

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



Comportamiento productivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferentes edades de rebrote, en el sureste de Coahuila, México

Por:

Benjamín Carmona Canseco

Presentada Como Requisito Parcial Para
Obtener El Título De:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Febrero de 2021.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Comportamiento productivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferentes
edades de rebrote, en el sureste de Coahuila, México

POR:

Benjamín Carmona Canseco

TESIS PROFESIONAL

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. Antonio Flores Naveda
Coasesor

Dr. Neymar Camposeco Montejo
Coasesor

M.C. Fidel Maximiano Peña Ramos
Coasesor

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



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Febrero de 2021.

RESUMEN

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es el cultivo forrajero más importante del mundo y un alimento de alta calidad para todo tipo de ganado. El objetivo fue evaluar el comportamiento productivo de alfalfa a diferentes días de rebrote (DDR), para encontrar el punto óptimo de cosecha, en la estación de primavera en el sureste de Coahuila, México. Se utilizó un diseño completamente al azar, con tres repeticiones. Los datos se analizaron mediante el procedimiento PROC GLM del SAS y la comparación de medias con la prueba Tukey al 5 % de probabilidad. El mayor rendimiento de materia seca se obtuvo a los 42 DDR con 5,439 kg MS ha⁻¹ y el menor a los 7 DDR, con 225 kg MS ha⁻¹. La composición botánica y morfológica, registró que la hoja fue el componente de mayor aporte al rendimiento de forraje, seguido por el tallo, material muerto, inflorescencia y maleza, con 50, 44, 4, 2 y 0.5 %, respectivamente. La relación hoja:tallo, mostró diferencias del 7 DDR, hasta los 42 DDR, con un valor de 3.1 hasta un 0.9, respectivamente. Así mismo, la altura de planta se incrementó conforme aumentó la edad de rebrote de 10 cm a los 7 DDR, hasta un máximo valor de 67 cm a los 42 DDR. La mayor y menor interceptación luminosa se dio en los días 42 y 7 DDR con 92 % y 28 %, respectivamente, con el método de regla, sin embargo, por el método de la barra, el día 7 DDR, fue menor al resto de las fechas, con 33 % respecto a un 77 % a los 42 DDR. Finalmente, el área foliar por tallo, se registró su mayor valor a los 42 DDR con 225 cm² y menor a los 7 DDR con 12 cm². En conclusión, el rendimiento de materia seca, altura de planta, luz interceptada, y área foliar por tallo, se incrementaron a medida que avanzó la edad de rebrote, concentrando sus mayores valores a los 42 DDR, y los menores a los 7 DDR, mientras que la relación hoja:tallo tuvo un comportamiento inverso. Así mismo, la posible edad de cosecha recomendable para la alfalfa en la estación de primavera en el sureste de Coahuila México es a los 42 días de edad.

Palabras clave: Alfalfa, *Medicago sativa*, días de rebrote, estación de primavera.

ABSTRACT

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is the world's most important forage crop and a high-quality feed for all types of livestock. The objective was to evaluate the productive behavior of alfalfa at different regrowth days (DRD), to find the optimum harvest point, in the spring season in the southeast of Coahuila, Mexico. A completely randomized design was used, with three replications. The data were analyzed using the PROC GLM procedure of the SAS and the comparison of means with the Tukey test at 5 % probability. The highest dry matter yield was obtained at 42 DRD with 5,439 kg DM ha⁻¹ and the lowest at 7 DRD, with 225 kg DM ha⁻¹. The botanical and morphological composition recorded that the leaf was the component with the highest contribution to the forage yield, followed by the stem, dead material, inflorescence and weeds, with 50, 44, 4, 2 and 0.5 %, respectively. The leaf:stem ratio showed differences of 7 DRD, up to 42 DRD, with a value of 3.1 to 0.9, respectively. Likewise, plant height increased as the regrowth age increased from 10 cm at 7 DRD, up to a maximum value of 67 cm at 42 DRD. The highest and lowest light interception occurred on days 42 and 7 DRD with 92 % and 28 %, respectively, with the rule method, however, by the bar method, on day 7 DRD, it was lower than the rest of the dates, with 33 % compared to 77 % at 42 DRD. Finally, the leaf area per stem, its highest value was recorded at 42 RDD with 225 cm² and lower than 7 DRD with 12 cm². In conclusion, the dry matter yield, plant height, intercepted light, and leaf area per stem increased as the regrowth age advanced, concentrating their highest values at 42 DRD, and the lowest at 7 DRD, while the leaf: stem relationship had an inverse behavior. Likewise, the possible recommended harvest age for alfalfa in the spring season in the southeast of Coahuila Mexico is 42 days old.

Keywords: Alfalfa, *Medicago sativa*, regrowth days, spring season.

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, tengo que agradecer a mi Dios por todo lo que soy, por darme la vida, y aunque a veces reniego de ti, eres mi fuerza cuando más lo necesito, gracias por darme la oportunidad de llegar hasta donde estoy.

A mi "**Alma Mater**" por darme la oportunidad de cumplir mis sueños, por cobijarme en su seno, por ser mi segunda casa y por todos los bellos momentos que pase a tu lado.

Al Dr. **Perpetuo Álvarez Vásquez**, mi asesor, al que considero mi amigo, y un ejemplo a seguir, gracias por su paciencia, apoyo, dedicación, por darme la oportunidad y la confianza en la realización de este trabajo.

A mis asesores de tesis, el Dr. **Antonio Flores Naveda**, Dr. **Neymar Camposeco Montejo**, **MC. Fidel Maximiano Peña Ramos**, muchas gracias por su apoyo para la realización de este trabajo.

Al **DR. José Antonio Hernández Herrera**, por sus conocimientos, consejos y por darme su apoyo incondicional en la realización de este trabajo.

A mis padres **Bernardo Carmona Mendoza** y **Lidia Canseco Cruz**, gracias por haberme dado la vida, gracias por creer en mí y por su apoyo incondicional que me brindaron durante mis estudios.

A toda mi familia, mis hermanos Nati, Yessita, Wili, Santi, a mis primos Wendy, Manuel, Carlos, tía Cecy, tía flor, a mis abuelos Francisco, Dominga, Pedro y Josefa, gracias por todo su apoyo, consejos y sus enseñanzas.

A todos mi amigos que estuvieron con migo en las buenas y malas, Perla Guadalupe de la Cruz Alday (mocha), Alejandro Misael Castro Martínez, Felipe Barbón Huesca, Osstin Joel Alvizo, Daniel Torres Ruiz, Erika Ávila Torres, Israel Márquez Estrada, Josué Arellano Domínguez, Evalinda Rivera Jaramillo, Mauro Basaldú, Francisco Melo Udabe, Sara Fabiola Espinoza Sandoval, Iris Avalos Juárez, gracias por brindarme su amistad, apoyo incondicional y por todos los bellos momentos que pasamos juntos, muchas gracias.

DEDICATORIA

A mis padres:

Bernardo Carmona Mendoza y Lidia Canseco Cruz, por haberme dado la vida, por darme todo su apoyo incondicional emocional y económico, gracias por convertirme en el profesionalista que ahora soy, gracias por sus enseñanzas y por guiarme siempre por el sendero correcto.

A mis abuelos:

Francisco Carmona Jiménez, a ti viejo por todos tus consejos, enseñanzas que me diste desde niño, gracias por haberme inculcado el valor del trabajo, la honestidad ante todo y el respeto hacia los demás.

Pedro Jiménez, gracias por tu apoyo incondicional, consejos y enseñanzas.

Dominga Mendoza y Josefa Cruz, mis dos señoras que adoro mucho, muchas gracias por su amor incondicional.

A toda mi familia:

Por creer en mí y siempre darme ánimos para continuar y culminar mis estudios.

Para mi gloriosa **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, que el presente trabajo sirva como fuente de consulta y conocimiento para todos aquellos que la necesiten.

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Hipótesis	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Antecedentes de la alfalfa.....	3
2.2 Descripción de la especie en estudio.....	4
2.2.1 Descripción taxonómica.....	4
2.2.2 Descripción morfológica	4
2.3 Importancia de la alfalfa	5
2.4 Variedades de alfalfa y su mejoramiento genético.....	6
2.5 Condiciones del clima que determinan el crecimiento de la alfalfa	7
2.5.1 Temperatura y altitud.....	7
2.5.2 Humedad	7
2.5.3 Edáficas.....	8
2.6 Factores que afectan la capacidad de rebrote	10
2.6.1 Disponibilidad de agua	10
2.6.2 Frecuencia e intensidad de corte.....	11
2.6.3 Índice de área foliar	12
2.6.4 Radiación solar e intercepción luminosa	12
2.7 Plagas que afectan la producción de forraje en la alfalfa	13
2.8 Enfermedades del cultivo de alfalfa	13

III. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Descripción del sitio experimental.....	15
3.2 Manejo de la parcela.....	16
3.3 Variables evaluadas.....	16
3.3.1 Rendimiento de forraje	16
3.3.2 Composición botánica y morfológica (CBM).....	17
3.3.3 Relación hoja tallo	17
3.3.4 Altura de la planta.....	18
3.3.5 Área foliar	18
3.3.6 Porcentaje de luz interceptada	18
3.4 Tratamientos y análisis estadístico	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1 Rendimiento de forraje.....	20
4.2 Composición botánica y morfológica	21
4.3 Relación hoja tallo.....	24
4.4 Altura de planta.....	25
4.5 Intercepción luminosa	27
4.6 Área foliar.....	30
V. CONCLUSIONES.....	32
VI. RECOMENDACIONES	32
VI. LITERATURA CITADA	33
VII. ANEXOS	43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.).....	4
Cuadro 2. Plagas del cultivo de la alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.).....	13
Cuadro 3. Enfermedades en la alfalfa causada por hongos.....	14
Cuadro 4. Análisis de varianza de las variables evaluadas y determinadas en una pradera de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) cosechada a diferentes edades de rebrote, en el sureste de Coahuila, México.....	43
Cuadro 5. Análisis de varianza de los componentes morfológicos, expresados en porcentaje de aportación al rendimiento total de forraje de una pradera de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) cosechada a diferentes edades de rebrote, en el sureste de Coahuila, México.....	44
Cuadro 6. Análisis de varianza de los componentes morfológicos, expresados en kg MS ha ⁻¹ , de aportación al rendimiento total de forraje de una pradera de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) cosechada a diferentes edades de rebrote, en el sureste de Coahuila, México.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componente morfológico de la inflorescencia de alfalfa (Tomada de por Jon Sullivan, 2021).	5
Figura 2. 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 del 2019).....	15
Figura 3. Rendimiento de forraje (kg MS ha ⁻¹) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium cosechada a diferentes días de rebrote.....	21
Figura 4. Composición botánica y morfológica (CBM) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, cosechada a diferente edad de rebrote.....	23
Figura 5. Relación hoja:tallo (R:H/T) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium cosechada a diferente días de rebrote.....	25
Figura 6. Altura de planta (cm) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium cosechada a diferente edad de rebrote.....	27
Figura 7. Radiación interceptada (%), de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, cosechada a diferente edad de rebrote, determinada con el método de la regla (Figura a; IL_Regla) y de la barra light (Figura b; IL_Barra).....	29
Figura 8. Área foliar por tallo (cm ² tallo ⁻¹) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium cosechada a diferente edad de rebrote... ..	31

I. INTRODUCCIÓN

Prácticamente en la mayoría de los países de todo el mundo, los forrajes constituyen un aproximado del 80 % del alimento consumido por los rumiantes (Mendoza *et al.*, 2010). La alfalfa es una especie perenne, que presenta raíces profundas, con gran abundancia de tallos, y usualmente erectos que parten de yemas de la corona. Es tal vez el cultivo forrajero más importante del mundo y un alimento de alta calidad para todo tipo de ganado. En las condiciones adecuadas, es la leguminosa forrajera más productiva, y probablemente la primera especie forrajera cultivada (FAO, 2003). En México, es la leguminosa forrajera más utilizada para la alimentación del ganado, tanto para las regiones áridas, semiáridas como en las regiones templadas (Rojas *et al.*, 2017). La producción nacional anual promedio durante los últimos 10 años fue de 30 millones 950 mil toneladas, sobresaliendo el estado de Chihuahua. Para el año 2017 se destinaron alrededor de 86 mil 140 hectáreas para este cultivo, lo cual generó ganancias de 3 mil 395 millones de pesos para los productores de esta entidad (SIAP, 2018). Los principales estados productores son: Chihuahua, Hidalgo, Guanajuato, Durango, Baja California, Sonora, San Luis Potosí, Coahuila, Puebla y Zacatecas, reportando una producción total de 29,287,027 toneladas (SIAP, 2018). La alfalfa presenta un valor nutricional, aportando 22 % de proteína y 70 % de digestibilidad, consumida principalmente en los sistemas de producción de bovinos de leche y carne, ya sea en fresco, ensilada o henoificada (Rojas *et al.*, 2017).

La edad a que es cosechada la alfalfa, debe definirse en base en el estado de desarrollo de la planta, para lograr máximos rendimientos, mejor calidad de forraje y persistencia de la pradera (Hernández-Garay *et al.*, 1992). Pérez *et al.* (2002) consiguieron que describir el comportamiento productivo de una especie entre defoliaciones sucesivas es fundamental para entender el efecto de la frecuencia e intensidad de corte sobre el rendimiento. Por su parte Mendoza *et al.* (2010) menciona que, la alfalfa se ve afectado su rendimiento, área foliar, cuando es cosechada a edades tempranas, además incrementa la invasión de especie no

deseadas, por lo que, recomendaron que una cosecha óptima es cada tres semanas, para no afectar su persistencia. Por lo anterior, se establecieron los siguientes objetivos.

1.1 Objetivo general

- Evaluar el comportamiento productivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferentes edades de rebrote, en la estación de primavera, buscando determinar el momento óptimo de la cosecha en el sureste del estado de Coahuila.

1.2 Objetivos específicos

- Analizar el crecimiento de las plantas de alfalfa de acuerdo con los días de rebrote.
- Calcular el rendimiento de alfalfa con relación a la edad de la planta.
- Contrastar el rendimiento de forraje con relación a los componentes botánicos – morfológicos.

1.3 Hipótesis

- A medida que la edad de la planta avanza, después de ser defoliada, se incrementa el rendimiento de forraje, altura de la planta, cantidad de radiación interceptada y área foliar.
- A mayor madurez fisiológica de las plantas, disminuye de la relación hoja-tallo.
- El componente morfológico hoja tiene un comportamiento inverso al tallo, material muerto y maleza, en su aportación al rendimiento de forraje. Sin embargo, su rendimiento individual se incrementa conforme aumenta la edad de rebrote.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la alfalfa

La alfalfa pertenece a la familia Fabaceae (Naturalista, 2021), su nombre científico es *Medicago sativa* L., y es una planta forrajera perenne de porte erecto, conocida desde la antigüedad como la reina de las plantas forrajeras. Tiene su origen a partir de dos especies: Alfalfa común (*Medicago sativa* L.) y Alfalfa amarilla (*Medicago falcata* L.) (Callejas, 2007). Asia Menor se considera como el centro de origen, en el área denominado Mesopotamia, Persia y Turquestán, comprendiendo países como Turquía, Irak, Irán, Siria, Afganistán, parte occidental de Pakistán y Cachemira. Posteriormente fue llevada a Grecia por el imperio Persa en el año 490 a. C en la conquista a Grecia, donde los romanos la usaron para alimentar a sus caballos y fue introducida en Italia aproximadamente en el año 146 a. C. (Robles, 1985).

La primera vez que aparece mencionada en los textos babilónicos fue en el año 700 a. de C., donde era utilizada como una especie forrajera (Hendry, 1923). Los árabes la llamaron *alfafacah* que significa el mejor forraje, dispersándola desde Persia, a través del norte de África, hasta llegar a Europa ingresando por España (Pozo, 1977). En América, los conquistadores fueron los encargados de introducir esta especie, siendo México, Perú y Chile, los primeros países donde se cultivó, para que en 1854 fuera introducida a California, Nuevo México y Arizona (Hughes *et al.*, 1984), y convertirse en una especie forrajera de importancia por su alta productividad, excelente valor proteico, valor biológico, riqueza en vitaminas; tiamina, cianina, riboflavina, ácido pantoténico y, fundamentalmente, caroteno (Soriano, 2003).

2.2 Descripción de la especie en estudio

2.2.1 Descripción taxonómica

En el cuadro 1 se muestra la clasificación taxonómica de la alfalfa.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la alfalfa (*Medicago sativa* L.).

Reino	Plantae	Vegetal
Subreino	Viridiplantae	Plantas verdes
Infrareino	Streptophyta	Plantas terrestres
División	Tracheophyta	Plantas vasculares
Subdivision	Spermatophytina	Plantas con semilla
Clase	Magnoliopsida	Dicotiledónea
Orden	Fabales	
Familia	Fabaceae	
Subfamilia	Faboideae	
Tribu	Trifolieae	
Genero	<i>Medicago</i>	
Especie	<i>Sativa</i>	

Fuente: ITIS, 2021.

2.2.2 Descripción morfológica

Es una planta herbácea, de tipo perenne, con un hábito de crecimiento que va desde erecto a semi-erecto, ramificada, y puede alcanzar hasta un metro de altura, dependiendo de la variedad cultivada. Presenta una corona compuesta por la base perenne y subleñosa de los tallos, localizada a nivel del suelo o por debajo de la superficie, con hojas pinnadas trifoliadas, alternas y pecioladas, con folíolos de color

verde con el tercio superior de borde finamente dentado, acanalado, estipulas triangulares, subuladas y dentadas pegadas en la base del peciolo, numerosas flores de color violeta en racimos densos terminales (Figura 1), fruto legumbre ovalada de 2-3 espiras abiertas (Jewsbury, 2016).



Figura 1. Componente morfológico de la inflorescencia de alfalfa (Tomada de por Jon Sullivan, 2021).

2.3 Importancia de la alfalfa

La alfalfa se cultiva en una superficie aproximadamente de 30 millones de hectáreas en el mundo (Acharya *et al.*, 2020). El principal productor es Estados Unidos con 10,522,200 de hectáreas, produce 11.7 mil millones de dólares, ya que es el base de la alimentación de la industria ganadera (USDA, 2020), seguido por Argentina, Canadá y China (Alarcón *et al.*, 2011). En los últimos 10 años, el comercio mundial se ha incrementado en un 66 % en volumen y 98 % en monto. En 2016 alcanzó 8 millones de toneladas con un valor de 2.4 millones de dólares, por lo que muchos especialistas concretan una oportunidad de negocio en este mercado, y una oportunidad para países en vías de desarrollo (INTA, 2017).

En México, la alfalfa es considerada como forraje de alta demanda comercial, ya que es utilizada en la alimentación del ganado lechero en las regiones árida, semiárida y templada (Santana *et al.*, 2019). Su establecimiento ha permitido el

desarrollo de las cuencas lecheras más importantes del país, por ser el componente principal en la dieta de los bovinos productores de leche, ganado mayor y menor (Mendoza *et al.*, 2010). Los rendimientos son de aproximadamente 30 t MS ha⁻¹, su valor nutrimental oscila en los 22 % de proteína y 70 % de digestibilidad y es utilizada en fresco, henificada o ensilada (Rojas *et al.*, 2017). Para el 2019 se tenían sembradas 234,965 hectáreas con riego, con un rendimiento de 89.47 toneladas y en áreas de temporal cubrió 737.95 hectáreas con un rendimiento de 52.26 toneladas que suman un total de 235,703 hectáreas en producción verde. Mientras que, en la producción de alfalfa henificada se tienen 153,246 hectáreas con un rendimiento de 17.81 toneladas (SIAP, 2020).

2.4 Variedades de alfalfa y su mejoramiento genético

El trabajo genético para producir mejores variedades de alfalfa es un trabajo continuo que implica el uso de técnicas de mejoramiento tradicional y biotecnológico, donde se busca obtener mejores plantas con tolerancia a las bajas temperaturas, resistencia a enfermedades del suelo, enfermedades del follaje, tolerancia a salinidad, mayores rendimientos (Shi *et al.*, 2017), por lo que existe, una continua mejora para adaptar el cultivo a diferentes condiciones ambientales, ya que por naturaleza están diseñadas para establecerse en áreas templadas. Una alternativa es establecerla en las regiones subtropicales y semiáridas, lo cual se logra mediante la investigación y mejoramiento genético (Acharya *et al.*, 2020), y selección de variedades resistentes a plagas y enfermedades (Soriano, 2003). La mejora genética es utilizada para disminuir la susceptibilidad a las plagas como es el caso de ataque de trips (Tu *et al.*, 2018). Hoy en día ya se cuenta con mucha información respecto a la tolerancia o resistencia de las diferentes variedades comerciales a los patógenos y pulgones más comunes (Domínguez, 2006). En Estados Unidos se cuenta con una colección de 3,159 materiales genéticos, considerada como una reserva de germosplasma (USDA, 2020). De acuerdo con, la Alianza Nacional de Alfalfa y Forraje (National Alfalfa & Forage Alliance), para el 2021 existen 174 variedades

certificadas, con características de resistencia a plagas, enfermedades, dormancia y resistencia al frío (NAFA, 2021).

2.5 Condiciones del clima que determinan el crecimiento de la alfalfa

2.5.1 Temperatura y altitud

La germinación de la semilla, como principio de adaptación de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), está en función de la temperatura. Se considera un valor medio de 15 °C, para que se lleve a cabo este proceso. El nivel óptimo se ha registrado en un rango entre 28 a 30 °C, para una germinación adecuada. La presencia de temperaturas mayores a 38 °C provoca la muerte de plántulas jóvenes (Pozo, 1977). Para su establecimiento, el cultivo se adapta desde un clima cálido seco hasta un templado y frío, lo que le permite desarrollarse en altitudes desde el nivel del mar hasta 3000 m, aunque, la altitud óptima es de 1500 y 2500 m, con una precipitación de 900 mm anuales de lluvia uniformemente distribuidas, sin embargo, es sensible al exceso de humedad (León, 2003). Las plantas, en invierno detienen su crecimiento y lo reinician al llegar los meses de altas temperaturas en primavera y verano, donde encuentran condiciones más favorables para desarrollarse (Muslera y Ratera, 1991). Smith y Marten (1970) mencionan que los mayores rendimientos de alfalfa se obtienen a una temperatura promedio de 21 °C durante el día y 15 °C por la noche, ya que temperaturas mayores o menores a estas, causan una reducción en el crecimiento y producción de forraje. Pozo (1977), considera una temperatura adecuada entre los 18 y 28 °C para obtener una productividad aceptable, pudiendo germinar la semilla a temperaturas de 2 a 3 °C, no obstante, en cuanto mayor sea la temperatura mayor será la germinación.

2.5.2 Humedad

El agua es uno de los componentes más esenciales en el crecimiento de las plantas, ya que casi todos los procesos metabólicos dependen de su presencia,

además que es de suma importancia para el mantenimiento de la presión de turgencia, la disolución de solutos, el hidrogeno y oxígeno, para el proceso fotosintético (Lösch, 1995). Tanto el déficit como el exceso de agua suelen provocar situaciones de estrés en los cultivos. El exceso de agua por lo general se da en suelos mal drenados y en época de lluvias, causa anoxia en las raíces de las plantas afectando la respiración aerobia, disminuye la asimilación y distribución de carbono, la absorción de minerales y en consecuencia resulta en una menor producción de biomasa (Baruch, 1994).

Por otra parte, el déficit de agua afecta al comportamiento fisiológico y morfológico de las plantas, afecta el desarrollo vegetativo, la producción fotosintética y de biomasa (Antolín y Sánchez-Díaz, 1993). De acuerdo con Cowelt y Sprague (1996), la falta de humedad afecta el desarrollo de los tallos y raíces, y en contraste el exceso de humedad tiene afectaciones en la sobrevivencia de las plantas. La alfalfa, al desarrollarse en clima secos, bajo sistema de riego, utiliza la dormancia durante periodos secos y reinicia su crecimiento cuando las condiciones de humedad y temperatura son favorables (Hanson, 1980). También, el exceso de lluvia y saturación de humedad en el suelo, propicia el desarrollo de plagas y enfermedades de la raíz, que puede provocar una baja producción de alfalfa o incluso la muerte de plantas (Islas, 1972). La alfalfa por lo general se considera una planta resistente a la sequía, sin embargo, esto no quiere decir que no requiera cantidades adecuadas de agua para su desarrollo y producción (Pozo, 1977).

2.5.3 Edáficas

La alfalfa prefiere suelos profundos de textura franco arenosa a franco arcilloso, ya que suelos delgados, arenosos o arcillosos limitan seriamente su rendimiento (Espinoza y Ramos, 1997). Se requiere un pH del suelo de 6.5 a 7.5, valores menores a 5.8 afecta la absorción de nutrientes y mayores a 8.5 propician la presencia de enfermedades en el suelo (Del pozo, 1983). El pH óptimo para el cultivo de alfalfa es de 7.2, valores más bajos (acidez) trae implicaciones en la nodulación

del *Rhizobium meliloti*, la cual es una bacteria nodulante de la alfalfa que no se produce en un pH menor de 5.0, ya que reduce considerablemente su eficiencia en la fijación de nitrógeno atmosférico, disminuye la absorción del ion de calcio, así como toxicidad por los iones de aluminio y manganeso (Del Pozo, 1983). Sin embargo, ante un posible desarrollo de la alfalfa en suelos de pH menores a 5.0, es recomendable la aplicación de la cal, para elevar el pH y poder conseguir un establecimiento exitoso del cultivo, como alternativa en zonas cuyo suelo sean de características neutros o alcalinos (Muslera y Ratera, 1984).

Otra característica edáfica que afecta la productividad de la alfalfa es la salinidad, pues niveles de conductividad eléctrica superiores a 2 dS/m, reducen ligeramente su rendimiento y de 7 a 8 dS/m, limitan su productividad en un 50 % (Lara y Jurado, 2014). La salinidad en los suelos se puede dar a una gran diversidad de factores, pero una de las más comunes, es al aplicar riegos con un mal drenaje, o riegos con agua con un elevado contenido de sal, lo que ocasiona que pueda producirse una acumulación de este elemento, por la dificultad de eliminación de las mismas (Del pozo, 1983). Es por esto que la salinidad en las plantas limita la absorción de agua, debido a las diferencias en la presión osmótica entre la raíz y en la rizófora de esta. Si se da un aumento en la salinidad del suelo, esto produce en las plantas un desequilibrio entre la raíz la parte aérea, por lo cual las plantas que poseen un mayor desarrollo de raíces tienden a ser más resistentes a la salinidad, ya que las raíces alcanzan diferentes profundidades en los suelos, donde ésta ya no juega un papel importante por lo que resulta más tolerable (Del Pozo, 1983; Rojas 1993). Por lo tanto, se considera que la alfalfa tiene tolerancia a la presencia de salinidad en el suelo y en el agua, una excesiva presencia de sales y alcalinidad con pH mayor de 9.5 afecta la germinación y la producción de materia verde (Zhang *et al.*, 2017).

Acuña *et al.* (1991) indican que, la alfalfa presenta una alta extracción de nutrientes del suelo a excepción del nitrógeno, por lo que es necesario que la fertilización sea aplicada en forma balanceada y en altas dosis por unidad de superficie. Para esto es posible y recomendable aplicar productos orgánicos de

origen vegetal o animal, en diferentes grados de descomposición como: estiércol, rastrojos y residuos de cosechas con la finalidad de mejorar la fertilidad y de las condiciones físicas del suelo (Ruiz, 2003). Sin embargo, para contrarrestar esto, no es adecuado establecer los cultivos de alfalfa en suelos poco profundos, menores de 60 cm, ya que se limita el crecimiento de la raíz principal, por lo que demanda de suelos profundos, sin horizontes rocosos, aproximadamente de un metro de profundidad (López, 1993). Los suelos profundos, con buen drenaje, le proporcionan al cultivo, permanecer durante largos periodos de sequía, auxiliado por el sistema radicular de la alfalfa, lo que le permite obtener agua de capas profundas del suelo (Sánchez, 2005). Con lo anterior, se puede obtener un periodo de vida de la pradera entre 5 a 7 años dependiendo de la variedad y de los factores climáticos, hídricos y edáficos (Soriano, 2003).

2.6 Factores que afectan la capacidad de rebrote

2.6.1 Disponibilidad de agua

La alfalfa es un cultivo de una alta producción de forraje, por tanto, necesita altos requerimientos hídricos, para que las raíces puedan explorar hasta 3 metros de profundidad. Se considera que la mayor demanda de humedad es entre los 0 - 100 cm y la edad optima de establecimiento del cultivo es cercana a los 4 años (Huang *et al.*, 2018). Se ha estipulado que el requerimiento de agua para obtener una adecuada producción de forraje es aproximadamente entre 450 a 500 mm para climas frescos de montaña, mientras que para climas cálidos, áridos y desérticos el limite varia de entre 1,200 a 1,400 milímetros (Duarte, 2002).

El establecimiento de cultivo de alfalfa favorece la infiltración del agua superficial al subsuelo, por la acción de la raíz, que funcionan como canales de transportación del agua (Guo *et al.*, 2019). Con el uso de tecnología de ahorro de agua, como el riego por goteo permite la producción de forraje de alfalfa en las regiones áridas y semiáridas, incrementando la eficiencia en el uso del agua, con el

suministro de humedad en los primeros 100 cm de profundidad (Zhang *et al.*, 2020). Con el riego por goteo subterráneo, se dispone de humedad a profundidades de 0-60 cm, en la que se ha observado que hay una mayor cantidad de raíces a 30 cm. Con este, también se logra disminuir la pérdida de agua por evaporación y es una opción para producir forraje con poca disponibilidad de agua (Wang *et al.*, 2018). La eficiencia en el riego por goteo indica que se tiene ahorros de agua hasta del 10 al 30 % en campos de producción de alfalfa en California (Montazar *et al.*, 2017).

2.6.2 Frecuencia e intensidad de corte

La altura de corte o intensidad de cosecha, es la distancia que existe entre el suelo y los tejidos de forraje restantes después de la cosecha (Becerra, 2003). La intensidad de cosecha o también llamada severidad de defoliación nos dicta la cantidad o el porcentaje de biomasa cosechada con respecto a la cantidad total de forraje presente (Mendoza, 2008). Por otra parte, se entiende por frecuencia de corte al intervalo de tiempo transcurrido entre un corte y el siguiente, o el número de cortes en un periodo, ya que estos establecen el rendimiento de forraje por unidad de superficie (Mendoza, 2008). En la frecuencia de corte, al dictaminar los intervalos de tiempo entre un corte y otro, esto va determinar el rendimiento de forraje por unidad de superficie (Rojas, 2011). Al ampliar el intervalo de defoliación, ayudará a aumentar el rendimiento de materia seca por hectárea, por lo contrario, si se reduce el intervalo, disminuirá la producción y de igual manera bajará la cantidad de proteína y digestibilidad del forraje (Jiménez y Martínez, 1984). En contraste, a mayor frecuencia de defoliación, alrededor de 84 días, se presenta un incremento del rendimiento de materia seca, sin embargo, se presenta mayor senescencia de hojas, lo que puede corresponder a mayores alturas de planta cercanos a los 65 cm (Ta *et al.*, 2020). Así mismo, a una cosecha con mayor edad de la planta, si bien se incrementa el rendimiento de forraje, el valor nutricional disminuye con mayores valores de fibra detergente acida, fibra detergente neutra, dada la mayor presencia de tallos (Arnold *et al.*, 2019).

2.6.3 Índice de área foliar

El índice de área foliar (IAF) es la superficie de las hojas presentes por unidad de área en el suelo (Hodgson, 1990). Es una manera de medir la capacidad productiva de una planta o cultivos (Da Silva & Nascimento Jr, 2007). La producción de hojas verdes y el acomodo de estas a lo largo del tallo (filotaxia) determina la cantidad de intercepción luminosa en diferentes especies forrajeras, por lo que, a medida que el IAF aumenta, la cantidad de luz que llega al suelo disminuye y aumenta la tasa de crecimiento de las plantas (De Lira, 2017).

Las especies forrajeras dependen del proceso de fotosíntesis para producir energía para su mantenimiento y crecimiento, y necesitan de un dosel vegetal eficiente para interceptar la mayor radiación incidente (Ueno *et al.*, 2005). Por tanto, el índice de área foliar (IAF), es un componente importante para la producción de materia seca, destacándose que, al interceptar mayor energía luminosa, por los tejidos fotosintéticos activos, se garantiza la producción de los fotoasimilados (Alexandrino *et al.*, 2004). Por lo que, el índice de área foliar es un indicador que nos permite conocer la capacidad fotosintética de un cultivo (Lin *et al.*, 2020).

2.6.4 Radiación solar e intercepción luminosa

La determinación de la intercepción luminosa en la alfalfa ha sido utilizada para describir los incrementos en la producción de forraje, que permite una mayor área foliar, incremento en la tasa fotosintética, para la producción de energía, mayor concentración de CO₂ intercelular, y por lo tanto, mayor tasa de transpiración. A mayor cobertura o dosel, se aumenta la tasa de intercepción de la luz y por lo tanto mayor conductancia estomática que influyen en el rendimiento en materia seca (Lin *et al.*, 2020). No obstante, la sequía es una limitante para la absorción de la energía luminosa, ya que afecta la actividad fotoquímica en las hojas, y al existir una escasa disponibilidad de agua, se inhibe la síntesis de clorofila y su degradación y por tanto hay una menor la absorción de la luz (Zhang *et al.*, 2018).

2.7 Plagas que afectan la producción de forraje en la alfalfa

Las plagas de la alfalfa, ocasionan un retraso en su desarrollo, ya que, defolian, causan muerte de la planta, y reducen el desarrollo de semillas. De igual manera, son vectores de virus que crean puntos para la entrada de hongos y bacterias patógenas que atacan el follaje, tallos, raíces y vainas en desarrollo (Alarcón *et al.*, 2008). Existen varias plagas que atacan a la alfalfa en diferentes estados fisiológicos, de acuerdo con Alianza Nacional de Alfalfa y Forraje (NAFA por sus siglas en inglés), las principales mejoras genéticas de las variedades de alfalfa, se han enfocado en este aspecto (NAFA, 2021; Cuadro 2).

Cuadro 2. Plagas del cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.).

Resistencia	Nombre científico
Áfido de alfalfa manchado/ Pulgón manchado	<i>Therioaphis maculata</i>
Áfido del chícharo/pulgon verde	<i>Acyrtosiphum pisum</i>
Pulgón azul de la alfalfa	<i>Acyrtosiphon kondoi</i>
Cotorrita de la papa	<i>Empoasca fabae</i>
Nematodo del tallo	
Nematodo del nudo de la raíz del sur	
Nematodo del nudo de la raíz del norte	

Fuente: NAFA (2021).

2.8 Enfermedades del cultivo de alfalfa

Las enfermedades de la alfalfa son las causantes del deterioro y muerte de las plantas, ya que generan pérdidas económicas; sin embargo, su ocurrencia y severidad depende principalmente de las condiciones ambientales, del tipo de suelo y del manejo que se dé al cultivo. Desde el punto de vista económico existen pocas opciones para el control de enfermedades, por lo que se recomienda seleccionar variedades resistentes a los patógenos (INIFAP, 1997). En el cuadro número 3 se

mencionan las principales enfermedades que ocasiona pérdidas en el rendimiento de forraje la alfalfa.

Cuadro 3. Enfermedades en la alfalfa causada por hongos.

Resistencia	Nombre científico
Marchitez por <i>Verticillium</i>	<i>Verticillium albo-atrum</i>
Marchitez por <i>Fusarium</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>Medicaginis</i>
Antracnosis Raza 1	<i>Colletotrichum trifolii</i>
Pudrición de la raíz por <i>Phytophthora</i>	<i>Phytophthora megasperma</i> f. sp. <i>Medicaginis</i>
Pudrición de la raíz por <i>Aphanomyces</i> Raza 1	<i>Aphanomyces euteiches</i>
Pudrición de la raíz por <i>Aphanomyces</i> Raza 2	<i>Aphanomyces euteiches</i>

Fuente: (NAFA, 2021).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del sitio experimental

La evaluación se llevó a cabo del 04 de mayo al 22 de junio del 2019, a finales de la estación de primavera, en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, conocida como “El bajo” ubicada en Buenavista, Saltillo Coahuila, México, con coordenadas geográficas 25°21'15.11" de latitud Norte y 101° 2'17.23" de longitud oeste, con una altitud de 1,753 m (Google Earth Pro, 2020). El área de estudio presenta un clima templado semidesértico, con precipitación de 362 mm anuales, con temperatura media de 18.2 °C, la temperatura máxima 33 °C en el mes de junio de 2010 y la mínima registrada es de -11°C en diciembre de 1989 (CONAGUA, 2020). Las condiciones climáticas durante el estudio se presentan en la Figura 2, y se tomaron de la Estación Meteorológica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con coordenadas 25.3532°N y 101.0332°W

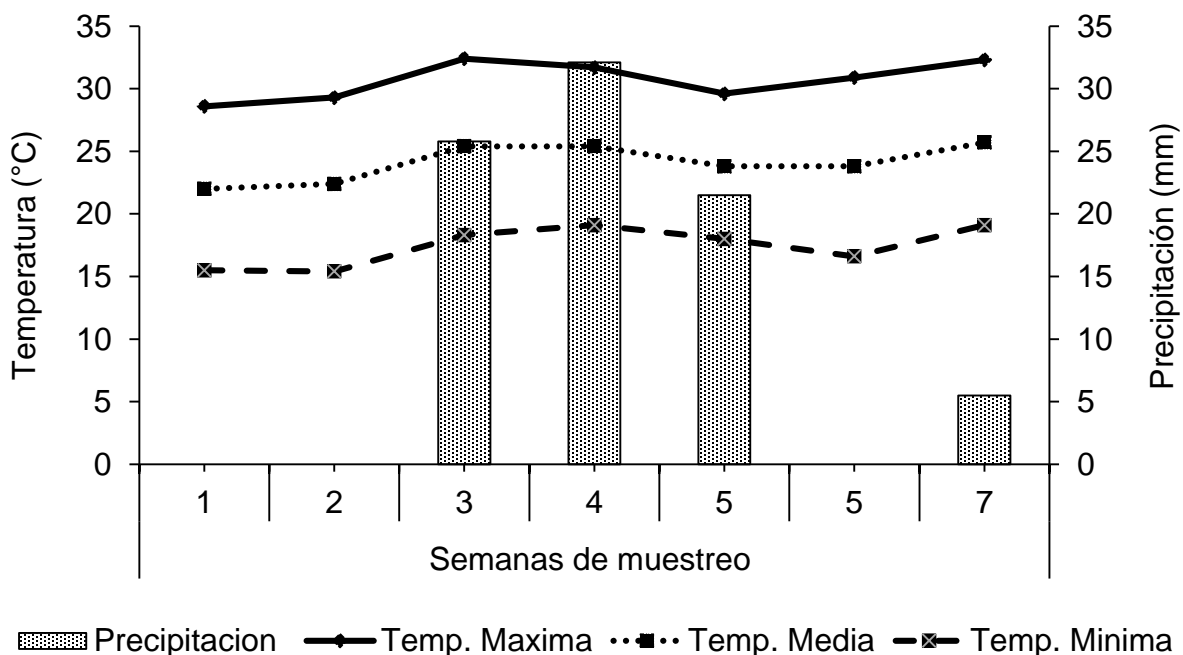


Figura 2. Distribución de la precipitación y temperatura promedio, máxima y mínima mensual que se registraron durante el periodo experimental (04 de mayo al 22 de junio del 2019).

3.2 Manejo de la parcela

Se utilizaron parcelas con un año de establecidas (octubre de 2018). Las unidades experimentales fueron camas de 42 m de longitud y 1.5 m de ancho. Se instaló un sistema de riego por goteo con cintilla calibre 6000, con perforaciones cada 20 cm. Las camas de siembra fueron divididas en 21 parcelas (unidad experimental) de 3 m de longitud por 1.5 m de ancho. Se aplicaron riegos cada 15 días a capacidad de campo. Se fertilizó con triple 17 al inicio del experimento. Los tratamientos fueron cortes sucesivos semanales durante siete semanas de rebrote. Los tratamientos fueron distribuidos de acuerdo a un diseño completamente al azar, con tres repeticiones. El 04 de mayo del 2019 se realizó el corte de uniformización a una altura de 5 cm y posteriormente se realizaron muestreos al azar, con un periodo de cada 7 días generalmente, dependiendo de la repetición que correspondía.

3.3 Variables evaluadas

3.3.1 Rendimiento de forraje

El muestreo consistió en cortar el forraje en una superficie de 0.25 m², utilizando un marco metálico de 50 x 50 cm, a una altura residual de 5 cm de cercanía del suelo, el material se resguardo en bolsas de papel con su respectiva identificación, posteriormente se trasladaron al laboratorio de forrajes, donde se sometieron a secado en una estufa por 72 horas, a peso constante. A continuación, se pesaron en una báscula analítica, se registraron cada uno de los datos para la estimación en kg MS ha⁻¹ mediante la siguiente formula:

$$\frac{0.25 \text{ m}^2 \text{ (área de muestreo)} \text{ ----- g MS pesados}}{10000 \text{ m}^2 \text{ (1 ha)} \text{ ----- } \underline{\text{kg MS ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}}$$

3.3.2 Composición botánica y morfológica (CBM)

De la muestra de forraje cosechado en 0.25 m², se obtuvo una sub-muestra del 10 % aproximadamente. La cual se separó en: hoja, tallo, maleza, material muerto e inflorescencia. Cada uno de los componentes separados se colocaron en bolsas de papel con su identificación, donde fueron secados en una estufa por 72 horas. Finalmente se pesaron en una báscula analítica, para su posterior estimación en porcentajes y kg de MS ha⁻¹ de aportación al rendimiento total de forraje de cada componente, utilizando las siguientes formulas:

CBM en porcentaje		
Peso total de la CBM	----	100 %
Peso del componente	---	<u>% del componente</u>

CBM en kg MS ha ⁻¹		
kg MS ha ⁻¹ corte ⁻¹	----	100 %
<u>kg MS ha⁻¹ corte⁻¹ componente⁻¹</u>	---	% del componente

3.3.3 Relación hoja:tallo

De la composición botánica-morfológica, se tomaron los datos de peso de hoja y tallo y se estimó la relación hoja:tallo, calculada mediante la siguiente formula:

$$R: H/T$$

Dónde:

R = Relación del peso de la hoja, respecto al peso del tallo.

H = Peso de la hoja (kg MS ha⁻¹).

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

3.3.4 Altura de la planta

Se registraron 10 alturas de plantas al azar en la parcela, usando una regla graduada de 100 cm, donde se colocó la regla de manera vertical, con el 0 a ras de suelo y con la lectura correspondía a las hojas apicales o puntas de la planta.

3.3.5 Área foliar

Se seleccionaron al azar 10 tallos dentro de la parcela, donde se colectaron en bolsas de papel y en el laboratorio se separaron en hojas y tallos, subsiguientemente los folíolos se acomodaron en una hoja de papel y se pasaron en equipo integrador de área foliar modelo CI-202 marca CID, y se registraron los datos en cm² de área foliar.

3.3.6 Porcentaje de luz interceptada

Fue obtenida mediante dos métodos de estimación: la regla y la barra light, con tres lecturas por cada repetición. Se realizó en el horario comprendido entre 11:30 am a 12:30 pm, donde los rayos del sol inciden perpendicularmente sobre la superficie del área experimental.

- a) Método de la regla: Se trabajó con una regla graduada de 100 cm. Consistió en colocarla bajo el dosel de las plantas. De forma visual se determinaron los centímetros sombreados por el dosel de la planta. Los centímetros sombreados representaban el porcentaje de luz que interceptó la planta, donde los 100 cm representaron el 100 %.
- b) Barra light: Se utilizó un equipo barra light o sensor de Quantum de 70 cm de longitud, modelo PS-100, Apogee, Inst, Utah, USA. Se tomaron tres lecturas sobre el dosel y bajo el dosel de las plantas, de forma que la barra este completamente nivelada. Las lecturas sobre las plantas representaron el 100 %

de la luz recibida y las lecturas bajo el dosel, representaba la luz no interceptada por la planta, que considera como la energía lumínica no aprovechada para la fotosíntesis.

La determinación del porcentaje de luz interceptada se calculó con la siguiente fórmula.

$$\% \text{ LI} = (\text{LT} - \text{LR}) * 100/\text{LR}$$

Dónde:

% LI = Porcentaje de luz interceptada

LR = Cantidad de luz recibida ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{nm}^{-1}$)

LT = Cantidad de luz transmitida ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{nm}^{-1}$).

3.4 Tratamientos y análisis estadístico

El diseño experimental fue un completamente al azar, con tres repeticiones. Para determinar el efecto de la edad de rebrote sobre las variables evaluadas, se realizó un análisis de varianza con el procedimiento PRO GLM del programa SAS 9.0 (SAS Institute, 2011). Cuando se detectó efecto del tratamiento (edad de rebrote) se hizo una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Para lo cual se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Valor de la varianza de estudio

μ = Media general de la población estudiada

α_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

ϵ_{ij} = Error estándar de la media

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento de forraje

En la Figura 4 se muestra el incremento del rendimiento de materia seca a medida que aumentan los días después del rebrote de una pradera de alfalfa, variedad Premium ($p \leq 0.05$). Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los días de rebrotes, teniendo siempre a tener un crecimiento positivo conforme aumentan los días de rebrote. El valor registrado de R^2 fue de 0.93, lo que significa que la edad de la planta posterior a un corte, explica el 93 % del rendimiento de forraje producido, mediante una ecuación logarítmica. El valor más bajo se encontró a los siete de rebrote ($225 \text{ kg MS ha}^{-1}$) y los valores más altos a los 42 y 49 días de rebrote con 5439 y $4903 \text{ kg MS ha}^{-1}$, siendo el día 42 el mayor ($5439 \text{ kg MS ha}^{-1}$) en rendimiento de forraje durante el estudio. Se obtuvo una producción promedio de $3318 \text{ kg MS ha}^{-1}$ (Cuadro 5 anexos).

De acuerdo con los valores reportados por Cruz (2020), los resultados obtenidos en el rendimiento de forraje son similares, ya que menciona que el valor más bajo se obtuvo en la primera semana de corte con ($164 \text{ kg MS ha}^{-1}$) y que este aumentó acorde a las semanas de corte, hasta alcanzar a la última semana de estudio con un rendimiento de $4,154 \text{ kg MS ha}^{-1}$ y las cuales llegaron a presentar diferencias altamente significativas. Así mismo, registro en la semana 6 el valor más alto en cuanto a rendimiento de forraje con ($4,589 \text{ kg MS ha}^{-1}$), con un promedio general de ($3,081 \text{ kg MS ha}^{-1}$). De manera similar, Rodríguez (2017) al evaluar trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) reportan valores bajos para las dos primeras semanas de corte con (790 y $1,187 \text{ kg MS ha}^{-1}$) y su valor más alto para la semana siete con ($3,738 \text{ kg MS ha}^{-1}$), mostrando un aumento creciente de la semana uno a la semana siete a la par que lo hace la edad de cosecha, con un promedio general de ($2,359 \text{ kg MS ha}^{-1}$). Sin embargo, comparando los datos obtenidos en este trabajo con el rendimiento promedio de forraje reportado por Rojas *et al.* (2019) para alfalfa en la estación de invierno se registró un valor menor independientemente del intervalo

entre cortes, con 2,438 kg MS ha⁻¹ y un valor mayor en verano y primavera con un promedio de 3,357 kg MS ha⁻¹.

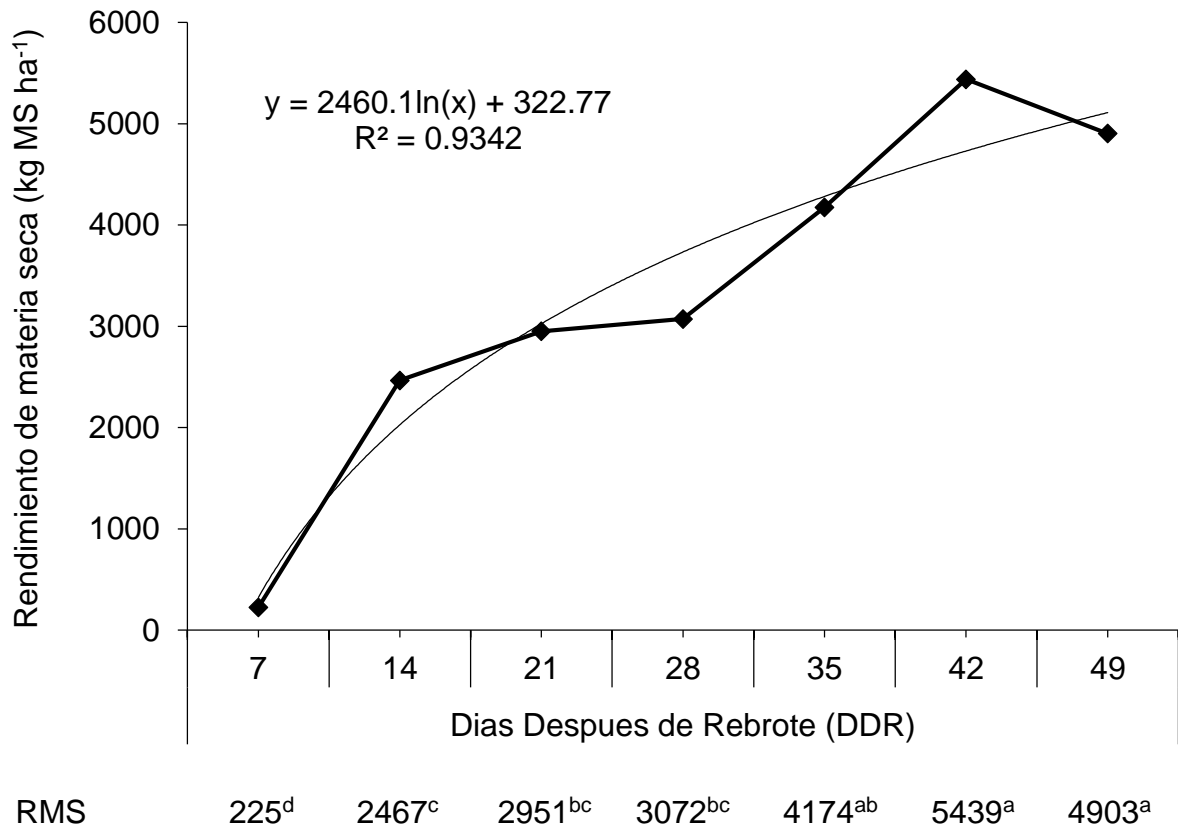


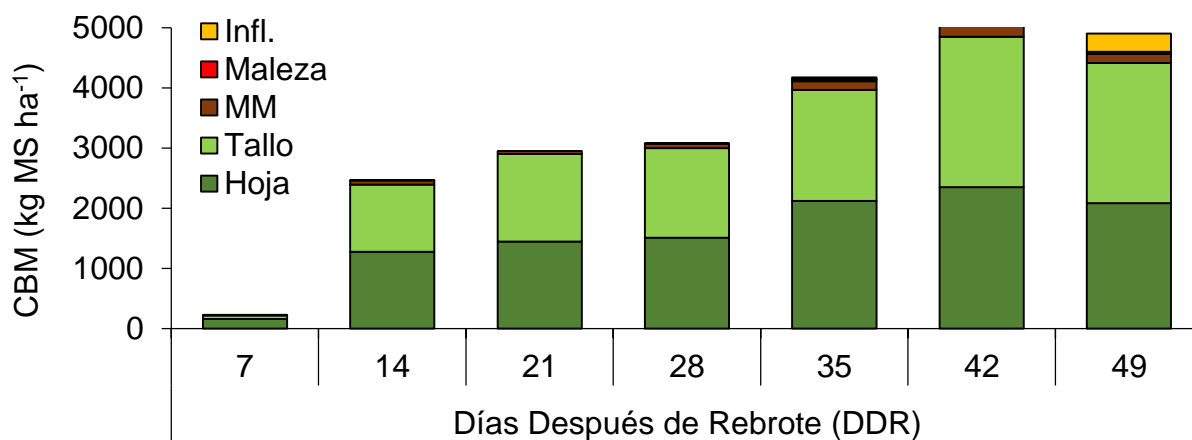
Figura 3. Rendimiento de forraje (kg MS ha⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium cosechada a diferentes días de rebrote. Misma literal minúscula en la misma fila no son diferentes estadísticamente (Tukey; $p > 0.05$).

4.2 Composición botánica y morfológica

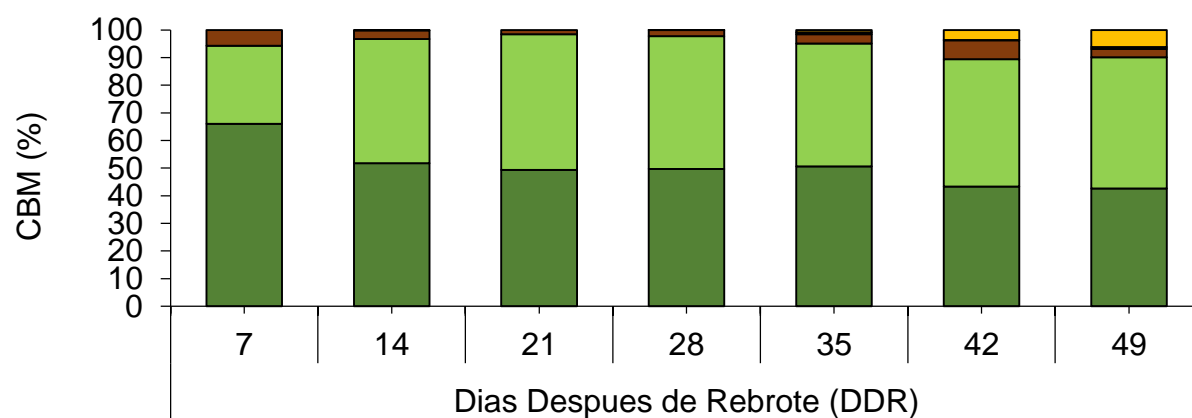
La distribución de rendimiento de los componentes botánicos y morfológicos por corte, expresados en kg MS ha⁻¹ y en porcentaje, se muestra en la Figura 4. Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la interacción días de rebrote. A los siete días de rebrote, fue donde se observó el mayor porcentaje de hoja con 66 % pero en contraste el más bajo rendimiento (156 kg MS ha⁻¹) y fue descendiendo a medida que aumentaron los días de rebrote, resultando los valores más bajos los

días 42 y 49 con 43 % en ambos, pero con los mayores rendimientos (2,348 y 2,085 kg MS ha⁻¹) siendo el día 42 el más sobresaliente de todo el ciclo. Con respecto al tallo se observó el valor más bajo en el día 7 de rebrote con 28 % y consecuentemente el más bajo en rendimiento con (58 kg MS ha⁻¹), por lo que aumentó considerablemente a partir del día de rebrote 14 con 45 % y (1115 kg MS ha⁻¹) manteniéndose sin aumento considerablemente hasta el día de rebrote 49 con 48% (2330 kg MS ha⁻¹). Sin embargo, se podría recomendar una cosecha de la alfalfa en el día 42 de rebrote, que, si bien el porcentaje es similar, es cuando se obtiene el mayor rendimiento de hoja con 2348 kg MS ha⁻¹, ya que este componente constituye la mejor calidad nutricional del forraje. Más, sin embargo, cabe mencionar que el componente con mayor presencia en este día de rebrote es el tallo, y muy por debajo el MM, maleza e inflorescencia con 381, 7, 198 kg MS ha⁻¹, respectivamente.

Al respecto, Mendoza *et al.* (2010) reportó que independientemente de la estación del año de establecimiento del cultivo, los mayores rendimientos de hoja se presentan en los intervalos de corte a los 21 y 28 días de rebrote, pero en consecuencia también la contribución del tallo al rendimiento de forraje aumentó a medida que se incrementan los intervalos de corte. La producción de material muerto en kg MS ha⁻¹, marco diferencias estadísticas ($p < 0.05$) el valor mayor a los 42 días de rebrote, ya que en las primeras cuatro semanas no hubo presencia de este componente, sin embargo, en el porcentaje de aportación no se presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$). Por su parte la inflorescencia, se presentó al final del estudio a los 49 días de rebrote con 304 kg MS ha⁻¹, con un 6 % de aportación al rendimiento total. Por otra parte, Álvarez *et al.* (2018), independientemente de la variedad de alfalfa, las mayores cantidades de hojas y tallos se dieron en primavera con 31 y 29 %, un 14 y 15 % en verano y 31 % de hoja en invierno en promedio, teniendo para verano y otoño una mayor presencia de material muerto y maleza con 14 y 63 %, resultando en rendimientos más altos de forraje en la estación de primavera.



Component	7	14	21	28	35	42	49
Hoja	156 ^{Ad}	1276 ^{Ac}	1444 ^{Abc}	1507 ^{Abc}	2121 ^{Aab}	2348 ^{Aa}	2085 ^{Aab}
Tallo	58 ^{Bd}	1115 ^{Ac}	1459 ^{Ac}	1493 ^{Abc}	1847 ^{Aabc}	2504 ^{Aa}	2330 ^{Aab}
MM	11 ^{Bb}	70 ^{Bb}	47 ^{Bb}	72 ^{Bb}	142 ^{Bab}	381 ^{Ba}	149 ^{Bab}
Maleza	0 ^{Ba}	5 ^{Ba}	0 ^{Ba}	0 ^{Ba}	30 ^{Ba}	7 ^{Ca}	35 ^{Ba}
Infl.	0 ^{Bc}	0 ^{Bc}	0 ^{Bc}	0 ^{Bc}	35 ^{Bc}	198 ^{Bcb}	304 ^{Ba}



Component	7	14	21	28	35	42	49
Hoja	66 ^{Aa}	52 ^{Aab}	49 ^{Aab}	50 ^{Aab}	51 ^{Aab}	43 ^{Ab}	43 ^{Bb}
Tallo	28 ^{Bb}	45 ^{Aa}	49 ^{Aa}	48 ^{Aa}	44 ^{Aa}	46 ^{Aa}	48 ^{Aa}
MM	6 ^{Ba}	3 ^{Ba}	2 ^{Ba}	2 ^{Ba}	3 ^{Ba}	7 ^{Ba}	3 ^{CDa}
Maleza	0 ^{Ba}	0 ^{Ba}	0 ^{Ba}	0 ^{Ba}	1 ^{Ba}	0 ^{Ba}	1 ^{Da}
Infl.	0 ^{Bc}	0 ^{Bc}	0 ^{Bc}	0 ^{Bc}	1 ^{Bc}	4 ^{Bb}	6 ^{Ca}

Figura 4. Composición botánica y morfológica (CBM) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, cosechada a diferente edad de rebrote. Infl. = inflorescencia. MM= material muero. Misma literal minúscula en la misma fila y misma literal mayúscula en la misma columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $p > 0.05$).

4.3 Relación hoja:tallo

La relación hoja:tallo sirve como referencia para determinar la calidad del forraje. La tendencia que siguió la variedad Premium de alfalfa durante el estudio establecido se muestra en la Figura 5. Se encontró el valor más alto al inicio del crecimiento de la especie, en el día 7 de rebrote con un valor 3.1, resultando diferente estadísticamente al resto de las edades de crecimiento ($p \leq 0.05$). Lo cual indica que, en la etapa inicial del crecimiento de la planta, hay una mayor cantidad de hoja y consecuentemente una menor presencia de tallos (Figura 5). Los valores más bajos se registraron en los días 42 y 49 de rebrote, ambos con 0.9 ($p \leq 0.05$), mostrando que al final del ciclo de producción se obtiene una mayor presencia de tallo con respecto a la hoja. Se obtuvo un valor de R^2 de 0.70, reflejando que el comportamiento de la relación hoja:tallo respecto a los días de rebrote no fue baja.

En el presente estudio se encontró valor promedio estimado de 1.3, lo que indica que la hoja en todo momento fue mayor al tallo. Al respecto Álvarez (2013), en su evaluación de 10 variedades de alfalfa, reporta un promedio general de 1.3, a excepción de la variedad Júpiter que sobresalió con 1.8 de promedio. Por su parte Arrollo (2020), reportó valores más altos en su comparación de tres genotipos de (*Lotus coniculatus* L.) a los estimados en el presente trabajo con promedios para dos de su genotipo de 1.8 y 1.7 y uno similar de 1.3 con un promedio general de 1.6. De igual forma Landeros (2020), reporta resultados mayores a los estimados en el presente trabajo de relación hoja:tallo para (*Lotus coniculatus* L.) con promedios similares y en general de 2.8 para su tratamiento inoculado y sin inocular. Lo que demuestra que el comportamiento de la cantidad de hoja producida respecto al tallo es diferente al evaluar otras especies, por influencia del genotipo, hábito de crecimiento (García *et al.*, 2014).

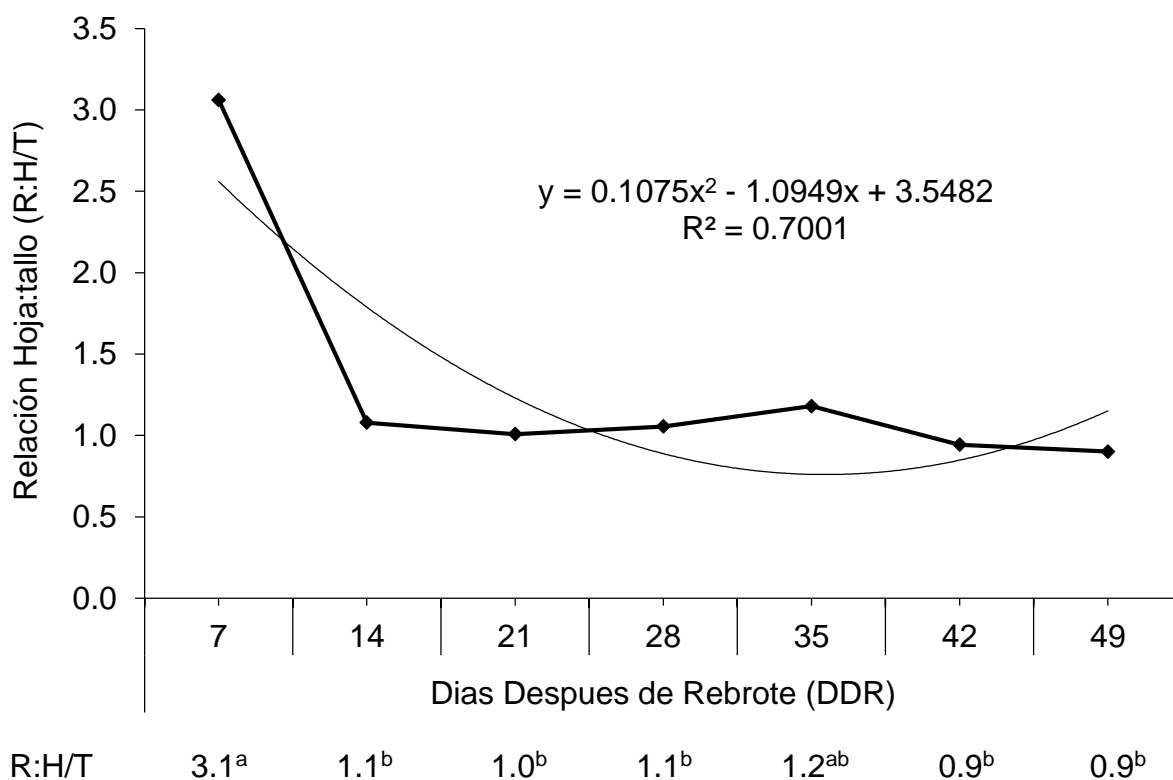
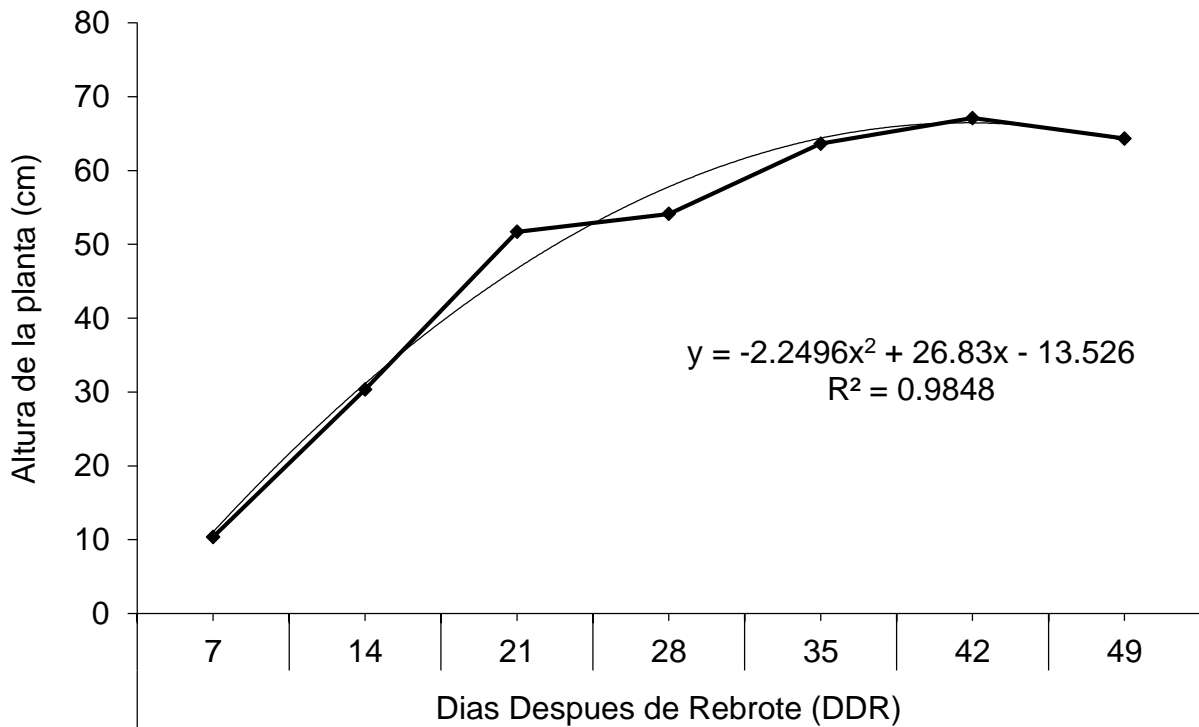


Figura 5. Relación hoja:tallo (R:H/T) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium cosechada a diferente días de rebrote. Misma literal minúscula en la misma fila no son diferentes estadísticamente (Tukey $p > 0.05$).

4.4 Altura de planta

En la Figura 6 se muestran el incremento de altura en las plantas de alfalfa en relación a los cortes efectuados a diferentes días después de rebrote (DDR), mostrando siempre una tendencia positiva en el crecimiento. La tendencia describe una ecuación polinómica, con una R^2 de 0.98, reflejando una alta relación entre la altura de la planta y los días de rebrote, por lo que la altura de la planta, es explicada en un 98 % por la edad de planta o días de rebrote. Para este método los cambios son significativos de la semana uno 10 cm (7 DDR), siendo el valor más bajo registrado, respecto al valor más alto en la semana seis de rebote (42 DDR), con un valor de 67 cm, manteniendo diferencias significativas ($p < 0.05$)

Para la misma variedad de alfalfa estudiada en este trabajo (Premium) Cruz (2020), utilizando el método de la regla reporto una altura promedio de 48 cm, la cual es similar a la registrada en el presente estudio (48.7 cm), quien reporto su valor más bajo en la primera semana de corte con 11 cm y su valor más alto en la semana siete de muestreo con 67 cm. De igual manera Barbón (2019) presenta valores bajos en la primera semana de corte para sus tratamientos con alfalfa inoculada y sin inocular de 13 y 14 cm y sus valores más altos en semana siete para los mismos tratamientos con 56 y 53 cm respectivamente, lo que refleja una tendencia positiva en el crecimiento de la alfalfa de la semana uno hasta la siete. Por su parte Álvarez (2013) reportó alturas estimadas con el método de la regla para 10 variedades de alfalfa a diferente estación del año en las cuales el promedio estacional mostro el siguiente orden: verano, primavera, otoño e invierno con 37, 36, 28 y 25 cm, lo que demuestra que las mayores alturas de la planta se obtienen en las estaciones de verano y primavera, cuando las condiciones de crecimiento son favorables de la especie (García *et al.*, 2016).



Altura 10^d 30^c 52^b 54^{ab} 64^{ab} 67^a 64^{ab}

Figura 6. Altura de planta (cm) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium cosechada a diferente edad de rebrote. Misma literal minúscula en la misma fila no son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$).

4.5 Intercepción luminosa

En la Figura 7 se muestra el comportamiento de la radiación interceptada (RI) por alfalfa, variedad Premium, determinada con los métodos de la regla (Figura 7a) y la barra light (Figura 7b), a través de los diferentes días de rebrote. Para ambos métodos, se muestra una tendencia creciente desde el día 7 hasta los 49 DDR. No obstante, con el método de la regla se denota una tendencia más uniforme, lo cual lo respalda un mayor $R^2 = 0.90$, respecto al de la barra light, con un valor de 0.80, lo que indica que la edad de la planta explica un 90 % del porcentaje de luz que intercepta la pradera *versus* un 80 % con el método de la barra. En ambos métodos

se observó el valor más bajo al 7 DDR con 28 y 33 % de RI, y el valor más alto en el método de la regla a los 42 DDR, mientras en la barra, las diferencias se mostraron a partir de los 14 DDR ($p \leq 0.05$). El valor más alto registrado fue de 94 % a los 42 DDR con el método de la regla, lo que es cercano a un porcentaje de intercepción óptimo para cosecha de la alfalfa (García *et al.*, 2016)

Durante la estación de primavera Barbón (2019) reportó en la variedad Premium de alfalfa, valores similares a los datos obtenidos en el presente trabajo. Con el método de la regla, coincide con el patrón de área foliar por tallo y altura de la planta. Consigno que a medida que aumenta la cantidad de RI también lo hacen las variables de área foliar por tallo y la altura de planta, obtenido el valor más alto por el método de la regla la semana 7 con 94% y el más bajo la primera semana con 9%. De manera similar a lo establecido el presente trabajo la RI coincide con el patrón de área foliar por tallo y altura, ya que a medida que aumenta la cantidad de área foliar y altura, se incrementa la RI. En otras especies forrajeras, como trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) Landeros (2020) observó un aumento progresivo de la primera semana con 34 % y 28 % hasta la semana tres con 60 % y 66 % para sus dos tratamientos analizados inoculado y sin inocular respectivamente, y que a partir de la semana tres hasta la semana de rebrote siete, los valores no variaron significativamente para ambos tratamientos, lo cual no concuerda con lo establecido en el presente trabajo. Por otra parte, De Lira (2017) comparó dos métodos de estimación de luz interceptada en trébol rojo (*Trifolium pratense* L.); método de la regla y ceptómetro, observando un aumento progresivo de la primera semana con 24 y 15 % hasta la semana cuatro con 96 y 95 %, respectivamente, posteriormente los valores tendieron a mantenerse en ambos métodos.

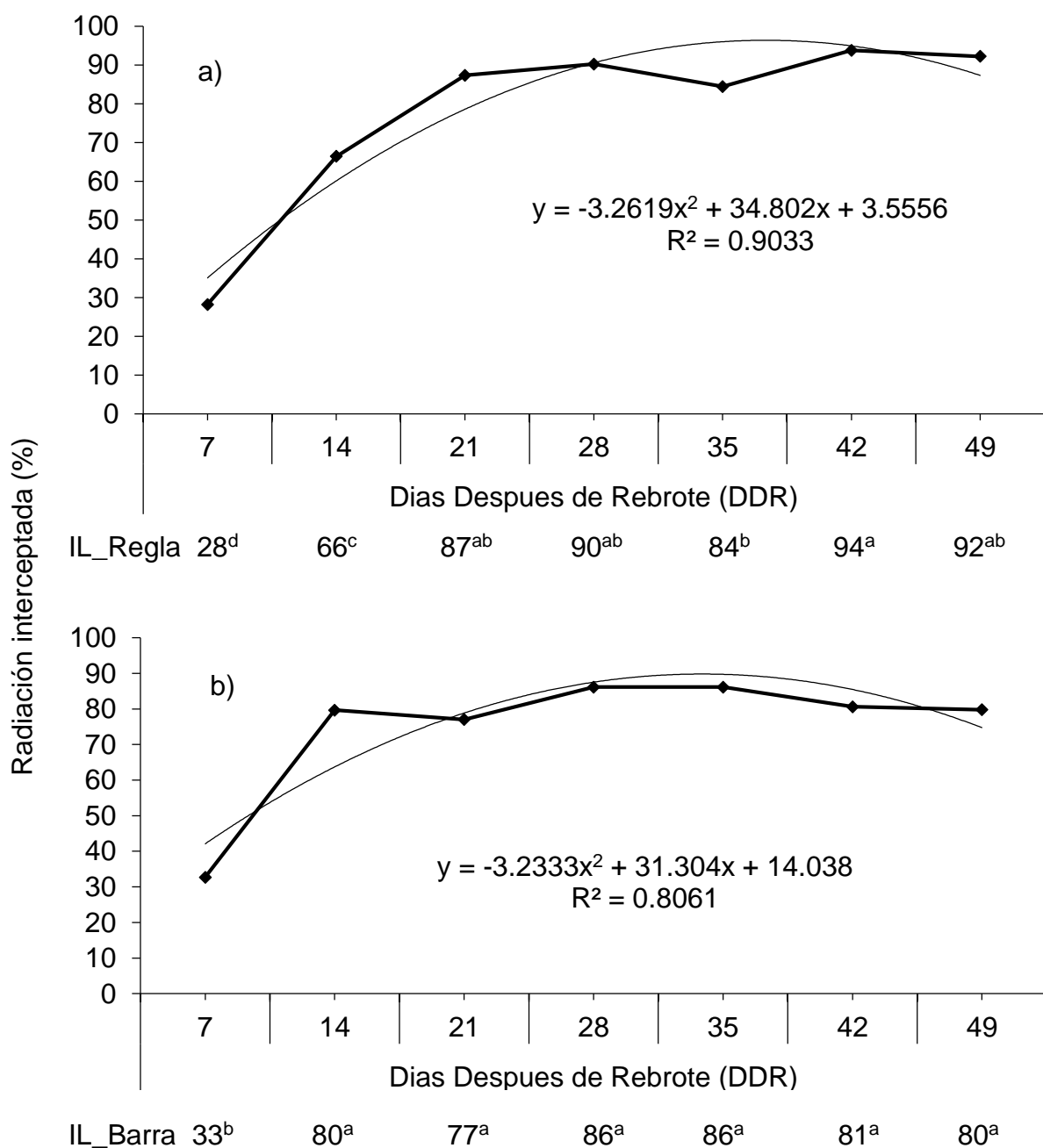


Figura 7. Radiación interceptada (%), de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, cosechada a diferente edad de rebrote, determinada con el método de la regla (Figura a; IL_Regla) y de la barra light (Figura b; IL_Barra). Misma literal minúscula en la misma fila no son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$).

4.6 Área foliar

En la Figura 8 se muestran los cambios durante los días después del rebrote (DDR) en el área foliar (AF) por tallo de alfalfa, variedad Premium. Se observó el mayor valor de AF por tallo en el día 42 de rebrote con $255 \text{ cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$. Los valores más bajos se obtuvieron en los días 7 y 14 de rebrote con 21 y $30 \text{ cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$, respectivamente, coincidiendo con el patrón obtenido en RMS, altura y LI- regla. Lamentablemente, no fue posible determinar los valores a los 49 DDR. Sin embargo, hasta los 42 DDR, se obtuvo una R^2 de 0.99, con una ecuación polinómica, explicándose un 99 % el incremento de IAF por tallo por la edad de rebote.

El área foliar es una característica confiable para determinar la semana optima de corte. Al respecto Mendoza *et al.* (2010) al evaluar diferentes frecuencias de corte en el cultivo de alfalfa, registró que la mayor cantidad de área foliar por tallo ocurrió en verano a los 35 DDR, con un valor promedio de $108 \text{ cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$, que correspondió a los máximos rendimientos de forraje con $9,014 \text{ kg MS ha}^{-1}$, a un intervalo de corte de 42 DDR. Similarmente en este estudio, una mayor área foliar por tallos ($255 \text{ cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$) correspondió a un mayor rendimiento, a los 42 DDR, indicando que a medida que aumenta AF se incrementa la cantidad de luz interceptada y con ello la tasa de crecimiento. De acuerdo con Barbón (2019) observo un incremento positivo, con los valores más bajos en la primera semana con $12 \text{ cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$ y sus valores más altos en la quinta y sexta semana de rebrote con 154 y $110 \text{ cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$. De Lira (2017) encontró para trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) que la mayor AF se observó en la 8 semana con $139 \text{ cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$, y la menor en la segunda semana con $61 \text{ cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$ coincidiendo con el patrón obtenido en altura y rendimiento. Por lo anterior, se puede afirmar que la variable AF resulta en una característica confiable para determinar la edad óptima de corte, ya que se relaciona significativamente con las demás variables de rendimiento de materia seca, altura de la planta y radiación interceptada (método de la regla).

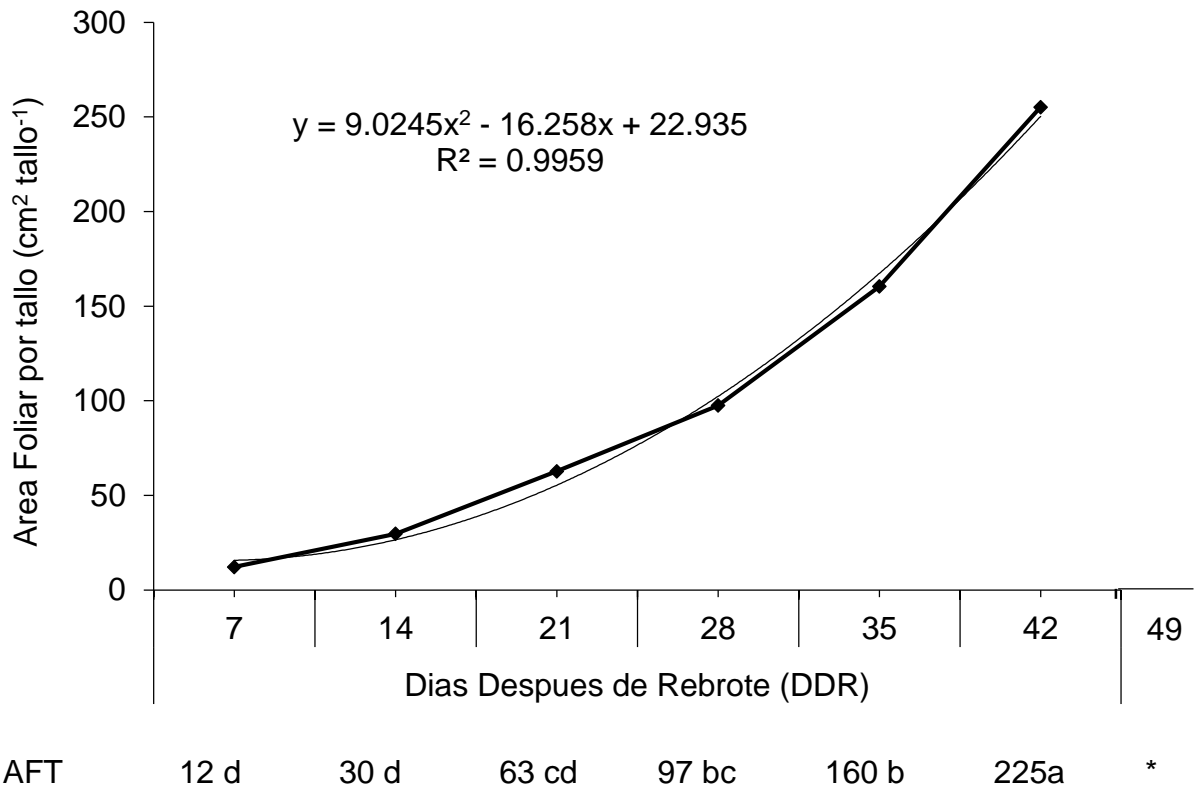


Figura 8. Área foliar por tallo ($\text{cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium cosechada a diferente edad de rebrote. * Valor no determinado. AFT= Área Foliar por Tallo. Misma literal minúscula en la misma fila no son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$).

V. CONCLUSIONES

Al día 42 de rebrote se obtuvieron las mejores características productivas de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), variedad Premium, ya que se obtuvo el mayor rendimiento de forraje, producción de hoja y tallo, altura de planta y área foliar por tallo, no obstante, también mayor material muerto, inflorescencia y maleza. Así mismo, la hoja fue el componente que más aportó al rendimiento con alrededor del 50 %, seguida por el tallo, material muerto, maleza e inflorescencia.

Existe una estrecha relación entre la interceptación luminosa, por el método de la regla, con la altura de la planta, rendimiento de materia seca, y área foliar por tallo, ya que todas se incrementan conforme aumenta la edad de rebrote, relación inversa con la relación hoja:tallo, en la que se obtuvo una menor R^2 , respecto al incremento en la edad de la planta después de ser defoliada.

VI. RECOMENDACIONES

Por lo consecuente cabe mencionar que, para obtener el máximo aprovechamiento en cuanto a cantidad de forraje y valor nutricional, se debe cosechar la alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, al día 42 de rebrote, si se desea obtener mayores beneficios.

VI. LITERATURA CITADA

Acuña, S. P.; Vidal, A., Martínez, G. 1991. Fertilización de la alfalfa con fósforo, potasio y azufre. Agricultura técnica. Chile. pp 315-322.

Acharya, J.P.; Lopez, Y.; Gouveia, B.T.; de Bem Oliveira, I.; Resende, M.F.R., Jr.; Muñoz, P.R.; Rios, E.F. 2020. Breeding Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Adapted to Subtropical Agroecosystems. *Agronomy* 10:742. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050742>

Alarcón, Z. B., G. C. Ortega N., S. S. Gonzales M., T. Cervantes M., R. y Venegas O. 2011. Manual de la selección genética y molecular, producción de semilla de alfalfa en el Valle del Mezquital, Hidalgo. Fundación Hidalgo Produce A.C. México. 80 p.

Alexandrino E., Junior E. D. N., Mosquim P. R., Regazzi A. J., Rocha F. C. 2004. Características Morfogênicas e Estruturais na Rebrotação da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu Submetida a Três Doses de Nitrogênio. *Rev Brasil Zootec.* 33(6): 1372-1379.

Álvarez, V. P. 2013. Evaluación cuantitativa de diez variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Tesis de maestría. Colegio de postgraduados. Texcoco, Edo. De México. pp 38-39.

Álvarez, V. P., Hernández G. A., Mendoza P. S. I., Rojas G. A. R., Wilson G. C. Y., y Alejos de la F. J. I. 2018. Producción de diez variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a cuatro años de establecidas. *Agrociencia*, 52(6): 841-851

- Antolín, M.C. y Sanchez D. M. 1993.** Effects of temporary droughts on photosynthesis of alfalfa plants. *Journal of Experimental Botany* 44(265): 1341-1349.
- Arnold, A. M., Cassida K. A., Albrecht K. A., Hall, M. H., Min, D., Xu, X., ... & Sulc, R. M. 2019.** Multistate evaluation of reduced-lignin alfalfa harvested at different intervals. *Crop Science*, 59(4): 1799-1807.
- Arollo, P. H. 2020.** Comparación productiva de tres genotipos de *Lotus corniculatus* L., en el ciclo de primavera. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 57 p.
- Barbón, H. F. 2019.** Rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferente edad de rebrote en la estación de la primavera. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 39 p.
- Baruch, Z. 1994.** Response to drought and flooding in tropical forage grass. I. production and allocation of biomass leaf growth and mineral nutrients. *Plant and Soil* 164: 87-96.
- Becerra, C. 2003.** Productividad de cuatro cultivares y tres líneas de alfalfa (*Medicago sativa* L) en un andisol de la región de la Araucanía. Universidad de La Frontera. Tesis. Temuco- Chile. 79 p.
- Callejas, R. E-A. 2007.** Efecto de la variedad y estación de corte sobre el rendimiento y calidad nutritiva de forraje de alfalfa, en el valle del mezquital, Hidalgo. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 49 p.
- Colección FAO, 2003.** Producción y protección vegetal N° 29, Conservación de heno y paja para pequeños productores y en condiciones pastoriles, por J.M. Suttie,

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
roma. 317 p.

Cruz, G. D. 2020. Evaluación productiva de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en el sureste del estado de Coahuila, México. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 51 p.

Da Silva S. C., D. Nascimento Jr. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. Revista Brasileira de Zootecnia. Pp121-138.

De Lira, C. A. 2017. Rendimiento de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) a diferente edad de cosecha en la estación primavera. Tesis de Licenciatura. UACH. Texcoco, Estado de México. 41 p.

Del Pozo, M. 1983. La Alfalfa. Su cultivo y aprovechamiento. Editorial MundiPrensa, Madrid, España. 380 p.

Domínguez, P. R. 2006. El cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) y su calidad como forraje. Monografía de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 114 p.

Duarte, 2002. Como implantar bien una pastura de alfalfa. www.viarural.com.ar (27, enero, 2021).

Espinoza, C. J.M. y Ramos, G. 1997. El cultivo de alfalfa y su tecnología de manejo. Fundación Produce Aguas Calientes, A.C. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Folleto Técnico para productores No. 22.

- García, B. D. V., Guerrero R. J. D. D., García de los S. G., y Lagunes R. S. A. 2015.** Rendimiento y calidad de forraje de genotipos de *Lotus corniculatus* en el Estado de México. *Nova scientia*, 7(13): 170-189.
- Guo, L., Liu, Y., Wu, G. L., Huang, Z., Cui, Z., Cheng, Z., ... & He, H. 2019.** Preferential water flow: Influence of alfalfa (*Medicago sativa* L.) decayed root channels on soil water infiltration. *Journal of Hydrology*, 578:124019.
- Hanson, C. H. 1980.** Ciencia y Tecnología de la Alfalfa. Comp. Por C. H. Hanson. Montevideo, Hemisferio Sur; 2: 529 p.
- Huang, Z., Liu, Y., Cui, Z., Fang, Y., He, H., Liu, B. R., & Wu, G. L. 2018.** Soil water storage deficit of alfalfa (*Medicago sativa* L.) grasslands along ages in arid area (China). *Field Crops Research*, 221: 1-6.
- Hodgson, J. 1990.** Grazing management. Science into Practice. Longman Scientific and Technical. Harlow, England. 204 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. 758 p.
- Sitio Naturalista, 2021.** <https://www.naturalista.mx/photos/1185718>. (Fecha de consulta 6 de enero de 2021).
- USDA, 2020.** <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md-barc/beltsville-agricultural-research-center/soybean-genomics-improvement-laboratory/people/gary-bauchan/alfalfa>. (Fecha de consulta 6 de enero de 2021).

- INFOAGRO. 2020.** El cultivo de alfalfa. <https://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa.htm> (Fechas de consulta, 20 de enero de 2020).
- INIFAP, 1997.** Folleto para productores No. 22. El cultivo de la alfalfa y su tecnología de manejo. 12 p.
- INTA, 2017.** <https://intainforma.inta.gob.ar/el-heno-de-alfalfa-se-posiciona-en-el-mercado-mundial/>. (Fecha de consulta 15 de febrero de 2021).
- Islas, S.M. 1972.** Ensayo de 13 variedades de alfalfa (*Medicago sativa L.*), en condiciones de temporal en el Valle de Toluca, México. Toluca. México. 41 p.
- ITIS, 2021.** <https://www.itis.gov>. (Fecha de consulta 06 de enero de 2021).
- Jewsbury, G. 2016.** Plantas forrajeras. Catedra botánica taxonómica. 42 p.
- Jiménez, M. A. y Martínez, H. P. A. 1984.** Utilización de praderas. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 85 p.
- Landeros, V. J. 2020.** Análisis de crecimiento de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus L.*), en función de edad de rebrote. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 57 p.
- Lara, M. C. Jurado. G. P. INIFAP. 2014.** Paquete tecnológico para producir alfalfa en el estado de chihuahua. 49 p.
- León, E. 2003.** Pastos y Forrajes, Producción y Manejo. (Folleto pastos y forrajes). Universidad Central. 251 p.

- López, I. 1993.** Bases fisiológicas la utilización de la alfalfa. En: Latrille L. (Ed.) producción animal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Instituto de producción animal. Serie B-17. Valdivia. Pp 157-190.
- Lin, F., Liu, X. J., Tong, C. C., & Wu, Y. 2020.** Characteristics of light energy utilization of intercropping alfalfa/gramineae forage based on yield effect. *Ying Yong Sheng tai xue bao= The Journal of Applied Ecology*, 31(9): 2963-2976.
- Lösch, R. 1995.** Plant wáter relations. *In: Physiology, Progress in Botany*. Springer, Forlag, Berlin. 56: 55-96.
- Mendoza, P. 2008.** Dinámica de crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferente frecuencia de corte. Colegio de postgraduados. Tesis. Montecillo- Texcoco, México. 103 pp.
- Mendoza, P., Hernández, G., Pérez, P., Quero, C., Escalante, E., Zaragoza, R. Ramírez, R. 2010.** Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Revista Mexicana de Ciencia Pecuaria*. 1(3):287-296.
- Montazar, A., Zaccaria, D., Bali, K., & Putnam, D. 2017.** A model to assess the economic viability of alfalfa production under subsurface drip irrigation in California. *Irrigation and Drainage*, 66(1): 90-102.
- Muslera, P. E., Ratera, G. C. 1984.** Praderas y forrajes. Producción y aprovechamiento. Editorial mundi prensa. Madrid. España. 702 p.
- Muslera, P. E., Ratera, G. C. 1991.** Praderas y forrajes. Producción y aprovechamiento. Editorial mundi prensa. Madrid. España. 674 p.
- NAFA, 2021.** Is proud to collaborate with *Hay & Forage Grower* on the distribution of its "Winter Survival, Fall Dormancy & Pest Resistance Ratings for Alfalfa

Varieties” 2021 Edition. <http://www.alfalfa.org/varietyLeaflet.php>. (Fecha de consulta 6 de febrero de 2021)

Pozo, I. M. Del. 1977. La Alfalfa Su Cultivo y Aprovechamiento. 2ª. Edición Madrid Mundi-Prensa. Madrid, España. 375 p.

Robles, S. R. 1985. Producción de Granos y Forrajes. Editorial Limusa. México D. F. 592 p.

Rodríguez, L. F. 2017. Curva de crecimiento de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) en la estación de verano. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México. 54 p.

Rojas, G. A. R. 2011. Dinámica de crecimiento y rendimiento de forraje de diez variedades de alfalfa. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 70 p

Rojas, G. A-R., Mendoza, P. SI., De Lira, C. AL., Álvarez, V.P., Maldonado, P.M-A., González, C. P., Pro M.A., Joaquín, C.S., Luna, G. M. 2019. Rendimiento de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) a diferente edad de cosecha. Agro productividad. Pp 11-15.

Rojas, G. A. R., Hernández-Garay, A., Cansino, S. J., Maldonado Peralta, M. D. L. Á., Mendoza Pedroza, S. I., Álvarez Vázquez, P., & Joaquín Torres, B. M. 2016. Comportamiento productivo de cinco variedades de alfalfa. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(8): 1855-1866.

Rojas, G. A-R., Torres, S. N., Cancino S-J., Hernández, G. A., Maldonado, P. M-A Sánchez, S. P. 2017. Componentes del rendimiento en variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) 51: 56 p.

- Rojas, G. M. 1993.** Fisiología Vegetal Aplicada. 4ª Edición. Editorial Interamericana McGraw-Hill. México. 274 p.
- Ruiz, C. 2003.** Proyecto de pelletización de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Tesis en Ingeniería en Industrialización de Alimentos. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito. (En línea). Disponible en: <http://myslide.es/documents/226171.html>. (Fecha de consulta 25 de enero de 2021).
- 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. 81 p.
- Santana, O. I., Olmos-Colmenero, J. J., & Wattiaux, M. A. 2019.** Replacing alfalfa hay with triticale hay has minimal effects on lactation performance and nitrogen utilization of dairy cows in a semi-arid region of Mexico. *Journal of dairy science*, 102(9): 8546-8558.
- Shi, S.; Nan, L.; Smith, K.F. 2017.** The Current Status, Problems, and Prospects of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Breeding in China. *Agronomy* 7: 1. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010001> (Fecha de consulta 6 de enero de 2021).
- SIAP, 2018.** Alfalfa verde, producción y comercio exterior. <https://www.gob.mx/siap/articulos/alfalfa-verde-produccion-y-comercio-exterior> (Fecha de consulta 18 de enero de 2021).
- SIAP, SIACON 2020.** Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430> (Fecha de consulta 6 de enero de 2021).

- Smith, H. L. y G. C. Marten. 1970.** Foliar regrowth of alfalfa utilizing ¹⁴C-Labeled carbohydrates stored in roots. *Sci.* 10:146-150.
- Soriano O. S. 2003.** Importancia del Cultivo de Alfalfa (*Medicago sativa* L.) en el Estado de Baja California Sur. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo. Coahuila. Pp 20-22.
- Ta, H. T., Teixeira, E. I., Brown, H. E., & Moot, D. J. 2020.** Yield and quality changes in lucerne of different fall dormancy ratings under three defoliation regimes. *European Journal of Agronomy*, 115:126012.
- Tu, X., Liu, Z. & Zhang, Z. 2018.** Comparative transcriptomic analysis of resistant and susceptible alfalfa cultivars (*Medicago sativa* L.) after thrips infestation. *BMC Genomics* 19: 116. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-4495-2>
- Ueno O., Yoshimura Y. and Sentoku N. 2005.** Variation in the activity of some enzymes of photorepiratory metabolism in C. Grasses. *Ann Botan* 96: 863-869.
- 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): e0195965.
- Zhang, H., Li, X., Xu, N., Sun, M. L., Cai, D. J., Sun, G. Y., & Gu, S. 2017.** Alkalinity and salinity tolerance during seed germination and early seedling stages of three alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars. *Legume Res*, 40(5): 853-858.
- Zhang, H., Xu, N., Sui, X., Zhong, H., Yin, Z., Li, X., & Sun, G. 2018.** Photosystem II function response to drought stress in leaves of two alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties. *Int. J. Agric. Biol*, 20: 1012-1020.

Zhang, Q., Liu, J., Liu, X., Li, S., Sun, Y., Lu, W., & Ma, C. 2020. Optimizing water and phosphorus management to improve hay yield and water-and phosphorus-use efficiency in alfalfa under drip irrigation. *Food science & nutrition*, 8(5): 2406-2418.

VII. ANEXOS

Cuadro 4. Análisis de varianza de las variables evaluadas y determinadas en una pradera de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cosechada a diferentes edades de rebrote, en el sureste de Coahuila, México.

Variables	Días de rebrote (DDR)							\bar{x}	EEM
	7	14	21	28	35	42	49		
RMS	225 ^d	2467 ^c	2951 ^{bc}	3072 ^{bc}	4174 ^{ab}	5439 ^a	4903 ^a	3318	560
R:H/T	3.1 ^a	1.1 ^b	1.0 ^b	1.1 ^b	1.2 ^{ab}	0.9 ^b	0.9 ^b	1.3	0.6
Altura	10 ^d	30 ^c	52 ^b	54 ^{ab}	64 ^{ab}	67 ^a	64 ^{ab}	48	5.0
LI-Regla	28 ^d	66 ^c	87 ^{ab}	90 ^{ab}	84 ^b	94 ^a	92 ^{ab}	78	3.1
LI-Barra	33 ^b	80 ^a	77 ^a	86 ^a	86 ^a	81 ^a	80 ^a	74	9
AF	12 ^d	30 ^d	63 ^{cd}	97 ^{bc}	160 ^b	255 ^a	*	88	22

Misma literal minúscula en la misma fila no son diferentes estadísticamente (Tukey; $p > 0.05$). EEM= error estándar de media. RMS= Rendimiento de materia seca (kg MS ha^{-1}), R:H/T= Relación hoja:tallo, IL= Intensidad luminosa (%), AF= Área foliar ($\text{cm}^2 \text{ AF tallo}^{-1}$), * valor no estimado.

Cuadro 5. Análisis de varianza de los componentes morfológicos, expresados en porcentaje de aportación al rendimiento total de forraje de una pradera de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cosechada a diferentes edades de rebrote, en el sureste de Coahuila, México.

Variables	Días de rebrote (DDR)							\bar{x}	EEM
	7	14	21	28	35	42	49		
Hoja	66 ^{Aa}	52 ^{Aab}	49 ^{Aab}	50 ^{Aab}	51 ^{Aab}	43 ^{Ab}	43 ^{Bb}	50 ^A	7.1
Tallo	28 ^{Bb}	45 ^{Aa}	49 ^{Aa}	48 ^{Aa}	44 ^{Aa}	46 ^{Aa}	48 ^{Aa}	44 ^B	5.4
MM	6 ^{Ba}	3 ^{Ba}	2 ^{Ba}	2 ^{Ba}	3 ^{Ba}	7 ^{Ba}	3 ^{CDa}	4 ^C	2.4
Maleza	0 ^{Ba}	0 ^{Ba}	0 ^{Ba}	0 ^{Ba}	1 ^{Ba}	0 ^{Ba}	1 ^{Da}	0 ^C	0.5
Flor	0 ^{Bc}	0 ^{Bc}	0 ^{Bc}	0 ^{Bc}	1 ^{Bc}	4 ^{Bb}	6 ^{Ca}	2 ^C	0.5
\bar{x}	20 ^A	20 ^A	20 ^A	20 ^A	20 ^A	20 ^A	20 ^A	20	0
EEM	10.3	2.6	2.1	3.9	2.2	2.6	1.2	1.4	

Misma literal minúscula en la misma fila y misma literal mayúscula en la misma columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $p > 0.05$). EEM= Error estándar de media.

Cuadro 6. Análisis de varianza de los componentes morfológicos, expresados en kg MS ha⁻¹, de aportación al rendimiento total de forraje de una pradera de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cosechada a diferentes edades de rebrote, en el sureste de Coahuila, México.

Variables	Días de rebrote (DDR)							\bar{x}	EEM
	7	14	21	28	35	42	49		
Hoja	156 ^{Ad}	1276 ^{Ac}	1444 ^{Abc}	1507 ^{Abc}	2121 ^{Aab}	2348 ^{Aa}	2085 ^{Aab}	1563 ^A	267.0
Tallo	58 ^{ABd}	1115 ^{Ac}	1459 ^{Ac}	1493 ^{Abc}	1847 ^{Aabc}	2504 ^{Aa}	2330 ^{Aab}	1544 ^A	297.8
MM	11 ^{Bb}	70 ^{Bb}	47 ^{Bb}	72 ^{Bb}	142 ^{Bab}	381 ^{Ba}	149 ^{Bab}	125 ^B	95.6
Maleza	0 ^{Ba}	5 ^{Ba}	0 ^{Ba}	0 ^{Ba}	30 ^{Ba}	7 ^{Ca}	35 ^{Ba}	11 ^C	19.7
Flor	0 ^{Bc}	0 ^{Bc}	0 ^{Bc}	0 ^{Bc}	35 ^{Bc}	198 ^{BCb}	304 ^{Ba}	77 ^{BC}	30.4
\bar{x}	45 ^D	493 ^C	590 ^{BC}	614 ^{BC}	835 ^{AB}	1088 ^A	981 ^A	664	111.9
EEM	34.6	267.4	158.2	168.1	134.7	106.4	119.6	34.5	

Misma literal minúscula en la misma fila y misma literal mayúscula en la misma columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $p > 0.05$). EEM= Error estándar de media.