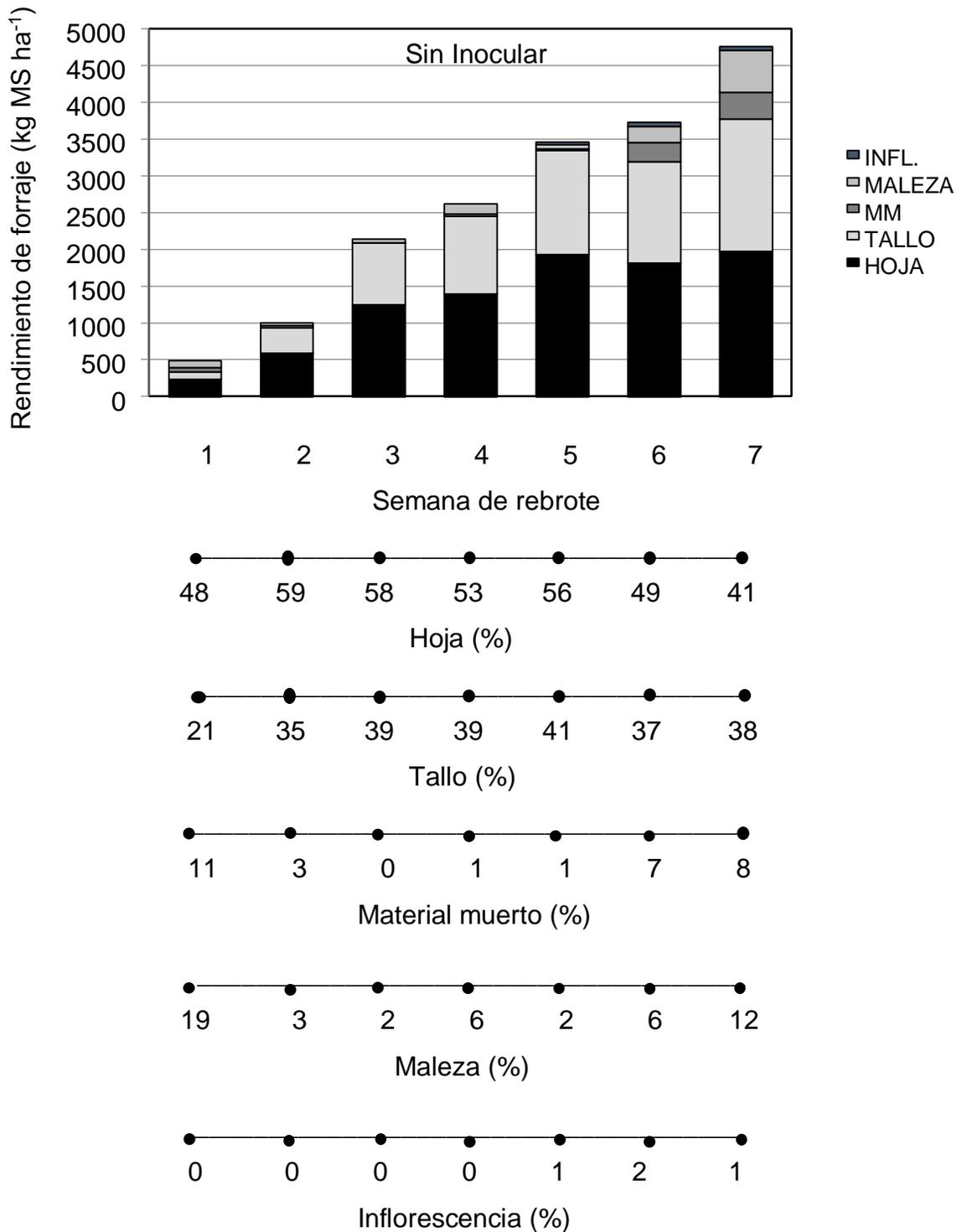


Figura 6. Cambios morfológicos de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cosechada a diferentes semanas de rebrote, en la estación de primavera (04 de mayo al 22 de junio de 2019).

4.3 Relación hoja: tallo

La relación existente entre la cantidad de hoja respecto al tallo en alfalfa inoculada y sin inocular, con una cepa del género *Rhizobium* se observa en la figura 8 y 9. En ambos tratamientos se presentó una mayor relación hoja:tallo en la semana 1, con un valor promedio de 2.5 (Cuadro 5). Posteriormente a mayor edad de la planta la relación hoja:tallo disminuye a valor de 1.1. Por lo que conforme aumenta la edad de rebrote en una especie forrajera, la cantidad de hoja con respecto al tallo disminuye (García *et al.*, 2016). En este caso los valores comparativos de tallo y hoja de la semana uno a la siete fueron 271 - 116 y 2,039 – 1431, respectivamente (Cuadro 6 y 7). Sin embargo, aunque el tallo aumento su producción respecto a la hoja, conforme se incrementó la edad de la planta, la relación no fue inferior a uno. Esta estuvo correlacionada con el área foliar de la planta, ya que se incrementó conforme la edad de rebrote era mayor, con valores promedios de 13 en la semana uno hasta un valor máximo de 182.5 cm² tallo⁻¹, en la semana 6. Entre tratamientos no presentaron diferencias significativas en todas las semanas de rebrote ($p > 0.05$; Cuadro 5).

Los valores promedios van de 2.5 en la semana uno, llegando a un valor de 1.4 donde se mantuvo así durante la semana cuatro, cinco y seis. Posteriormente disminuye a la mínima de 1.1 para la semana siete. El valor de R^2 es aceptable con 0.77. El valor máximo de peso de hoja es de 1997 kg MS ha⁻¹ en la semana 7 y la mínima es de 232 kg MS ha⁻¹ en la semana uno y el máximo peso de tallo es de 1800 kg MS ha⁻¹ y el valor mínimo es de 102 kg MS ha⁻¹ en la semana 1. Sin embargo, en el tratamiento con inoculante conforme aumenta la edad de rebrote de la semana uno a la cuatro disminuyó la relación hoja: tallo. Los valores van de 2.4 en la semana uno llegando a 1.1 en la semana cuatro, en la semana 5 aumenta de nuevo con un valor de 1.4 pero en la semana seis vuelve a disminuir y llega con un valor de 1.1 en la semana siete. El valor de R^2 es de 0.63. El valor máximo en el peso de hoja es de 2101 kg Ms ha⁻¹ en la semana siete y la mínima es de 311 en la semana uno y en el peso de tallo tenemos un valor máximo de 1884 kg MS ha⁻¹ y el valor mínimo es de 130 kg MS ha⁻¹ en la semana uno.

En general, los valores promedios reportados en la literatura para la relación hoja:tallo, en otras especies forrajeras como trébol blanco y rojo, son menores a los estimados en el presente estudio (De Lira, 2017). Sin embargo, Ortiz (2014), reporto valores promedio para trébol blanco que varían entre 3.86 y 5.17 entre la semana uno y ocho. Por otra parte, Tucak *et al.* (2013), reportaron valores para variedades de trébol rojo entre 0.74 y 1.025 para el segundo corte, que son similares comparado con los de la semana siete, cuatro y tres del presente (0.74, 1.1 y 1.07 respectivamente).

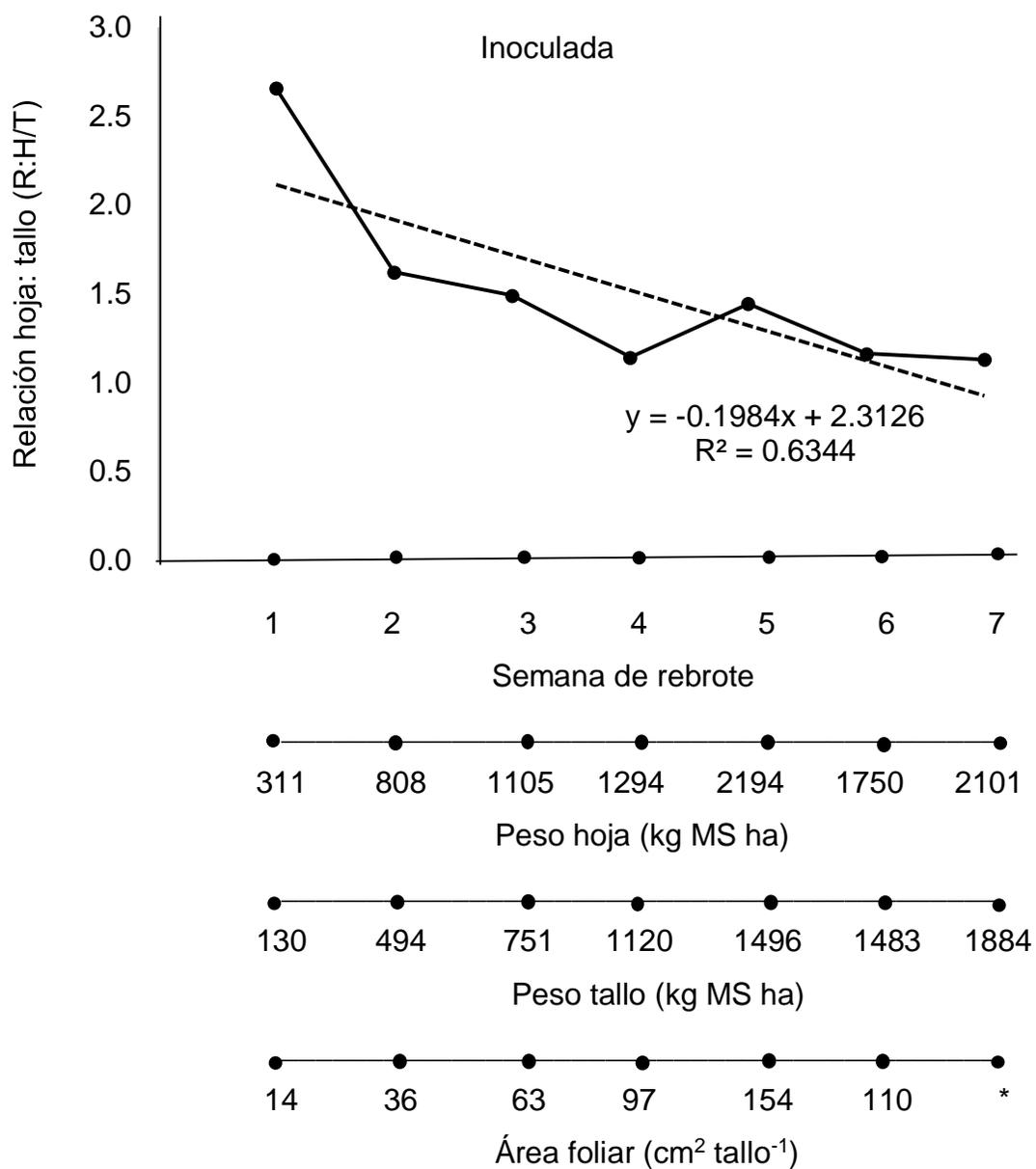


Figura 7. Relación hoja:tallo, peso de hoja, de tallo y área foliar de alfalfa (*Medicago sativa* L.), inoculada, en la estación de primavera (04 de mayo al 22 de junio de 2019).

* Dato no determinado.

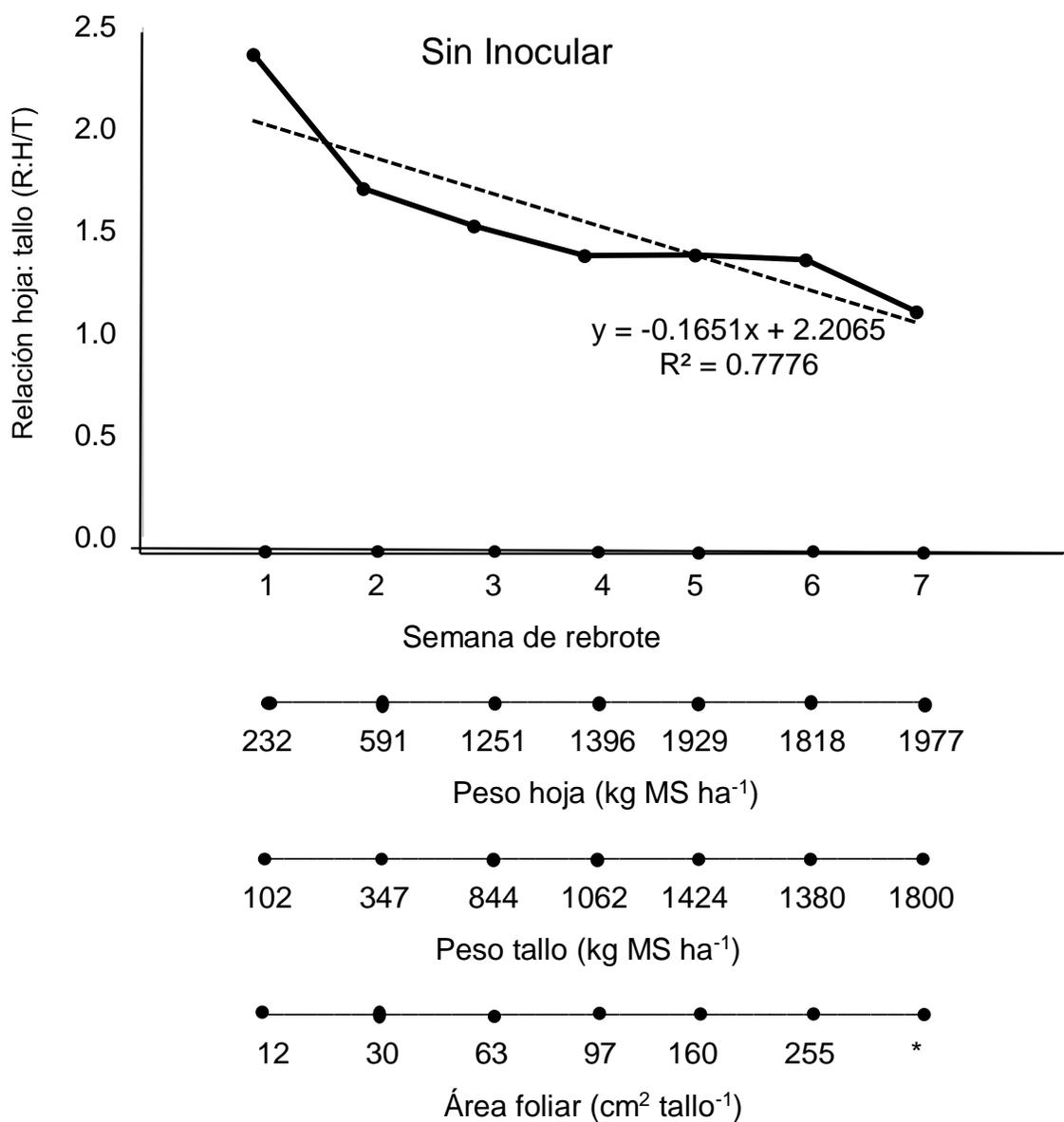


Figura 8. Relación hoja:tallo, peso de hoja, de tallo y área foliar de alfalfa (*Medicago sativa* L.), inoculada, en la estación de primavera (04 de mayo al 22 de junio de 2019).

* Dato no determinado.

V. CONCLUSIONES

El rendimiento de forraje se incrementa con la edad del rebrote, alcanzando el máximo rendimiento se alcanza a la semana siete, con la mayor producción de hoja, por lo es el momento óptimo para cosechar, una vez que la biomasa de hojas verdes ha alcanzado su más alto nivel y antes que se acelere la pérdida por senescencia.

Existe una relación directa entre la altura de la pradera con el rendimiento de forraje, a medida en que aumentó la altura de la pradera se incrementó el rendimiento de forraje.

La composición botánica-morfológica y la relación hoja-tallo de la alfalfa, encontrada en esta investigación, no son buenos indicadores del rendimiento de la pradera, esto debido a que no muestran tendencias claras que ayuden a predecir su comportamiento, pero son útiles para inferir de manera sencilla la calidad del forraje.

La mayor correlación de altura y el porcentaje de radiación interceptada, para estimar el rendimiento se obtuvo con el método de la regla, sin embargo, los métodos indirectos para estimar el forraje son imprecisos y no exactos, por lo que se recomienda calibrarlos con cuadrados fijos para medir el rendimiento.

La mayor área foliar por tallo se presentó a la sexta semana de rebrote. El componente morfológico que más contribuye al rendimiento de forraje fue la hoja, seguido por el tallo, maleza, material muerto y la inflorescencia.

VII. LITERATURA CITADA.

- Allen, M.S., y M. Oba.1996.** Increasing fiber digestibility may increase density, dry matter intake. Part 1. Feedstuffs. 68 (48):12.
- Álvarez, P. 2013.** Evaluación cuantitativa de diez variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Tesis. Montecillo, Texcoco - México. 79 pp
- Barnes D. K., Bingham E. T., Murphy R. P., Hunt O. J., Beard D. F., Skrdla W. H., Teuber L. R. 1977.** Alfalfa germplasm in the United States: Genetic vulnerability, use, improvement, and maintenance. USDA-ARS Tech. Bull. 1571. Washington, DC.
- Bouton, J. 2001.** Alfalfa. In: Gomide JA, Mattos WRS, da Silva SC (eds) Proc. XIX International Grassland Congress, Sao Pedro, Sao Paulo Brazil. 11–21(February 2001). FEALQ, Piracicaba SP Brazil, 545- 547.
- Brown, P. W. y C. B. Tanner. 1983.** Alfalfa stem density and leaf growth during water stress. Agron. J. 75: 799-805.
- Camp, R.C. 1999.** Subsurface drip irrigation Journal. April: 1-4.
- Cantu, B.J. 2003.** Principios de Bromatología Animal. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” Unidad Laguna. Departamento de producción.
- Casler, M. D., & Undersander, D. J. 2019.** Identification of Temperate Pasture Grasses and Legumes. Horse Pasture Management, 11–35. doi:10.1016/b978-0-12-812919-7.00002-0 USDA, NRCS. 2019. The PLANTS Database (<http://plants.usda.gov>, 5 December 2019). National Plant Data Team, Greensboro, NC 27401-4901 USA.
- Castro, R. R.; Hernández, G. A.; Vaquera, H. H.; Hernández, G. J. P.; Quero, C. A. R; Enriquez, Q. J. F. y Martínez, H. P. A. 2012.** Comportamiento productivo

de asociaciones de gramíneas con leguminosas en pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 35(1): 87-95.

Cavero, J., Faci, J. M., & Martínez-Cob, A. 2016. Relevance of sprinkler irrigation time of the day on alfalfa forage production. *Agricultural Water Management*, 178, 304–313. doi:10.1016/j.agwat.2016.10.008

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.

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

Dávila Aranda, Patricia. Sánchez Ken, Jorge. 1996. La importancia de las gramíneas como forraje en México. *Ciencias*, núm. 44, octubre-diciembre, pp. 32-34

De Lira, C. AL. 2017. Rendimiento de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) a diferentes edades de cosecha en la estación de primavera. Tesis como requisito para obtener el título de ing. Agrónomo especialista en Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 49 p.

Fiutak, G., Michalczyk, M., Filipczak-Fiutak, M., Fiedor, L., & Surówka, K. 2019. The impact of LED lighting on the yield, morphological structure and some bioactive components in alfalfa (*Medicago sativa* L.) sprouts. *Food Chemistry*. doi:10.1016/j.foodchem.2019.01.086

Garay-Martínez, J. R.; Joaquín-Cancino, S.; Estrada-Drouaillet, B.; Martínez-González, J. C.; Joaquín-Torres, B. M.; Limas-Martínez, A. G. y Hernández-Meléndez, J. 2018. Acumulación de forraje de pasto buffel e híbridos de *Urochloa* a diferente edad de rebrote. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 5 (15): 573-581.

- García, Y. W.G. 2015.** Rendimiento y calidad de forrajes de cereales de grano pequeño. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de doctora en ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. 79 p.
- Godoy A., C., H. Garza S. y Ma. V. Huitrón R. 1998.** Crecimiento y acumulación de azúcares en el fruto de la vid bajo diferentes condiciones Hídricas. Información Técnica Económica Agraria (ITEA) 94: 129-137.
- Grimes, D. W., P.L. Wiley y W. R. Sheesley. 1992.** Alfalfa yield and plant water relation with variable irrigation. Crop Science 32: 1381-1387.
- Guerrero A. 1992.** Cultivos Herbáceos extensivos. Quinta edición. Editorial MundiPrensa. México D.F. p 24
- Hanson, A.A., Barnes, D.K., y Hill, R.R. 1988.** Alfalfa and Alfalfa Management. Agronomy Monographs, No. 29. CSSA/ASSA/SSSA, Madison, Wisconsin.
- Hendry G. W. 1923.** Alfalfa in history. J. Am. Soc. Agron., 15: 171–176.
- Hennggeler, J. 1997.** Foraging for efficiency: Subsurface drip for alfalfa. Agricultural irrigation. February 11-14.
- Hijano, E. y Navarro, A. 1995.** La alfalfa en la Argentina. Enciclopedia Agro de Cuyo. INTA C.R. San Juan, Argentina. Manuales-11. p. 150-170.
- Hills, D. J., Tajrishy, A.M. y Gu, Y. 1989.** Hydraulic considerations for compressed subsurface tape. Transaction of the Am.Soc. of Agric. Eng. 32: 1197- 1201.
- Infoagro, 2008.** <https://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa.htm>
- Inzunza I, M, A. 1996.** Requerimientos hídricos de la alfalfa en la fase productiva. Resúmenes 1er Día de Demostración Técnica de Riegos en Alfalfa. Abril: 7-13. CIAN-INIFAP. Matamoros, Coah.

- Jahn, E.; Vidal, A. y Soto P. 2000.** Sistema de producción de leche basado en alfalfa (*Medicago sativa*) y maíz (*Zea mays*) para la zona centro sur. I Producción de leche. Agricultura Técnica (Chile) 60: 43-51.
- Leach, G.J. 1970.** Growth of the lucerne plant after defoliation. Proceeding of the International Grassland Congress. Queensland, Australia. p. 760-767.
- Maass, B. L.; Midega, C. A. O.; Mutimura, M.; Rahetlah, V. B.; Salgado, P. y Kabirizi, J. M. 2015.** Homecoming of Brachiaria: Improved hybrids prove useful for african animal agriculture. East African Agricultural and Forestry Journal. 81: 71-78.
- Nuñez H., 2000.** Valor Nutritivo de la Alfalfa. Pp 157 – 166. In; Producción y Utilización de la Alfalfa en la Zona Norte de México. Libro Técnico No 2. Primera Edición.SAGAR.INIFAP, CIRNOC, CELALA - Comarca Lagunera. 171 p.
- Ojeda, J. J., Caviglia, O. P., Agnusdei, M. G., & Errecart, P. M. 2018.** Forage yield, water- and solar radiation-productivities of perennial pastures and annual crops sequences in the south-eastern Pampas of Argentina. Field Crops Research, 221, 19–31. doi:10.1016/j.fcr.2018.02.010
- Phene, C.J. 1999.** Producción de alfalfa con riego por goteo. Memorias del 1er Simposium Internacional de Irrigación y Nutrición Vegetal. León, Guanajuato, México. Julio 15-17: 75-83
- Quiroga, H. 2013.** Tasa de acumulación de materia seca de alfalfa en respuesta a variables climatológicas. Revista mexicana de ciencias agrícolas 4 (4): 503516.
- Research and markets, 2018.** Global Alfalfa Hay Market - Segmented by Type, application and Geography - Growth, Trends, and Forecast (2018 - 2023)
- 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 GAR, Hernández GA, Joaquín CS, Maldonado PMA, Mendoza PSI, Álvarez VP, et al. 2016.** Comportamiento productivo de cinco variedades de alfalfa. Rev Mex Cienc Agríc; 7(8):1855-1866.
- Rojas, H. S.; Olivares, P. J.; Jiménez, G. R. y Hernández, C. E. 2005.** Manejo de praderas asociadas de gramíneas y leguminosas para pastoreo en el trópico. Revista Electrónica de Veterinaria REDVET, 6(5): 1-19.
- Romero, O. 1996.** Conceptos básicos relacionados con el crecimiento de las plantas forrajeras y con el manejo de especies perennes sembradas. *In:* Ruiz, I. (Ed.) Praderas para Chile. Segunda Edición. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. p. 199-208.
- Sabed, A.M., y A. H. El Nadi. 1997.** Irrigation effects on the growth, yield and water use efficiency of alfalfa. Irrigation Science 17: 63-68.
- Samms, T.W. 1980.** Comparison of sprinkler, trickle, subsurface and furrow irrigation methods for row crops. Agron. J. 72: 701-704.
- 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.
- Small, E. 2011.** Alfalfa and relatives: evolution and classification of Medicago. NRC Research Press, p. 727
- Soto, P.; Jahn, E.; Acuña, H. and Ovalle, C. 1993.** Pasture productivity of different species evaluated under grazing in the central valley of Chile. Proceeding of the XVIII International Grassland Congress. Palmerston North, New Zealand. 8-21 February 1993. p. 868-869.
- Tamero web, 2016.** <https://www.tamero.com/posts/686-la-importancia-de-laalfalfa-en>.

- USDA, 2017.** U.S. Alfalfa Hay Exports to China Climb. GAIN Report USDA Foreign Agricultural Service
- Van Soest, P.J. 1996.** Environment and forage quality. Pp 1-9 In: Cornell Nutrition Conference for Feed manufacturers 58 th Meeting. Ochester, N.Y. Cornell University, Ithaca, N.Y.
- 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.
- Verloove F, Groom Q, Brosens D, Desmet P, Reyserhove L. 2019.** Manual of the Alien Plants of Belgium. Version 1.8. Botanic Garden Meise. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/wtda1m> accessed via GBIF.org on 2019-12-05.
- Wang, S., Jiao, X., Guo, W., Lu, J., Bai, Y., & Wang, L. 2018.** Adaptability of shallow subsurface drip irrigation of alfalfa in an arid desert area of Northern Xinjiang. PLoS ONE, 13(4), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195965>
- Zaccaria, D., Carrillo-Cobo, M. T., Montazar, A., Putnam, D. H., & Bali, K. 2017.** Assessing the Viability of Sub-Surface Drip Irrigation for Resource-Efficient Alfalfa Production in Central and Southern California. *Water* (20734441), 9(11), 837. <https://doi.org/10.3390/w9110837>
- Zaka, S., Ahmed, L. Q., Escobar-Gutiérrez, A. J., Gastal, F., Julier, B., & Louarn, G. 2017.** How variable are non-linear developmental responses to temperature in two perennial forage species? *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 433–442. doi:10.1016/j.agrformet.2016.10.004 mexicana de ciencias pecuarias. Volumen 1, No 4. Mérida.

VII. ANEXOS

Cuadro 4. 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 (04 de mayo al 22 de junio de 2019).

Tratamiento	Semanas de rebrote							Promedio	Sig.	EEM	DMS
	1	2	3	4	5	6	7				
Sin inocular	488 e	1000 e	2143 d	2623 cd	3466 bc	3734 b	4768 a	2603	**	314	876
Inoculada	588 d	1136 d	1629 cd	2142 bcd	3301 bc	3858 ab	4508 a	2489	**	706	1968
Promedio	538 f	1068 ef	1886 de	2382 cd	3383 bc	3796 ab	4768 a	2546	**	433	1207
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
EEM	128	438	409	501	572	1014	326	339			
DMS	291	993	928	1137	1298	2299	740	770			

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

Cuadro 5. Análisis de varianza de la relación hoja:tallo (R:H/T) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) sometida a diferentes edades de cosecha, en la estación de primavera (04 de mayo al 22 de junio de 2019). Relación hoja tallo (R:H/T) sometido a diferentes edades de cosecha.

Tratamiento	Semanas de rebrote							Promedio	Sig.	EEM	DMS
	1	2	3	4	5	6	7				
Sin Inocular	2.4 a	1.7 b	1.5 bc	1.4 bc	1.4 bc	1.4 bc	1.1 c	1.5	*	0.21	0.59
Inoculada	2.7 a	1.6 b	1.5 b	1.1 b	1.4 b	1.2 b	1.1 b	1.5	*	0.34	0.96
Promedio	2.5 a	1.7 b	1.5 bc	1.3 bc	1.4 bc	1.3 bc	1.1 c	1.5	**	0.19	0.54
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
EEM	0.59	0.12	0.11	0.21	0.25	0.25	0.09				
DMS	1.35	0.29	0.26	0.48	0.58	0.58	0.20				

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

Cuadro 6. Análisis de varianza del peso de hoja (kg MS ha⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) sometida a diferentes edades de cosecha, en la estación de primavera (04 de mayo al 22 de junio de 2019).

Tratamiento	Semanas de rebrote							Promedio	Sig.	EEM	DMS
	1	2	3	4	5	6	7				
Sin Inocular	231 d	590 cd	1251 bc	1396 ab	1929 a	1817 ab	1977 a	1313	**	242	675
Inoculada	311 d	808 cd	1105 bcd	1294 abc	2158 a	1749 ab	2101 a	1361	**	329	919
Promedio	271 e	699 de	1178 cd	1345 bc	2043 a	1783 ab	2039 a	1337	**	205	572
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
EEM	35	89	171	373	204	514	316				
DMS	81	203	389	847	464	1167	717				

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

Cuadro 7. Análisis de varianza del peso de tallo (kg MS ha⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) sometida a diferentes edades de cosecha, en la estación de primavera (04 de mayo al 22 de junio de 2019).

Tratamiento	Semanas de rebrote							Promedio	Sig.	EEM	DMS
	1	2	3	4	5	6	7				
Sin inocular	102 d	347 cd	844 bc	1061 b	1423 ab	1380 ab	1800 a	994	**	227	634
Inoculada	129 e	494 de	750 cd	1120 bc	1496 ab	1483 ab	1051 a	932	**	219	611
Promedio	116 e	420 e	797d	1090 cd	1431 b	1431 bc	1425 a	963	**	124	348.
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
EEM	44	56	125	309	122	241	399				
DMS	100	120	283	701	277	548	906				

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